



Relatório Técnico

PoC Escolas – 5G FWA

SUMÁRIO

1	Resumo	4
2	Glossário	5
3	Introdução	6
4	Escopo da Prova de Conceito	7
5	Metodologia da PoC	9
6	Resultados	14
6.1	Instalação dos equipamentos CPE 5G FWA e extensores Wi-Fi nas escolas ...	14
6.1.1	Escola A.....	15
6.1.2	Escola B.....	17
6.1.3	Escola C.....	19
6.1.4	Escola D.....	21
6.1.5	Escola E.....	23
6.1.6	Escola F	24
6.2	Monitoramento das métricas de desempenho	26
6.2.1	Escola A.....	28
6.2.2	Escola B.....	29
6.2.3	Escola C.....	30
6.2.4	Escola D.....	31
6.2.5	Escola E.....	32
6.2.6	Escola F	33
6.2.7	Disponibilidade da rede 5G FWA nas escolas.....	34
6.3	Testes de <i>vazão de dados</i> para análise da qualidade do tráfego 5G nas escolas.....	35
6.3.1	Escola A.....	36
6.3.2	Escola B.....	37
6.3.3	Escola C.....	38
6.3.4	Escola D.....	39

6.3.5	Escola E.....	40
6.3.6	Escola F.....	41
6.3.7	Análise dos eventos com baixa vazão de dados	42
7	Lições Aprendidas	43
8	Conclusões e considerações finais	44
9	Referência bibliográfica	46
10	Histórico de versões deste documento	47
11	Execução e aprovação	48

1 Resumo

O principal objetivo desta Prova de Conceito (PoC) foi evidenciar os benefícios da tecnologia 5G FWA na melhoria da dinâmica, acessibilidade e eficiência do ambiente educacional das escolas envolvidas. Especificamente, o foco foi avaliar a capacidade do 5G FWA em oferecer conectividade de alta velocidade para atender atividades de ensino e aprendizagem online. Além disso, buscou-se explorar como a conectividade 5G pode ser aproveitada para aprimorar e simplificar a infraestrutura de rede nas escolas, proporcionando uma conexão de Internet rápida, confiável e de baixa latência.

A instalação dos equipamentos nas escolas participantes ocorreu no período de 19/02/2024 a 23/02/2024, com o início das avaliações efetivas a partir de 26/02/2024.

2 Glossário

ACS – Servidor de Gerência baseado no protocolo TR-069, do inglês *Auto Configuration Server*

CED – Centro Educacional

CEE – Centro de Ensino Especial

CEM – Centro de Ensino Médio

CEP – Centro de Educação Profissional

ERB – Estação Rádio Base

FWA – Acesso Fixo Sem Fio, do inglês *Fixed Wireless Access*

GDF – Governo do Distrito Federal

ISP – Provedor de Serviço de Internet, do inglês *Internet Service Provider*

MCOM – Ministério das Comunicações

MEC – Ministério da Educação

NOC – Centro de Operações de rede, do inglês *Network Operation Center*

PoC – Prova de Conceito, do inglês *Proof of Concept*

RSRP – Indicador de Potência do Sinal de Referência na Recepção, do inglês *Reference Signal Received Power*

RSSI – Indicador da Intensidade do Sinal Recebido, do inglês *Received Signal Strength Indicator*

SSID – Identificação da rede Wi-Fi, do inglês *Service Set Identifier*

3 Introdução

O objetivo deste projeto é avaliar em ambiente relevante a solução de acesso à Internet baseada na tecnologia *Fixed Wireless Access* (FWA) 5G, como alternativa para se levar conectividade a escolas em localidades onde não há infraestrutura de rede cabeada disponível ou adequada.

Conduzida pelo Ministério das Comunicações (MCOM), pela Secretaria de Estado de Educação (SEEDF - GDF) e pela Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação (SECTI - GDF), contando com o apoio do CPQD, Intelbras e das prestadoras do Serviço Móvel Pessoal (SMP) Claro e TIM, buscar-se-á avaliar a viabilidade, confiabilidade e os benefícios da implementação da tecnologia 5G FWA em ambientes escolares.

Para tanto, optou-se por selecionar escolas da rede pública do Distrito Federal localizadas a diferentes distâncias das antenas das prestadoras participantes, de modo a se avaliar cenários diferentes que sejam representativos de diversas situações reais.

Após instalação da infraestrutura de conectividade, seu uso foi monitorado por cerca de dois meses, com coleta periódica dos principais indicadores de desempenho da tecnologia, de modo a aferir a qualidade da Internet disponibilizada.

O presente documento está organizado da seguinte forma:

- A seção Escopo da Prova de Conceito discorre sobre o objetivo da PoC, que envolve a avaliação do uso da tecnologia 5G FWA como alternativa para se levar conectividade a escolas em localidades onde não há infraestrutura de rede cabeada disponível.
- A seção Metodologia da PoC traz informações sobre as atividades realizadas para implementação da PoC 5G FWA, contemplando a definição das escolas participantes da PoC, a implementação da rede 5G FWA e do ambiente de monitoramento desta rede nas dependências do CPQD.
- A seção Resultados apresenta os principais resultados obtidos na PoC 5G FWA, abrangendo desde a instalação e a configuração física dos equipamentos, o monitoramento das principais métricas de desempenho da rede e a análise dos testes de vazão de dados.
- A seção Lições Aprendidas traz as principais dificuldades encontradas durante a condução da PoC 5G FWA e inclui informações fundamentais para orientar futuras implementações de tecnologia 5G FWA em ambientes educacionais de forma a garantir o sucesso desses projetos.
- A seção Conclusões e considerações finais apresenta as considerações do CPQD sobre a PoC 5G FWA, abordando aspectos sobre a viabilidade da tecnologia *Fixed Wireless Access* (FWA) 5G em ambientes educacionais.

Não é escopo desse relatório analisar a utilização da Internet nas escolas. Em outras palavras, não foi avaliado se a Internet foi usada somente para atividades pedagógicas, para acesso a redes sociais ou outras plataformas de entretenimento, o que significa que todos os tipos de uso da Internet foram permitidos durante o período de testes. Além disso, não houve qualquer tipo de controle ou monitoramento do acesso dos usuários à rede, seja por meio de políticas de restrição de conteúdo ou de gestão do uso individual. Buscou-se, mediante a ausência de tais políticas, refletir um cenário de uso irrestrito, que permitisse uma avaliação mais assertiva da capacidade e do desempenho da tecnologia 5G FWA em ambientes escolares. Outro ponto digno de nota, o estudo ora conduzido não contemplou analisar a franquia de dados consumidos, ou seja, não foram realizadas medições específicas sobre a quantidade de dados utilizada por escola ou usuário.

Por fim, em comum acordo com os demais participantes desse estudo, a avaliação de escolas localizadas a mais de 800 metros de distância da ERB não fez parte do escopo.

5 Metodologia da PoC

A Prova de Conceito (PoC) foi conduzida em seis escolas-piloto na região do Distrito Federal (DF), selecionadas com base na proximidade com as torres de transmissão do sinal 5G, também chamadas de ERBs (Estações Rádio Base). As prestadoras participantes da PoC, TIM e Claro conduziram um estudo prévio para embasar essa seleção. Para cada uma das operadoras, foram selecionadas 03 (três) escolas, seguindo os seguintes critérios de distância das torres de transmissão:

- Até 400 metros.
- Entre 400 e 600 metros.
- Entre 600 e 800 metros.

Tabela 1 - Definição das escolas-piloto

<i>Escolas</i>	<i>Distâncias da ERB</i>
<i>Escola A</i>	Até 400 metros
<i>Escola B</i>	Até 400 metros
<i>Escola C</i>	Entre 400 e 600 metros
<i>Escola D</i>	Entre 400 e 600 metros
<i>Escola E</i>	Entre 600 e 800 metros
<i>Escola F¹</i>	Entre 600 e 800 metros

A Figura 2 apresenta a distribuição geográfica das escolas participantes da Prova de Conceito (PoC), oferecendo uma visão clara e abrangente da localização dessas instituições na região do Distrito Federal. Através dessa representação geográfica é possível observar a dispersão das escolas, fornecendo *insights* sobre as características demográficas e socioeconômicas das escolas atendidas pela PoC.

¹ As redes celulares são intituladas como redes "vivas" devido à capacidade de ajustar dinamicamente o atendimento das ERBs de acordo com a demanda de tráfego e cobertura de sinal. Como resultado dessa flexibilidade, no planejamento inicial da PoC, a escola F seria atendida por uma ERB 5G localizada entre 600 e 800 metros de distância. No entanto, durante a instalação dos equipamentos na escola, uma nova ERB foi identificada a menos de 50 metros de distância, proporcionando um melhor desempenho da rede 5G, em relação ao cenário inicialmente planejado.



Figura 2 – Distribuição geográfica das escolas na região do Distrito Federal (DF).

Em cada uma das escolas selecionadas foi realizado um *Site Survey* abrangente, percorrendo diferentes áreas do recinto escolar para mapear o melhor ponto com cobertura do sinal 5G. Após identificar e determinar o ponto ótimo de cobertura do sinal proveniente da torre, foi realizado o procedimento de instalação do equipamento Gateway (CPE 5G FWA) e foram posicionados os extensores Wi-Fi² em salas ou locais estratégicos para garantir a conectividade ideal à Internet aos usuários da rede na instituição de ensino. Foram conduzidos testes de velocidade de conexão, latência e estabilidade da rede em diferentes áreas da escola, incluindo salas de aula, laboratórios de informática e espaços comuns.

Para monitorar a utilização e acompanhar as principais métricas da rede, o CPQD desenvolveu um ambiente de monitoração baseado no protocolo de gerência TR-069 o qual é suportado pelo equipamento CPE 5G FWA, modelo GX3000 da Intelbras. O protocolo TR-069 [1] é um protocolo padrão definido pelo *Broadband Forum* [2] para gerenciamento remoto de dispositivos de rede, especialmente dispositivos de acesso à internet, como roteadores, gateways e modems. Ele permite que os provedores de serviços de internet (ISPs) gerenciem e provisionem esses dispositivos de forma remota, facilitando tarefas como configuração, atualização de firmware, diagnóstico de problemas e monitoramento de desempenho. O equipamento CPE 5G FWA implementa um agente TR-069 (também denominado cliente ACS), que pode ser acessado através de um servidor ACS que interage com o modelo de dados TR-181 [3] implementado no agente TR-069.

Como mencionado, o ambiente de monitoramento desenvolvido e hospedado pelo CPQD inclui softwares de código aberto, entre eles, destacam-se:

² A escola E não utilizou os extensores Wi-Fi pois já possuem infraestrutura própria de WiFi para distribuir a conectividade da CPE e cobrir todo o ambiente escolar.

- GenieACS [4]: utilizado para gerenciamento e monitoramento em tempo real de dispositivos com base no protocolo TR-069;
- InfluxDB [5]: um banco de dados de séries temporais, utilizado para armazenar os dados a serem monitorados;
- Grafana [6]: Ferramenta utilizada para visualização e análise dos dados de monitoramento. Permite a criação de *dashboards* personalizados para acompanhar informações e métricas de desempenho da rede em tempo real a partir do tratamento de dados provenientes da base de dados InfluxDB.
- PowerBI [7]: Plataforma de visualização e análise de dados. Permite aos usuários criarem *dashboards* visualizações interativas e compartilháveis a partir de conjuntos de dados. O Power BI pode ser integrado a várias fontes de dados para criar relatórios e painéis personalizados.

Para complementar o ambiente de monitoramento, o CPQD incorporou e disponibilizou um elemento adicional de gerenciamento (mini PC) conectado via porta LAN ao CPE 5G FWA para cada uma das seis escolas. Estes dispositivos têm a função de conduzir testes de *vazão de dados* (*Speedtest client* [8]) a cada duas horas e armazenar os resultados localmente, contribuindo para a análise da qualidade do tráfego 5G.

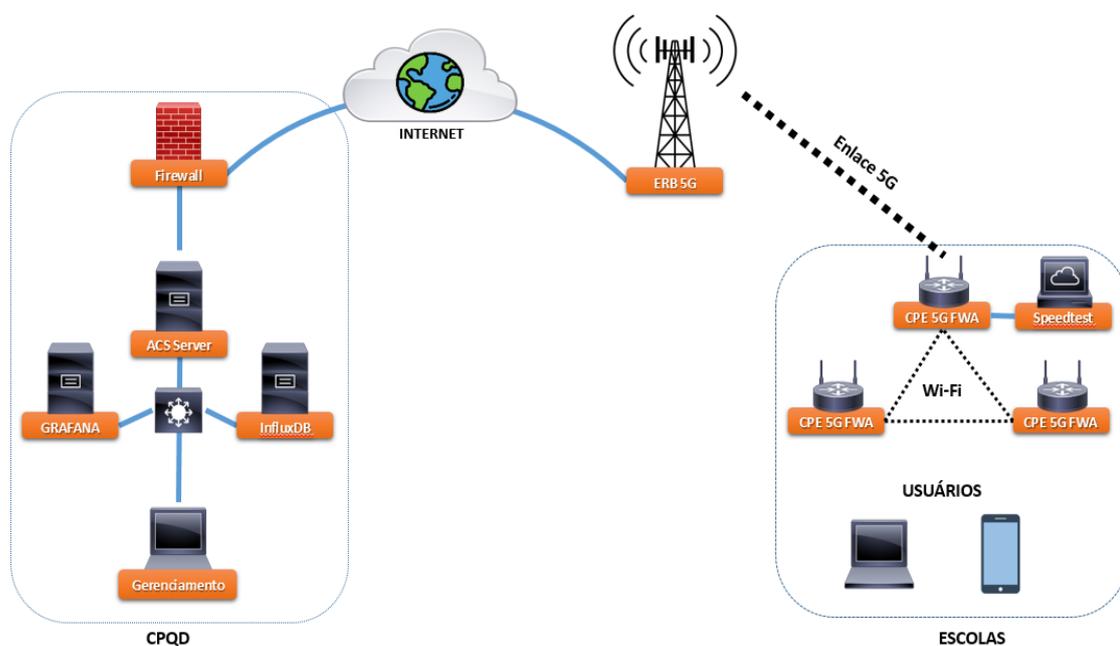


Figura 3 – Topologia simplificada do ambiente de monitoramento no CPQD

As principais informações que estão sendo monitoradas em uma periodicidade de 10 segundos pelo ambiente desenvolvido pelo CPQD são:

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

- Informações do dispositivo (CPE 5G FWA) ³
 - Fabricante
 - Modelo
 - Número Serial
 - Versão de Software
 - Hosts conectados (total de usuários conectados)
 - Quantidade de equipamentos extensores Wi-Fi

- Informações da rede celular
 - Tráfego Instantâneo (*Vazão de dados* – Uplink e Downlink)
 - Status (CPE 5G FWA Conectado-Up/Desconectado-Down)
 - Operadora
 - Tecnologia de Acesso à rede móvel
 - Intensidade de Sinal (RSRP e RSSI)
 - Bytes trafegados (enviados e recebidos)

- Informações da rede de acesso Wi-Fi 2,4 GHz
 - Tráfego (*Vazão de dados* – Uplink e Downlink)
 - Frequência
 - SSID
 - Bytes trafegados (enviados e recebidos)

- Informações da rede de acesso Wi-Fi 5GHz
 - Tráfego Instantâneo (*Vazão de dados* – Uplink e Downlink)
 - Frequência
 - SSID
 - Bytes trafegados (enviados e recebidos)

³ O monitoramento é realizado no elemento gateway da rede (CPE 5G FWA). Os extensores Wi-Fi não são gerenciados pelo protocolo TR-069.

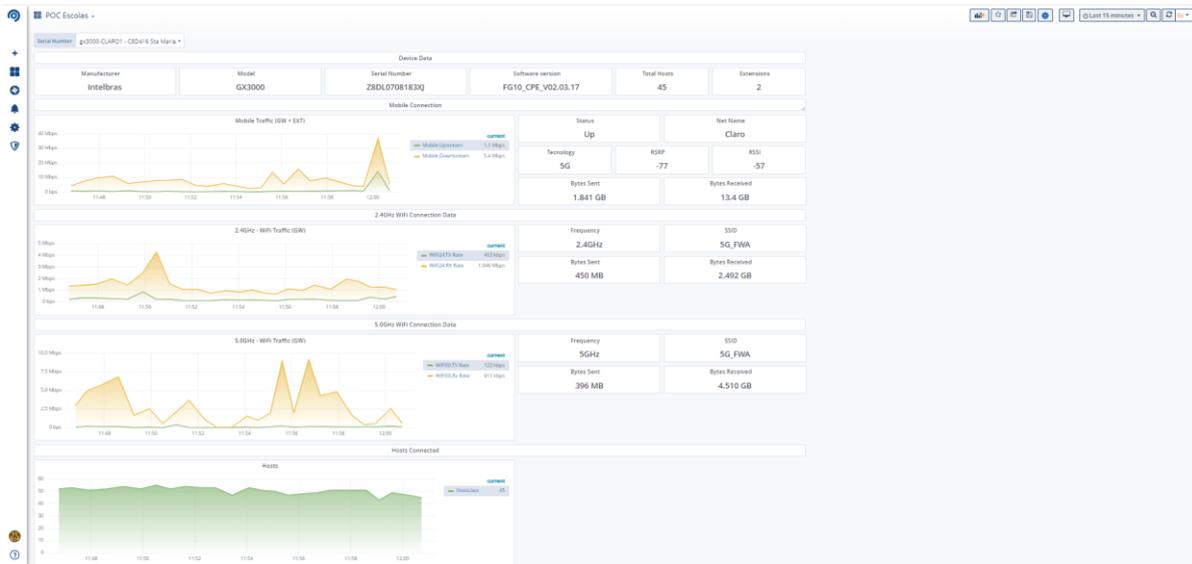


Figura 4 – Exemplo de um *dashboard* de monitoramento em tempo real.

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

6 Resultados

A seguir, são apresentados os principais resultados obtidos na PoC 5G FWA, abrangendo desde a instalação e a configuração física dos equipamentos, o monitoramento das principais métricas de desempenho da rede e a análise dos testes de *vazão de dados*. A avaliação da qualidade do tráfego 5G nas escolas permitiu verificar a capacidade da rede 5G FWA em oferecer conectividade de alta velocidade de forma a atender demandas associadas a atividades de ensino e aprendizagem online nas escolas.

6.1 Instalação dos equipamentos CPE 5G FWA e extensores Wi-Fi nas escolas

Inicialmente foi realizado um *Site Survey* abrangente em cada escola para identificar os melhores pontos de cobertura do sinal 5G. Com base nos resultados do *Site Survey*, os equipamentos Gateway (CPE 5G FWA) foram instalados nesses pontos estratégicos, juntamente com os extensores Wi-Fi, garantindo a conectividade à Internet em todo o ambiente escolar. Os extensores foram instalados de acordo com a demanda da equipe escolar. Com isso, cenários onde os extensores ficaram mais distantes da CPE resultam em perda significativa de sinal (várias paredes entre os equipamentos), o que reduz a capacidade de transmissão de dados.

Posteriormente foram conduzidos testes de velocidade de conexão, latência e estabilidade da rede em diferentes áreas da escola, incluindo salas de aula, laboratórios de informática e espaços comuns, garantindo assim uma infraestrutura de rede confiável e de alta qualidade.

Em todas as escolas participantes foram registradas fotografias dos ambientes e equipamentos físicos que foram instalados em locais estratégicos e com melhor cobertura do sinal 5G, bem como foi registrado o melhor resultado dos testes de velocidade (*vazão de dados*). Esses testes foram conduzidos tanto nos CPEs de forma cabeada (por meio de um laptop⁴ conectado à porta LAN), visando otimizar o desempenho da rede 5G, quanto nos extensores (por meio de um laptop conectado via Wi-Fi 5 GHz). Os testes foram executados a partir do site <https://www.speedtest.net/pt>.

Considerando as medidas de velocidade (*vazão de dados*) da rede 5G, é importante mencionar que devido à natureza dinâmica das redes celulares, é comum ocorrerem variações ao longo do dia devido a diversos fatores, tais como a quantidade de usuários conectados à mesma torre de celular, a qualidade do sinal recebido, interferências eletromagnéticas, condições climáticas e até mesmo a topografia do local. As redes celulares têm a capacidade de se adaptar e otimizar dinamicamente o uso de recursos para atender à demanda de tráfego em constante mudança. Portanto, os resultados de desempenho da rede 5G podem variar significativamente ao longo do dia.

⁴ Laptop DELL Latitude 3420, Intel® Core™ i7-1165G7 de 11ª geração, cache de 12 MB, 4 núcleos, 8 threads, 2,80 GHz a 4,70 GHz, 15 W, 32,0 GB RAM, Windows 11 Pro 23H2, SSD M.2 2230, 512 GB, PCIe NVMe x4 de 3ª geração, Classe 35

6.1.1 Escola A



Figura 5 – CPE instalada na sala da secretaria.



Figura 6 – Extensor 1 instalado na sala dos professores.



Figura 7 – Extensor 2 instalado na sala de coordenação de estágio.

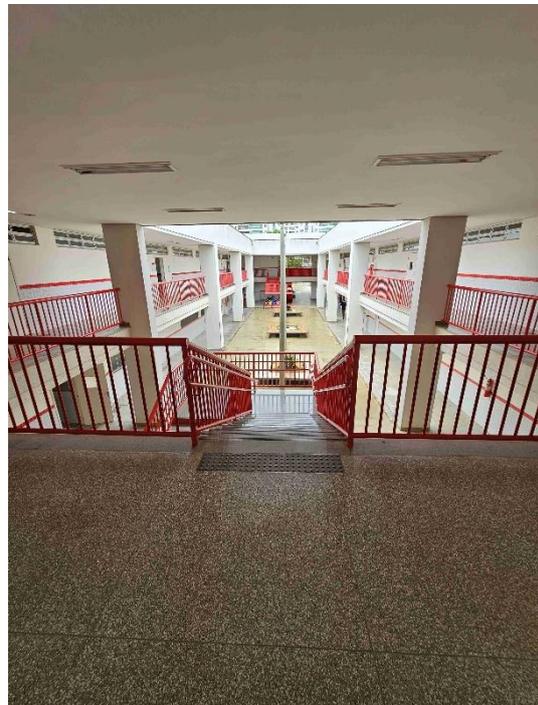


Figura 8 – Vista das dependências da escola (salas de aula).

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

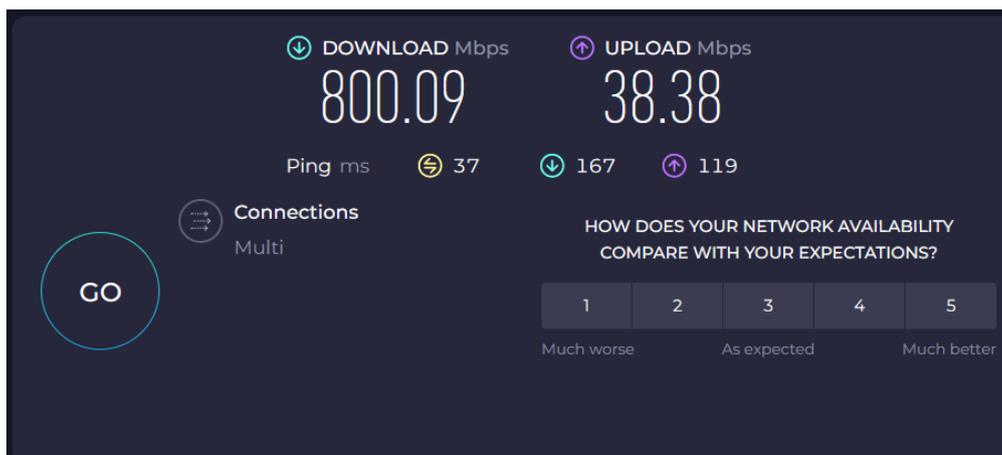


Figura 9 – Teste de velocidade realizado no CPE na sala da secretaria.

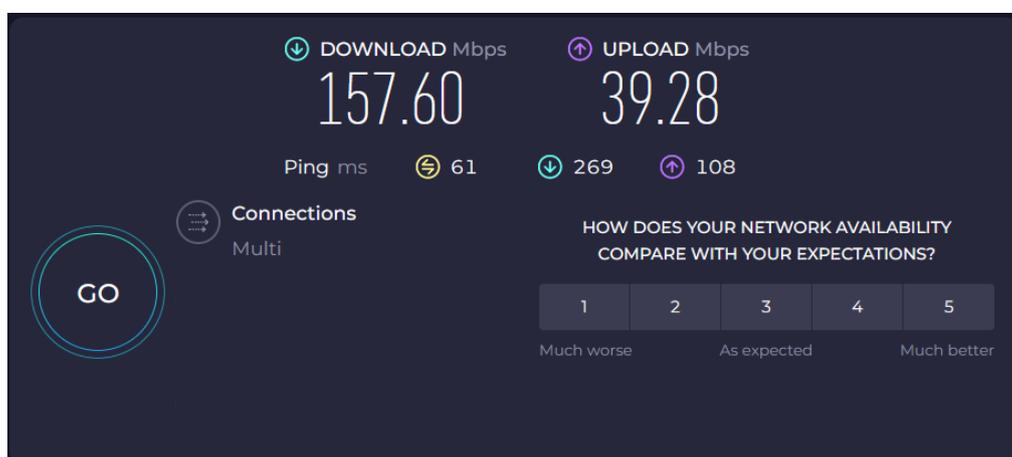


Figura 10 – Teste de velocidade realizado no Extensor 1 Sala dos Professores.

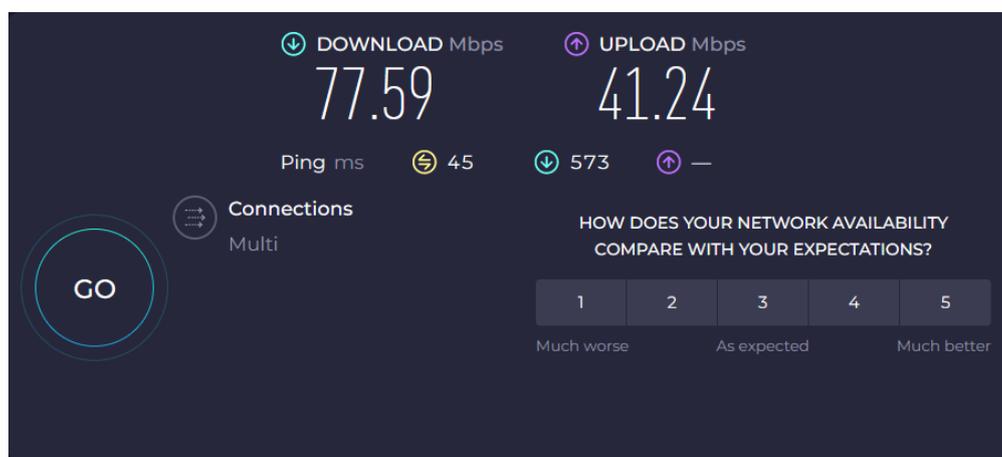


Figura 11 – Teste de velocidade realizado no Extensor 2 Sala coordenação de estágio.

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

6.1.2 Escola B

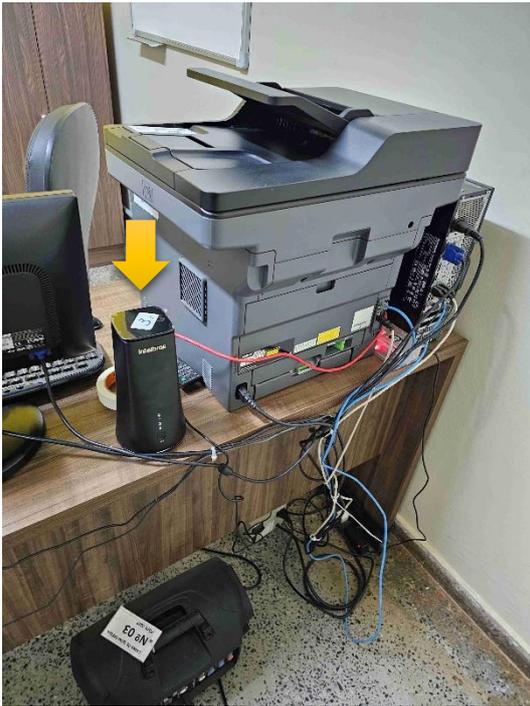


Figura 12 – CPE instalada na sala de supervisão.



Figura 13 – Extensor 1 instalado no corredor da biblioteca.



Figura 14 – Extensor 2 instalado na coordenação.

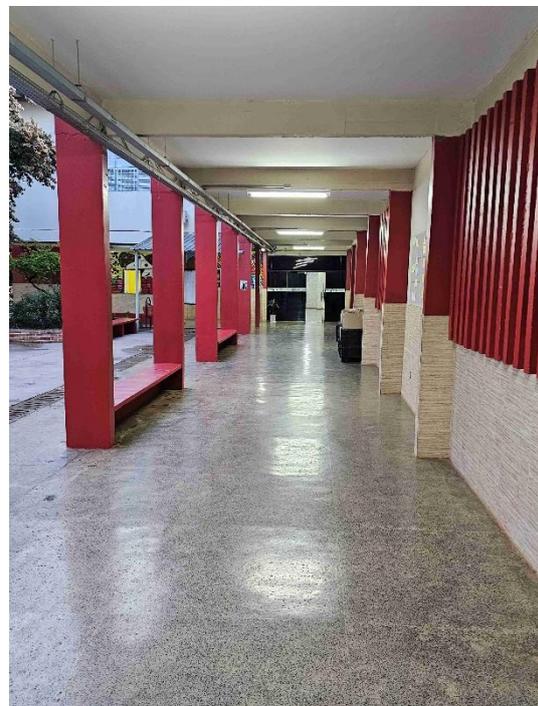


Figura 15 – Vista das dependências da escola (Pátio).

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

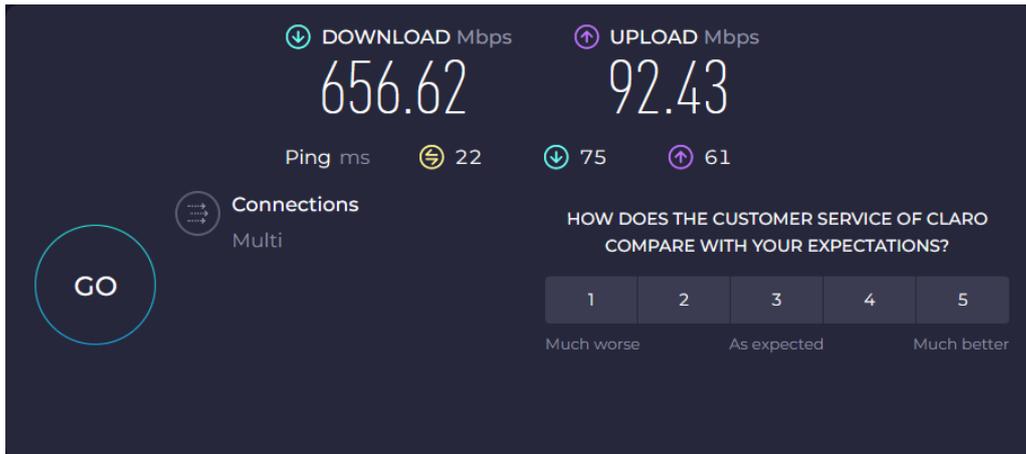


Figura 16 – Teste de velocidade realizado no CPE na sala de supervisão.

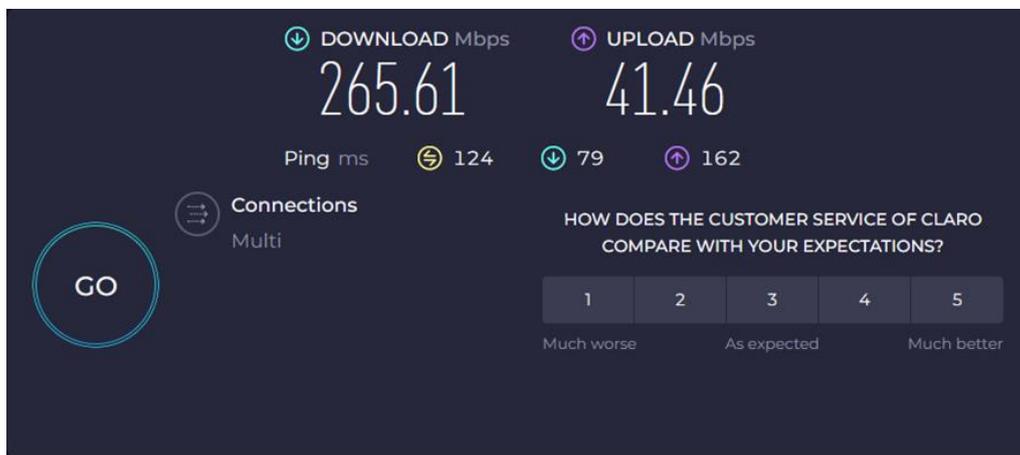


Figura 17 – Teste de velocidade realizado no Extensor 1 no corredor para Biblioteca.

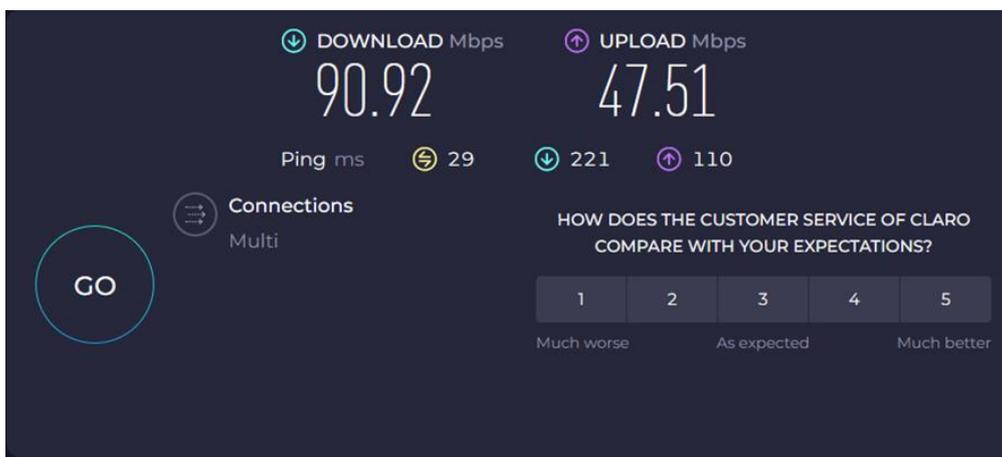


Figura 18 – Teste de velocidade realizado no Extensor 2 na Sala de coordenação.

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

6.1.3 Escola C



Figura 19 – CPE instalada na secretaria.

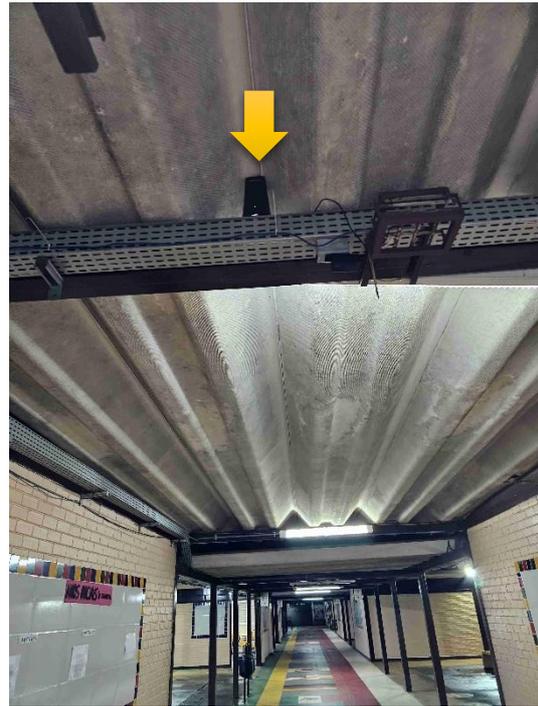


Figura 20 – Extensor 1 instalado no corredor ao lado do laboratório de Ciências.

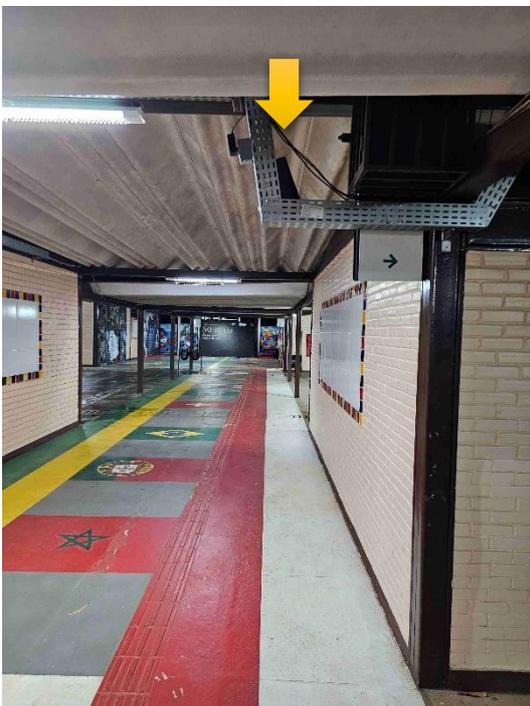


Figura 21 – Extensor 2 instalado no corredor próximo a biblioteca.

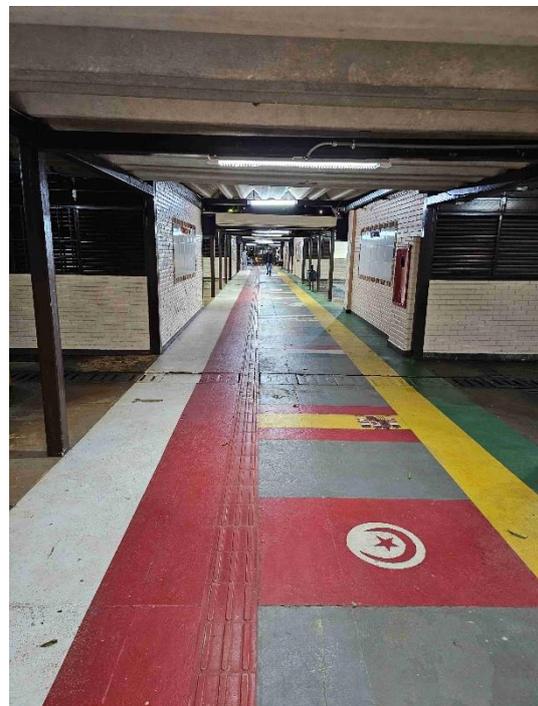


Figura 22 – Vista das dependências da escola (salas de aula).

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

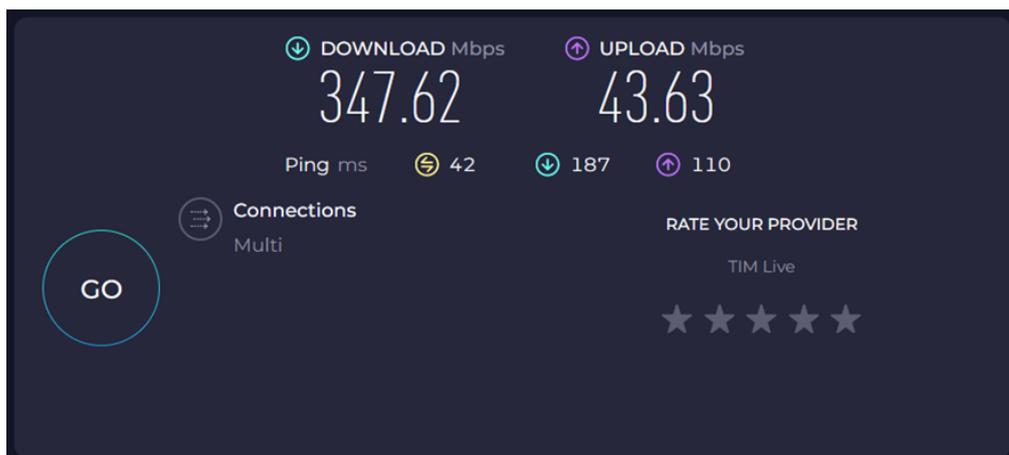


Figura 23 – Teste de velocidade realizado no CPE na secretaria.

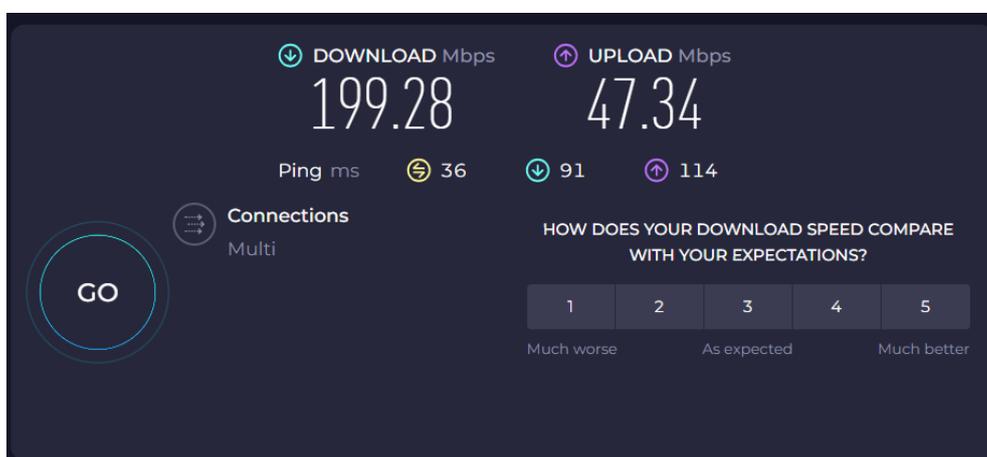


Figura 24 – Teste de velocidade realizado no Extensor 1 ao lado do laboratório de Ciências.

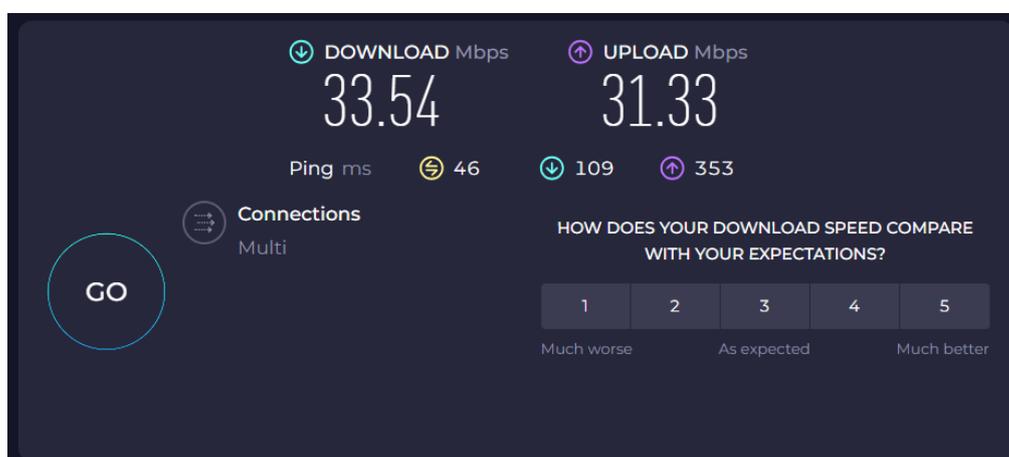


Figura 25 – Teste de velocidade realizado no Extensor 2 próximo a biblioteca.

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

6.1.4 Escola D



Figura 26 – CPE instalada na sala da gestão disciplinar.

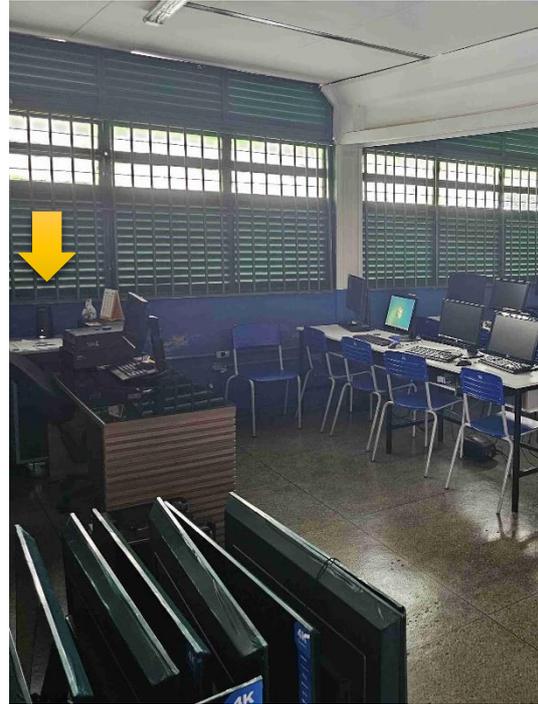


Figura 27 – Extensor 1 instalado no laboratório de informática.

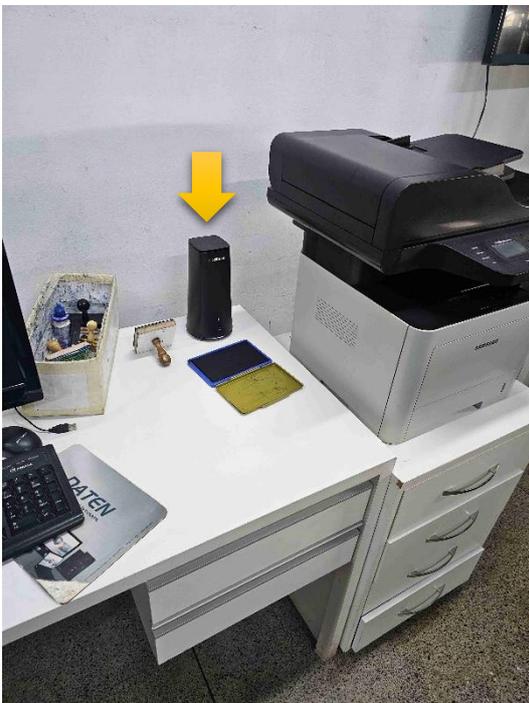


Figura 28 – Extensor 2 instalado na secretaria.



Figura 29 – Vista das dependências da escola (Pátio).

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

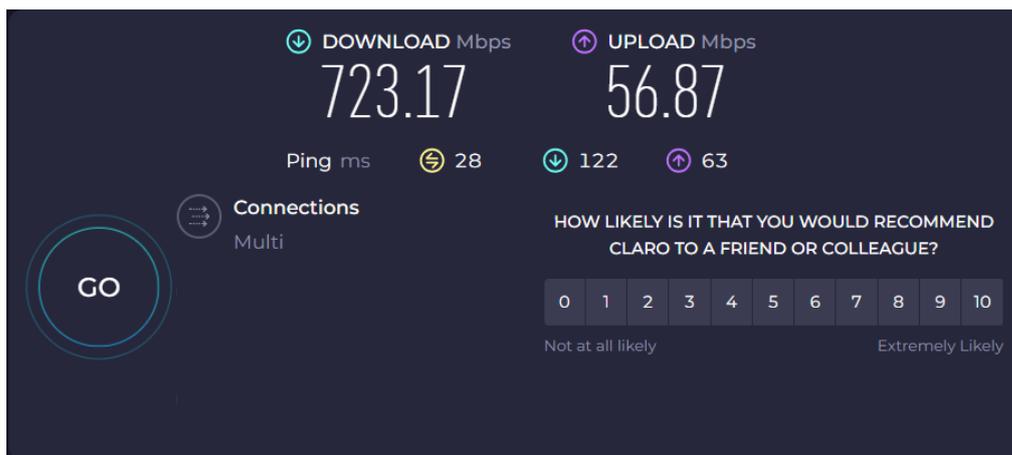


Figura 30 – Teste de velocidade realizado no CPE na sala de gestão disciplinar.

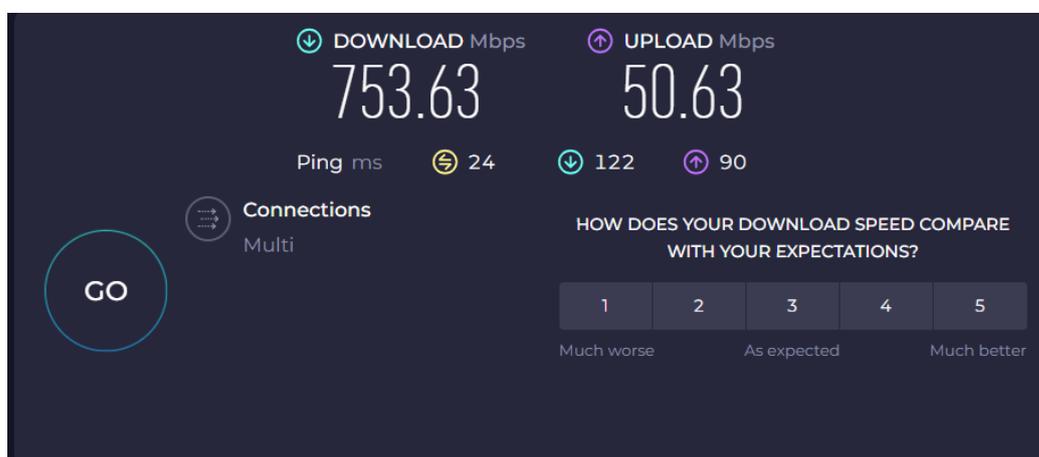


Figura 31 – Teste de velocidade realizado no Extensor 1 no laboratório de informática.

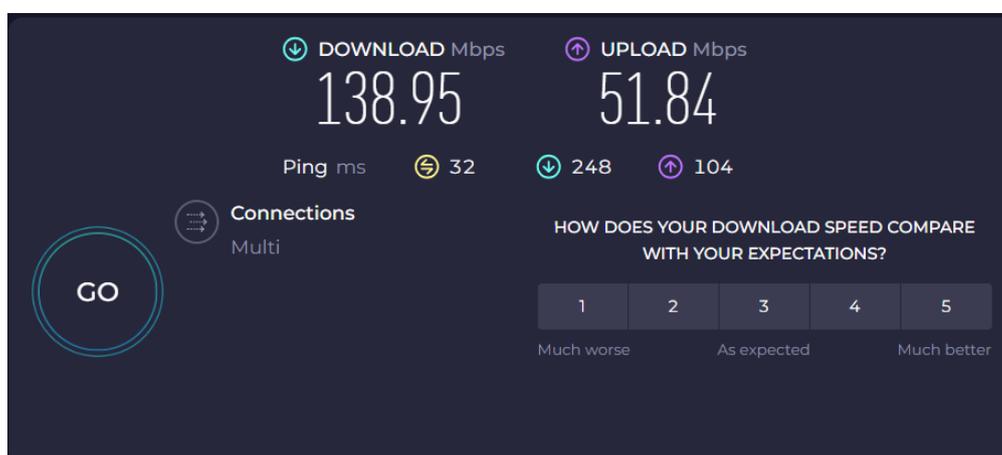


Figura 32 – Teste de velocidade realizado no Extensor 2 na secretaria.

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

6.1.5 Escola E



Figura 33 – CPE instalada na secretaria.



Figura 34 – Vista das dependências da escola (Pátio).

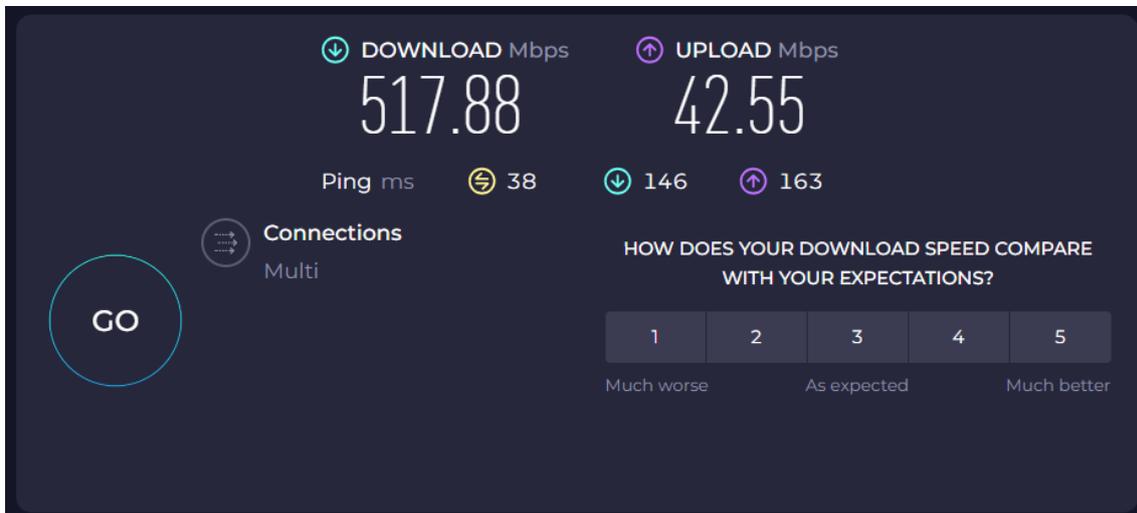


Figura 35 – Teste de velocidade realizado no CPE na secretaria.

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

6.1.6 Escola F



Figura 36 – CPE instalada na sala de apoio especializado.



Figura 37 – Extensor 1 instalado no laboratório de informática.



Figura 38 – Extensor 2 instalado na sala de serviço especializado (cabeado).



Figura 39 – Vista das dependências da escola (Pátio).

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

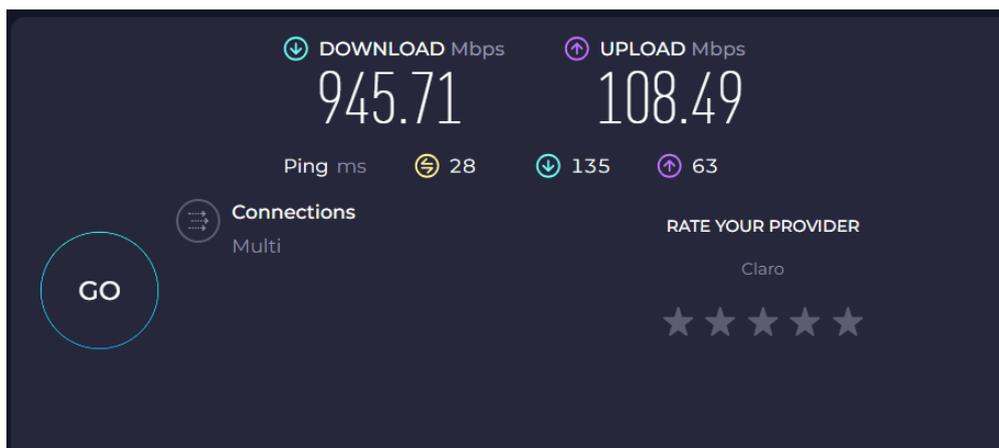


Figura 40 – Teste de velocidade realizado no CPE na sala Apoio Especializado.

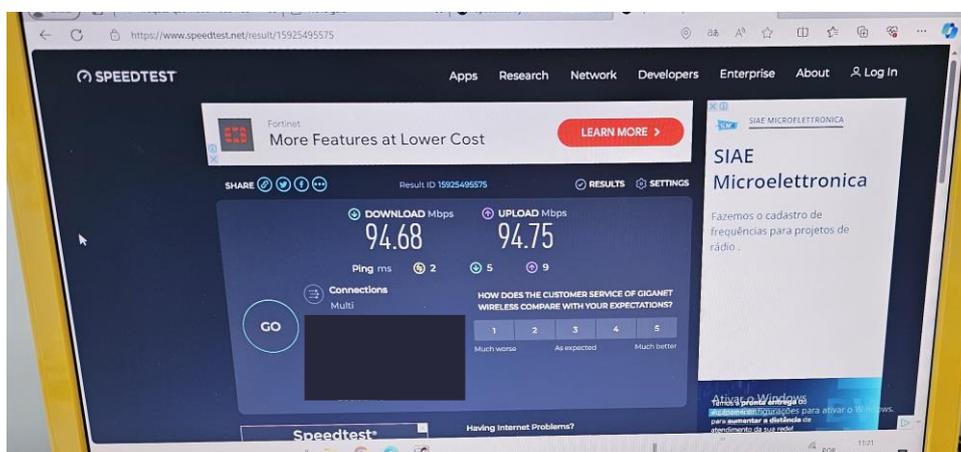


Figura 41 – Teste de velocidade realizado no Extensor 1 no laboratório de informática.

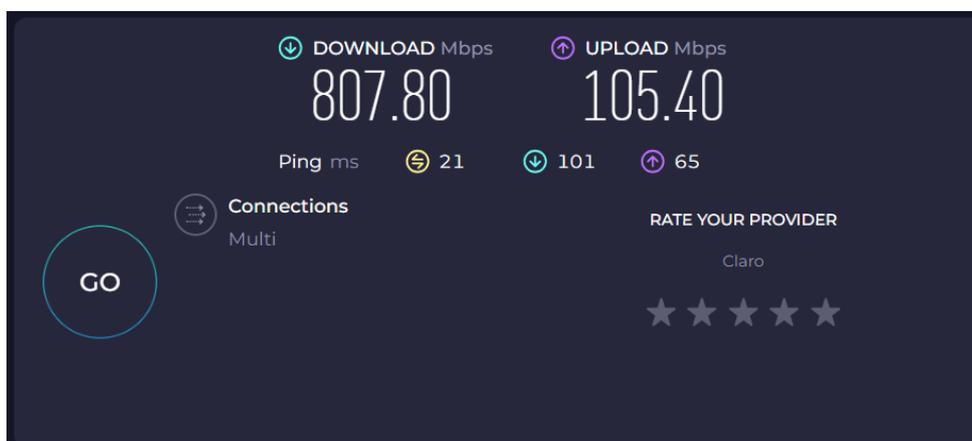


Figura 42 – Teste de velocidade realizado no Extensor 2 cabado sala de serviço especializado.

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

6.2 Monitoramento das métricas de desempenho

Conforme mencionado no item 0, para monitorar a utilização e acompanhar as principais métricas da rede, o CPQD desenvolveu um ambiente de monitoração baseado no protocolo de gerência TR-069 o qual é suportado pelo equipamento CPE 5G FWA, modelo GX300 da Intelbras.

A plataforma ACS (GenieACS) utilizada pelo CPQD organiza e lista os dispositivos gerenciados de acordo com seus números de série, como demonstrado na Figura 2. Para facilitar a visualização do número serial do equipamento correspondente a cada escola, foi elaborada a Tabela 2.



Figura 43 – Listagem de dispositivos gerenciados pela plataforma ACS.

Tabela 2 – Escolas versus número serial do equipamento gerenciado.

<i>Escolas</i>	<i>Número Serial do Equipamento CPE 5G FWA</i>
<i>Escola A</i>	Z8DL0708051L9
<i>Escola B</i>	Z8DL0707949HC
<i>Escola C</i>	Z8DL0707699BW
<i>Escola D</i>	Z8DL0708183XJ
<i>Escola E</i>	Z8DL07057453Y
<i>Escola F⁵</i>	Z8DK3701137YL

⁵ Devido a problemas técnicos identificados no equipamento CPE 5G FWA da Escola F durante a instalação, foi solicitada a sua substituição junto ao fabricante. Um novo equipamento foi enviado e entrou em operação em 02/04/2024, resultando em um menor período de análise em relação aos demais.

Para uma melhor compreensão do fluxo das informações de gerência, o dispositivo gerenciado CPE 5G FWA (somente o gateway, extensores não são gerenciáveis via protocolo TR-069) envia via Internet dados com uma periodicidade de 10 segundos para o servidor ACS hospedado no CPQD através do agente TR-069 (cliente ACS). Esses dados são posteriormente armazenados em um banco de dados (InfluxDB) e podem ser acessados por meio da ferramenta Grafana para visualização.

Dependendo do intervalo de visualização dos itens monitorados via Grafana, esses dados podem ser agregados em intervalos de tempo, podendo resultar na perda de detalhes e na diminuição da precisão dos dados apresentados. Para contornar esta limitação, a ferramenta Power BI foi integrada à base de dados InfluxDB, permitindo a visualização dos dados de desempenho no *dashboard* criado para esta finalidade.

As imagens produzidas pelo Power BI nas figuras apresentadas a seguir foram processadas para combinar o tráfego das redes Wi-Fi 2,4GHz e 5GHz, visando avaliar o tráfego orgânico de cada escola. Isso foi necessário, pois o tráfego medido na interface celular inclui tanto o tráfego de *Speedtest* empregado para monitoramento do enlace 5G quanto o tráfego regular da rede. No entanto, é importante ressaltar que esse tráfego corresponde ao equipamento gateway CPE 5G FWA, e não inclui o tráfego dos extensores. Adicionalmente, é possível observar o gráfico de usuários conectados ao longo do tempo, neste caso, incluem informações tanto do CPE quanto extensores, juntamente com a informação do número máximo de usuários conectados durante todo o período de observação apresentado no gráfico.

Para quantificar o uso de dados dos usuários conectados via Wi-Fi, foi elaborada uma tabela com faixas de consumo considerando somente as informações relacionadas ao download, e a suas respectivas porcentagens. As faixas de consumo consideradas na análise podem ser verificadas na tabela a seguir:

Tabela 3 – Valores por faixas de consumo.

Valores	Faixas de consumo (Download)
0 Mbps	-
1 Mbps	Entre 0 e 1 Mbps
10 Mbps	Entre 1 e 10 Mbps
20 Mbps	Entre 10 e 20 Mbps
30 Mbps	Entre 20 e 30 Mbps
50 Mbps	Entre 30 e 50 Mbps
50+ Mbps	Acima de 50 Mbps

O período de análise das métricas de desempenho compreendeu o intervalo de 27/02/2024 a 11/04/2024, exceto a Escola F, que iniciou em 02/04/2024 devido a falha do equipamento originalmente instalado.

6.2.1 Escola A

A escola apresenta um perfil de consumo abrangente ao longo do dia, considerando aulas nos períodos matutino, vespertino e noturno, iniciando às 07:00 e encerrando às 23:00.

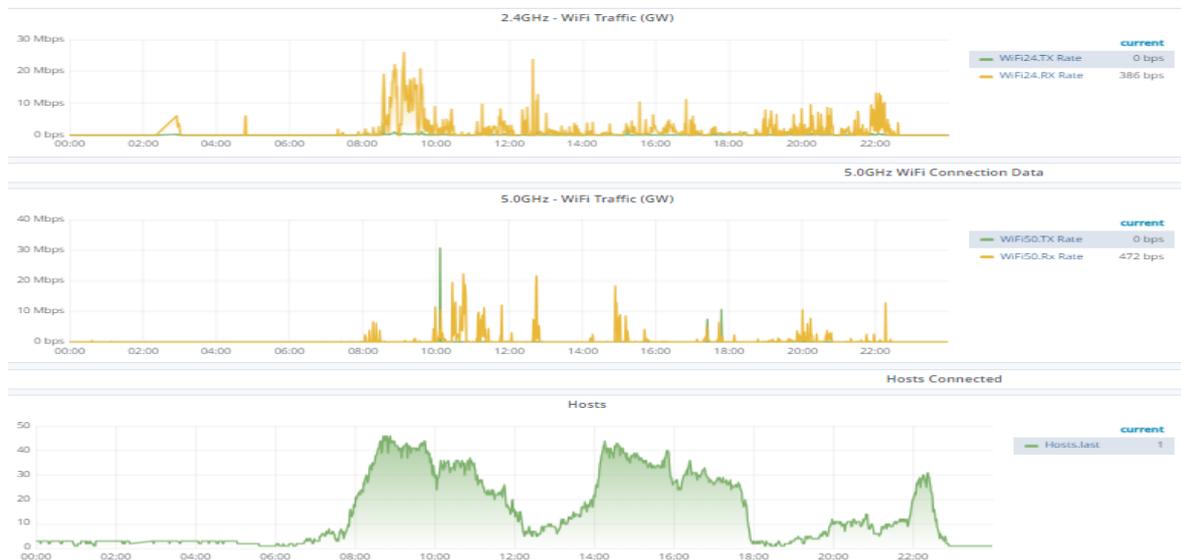


Figura 44 – Métricas de desempenho durante 24 horas – Ferramenta Grafana.

Cerca de 99,91% do uso de dados dos usuários conectados via Wi-Fi ficou na faixa de até 20 Mbps com um pico de 58 usuários conectados simultaneamente em um determinado momento.

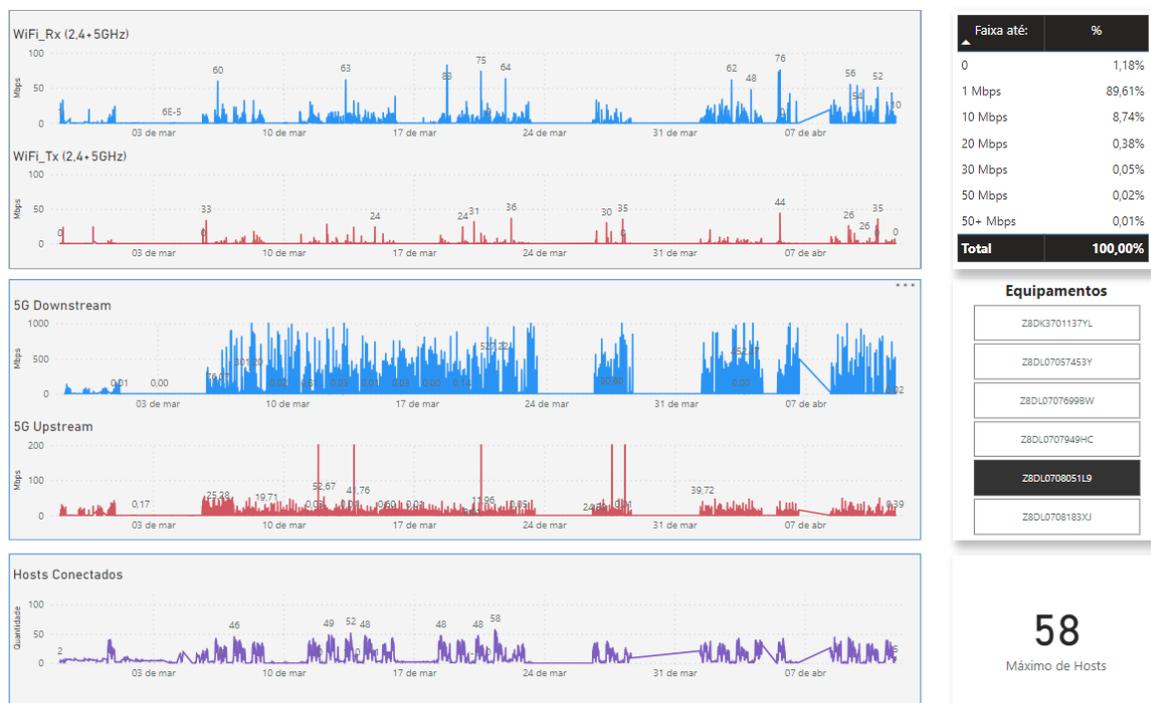


Figura 45 – Métricas de desempenho da Escola A 27/02/2024 a 11/04/2024 – Ferramenta Power BI.

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

6.2.2 Escola B

A escola apresenta um perfil de consumo abrangente ao longo do dia, considerando aulas nos períodos matutino, vespertino e noturno, iniciando às 07:00 e encerrando às 23:00. Por solicitação da diretora da escola, o uso da Internet foi permitido apenas para os funcionários da escola.

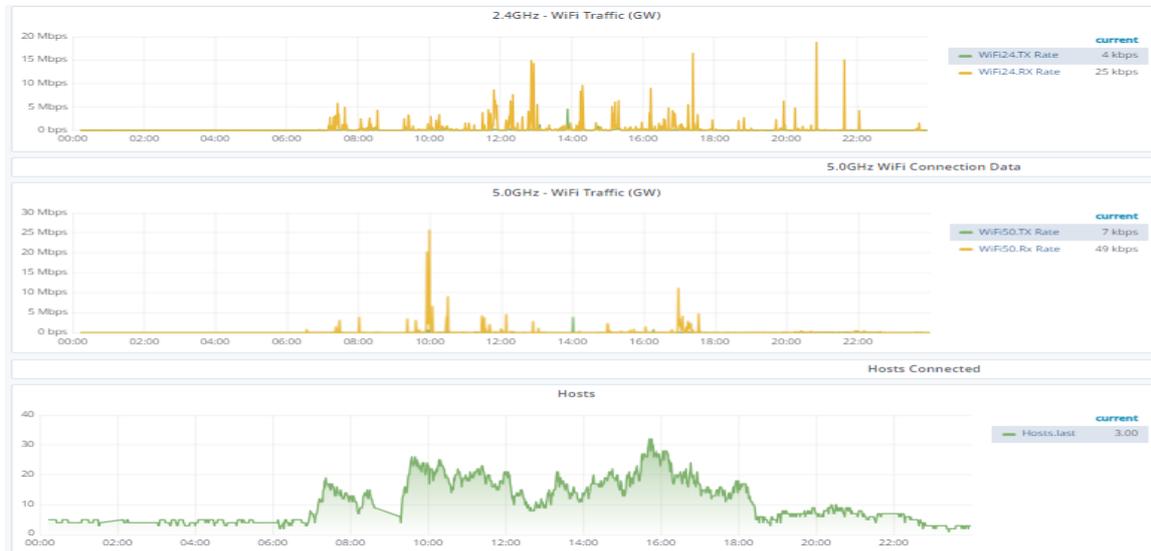


Figura 46 – Métricas de desempenho durante 24 horas – Ferramenta Grafana.

Cerca de 99,78% do uso de dados dos usuários conectados via Wi-Fi ficou na faixa de até 20 Mbps com um pico de 34 usuários conectados simultaneamente em um determinado momento.

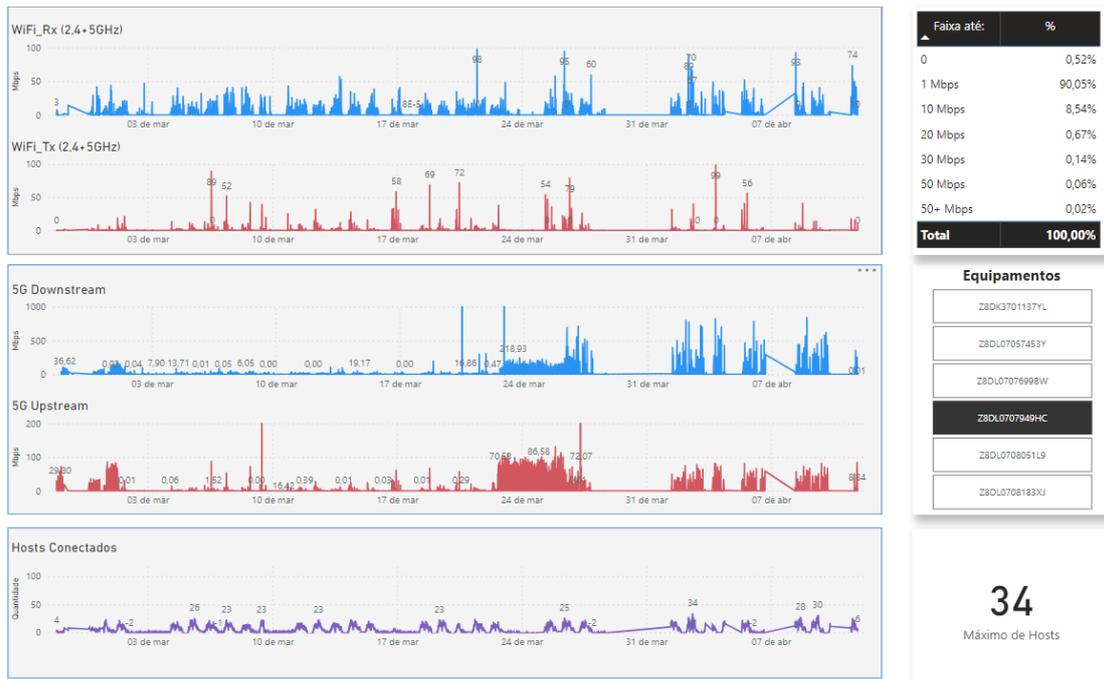


Figura 47 – Métricas de desempenho da Escola B 27/02/2024 a 11/04/2024 – Ferramenta Power BI.

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

6.2.3 Escola C

A escola apresenta um perfil de consumo abrangente ao longo do dia, considerando aulas nos períodos matutino, vespertino e noturno, iniciando às 07:00 e encerrando às 23:00.

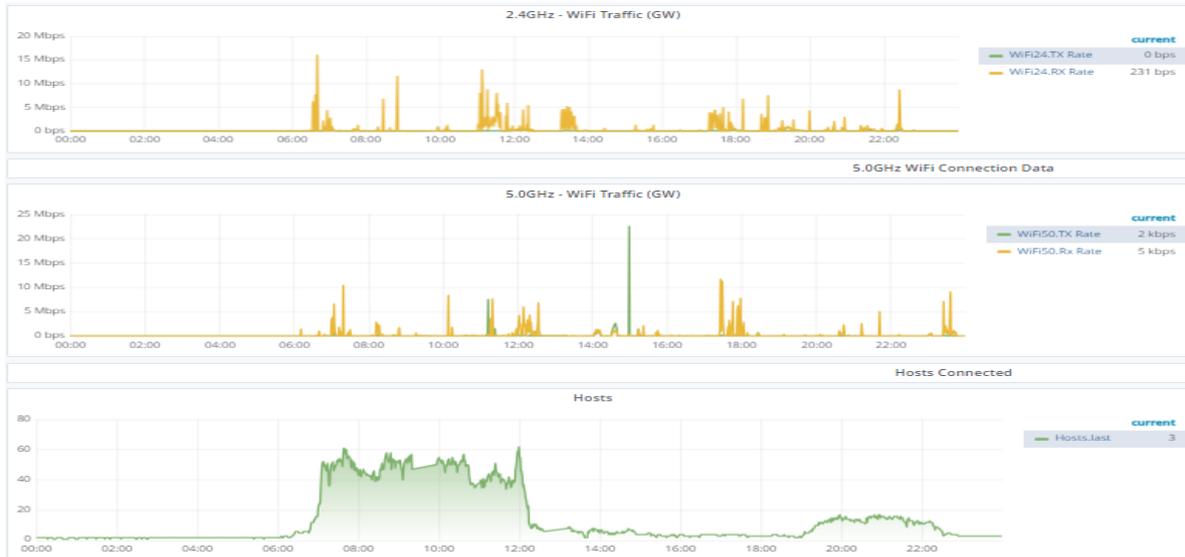


Figura 48 – Métricas de desempenho durante 24 horas – Ferramenta Grafana.

Cerca de 99,89% do uso de dados dos usuários conectados via Wi-Fi ficou na faixa de até 20 Mbps com um pico de 69 usuários conectados simultaneamente em um determinado momento.

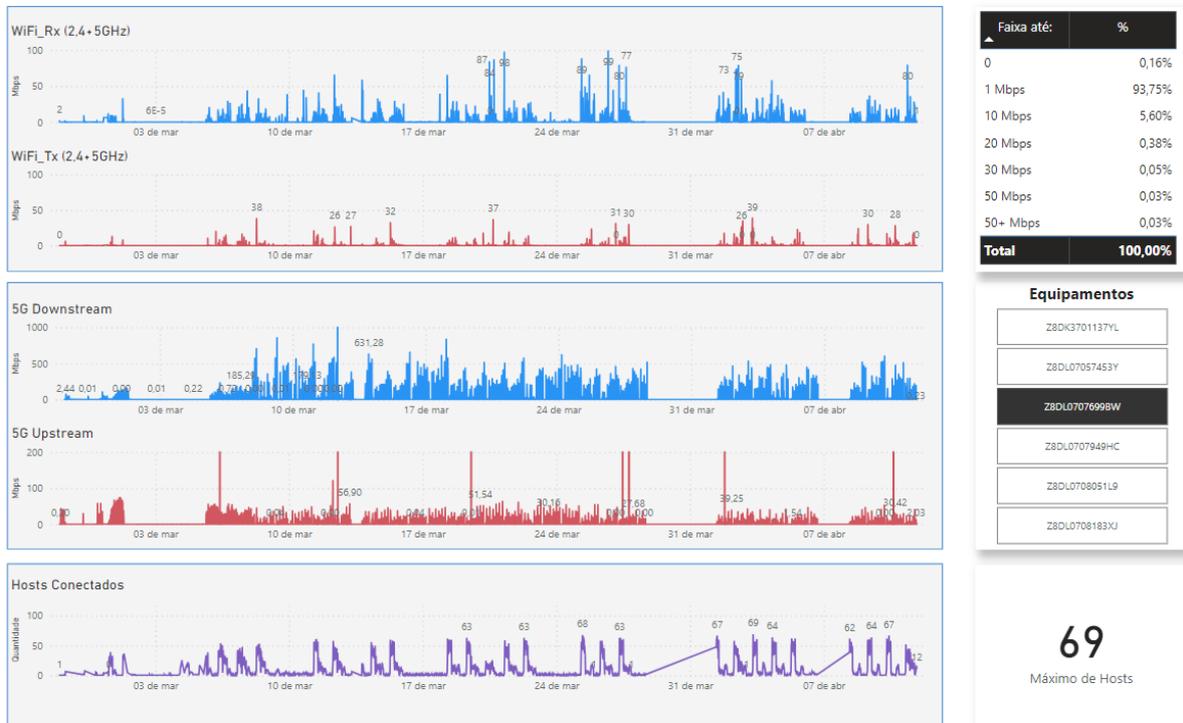


Figura 49 – Métricas de desempenho da Escola C 27/02/2024 a 11/04/2024 – Ferramenta Power BI.

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

6.2.4 Escola D

A escola apresenta um perfil de consumo menos abrangente ao longo do dia, considerando aulas nos períodos matutino e vespertino, iniciando às 07:00 e encerrando às 18:00.

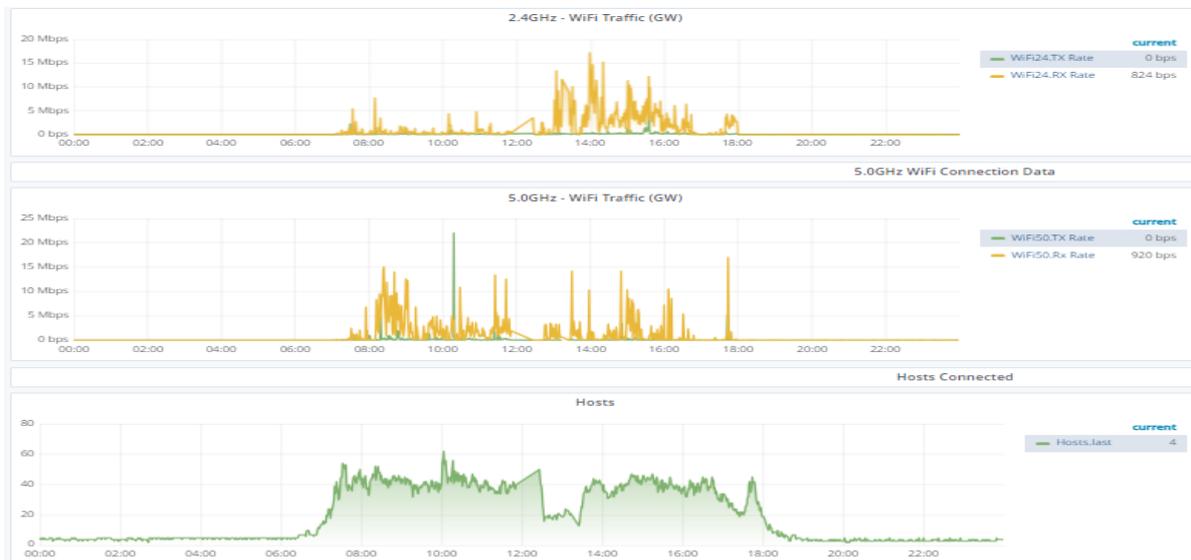


Figura 50 – Métricas de desempenho durante 24 horas – Ferramenta Grafana.

Cerca de 99,91% do uso de dados dos usuários conectados via Wi-Fi ficou na faixa de até 20 Mbps com um pico de 72 usuários conectados simultaneamente em um determinado momento.

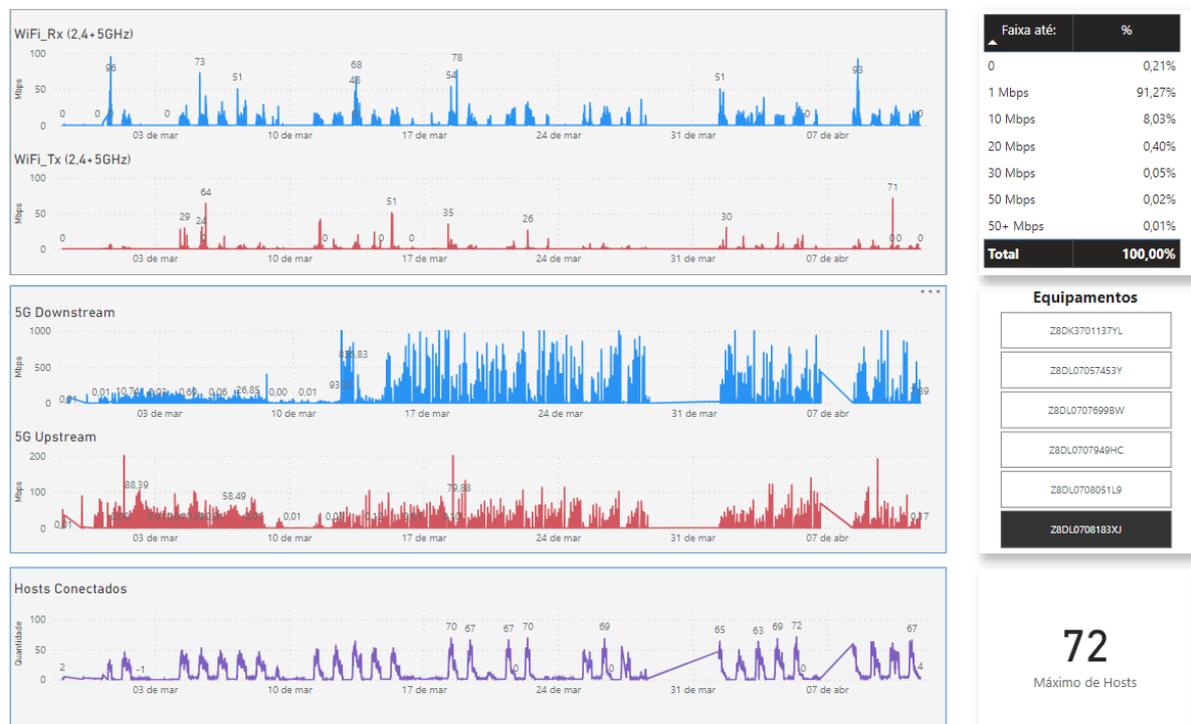


Figura 51 – Métricas de desempenho da Escola D – Ferramenta Power BI.

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

6.2.5 Escola E

A escola apresenta um perfil de consumo abrangente ao longo do dia, considerando aulas nos períodos matutino, vespertino e noturno, iniciando às 07:00 e encerrando às 22:00.

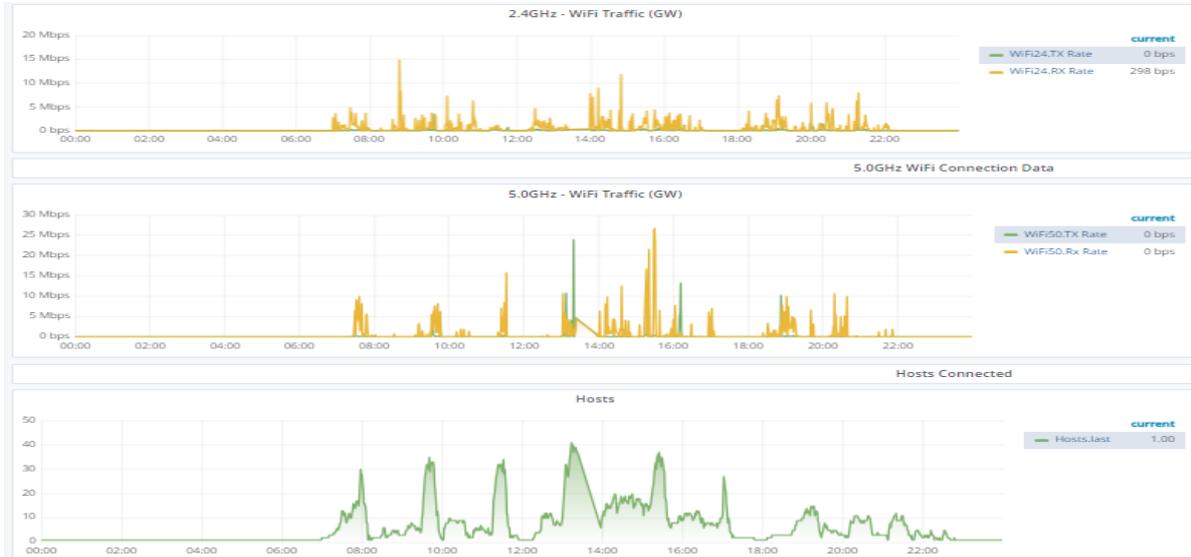


Figura 52 – Métricas de desempenho durante 24 horas – Ferramenta Grafana.

Cerca de 99,9% do uso de dados dos usuários conectados via Wi-Fi ficou na faixa de até 20 Mbps com um pico de 105 usuários conectados simultaneamente em um determinado momento.

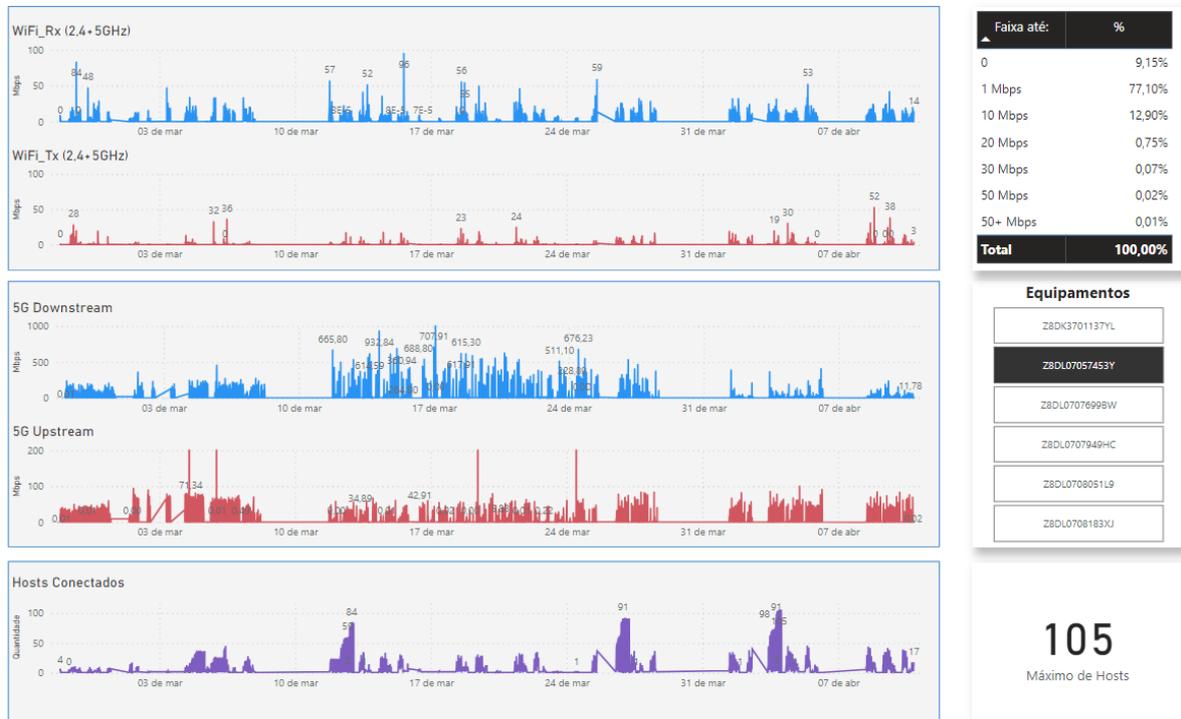


Figura 53 – Métricas de desempenho da Escola E – Ferramenta Power BI.

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

6.2.6 Escola F

A escola apresenta um perfil de consumo menos abrangente ao longo do dia, considerando aulas nos períodos matutino e vespertino, iniciando às 07:00 e encerrando às 18:00. Por solicitação do diretor da escola, o uso da Internet foi permitido apenas para os funcionários da escola.



Figura 54 – Métricas de desempenho durante 24 horas – Ferramenta Grafana.

Cerca de 99,91% do uso de dados dos usuários conectados via Wi-Fi ficou na faixa de até 20 Mbps com um pico de 85 usuários conectados simultaneamente em um determinado momento.

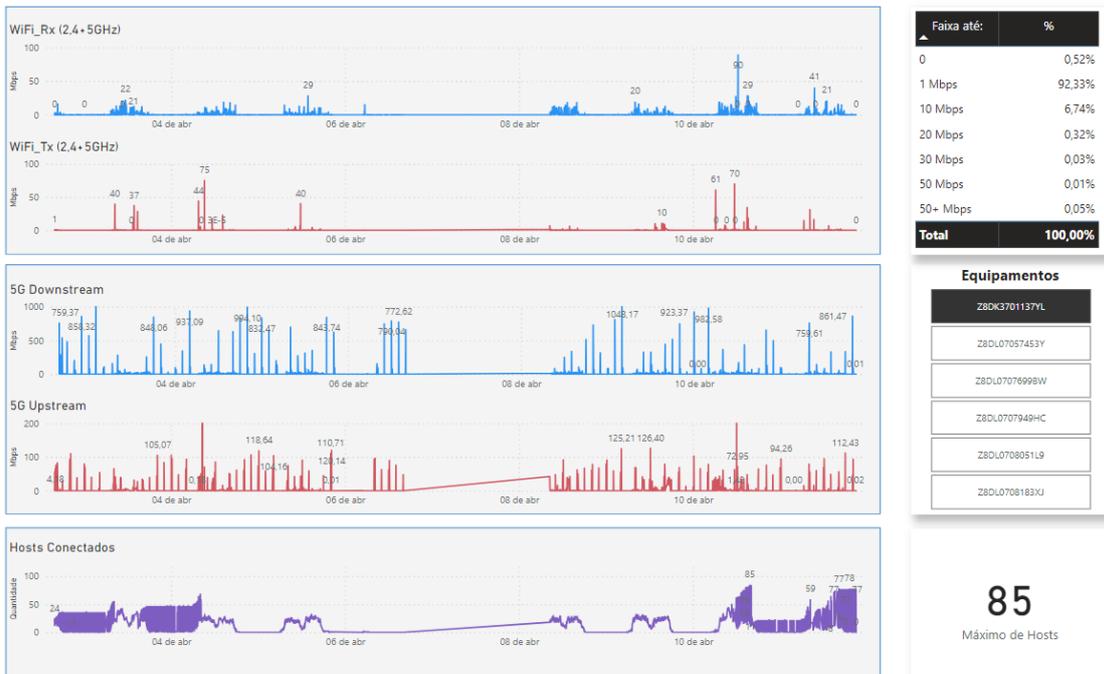


Figura 55 – Métricas de desempenho da Escola F – Ferramenta Power BI.

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

6.2.7 Disponibilidade da rede 5G FWA nas escolas

Uma das métricas-chave previstas para avaliar o desempenho de uma rede 5G FWA é a sua disponibilidade para os usuários das escolas sem interrupções. Isso significa que a rede está prontamente acessível e operacional para fornecer conectividade confiável e de alta velocidade aos alunos, professores e funcionários das instituições de ensino.

Como forma de monitorar a disponibilidade da rede foi utilizado a própria comunicação entre o CPE 5G FWA e o servidor ACS hospedado no CPQD, permitindo uma supervisão contínua e detalhada do estado da rede. A ferramenta Grafana foi adotada para visualizar os dados, com intervalos de análise definidos em 1 hora.

É importante destacar que os eventos que não foram registrados na base de dados devido a quedas de energia ou interrupções da interconexão de rede com o servidor hospedado no CPQD foram excluídos da análise de disponibilidade. Isso assegura que a análise reflita com precisão a verdadeira disponibilidade da rede, excluindo eventos que não foram registrados devido a circunstâncias fora do controle do sistema.

A Figura 56 apresenta, de forma crescente, a indisponibilidade da rede 5G FWA em cada uma das escolas:

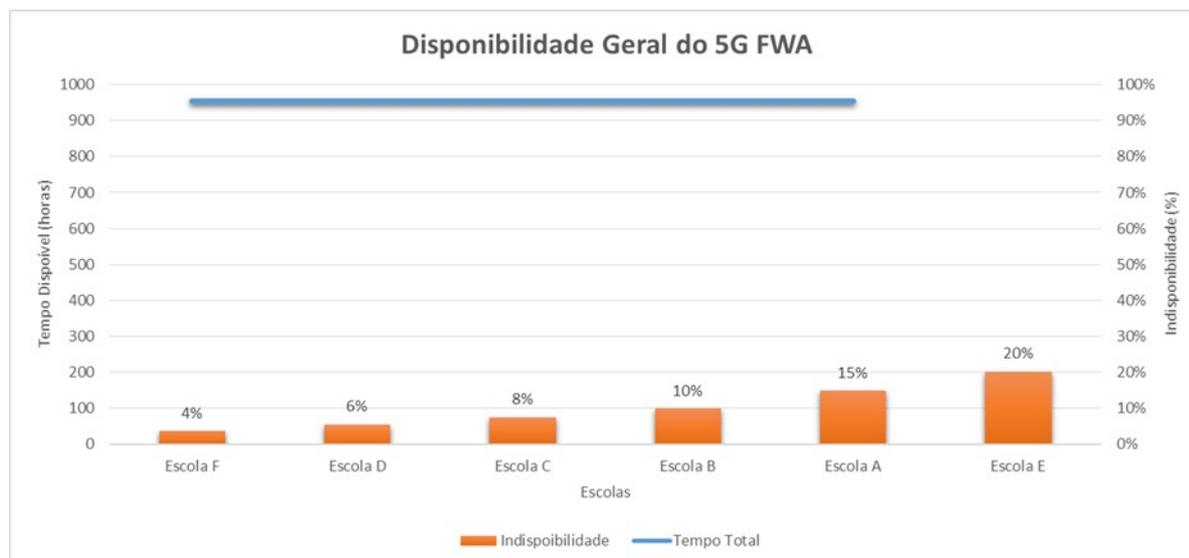


Figura 56 – Indisponibilidade da rede 5G FWA nas escolas.

É importante comentar que a maioria dos eventos que causaram indisponibilidade estão relacionados às condições inadequadas da infraestrutura escolar. A fragilidade da infraestrutura torna as escolas mais suscetíveis a falhas e intervenções humanas, prejudicando a qualidade e confiabilidade da conectividade, resultando em uma percepção negativa por parte dos usuários. Houve situações em que a CPE foi retirada da tomada para uso de outros equipamentos ou mesmo para limpeza, situações em que o disjuntor da sala foi desligado em determinado período, entre outras intercorrências.

Estudos mais detalhados que permitam a captura dessas ocorrências, e até do efeito de chuvas sobre a qualidade/disponibilidade do sinal, podem trazer mais robustez à análise de intercorrências que prejudicam o nível de serviço.

6.3 Testes de *vazão de dados* para análise da qualidade do tráfego 5G nas escolas

Conforme mencionado no item 0, para complementar o ambiente de monitoramento, o CPQD incorporou e disponibilizou um elemento adicional de gerenciamento (mini PC) conectado via porta LAN no CPE 5G FWA para cada uma das seis escolas. Estes dispositivos têm a função de conduzir testes automatizados de *vazão de dados* (*Speedtest* cliente) e latência a cada duas horas e armazenar os resultados localmente, contribuindo para a análise da qualidade do tráfego 5G.

A seguir, serão apresentados os resultados dos testes automatizados de *vazão de dados* para análise da qualidade do tráfego 5G nas escolas, considerando os resultados da ferramenta *Speedtest*. É importante mencionar que nas Escolas A e C, devido a problemas na gravação do arquivo de logs, o número de amostras são relativamente menores.

Serão apresentados também gráficos que mostram a distribuição do tráfego por faixa de *vazão de dados*, com a porcentagem de eventos em cada faixa. Esses gráficos permitem uma visualização clara de como o tráfego está distribuído entre diferentes intervalos de *vazão de dados*. Além disso, os valores acumulados entre as faixas são exibidos, permitindo ver o percentual total de eventos que ocorrem até determinada faixa. Esse tipo de gráfico é útil para identificar rapidamente onde a maioria dos eventos de tráfego está concentrada e facilita a compreensão de como as diferentes faixas de *vazão de dados* contribuem para o uso total da rede, proporcionando uma visão detalhada e cumulativa dos padrões de tráfego.

6.3.1 Escola A

Durante o período de análise da Escola A, observa-se que o tráfego médio de *download* foi em torno de 514 Mbps, o tráfego médio de *upload* foi de aproximadamente 35 Mbps e a latência média da rede (sem tráfego) foi de aproximadamente 37ms. Além disso, foi registrado picos de performance, onde o *download* atingiu cerca de 890 Mbps e o *upload* alcançou aproximadamente 50 Mbps.



Figura 57 – Testes de vazão de dados para análise da qualidade do tráfego 5G na Escola A.

No gráfico da Figura 58, é possível observar que as faixas de vazão de dados de 600-800 Mbps e 800-1000 Mbps concentram a maior quantidade de eventos, representando 38% e 25% do total das amostras, respectivamente.

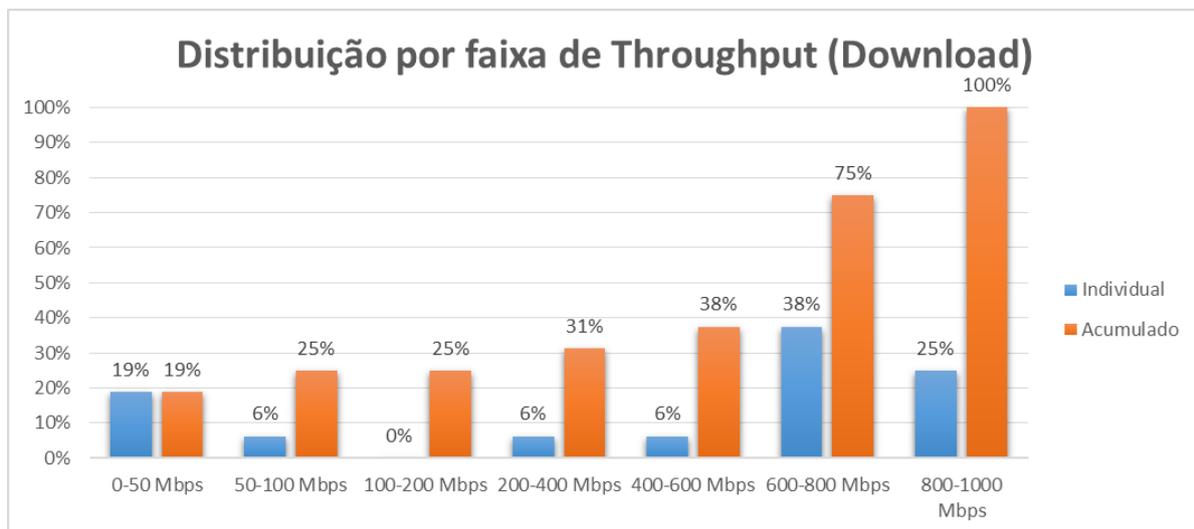


Figura 58 – Distribuição por faixa de vazão de dados na Escola A.

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

6.3.2 Escola B

Durante o período de análise da Escola B, observa-se que o tráfego médio de *download* foi em torno de 520 Mbps, o tráfego médio de *upload* foi de aproximadamente 60 Mbps e a latência média da rede (sem tráfego) foi de aproximadamente 20ms. Além disso, foi registrado picos de performance, onde o *download* atingiu cerca de 754 Mbps e o *upload* alcançou aproximadamente 76 Mbps.

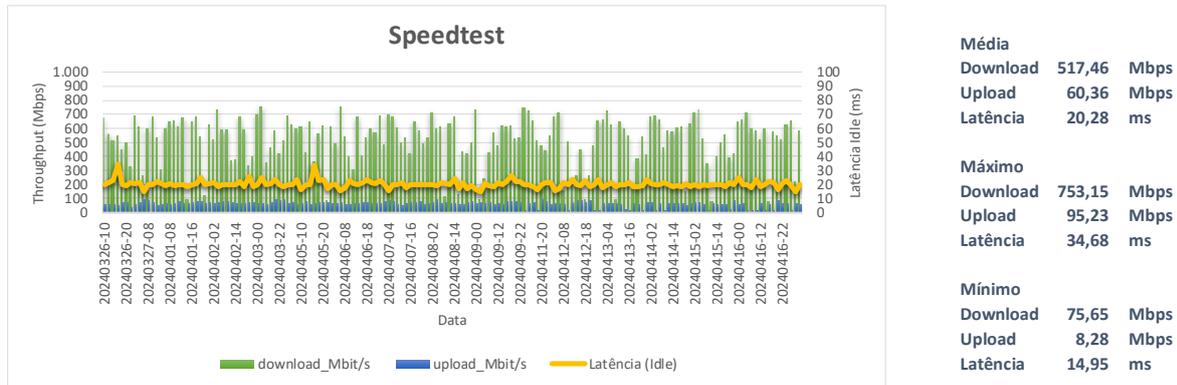


Figura 59 – Testes de vazão de dados para análise da qualidade do tráfego 5G na Escola B.

No gráfico da Figura 60, é possível observar que as faixas de vazão de dados de 400-600 Mbps e 600-800 Mbps concentram a maior quantidade de eventos, representando 44% e 37% do total das amostras, respectivamente.

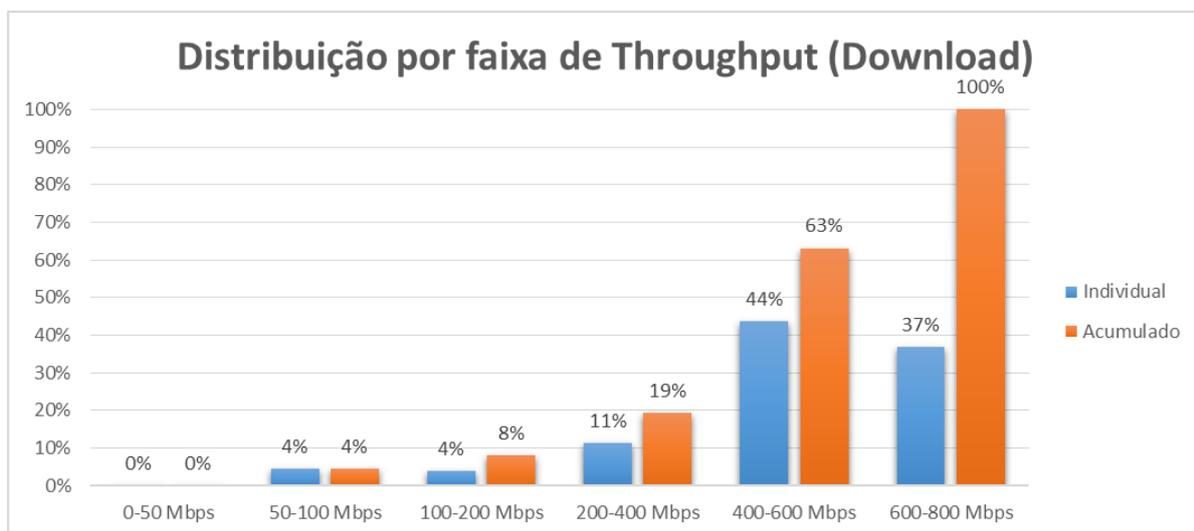


Figura 60 – Distribuição por faixa de vazão de dados na Escola B.

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

6.3.3 Escola C

Durante o período de análise da Escola C, observa-se que o tráfego médio de *download* foi em torno de 505 Mbps, o tráfego médio de *upload* foi de aproximadamente 35 Mbps e a latência média da rede (sem tráfego) foi de aproximadamente 36ms. Além disso, foi registrado picos de performance, onde o *download* atingiu cerca de 590 Mbps e o *upload* alcançou aproximadamente 49 Mbps.



Figura 61 – Testes de vazão de dados para análise da qualidade do tráfego 5G na Escola C.

No gráfico da Figura 62, é possível observar que a faixa de vazão de dados de 400-600 Mbps concentrou a maior quantidade de eventos, representando 83% do total das amostras, respectivamente.

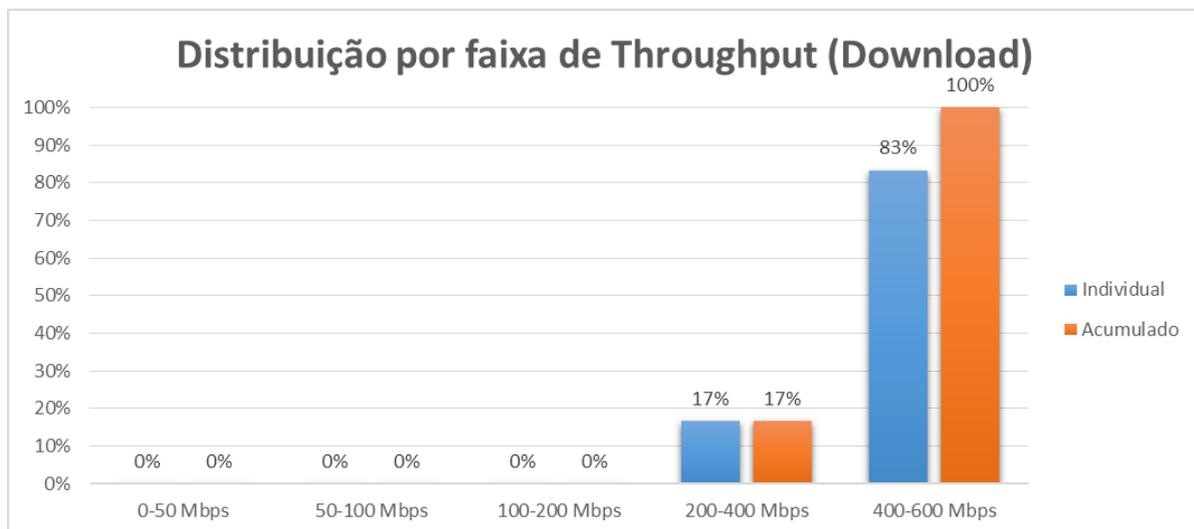


Figura 62 – Distribuição por faixa de vazão de dados na Escola C.

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

6.3.4 Escola D

Durante o período de análise da Escola D, observa-se que o tráfego médio de *download* foi em torno de 578 Mbps, o tráfego médio de *upload* foi de aproximadamente 67 Mbps e a latência média da rede (sem tráfego) foi de aproximadamente 21ms. Além disso, foi registrado picos de performance, onde o *download* atingiu cerca de 860 Mbps e o *upload* alcançou aproximadamente 135 Mbps.

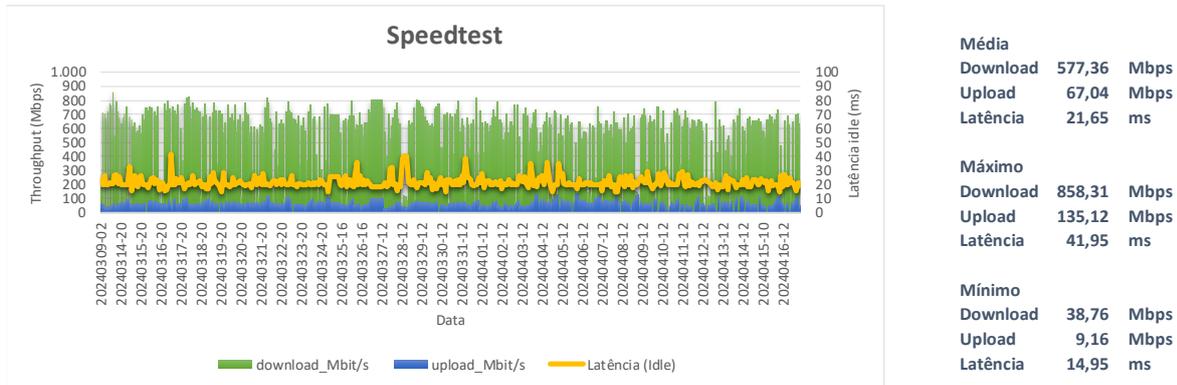


Figura 63 – Testes de vazão de dados para análise da qualidade do tráfego 5G na Escola D.

No gráfico da Figura 64, é possível observar que a faixa de vazão de dados de 600-800 Mbps concentrou a maior quantidade de eventos, representando 63% do total das amostras, respectivamente.

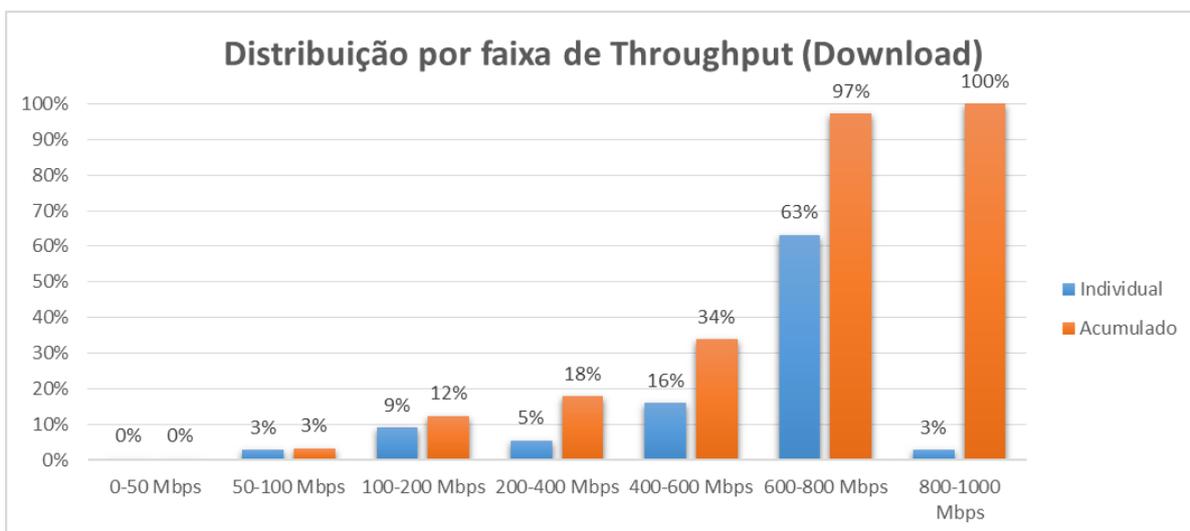


Figura 64 – Distribuição por faixa de vazão de dados na Escola D.

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

6.3.5 Escola E

Durante o período de análise da Escola E, observa-se que o tráfego médio de *download* foi em torno de 480 Mbps, o tráfego médio de *upload* foi de aproximadamente 47 Mbps e a latência média da rede (sem tráfego) foi de aproximadamente 43ms. Além disso, foi registrado picos de performance, onde o *download* atingiu cerca de 750 Mbps e o *upload* alcançou aproximadamente 61 Mbps.

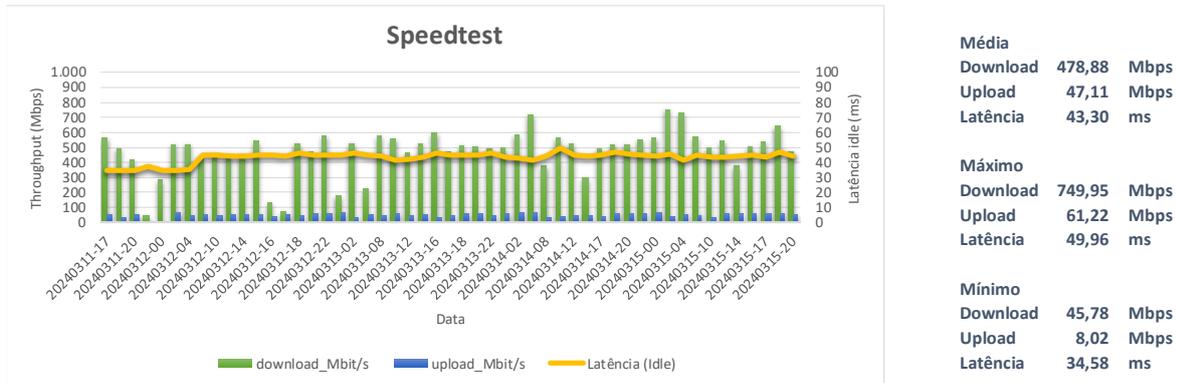


Figura 65 – Testes de vazão de dados para análise da qualidade do tráfego 5G na Escola E.

No gráfico da Figura 66, é possível observar que a faixa de vazão de dados de 400-600 Mbps concentrou a maior quantidade de eventos, representando 75% do total das amostras, respectivamente.

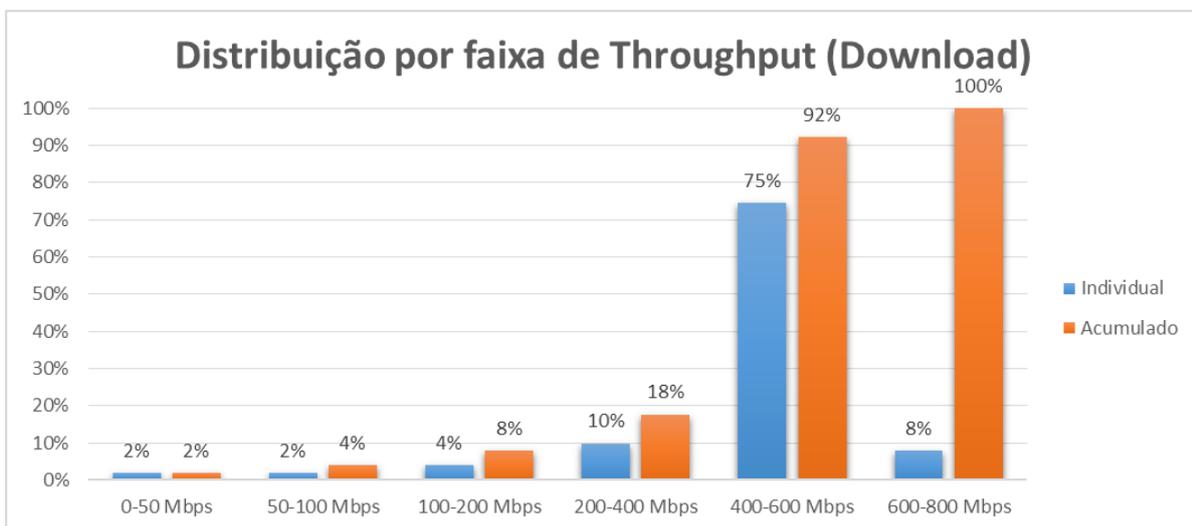


Figura 66 – Distribuição por faixa de vazão de dados na Escola E.

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

6.3.6 Escola F

Durante o período de análise da Escola F, observa-se que o tráfego médio de *download* foi em torno de 626 Mbps, o tráfego médio de *upload* foi de aproximadamente 99 Mbps e a latência média da rede (sem tráfego) foi de aproximadamente 21ms. Além disso, foi registrado picos de performance, onde o *download* atingiu cerca de 912 Mbps e o *upload* alcançou aproximadamente 141 Mbps.

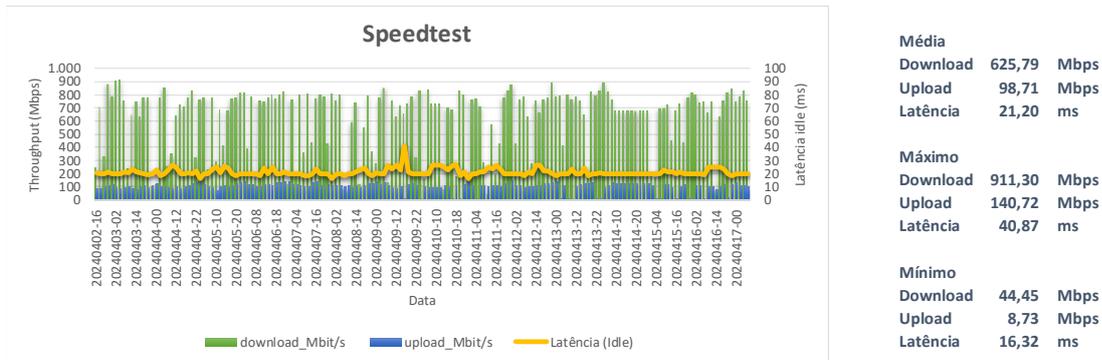


Figura 67 – Testes de vazão de dados para análise da qualidade do tráfego 5G na Escola F.

No gráfico da Figura 68, é possível observar que as faixas de vazão de dados de 600-800 Mbps e 800-1000 Mbps concentram a maior quantidade de eventos, representando 54% e 19% do total das amostras, respectivamente.

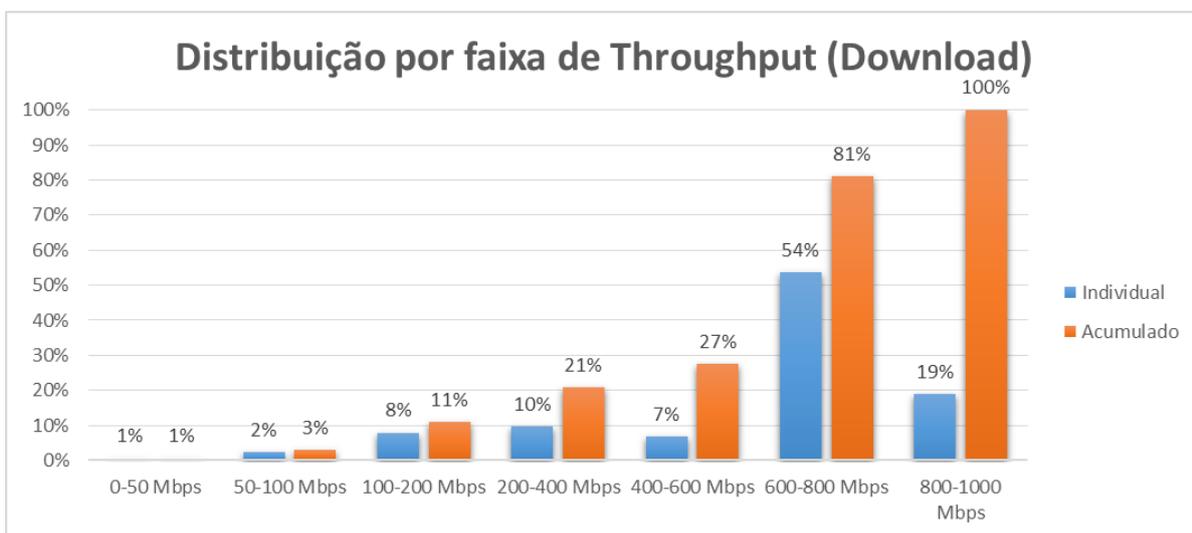


Figura 68 – Distribuição por faixa de vazão de dados na Escola F.

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

6.3.7 Análise dos eventos com baixa vazão de dados

Além de analisar a distribuição do tráfego por faixa de vazão de dados como mencionado anteriormente, uma análise mais detalhada das amostras com vazão de dados mais baixas (entre 0-50 Mbps e 50-100 Mbps) revela informações importantes sobre o comportamento das redes móveis. Observa-se que a maioria dessas amostras ocorre em horários específicos, indicando possíveis sobrecargas na rede.

Os eventos nas faixas mencionadas são mais frequentes entre 11h e 13h, assim como entre 17h e 19h. Esses horários coincidem com o fim das aulas (manhã e tarde) e também com o fim do expediente de trabalho (tarde), momentos em que há um aumento significativo no acesso simultâneo à rede.

No lado esquerdo da Figura 69, é possível observar os horários mais impactados, com mais amostras de baixa vazão de dados. No centro, é indicada quais escolas são mais afetadas nesses horários críticos. À direita, a escola com a maior quantidade de amostras de baixa vazão de dados. No total, foram analisadas 816 amostras de todas as escolas, com 32 amostras apresentando vazão de dados entre 0-50 Mbps e 50-100 Mbps.

Horário	50Mbps	100Mbps	Total de Eventos
02:00:00	1	3	4
04:00:00	0	3	3
08:00:00	0	2	2
10:00:00	1	2	3
12:00:00	2	4	6
14:00:00	0	3	3
16:00:00	0	3	3
18:00:00	2	3	5
20:00:00	0	1	1
22:00:00	1	1	2
Total de Eventos	7	25	32

Taxa	Eventos
50Mbps	7
100Mbps	25
Total de Eventos	32

Escola	Amostras
Escola A	16
Escola B	160
Escola C	6
Escola D	419
Escola E	51
Escola F	164
Total de Amostras	816

Horário	50Mbps	100Mbps	Total de Eventos
02:00:00	1	3	4
Escola B	0	1	1
Escola A	1	0	1
Escola D	0	2	2
04:00:00	0	3	3
Escola D	0	3	3
08:00:00	0	2	2
Escola F	0	1	1
Escola D	0	1	1
10:00:00	1	2	3
Escola B	0	1	1
Escola A	1	0	1
Escola F	0	1	1
12:00:00	2	4	6
Escola B	0	1	1
Escola A	1	0	1
Escola F	1	1	2
Escola D	0	2	2
14:00:00	0	3	3
Escola B	0	1	1
Escola F	0	1	1
Escola D	0	1	1
16:00:00	0	3	3
Escola B	0	1	1
Escola A	0	1	1
Escola D	0	1	1
18:00:00	2	3	5
Escola B	0	1	1
Escola E	0	1	1
Escola D	2	1	3
20:00:00	0	1	1
Escola D	0	1	1
22:00:00	1	1	2
Escola B	0	1	1
Escola E	1	0	1
Total de Eventos	7	25	32

Horário	50Mbps	100Mbps	Total de Eventos
Escola B	0	7	7
02:00:00	0	1	1
10:00:00	0	1	1
12:00:00	0	1	1
14:00:00	0	1	1
16:00:00	0	1	1
18:00:00	0	1	1
22:00:00	0	1	1
Escola A	3	1	4
02:00:00	1	0	1
10:00:00	1	0	1
12:00:00	1	0	1
16:00:00	0	1	1
Escola E	1	1	2
18:00:00	0	1	1
22:00:00	1	0	1
Escola F	1	4	5
08:00:00	0	1	1
10:00:00	0	1	1
12:00:00	1	1	2
14:00:00	0	1	1
Escola D	2	12	14
02:00:00	0	2	2
04:00:00	0	3	3
08:00:00	0	1	1
12:00:00	0	2	2
14:00:00	0	1	1
16:00:00	0	1	1
18:00:00	2	1	3
20:00:00	0	1	1
Total de Eventos	7	25	32

Figura 69 – Análise dos eventos com baixa vazão de dados

7 Lições Aprendidas

A seguir são apresentadas as principais dificuldades encontradas durante a condução dos testes. Essas experiências podem fornecer informações fundamentais para orientar futuras implementações de tecnologia 5G FWA em ambientes educacionais e ajudar a garantir o sucesso desse projeto.

- a) **Potencialidade da tecnologia subutilizada:** As informações iniciais indicam que as escolas não estão aproveitando plenamente o potencial da tecnologia 5G FWA. Isso pode ser atribuído a uma falta de conhecimento sobre as capacidades da tecnologia, ao engajamento dos responsáveis pela gestão escolar ou à falta de treinamento adequado para utilizar os recursos disponíveis.
- b) **Condições inadequadas da infraestrutura escolar:** A infraestrutura física das escolas revelou-se inicialmente um desafio para suportar a implementação da tecnologia 5G FWA de forma robusta e resiliente. Locais apropriados para instalação, disponibilidade ininterrupta de energia, intervenções humanas não apropriadas, prejudicam a qualidade e confiabilidade da conectividade, podendo resultar em uma percepção negativa por parte dos usuários.
- c) **Gestão de incidentes:** Durante o período de testes, ocorreu uma falha no equipamento da Escola F, resultando em uma interrupção na conectividade. No entanto, a rede Wi-Fi permaneceu ativa, o que pode ter dado a impressão de que a Internet não estava disponível para os usuários. Isso destaca a importância de uma gestão eficaz de incidentes e comunicação transparente com os usuários durante situações de falha.
- d) **Técnicos especializados e instrumental adequado:** A instalação e configuração da rede 5G FWA exigem conhecimentos técnicos especializados e instrumental adequado. A presença de técnicos qualificados foi fundamental para garantir uma instalação eficiente e uma configuração correta da rede, isso ajudou a reduzir o risco de problemas operacionais e a otimizar o desempenho da rede.
- e) **Visibilidade das ERBs próximas:** Uma melhor compreensão da localização e da distribuição das Estações Rádio Base (ERBs) próximas para cada escola, facilitaria as atividades de *Site Survey*, garantindo uma maior agilidade e eficiência nas instalações dos equipamentos. Considerando uma implantação em larga escala é fundamental que as empresas operadoras forneçam essas informações atualizadas.
- f) **Necessidade de equipe de suporte local:** A presença de uma equipe de suporte local é necessária para garantir uma resposta rápida a problemas técnicos e para fornecer suporte adequado aos usuários finais. A falta de uma equipe de suporte local pode resultar em atrasos na resolução de problemas e em uma experiência negativa para os usuários.
- g) **Necessidade de estabelecimento de um NOC (Centro de Operações de Rede):** Considerando uma implantação em larga escala, a implementação de um NOC (Centro de Operações de Rede) pode proporcionar uma gestão centralizada e proativa da infraestrutura de rede. Um NOC bem estruturado pode monitorar continuamente o desempenho da rede, identificar rapidamente problemas e coordenar ações de resolução de problemas, garantindo assim uma operação eficiente e confiável da rede.

8 Conclusões e considerações finais

O presente relatório teve como desafio avaliar de forma geral a viabilidade da tecnologia *Fixed Wireless Access (FWA) 5G* como uma solução alternativa para fornecer conectividade em escolas situadas em áreas onde a instalação de infraestruturas de rede fixa, como cabos coaxiais ou fibra óptica, pode ser inviável ou economicamente desafiadora. Foram selecionadas seis escolas da rede pública do Distrito Federal, abrangendo diferentes regiões socioeconômicas e diferentes distâncias das ERBs das prestadoras participantes, envolvendo cenários diversos que podem representar situações reais.

Os resultados mostram, de modo geral, um consumo médio de cerca de 20 Mbps em 99% do tempo em todas as escolas avaliadas, com picos de tráfego variando entre 30 e 60 Mbps. Além disso, foi observado o pico de usuários ao longo do período analisado, com destaque para as Escolas F e E, que registraram 85 e 105 picos de usuários conectados respectivamente, conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 4 – Consumo típico e picos de usuários conectados.

<i>Escolas</i>	<i>Consumo típico em 99% do tempo</i>	<i>Pico de usuários conectados</i>
<i>Escola A</i>	20 Mbps	58
<i>Escola B</i>	20 Mbps	34
<i>Escola C</i>	20 Mbps	69
<i>Escola D</i>	20 Mbps	72
<i>Escola E</i>	20 Mbps	105
<i>Escola F</i>	20 Mbps	85

Quanto à análise da qualidade do tráfego 5G nas escolas participantes, os resultados obtidos com a ferramenta *Speedtest* ao longo do período analisado e de forma automatizada foram satisfatórios. Os testes revelaram uma *vazão de dados* média de 480 a 580 Mbps de *Downlink* e 35 a 99 Mbps de *Uplink*. Vale ressaltar que a Escola F se destacou com picos de 912 Mbps de *Downlink* e 141 Mbps de *Uplink*,

Tabela 5 – Vazão de dados média e pico (*Downlink/Uplink*) das escolas participantes.

<i>Escolas</i>	<i>Distâncias da ERB (metros)</i>	<i>Vazão de dados média (Downlink/Uplink)</i>	<i>Vazão de dados pico (Downlink/Uplink)</i>	<i>Latência Média (ms)</i>
<i>Escola A</i>	Até 400 m	514Mbps / 35Mbps	890Mbps / 50Mbps	37,32 ms
<i>Escola B</i>	Até 400 m	520Mbps / 60Mbps	754Mbps / 76Mbps	20,28 ms
<i>Escola C</i>	Entre 400 e 600 m	505Mbps / 35Mbps	590Mbps / 39Mbps	36,51 ms
<i>Escola D</i>	Entre 400 e 600 m	578Mbps / 67Mbps	860Mbps / 135Mbps	21,65 ms
<i>Escola E</i>	Entre 600 e 800 m	480Mbps / 47Mbps	750Mbps / 61Mbps	43,30 ms
<i>Escola F</i>	Entre 600 e 800 m	626Mbps / 99Mbps	912Mbps / 141Mbps	21,20 ms

Considerando RESOLUÇÃO CENEC Nº 2, DE 22 DE FEVEREIRO DE 2024 [9], que estabelece os parâmetros de conectividade para fins pedagógicos nos estabelecimentos de ensino da rede pública de educação básica:

“Art. 2º Na conexão à internet realizada por meio de redes terrestres, a velocidade mínima de download recomendada por estabelecimento de ensino é:

I - para estabelecimento com ensino fundamental ou médio:

- a) de 50 Mbps para estabelecimento com até 50 alunos no turno mais movimentado;
- b) igual à quantidade de alunos no turno mais movimentado para estabelecimento com mais de 50 e até 1.000 alunos no turno mais frequentado; e
- c) de 1 Gbps para estabelecimento com mais de 1.000 alunos no turno mais frequentado.

II - para estabelecimento exclusivamente de educação infantil:

- a) de 50 Mbps para estabelecimento com até 50 profissionais da educação; e
- b) igual à quantidade de profissionais da educação para estabelecimento com mais de 50 profissionais da educação.”

Ao ponderar as informações da resolução CENEC mencionada juntamente com o contexto da PoC 5G FWA e o número de alunos durante o turno mais movimentado [10], foram compilados os dados na Tabela 6. Nessa tabela, a partir da vazão de dados de Download médio das escolas obtido com a ferramenta Speedtest ao longo do período analisado sobre a quantidade de alunos no turno mais movimentado, foi gerada a coluna representando a velocidade média entregue por aluno. É possível observar que a Escola A obteve uma média significativa acima do valor estabelecido pelo CENEC, com uma média de 2,35 Mbps por aluno, enquanto a Escola B apresentou a menor média, com 0,74 Mbps por aluno

Tabela 6 – Velocidade média entregue por aluno no turno mais movimentado.

Escolas	Vazão de dados média (Downlink/Uplink)	Vazão de dados de pico (Downlink/Uplink)	Vazão de dados mínima (Downlink/Uplink)	Alunos	Velocidade entregue por aluno (média)
Escola A	514Mbps / 35Mbps	890Mbps / 50Mbps	28Mbps / 4Mbps	219	2,35 Mbps
Escola B	520Mbps / 60Mbps	754Mbps / 76Mbps	76Mbps / 8Mbps	706	0,74 Mbps
Escola C	505Mbps / 35Mbps	590Mbps / 39Mbps	390Mbps / 9Mbps	478	1,06 Mbps
Escola D	578Mbps / 67Mbps	860Mbps / 135Mbps	39Mbps / 9Mbps	656	0,88 Mbps
Escola E	480Mbps / 47Mbps	750Mbps / 61Mbps	46Mbps / 8Mbps	367	1,31 Mbps
Escola F	626Mbps / 99Mbps	912Mbps / 141Mbps	44Mbps / 9Mbps	ND	ND

Com base nos resultados obtidos, nota-se que a tecnologia 5G FWA tem potencial de transformar a conectividade nas escolas, oferecendo uma infraestrutura de rede robusta e eficiente para suportar as demandas crescentes por ensino e aprendizagem online. Recomenda-se a realização de estudos adicionais que abordem, por exemplo, a análise da utilização da Internet nas escolas, a aferição da franquia de dados e a avaliação de escolas mais distantes que 800 metros da ERB, para melhor caracterizar o uso potencial da tecnologia 5G FWA no ambiente escolar e que não compuseram o escopo dos testes realizados.

9 Referência bibliográfica

- [1] TR-069 - CPE WAN Management Protocol (CWMP), <https://www.broadband-forum.org/pdfs/tr-069-1-6-1.pdf>. Último acesso em 15 de abril de 2024.
- [2] Broadband Forum - <https://www.broadband-forum.org/>. Último acesso em 15 de abril de 2024-
- [3] TR-181 - Device:2 Data Model for CWMP Endpoints and USP Agents, <https://cwmp-data-models.broadband-forum.org/#sec:current-data-models>. Último acesso em 15 de abril de 2024.
- [4] GenieACS - <https://genieacs.com/>. Último acesso em 15 de abril de 2024.
- [5] InfluxDB - <https://www.influxdata.com/get-influxdb/>. Último acesso em 15 de abril de 2024.
- [6] Grafana - <https://grafana.com/>. Último acesso em 15 de abril de 2024.
- [7] Power BI - <https://www.microsoft.com/pt-br/power-platform/products/power-bi> Último acesso em 16 de abril de 2024.
- [8] Speedtest - <https://www.Speedtest.net/pt/apps/cli>. Último acesso em 17 de abril de 2024
- [9] RESOLUÇÃO CENEC Nº 2, DE 22 DE FEVEREIRO DE 2024 - [https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-cenec-n-2-de-22-de-fevereiro-de-2024-546279176/](https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-cenec-n-2-de-22-de-fevereiro-de-2024-546279176) Último acesso em 02 de maio de 2024
- [10] Conectividade nas Escolas – Referência 03/2024 <https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/infraestrutura/conectividade-nas-escolas/> Último acesso em 02 de maio de 2024

10 Histórico de versões deste documento

Data de emissão	Versão	Descrições das alterações realizadas
19/abr/24	A	Versão preliminar do documento
26/abr/24	B	Inclusão do capítulo 6.2.7
02/mai/24	C	Revisão MCOM
16/mai/24	D	Revisão MCOM speedtest e referências
07/jun/24	E	Revisão do item 6.3 e inclusão do item 6.3.7
14/jun/24	F	Anonimização das escolas e melhorias de texto
26/jun/24	G	Melhorias de texto nos capítulos 4 e 8
20/set/24	H	Atualização do capítulo 3 e informações de rodapé

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

11 Execução e aprovação

Executado por:

Flavia Martinho Ferreira Rocha
Rodolfo de Sousa Costa

Aprovado por:

Fernando Basseto
Gerência de Soluções em Conectividade

Gustavo Correa Lima
Gerência de Soluções em Conectividade

Data da emissão: 20/set/24

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.