

A Análise de desempenho da Rede 5G em Castanhal: Estudo detalhado das Antenas e Qualidade da Conexão

Raimundo Lima Furtado Neto¹, José Jailton Junior¹

¹Faculdade de Computação - Universidade Federal do Pará (UFPA)
Caixa Postal 68746-630 Avenida dos universitários - Jaderlândia - PA - Brasil

raimundo.furtado.neto@castanhal.ufpa.br, jjj@ufpa.br

Abstract. *This paper presents an analysis of the performance of the 5G network in the city of Castanhal-PA, where in-person visits were carried out to a sample of stations, using a smartphone with software to collect download, upload, latency, jitter and packet loss data. For each station, three measurements were made. The collected data was organized in a spreadsheet for statistical analysis. Comparisons were made between stations and also between operators. The results indicated that operator V presented the best performance, despite having the lowest coverage in the city. General users should experience a rate of 634.1 Mbps which can be influenced by several factors.*

Resumo. *Este estudo apresenta uma análise do desempenho da rede 5G na cidade de Castanhal-PA, onde foram realizadas visitas presenciais para uma amostra de estações, utilizando um smartphone com um software para coletar dados de download, upload, latência, jitter e perda de pacotes. Para cada estação, foram feitas três medições. Os dados coletados foram organizados em uma planilha para análise estatística. Foram realizadas comparações entre as estações e também entre as operadoras. Os resultados indicaram que uma determinada operadora apresentou o melhor desempenho, embora possua a menor cobertura na cidade. Os usuários em geral devem experimentar uma taxa de download de 634,1 Mbps podendo ser influenciada por diversos fatores.*

1. Introdução

Nas últimas décadas, a tecnologia móvel evoluiu por cinco gerações, provocando transformações profundas na sociedade. A primeira geração 1G foi definida por telefone do tamanho de pastas e conversas curtas entre um número relativamente pequeno de profissionais. Na preparação para o 2G, a procura por serviços móveis cresceu e nunca abrandou. Telefones que cabem no bolso, SMS e acesso à internet móvel foram marcas registradas do mundo 3G. Na quarta geração 4G, temos smartphones, lojas de aplicativos e plataformas de vídeos. Agora, o 5G está a remodelar completamente a nossa vida profissional e pessoal, permitindo novos casos de utilização, como veículos conectivos,

realidade aumentada e vídeos e jogos melhorados, o 5G é até 100 vezes mais rápido que o 4G(Ericsson, 2024). A 6ª geração 6G que promete transformar a forma como os mundos humano, físico e digital interagem ainda em desenvolvimento, o 6G provavelmente suportará realidade virtual (VR), metaverso e inteligência artificial (IA), em breve começaremos a experimentar e visualizar o potencial do 6G com o 5G-Advanced, Rajkotia (2022).

A rede 5G foi desenvolvida para satisfazer os requisitos IMT-2020 definidos pela especificação ITU-R M.2023, utiliza uma nova arquitetura de rede e um sistema de rádio que fornece largura de banda de alta capacidade, baixa latência, melhor *QoS (Quality of Service)* e conectividade massiva entre utilizadores, objetos e sensores face a geração anterior. A mudança da arquitetura 4G para o 5G traz uma série de alterações essenciais, especialmente no núcleo da rede, que são fundamentais para a evolução das redes móveis. Estas mudanças incluem a migração para frequências de ondas milimétricas, a implementação do *MIMO (Multiple Input Multiple OutPut)* massivo e a introdução do conceito de fatiamento de rede. (Medina, 2018)

Tabela 1. Ranking do percentual de moradores atendidos pelo 5G por UF na região norte [ANATEL,2024]

Classificação	UF	Moradores Cobertos (%)
1º	Amapá	77,48
2º	Roraima	61,94
3º	Amazonas	60,82
4º	Acre	55,96
5º	Rondônia	49,76
6º	Pará	49,35

O estado do Pará ocupa a 6ª posição da região norte em termos de percentual de moradores atendidos pela tecnologia 5G, com uma cobertura de 49,35% (Tabela 1). A Tabela 2 ressalta os principais municípios do Estado e Castanhal ocupa a 6ª posição com a abrangência de 92,81% da população coberta pelo 5G, é importante reconhecer que somente uma alta cobertura percentual não assegura automaticamente uma experiência tecnológica satisfatória.

Tabela 2. Ranking do percentual de moradores atendidos pelo 5G por município no Pará [ANATEL,2024]

Classificação	Município	Moradores Cobertos (%)
1º	Ananindeua	99,96
2º	Marituba	99,93
3º	Belém	99,66
4º	Redenção	93,05
5º	Salinópolis	93,05
6º	Castanhal	92,81

O estudo tem como objetivo avaliar o desempenho da conexão 5G na cidade de Castanhal, com foco nas métricas de *download*, *upload*, latência e *jitter* e perda de pacotes, comparando os resultados entre as diferentes operadoras (Operadora vermelha, azul e roxa). Apresentar as métricas que foram medidas através de um smartphone com conexão 5G usando um software especializado, mostrar os dados coletados de forma estatística com máximos, mínimos, médias e desvio padrão.

2. Redes da Quinta Geração (5G)

A tecnologia 5G é projetada para atender a uma vasta gama de requisitos com três componentes principais classificados pela União Internacional de Telecomunicação (ITU): *eMBB* (*Enhanced Mobile Broadband*), *URLLC* (*Ultra-Reliable Low Latency Communications*) e *mMTC* (*massive Machine Type Communications*).

- ***eMBB*** este cenário de uso refere-se a alta taxas de dados, densidade de usuários, alta mobilidade de usuários, taxa de dados altamente variáveis, implantação e cobertura. O objetivo do serviço *eMBB* é maximizar a taxa de dados, garantindo ao mesmo tempo uma confiabilidade moderada, com uma taxa de erro de pacotes (PER) da ordem de 10^{-3} . (Popovski et al, 2018). O *eMBB* tem como exemplo de uso acesso a rede para consumir streaming de vídeo em alta qualidade, automação, agricultura de precisão, realidade virtual e aumentada.
- ***mMTC*** este cenário de utilização é caracterizado por um número muito grande de dispositivos conectados, normalmente transmitindo um volume relativamente baixo de dados não sensíveis a atrasos. Os dispositivos devem ser de baixo custo

e ter uma bateria com uma vida longa. (ITU -2018), O objetivo do projeto do *mMTC* é maximizar a taxa de chegada que pode ser suportada em um determinado recurso de rádio. O PER alvo de uma transmissão individual de *mMTC* é tipicamente baixo, por exemplo, da ordem de 10^{-1} . (Popovski et al, 2018). Alguns exemplos são sensores de veículos, sensores em geral. *IoT (Internet of Things)* massiva, casas inteligentes.

- **URLLC** para cenários onde há o uso de rigorosos requisitos de recursos com taxa transferência, latência e confiabilidade. Alguns exemplos incluem controle sem fio de processos industriais ou de produção, controle médico remoto cirurgia, automação da distribuição em uma rede inteligente, segurança e transporte, etc. (ITU-2018). A taxa de transmissão *URLLC* é relativamente baixa, e o principal requisito é garantir um alto nível de confiabilidade, com um PER tipicamente inferior a 10^{-5} , apesar dos pequenos comprimentos de bloco (Popovski et al, 2018).

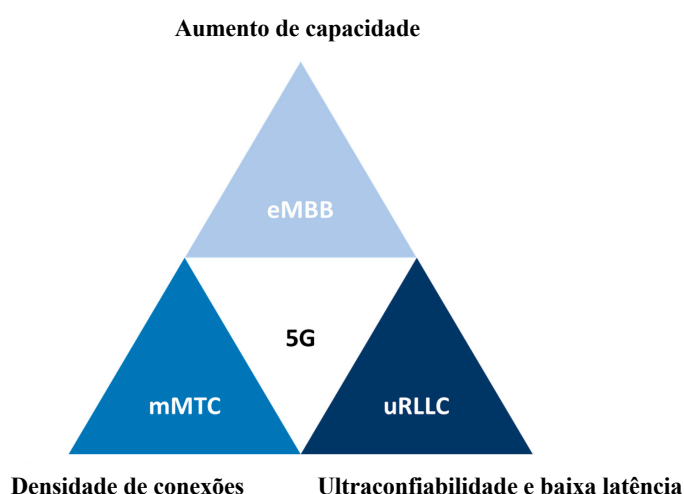


Figura 1. Cenários de uso do 5G [ITU,2018]

3. Metodologia

Trata-se de uma pesquisa de campo feita no município de Castanhal-PA, que se situa no Norte do Brasil, tem aproximadamente 205.667 habitantes IBGE (2021), os dados foram coletados diretamente das estações 5G, usando um smartphone com conexão 5G como ferramenta de medição. O município possui 15 estações com 5G ANATEL(2024) sendo que a amostra da pesquisa consiste em oito destas estações que são as que se concentram mais no centro da cidade, portanto abrange a maior parte da população como mostra a Figura 2 onde cada triângulo no mapa do município é uma estação com capacidade 5G.

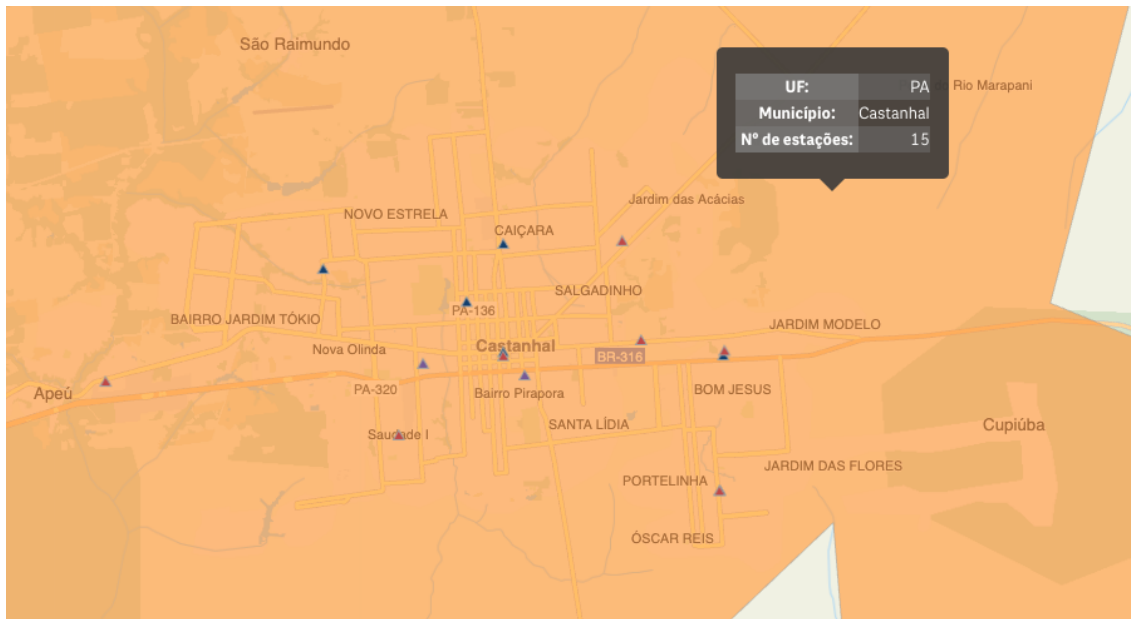


Figura 2. Mapa do município de Castanhal com as estações 5G

Os instrumentos utilizados foram um smartphone com capacidade 5G, um aplicativo chamado *SPEEDTEST* instalado por meio da loja de aplicativos do smartphone na versão para *iOS* e planilhas de cálculo para análise estatística. A escolha do *SPEEDTEST* foi motivada pela sua popularidade e simplicidade em apresentar as métricas de velocidade e qualidade da conexão. Foram realizadas visitas presenciais para cada uma das oito estações selecionadas, para cada uma delas foram feitas três medições para dados de *download*, *upload*, latência (medido através do *ping*), *jitter* (variação da latência em um intervalo de tempo) e perda de pacotes e a distância da estação para o pesquisador. O aplicativo fornece todas essas informações com exceção da distância da estação para o pesquisador que foi medida através do *GPS* com o auxílio do *google maps*.

A cada medição feita em uma mesma estação havia uma variação da posição do pesquisador em torno de cinco metros da posição inicial e em seguida era feita uma nova medição até completar três medições na mesma estação, a cada medição também era registrado um print da tela do aplicativo *SPEEDTEST*. A Figura 3 mostra a interface do aplicativo *SPEEDTEST* após fazer uma medição, nela é possível observar as métricas que foram obtidas após uma medição concluída, no aplicativo também apresenta a localização do servidor para o qual a medição está sendo feita na sua respectiva operadora então em cada medição da mesma operadora o destino foi o mesmo.



Figura 3. Interface do aplicativo SPEEDTEST após completar uma medição.

A partir das informações coletadas, foram registradas em planilhas de cálculo para análise estatística. Para cada estação analisando individualmente destacamos apenas a métrica de *download* que é a medida mais relevante dessa pesquisa. Em relação às operadoras, analisamos todas as métricas para uma comparação mais completa. Por fim, analisamos todas as métricas buscando valores para todas as estações no geral, de forma que encontramos um valor médio global das métricas para o município.

4. Resultados

Os resultados obtidos proporcionam informações importantes sobre o desempenho das estações 5G. Notavelmente, observa-se de acordo com a Tabela 3 que as estações variam significativamente em termos de *download*. Essa variação pode ser atribuída a uma série de fatores incluindo a localização geográfica, congestionamento, frequência da estação e infraestrutura subjacente.

Apesar de terem sido coletados vários dados sobre as estações, a Tabela 3 apresenta apenas os dados mais relevantes para avaliação da tecnologia 5G, de acordo com os resultados apresentados pela tabela podemos explorar que apesar das pequenas variações de posição do pesquisador para uma mesma estação ela apresenta uma variação significativa em termos de taxa de *download* como mostra a coluna 1º Coleta, 2º Coleta e 3º Coleta.

A estação que apresentou a maior média de taxa de *download* foi a estação 7 com 853 Mbps que também foi a estação na qual o pesquisador fez a medição na menor distância da pesquisa de 320 metros então a uma relação forte e clara que a distância da estação afeta a taxa de *download* de maneira inversamente proporcional. A estação que apresentou a menor taxa de *download* foi a estação 6, que também é a estação que apresenta a menor frequência (2325 Mhz) da pesquisa, isso mostra que a frequência da estação é um dos fatores que impactam na taxa de *download* pois era esperado que o desempenho fosse melhor que o da estação 1 e 8 que foram medidas com distancias maiores.

Tabela 3. Dados coletados de taxa de *download* de cada estação
download (Mbps)

	1° Coleta	2° Coleta	3° Coleta	Média	Distância (m)	Operadora	Frequência (Mhz)
Estação 1	702	442	622	588,6	600	Azul	3550
Estação 2	548	672	712	644	500	Azul	3550
Estação 3	667	680	735	694	450	Azul	3550
Estação 4	723	724	780	742,3	400	Vermelha	3550
Estação 5	564	798	708	690	450	Vermelha	3550
Estação 6	497	398	354	416,3	550	Vermelha	2325
Estação 7	865	769	925	853	320	Roxa	3450
Estação 8	463	461	410	444,6	620	Roxa	3450

Uma análise interessante é que não há uma discrepância no desempenho em termos de *download* entre as diferentes operadoras conforme a tabela 4 que apresenta dados estatísticos de forma comparativa entre as operadoras. Embora existam diversos fatores que interferem na medição, se observamos a média de *download* entre as três operadoras temos médias bem semelhantes apesar disso o desvio padrão é alto indicando uma variação significativa. A operadora Roxa apresentou o maior valor de *download* da pesquisa de 925 Mbps.

A tabela 4 mostra que o *upload* raramente supera a velocidade de 100 Mbps em todas as operadoras, o que mostra que por não ser tão utilizado por usuários em termos gerais já que a maior parte do uso da internet é fazendo *download* de dados então a maior parte da banda é destinada para essa métrica. A única operadora a superar o valor de 100 Mbps foi a operadora Azul, que atingiu 122 Mbps, em termos de desvio padrão o *upload* apresenta uma variação menor que o *download* sendo mais consistente.

A latência e o *jitter* foram medidos sob *download*, de acordo com a tabela 4 podemos destacar a operadora azul que apresentou nas medições a maior média de latência 626,5ms, ressaltando que uma maior latência pode impactar em uma pior experiência do usuário especialmente em aplicações sensíveis como jogos online e videoconferências. A operadora Azul também foi a que apresentou maior média para *jitter* com 86,4ms e ressaltando que um *jitter* alto impacta na qualidade de aplicações em tempo real. O *jitter* apresentou um baixo desvio padrão para todas as operadoras mostrando que há uma consistência ao contrário da latência de que apresentou um alto desvio padrão para todas as operadoras indicando variabilidade.

A tabela 4 apresenta que a perda de pacotes se destacou na operadora vermelha que em todas as medições feitas mesmo em diferentes estações e distâncias apresentou 0% em perda de pacotes o que indica uma estabilidade e qualidade da conexão e a maior perda de pacotes registrada aconteceu na operadora azul e foi de 3% o que não é considerado um valor alto, portanto todas as operadoras apresentaram um valor de perda de pacotes considerado aceitável, um valor alto para a perda de pacotes pode resultar em desconexões frequentes e degradação na qualidade da conexão.

Tabela 4. Estatística descritiva e comparação entre as operadoras

	Operadora Azul		Operadora Roxa		Operadora Vermelha	
	Mín-Máx	<i>M(DP)</i>	Mín-Máx	<i>M(DP)</i>	Mín-Máx	<i>M(DP)</i>
<i>Download</i> (Mbps)	442-735	642,2(87,8)	410-925	648,8(209,9)	354-798	616,2(158)
<i>Upload</i> (Mbps)	25,2-122	59,6(27,8)	47,2-94,8	68,8(18,2)	32-63,4	52,3(9,6)
Latência (ms)	515-769	626,5(76,1)	268-545	425,5(96,8)	340-598	459,4(93,7)
<i>Jitter</i> (ms)	78-96	86,4(4,9)	73-92	82,6(5,9)	79-93	85,3(4,8)
Perda de pacotes(%)	0-3	1,2(1,2)	0-2,5	0,5(0,9)	0-0	0(0)
Distância (m)	450-600	516,6(62,4)	320-620	470(150)	400-550	466,6(62,3)

Notas. Mín-Máx = Mínimo-Máximo; *M(DP)* = Média(Desvio-Padrão).

A tabela 5 apresenta a estatística descritiva dos dados coletados, incluindo os valores máximo, mínimo, média e desvio padrão das métricas avaliadas. De acordo com

a tabela 5, a média da taxa de *download* de todas as estações analisadas é de 634,1 Mbps. Isso sugere que um morador de Castanhal com acesso à conexão 5G pode esperar uma experiência de *download* em torno de 634,1 Mbps, estando a uma distância média de 486,2 metros da estação base.

A tabela 5 também revela um alto desvio padrão tanto para a taxa de *download* (153,2 Mbps) quanto para a distância (95,4 metros). Um alto desvio padrão indica que há uma significativa variação nos dados em relação à média. Em termos práticos, isso significa que enquanto alguns usuários podem experimentar taxas de *download* próximas à média de 634,1 Mbps, outros podem ter velocidades significativamente diferentes, seja mais alta ou mais baixa. Da mesma forma, a distância dos usuários até a estação base varia consideravelmente, afetando potencialmente a qualidade da conexão 5G que recebem.

Tabela 5. Estatística descritiva sobre os dados coletados de forma geral.

	Mín-Máx	$M(DP)$
<i>Download</i> (Mbps)	354-925	634,1(153,2)
<i>Upload</i> (Mbps)	25,2-122	59,2(21,2)
Latência (ms)	268-769	513,6(125)
<i>Jitter</i> (ms)	73-96	85,1(5,4)
Perda de pacotes(%)	0-3	0,6(0,9)
Distância (m)	320-620	486,2(95,4)

Notas. Mín-Máx = Mínimo-Máximo; $M(DP)$ = Média(Desvio-Padrão).

5. Conclusão

Com base nos resultados obtidos na pesquisa, a operadora Roxa apresentou os maiores valores médios de velocidade de *download* (648,8 Mbps) e *upload* (68,8 Mbps), além do menor valor médio de latência (425,5ms). Apesar de exibir o melhor desempenho nessas métricas, a operadora Roxa tem a menor cobertura no município de Castanhal, com apenas duas estações. Em contraste, a operadora Vermelha apresentou os menores valores médios de *download* (616,2 Mbps) e *upload* (52,3 Mbps), mas possui a maior cobertura no município. Um dos fatores que contribui para os menores valores de velocidade da operadora Vermelha é a frequência de algumas de suas estações, sendo a única a ter estações operando na frequência de 2325 MHz.

Todas as operadoras mostraram uma alta variabilidade nas métricas de *download*, *upload* e latência, sugerindo que a qualidade do serviço pode ser influenciada por diversos

fatores, como localização, congestionamento da rede e interferências ambientais. Portanto, pode-se afirmar em termos práticos que os usuários no município Castanhal com conexão 5G independente de operadora devem experimentar: 634,1 Mbps para *download*, 59,2 Mbps para *upload* e 513,6ms de latência, a uma distância de 486,2 m da estação. Para estudos futuros, recomenda-se a realização de testes com aplicações reais avaliando como o 5G pode trazer benefícios para o cotidiano dos usuários como assistir vídeos, jogar jogos em tempo real, utilizar serviços de videoconferência.

6. Referências

Agência nacional de telecomunicações (ANATEL), "Estações do SMP", tomado de: <https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/outorga-e-licenciamento/estacoes-do-smp>, acesso em: 05/04/2024

Brito, J.A, Moreno, J.I, Contreras, L.M, Alvarez-Campana M, Blanco Caamaño M. Aplicações de plano de dados programáveis em arquiteturas 5G e além: uma revisão sistemática. *Sensores* . 2023; 23(15):6955. Tomado de: <https://doi.org/10.3390/s23156955> acesso em: 10/06/2024

Ericsson, "5G by Ericsson", Tomado de <https://www.ericsson.com/en/5g> ,acesso em 05/04/2024.

Instituto brasileiro de geografia e estatística (IBGE), "Estimativas da população", Tomado de: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html>, acesso em: 25/04/2024.

International Telecommunications Union, Telecommunication Standardization Sector. Framework for the support of network slicing in the IMT-2020 network - Recommendation itu-T Y.3112 2018 Tomado de: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.3112/en> acesso em: 15/06/2024.

Medina, E. E. M., "Planeamento e otimização de redes 5G", Tomado de: https://repositorio.iscte-iul.pt/bitstream/10071/29827/1/master_evodia_monteiro_medina.pdf ,acesso em 02/06/2024. acesso em: 10/06/2024.

Popovski,P., Trillingsgaard, K. F., Simeone,O., Durisi,A. G., "5G Wireless Network Slicing for eMBB, URLLC e mMTC: A Communication-Theoretic View", em *IEEE Access* , vol. 55765-55779, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2872781. Tomado de: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8476595> , acesso em: 20/06/2024.

Rajkotia, P., "How 6G Can Transform The World and Technology", Tomado de: <https://standards.ieee.org/beyond-standards/how-6g-can-transform-the-world-and-technology/>

SPEEDTEST, "SPEEDTEST para IOS", tomado de <https://www.speedtest.net/pt/apps/ios> ,acesso em: 05/04/2024