



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDICIPLINAR DE PAU DOS FERROS
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

IGOR MOISÉS COSTA BARROS

**ANÁLISE E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DOS SISTEMAS MÓVEIS
CELULARES EM PAU DOS FERROS-RN**

PAU DOS FERROS - RN

2018

IGOR MOISÉS COSTA BARROS

**ANÁLISE E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DOS SISTEMAS MÓVEIS
CELULARES EM PAU DOS FERROS-RN**

Monografia apresentada como requisito para
obtenção do título de Bacharel em Ciência e
Tecnologia a Universidade Federal Rural do
Semi-Árido.

Orientador: Francisco Carlos Gurgel da Silva
Segundo, Prof. Dr.

PAU DOS FERROS - RN

2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B277a Barros, Igor Moisés Costa.

ANÁLISE E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DOS SISTEMAS
MÓVEIS CELULARES EM PAU DOS FERROS-RN / Igor

Moisés Costa Barros. - 2018.

49 f. : il.

Orientador: Francisco Carlos Gurgel da Silva
Segundo.

Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2018.

1. telefonia. 2. rede móvel. 3. internet. I.
Segundo, Francisco Carlos Gurgel da Silva,

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

IGOR MOISÉS COSTA BARROS

**ANÁLISE E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DOS SISTEMAS MÓVEIS
CELULARES EM PAU DOS FERROS-RN**

Monografia apresentada como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Ciência e Tecnologia a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido.

Defendida em: 13/09/2018.

BANCA EXAMINADORA

Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo
Prof. Dr. Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo. (UFERSA)
Presidente

Otávio Paulino Lavor
Prof. Dr. Otávio Paulino Lavor. (UFERSA)
Membro Examinador

Pedro Thiago Valério de Souza
Prof. Me. Pedro Thiago Valério de Souza. (UFERSA)
Membro Examinador

*Maria de Lourdes Holanda Dias Dedodato (In
memoriam)*

*Maria Íris Barros
Ionaldo Barros Feitosa
Maria de Lourdes da Costa
Iandra Sonara Costa Barros
Liandra Samara Costa Barros
Anderson Matheus Viana Feitosa*

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente ao Deus todo poderoso que, pela sua bondade e misericórdia, contribuiu diretamente com a realização deste trabalho de conclusão e ao longo de todo o período deste curso. Pela força e sabedoria concedida que me ajudou a vencer mais uma etapa tão importante na minha vida.

Agradeço aos meus pais Ionaldo Barros Feitosa e Maria de Lourdes da Costa que no empenho, dedicação e força concederam o exemplo para sempre acreditar na minha capacidade e ciência, pelas oportunidades e pela sua ajuda possibilitaram a conclusão deste curso. Pelo carinho e conforto que sempre esteve presente nas horas que mais necessitei e a que recorria. Aos meus irmãos Iandra, Samara e Anderson Matheus que sempre serviram de motivação para buscar algo importante para toda minha família.

Agradeço aos meus amigos, Lara Deodato, Janequele Fernandes, Nirrária, Nicolás Matheus, Arthur Campelo, Clóvis Augusto, Pedro Matheus e Pedro Henrique, pelo apoio na dedicação e persistência deste curso. Ao GOU UFERSA e a Comunidade Católica Shalom que souberam sempre conciliar-me com Deus e a Igreja, motivando-me na busca de tudo que acredito.

Aos amigos que fiz na faculdade, João Vitor, Karolayne, Rafael, Artênio, Bruno, Lincoln, Vanérica, Débora, Lucas, Cibely, Talison, Thiago, Igor, Matheus, Willie e Glaydson, por serem sempre solícitos.

Agradeço imensamente ao meu Orientador Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo, por toda paciência e apoio que me foi dedicado.

“Até aqui nos ajudou o Senhor”.

(I Samuel 7, 12)

RESUMO

A telefonia móvel celular, desde o seu surgimento, está em constante evolução e expansão. Entretanto, ainda nos dias atuais, as operadoras não conseguiram atender uma população inteira com qualidade padrão, principalmente em pequenas regiões. Com base nisso, o presente trabalho objetivou mensurar a qualidade da telefonia móvel celular (Tim e Vivo) na cidade de Pau dos Ferros-RN, por meio de medições de *download*, *upload*, latência e potência recebida, realizadas em diversos bairros da cidade, utilizando o aplicativo para plataforma Android, *OpenSignal*. Após as medições, será possível saber quais locais possuem a melhor caso de taxa transmissão dados, tempo de resposta para essas transmissões e a potência recebida, bem como o local para o pior caso.

Palavras-chave: telefonia; rede móvel; *internet*.

ABSTRACT

Cellular mobile telephony, since its inception, is constantly evolving and expanding. However, even today, operators have not been able to serve an entire population of standard quality, especially in small regions. Based on this, the present work aimed to measure the quality of mobile cellular telephony (Tim and Vivo) in the city of Pau dos Ferros-RN, through measurements of download, upload, latency and power received, performed in several city districts, using the application for Android platform, OpenSignal. After the measurements, it will be possible to know which locations have the best case rate data transmission, response time for these transmissions and the power received, as well as the location for the worst case.

Keywords: telephony; mobile network; internet.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico comparativo das operadoras.	16
Figura 2 - Tela de detalhamento de uma rede salva (Rede Móvel “Vivo”).	17
Figura 3 - Dados obtidos para cobertura de rede celular 4G para diversas operadoras.	17
Figura 4 - Mapa de cobertura 3G e 4G.....	19
Figura 5- O crescimento da telefonia móvel em comparação com outras invenções do século XX.	21
Figura 6 - Crescimento de Assinantes de Telefonia Móvel Celular no Mundo	22
Figura 7 – Infográfico da evolução do sistema de telefonia móvel.....	22
Figura 8 - Tabela comparativa entre as gerações da rede de telefonia móvel	23
Figura 9 - Figura - Sistema celular.....	27
Figura 10 - Estações Rádio Base de Caraúbas e sua cobertura de sinal.....	29
Figura 11 – Mapa com a localização das medições na cidade de Pau dos Ferros-RN.....	30
Figura 12 – Taxas de transmissão de dados nos bairros Barragem, João Catingueira, Chico Cajá e Arizona.	31
Figura 13 – Taxas de transmissão de dados nos bairros Zeca Pedro, Princesinha do Oeste, São Benedito e São Geraldo.....	32
Figura 14 – Taxas de transmissão de dados nos bairros Aluizio Diógenes, São Judas Tadeu, Centro e Alto do Açude.	33
Figura 15 - Taxas de transmissão de dados nos bairros Riacho do Meio, Carvão, João XXIII e Bela Vista	34
Figura 16 - Tempo de resposta para transmissão de dados nos bairros Barragem, João Catingueira, Chico Cajá e Arizona.	35
Figura 17 – Tempo de resposta para transmissão de dados nos bairros Zeca Pedro, Princesinha do Oeste, São Benedito e São Geraldo.....	36
Figura 18 - Tempo de resposta para transmissão de dados nos bairros Aluizio Diógenes, São Judas Tadeu, Centro e Alto do Açude.....	37
Figura 19 - Tempo de resposta para transmissão de dados nos bairros Riacho do Meio, Carvão, João XXIII e Bela Vista.	38
Figura 20- Potência recebida nos bairros nos bairros Barragem, João Catingueira, Chico Cajá e Arizona.	39
Figura 21 - Potência recebida nos bairros Zeca Pedro, Princesinha do Oeste, São Benedito e São Geraldo.....	40
Figura 22 - Potência recebida nos bairros Aluizio Diógenes, São Judas Tadeu, Centro e Alto do Açude.	41
Figura 23 - Potência recebida nos bairros Riacho do Meio, Carvão, João XXIII e Bela Vista. .	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados com base no cálculo ANATEL.....	18
Tabela 2 - Comparação entre as gerações da rede de telefonia móvel	23
Tabela 3 - Resultados da Tim.....	47
Tabela 4 - Resultados da Vivo	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.2 Problematização	14
1.3 Objetivos	14
1.3.1 Objetivo Geral	14
1.3.2 Objetivos Específicos.....	15
1.4. Justificativa	15
1.5 Metodologia	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3 REFERENCIAL TEÓRICO	20
3.1 História Da Telefonia Móvel Celular	20
3.2 Sistemas De Comunicação Sem Fio	21
3.3 Terceira Geração.....	23
3.4 Quarta Geração.....	25
3.4 Sistema de Telefonia Móvel	26
4 COLETA DE DADOS	29
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
5.1 Velocidade de Transmissão	31
5.2 Latência.....	35
5.3 Potência.....	38
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
REFERÊNCIAS	44
ANEXO A – TABELA COM OS DADOS DAS COLETAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

Desde o século passado a humanidade já usufrui dos meios de comunicação sem fio. Com a modernização da sociedade, os meios de comunicação deste seguimento tornaram-se cada vez mais presente e acessível à população (CARAZZA; et al., 2017). Essas novas tecnologias passaram a desempenhar um papel fundamental para o desenvolvimento sociedade moderna (GODINHO; et al., 2018).

A transmissão de dados sem fio ocorre por meio de radiofrequência, infravermelho ou luz. Independentemente do método transmissão utilizado, estes meios apresentam limitações, tais como reflexão do sinal no interior da casa, espectro de frequências disponível, alcance limitado, baixas taxas de transmissão, etc. Em vista disso, atualmente, este setor apresenta as maiores perspectivas e investimentos em desenvolvimento e pesquisa, visando melhorias para os usuários finais (RUBINSTEIN, 2017).

De acordo com Godinho (2018), devido os avanços nos sistemas de transmissão de dados sem fio e dos serviços ofertados, o número de adeptos aumentou. Segundo uma pesquisa divulgada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2018, o Brasil fechou o ano de 2016 com 116 milhões de pessoas conectadas à *internet*, isso equivale a 64,7 % da população brasileira com idade acima de 10 anos. A pesquisa revelou, também, que 94,6 % das pessoas que acessaram a *internet* utilizaram um *smartphone*. Dados da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) revelou que a telefonia móvel registrou em 2010 mais de 202 milhões de linhas móveis em operação no país, enquanto o ano de 2017 fechou com mais de 241 milhões de linhas móveis ativas. Um aumento superior a 16 % em sete anos (ANATEL, 2015), (ANATEL, 2017). Logo, é possível perceber o grande crescimento da indústria de comunicação sem fio no país.

Abrindo um novo caminho nos sistemas de transmissão de dados sem fio, a terceira geração (3G) foi criada como uma melhoria da geração anterior (2G), possibilitando altas taxas de transmissão de dados para os serviços de multimídia e/ou acesso à *internet*, baseada nas tecnologias UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) e CDMA2000 (OLIVERIA, 2005), (GODINHO, 2018). A quarta geração (4G) é baseada na tecnologia LTE (*Long Term Evolution*), com velocidade de até 1 Gbps e 100 Mbps, em terminais fixos e móveis, respectivamente, proporcionando uma alta qualidade da transmissão de dados (ALMEIDA, 2012).

Visando estudar o modelo da propagação ideal para sistemas de comunicação sem fio para centros urbanos, Assis (2015) aferiu a potência recebida em pontos da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, em Craúbas – RN. Afim de auxiliar usuários de dispositivos móveis (*smathphones* e *tablets*), Portela (2015) desenvolveu uma aplicação Android que media a potência recebida pelo dispositivo e armazenava com nome do local da medição. Carazza et al. (2017) implementou um sistema para dispositivos Android que realiza medições ponto a ponto e representa, através de pontos coloridos, em um mapa a qualidade da potência recebida em cada ponto aferido. Para medir a qualidade das transmissões de dados móveis em Porto Alegre – RS, Flora et al. (2018) coletou taxas de transmissão de *download* e *upload* médias e instantâneas, dispuseram em tabela e compararam os resultados com base em cálculos da ANATEL.

Mediante os avanços dos meios de comunicação e o aumento dos mesmos, o intuito deste projeto é medir a qualidade do sinal em dados móveis ofertado pelas operadoras na cidade de Pau dos Ferros-RN, usando como parâmetros de comparação a taxa de transmissão de dados de *download* e *upload*, bem como a potência recebida e a latência. Com base nesses parâmetros, será possível fazer uma análise melhor, em relação aos trabalhos já referenciados anteriormente.

1.2 Problematização

Um grande problema enfrentado, não só no interior, mas em alguns pontos dos grandes centros, é a falta de cobertura da rede móvel das operadoras em diversos locais da cidade. Locais como a UFERSA, por exemplo, sofre por essa deficiência das operadoras, que impossibilita os usuários de utilizarem os serviços ofertados pela prestadora. Outro problema, é a baixa qualidade das taxas de transmissão de dados móveis das operadoras móveis, que dificulta o acesso e a comunicação dos usuários. A partir dessas limitações apresentadas, foi proposto um estudo acerca dessa problemática com a finalidade de analisar as transmissões

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

- ✓ Verificar a qualidade de transmissão das operadoras (Tim e Vivo) de sistemas móvel celular na cidade de Pau dos Ferros - RN.

1.3.2 Objetivos Específicos

- ✓ Compreender o funcionamento de sistema celular;
- ✓ Verificar *in loco* os tipos de tecnologias móveis implementados na cidade de Pau dos Ferros-RN;
- ✓ Medir a potência recebida da rede móvel nos bairros de Pau dos Ferros-RN e analisar o desempenho de cada operadora móvel celular;
- ✓ Realizar medições da latência e da velocidade de *uplink* e *downlink*.

1.4. Justificativa

Na literatura acessível ao público, atualmente, há pouca abordagem no que se refere à medição de qualidade de sinal celular, visto que a maior parte dos métodos são desenvolvidos e mantidos em sigilo pelas próprias empresas (CARAZZA; et al., 2017).

A partir disso, pretende-se fazer um levantamento dos bairros da cidade de Pau dos Ferros-RN e, por meio de aferições dos parâmetros citados anteriormente, mostrar bairros da cidade nos quais as operadoras possuem melhor desempenho e qual a operadora se saiu melhor na classificação geral.

1.5 Metodologia

A metodologia utilizada para realizar este trabalho se dará inicialmente por uma revisão bibliográfica acerca do tema, para entender o processo de evolução das redes celulares e os conceitos básico da área. Após esta fase, com o auxílio de um aplicativo *mobile* para plataforma Android, o *OpenSignal*¹, serão realizadas as medições de *dowlink* e *uplink*, potência recebida e a latência, em bairros da cidade de Pau dos Ferros-RN. Posteriormente, com os dados coletados na fase anterior, serão gerados os gráficos que terão os bairros agrupados por regiões próximas ou adjacentes, para realizar uma análise comparativa da qualidade das transmissões dados, latência e potência.

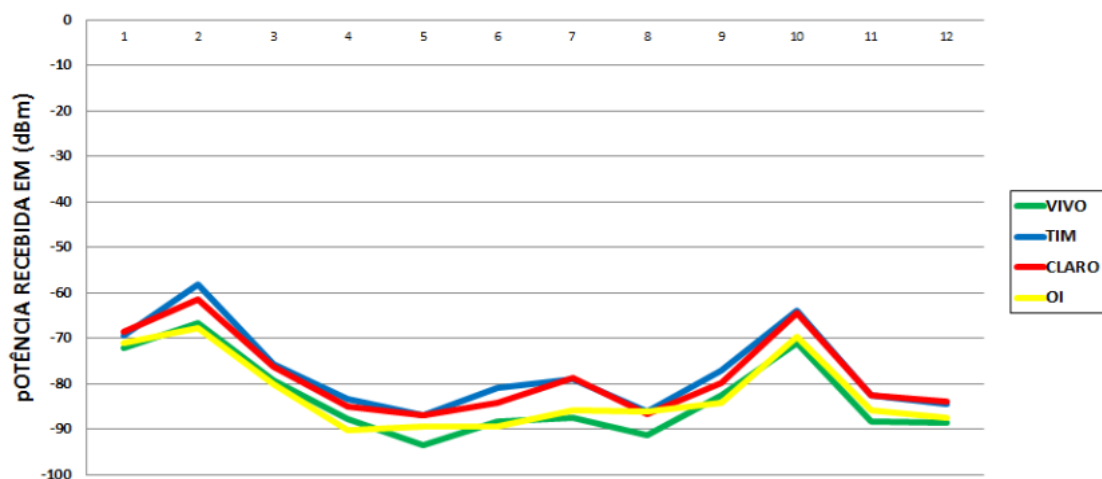
¹ Disponível em: <<https://opensignal.com/>> Acesso em 02 set. 2018.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo conheceremos alguns trabalhos já desenvolvidos com a temática semelhante para comparar com o trabalho em questão.

Assis (2015), fez um estudo sobre os modelos predição e verificou qual era o modelo de propagação mais apropriado para caracterizar sistemas de comunicação sem fio em ambientes urbanos, a partir do comparativo da potência recebida em 12 pontos, incluindo todos os prédios, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus de Caraúbas- RN. Por fim, analisou qual as principais causas da perda de propagação entre o transmissor e o receptor. A Figura 1 - Gráfico comparativo das operadoras de Telefonia Móvel no Campus da UFERSA/Caraúbas. apresenta o resultado das médias das potências recebidas nos cinco dias por quatro operadoras versus os doze locais coletados no campus.

Figura 1 - Gráfico comparativo das operadoras de Telefonia Móvel no Campus da UFERSA/Caraúbas.



Fonte: Assis (2015).

Com o intuito de auxiliar usuários a descobrir qual local possui a melhor cobertura de sinal recebido por dispositivos móveis, é que Portela (2015), desenvolveu uma aplicação para plataforma Android que informa ao usuário de forma clara, em seu deslocamento, quais locais dispõem uma melhor recepção de sinal, podendo ser salvo no aplicativo o local com a potência recebida naquele ponto. Posteriormente, o usuário poderia fazer uso dessas informações para saber qual local seria melhor para executar alguma tarefa que dependesse do uso das redes móveis. A Figura 2 exibe uma coleta de dados da potência (dBm) recebida a partir de uma rede móvel em uma residência.

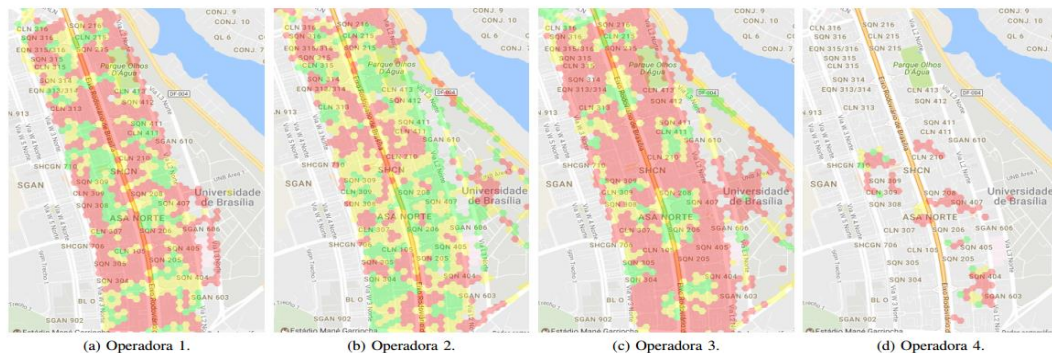
Figura 2 - Tela de detalhamento de uma rede salva (Rede Móvel “Vivo”).

Place Name	Strength (dBm)
Quarto	-71
Quarto 2	-67
salavalter	-97
TechnoBox	-69
Cavanhas	-63
Trabalho	-67
Quarto Fábio	-71

Fonte: Portela (2015).

Um sistema que mede e analisa a qualidade das redes celulares móveis, foi desenvolvido por Carazza et al. (2017). O sistema consiste em coletar, ponto a ponto, dados das redes de celulares, através de *smarthphones* e, a partir desses dados, gerar resultados referentes a qualidade dos serviços prestados por meio de gráficos e mapas, que mostrarão qual operadora teve melhor desempenho e qual a qualidade (boa, média e má) recebida em cada ponto, respectivamente. Na Figura 3 apresenta-se o resultado da coleta de dados da potência recebida por 4 operadoras distintas, na região de Brasília-DF. Os pontos em verde representam “boa qualidade” e receberam uma potência maior o igual a -80 dBm, já os pontos em amarelos representam uma “média qualidade” e equivale uma potência recebida menor que -80 dBm e maior ou igual a -90 dBm, e os pontos em vermelho corresponde a “má qualidade” e equivale a uma potência recebida menor que -90 dBm.

Figura 3 - Dados obtidos para cobertura de rede celular 4G para diversas operadoras.



Fonte: Carazza et al. (2017).

Flora et al. (2018), analisou a qualidade das transmissões de dados recebidas por aparelhos celulares. Para tal análise, foram usados como parâmetro de comparação as taxas de *download* e *upload* médias e instantâneas de 4 operadoras distintas do Brasil, na cidade de Porto Alegre. A Tabela 1 dispõem de células em vermelho indicando que não atingiu a meta que é 30% da taxa de transmissão contratada para velocidade instantânea e 70% da taxa de transmissão contratada para velocidade média, como podemos ver, somente, a Claro e Vivo atenderam às expectativas.

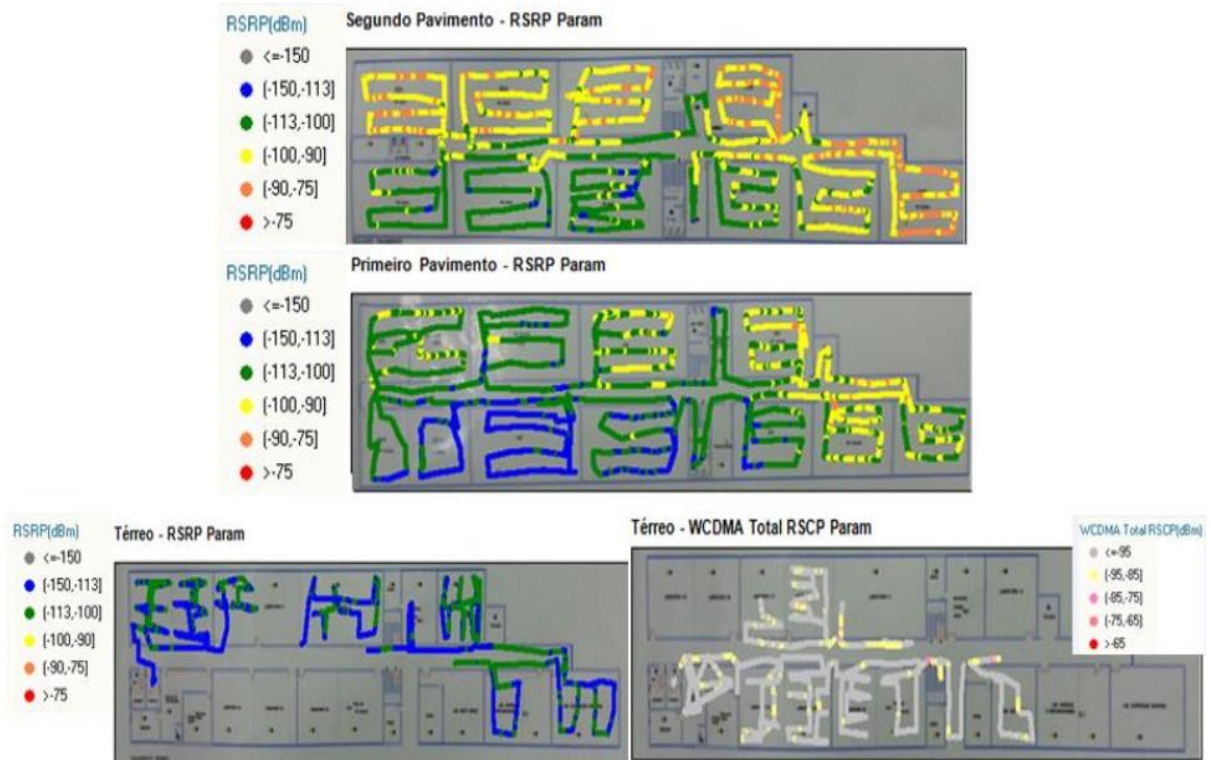
Tabela 1 - Resultados com base no cálculo ANATEL.

	Planos (Kbps)		SMP10 Taxa Instantânea (Kbps)		SMP11 Taxa Média $\% \frac{\text{velo} - \text{instantânea}}{\text{velo} - \text{plano}}$	
	<i>Upload</i>	<i>Download</i>	<i>Upload</i>	<i>Download</i>	<i>Upload</i>	<i>Download</i>
Claro	128	1000	113,49	1156,9	88,6%	115,7%
Oi	128	1000	12,9	86,1	10,1%	8,6%
Tim	100	1000	92,8	362,8	92,8%	36,2%
Vivo	50	1000	275,24	1322,62	550,4%	132,2%

Fonte: Adaptado de Flora et al. (2018).

Com o objetivo de avaliar a qualidade da cobertura de telefonia móvel celular em ambientes *indoor*, os pesquisadores Silva, Salbon e Buosi (2017), realizaram uma análise nas dependências da Universidade São Francisco – Campus Itatiba. Para coletar, processar e analisar os dados, eles utilizaram os *softwares*: *Pilot Walktur* e *Pilot Navigator*, que permitirá ao usuário medir a qualidade de sua conexão móvel, visualizando os resultados instantaneamente, como também o histórico das aferições anteriores. Com base na figura do mapa de cobertura de *downlink* abaixo, temos que para valores RSRP (*Reference Signals Received Power*) maiores que -75 dBm é uma cobertura excelente para QoS (*Quality of Service*), porém para valores entre -110 e -75 dBm, apesar de aceitáveis, é possível que reduza a qualidade do sinal, sofrendo uma degradação da cobertura. Contudo, se o RPRS for inferior a -110 dBm a qualidade é considerada inaceitável. Veja a Figura 4.

Figura 4 - Mapa de cobertura 3G e 4G



Fonte: Silva, Salbon e Buosi (2017)

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será apresentada a história da telefonia móvel celular desde o seu surgimento, bem como as duas gerações (3G e 4G) relevantes para esse trabalho.

3.1 História Da Telefonia Móvel Celular

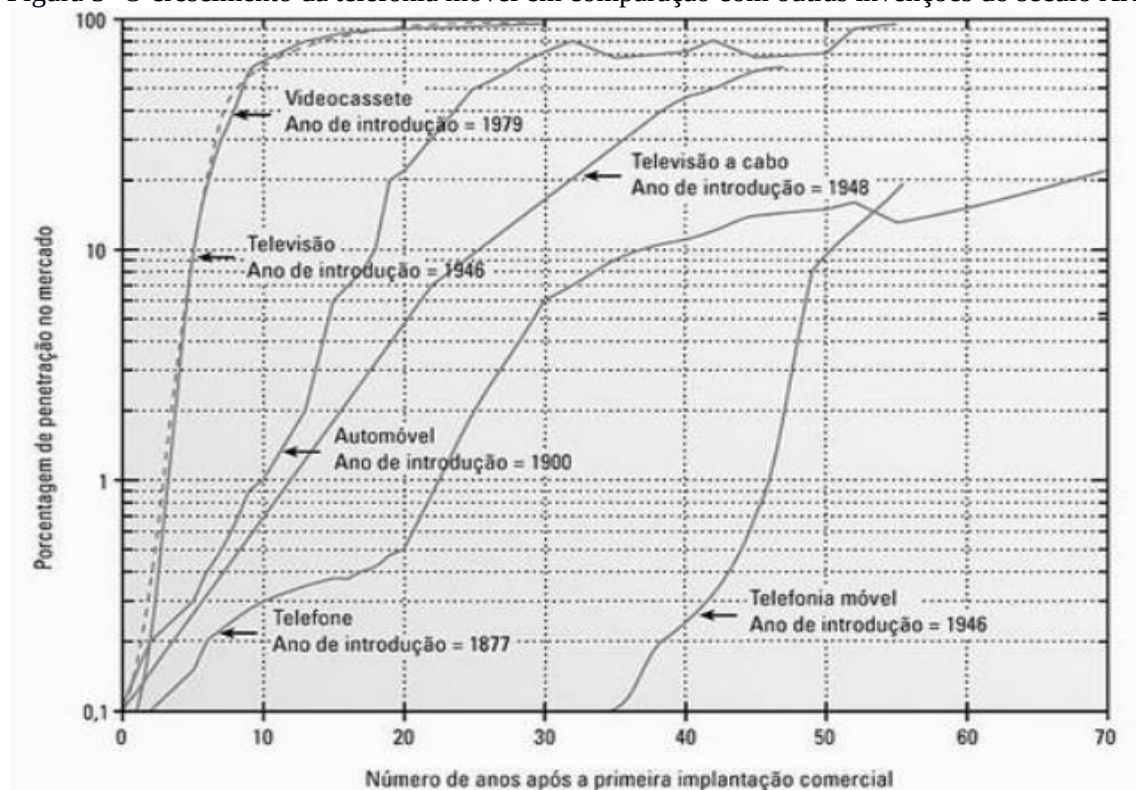
Um dos métodos mais antigos e utilizados no processo de comunicação é a verbal, ou seja, a voz humana. Desde os primórdios o homem valia-se desse recurso como fonte de interação, podendo auxiliar, até mesmo, sua própria sobrevivência. Neste sentido, vários instrumentos e técnicas foram criados com intuito de expandir e aprimorar esse processo de comunicação. A capacidade de se comunicar com outras pessoas em movimento, evoluiu bastante desde 1897, quando Guglielmo Marconi atestou a capacidade do rádio para realizar contato contínuo com os navios que navegavam pelo canal inglês, sugerida inicialmente por Maxwell (RAPPAPORT, 2009). Em 1930, respaldando-se das técnicas e do instrumento criado por Guglielmo, a polícia de Polícia de Detroit fez o primeiro uso regular de sistema de rádio móvel em suas viaturas, enviando e recebendo mensagens da central de polícia, sendo a pioneira no uso de telefonia móvel, operando na faixa de frequência de 2 MHz e em amplitude modulada (AM) (RAPPAPORT, 2009) - (ASSIS, 2015).

No ano de 1935 a frequência modulada (FM) foi demonstrada pela primeira vez, por Edwin Armstrong, e desde o final da década a FM tem sido a técnica de modulação mais usada nos sistemas de comunicação móvel em todo o mundo (RAPPAPORT, 2009). Contudo, somente 11 anos depois, em 1946, as indústrias *Bell System*, instituiu o primeiro sistema de telefonia móvel, nos Estados Unidos, utilizando os sistemas de telefone FM, onde permitia falar uma pessoa por vez (ASSIS, 2015).

Com o advento da Segunda Guerra Mundial, no final da década de 1930 e meados da década de 1940, grandes melhorias foram feitas em todo mundo no que diz respeito as capacidades de manufaturas e miniaturização. Posteriormente, com o final de Segunda Guerra Mundial, essas capacidades foram aplicadas em sistemas de rádio e televisão unidirecionais e bidirecionais. Entretanto, apenas nas décadas de 1960 e 1970, uma população inteira estava apta a realizar chamadas a partir de dispositivos móveis, devido ao desenvolvimento de *hardwares* de radiofrequência de alta confiabilidade, em tamanho reduzido e em estado sólido (RAPPAPORT, 2009).

A Figura 5 mostra como a inserção da telefonia móvel nos primeiros 35 anos foi baixa, devido os desafios tecnológicos envolvidos e o alto custo. Após esse período, as comunicações sem fio foram aceitas pelos consumidores, com uma adesão comparável à da televisão e do vídeo cassete (RAPPAPORT, 2009). De acordo com Rappaport (2009), a quantidade de usuários de telefone celular em todo o mundo cresceu de 25 mil em 1984 para cerca de 25 milhões em 1993.

Figura 5- O crescimento da telefonia móvel em comparação com outras invenções do século XX.

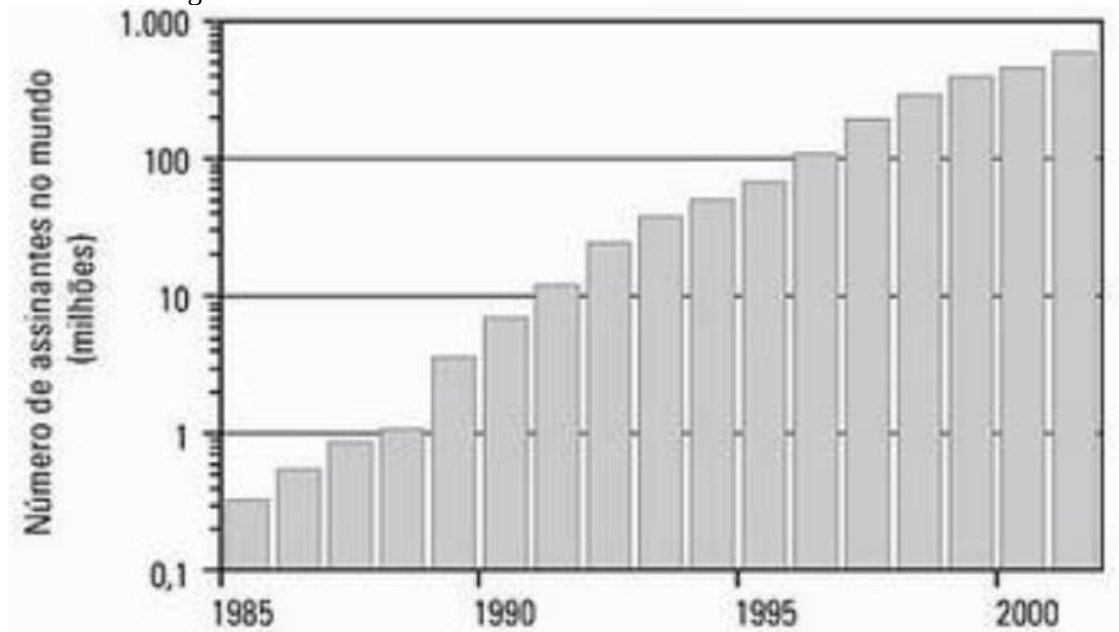


Fonte: Rappaport (2009).

3.2 Sistemas De Comunicação Sem Fio

Como pode ser visto na Figura 6 o crescimento expressivo da base de assinantes da telefonia móvel celular a partir da década de 1990 ultrapassando os 600 milhões de assinantes no final de 2001 e atingindo a marca de 2 bilhões – representando 30 % da população mundial – de usuários no final de 2006 (RAPPAPORT, 2009).

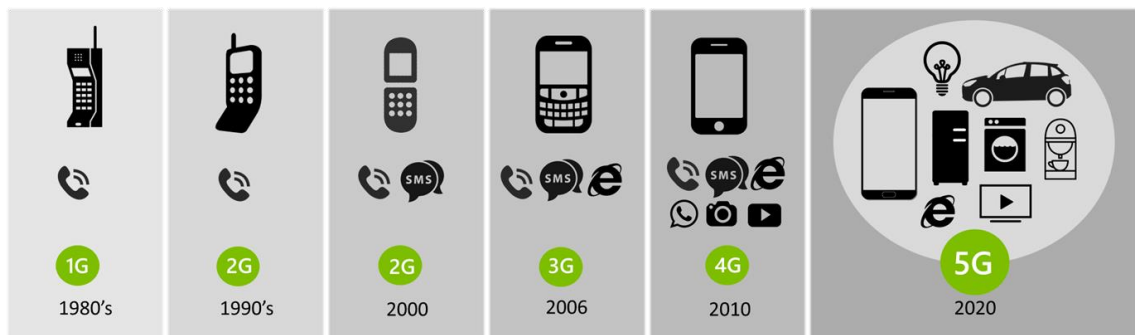
Figura 6 - Crescimento de Assinantes de Telefonia Móvel Celular no Mundo



Fonte: Rappaport (2009).

A Figura 7 ilustra a evolução da rede telefonia móvel, que vai desde a tecnologia 1G até a 5G, que estará disponível a partir de 2020.

Figura 7 – Infográfico da evolução do sistema de telefonia móvel.



Fonte: <https://melhorescolha.com/blog/5g/>

Como se pode ver na Figura 7 a primeira geração é conhecida pelo uso da voz analógica, com registos oficiais por volta da década de 1980 com o sistema AMPS. A segunda geração é dividida em dois períodos: o primeiro, no início da década de 1990, ficou conhecida pela transição para voz digital e envio de mensagens de texto, enquanto no segundo período surgiu as tecnologias GSM, GPRS e EDGE, com banda estreita para transmissão de dados. A terceira geração surgiu em 2001 com as tecnologias UMTS e HSPA, com transmissão de dados em banda larga, acima de 2 Mbps. Em 2010 surgiu a quarta geração, utilizando a tecnologia LTE, com uma alta taxa de transmissão de dados de até 25 Mbps.

Prevê-se que em 2020 a quinta geração esteja dando os primeiros passos, com uma banda de transmissão de dados, acima de 1 Gbps, iniciando a comunicação rápida entre máquinas.

A Tabela 2 mostra um comparativo entre todas as gerações existentes, incluindo a quinta geração, que estará disponível por volta de 2020.

Tabela 2 - Comparação entre as gerações da rede de telefonia móvel

Tecnologia → Características ↓	1G	2G	3G	4G	5G
Início / Desenvolvimento	1970 – 1980	1990 - 2004	2004 – 2010	Agora	Em breve (provavelmente em 2020)
Dados de largura de banda	2 kbps	64 kbps	2 Mbps	1 Gbps	Superior a 1 Gbps
Tecnologia	Tecnologia de celular analógico.	Tecnologia de celular digital.	CDMA 2000 (1xRTT, EVDO) UMTS, EDGE	Wi-Max LTE Wi-Fi	WWWW (em breve)
Serviço	Telefonia móvel (Voz)	Voz digital, SMS e alta capacidade de empacotamento de dados.	Integrou alta qualidade de áudio, vídeo e dados.	Acesso à informação dinâmica, e dispositivos portáteis.	Acesso à informação dinâmica, e dispositivos portáteis com recursos de inteligência artificial.
Multiplexing	FDMA	TDMA, CDMA	CDMA	CDMA	CDMA
Núcleo da Rede	PSTN	PSTN	Packet N/W	Internet	Internet

Fonte: Adaptado de Sharma, (2013).

3.3 Terceira Geração

A terceira geração (3G) é conhecida pela integração do acesso a voz e dos dados digitais, que prometem acesso infinito de maneiras jamais vista, com taxas de transmissões de dados potencial de até 3 Mbps, além de ser a geração que, segundo especialistas, o uso de dados em dispositivos móveis ultrapassaria o uso da voz, em pouco tempo (TANENBAUM, 2011), (MAZZONI, 2014). A medida que os aparelhos móveis eram modernizado e surgiam novos dispositivos que se conectavam a rede móvel, o tráfego de dados crescia exponencialmente e, já havia ultrapassado o tráfego de voz na rede fixa, ao passo que o tráfego de voz na rede móvel mantinha-se estável (RAPPAPORT, 2009).

Os Estados Unidos procurava um padrão que fosse compatível com a tecnologia anterior, o IS-96, que foi amplamente desenvolvida no país. Então, a californiana Qualcomm propôs o CDMA2000, um sistema de banda larga, que usava canais de 1,25 MHz, atingindo taxas de transferência de dados de até 144 Kbps (307 Kbps na teoria) para *download* e, praticamente o mesmo, para *upload* (TANENBAUM, 2011), (ALECRIM, 2012). O

CDMA2000 permitia incluir de forma transparente e seletiva, as capacidades 3G em cada célula, sem ser necessário realocar o espectro ou mudar estações-base inteiras, assegurando que usuários da rede 3G tivessem acesso aos benefícios próprios dessa tecnologia, enquanto mantinham a compatibilidade com a tecnologia CDMA do padrão anterior, 2G (RAPPAPORT, 2009).

Com uma interface de ar modernista que evoluíra desde 1996, o *Wideband* CDMA (WCDMA) ou CDMA de banda larga, foi proposto pela Ericsson e adotado pela união europeia (TANENBAUM, 2011). Fabricantes, prestadoras e órgãos reguladores do governo europeu, coletivamente, desenvolveram as versões iniciais do WCDMA como um padrão de interface de ar aberta e competitivas para terceira geração das telecomunicações sem fio (RAPPAPORT, 2009). Devido ao uso de portadoras de 5 MHz, era possível taxas de transferências de *download* e de *upload* de até 2 Mbps (RAPPAPORT, 2009), (ALECRIM, 2012). Conforma Rappaport (2009) o padrão WCDMA foi projeto para ser uma opção atualização de alta capacidade para o GSM, porém, entre o final do século XX e o início do século XXI existiam outras propostas concorrentes de CDMA de banda larga que, posteriormente, aceitaram realizar uma união e formar um único padrão de WCDMA. Esse padrão passou a ser chamado de *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS) ou Sistema Universal de Telecomunicações Móveis (RAPPAPORT, 2009).

A China desenvolveu um padrão que baseava-se no Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo e Divisão de Código Síncrono (TD-SCDMA) em 1988, que viria a ser aprovado pela União Internacional de Telecomunicações (ITU) como umas das opções do 3G no final de 1999 (TANENBAUM, 2011). Este padrão era fundamentado na infraestrutura de núcleo GSM existente e isso possibilitava que uma rede 3G crescesse mediante a adição de equipamentos de alta taxa de dados nas estações-base GSM (RAPPAPORT, 2009). Segundo Rappaport (2009), os canais de rádios desse sistema possuem largura de banda de 1,6 MHz e contam com filtragem espacial, antenas inteligentes e técnicas de detecção de junção para gerar várias vezes mais eficiência de espectro do que GSM.

Ainda nessa geração surgiu uma tecnologia que viria revolucionar, mais ainda, o 3G, permitindo maiores taxas de transferências de *download* e de *upload*, suportando uma quantidade maior de usuários (FONSECA, 2009), (ALECRIM, 2012). O *High Speed Packet Access* (HSPA) ou Acesso a Pacotes em Alta Velocidade, ficou conhecido como uma evolução do WCDMA e, devido suas especificações atualizadas, viria a ser chamado de 3,5G (OLIVEIRA, 2007). A ideia por trás do HSPA é adição de dois canais, um responsável por

transferências de *download* e outro por transferências de *upload*, denominados de HSDPA e HSUPA, respectivamente, onde ambos trabalham utilizando portadoras de 5 MHz (TELECO, 2007), (ALECRIM, 2012). O HSDPA consegue taxas de transferências de dados de até 14,4 Mbps, enquanto o HSUPA atinge uma taxa máxima de 5,76 Mbps (FONSECA, 2009), (ALECRIM, 2012). Essas altas taxas de transmissão de dados devem-se ao fato da redução do TTI (Intervalo de Tempo de transmissão) (TELECO, 2007), (ALECRIM, 2012).

Posteriormente, surgiu a evolução do HSPA, denominada de HSPA+, cuja tecnologia pertence a geração “3,75G” (ALECRIM, 2012). O HSPA+ revolucionou mais ainda, comparado com seu antecessor, devido sua econômica atualização e sua capacidade de trabalhar com maiores taxas de transferências de dados, onde, teoricamente, é capaz de trabalhar com 168 Mbps para *download* e 22 Mbps para *upload*, com uma latência de 25 ms (TELECO, 2010), (ALECRIM, 2012). Entretanto, no Brasil, dificilmente as operadoras oferecem essas taxas de transferências em sua totalidade (ALECRIM, 2012). De acordo com Alecrim (2012), o HSPA+ trouxe outras vantagens, além do aumento da taxa de transferência de dados, como redução do tempo para estabelecimento de chamadas, ampliação considerável da capacidade para uso de voz — devido ao uso do VoIP e/ou *circuit-switched* (CS) — e o aproveitamento total das estruturas de redes do seu antecessor. Todos esses benefícios são consequências do uso multiportadora que agrega, num único canal, várias portadoras HSPA e criam um canal de dados maior, seja no canal de *download* ou no canal de *upload* (TELECO, 2010), (ALECRIM, 2012). Outros fatores que, também, contribuíram para melhores velocidades, foi utilização do MIMO (*Multiple Input Multiple Output*), uma técnica que faz uso de mais de uma antena, no mesmo canal, para transmissão, mantendo as portadoras de 5 MHz. Além disso, faz uso de modulação 64 QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) para *download* e 16 QAM para *upload*, favorecendo o aumento das taxas de transferências, principalmente nos dispositivos móveis que estão localizados mais próximos da base (TELECO, 2010).

3.4 Quarta Geração

A quarta geração (4G) surge com diversos recursos, mas o destaque fica por conta das altas taxas de transferências de dados, que alcançarão uma velocidade na casa das dezenas de megabits (RODRIGUES, 2012). A rede 4G é totalmente baseada no uso de *Internet Protocol* (IP), um sistema que integrará as redes de *wired* (cabo) e a rede *wireless* (sem fio)

(RODRIGUES; FARIA; AZEVEDO, 2015), (SGANZERLA; RÜCKER, 2010). Em uma série de testes, a Ericsson atingiu uma velocidade de banda de 160 Mbps em uma conexão 4G, entretanto o usuário final receberá uma banda entre 20 Mbps e 40 Mbps (SANTOS; FARIA; AZEVEDO, 2015).

O *Long Term Evolution* (LTE) ou Evolução de Longo Prazo é o primeiro padrão que utiliza a técnica de Acesso Múltiplo por Divisão de Frequências Ortogonais (OFDMA). A técnica de OFDMA baseia-se na divisão de banda disponível em milhares de subportadoras, transmitindo os dados de forma simultânea em várias dessas subportadoras, para um ou mais usuários. Um dos principais requisitos do 4G é a latência, que no LTE é em torno de 10 ms, atendendo o requisito de rede (SANTOS; FARIA; AZEVEDO, 2015). A rede suporta banda de largura flexível, com menos de 5 MHz até 20 MHz, nos modos de Duplexação por Divisão de Frequência (FDD) e Duplexação por Divisão de Tempo (TDD) (MOTA, 2009). Além disso, possui aspectos relevantes e atrativos para esse padrão que é operar em bandas de frequências licenciadas, alta capacidade, ampla cobertura e fortes mecanismos de QoS (Qualidade de Serviço), instalação *plug-and-play*, auto otimização e autoconfiguração, que facilitará e reduzirá custos de implantação e gerenciamento da rede (MOTA, 2009), (SANTOS, 2011), (SANTOS; FARIA; AZEVEDO, 2015). Outra vantagem econômica do LTE, é o fato de ser parcialmente compatível com a rede GSM, gerando um plano de upgrade mais suave para as operadoras (NIKOLOFSKI, 2011). A implementação do LTE ocorre em paralelo com as redes de transporte e núcleo com base em IP simples, o que facilitará mais ainda a construção, manutenção e introdução de serviços (SANTOS; FARIA; AZEVEDO, 2015).

3.4 Sistema de Telefonia Móvel

De acordo com Nascimento (2000), um sistema de telefonia celular é composto, basicamente, por Centrais de Controle Celular (CCC), Estações Rádio Base (ERB's) – instaladas em pontos estratégicos para gerar uma maior cobertura – e os Telefones Celulares (TC's). Além disso, este sistema oferece uma conexão sem fio para Rede de Telefonia Pública Comutada (RTPC), visando a comunicação dos telefones fixos (NASCIMENTO, 2000), (RAPPAPORT, 2009), (GODINHO; et al., 2018).

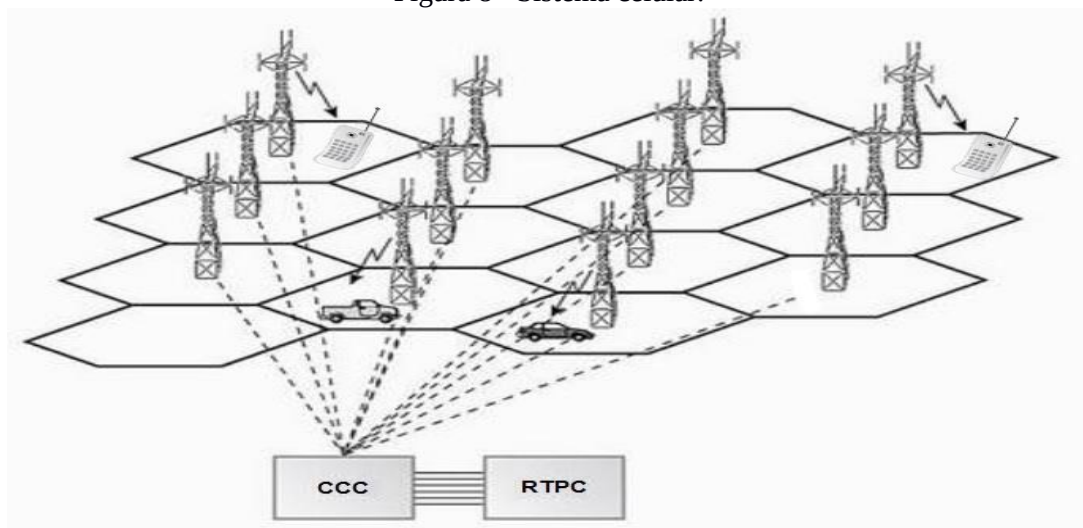
O funcionamento dos Sistemas de Telefonia Móvel consiste em dividir uma região geográfica em pequenas regiões e estas são denominadas de células, por esse motivo estes

dispositivos receberam o nome de telefone celular (RAPPAPORT, 2009). A cobertura de cada transmissor é limitada a uma estação rádio base, de forma que outra estação e/ou célula localizada a uma certa distância não adjacente, possa reutilizar os mesmos canais de rádio, ou seja, com o objetivo de dividir o tráfego de determinada região, as ERB's formam uma espécie de *clusters* (TANENBAUM, 2011), (GODINHO; et al., 2018). Diante disso, uma técnica sofisticada de comutação, chamada de *handoff* / *handover* (do inglês, transferência), possibilita que o usuário permaneça numa chamada sem interrupções quando passar de uma célula para outra (RAPPAPORT, 2009).

Conforme Nascimento (2000), cada célula tem um limite de usuários conectados em sua estação rádio base e quando este limite é ultrapassado, sucede um congestionamento de chamadas, entretanto alguns métodos, como a setorização, podem ser utilizados para reparar a situação. A técnica da setorização consiste na substituição de antenas onidirecionais por antenas direcionais e adicionar novos rádios (GODINHO; et al., 2018). Além de resolver o problema do congestionamento, esse procedimento reduz a interferência nos canais. Quando a setorização já não gera mais resultados satisfatório, pode-se utilizar o método da subdivisão das células, que consiste em adicionar novas ERB's para dividir toda a demanda (NASCIMENTO, 2000).

A seguir, a Figura 8 ilustra um sistema de telefonia móvel, onde as torres são as ERB's e o espaço que ela está, delimitado por um hexágono, representa a célula da mesma.

Figura 8 - Sistema celular.



Fonte: Adaptado de Rappaport (2009).

As Centrais de Controle Celular são responsáveis por conectar todas as estações móveis à RTPC em um sistema celular, onde cada estação móvel se conecta por meio de rádio com uma das estações de rádio base, podendo ser transferida durante a chamada para diversas ERB's (RAPPAPORT, 2009). As estações móveis são compostas por um transceptor (transmissor e receptor), uma antena e circuitos de controle, enquanto as estações de rádio base são compostas por transmissores e receptores que, simultaneamente, tratam das comunicações duplex e em geral as torres suportam várias antenas de transmissão e recepção. A ERB é responsável por interligar todos os usuários móveis da célula e realizar a conexão com as chamadas móveis simultâneas por linhas telefônicas ou enlace de micro-ondas à CCC (RAPPAPORT, 2009).

Uma Central de Controle Celular tradicional comporta 100 mil assinantes de celular, 5 mil conversas simultâneas e acomoda as funções de cobranças e manutenção do sistema, além de coordenar as atividades de todas as ERB's e conectar o sistema de celular inteiro à RTPC (RAPPAPORT, 2009). De acordo com Rappaport (2009), nos grandes centros, inúmeras CCC são utilizadas por uma única companhia de telefonia.

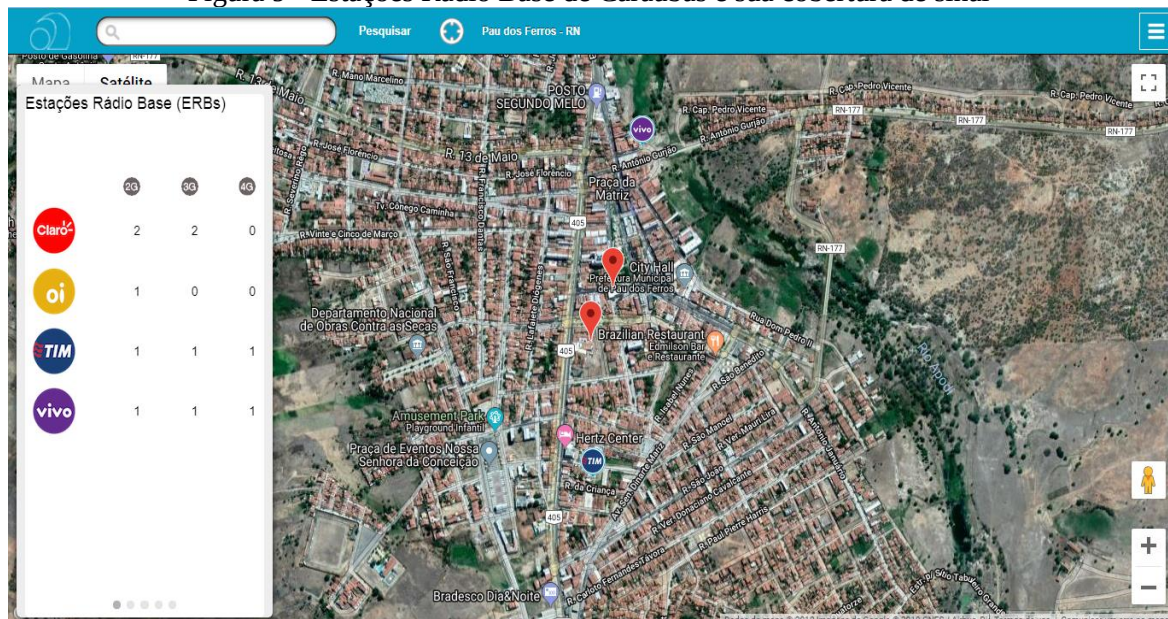
Canal de Voz Direto, Canal de Voz Reverso, Canal de Controle Direto e Canal de Controle Reverso, são os quatro canais responsáveis por efetuar a comunicação entre a estação rádio base e as estações móveis, onde essa comunicação é definida por um padrão CAI (*Common Air Interface*). O Canal de Voz Direto é responsável pela transmissão de voz da ERB para as estações móveis, enquanto o Canal de Voz Reverso faz a transmissão oposta. Já os Canais de Controle Direto e Reverso são encarregados de iniciar as ligações móveis

4 COLETA DE DADOS

Neste capítulo aborda-se os procedimentos feitos na coleta de dados, as operadoras móveis utilizadas, bem como os bairros da pesquisa, o aplicativo e o *smarthphone* utilizado.

A coleta de dados se deu na cidade Pau dos Ferros – RN, nos seguintes bairros: Alto do Açude, Aluizio Diógenes, Arizona, Barragem, Bela Vista, Carvão, Centro, Chico Cajá, João XXIII, João Catingueira, São Benedito, São Judas Tadeu, Princesinha do Oeste, Riacho do Meio e Zeca Pedro, contemplando pontos de toda a cidade. A Vivo e a Tim foram as operadoras escolhidas para realização da análise, pois, de acordo com a Anatel, são as únicas operadoras que disponibilizam o sinal 4G na cidade de Pau dos Ferros. No entanto, em todas as medições, a Vivo operou em 3G (HSPA+), enquanto a Tim operou em 4G (LTE). A seguir, a Figura 9 mostra a localização da estação rádio base da Tim, que fica próxima ao Hertz Center Hotel, e da Vivo, localizada nas proximidades do Açougue Público da cidade.

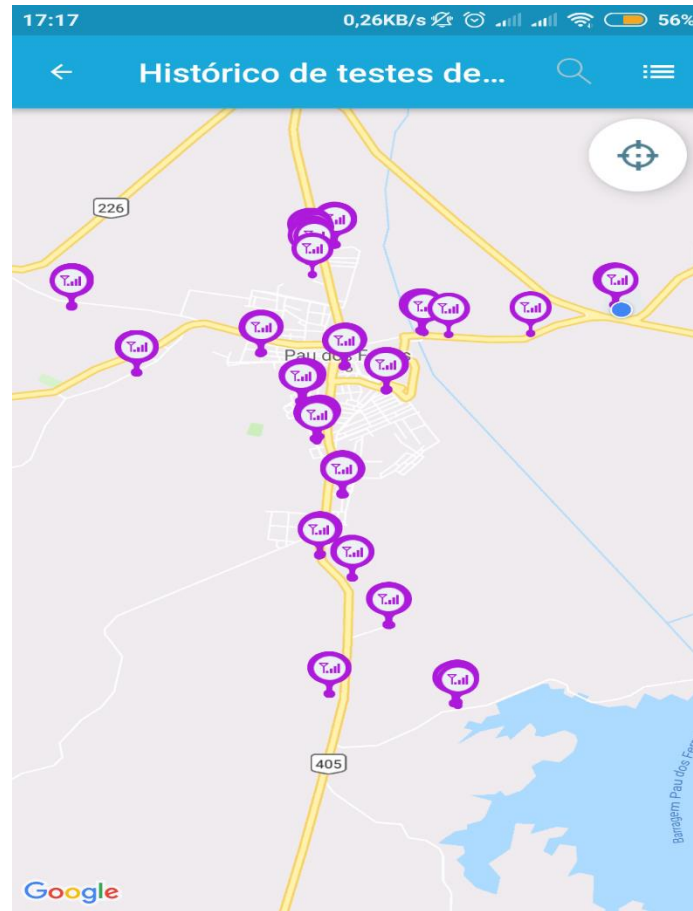
Figura 9 - Estações Rádio Base de Caraúbas e sua cobertura de sinal



Fonte: Anatel.

Para um melhor resultado, foram realizadas para cada bairro 40 medições em céu aberto de *download*, *upload*, latência e potência recebida, em pontos distintos, pelo aplicativo *OpenSignal* para plataforma Android. Além disso, a coleta de dados entre os bairros ocorreu em horários aleatórios. Foi utilizado para as medições o *smarthphone* Mi Max 2 da empresa Xioami, configurado para não realizar o *Roaming* de dados. A Figura 10, apresenta o histórico no aplicativo das medições realizadas nos bairros de Pau dos Ferros com a localização no mapa.

Figura 10 – Mapa com a localização das medições na cidade de Pau dos Ferros-RN.



Fonte: Autor.

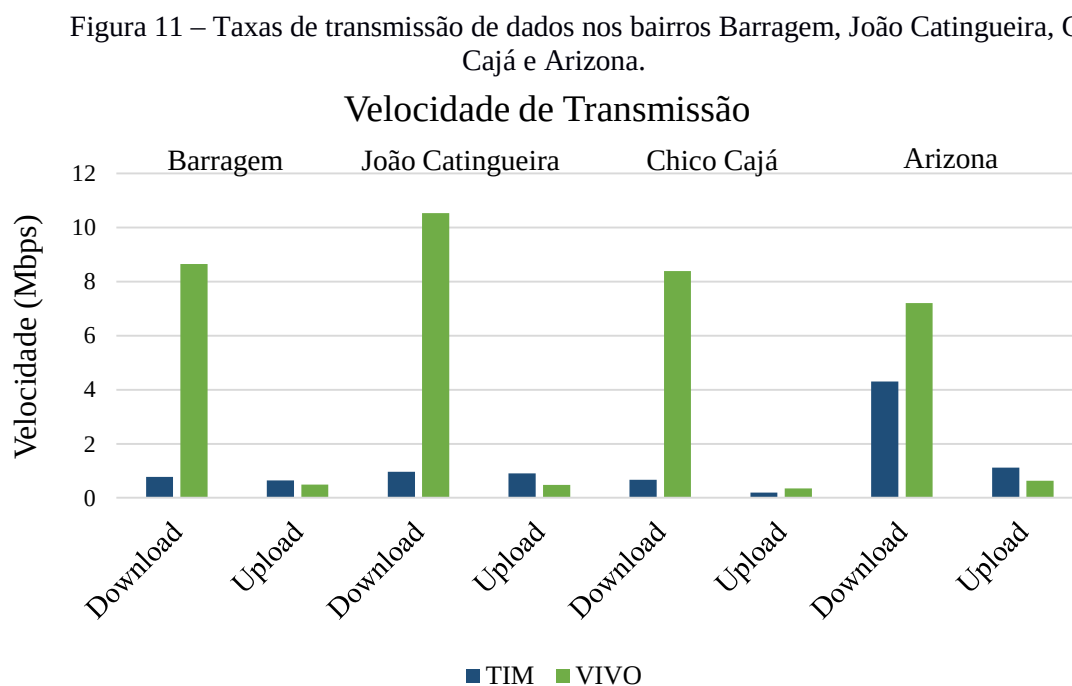
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após as medições, todos os dados coletados foram dispostos em tabelas, que possibilitou realizar a média aritmética de cada bairro, os dados foram divididos em seções de *download*, *upload*, latência e potência. Além da média aritmética, foi calculado a disponibilidade de resposta (quantidade de medições com resultados diferentes de zero ou nulo), que é a taxa de retorno de resposta, pois em alguns casos durante as medições, parâmetros como *download*, *upload* e latência, obtiveram resposta nula. Com base nessas informações, foram gerados os gráficos de Velocidade de Transmissão (*download* e *upload*), Latência e Potência Recebida, agrupados por regiões de quatro bairros adjacentes ou próximos. Desse modo, foi possível comparar os resultados entre os bairros de cada região

5.1 Velocidade de Transmissão

Neste subcapítulo serão apresentados os resultados referentes as taxas de transmissão de *download* e *upload*, bem como a disponibilidade de resposta para essas duas taxas.

A Figura 11 dispõe dos resultados para velocidade de transmissão de dados para os bairros Barragem, João Catingueira, Chico Cajá e Arizona.



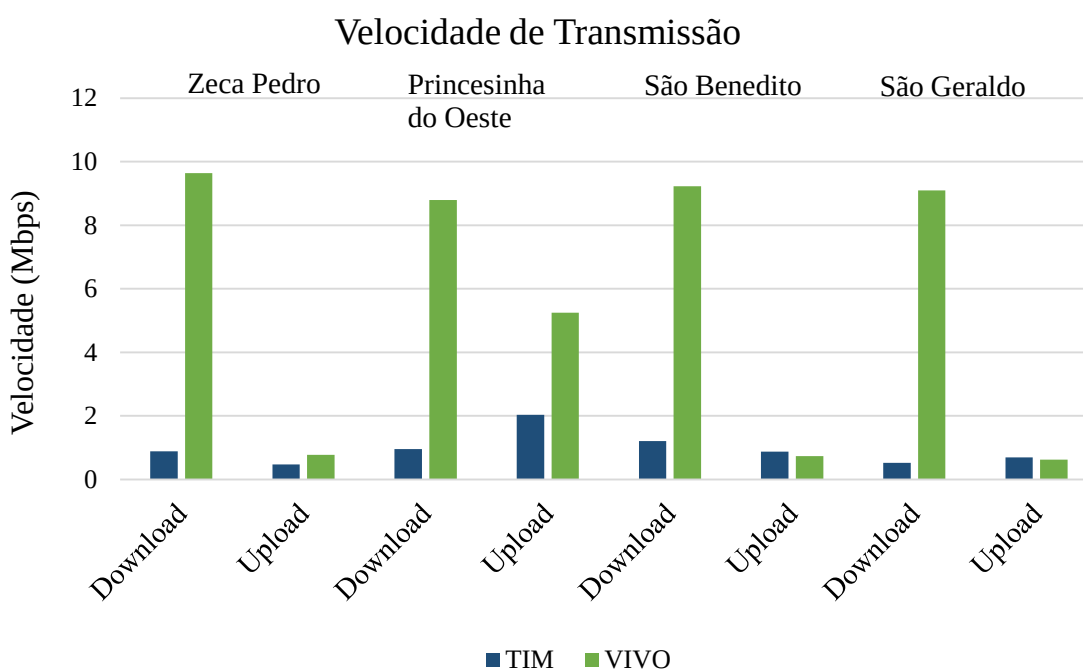
Fonte: Autor (2018).

Nota-se que em todos bairros da Figura 11, a Vivo obteve um desempenho superior nas taxas de transmissão de *download*, mesmo operando em 3G (HSPA+) e a Tim operando em

4G (LTE). Uma possível explicação para esse fenômeno, seria a quantidade de assinantes da Tim em Pau dos Ferros ser superior aos assinantes da Vivo, superlotando a célula e causando lentidão nas transmissões de dados. Com uma velocidade média de 10,53 Mbps, o bairro João Catingueira atingiu a melhor média de sua região com a Vivo, enquanto a melhor média de *download* da Tim foi de 4,43 Mbps no bairro Arizona. Os bairros Barragem, Chico Cajá e Arizona, obtiveram uma disponibilidade de resposta de 100 % para a operadora Tim. Nas transmissões de *upload*, a Tim logrou melhores resultado em quase todos os bairros, exceto no Chico Cajá. Apenas a Tim, no bairro Chico Cajá, obteve 100 % de disponibilidade de resposta.

A Figura 12 dispõe dos resultados para velocidade de transmissão de dados para os bairros Zeca Pedro, Princesinha do Oeste, São Benedito e São Geraldo.

Figura 12 – Taxas de transmissão de dados nos bairros Zeca Pedro, Princesinha do Oeste, São Benedito e São Geraldo



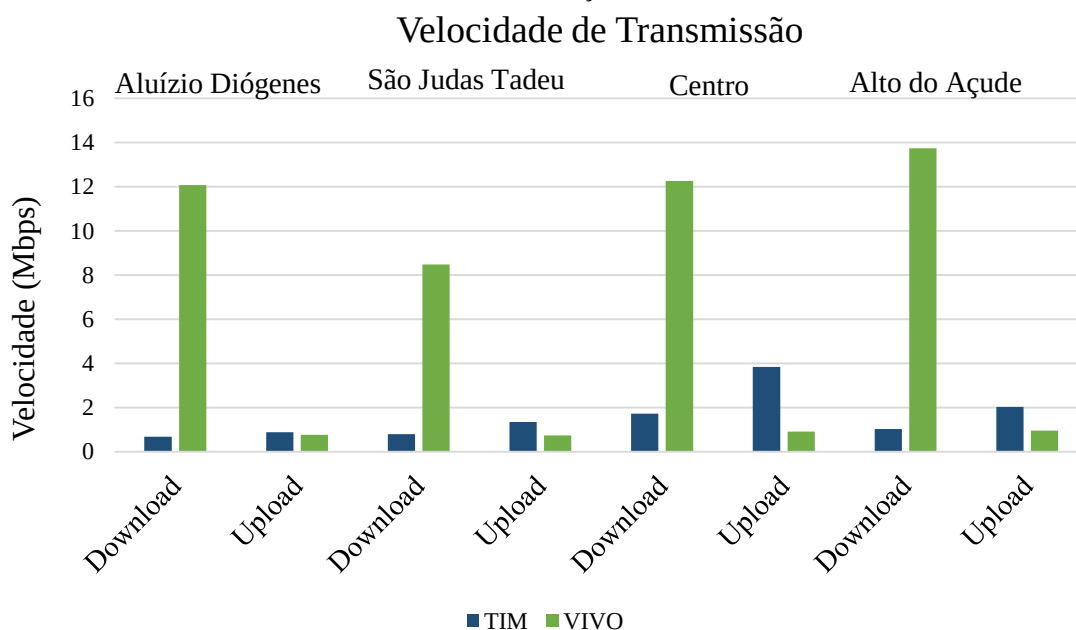
Fonte: Autor (2018).

Como pode ser visto na Figura 12, mais uma vez, a Vivo desempenhou um melhor resultado nas transmissões de dados de *downloads* em todos bairros dessa região, com velocidade entre 8 e 9 Mbps, enquanto a menor taxa foi 0,52 Mbps da operadora Tim, bairro Alto São Geraldo. Os bairros Zeca Pedro e Princesinha do Oeste obtiveram 100 % de resposta para transmissões de *download* na Tim, enquanto a Vivo obteve a menor taxa, de 83,33 %, no bairro São Benedito. Nas transmissões de dados em *upload*, os maiores resultados foram no

bairro Princesinha do Oeste com 5,52 Mbps e 2,03 Mbps, para a Vivo e a Tim, respectivamente. O bairro Zeca Pedro conseguiu 100 % de disponibilidade de resposta para transmissões de *upload* com a Vivo, enquanto o Princesinha do Oeste obteve 100 % com a Tim.

A Figura 13 dispõe dos resultados para velocidade de transmissão de dados para os bairros Aluízio Diógenes, São Judas Tadeu, Centro e Alto do Açude.

Figura 13 – Taxas de transmissão de dados nos bairros Aluízio Diógenes, São Judas Tadeu, Centro e Alto do Açude.

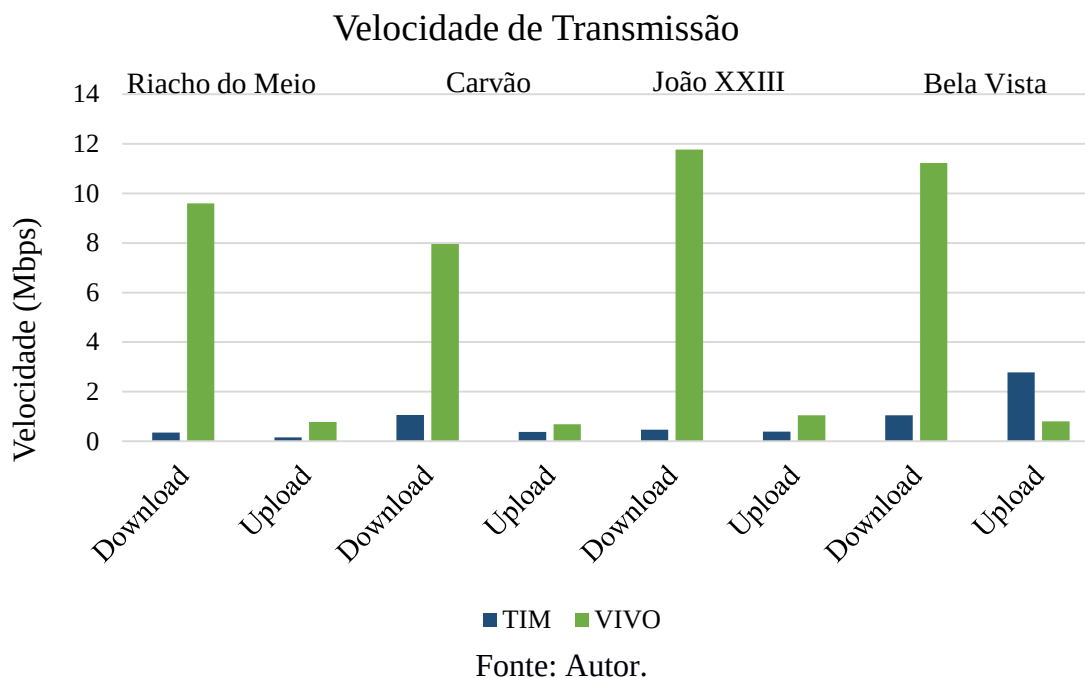


Fonte: Autor

Os resultados apresentados na Figura 13 mostra a Vivo com as três melhores velocidades de transmissões de *downloads*, dentre todos os bairros coletados, nos bairros Aluízio Diógenes, Centro e Alto do Açude, que alcançaram velocidades de 12,07 Mbps, 12,26 Mbps e 13,74 Mbps, respectivamente. Enquanto a melhor velocidade de *download* alcançada pela Tim, foi de 1,74 Mbps no Centro da cidade. A Tim obteve 100 % de disponibilidade de resposta nos quatros bairros, enquanto a Vivo, somente, no bairro Alto Açude. Nas transmissões de *upload*, a Tim conseguiu o melhor resultado, com 3,84 Mbps no Centro, enquanto a menor taxa foi de 0,74 Mbps no São Judas Tadeu, pela operadora Vivo. A Vivo atingiu a taxa de 100 % de disponibilidade de resposta de *upload* em três bairros, com exceção, apenas, do Aluízio Diógenes. A Tim logrou os 100 % de disponibilidade de reposta de *upload*, somente, no São Judas Tadeu.

Na Figura 14 dispõe os resultados para velocidade de transmissão de dados nos bairros São Judas Tadeu, João Catingueira, Arizona e Centro

Figura 14 - Taxas de transmissão de dados nos bairros Riacho do Meio, Carvão, João XXIII e Bela Vista



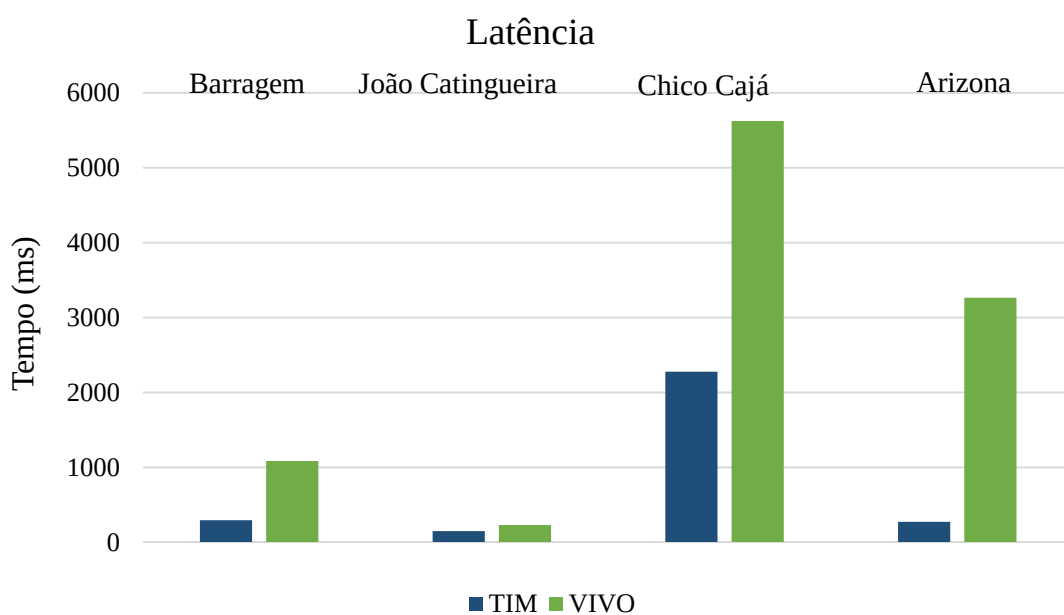
Com base na Figura 14, a região que compreende bairros localizados em duas saídas da cidade, tem-se os bairros João XXIII e Bela Vista com as melhores taxas de transmissão de *downloads* dessa região, com 11,77 Mbps e 11,22 Mbps, respectivamente. Em outra saída, estão os bairros Riacho do Meio e Carvão, com localização afastada do centro da cidade, a Vivo atingiu taxas de transmissão de *download* de 9,6 Mbps e 7,96 Mbps, respectivamente. O melhor desempenho da Tim, nas taxas de transmissão de *download*, foi no bairro Bela Vista com 1,05 Mbps, e o pior desempenho foi no bairro Riacho do Meio com uma taxa de 0,35 Mbps. No bairro Bela Vista, a Tim e a Vivo lograram uma disponibilidade de resposta de 100 %, enquanto no Carvão a Vivo atingiu a menor disponibilidade de resposta, com 80 %. A maior taxa nas transmissões de dados de *upload*, foi bairro Bela Vista com 2,78 Mbps, e a menor foi no bairro Riacho do Meio com 0,16 Mbps, ambas as transmissões pela operadora Tim. Os bairros João XXIII e Riacho do Meio, obtiveram uma disponibilidade resposta de 58,97 % e 54,29 %, respectivamente, pela operadora Tim, enquanto a Vivo alcançou 100 % disponibilidade de resposta nos dois bairros.

5.2 Latência

Neste subcapítulo serão apresentados os resultados de latência, que é o tempo de resposta para transmissão de dados.

A Figura 15 dispõe dos resultados para tempo de resposta nas medições realizadas nos bairros Barragem, João Catingueira, Chico Cajá e Arizona.

Figura 15 - Tempo de resposta para transmissão de dados nos bairros Barragem, João Catingueira, Chico Cajá e Arizona.

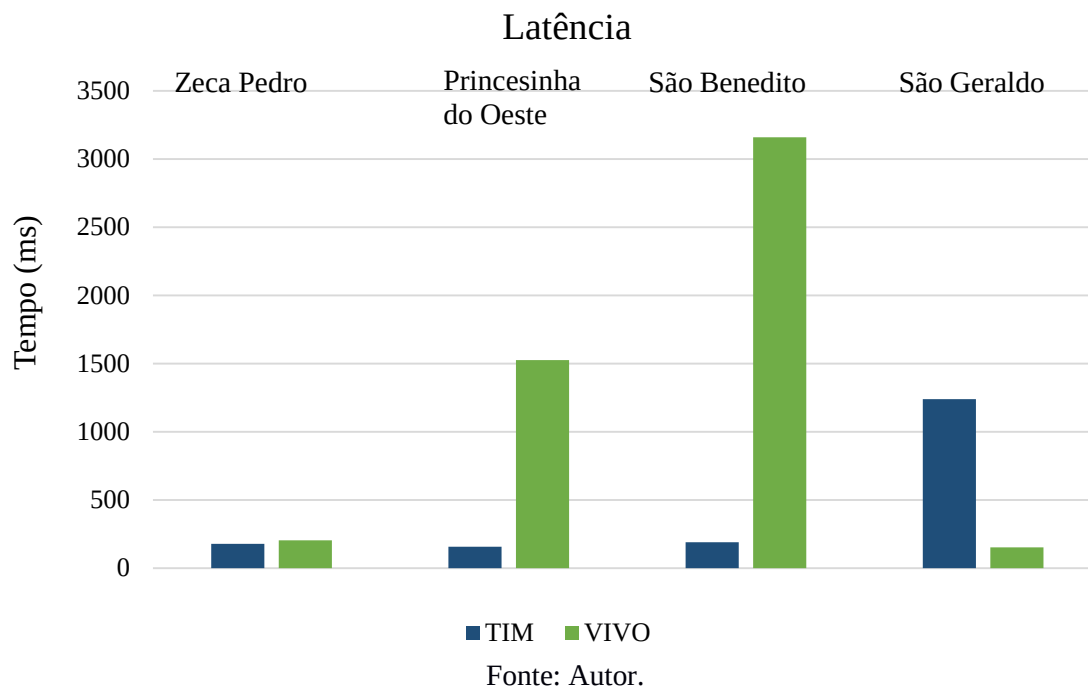


Fonte: Autor.

Como base na Figura 15, nota-se que a operadora Vivo obteve maior latência em todos os bairros. O bairro Chico Cajá atingiu a maior latência para as duas operadoras, a Vivo com uma latência de 5623 ms, duas vezes maior que da Tim naquele bairro. Enquanto o bairro João Catingueira obteve a menor latência para ambas as operadoras, a Tim com 148,29 ms e a Vivo com 229,41 ms. Somente no bairro João Catingueira a Tim obteve uma disponibilidade de resposta para latência de 100 %, enquanto o bairro Arizona alcançou a menor disponibilidade de resposta com 68,62 %, também, para Tim.

Na Figura 16 dispõe dos resultados para tempo de resposta nas medições realizadas nos bairros Zeca Pedro, Princesinha do Oeste, São Benedito e São Geraldo.

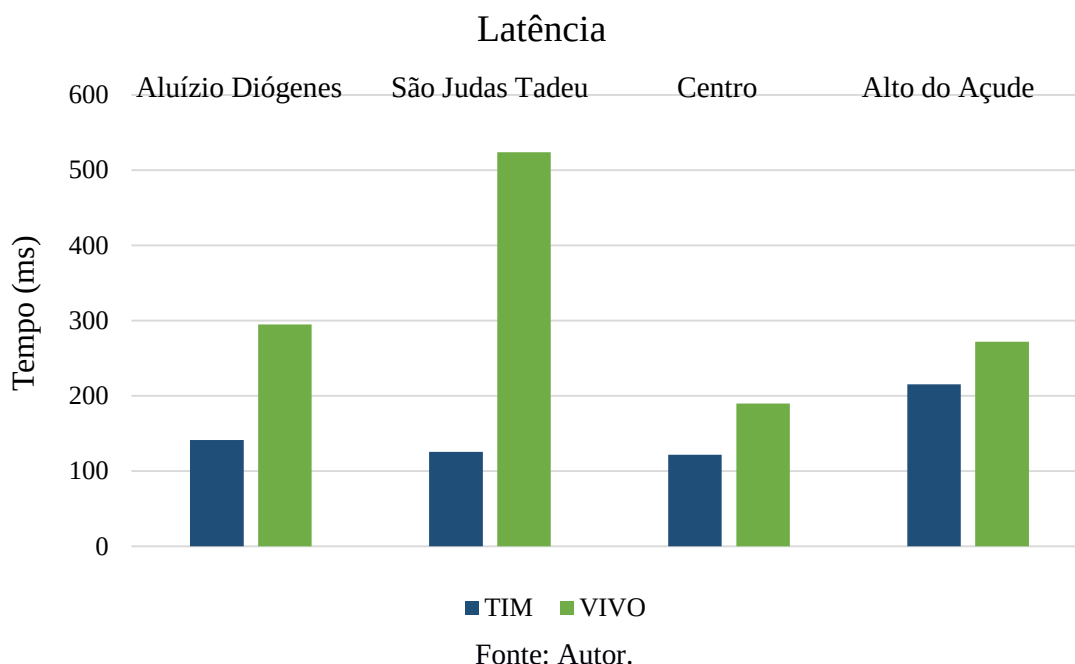
Figura 16 – Tempo de resposta para transmissão de dados nos bairros Zeca Pedro, Princesinha do Oeste, São Benedito e São Geraldo.



Os resultados na região da Figura 16, foram melhores do que os da região anterior, provavelmente, por ficar mais próxima das ERBs. Novamente, as maiores latências foram alcançadas pela operadora Vivo, nos bairros São Benedito e Princesinha do Oeste, com 3159,19 ms e 1526,47 ms, respectivamente. A menor latência nessa região foi no bairro Princesinha do Oeste com 157,95 ms, pela operadora Tim. Nos bairros Zeca Pedro e Princesinha do Oeste, a Tim obteve 100 % de disponibilidade de resposta, enquanto a menor disponibilidade de resposta foi no Princesinha do Oeste com a operadora Vivo.

A Figura 17 dispõe dos resultados para tempo de resposta nas medições realizadas nos bairros Aluizio Diógenes, São Judas Tadeu, Centro e Alto do Açude.

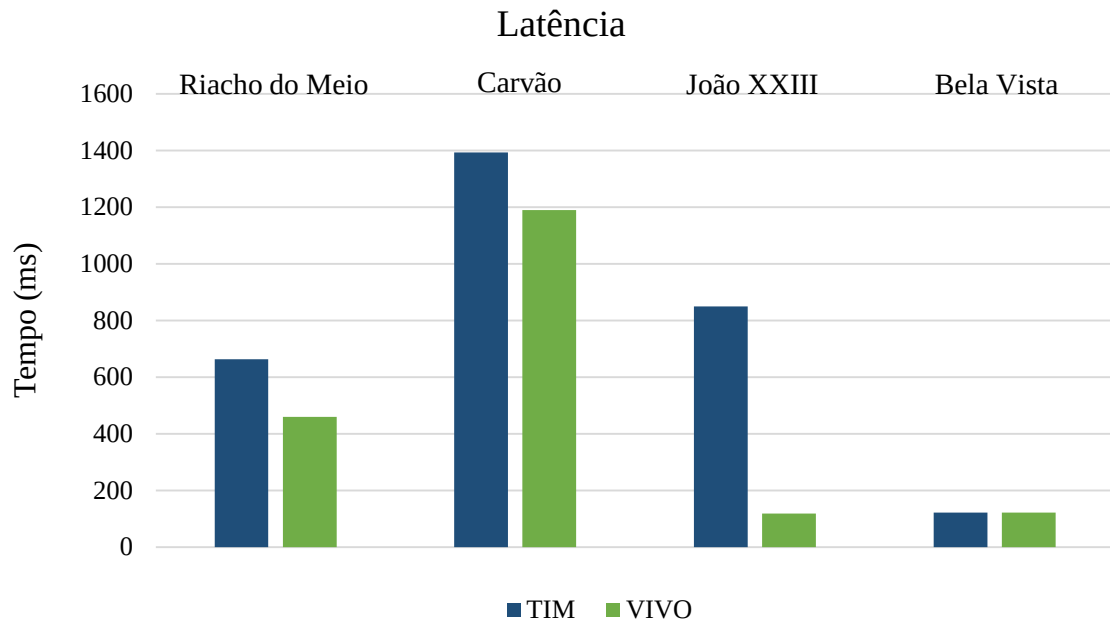
Figura 17 - Tempo de resposta para transmissão de dados nos bairros Aluízio Diógenes, São Judas Tadeu, Centro e Alto do Açude.



Nota-se que, mais uma vez, a Vivo atingiu as maiores latências nos quatros bairros. O São Judas Tadeu obteve a maior latência com 523,92 ms, seguido do Aluízio Diógenes com 294,69 ms, ambos pela operadora Vivo. As menores latências ocorreram nos bairros São Tadeu e Centro, com 125,28 ms e 121,67 ms, respectivamente. Nos bairros Aluízio Diógenes, São Judas Tadeu e Centro, a Tim atingiu 100 % de disponibilidade de resposta para potência recebida, enquanto a Vivo obteve 100 %, somente, no São Judas Tadeu. Essa região obteve resultados melhores do que as regiões anteriores, possivelmente, pelo fato dos bairros se localizarem próximos as ERBs de ambas as operadoras.

A Figura 18 dispõe dos resultados para tempo de resposta nas medições realizadas nos bairros Riacho do Meio, Carvão, João XXIII e Bela Vista.

Figura 18 - Tempo de resposta para transmissão de dados nos bairros Riacho do Meio, Carvão, João XXIII e Bela Vista.



Fonte: Autor.

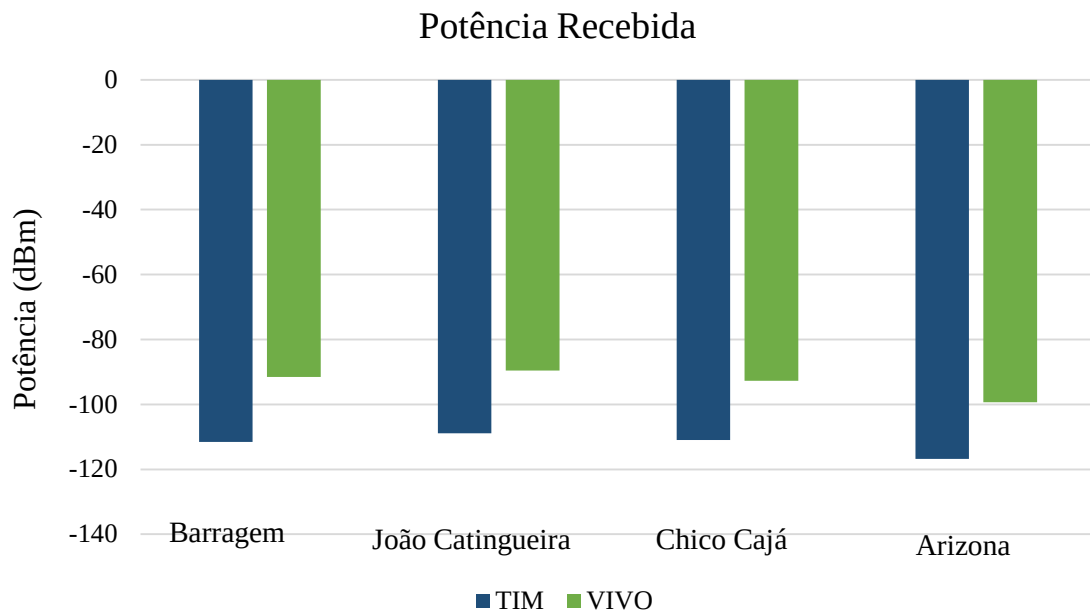
De acordo com a Figura 18 , é possível perceber que o bairro Carvão obteve as maiores latências para Tim e Vivo, com o tempo de 1393,26 ms e 1189,64 ms, respectivamente. Já o bairro Bela Vista alcançou a menor latência para ambas as operadoras, com 121,89 ms para Tim e 121,86 para Vivo, praticamente iguais. No bairro Carvão, a Tim e a Vivo obtiveram as menores taxas de disponibilidade de resposta, com 65,71 % e 71,43 %, respectivamente.

5.3 Potência

Neste subcapítulo serão apresentados os resultados da potência recebida durante as medições em cada bairro.

A Figura 19 apresenta os resultados da potência recebida nos bairros Barragem, João Catingueira, Chico Cajá e Arizona.

Figura 19- Potência recebida nos bairros Barragem, João Catingueira, Chico Cajá e Arizona.

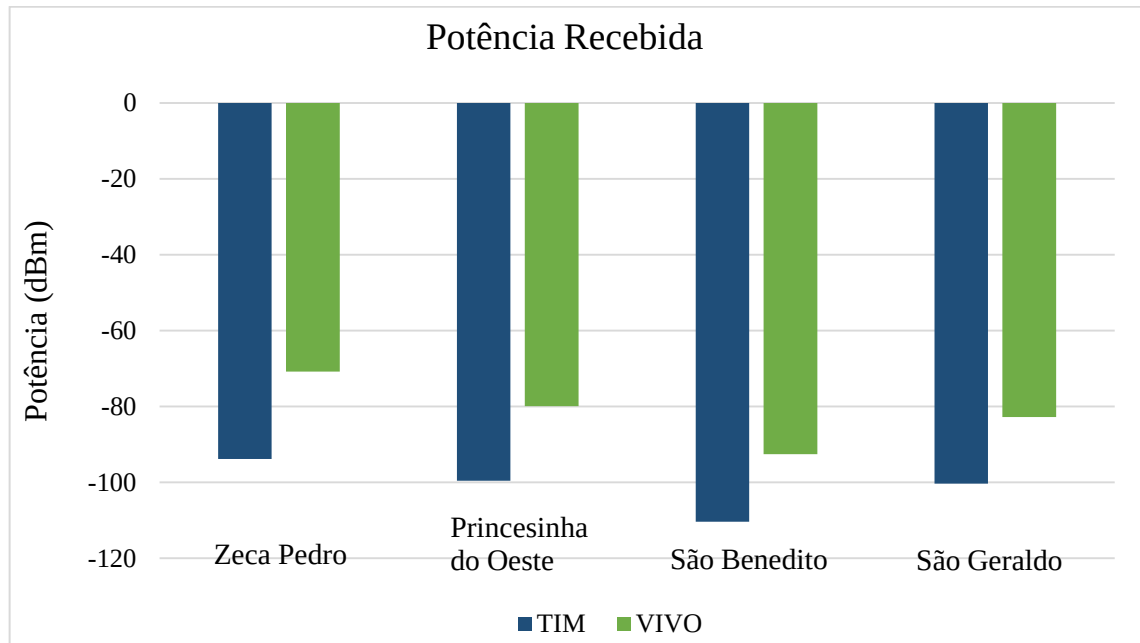


Fonte: Autor.

Na Figura 19 nota-se que a Vivo alcançou as maiores potências recebida em todos os bairros, com resultados bem próximos entre si. João Catingueira, Barragem e Chico Cajá, obtiveram os maiores desempenhos, com -89,57 dBm, -91,5 dBm e 92,74 dBm, respectivamente. O bairro Arizona recebeu a menor potência, -116,8 dBm, com a operadora Tim.

A Figura 20 apresenta os resultados da potência recebida nos bairros Zeca Pedro, Princesinha do Oeste, São Benedito e São Geraldo.

Figura 20 - Potência recebida nos bairros Zeca Pedro, Princesinha do Oeste, São Benedito e São Geraldo.

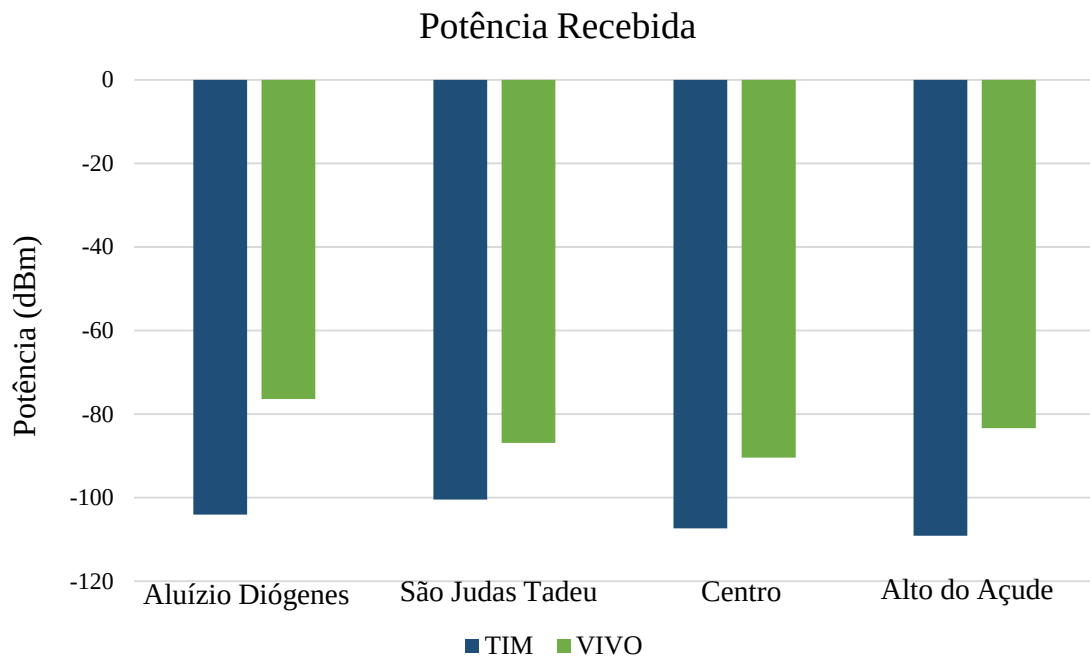


Fonte: Autor.

Novamente, a Vivo recebe as maiores potências nos quatro bairros apresentado na Figura 20. O Zeca Pedro com -70,78 dBm, seguido do Princesinha do Oeste com -79,93 dBm. Enquanto a Tim obteve os menores resultados, com o bairro São Benedito recebendo 110,39 dBm, seguido do São Geraldo com -100,35 dBm.

A Figura 21 apresenta os resultados da potência recebida nos bairros Aluizio Diógenes, São Judas Tadeu, Centro e Alto do Açude.

Figura 21 - Potência recebida nos bairros Aluizio Diógenes, São Judas Tadeu, Centro e Alto do Açude.

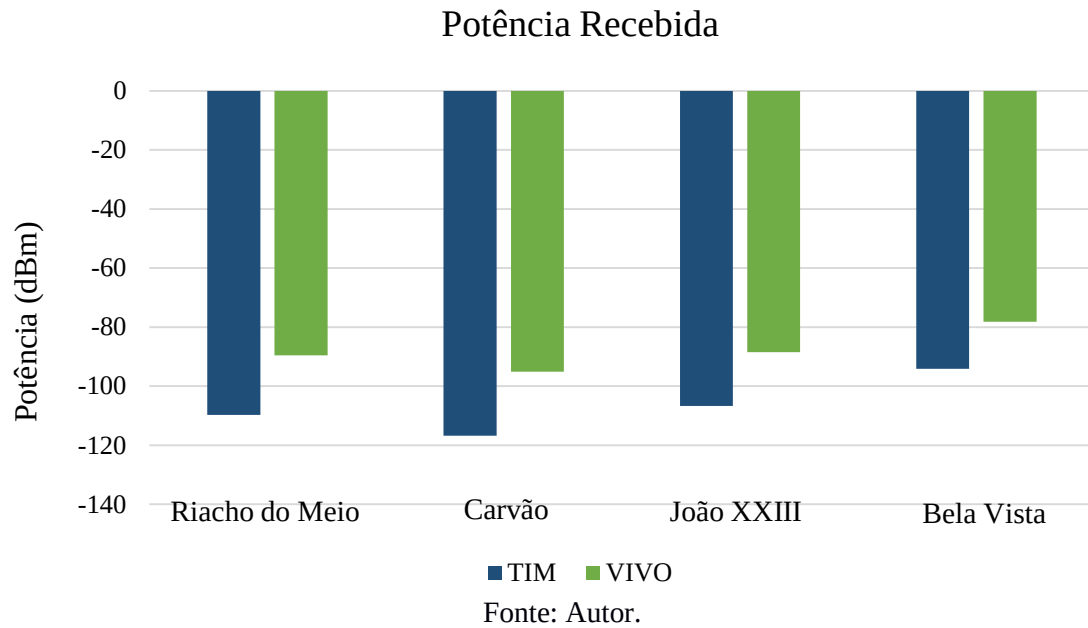


Fonte: Autor.

De acordo com a Figura 21, no bairro Aluizio Diógenes, a Vivo teve a maior potência recebida, com -76,44 dBm, enquanto no bairro Alto do Açude a Tim recebeu a menor potência, com -109,11 dBm.

A Figura 22 apresenta os resultados da potência recebida nos bairros Riacho do Meio, Carvão, João XXIII e Bela Vista.

Figura 22 - Potência recebida nos bairros Riacho do Meio, Carvão, João XXIII e Bela Vista.



Nota-se que, novamente, a Vivo apresentou os maiores resultados para potência recebida, com destaque para o bairro Bela Vista que obteve uma potência recebida de -78,19 dBm, enquanto no bairro Carvão a Tim atingiu uma potência de -116,83 dBm, ficando em último lugar.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o crescente mercado dos serviços para comunicação sem fio, o presente trabalho desempenhou um papel importante para a comunidade de Pau dos Ferros-RN que, agora, dispõe de resultados reais da qualidade da *internet* móvel da cidade, proporcionando aos usuários a comodidade de saber qual operadora obteve melhores resultados em uma região específica.

Através das medições individuais, foi visto que a qualidade da potência recebida não tem relação com a taxa de transmissão dos dados móveis, uma vez que, para uma potência de -91 dBm alcançou-se taxas de transmissões de dados de *download* de 0 Mbps, 0,84375 Mbps, 3,6 Mbps, 4,52 Mbps, 10,48 Mbps e 12, 94 Mbps. Além disso, como já foi dito anteriormente, a Tim e a Vivo utilizaram as tecnologias LTE e HSPA+, respectivamente, em todas as aferições. De acordo com as especificações disponíveis, a HSPA+ tem uma latência de 25 ms, enquanto a LTE é de 10 ms, porém, nenhum resultado de latência chegou próximo da especificada para cada tecnologia.

Futuramente, objetiva-se aumentar a quantidade de regiões analisadas e acrescentar as operadoras que não entraram nesse primeiro momento para a coleta de dados, visando aumentar a quantidade de informações para os usuários dos serviços móveis.

REFERÊNCIAS

ALECRIM, Emerson. **Tecnologias 3G e 4G: CDMA-2000, UMTS, HSPA, HSPA+ e LTE**. 2012. Disponível em: <<https://www.infowester.com/3g4g.php>>. Acesso em: 06 set. 2018.

ALMEIDA, Marco Antônio FR de. **Introdução ao LTE–Long Term Evolution, 2012**. Disponível em: <<http://teleco.com.br/pdfs/tutorialintlte.pdf>>. Acesso em: 10 de Junho 2018.

ANATEL, Agência Nacional de Telecomunicações. **Relatório Anual 2015**. 2015. Disponível em:
<<http://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?numeroPublicacao=342736&assuntoPublicacao=null&caminhoRel=null&filtro=1&documentoPath=342736.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2018.

ANATEL, Agência Nacional de Telecomunicações. **Brasil registra 241 milhões de linhas móveis em operação em setembro de 2017**. 2017. Disponível em:
<<http://www.anatel.gov.br/institucional/noticias-destaque/1805-brasil-registra-241-milhoes-de-linhas-movel-em-operacao-em-setembro-de-2017>>. Acesso em: 28 ago. 2018.

ASSIS, Katiane Estevam Gurgel de. **COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS CLÁSSICOS DE PROPAGAÇÃO APLICADOS A SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES SEM FIO**. 2015. 70 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2015.

CARAZZA, Vitor A. et al. Sistema de Medição e Análise de Qualidade de Redes Celulares Móveis. **XXXV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais**. São Pedro - Sp, p. 944-948. set. 2017.

FLORA, Saymon Della. et al. Um Método Para Análise Comparativa de Qualidade Entre Operadoras de Serviço de Dados da Rede Celular. **XXII Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web**. Porto Alegre – RS, p. 85-88. Mai. 2018.

FONSECA, Willian. **O que é HSPA?** 2009. Disponível em:
<<https://www.tecmundo.com.br/conexao/2669-o-que-e-hspa-.htm>>. Acesso em: 06 set. 2018.

GODINHO, Hélio Ferreira et al. UMA ABORDAGEM SOBRE A TECNOLOGIA 4G LTE E SUA APLICAÇÃO NO BRASIL. **Revista Científica Semana Acadêmica**, Fortaleza, v. 1, n. 120, p.1-14, 2018.

MAZZONI, Victor de Souza. **Análise Histórica e Funcional das Redes 4G LTE**. 2014. 56 f. Monografia (Especialização) - Curso de Sistemas de Informação, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014.

MOTA, Tiago Andrade. **Redes 3G e Evolução para as Redes 4G**. 2009. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/pdfs/tutoriale4g.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2018.

NASCIMENTO, Juarez do. **Telecomunicações**. São Paulo: Makro Books, 2000.

NIKOLOFSKI, Daniel Ricardo Ferreira. **A QUARTA GERAÇÃO DAS REDES SEM FIO: BENEFÍCIOS E EVOLUÇÃO**. 2011. 28 f. Monografia (Especialização) - Curso de Teleinformática e Redes de Computadores, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

OLIVEIRA, Anderson Clayton de. **HPDPA: Transmissão de Dados em Telefonia Móvel**. 2007. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/pdf2010/tutorialhspdpa.pdf>>. Acesso em: 06 set. 2018.

OLIVEIRA, Marcos de. **Mais rápido e interativo**. 2016. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2016/10/074-077_5G_248.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2018.

PORTELA, Fabio Malet. **Mecanismos para análise de potência de sinal em dispositivos móveis**. 2015. 72 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciências da Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

RAPPAPORT, Theodore S. **Comunicações sem fio: princípios e práticas**. Pearson Prentice Hall, 2009.

RODRIGUES, C. F. R. **Avaliação da Qualidade e Desempenho de Serviços em Redes LTE** [dissertação de mestrado]. Lisboa, Portugal: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa; 2012.

ROLIN, Evandro Cherubini. **ANÁLISE DA QUALIDADE E DO DESEMPENHO DA COBERTURA CELULAR LONG TERM EVOLUTION EM CURITIBA, PARANÁ**. 2014. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

RUBINSTEIN, Marcelo Gonçalves. **Redes de Computadores sem Fio**. Rio de Janeiro: Slide, 2017. Color.

SABLON, Vicente Becerra. ANÁLISE, MEDIDAS E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE REDE EM AMBIENTE INDOOR-“Validação da Qualidade do sinal, das operadoras de celulares, nas dependências da Universidade São Francisco–Campus ITATIBA”. **Ensaio USF**, v. 1, n. 1, p. 161-170, 2017.

SANTOS, Emmanuel Gonçalves Chapaval dos. **COMPARAÇÃO ENTRE WIMAX E LTE**. 2011. 42 f. Monografia (Especialização) - Curso de Teleinformática e Redes de Computadores, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

SANTOS, Danusa dos; FARIA, Douglas Bento; AZEVEDO, Jonathan Pessanha de Almeida. **TELEFONIA MÓVEL: EVOLUÇÃO E DEPENDÊNCIA**. 2015. Disponível em: <<http://bd.centro.iff.edu.br/bitstream/123456789/1062/1/Telefonia%20M%C3%B3vel%20-%20Evolu%C3%A7%C3%A3o%20e%20depend%C3%Aancia.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2018.

SGANZERLA, Andrei Ricardo; RÜCKER, Lauro Henrique de Aquino. **Estudo Comparativo entre as redes 3G e 4G**. 2010. Disponível em: <<http://www.ppgia.pucpr.br/~jamhour/RSS/TCCRSS09A/Andrei%20Ricardo%20Sganzerla%20-%20RSS09A.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2018.

SHARMA, Pankaj. Evolution of mobile wireless communication networks-1G to 5G as well as future prospective of next generation communication network. **International Journal of Computer Science and Mobile Computing**, v. 2, n. 8, p. 47-53, 2013.

SILVA, Luis Gustavo; SABLON, Vicente Becerra; BUOSI, Leonardo. ANÁLISE, MEDIDAS E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE REDE EM AMBIENTE INDOOR-“Validação da Qualidade do sinal, das operadoras de celulares, nas dependências da Universidade São Francisco–Campus ITATIBA”. **Ensaio USF**, v. 1, n. 1, p. 161-170, 2017.

TANENBAUM, A. S.; WETHERALL, J. Redes de Computadores. 5ª edição. **Rio de Janeiro**. Editora Campus, 2011.

TELECO. **HSPA: Conceitos Básicos**. 2007. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/pdfs/tutorialhsdpacb.pdf>>. Acesso em: 06 set. 2018.

TELECO. **HSPA+: O que vem a seguir?**. 2010. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/pdfs/tutorialhspamais.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2018.

ANEXO A – TABELA COM OS DADOS DAS COLETAS

Tabela 3 - Resultados da Tim

RESULTADOS					
Bairros ↓		TIM			
		DOWN (MBPS)	UP (MBPS)	LATENCIA (MS)	POTENCIA (DBM)
Alto do Açude	Média	1,02	2,02	215,06	-109,11
	Disponibilidade (%)	100,00	97,30	97,30	n/a
Aluizio Diogenes	Média	0,68	0,88	140,97	-104,06
	Disponibilidade (%)	100,00	91,67	100,00	n/a
Arizona	Média	4,30	1,12	271,77	-116,80
	Disponibilidade (%)	100,00	100,00	62,86	n/a
Barragem	Média	0,77	0,65	291,16	-111,61
	Disponibilidade (%)	100,00	86,11	88,89	n/a
Carvão	Média	1,06	0,38	1393,26	-116,83
	Disponibilidade (%)	100,00	91,43	65,71	n/a
Centro	Média	1,72	3,84	121,67	-107,33
	Disponibilidade (%)	100,00	91,67	100,00	n/a
Chico Cajá	Média	0,67	0,20	2276,06	-111,00
	Disponibilidade (%)	100,00	86,84	81,58	n/a
João XXIII	Média	0,47	0,39	849,85	-106,69
	Disponibilidade (%)	97,44	58,97	100,00	n/a
João Catingueira	Média	0,96	0,91	148,29	-108,91
	Disponibilidade (%)	97,14	88,57	100,00	n/a
São Benedito	Média	1,20	0,87	190,86	-110,39
	Disponibilidade (%)	97,22	100,00	97,22	n/a
São Geraldo	Média	0,52	0,69	1240,38	-100,35
	Disponibilidade (%)	95,00	85,00	97,50	N/A
São Judas Tadeu	Média	0,79	1,35	125,28	-100,49
	Disponibilidade (%)	100,00	100,00	100,00	n/a
Princesinha do Oeste	Média	0,95	2,03	157,95	99,53
	Disponibilidade (%)	100,00	80,00	100,00	n/a
Riacho do Meio	Média	0,35	0,16	662,77	-109,71
	Disponibilidade (%)	97,22	54,29	100,00	n/a
Zeca Pedro	Média	0,88	0,47	177,33	-93,83
	Disponibilidade (%)	100,00	91,67	100,00	n/a

Tabela 4 - Resultados da Vivo

RESULTADOS					
Bairros ↓		VIVO			
		DOWN (MBPS)	UP (MBPS)	LATENCIA (MS)	POTENCIA (DBM)
Alto do Açude	Média	13,74	0,95	272,00	-83,38
	Disponibilidade (%)	100,00	100,00	97,30	n/a
Aluízio Diógenes	Média	12,07	0,77	294,69	-76,44
	Disponibilidade (%)	88,89	97,22	80,56	n/a
Arizona	Disponibilidade (%)	7,20	0,63	3262,73	-99,34
	Média	82,86	94,29	74,29	n/a
Bela Vista	Disponibilidade (%)	8,65	0,49	1083,57	-91,50
	Média	77,78	94,44	63,89	n/a
Carvão	Disponibilidade (%)	7,96	0,69	1189,64	-95,14
	Média	80,00	97,14	71,43	n/a
Centro	Média	12,26	0,91	189,88	-90,39
	Disponibilidade (%)	94,44	100,00	88,89	n/a
Chico Cajá	Média	8,39	0,35	5623,00	-92,74
	Disponibilidade (%)	86,84	94,74	84,21	n/a
João XXIII	Média	11,77	1,05	119,13	-88,46
	Disponibilidade (%)	97,44	100,00	100,00	n/a
João Catingueira	Média	10,53	0,48	229,41	-89,57
	Disponibilidade (%)	82,86	97,14	62,86	n/a
São Benedito	Média	9,23	0,73	3159,19	-92,53
	Disponibilidade (%)	83,33	94,44	72,22	n/a
São Geraldo	Média	9,10	0,62	153,14	-82,78
	Disponibilidade (%)	92,50	92,50	90,00	N/A
São Judas Tadeu	Média	8,47	0,74	523,92	-86,92
	Disponibilidade (%)	94,87	100,00	100,00	n/a
Princesinha do Oeste	Média	8,79	5,25	1526,47	-79,93
	Disponibilidade (%)	87,50	97,50	70,00	n/a
Riacho do Meio	Média	9,60	0,78	459,90	-89,63
	Disponibilidade (%)	94,29	100,00	82,86	n/a
Zeca Pedro	Média	9,64	0,77	203,51	-70,78
	Disponibilidade (%)	100,00	100,00	97,22	n/a