

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**DEPARTAMENTO DE ELETRÔNICA**  
**ENGENHARIA ELÉTRICA**

**PABLO BELLASCUZA MONTEIRO**  
**THOMAS SANTOS PORTELA**

**AVALIAÇÃO DA TÉCNICA PLC *HOMEPLUG* PARA COMUNICAÇÃO  
DE DADOS PELA REDE ELÉTRICA E APLICAÇÃO NO CENÁRIO DE  
INTERNET DAS COISAS (IOT)**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PONTA GROSSA**

**2019**

**PABLO BELLASCUZA MONTEIRO**  
**THOMAS SANTOS PORTELA**

**AVALIAÇÃO DA TÉCNICA PLC *HOMEPLUG* PARA COMUNICAÇÃO  
DE DADOS PELA REDE ELÉTRICA E APLICAÇÃO NO CENÁRIO DE  
INTERNET DAS COISAS (IOT)**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel, em  
Engenharia Elétrica, do Departamento  
Acadêmico de Eletrônica, da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Murilo Oliveira Leme

**PONTA GROSSA**

**2019**



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Câmpus Ponta Grossa  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Departamento Acadêmico de Eletrônica  
Engenharia Elétrica



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**AVALIAÇÃO DA TÉCNICA PLC HOMEPLUG PARA  
COMUNICAÇÃO DE DADOS PELA REDE ELÉTRICA E  
APLICAÇÃO NO CENÁRIO DE INTERNET DAS COISAS  
(IOT)**

por

**PABLO BELLASCUZA MONTEIRO**

e

**THOMAS SANTOS PORTELA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 12 de dezembro de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia Elétrica. O(A) candidato(a) foi arguido(a) pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof(a). Dr. Murilo Oliveira Leme  
Orientador(a)

---

Prof(a). Dr<sup>a</sup>. Cristhiane Gonçalves  
Membro Titular

---

Prof(a). Msc. Jeferson José Gomes  
Membro Titular

---

Prof. Dr. Josmar Ivanqui  
Responsável pelos TCC

---

Prof. Dr. Sergio Okida  
Coordenador do Curso

– O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso –

## RESUMO

MONTEIRO, Pablo; PORTELA, Thomas. **Avaliação da técnica PLC *HomePlug* para comunicação de dados pela rede elétrica e aplicação no cenário de internet das coisas (IoT)**. 2019. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.

A tecnologia chamada de comunicação de dados vem em grande crescente no mundo. Há uma grande variedade de tipos de comunicação de dados, desde a comunicação cabeada até a comunicação sem fio. Tendo em vista que a comunicação sem fio possui limitações em relação a cabeada, a comunicação por cabo domina o mercado atualmente. De modo evidente, a quantidade de cabos produzida e instalada no mundo é grande. Relacionando o meio ambiente a tal produção, observa-se que pode ocorrer uma degradação do mesmo. A rede elétrica também utiliza cabos para a sua distribuição ao redor do país. Conjuntamente, o Modem TL-PA411, da TP-LINK, consegue realizar comunicações utilizando os cabos já instalados da rede elétrica. Com isto em mente, realizou-se variados ensaios para testar a viabilidade da utilização do Modem em âmbito residencial e industrial. Testou-se o Modem em diferentes distancias e fluxos de dados na rede de computadores, e também com um motor causando ruído na rede elétrica. Além disso também se mencionou a aplicação na Internet das coisas.

**Palavras-chave:** Comunicação de dados. Rede elétrica. Internet das coisas.

## ABSTRACT

MONTEIRO, Pablo; PORTELA, Thomas. **Homeplug PLC evaluation for data communication by the power grid and application in the Internet of Things (IoT) scenario.** 2019. 69 p. Work of Conclusion Course (Graduation in Electrical Engineering) - Technological Federal University of Parana. Ponta Grossa, 2019.

The technology called data communication comes in great growing in the world. There is a wide variety of types of data communication, from wired communication to wireless communication. Because wireless communication has limitations in relation to cabling, cable communication currently dominates the market. Clearly, the number of cables produced and installed in the world is large. Relating the environment to such production, it can be observed that a degradation of it can occur. The power grid also uses cables for its distribution around the country. Together, TP-LINK's TL-PA411 Modem is able to perform communications using the cables already installed in the electrical network. With this in mind, several tests were carried out to test the feasibility of using the modem in residential and industrial environments. The modem was tested at different distances and data flows in the computer network, as well as with a motor causing noise in the electrical network. In addition, the application of things on the Internet was also mentioned.

**Keywords:** Data communication. Power Grid. Internet of things.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura do cabo coaxial .....	15
Figura 2 - Fluxo de dados .....	17
Figura 3 - Modelo OSI .....	18
Figura 4 - Diagrama de rede LAN e WAN .....	20
Figura 5 - Esquemático da topologia de barramento .....	21
Figura 6 - Esquemático da topologia de anel .....	21
Figura 7 - Esquemático da topologia estrela .....	21
Figura 8 - Esquemático da topologia em malha .....	22
Figura 9 - Sistema de comunicação digital.....	25
Figura 10 - Modulação FSK .....	26
Figura 11 - Modulação ASK .....	27
Figura 12 - Modulação PSK .....	27
Figura 13 - Modulação QAM de 16 bits.....	28
Figura 14 - Ilustração da OFDM.....	29
Figura 15 - Modulação OFDM.....	29
Figura 16 – Modem TP-LINK TL-PA411 .....	30
Figura 17 - Janela de operação do software Jperf .....	32
Figura 18 - Coluna de configuração para envio de dados.....	33
Figura 19 – Gráfico gerado a partir da transmissão de dados .....	33
Figura 20 - Modem conectado ao computador.....	34
Figura 21 - Configuração do servidor no software .....	35
Figura 22 - Configuração do cliente no software.....	35
Figura 23 - Seleção do protocolo TCP .....	35
Figura 24 - Seleção do protocolo UDP .....	35
Figura 25 - Topologia dos primeiro e segundo ensaios .....	37
Figura 26 - Topologia dos terceiro e quarto ensaios .....	37

Figura 27 - Topologia dos quinto e sexto ensaios .....	38
Figura 28 - Topologia dos sétimo e oitavo ensaios .....	38
Figura 29 - Motor monofásico com escovas.....	39
Figura 30 - Ruído na rede elétrica Bloco V .....	40
Figura 31 - Ruído na rede elétrica com motor ligado Bloco V .....	40
Figura 32 - Ruído na rede elétrica Bloco C .....	41
Figura 33 - Transmissão de 100 MB com protocolo TCP a 5 metros.....	43
Figura 34 - Transmissão de 100 MB com protocolo UDP a 5 metros .....	43
Figura 35 - Transmissão de 1 MB com protocolo TCP a 5 metros com 5 fluxos de dados .....	44
Figura 36 - Transmissão de 1 MB com protocolo UDP a 5 metros com 5 fluxos de dados .....	44
Figura 37 - Transmissão de 100 MB com protocolo TCP a 5 metros com 5 fluxos de dados .....	45
Figura 38 - Transmissão de 100 MB com protocolo UDP a 5 metros com 5 fluxos de dados .....	45
Figura 39 - Transmissão de 100 MB com protocolo TCP a 50 metros.....	47
Figura 40 - Transmissão de 100 MB com protocolo UDP a 50 metros .....	47
Figura 41 - Transmissão de 10 MB com protocolo TCP a 50 metros com 5 fluxos de dados .....	48
Figura 42 - Transmissão de 10 MB com protocolo UDP a 50 metros com 5 fluxos de dados .....	49
Figura 43 - Transmissão de 100 MB com protocolo TCP a 100 metros.....	50
Figura 44 - Transmissão de 100 MB com protocolo UDP a 100 metros .....	51
Figura 45 - Transmissão de 100 MB com protocolo TCP a 20 metros com motor ligado na rede .....	53
Figura 46 - Transmissão de 100 MB com protocolo TCP a 20 metros com motor ligado na rede .....	53
Figura 47 - Transmissão de 100 MB com protocolo TCP a 20 metros com motor ligado na rede e com 5 fluxos em paralelo.....	54
Figura 48 - Transmissão de 100 MB com protocolo UDP a 20 metros com motor ligado na rede e com 5 fluxos em paralelo.....	55

Figura 49 - Diferença de tempo de envio com protocolo UDP de acordo com a distância .....	56
Figura 50 - Diferença de perda pacote com protocolo UDP de acordo com a distancia .....	56
Figura 51 - Diferença de perda pacote com protocolo TCP de acordo com a distancia .....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo de tecnologias .....	25
Tabela 2 - Ensaio com 5 metros e sem fluxos paralelos .....	42
Tabela 3 - Ensaio com 5 metros e 5 fluxos de dados em paralelo .....	43
Tabela 4 - Ensaio com 50 metros sem fluxos em paralelo.....	46
Tabela 5 - Ensaio com 50 metros e 5 fluxos em paralelo .....	48
Tabela 6 - Ensaio com 100 metros e sem fluxos em paralelo.....	49
Tabela 7 - Ensaio com 100 metros e 5 fluxos de dados em paralelo.....	51
Tabela 8 - Ensaio com 20 metros e motor de escovas monofásico sem fluxos em paralelos.....	52
Tabela 9 - Ensaio com 20 metros e motor de escovas monofásico com 5 fluxos de dados em paralelos.....	53
Tabela 10 - Recomendações de uso dos protocolos .....	57

## LISTA DE SIGLAS

ABES	Associação Brasileira das Empresas de Software
AES	Advanced Encryption Standard
ASK	Amplitude Shift Keying
FSK	Frequency Shift Keying
GPS	Global Positioning System
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IoT	Internet of Things
LAN	Local Area Network
MIMO	Multiple-Input and Multiple-Output
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSI	Open System Interconnection
PLC	Power Line Communication
PSK	Pre-Shared Key
PVC	Polyvinyl Chloride
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
WAN	Wide Area Network

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	13
1.2 OBJETIVO GERAL .....	13
1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>14</b>
2.1 COMUNICAÇÃO DE DADOS .....	14
2.2 EVOLUÇÃO E TIPOS DE REDES .....	19
2.3 PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO PLC, HOMEPLUG AV1, AV2, IEEE1901, PRIME E G3.....	23
2.4 MODENS DE COMUNICAÇÃO .....	25
2.5 INTERNET DAS COISAS .....	30
2.6 SOFTWARE JPERF.....	31
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>34</b>
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>42</b>
4.1 ANÁLISE DE RESULTADOS.....	55
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>59</b>
<b>6. TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>60</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>61</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O maior impacto causado na sociedade após o surgimento da Internet é a percepção do espaço geográfico. A evolução das redes extinguiu as barreiras geográficas no que diz respeito à distância, provocou mudanças econômicas globais, em especial nas indústrias. (RECUERO, 2000).

Com a evolução dos computadores, indústrias e centros de pesquisas elevaram-se a outro patamar. Entrava em questão a rapidez com que os cálculos eram computados, no entanto cada máquina encontrava-se isolada uma da outra, não podendo comunicar-se entre si.

No fim da década de 60, com o surgimento das redes, computadores já trocavam informações. Em 1972, a rede conectava 40 locais distintos que trocavam entre si pequenos dados de texto. A partir daí a rede de Internet nunca mais parou de crescer. (GUTIERREZ; et al., 1999).

Em paralelo à evolução das redes, o meio de transmissão também se desenvolveu. A ideia da comunicação por meio da rede elétrica (PLC) surgiu ainda em 1838, quando Edward Davy propôs inspecionar os níveis de baterias de estações distantes das linhas de telégrafo, entre Liverpool e Londres. (CARCELLE, apud FARIAS, 2017).

Nos últimos anos o termo IoT ganhou espaço no campo da inovação tecnológica. O conceito refere-se a interconexão entre objetos por intermédio da internet. São inúmeras as possibilidades de aplicações, desde automação residencial a industrial. Com a Internet das coisas, existe a previsão de aproximadamente 75 bilhões dispositivos estarem conectados à Internet até o ano de 2025 (BALAS; et al., 2018).

De acordo com dados da ABES, espera-se alcançar uma receita de US\$ 9 bilhões na área de IoT, ainda em 2019. A tendência é que haja um aumento de 20% ao ano na área até 2022. (AGENCIA TELEBRASIL, 2019). Até o ano de 2020, a expectativa é de que a IoT movimente cerca de US\$ 7 trilhões na economia global. (COMPTIA, apud QUARESMA et al., 2019).

Com base nas informações citadas a cima, este trabalho tem a intenção de analisar o funcionamento do Modem TP-LINK TL-PA411, com padrão *Homeplug*, em aplicações direcionadas à Internet das coisas.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Com a realização de ensaios e coleta de dados, será possível a análise e estudo dos mesmos, para ao final obter-se conclusões sobre a viabilidade do uso do Modem em âmbito residencial e industrial, em perspectiva da Internet das coisas. Isto criará a oportunidade da construção de sistemas e equipamentos habilitados a participar da Internet das coisas via rede elétrica.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Análise de dados coletados a partir de ensaios realizados com o Modem TP-LINK TL-PA411, a fim de observar e afirmar sua viabilidade em aplicações que envolvem a Internet das coisas, seja em ambiente residencial ou industrial.

### 1.2.1 Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre comunicação de dados, redes de computadores, Modems e softwares utilizados para análise de rede;
- Estabelecer uma bateria de ensaios condizente com o objetivo a ser alcançado;
- Estabelecer locais e padrões para os ensaios;
- Montar em bancada as situações previstas pela bateria de ensaios;
- Realizar a coleta de dados a partir dos ensaios;
- Analisar os dados coletados e constatar a viabilidade do Modem em questão.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção explicitará os conteúdos nos quais a pesquisa foi embasada.

### 2.1 COMUNICAÇÃO DE DADOS

A primeira conexão em rede surgiu em 1969, conectando a Universidade da Califórnia (UCLA) com o *Stanford Research Institute* (SRI). A primeira mensagem enviada pela rede foi a palavra 'login' (Webb, 2013), as duas primeiras letras chegaram ao destino, e logo o sistema saiu do ar. O mundo vivia a guerra fria, logo havia a necessidade da não concentração de informações e estudos científicos num único ponto, o que tornava os dados mais vulneráveis em caso de ataque nuclear. Assim foram surgindo nós conectados a essa rede que dispersaram informações, onde havendo necessidade, era possível extrair os dados em qualquer ponto de acesso (CORRÊA, 2014).

De acordo com Forouzan (2006), o conceito básico de comunicação de dados está diretamente relacionado a envio de dados de um lado para outro, usando um meio para transmissão. Cabo coaxial, de fibra óptica, par trançado, ondas de rádio, são exemplos de meio de transmissão de dados.

Conforme Maia (2009) o cabo coaxial se destacou em redes com topologias de barramento, onde todas as máquinas estavam ligadas a ele. Hoje, sua maior aplicação está na transmissão de sinais de televisão. A estrutura do cabo é composta de aço cobreado, revestido por um material isolante, onde este é revestido por uma manta blindada, e por fim uma capa de PVC. A Figura 1 ilustra a estrutura do cabo.

**Figura 1 - Estrutura do cabo coaxial**



Fonte: (TecNet, 2009)

A reviravolta na transmissão de dados se deu a partir da utilização de fibra óptica. Usando sílica como meio de transmissão é possível transportar dados a até 40Gbps (BERTOLOTO, 2012). O princípio de funcionamento é simples, é possível explicá-lo por meio da lei de Snell. O cabo de fibra óptica é constituído de sílica, e de uma camada protetora que a reveste. A sílica apresenta índice de refração ( $n_1$ ) maior que a camada envolvente ( $n_2$ ), portanto, existe um ângulo limite onde a luz irá refratar-se dado por:

$$n_1 \text{sen} \theta_{crit} = n_2 \quad (1)$$

$$\text{sen} \theta_{crit} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$

A partir do ângulo encontrado, qualquer valor para  $\Theta > \Theta_{crit}$  a reflexão será total, logo a luz irá percorrer todo o meio de transmissão. Porém na prática ocorre perdas devido a refração de alguns feixes de luz, devido por exemplo a microcurvaturas da fibra.

“As comunicações sem fio estão gozando seu período de crescimento mais rápido na história devido as tecnologias habilitadoras, que permitem sua implantação em todos os lugares” (RAPPAPORT, 2008, p. 01). É incontestável a grande expansão

das redes sem fio devido a facilidade em que esta oferece, não importa em qual ponto extremo do planeta você se encontra é possível implantar uma rede *wireless*.

A teoria de Maxwell e a comprovação experimental da existência de ondas eletromagnéticas por Hertz, levou Guglielmo Marconi a criar uma empresa de telegrafia sem fio. Mais tarde Marconi conseguiu estabelecer comunicação sem fio entre os continentes Americano e Europeu. Para tanto foi necessário aumentar o comprimento de onda na ordem de centenas de metros (FERNANDES,).

Segundo Fernandes o primeiro satélite de comunicação foi lançado em 1957 pela União Soviética e de lá pra cá o modo de se comunicar sofreu uma revolução. Tecnologias desenvolvidas especialmente para militares começaram a fazer parte do cotidiano das pessoas, o uso do GPS e os telefones moveis tomaram forma. O ser humano sempre buscou por inovações, e a comunicação sem fio apesar de ter sido descoberta a mais de um século, está no topo da inovação tecnológica.

Parece simples, mas há regras para que essa comunicação ocorra. Estas por sua vez possuem protocolos e padrões a serem seguidos. Os protocolos são criados a partir de programações bem estruturadas, para executar uma tarefa (RIOS, 2011, p.15). Só é possível se comunicar após estabelecer regras que garanta um entrosamento entre máquinas numa rede. Isto nada mais é que uma linguagem universal onde as máquinas de quaisquer fabricantes se entendem. Sendo um protocolo adotado no mundo todo, este se torna um padrão (FOROUZAN, 2006).

A estruturação para que os dados possam ser enviados estão descritas abaixo (FOROUZAN, 2006):

- Entrega: Os dados a serem enviados deve possuir o endereço de destino.
- Precisão: A informação deve chegar da mesma forma a qual foi enviada, não podendo haver dados modificados ou perdidos.
- Sincronização: A depender do tipo de transmissão, os dados devem chegar quase que instantaneamente ao tempo em que foram produzidos. Não é desejável por exemplo assistir a uma partida de futebol ao vivo, onde a informação chega com atraso.

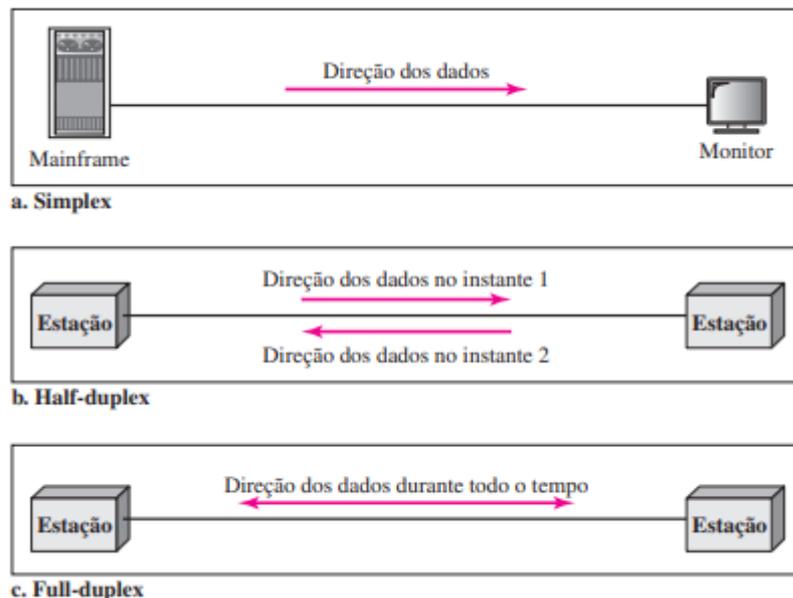
- Jitter: Quando ocorre variação no tempo de entrega de dados. Pacotes possuem tempos de envio predeterminados.

Quanto ao fluxo de dados, eles podem ser:

- Simplex: Os dados são transmitidos em uma única direção.
- Half-duplex: Os dados são transmitidos em qualquer direção, desde que no meio de transmissão em questão a informação percorra um sentido de cada vez.
- Full-duplex: Os dados podem ser transmitidos em ambas as direções simultaneamente.

Conforme Fourozan (2006), o processo de comunicação de dados está dividido em sete camadas interrelacionadas, também conhecido como modelo OSI (Figura 2).

**Figura 2 - Fluxo de dados**



Fonte: FOROUZAN, 2006

Salvo as camadas 1 e 7 da Figura 3, as demais camadas recebem serviços da camada inferior e serve a camada superior. Em comunicação direta entre máquinas, cada camada conversa com sua camada equivalente em outra máquina.

**Figura 3 - Modelo OSI**

Fonte: Adaptado de: FOUROZAN, 2006

A camada física trata exclusivamente do meio físico da transmissão, ou seja do hardware envolvido. É responsável pelo transporte de cada bit de dado, definindo assim o seu fluxo, sincronizar os clocks do emissor e receptor e o tempo de duração de um bit.

A camada de enlace de dados é responsável por traduzir as informações da camada física para que sejam enviadas a camada de rede, e vice-versa. É responsável por detectar erros de pacotes retransmitir dados perdidos ou danificados e reconhecer frames duplicados, possui um *trailer* no final de cada frame indicando o final de cada pacote. Para cada quadro recebido pelo emissor, este envia um quadro de confirmação ao emissor. Caso o receptor receba os dados com velocidade abaixo da emitida pelo emissor, a camada trata o canal para que o emissor não sobrecarregue.

A camada de rede tem o objetivo de garantir a entrega do pacote até o seu destino. Normalmente entre máquinas se comunicando numa mesma rede, não a necessidade da operação da camada de rede. Entre links de redes diferentes tem-se a atuação da camada.

A camada de transporte, diferente da camada de rede, onde cada pacote é tratado de forma isolada, a camada de transporte identifica a quantidade de pacotes que deve ser entregue a determinado endereço, monitorando o fluxo de dados de ponta a ponta e controlando os erros.

A camada de sessão permite comunicar aplicações entre máquinas, estabelecendo quem irá se comunicar, se a comunicação é *half-duplex* ou *full-duplex*. A camada adiciona pontos de verificações em diversos momentos ao longo do volume total de dados. Isto garante que em caso de uma falha no envio todo o pacote não seja novamente reenviado.

A camada de apresentação é responsável por criptografar e descriptografar informações garantindo a segurança da informação. As informações enviadas podem ser codificadas por um método, e decodificada por outro, assim a camada tem que garantir a interoperabilidade da transmissão. É possível comprimir arquivos extensos, reduzindo o número de bits na transmissão.

A camada de aplicação é a camada mais próxima do usuário, onde se encontram os protocolos para comunicação, como o protocolo HTTP, onde por exemplo para navegar numa página na Web o navegador escreve o link que irá acessar e o envia ao servidor por meio do HTTP.

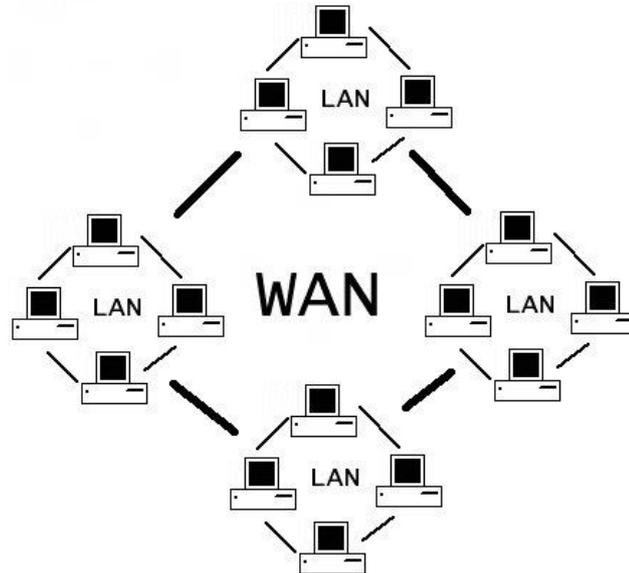
## 2.2 EVOLUÇÃO E TIPOS DE REDES

Segundo Forouzan (2006, p. 27), “Rede é uma combinação de *hardware* e *software* que envia dados de uma localidade para outra”, em que o *hardware* é a parte física do sistema onde os sinais são enviados e o *software* se resume a um conjunto de instruções que tornam possível a transmissão de dados.

Com a grande distribuição de hardware, iniciou-se a invenção e nomeação dos tipos redes, começando com a LAN - *Local Area Network*, que consiste na conexão entre máquinas em uma área delimitada. Ao mesmo tempo surge a MAN – *Metropolitan Area Network*, com o intuito de conectar várias LAN's em campus ou em áreas metropolitanas (FERREIRA, 1994).

Consequentemente, com as tentativas de interligar cada vez mais redes, surgiram as WAN's – *Wide Area Network* (Figura 4), que tem como objetivo interligar áreas com distâncias geográficas realmente expressivas. Uma das WAN's criadas foi a Internet. (HENNING, 1993).

**Figura 4 - Diagrama de rede LAN e WAN**

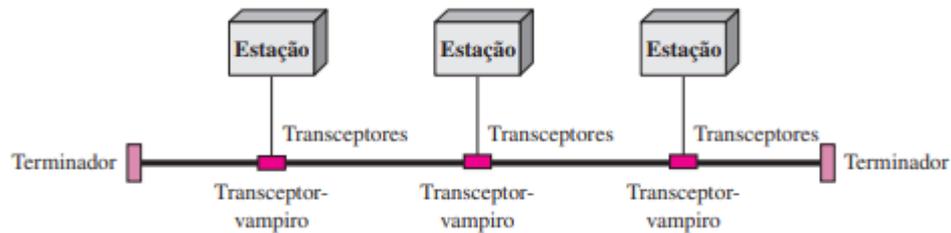


**Fonte: (Digital, 2015)**

Sobre redes, também há a topologia na qual está estruturada, que tem como objetivo descrever uma rede de computadores, tanto fisicamente quanto logicamente. A topologia mostra como os computadores estão dispersos na rede e como será o fluxo de dados (FRANCISCATTO et al., 2013).

Sendo a primeira topologia a ser criada, a estrutura de barramento (Figura 5) possui todos as máquinas participantes da rede compartilhando um mesmo cabo (MORAES, 2014). Algumas das vantagens da topologia de barramento são: fácil instalação e baixo custo (SILVA, 2010). O barramento constitui de terminador nas duas pontas, para que haja o casamento da impedância, e transceptor-vampiro, onde é perfurado o barramento de modo que se conecte à estação.

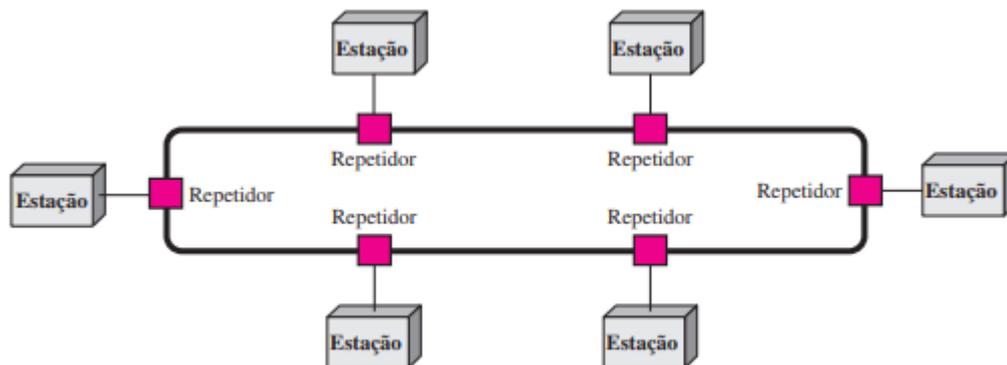
**Figura 5 - Esquemático da topologia de barramento**



Fonte: FOUROZAN, 2006

Na topologia conhecida como anel, cada componente participante da rede é conectado ao seu vizinho, seguindo um certo sentido, como representado na Figura 6 (ALENCAR, 2010).

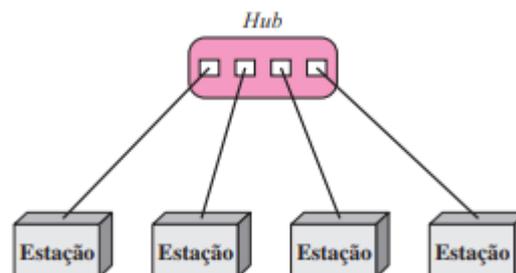
**Figura 6 - Esquemático da topologia de anel**



Fonte: FOUROZAN, 2006

Na estrutura de topologia da Figura 7, chamada de estrela, todas as máquinas da rede são conectadas por um equipamento central. Todas as comunicações passam obrigatoriamente pelo equipamento central (MORAES, 2014).

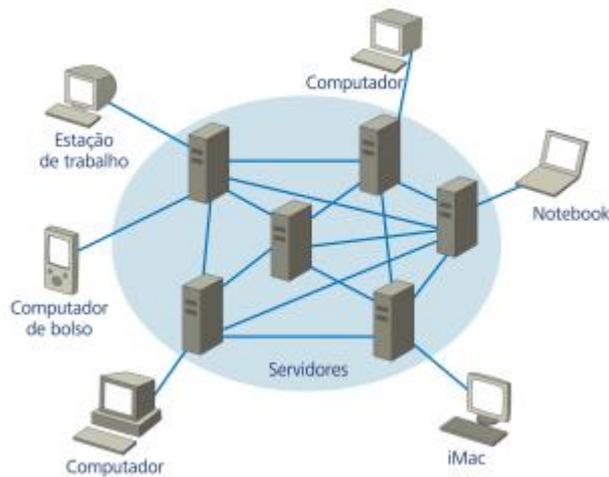
**Figura 7 - Esquemático da topologia estrela**



Fonte: FOUROZAN, 2006

A topologia em malha representa uma conexão ampla, possuindo vários servidores e computadores (Figura 8). A transmissão de dados entre computadores pode ser feita por vários caminhos (FRANCISCATTO et al., 2013).

**Figura 8 - Esquemático da topologia em malha**



**Fonte: FRANCISCATTO et al., 2013**

Além destes tipos de topologias de rede, é também importante entender os tipos de comunicações que podem ser realizadas em uma rede, sendo elas:

- *Point-to-Point*;
- *Multicast*;
- *Broadcast*.

A comunicação *Point-to-Point* consegue realizar a transmissão de dados entre apenas dois participantes da rede. Esta comunicação geralmente ocorre por um pedaço real de fio ou cabo conectado entre as máquinas. (FOROUZAN, 2006).

Na comunicação *Multicast* os dados são enviados de um participante da rede para um grupo seletivo de outros participantes. O grupo receptor geralmente é formado por membros com um interesse em comum na rede. A fonte de dados e os receptores podem ser estáticos ou dinâmicos, dependendo da situação aplicada (ROSENBERG, 2012).

Sendo uma forma mais geral da comunicação *Multicast*, a *Broadcast* permite que um membro da rede envie dados para todos os outros. Como todos os participantes irão receber, o membro que está enviando não realiza nenhuma escolha relacionada a quem vai receber os dados (HURA; SINGHAL, 2001).

## 2.3 PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO PLC, HOMEPLUG AV1, AV2, IEEE1901, PRIME E G3

Segundo Zimmermann e Dostert (2002, apud, CORRÊA, et al.), a transmissão de dados por meio da rede elétrica também conhecida como PLC, é mais complexa que as demais tecnologias. Os parâmetros elétricos que mais causam interferência na comunicação são, níveis de ruído, atenuação, perdas eletromagnéticas, impedância da linha.

De acordo com Corrêa et al., a impedância da linha de energia limita o alcance da transmissão de dados, não sendo possível estender uma rede numa distância muito longa. O ruído gerado por ventiladores, fornos, motores e vários outros equipamentos é outro problema a ser vencido pela tecnologia PLC. Dependendo da frequência do ruído, este pode facilmente corromper a informação que está sendo transmitida através da rede elétrica. A atenuação implica na má qualidade do sinal, e está ligada ao comprimento do cabo.

No ano de 2000 foi fundado o grupo *HomePlug Alliance*, com o objetivo de padronizar as tecnologias referente ao uso de cabos de energia na transmissão de dados e conexões com a internet. De acordo com o grupo as velocidades podem chegar a 500Mbps usando cabo Ethernet e 300Mbps usando rede sem fio.

A primeira classificação em 2001 foi o *HomePlug 1.0* que entregava uma velocidade de até 14Mbps, começava ali o amadurecimento de um padrão que se tornaria mais robusto com o tempo. Em 2005 surge o *HomePlug AV*, entregando velocidade de 200Mbps, utilizando a técnica OFDM trabalhando com frequências entre 1,8 a 30MHz espaçadas entre si em 24,414kHz, tendo um total de 1155 subportadoras. O padrão possui criptografia AES 128bits. Segundo Fourozan (2006), a criptografia consiste em pegar o texto original, transforma-lo em um texto cifrado por meio de algoritmo e enviar ao receptor, o receptor é responsável por descriptografar o texto cifrado à texto original. Para tudo isso ocorrer é necessária uma chave que opera sobre os algoritmos. O Padrão AES 128 bits opera com chave simétrica, ou seja, a mesma chave usada para criptografar é usada para descriptografar.

Em 2012 surge mais uma atualização, o *HomePLug AV2*. Adiciona uma faixa de frequência entre 30 a 86 MHz, além do espectro já existente entre 1,8 a 30MHz, aumentando expressivamente a taxa de transmissão, sendo assim necessária a utilização de cabos de rede com padrão Giga *Ethernet*. Este padrão também possui o método MIMO que permite o transporte de dados utilizando um par de fios, neutro-terra, fase-terra ou fase-neutro, caso o circuito seja composto por fase, neutro e terra.

O padrão IEEE 1901 voltado a dispositivos com altas taxas de velocidades de comunicação (500 Mbps) por meio da rede elétrica, também conhecido banda larga sobre linha de energia (BPL). O padrão IEEE 1901 pode ser adotado por qualquer dispositivo PLC. Usado em redes locais, *Smart Energy* que inclui medidores inteligentes, energias renováveis e aparelhos inteligentes, *IoT*, dentre outras aplicações. (IEEE, 2010).

Conforme Latchman et al. (2013 apud FRANZIN, 2017) a camada física do padrão IEEE 1901 é uma extensão do padrão *HomePLug AV1*. A frequência de operação na camada física está entre 1,8 a 30MHz, podendo alcançar até 50MHz, estendendo o número de portadoras para 1974, separadas num intervalo de 24,414kHz.

A tecnologia *PRIME (PowerLine Metering Evolution)* teve seu início de desenvolvimento em 2007, pela *PRIME Alliance* com o objetivo de prover uma comunicação baseada na modulação OFDM que opere na faixa de frequência delimitado pela CENELEC (Comité Europeu de Normalização Electrotécnica) A-band, que é a primeira faixa delimitada pelo Comité, indo de 35 até 91 kHz. Um dos principais objetivos da tecnologia é buscar maior eficiência em comunicações em redes de baixa tensão (LAMPE; TONELO; SWART, 2016).

De acordo com Farias (2017) o padrão G3 consegue operar de dois modos distintos, normal e robusto. Compartilha o mesmo procedimento de modulação do *HomePlug AV*, utilizando a técnica OFDM. Possui codificador Convolutacional e *Reed-Solomon*, tornando o capaz de recuperar dados perdidos. Voltado a ambientes industriais, o modo ROBO (robusto) é o mais indicado a operar em ambientes ruidosos.

A Tabela 1 apresenta a comparação entre as tecnologias descritas.

Tabela 1 – Comparativo de tecnologias

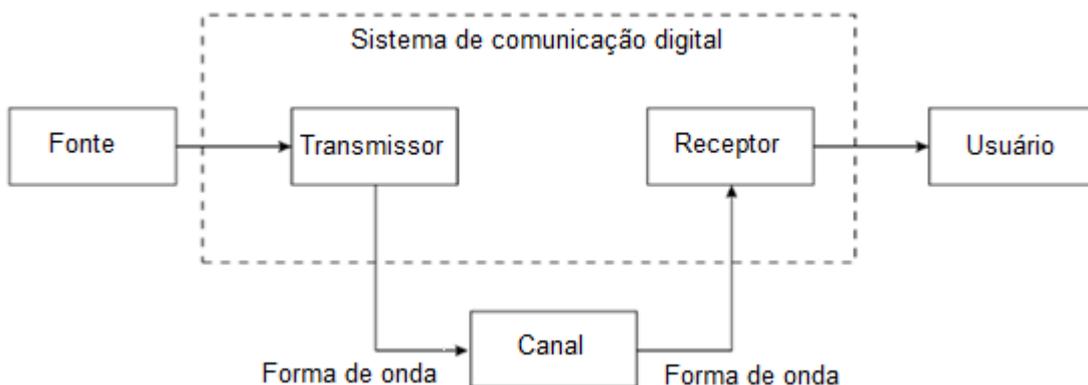
TECNOLOGIA	FREQUÊNCIA	VELOCIDADE
PRIME	35 – 91 kHz	Até 128.6KBps
G3	3 – 95 kHz	Até 33,4KBps
HOMEPLUG AV	1.8 – 30 MHz	Até 200Mbps
HOMEPLUG AV2	1.8 – 86 MHz	Até 1000Mbps
IEEE 1901	1.8 – 50 MHz	Até 500Mbps

Fonte: Autoria própria

## 2.4 MODENS DE COMUNICAÇÃO

Em uma conexão ponto-a-ponto (Figura 9), a fim de fazer com que os dados de uma fonte cheguem em um usuário, deve ser usado um transmissor e um receptor. O transmissor tem o trabalho de modular uma forma de onda para ser enviada, e o receptor tem o serviço de demodular esta forma de onda para obter os dados a serem repassados para o usuário. Geralmente o mesmo aparelho consegue realizar os dois trabalhos, e ele é chamado de modem (BLAHUT, 2010).

Figura 9 - Sistema de comunicação digital



Adaptado de: BLAHUT, 2010

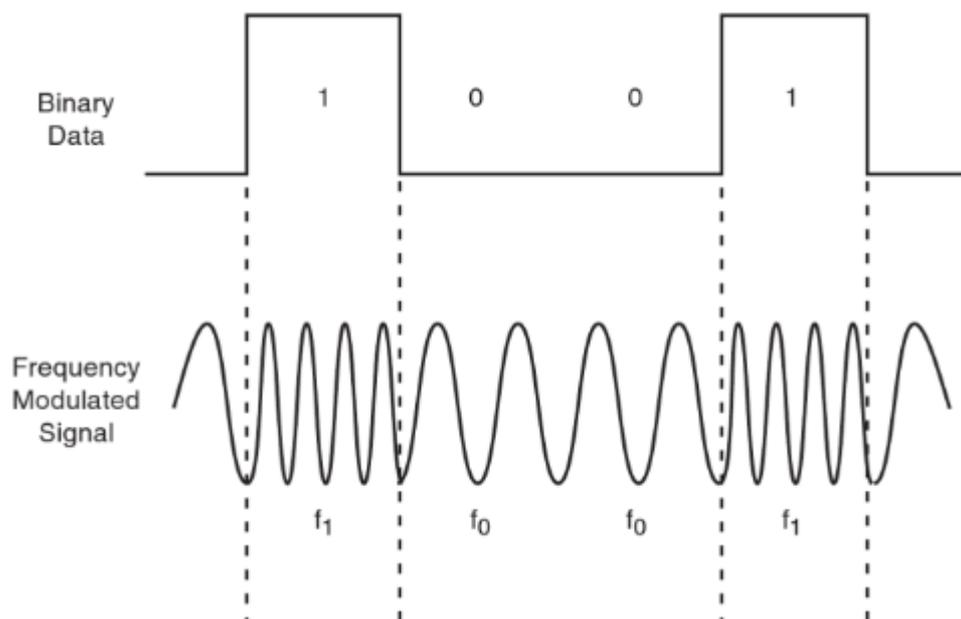
As transmissões são classificadas em *simplex*, *half-duplex* e *full-duplex*. Estas classificações denominam as possíveis direções de comunicação entre os modems (MARTIN, 1976).

Para funcionar da maneira que conhecemos, os modems utilizam alguns tipos de modulações, que servem para codificar e decodificar as formas de ondas transmitidas. Alguns dos tipos mais famosos de modulação são:

- FSK (*Frequency Shift Keying*);
- ASK (*Amplitude Shift Keying*);
- PSK (*Phase Shift Keying*);
- QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*);
- OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*).

A modulação FSK representada na Figura 10, usa uma dada frequência para representar um bit 0 e outra frequência para representar um bit 1. Desta forma ele consegue produzir uma forma de onda analógica de para representar estados digitais (HANES; SALGUEIRO, 2008).

**Figura 10 - Modulação FSK**

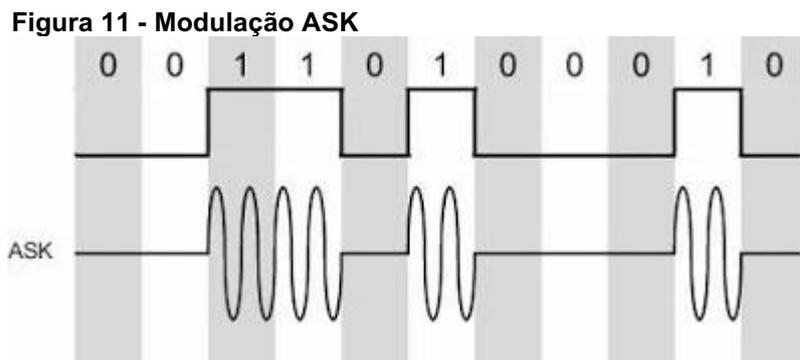


**Fonte: HANES; SALGUEIRO, 2008**

Na Figura 10, a frequência  $f_0$  representa um bit 0 no momento da codificação ou decodificação da mensagem, ao passo que a frequência  $f_1$  representa um bit 1.

Na modulação ASK a amplitude da onda portadora varia de acordo com o valor discreto do fluxo de bits, mantendo a frequência e fase constantes (HURA; SINGHAL, 2001).

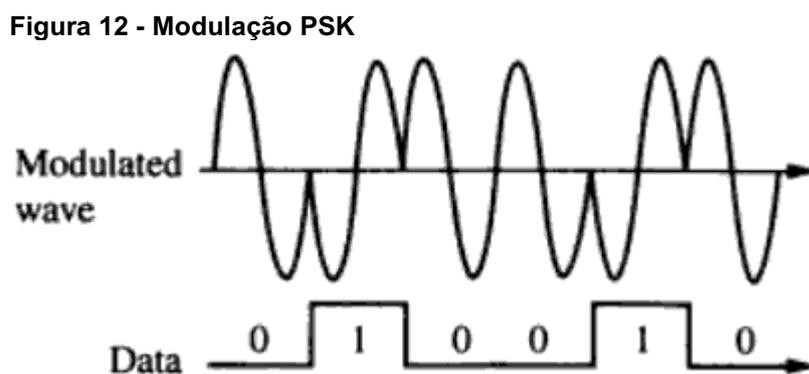
Na Figura 11 observa-se que a onda portadora é suprimida quando o sinal digital está em nível 0, à medida que a onda possui uma certa amplitude quando o nível é 1.



Fonte: (Matos, 2011)

A modulação PSK envolve mudar a fase da onda portadora entre 0 e 180 graus, dependendo se a entrada digital está em nível 0 ou em 1 (IIDA, 1997).

Quando o sinal digital muda de estado a onda portadora muda de fase (Figura 12), assim modulando o sinal digital em sua onda portadora, para posteriormente ser demodulado.

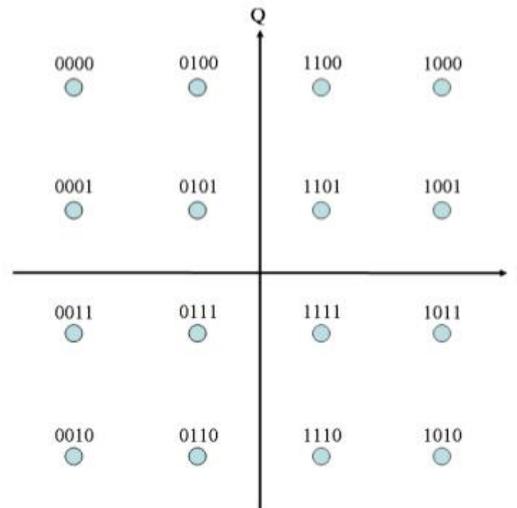


Fonte: IIDA, 1997

A modulação QAM é uma combinação das modulações ASK e PSK, pois ela a varia fase e a amplitude de duas ondas portadoras, anguladas 90° entre si, quando há uma alteração no sinal digital. Estas ondas portadoras são somadas para produzir um sinal com amplitude e fase continuamente variados (GOKHALE, 2004).

Apresentada na Figura 13 está a modulação QAM de 16 bits, onde existe um certo número necessário de combinações entre ângulo e fase da onda portadora para gerar 16 valores diferentes em bits.

**Figura 13 - Modulação QAM de 16 bits**

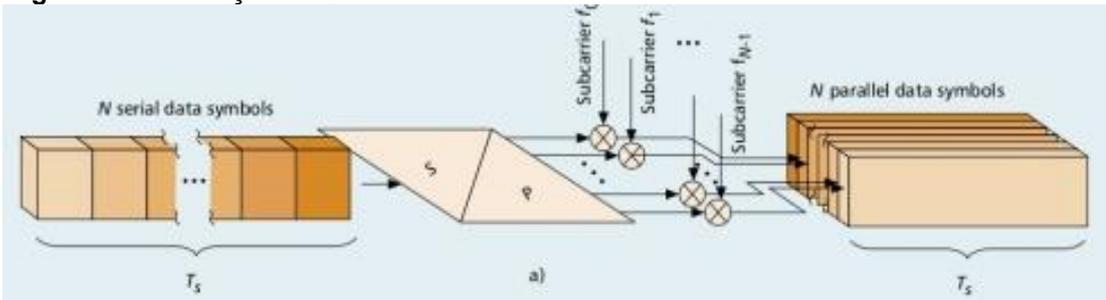


**Fonte: (Oliveira, 2012)**

A modulação OFDM utiliza várias sub-portadoras em sua transmissão, sendo que estas sub-portadoras são ortogonais entre si, ou seja, existe uma diferença de  $90^\circ$ . Cada sub-portadora é modulada em uma modulação padrão, podendo ser a QAM (SHIEH; DJORDJEVIC, 2009).

Esse tipo de modulação divide sua banda de transmissão em várias sub-portadoras com frequências variadas. Ele pega um pacote de dados, fragmenta-o em vários pacotes menores, e então os enviam de modo paralelo pelo meio de transmissão. Isso garante maior robustez no envio (Figura 14).

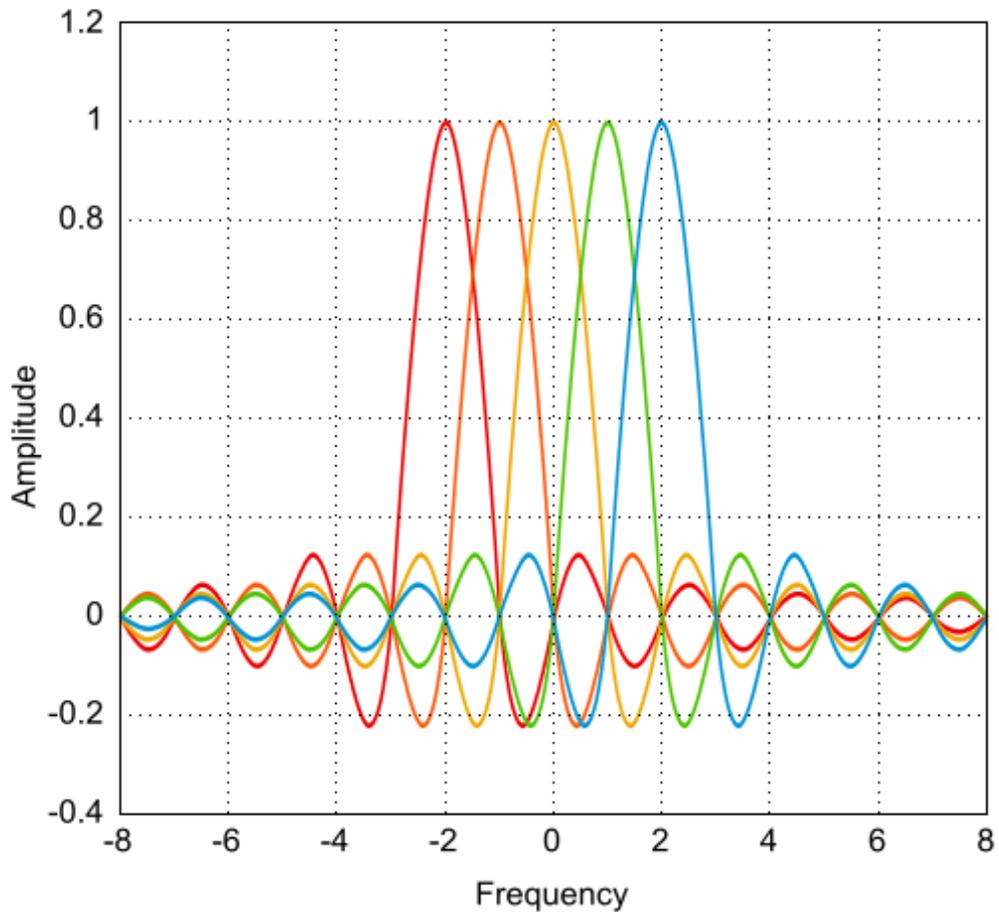
Figura 14 - Ilustração da OFDM



Fonte: Adaptado de: COUTINHO, 2008

Na Figura 15 observa-se que o pico de amplitude da primeira onda (vermelha), encontrando na frequência -2, é o ponto onde a amplitude de todas as outras ondas são 0, mostrando a ortogonalidade entre as ondas.

Figura 15 - Modulação OFDM



Fonte: (BTS, 2018)

O TP-LINK TL-PA411, conforme Figura 16, é um *Modem* que consegue transmitir dados pela instalação da rede elétrica. O equipamento utiliza a modulação OFDM para um melhor proveito da largura de banda.

**Figura 16 – Modem TP-LINK TL-PA411**



**Fonte: TP-LINK Technologies Co., Ltd, 2012**

Sua capacidade de transmissão pode chegar a 500 Mbps, trabalha na forma *Plug and Play* e não necessita de nenhum fio adicional para seu funcionamento, apenas os fios já instalados da rede elétrica. Trabalha com o protocolo *HomePlug AV* (TP-LINK Technologies Co., Ltd, 2012).

## 2.5 INTERNET DAS COISAS

A internet das coisas encapsula a visão de mundo onde bilhões de objetos com inteligência embutida (*Smart objects*) se comunicam através de uma rede utilizando o IP (Protocolo de Internet) (CIRANI et al., 2018).

É esperado que os *Smart objects* se tornem participantes ativos nos negócios, informações e processos sociais compartilhando informações coletadas por sensores, podendo ser informações sobre eles ou sobre o ambiente. Assim ações podem ser causadas com ou sem a intervenção humana (VERMESAN; FRIESS, 2011).

Atualmente no mundo não existe um consenso entre as grandes empresas no que diz respeito a compatibilidade de comunicação entre os produtos. Cada empresa utiliza sua própria tecnologia desenvolvida internamente (BOUHAÏ; SALEH, 2017).

A Comissão Europeia já tem ideias para forçar o avanço da tecnologia da Internet das Coisas, sendo que esta tecnologia está atrelada a uma grande oportunidade econômica. Uma destas ideias seria a criação de um mercado único da Internet das Coisas, com padrões e plataformas abertas (VERMESAN; BACQUET, 2017).

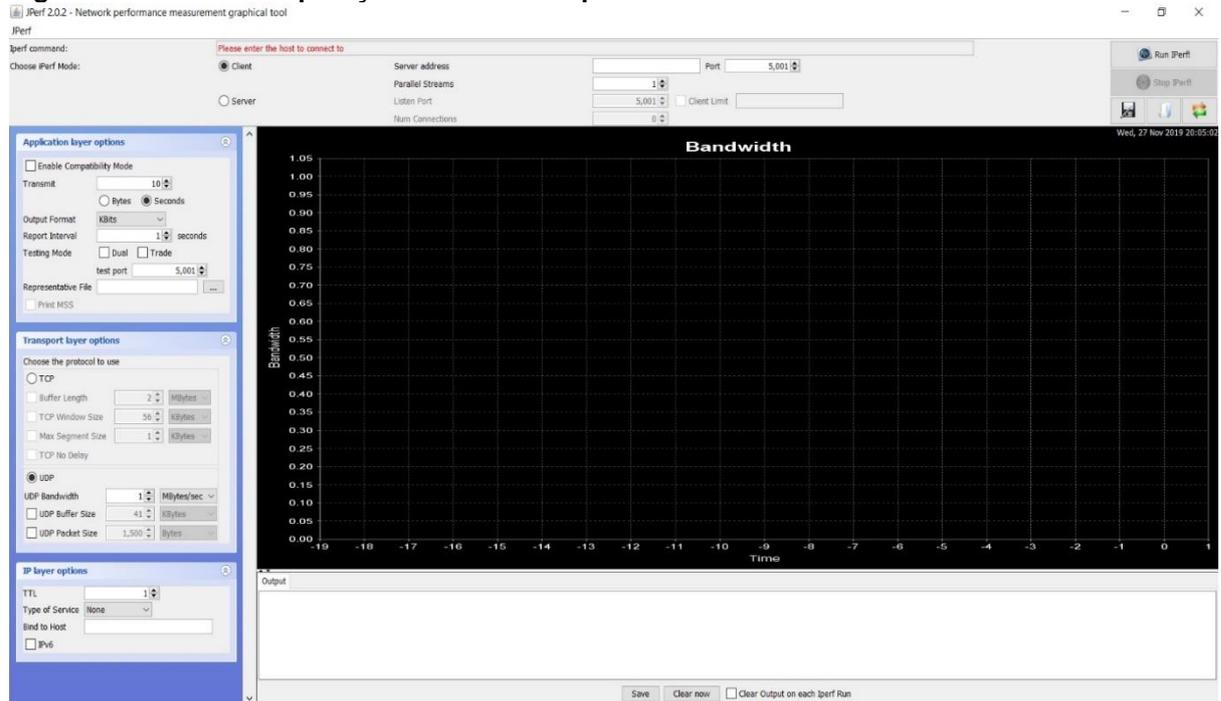
## 2.6 SOFTWARE JPERF

O grande volume de dados cada vez mais crescente impõem às redes de computadores novas pesquisas em tecnologias de ponta, a fim de transportar informações com largura de banda cada vez maiores. Em virtude disto, uma rede necessita ser confiável o bastante para que tudo o que trafega por ela, começando no emissor, chegue ao destino de maneira tal que nenhum pacote se perca, ou em caso de perda de pacotes, estes não venham a comprometer a cadeia de frames transmitidos.

O JPerf é uma ferramenta para testar o desempenho de uma rede. A ferramenta suporta os protocolos TCP e UDP, por meio dela é possível estressar uma rede enviando pacotes de tamanhos variados e tráfego de dados em paralelo e colher medições de desempenho, largura de banda, jitter, verificar as perdas no caso de usar o UDP. É baseado em cliente-servidor, possui três versões. É possível configurar o protocolo TCP quanto ao tamanho de janela, tamanho máximo de pacote e para o UDP, tamanho do datagrama e taxa de envio. É necessário escolher um computador para ser o servidor, podendo ter vários clientes na mesma rede, a porta 5001 é usada como padrão.

Na Figura 17 é mostrada a interface do Jperf. A ferramenta oferece uma ampla possibilidade de simulação de dados na rede, com geração de gráficos de velocidade de transmissão, percentual de perda de pacotes e tempo de transmissão.

**Figura 17 - Janela de operação do software Jperf**



**Fonte: Autoria própria**

A Figura 18 apresenta as possíveis configurações de dados que podem ser utilizáveis numa transmissão. Possibilita escolher o protocolo de comunicação, se TCP ou UDP, tamanho do pacote ou tempo de transmissão de dados, e definir quem será o cliente ou servidor.

**Figura 18 - Coluna de configuração para envio de dados**

Enable Compatibility Mode

Transmit:    
 Bytes  Seconds

Output Format:    
 seconds

Report Interval:  seconds

Testing Mode:  Dual  Trade

test port:

Representative File:  ...

Print MSS

---

Transport layer options

Choose the protocol to use

TCP

Buffer Length:  MBytes

TCP Window Size:  KBytes

Max Segment Size:  KBytes

TCP No Delay

UDP

UDP Bandwidth:  MBytes/sec

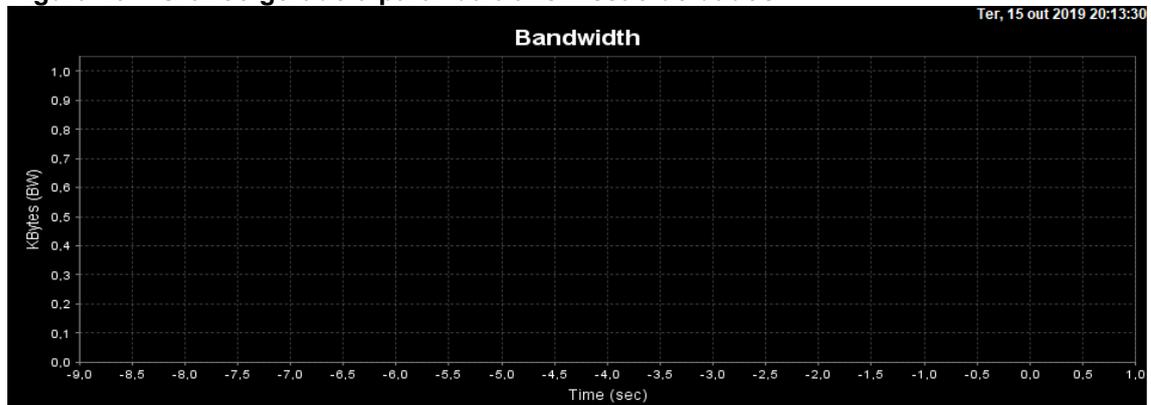
UDP Buffer Size:  KBytes

UDP Packet Size:  KBytes

Fonte: Autoria própria

A Figura 19 apresenta a geração de gráficos à medida que a transmissão ocorre.

**Figura 19 – Gráfico gerado a partir da transmissão de dados**



Fonte: Autoria própria

### 3. METODOLOGIA

Para a obtenção de resultados, realizou-se oito modelos de ensaios com os Modems TP-LINK TL-PA411.

Para fins de comparação dos ensaios foram utilizados os protocolos TCP e UDP. O protocolo UDP envia dados de forma contínua, ou seja, sem reenvio de dados em caso de perda, gerando uma possível porcentagem de perda de dados ao final da transmissão. Já o protocolo TCP reenvia dados em caso de perda, então todos os dados serão enviados ao final da transmissão.

Criou-se uma rede LAN conectando dois computadores. Utilizou-se os seguintes endereços de IP: 192.168.0.1 e 192.168.0.2. A máscara de sub-rede foi a 255.255.255.0.

Os Modems foram conectados à rede elétrica e a um cabo de rede RJ-45 conectado ao computador (Figura 20). Com os Modems já conectados, pressionou-se o botão de pareamento de cada deles.

**Figura 20 - Modem conectado ao computador**



Fonte: Autoria própria

No *software*, escolheu-se o computador com o IP 192.168.0.1 como cliente e o computador com IP 192.168.0.2 como servidor (Figuras 21 e 22).

**Figura 21 - Configuração do servidor no software**

<input type="radio"/> Client	Server address	<input type="text"/>	Port	<input type="text" value="5,001"/>
<input checked="" type="radio"/> Server	Parallel Streams	<input type="text" value="1"/>		
	Listen Port	<input type="text" value="5,001"/>	<input type="checkbox"/> Client Limit	<input type="text"/>
	Num Connections	<input type="text" value="0"/>		

Fonte: Autoria própria

**Figura 22 - Configuração do cliente no software**

<input checked="" type="radio"/> Client	Server address	<input type="text" value="192.168.0.2"/>	Port	<input type="text" value="5,001"/>
<input type="radio"/> Server	Parallel Streams	<input type="text" value="1"/>		
	Listen Port	<input type="text" value="5,001"/>	<input type="checkbox"/> Client Limit	<input type="text"/>
	Num Connections	<input type="text" value="0"/>		

Fonte: Autoria própria

Para o envio de dados em TCP (Figura 23) ou UDP (Figura 24), o cliente selecionou um dos protocolos em questão no *software*.

**Figura 23 - Seleção do protocolo TCP**

**Transport layer options**

Choose the protocol to use

TCP

Buffer Length  MBytes

TCP Window Size  KBytes

Max Segment Size  KBytes

TCP No Delay

Fonte: Autoria própria

**Figura 24 - Seleção do protocolo UDP**

UDP

UDP Bandwidth  MBytes/sec

UDP Buffer Size  KBytes

UDP Packet Size  Bytes

Fonte: Autoria própria

Quando selecionado o protocolo UDP (Figura 24), ajustou-se a largura de banda para a máxima descrita no Modem, para que não houvesse limitação de velocidade. As demais opções foram mantidas como padrão para que não ocorresse influência no funcionamento da transmissão, assim podendo ser comparado os dados.

A fim de comparar os dados transmitidos entre os protocolos TCP e UDP, foi criada uma tabela, para todos os ensaios, contendo velocidade média (Kbps), tamanho do dado a ser transmitido (em bytes), tempos de transmissão (em segundos) e perdas de pacotes, em porcentagem, ocasionado pelo protocolo UDP.

Os tamanhos dos pacotes foram divididos em 100, 1.000, 10.000, 100.000, 1.000.000, 10.000.000 e 100.000.000 de bytes, a fim de observar a influência dos tamanhos dos pacotes nos resultados da transmissão. Também foram consideradas transmissões com apenas um fluxo de dados e cinco fluxos de dados em paralelo, a fim de verificar o comportamento da rede quando mais de um fluxo está trafegando nela. Nas transmissões que ocorreram com cinco fluxos de dados em paralelo, foi considerado o fluxo que apresentou o maior tempo de transmissão e a menor velocidade média, para que fosse possível analisar o pior caso.

Os ensaios foram divididos em distancias, para que se pudesse observar a influência da distância de transmissão nos resultados. Foram preenchidas duas tabelas por cada distancia diferente, pois dedicou-se uma tabela para as transmissões com apenas um fluxo de dado, e outra tabela para as transmissões com cinco fluxos de dados em paralelo.

Desta forma, os ensaios estabelecidos estão dispostos a seguir:

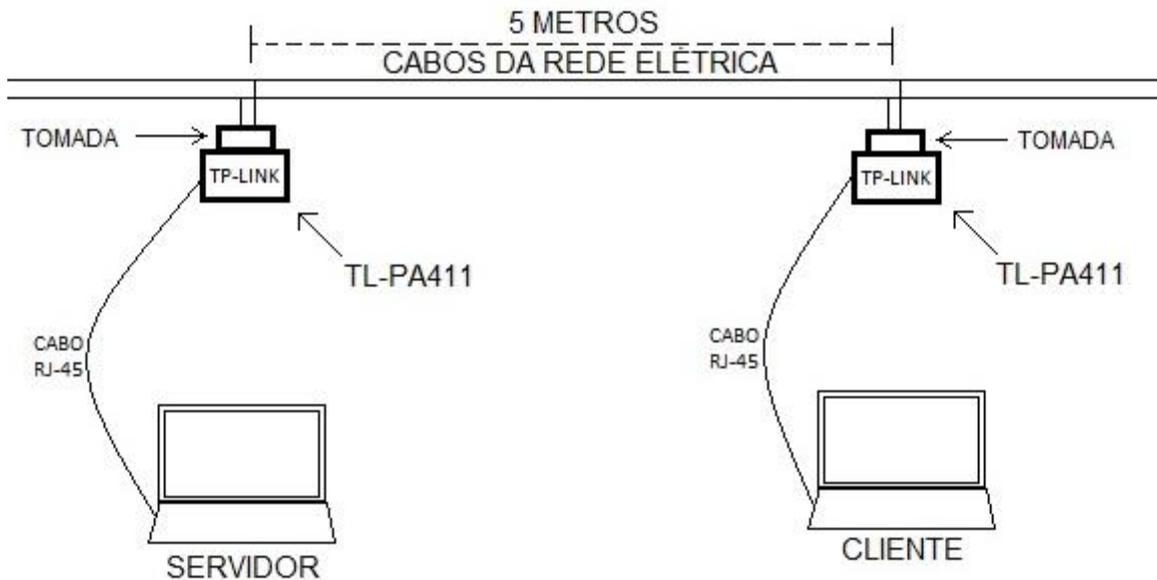
**Tabela 2 – Ensaios estabelecidos**

	<b>1 fluxo de dado</b>	<b>5 fluxos de dados</b>
<b>Modelo de ensaio</b>	5 metros	5 metros
	50 metros	50 metros
	100 metros	100 metros
	Motor ligado	Motor ligado

**Fonte: Autoria própria**

O primeiro e segundo ensaios (Figura 25) consistiram em realizar a comunicação de dados entre os Modems a uma distância de aproximadamente cinco metros, utilizando a rede elétrica do bloco C do campus UTFPR Ponta Grossa. Com os Modems conectados, partiu-se para a configuração do *software* Jperf, mencionada anteriormente. Com tudo configurado para o correto funcionamento, coletou-se os dados.

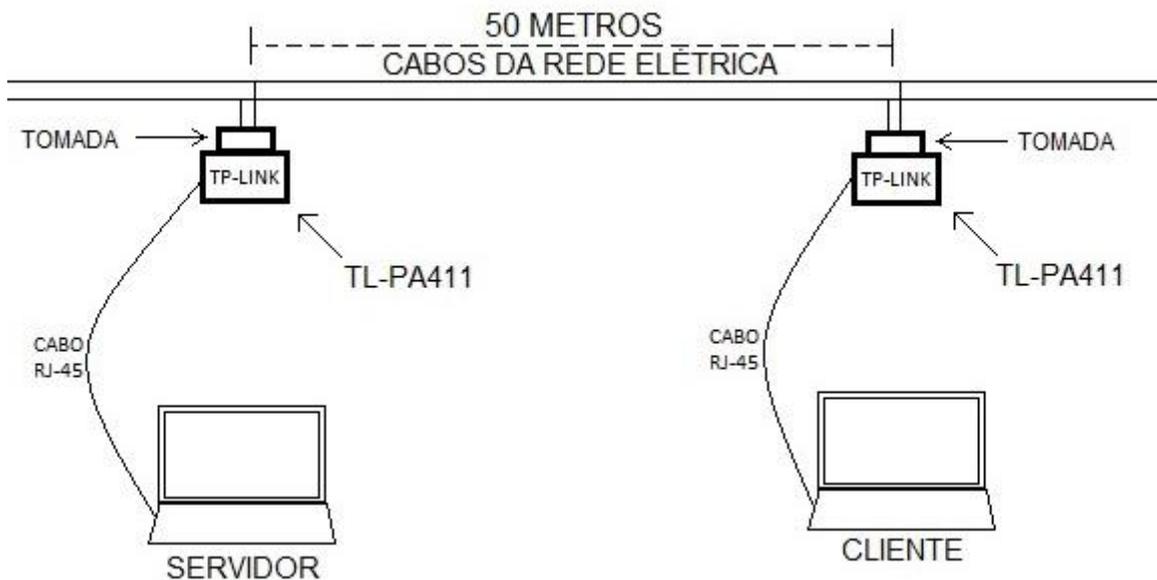
**Figura 25 - Topologia dos primeiro e segundo ensaios**



**Fonte: Autoria própria**

Os demais ensaios ocorreram da mesma forma que os anteriores, no entanto o terceiro e quarto ensaios foram feitos com os Modems conectados a uma distância de aproximadamente cinquenta metros (Figura 26).

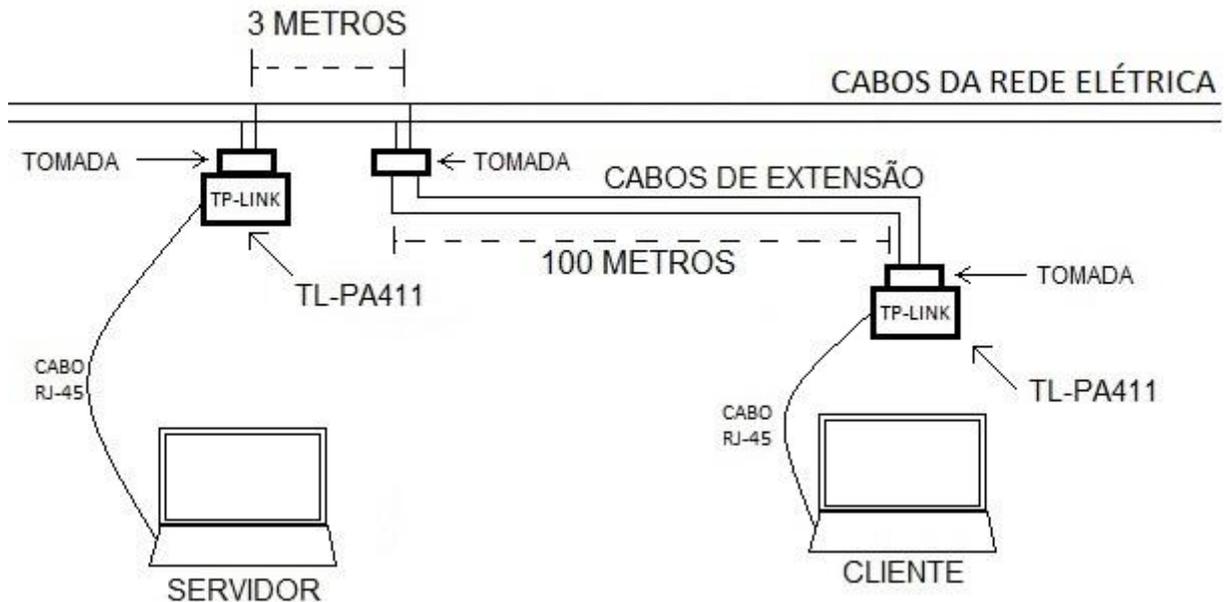
**Figura 26 - Topologia dos terceiro e quarto ensaios**



**Fonte: Autoria própria**

O quinto e sexto ensaios foram feitos para uma distância de aproximadamente cem metros, com a utilização de cabos para realizar uma extensão na rede elétrica (Figura 27).

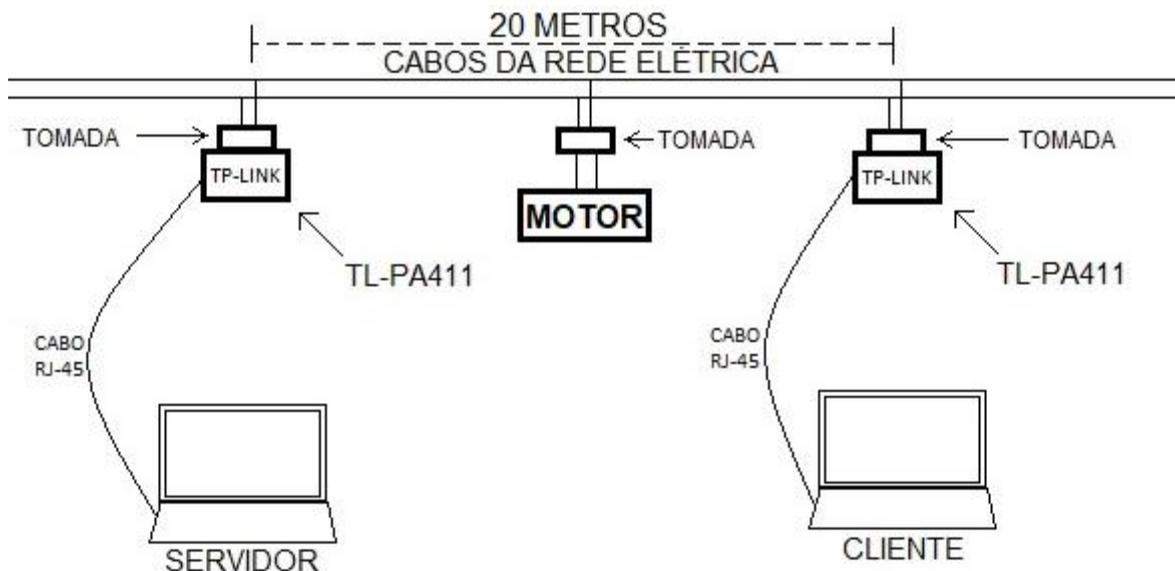
**Figura 27 - Topologia dos quinto e sexto ensaios**



**Fonte: Autoria própria**

Por fim, o sétimo e oitavo ensaios (Figura 28) foram realizados com um motor monofásico alimentado com 127V conectado à rede.

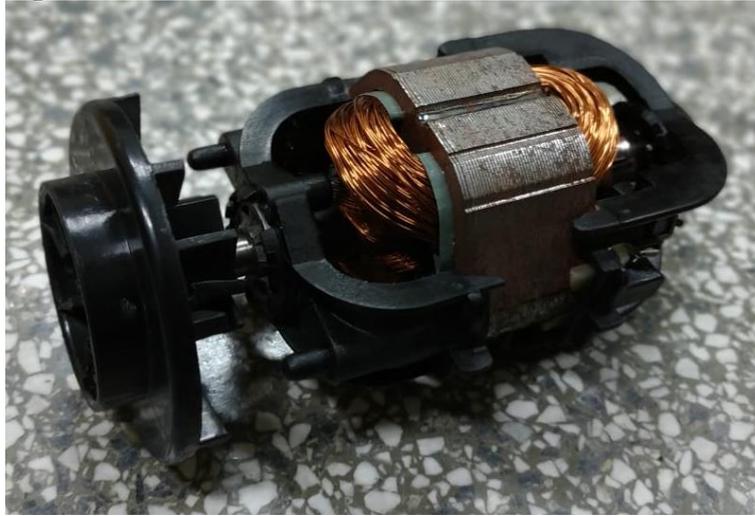
**Figura 28 - Topologia dos sétimo e oitavo ensaios**



**Fonte: Autoria própria**

O motor (Figura 29) causou interferências nos sinais transmitidos pelos Modems, que estavam conectados a uma distância de aproximadamente vinte metros.

**Figura 29 - Motor monofásico com escovas**

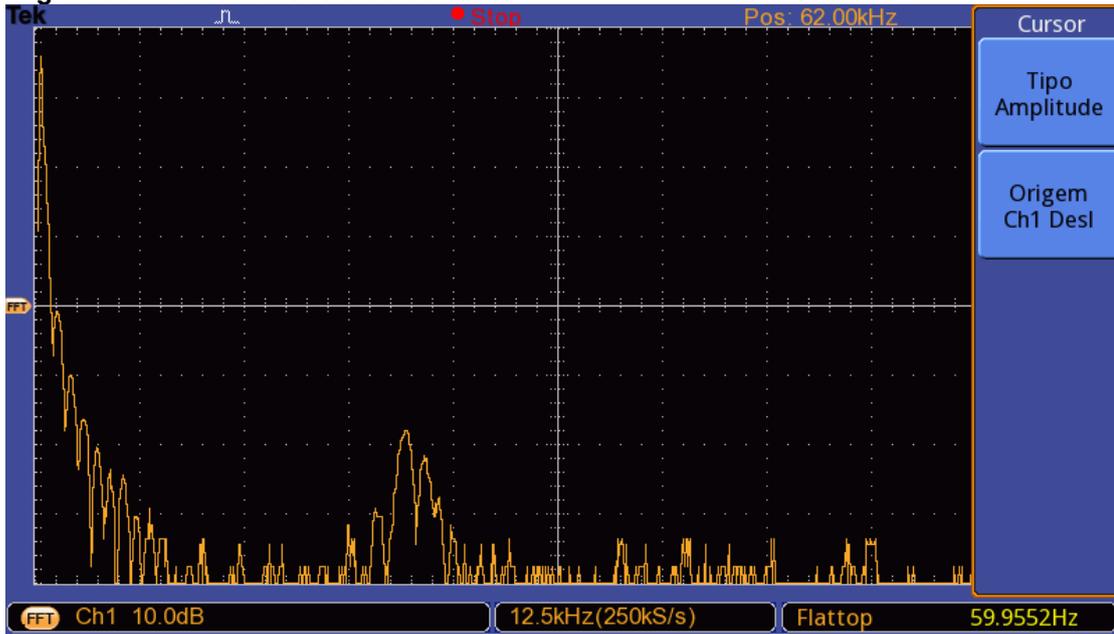


**Fonte: Autoria própria**

A fim de ter uma percepção do ruído já presente na rede e do ruído adicionado pelo motor, usou-se um osciloscópio com a função FFT, que demonstra o espectro de frequência e as maiores amplitudes presentes no mesmo.

Na Figura 30 está explicitado a FFT da rede utilizada para os ensaios do Bloco V. É possível observar que em frequências altas não existem grandes amplitudes presentes no espectro.

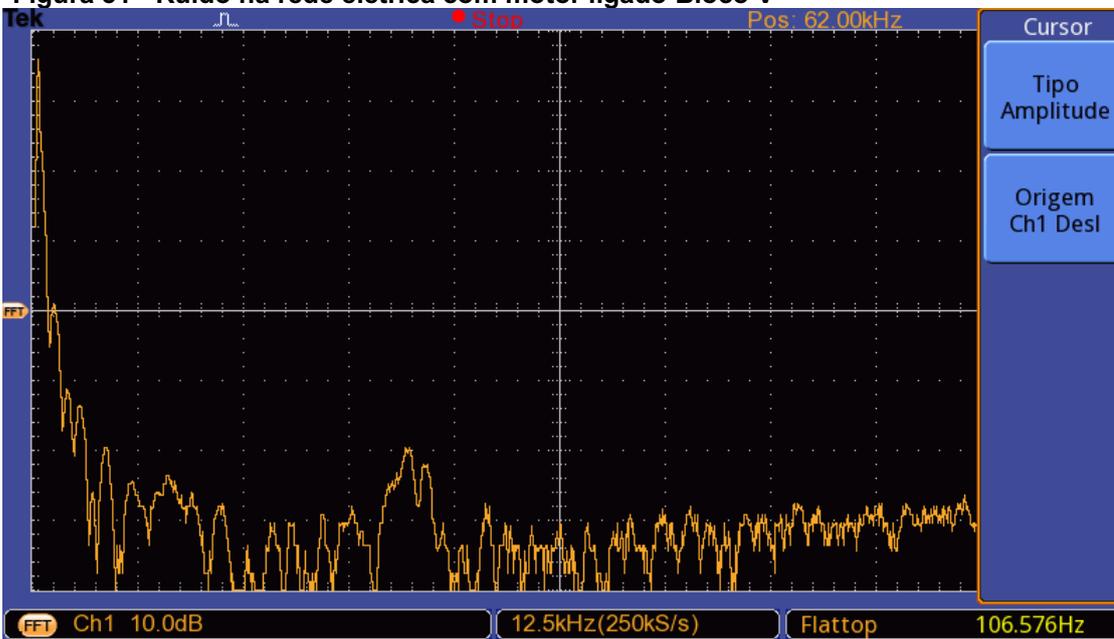
Figura 30 - Ruído na rede elétrica Bloco V



Fonte: Autoria própria

Em outro momento, Na Figura 31, o motor foi ligado na rede, e observou-se a elevação das amplitudes em frequências mais altas do espectro.

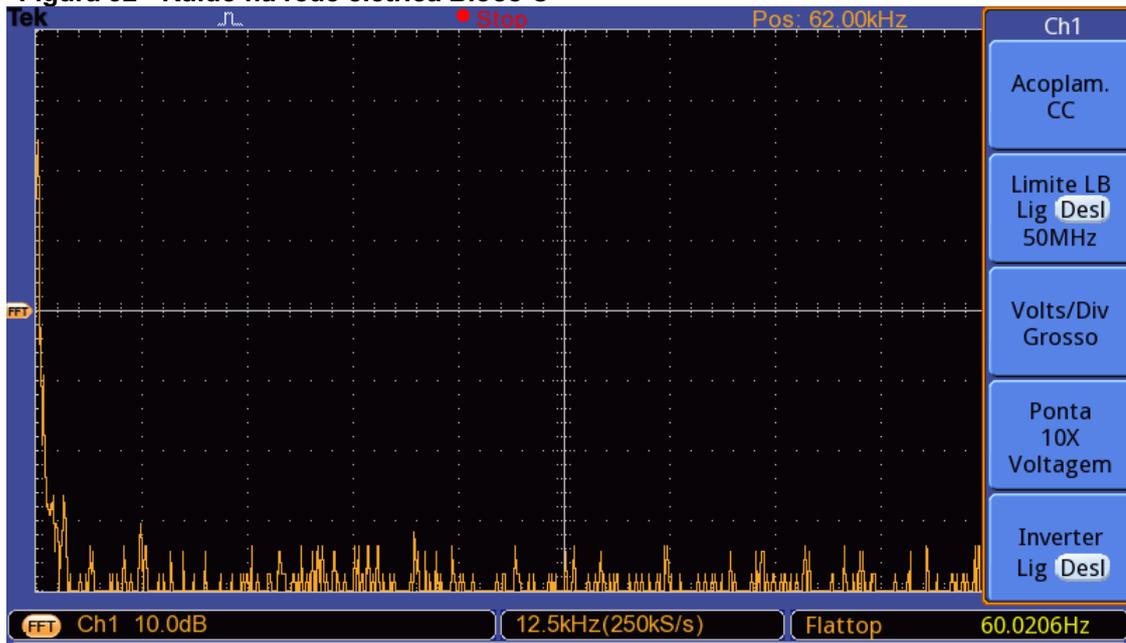
Figura 31 - Ruído na rede elétrica com motor ligado Bloco V



Fonte: Autoria própria

A rede do Bloco C, utilizada para os ensaios de cinco, cinquenta e cem metros entre os Modems, possui o espectro de frequência apresentado na Figura 32.

Figura 32 - Ruído na rede elétrica Bloco C



Fonte: Autoria própria

#### 4. RESULTADOS

O resultado do primeiro ensaio está apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2 - Ensaio com 5 metros e sem fluxos paralelos**

Tamanho do pacote (bytes)	Velocidade média de transmissão (Kbps)		Tempo de transmissão com TCP (s)	Tempo de transmissão com UDP (s)	Perda de pacote com UDP (%)
	TCP	UDP			
100	10950	11807	0	0	0
1.000	10954	19406	0	0	0
10.000	16411	7510	0	0	0
100.000	44819	33688	0	0	0
1.000.000	67330	82087	0.1	0.1	0
10.000.000	73423	67083	1.1	1.1	8
100.000.000	86073	92184	9.3	8.4	3.1

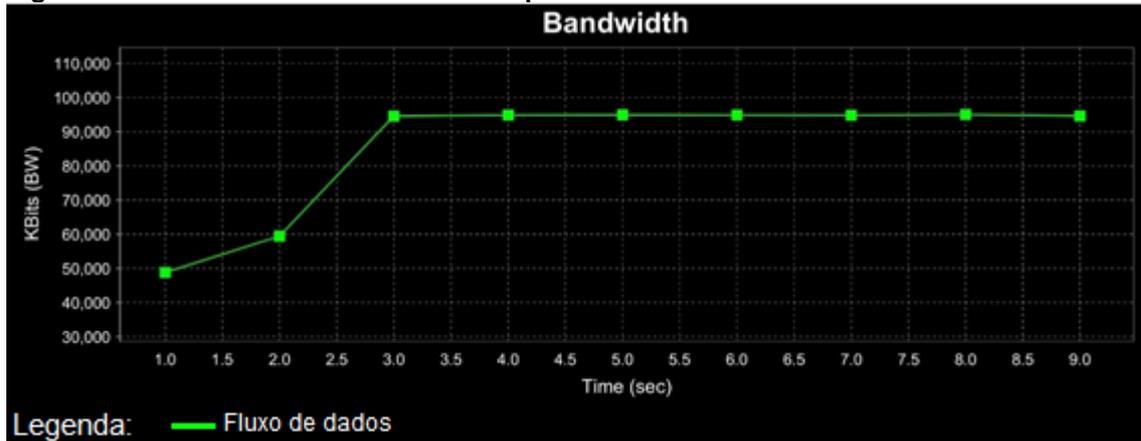
Fonte: Autoria própria

Observa-se na Tabela 1 que para distancias pequenas o Modem mostrou-se eficiente para a transmissão de pacotes até 1 MB, transportando os dados em tempo real, e nessas condições é indiferente o uso de quaisquer protocolos, seja TCP ou UDP, porque não houve perdas de dados na utilização do protocolo UDP.

Para pacotes maiores, de 10 até 100 MB, ocorreu perda de dados com o uso do protocolo UDP, provando que o ruído existente na rede provocou interferência na transmissão.

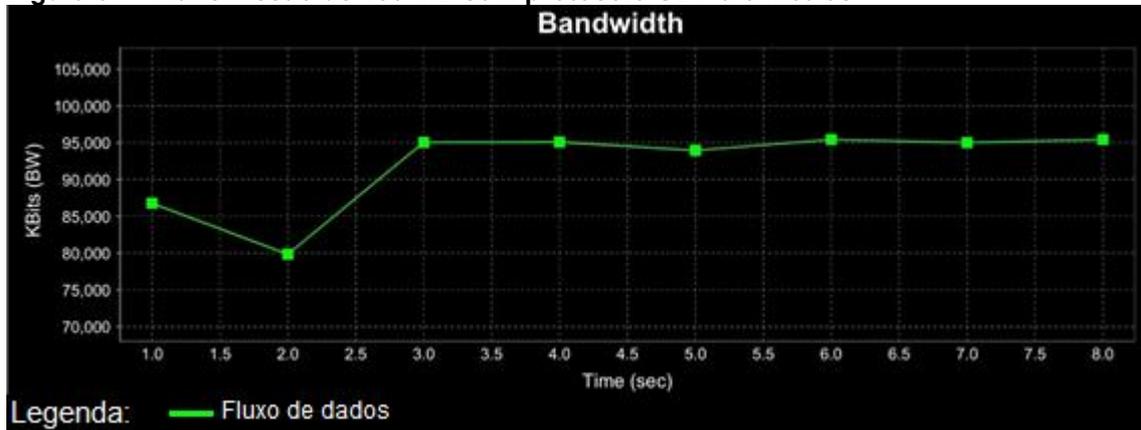
No envio de 100 MB com o protocolo UDP, o tempo de transmissão foi 0.9 segundos mais rápido que o TCP, mas ocorreu perda de 3.1% dos dados (Figuras 33 e 34).

Figura 33 - Transmissão de 100 MB com protocolo TCP a 5 metros



Fonte: Autoria própria

Figura 34 - Transmissão de 100 MB com protocolo UDP a 5 metros



Fonte: Autoria própria

Por outro lado, para que os dados chegassem por inteiro no receptor foi necessário a utilização do protocolo TCP.

Os resultados do segundo ensaio estão dispostos na Tabela 3.

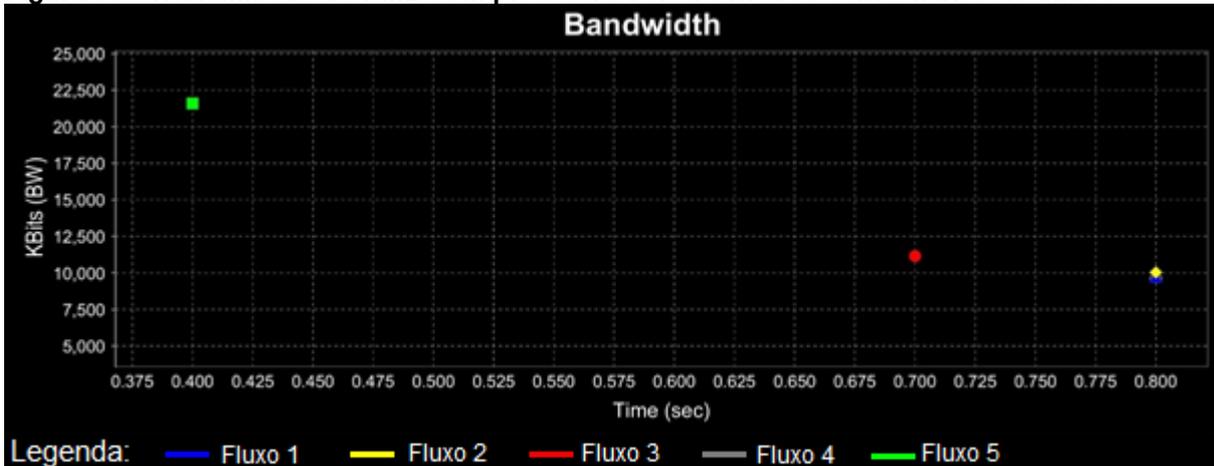
Tabela 3 - Ensaio com 5 metros e 5 fluxos de dados em paralelo

Tamanho do pacote (bytes)	Velocidade média de transmissão (Kbps)		Tempo de transmissão com TCP (s)	Tempo de transmissão com UDP (s)	Perda de pacote com UDP (%)
	TCP	UDP			
100	1776	5892	0	0	0
1.000	1866	7436	0	0	0
10.000	3458	41242	0	0	0
100.000	12841	21917	0.1	0	0
1.000.000	9569	19876	0.8	0.4	0
10.000.000	16697	19255	4.8	4.2	10
100.000.000	18757	18969	42.7	41.8	9.6

Fonte: Autoria própria

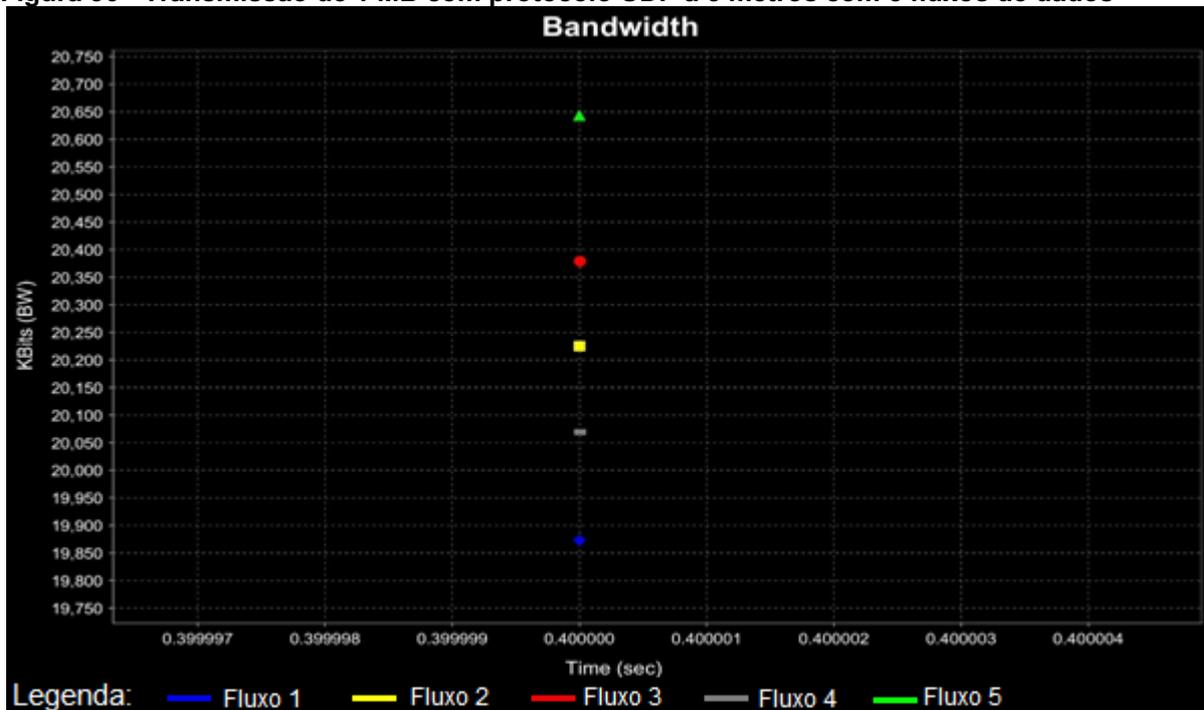
Para pacotes de até 100 KB o Modem realizou a transmissão em tempo real com ambos os protocolos. Na transmissão do pacote de 1 MB, o UDP mostrou-se mais eficiente, ao passo que ele realizou a tarefa na metade do tempo do TCP sem perdas de dados (Figuras 35 e 36).

**Figura 35 - Transmissão de 1 MB com protocolo TCP a 5 metros com 5 fluxos de dados**



Fonte: Autoria própria

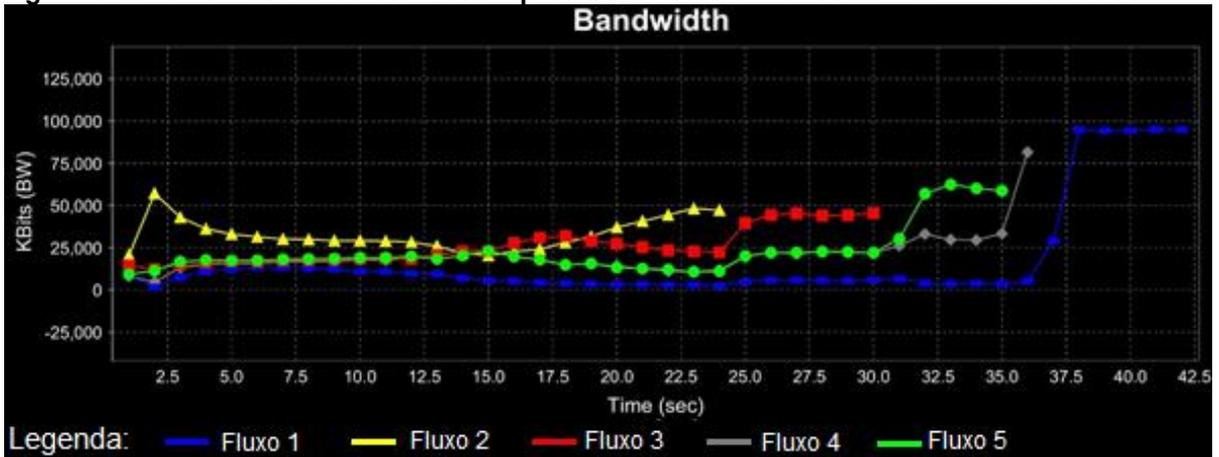
**Figura 36 - Transmissão de 1 MB com protocolo UDP a 5 metros com 5 fluxos de dados**



Fonte: Autoria própria

No envio de pacotes de 100 MB, o UDP finalizou a transmissão em menor tempo, no entanto perdeu cerca de 10% dos dados (Figuras 37 e 38).

Figura 37 - Transmissão de 100 MB com protocolo TCP a 5 metros com 5 fluxos de dados



Fonte: Autoria própria

Figura 38 - Transmissão de 100 MB com protocolo UDP a 5 metros com 5 fluxos de dados



Fonte: Autoria própria

O terceiro ensaio resultou nos dados presentes na Tabela 4.

**Tabela 4 - Ensaio com 50 metros sem fluxos em paralelo**

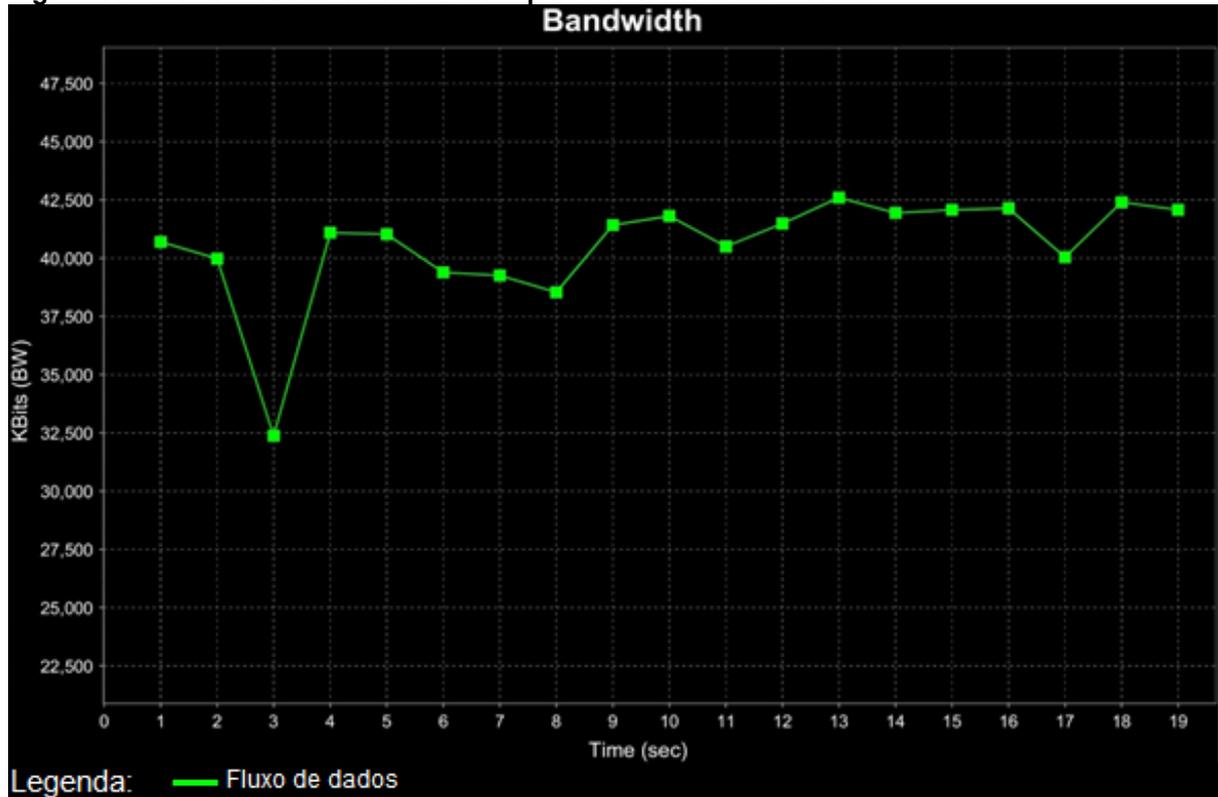
Tamanho do pacote (bytes)	Velocidade média de transmissão (Kbps)		Tempo de transmissão com TCP (s)	Tempo de transmissão com UDP (s)	Perda de pacote com UDP (%)
	TCP	UDP			
100	9506	1	0	0	0
1,000	1534	2964	0	0	0
10,000	9565	5226	0	0	0
100,000	23112	26178	0	0	0
1,000,000	36961	12854	0.2	0.1	31
10,000,000	30406	41881	2.6	1.2	38
100,000,000	40402	57918	19.8	9	35

**Fonte: Autoria própria**

Observa-se que mesmo com o aumento da distância entre os Modems, pacotes com tamanhos moderados, de até 100 KB, podem ser transmitidos em tempo real. Já para pacotes maiores ou iguais a 1 MB a perda de dados com a transmissão UDP acaba sendo muito alta, inviabilizando o uso do mesmo.

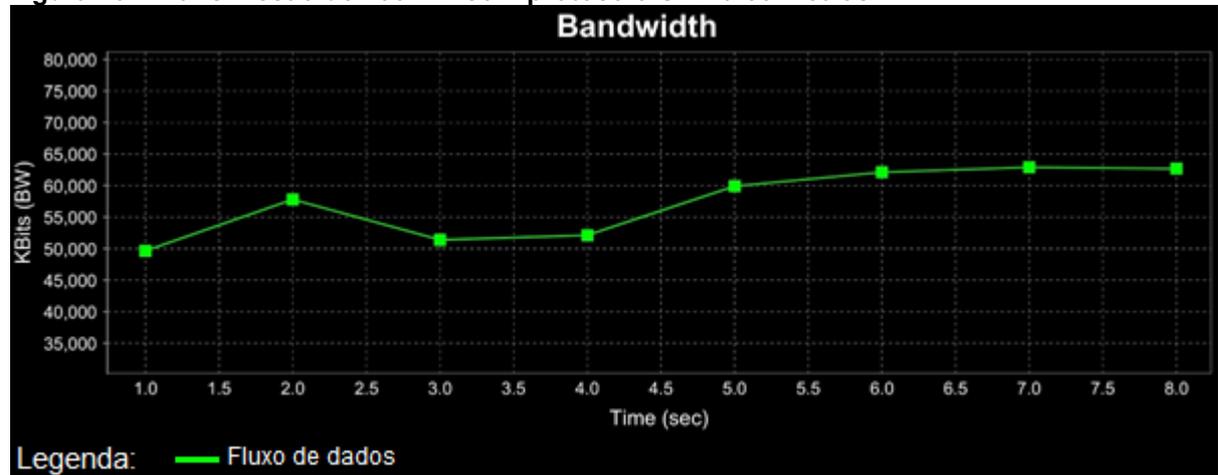
Os Figuras 39 e 40 mostram a situação da transmissão do maior pacote registrado na Tabela 4, demonstrando a diferença de tempo e velocidade entre os protocolos. Como o protocolo TCP reenvia dados perdidos no trajeto, o tempo de transmissão foi maior, mas a integridade do pacote não foi alterada.

Figura 39 - Transmissão de 100 MB com protocolo TCP a 50 metros



Fonte: Autoria própria

Figura 40 - Transmissão de 100 MB com protocolo UDP a 50 metros



Fonte: Autoria própria

Com o quarto ensaio coletou-se a Tabela 5.

**Tabela 5 - Ensaio com 50 metros e 5 fluxos em paralelo**

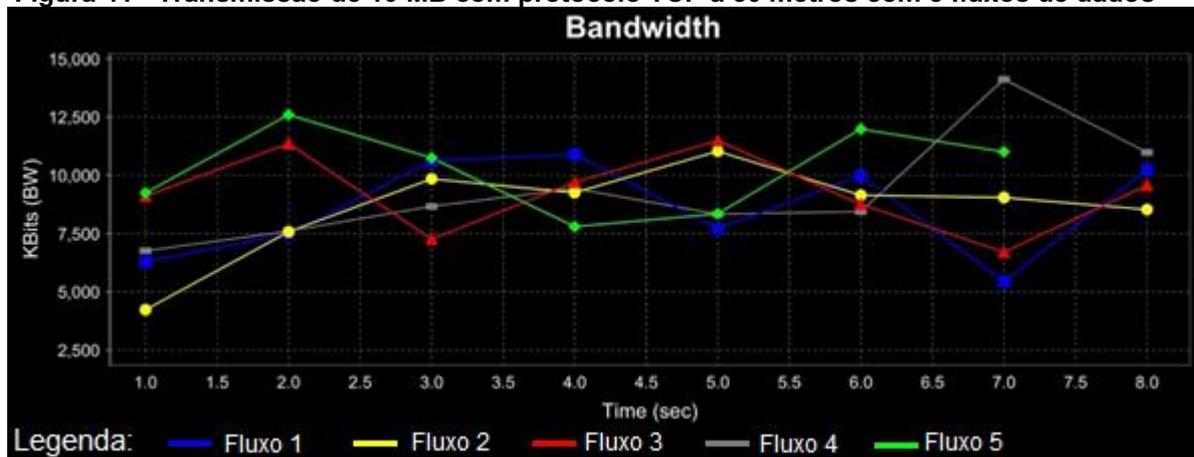
Tamanho do pacote (bytes)	Velocidade média de transmissão (Kbps)		Tempo de transmissão com TCP (s)	Tempo de transmissão com UDP (s)	Perda de pacote com UDP (%)
	TCP	UDP			
100	1	1	0	0	0
1,000	3907	4523	0	0	0
10,000	4194	6538	0	0	0
100,000	2020	13846	0.4	0.1	12
1,000,000	7702	15531	1.1	0.4	40
10,000,000	9171	19162	8.7	4.2	41
100,000,000	9489	19074	84.3	42	36

Fonte: Autoria própria

Com cinco fluxos de dados em paralelo, a quantidade de banda usada para cada fluxo acabou sendo menor, então o tempo de transmissão tendeu a crescer, mas mesmo assim ainda existem os pacotes que podem ser enviados em tempo real.

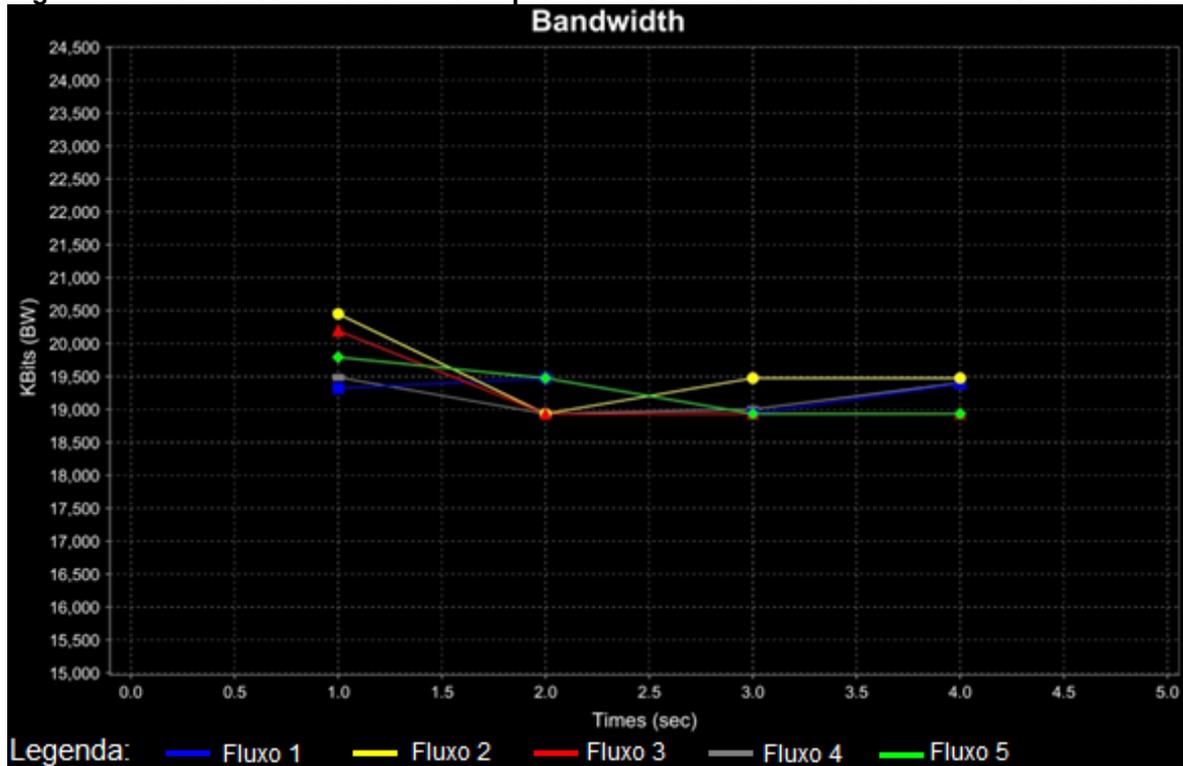
Os gráficos de transmissão dos pacotes maiores (Figuras 41 e 42), de 10 MB, mostram a priorização que ocorrem com um fluxo de dados em relação aos outros.

**Figura 41 - Transmissão de 10 MB com protocolo TCP a 50 metros com 5 fluxos de dados**



Fonte: Autoria própria

Figura 42 - Transmissão de 10 MB com protocolo UDP a 50 metros com 5 fluxos de dados



Fonte: Autoria própria

O fluxo de dados em cor verde, na Figura 41, foi priorizado na transmissão, disponibilizando de mais largura de banda em relação aos outros. O mesmo ocorre nas outras transmissões deste ensaio, mas não necessariamente o dado priorizado está na cor verde. Lembrando que os dados utilizados para o preenchimento da tabela são os de fluxos com menor priorização, como é o caso da cor azul na Figura 37.

Construiu-se a Tabela 6 com os resultados coletados no quinto ensaio.

Tabela 6 - Ensaio com 100 metros e sem fluxos em paralelo

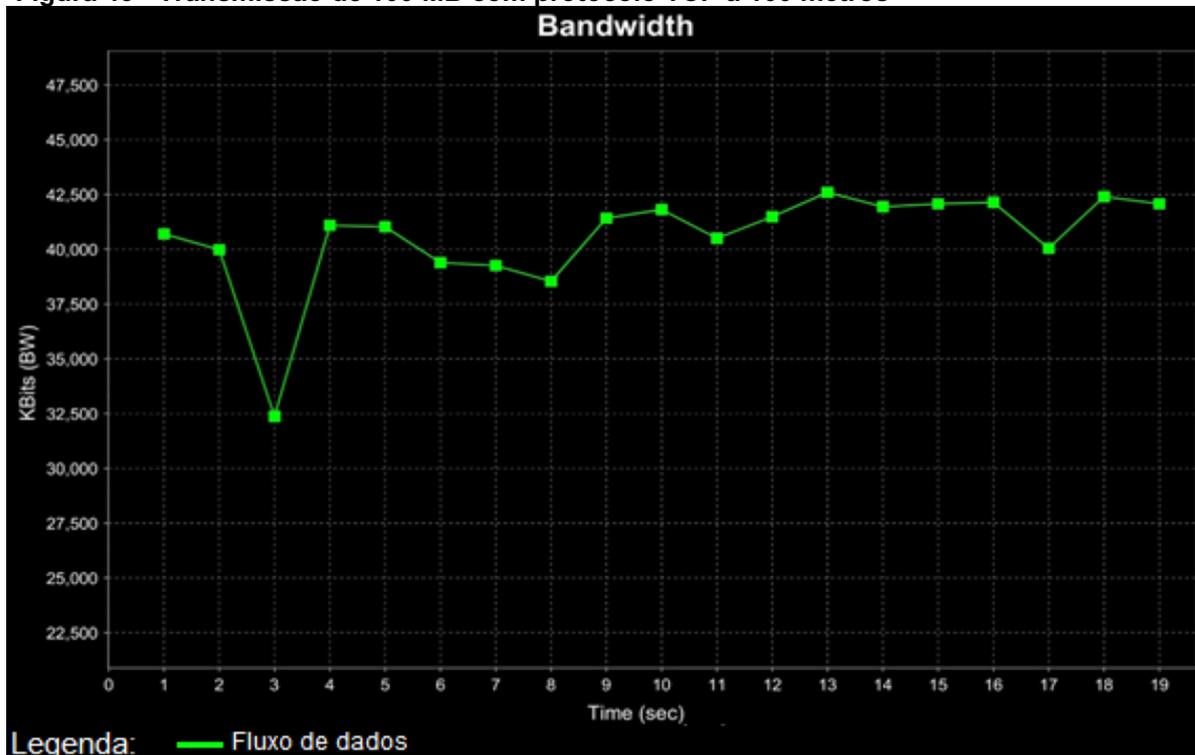
Tamanho do pacote (bytes)	Velocidade média de transmissão (Kbps)		Tempo de transmissão com TCP (s)	Tempo de transmissão com UDP (s)	Perda de pacote com UDP (%)
	TCP	UDP			
100	4259	694	0	0	0
1,000	4194	845	0	0	0
10,000	8417	5225	0	0	0
100,000	13611	25207	0.1	0	0
1,000,000	17789	11204	0.5	0.4	48
10,000,000	21045	33721	3.8	0.9	62
100,000,000	24713	32390	32.4	9.2	63

Fonte: Autoria própria

O comportamento dos dados em uma transmissão a 100 metros foi parecido com coletados no ensaio de 50 metros. Até 100 KB foi possível realizar a transmissão em tempo real, independente do protocolo, e para os pacotes maiores foi necessário o uso do TCP para garantir integridade dos dados.

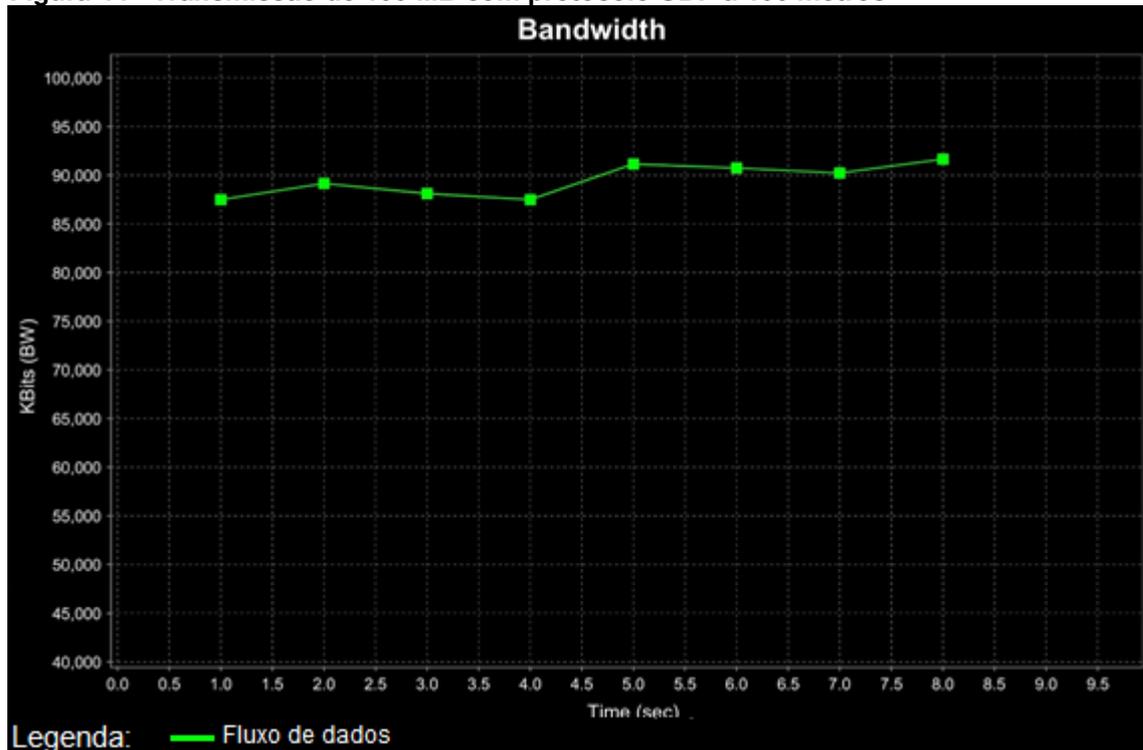
O pacote de 100 MB, ultimo na Tabela 6, teve uma perda de 63% dos dados, mostrando que a distância realmente afeta a perda de dados. Por isso também o protocolo TCP demorou um tempo maior, em relação ao UDP (Figuras 43 e 44), para sua transmissão, ao passo que muitos dados eram perdidos e necessitavam ser reenviados.

Figura 43 - Transmissão de 100 MB com protocolo TCP a 100 metros



Fonte: Autoria própria

Figura 44 - Transmissão de 100 MB com protocolo UDP a 100 metros



Fonte: Autoria própria

Os dados colhidos do sexto ensaio estão na Tabela 7, logo abaixo.

Tabela 7 - Ensaio com 100 metros e 5 fluxos de dados em paralelo

Tamanho do pacote (bytes)	Velocidade média de transmissão (Kbps)		Tempo de transmissão com TCP (s)	Tempo de transmissão com UDP (s)	Perda de pacote com UDP (%)
	TCP	UDP			
100	1991	1	0	0	0
1.000	1664	2128	0	0	0
10.000	3285	2357	0	0	0
100.000	5193	32532	0.6	0.1	26
1.000.000	4862	11629	1.7	0.7	63
10.000.000	5695	19021	14.1	4.4	72
100.000.000	5695	19414	137	41.8	70

Fonte: Autoria própria

Nota-se, para dados de até 10 KB, os protocolos TCP e UDP tiveram comportamentos muito semelhantes, não apresentando perda de pacotes (no caso do

UDP), e devido ao tamanho relativamente pequeno de dados, a transmissão ocorreu instantaneamente.

Pacotes entre 100 KB e 100 MB mostraram a diferença entre os protocolos. O envio de dados de 100 KB resultou no dobro de tempo para o protocolo TCP, porém houve 26% de perda de dados no protocolo UDP. Para os pacotes na ordem de MB as perdas usando o UDP foram expressivas, chegando a 72%, em contrapartida o TCP demorou três vezes mais tempo para enviar os dados pela rede elétrica.

Os dados da Tabela 8 apresentam os resultados obtidos do sétimo ensaio.

**Tabela 8 - Ensaio com 20 metros e motor de escovas monofásico sem fluxos em paralelos**

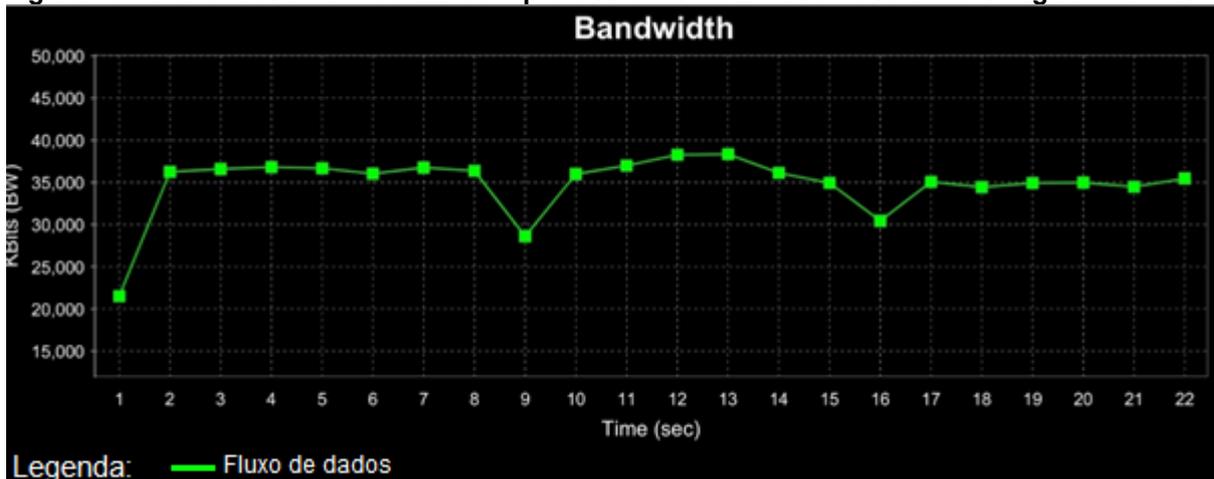
Tamanho do pacote (bytes)	Velocidade média de transmissão (Kbps)		Tempo de transmissão com TCP (s)	Tempo de transmissão com UDP (s)	Perda de pacote com UDP (%)
	TCP	UDP			
100	4195	1	0	0	0
1.000	4256	5736	0	0	0
10.000	8502	12354	0	0	0
100.000	27448	17363	0	0	0
1.000.000	36832	34312	0.2	0.1	47
10.000.000	34409	34235	2	1.1	51
100.000.000	34875	43361	22.9	9	51

Fonte: Autoria própria

Com o motor ligado à rede, a fim de provocar interferência na mesma, simulando um uso cotidiano, percebe-se que a presença de ruído na rede elétrica não afetou a transmissão de dados até 100 KB, independente do protocolo usado.

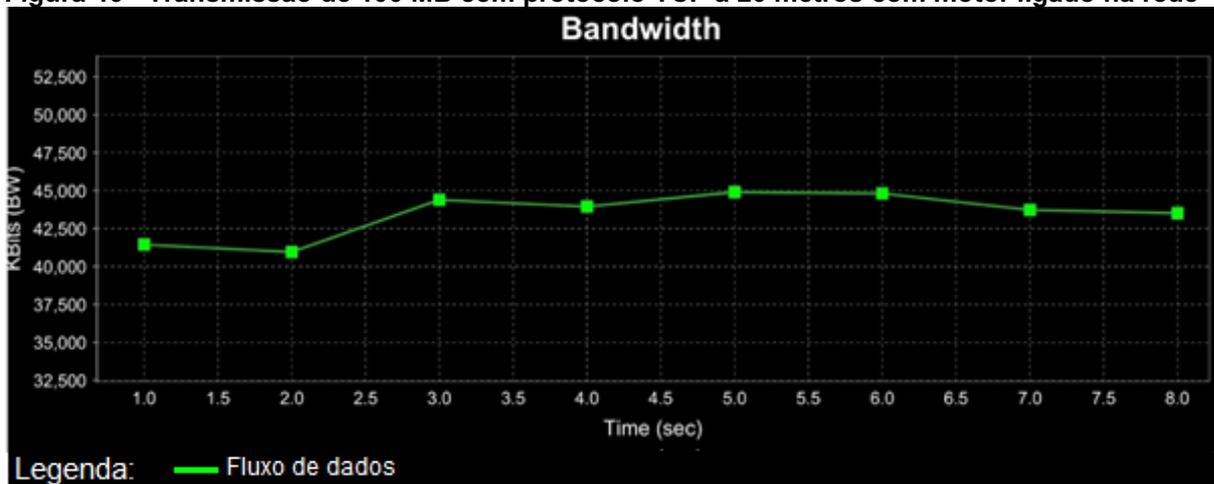
As perdas de dados de 1 a 100 MB (Figuras 45 e 46) mostraram-se estagnadas ao usar o protocolo UDP, em cerca de 49%. O tempo de envio de dados usando o protocolo TCP é duas vezes maior se comparado com o UDP.

Figura 45 - Transmissão de 100 MB com protocolo TCP a 20 metros com motor ligado na rede



Fonte: Autoria própria

Figura 46 - Transmissão de 100 MB com protocolo TCP a 20 metros com motor ligado na rede



Fonte: Autoria própria

O resultado do oitavo ensaio está apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 - Ensaio com 20 metros e motor de escovas monofásico com 5 fluxos de dados em paralelos

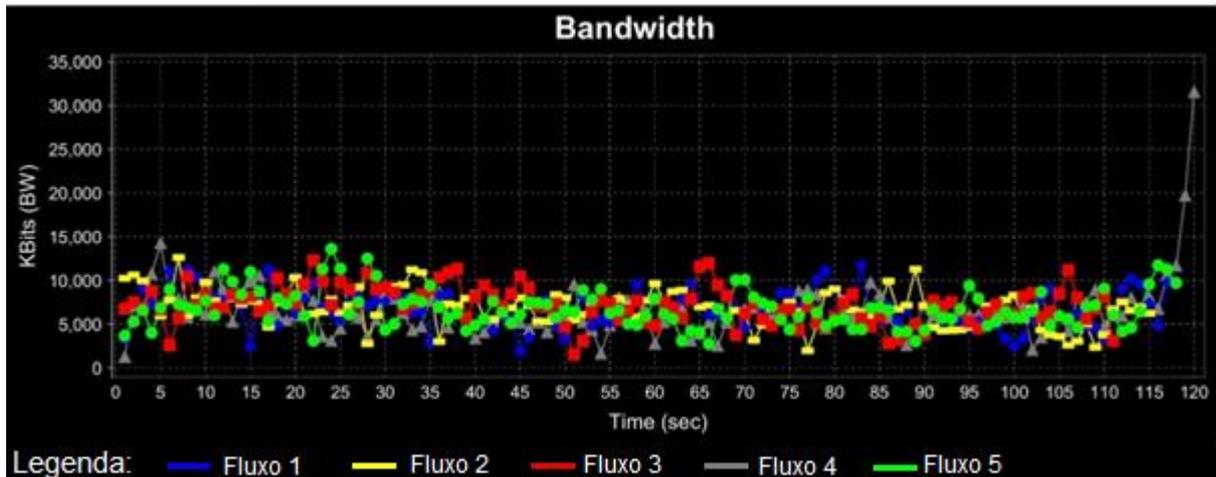
Tamanho do pacote (bytes)	Velocidade média de transmissão (Kbps)		Tempo de transmissão com TCP (s)	Tempo de transmissão com UDP (s)	Perda de pacote com UDP (%)
	TCP	UDP			
100	2111	752	0	0	0
1.000	2112	1762	0	0	0
10.000	2811	4517	0	0	0
100.000	1818	9729	0.5	0.3	17
1.000.000	6070	12010	1.3	0.7	53
10.000.000	7478	19248	10.7	4.4	54
100.000.000	6648	19134	120.4	41.9	57

Fonte: Autoria própria

A fim de criar um gargalo no envio de dados, a partir de 100 KB de dados enviados com cinco fluxos de dados paralelos, houve perda de pacotes na transmissão UDP, onde no ensaio anterior isso não ocorreu. A perda média de dados dos três últimos pacotes foi de 54%, um aumento em relação a tabela anterior.

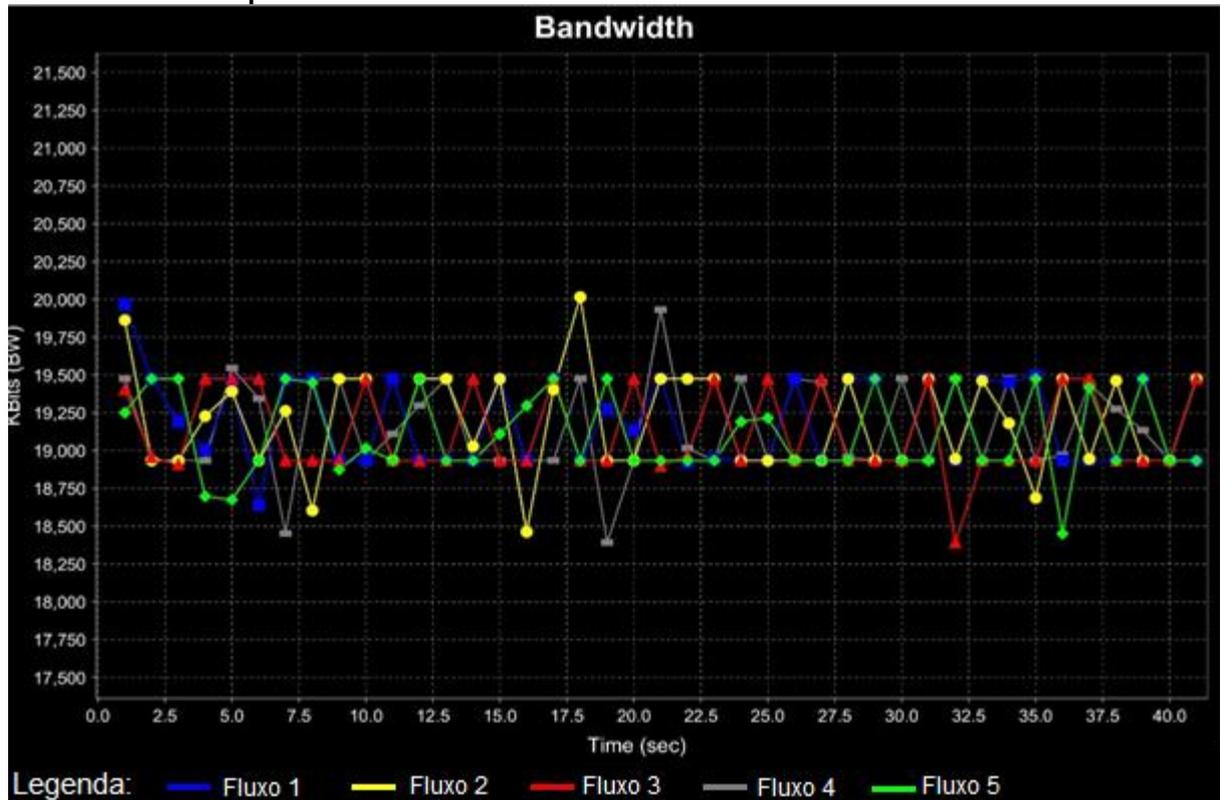
O tempo de transmissão para o envio do pacote de 100 MB (Gráficos 47 e 48) em TCP foi cerca de três vezes maior em relação ao UDP. Isto mostra o tempo gasto pelo TCP para realizar o reenvio de dados perdidos.

Figura 47 - Transmissão de 100 MB com protocolo TCP a 20 metros com motor ligado na rede e com 5 fluxos em paralelo



Fonte: Autoria própria

Figura 48 - Transmissão de 100 MB com protocolo UDP a 20 metros com motor ligado na rede e com 5 fluxos em paralelo



Fonte: Autoria própria

#### 4.1 ANÁLISE DE RESULTADOS

Com o aumento da distância e com uma rede sem fluxos de dados em paralelo, a transmissão de pacotes menores, de 100 até 100000 bytes, ocorreu de forma instantânea, independente do protocolo usado. Para pacotes maiores, a partir de 1 MB, com o uso do UDP, o tempo de envio de um ensaio para o outro teve pouca variação, mostrando que a distância não possui relevância quanto ao tempo de envio, mas sim quanto a perda de dados, que elevou-se significativamente a cada ensaio. Por outro lado, para o protocolo TCP a distância interfere diretamente no tempo de transmissão, já que o protocolo reenvia os dados perdidos.

Aumentando-se a distância para as transmissões com cinco fluxos de dados, os pacotes menores, de 100 até 10000 bytes, continuaram sendo transmitidos instantaneamente. Os pacotes maiores, a partir de 100 KB, utilizando o UDP, a distância pouco interfere no tempo de transmissão (Figura 49), mas muito interfere na

perda de informações (Figura 50). A adição de outros fluxos de dados elevou o tempo de comunicação em relação ao transporte sem fluxos adicionais.

**Figura 49 - Diferença de tempo de envio com protocolo UDP de acordo com a distância**

5 metros	50 metros	100 metros
Tempo de envio com UDP (s)	Tempo de envio com UDP (s)	Tempo de envio com UDP (s)
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0.1	0.1	0.4
1.1	1.2	0.9
8.4	9	9.2

Fonte: Autoria própria

**Figura 50 - Diferença de perda pacote com protocolo UDP de acordo com a distancia**

5 metros	50 metros	100 metros
Perda de pacote com UDP (%)	Perda de pacote com UDP (%)	Perda de pacote com UDP (%)
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	31	48
8	38	62
3.1	35	63

Fonte: Autoria própria

Em contrapartida, a aplicação do protocolo TCP mostrou que a distância influencia no tempo de envio, pelo fato da retransmissão de dados perdidos e também pela priorização de outros fluxos.

**Figura 51 - Diferença de perda pacote com protocolo TCP de acordo com a distancia**

5 metros	50 metros	100 metros
Tempo de envio com TCP (s)	Tempo de envio com TCP (s)	Tempo de envio com TCP (s)
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0.1
0.1	0.2	0.5
1.1	2.6	3.8
9.3	19.8	32.4

Fonte: Autoria própria

Buscando a máxima eficiência no transporte de dados, construiu-se uma tabela (Tabela 10) com recomendações sobre qual protocolo ser utilizado. As tabelas consideram distância e tamanho máximo e mínimo de pacotes. Levou-se em conta que o protocolo UDP deveria apresentar zero por cento de perda, garantido máxima eficiência. Ou seja, à medida que o UDP apresentava perdas a dado pacote, era descartada sua utilização.

**Tabela 10 - Recomendações de uso dos protocolos**

Distância (m)	Fluxos em paralelo	Pacotes para uso do UDP (bytes)	Pacotes para uso do TCP (bytes)
5	Não	≤ 1 MEGA	≥ 10 MEGA
5	Sim	≤ 1 MEGA	≥ 10 MEGA
50	Não	≤ 100 QUILO	≥ 1 MEGA
50	Sim	≤ 10 QUILO	≥ 100 QUILO
100	Não	≤ 100 QUILO	≥ 1 MEGA
100	Sim	≤ 10 QUILO	≥ 100 QUILO

Fonte: Autoria própria

Para garantir confiabilidade na transmissão de dados, é de suma importância a utilização da Tabela 10 para a escolha do protocolo. O protocolo UDP consegue realizar as transmissões de pacotes menores de forma mais eficiente que o TCP. Por outro lado, o TCP mostra eficiência em pacotes maiores.

Usando o motor monofásico alimentado na mesma rede dos modems, pacotes sem fluxo paralelos com até 100 KB foram enviados instantaneamente pela rede elétrica. Por ser um motor de escovas, e que provoca ruídos na rede, dados de 1 a 100 MB não apresentaram grandes variações quanto a perda de pacotes, utilizando o UDP. Em contrapartida, para que os dados chegassem íntegros, o tempo de envio dobrou.

O envio de fluxo de dados em paralelo, ainda com o motor ligado a mesma rede, percebeu-se um maior estresse para enviar os dados. O protocolo UDP apresentou perdas já na transmissão dos 100 KB. Assim como no ensaio anterior, para o perfeito envio de dados, o protocolo TCP precisou reenviar pacotes. Contudo, se a aplicação requisitar dados superiores a 10 KB em rede de dados paralelos, é requisitado o uso do protocolo TCP.

## 5. CONCLUSÃO

Tendo em vista a expansão da IoT, referenciando os *Smart Objects* o Modem mostrou-se eficiente, considerando que a distância máxima de uma transmissão pela rede elétrica seja de aproximadamente 50 metros. Levando em conta os resultados dos ensaios com 5 fluxos de dados, que se aproximam mais da realidade, é possível realizar comunicações em tempo real com pacotes de até 10 KB, independente do protocolo. Para pacotes maiores faz-se necessário o uso do protocolo TCP para a garantia da integridade dos dados.

Para transmissões de pequenos pacotes, como acender uma lâmpada, ou realizar um comando digital, qualquer dos protocolos realizara a tarefa instantaneamente. Para transmissão de imagem e vídeo, como uma câmera de segurança, haverá um atraso de aproximadamente 1 segundo.

Para um ambiente que contem conexões com distancias que ultrapassam 50 metros, também é possível realizar transmissões em tempo real de pacotes até 10 KB. Pacotes maiores terão o atraso de tempo causado pelo protocolo TCP, que seria de uso obrigatório para garantir a integridade da informação.

Voltado a aplicações de IoT, onde a alta confiabilidade de dados não é o fator principal, o uso do protocolo UDP mostrou-se bastante promissor, uma vez que para transmissões de pacotes até 10 KB obteve-se zero por cento de perda de dados. Considerando conexões onde a integridade dos dados é primordial, faz-se necessário o uso do protocolo TCP.

O Modem analisado se mostrou adequado a integrar os *Smart Objects*, de modo a realizar a comunicação de objetos com a Internet. Seria possível, por exemplo, integra-lo a um eletrodoméstico, como uma geladeira ou uma maquina de lavar, para que ele realizasse a comunicação deste objeto. A grande vantagem é que estes tipos de objetos já são normalmente ligados na rede elétrica para seu funcionamento.

## 6. TRABALHOS FUTUROS

Durante a realização deste trabalho, observou-se que algumas coisas poderiam ser diferentes para a obtenção de melhores resultados, como ensaios com distancias maiores, já que os pacotes de tamanhos pequenos ainda eram entregues facilmente com os Modems conectados a aproximadamente cem metros.

O cenário ruidoso criado neste trabalho pode ser aprimorado com a adição de mais motores funcionando em paralelo na rede, ou até mesmo outros equipamentos industriais que gerem ruído.

Outra alternativa seria utilizar mais pares de Modems realizando transmissões na mesma rede, ao mesmo tempo, para analisar a possível interferência causada de um Modem em outro. Também é possível testar outros Modems que tem o mesmo intuito, a fim de comparar resultados com este trabalho aqui apresentado.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

RECUERO, Raquel. **A internet e a nova revolução na comunicação mundial**. 2000. Disponível em: <http://www.raquelrecuero.com/revolucao.htm>. Acesso em 21 de novembro de 2019.

MELO, Roberto de Sousa Melo; GUTIERREZ, Regina Maria Vinhais. **A Internet E Os Provedores De Acesso**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 10, p. 115-172, set. 1999.

FARIAS, Luiz da Rocha. **Power Line Communication: Análise da viabilidade e desempenho técnico do padrão G3-PLC para o monitoramento de variáveis em ambiente industrial**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Departamento de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa.

BALAS, Valentina E. et al. **Internet of Things and Big Data Analytics for Smart Generation**. Berlim: Springer, 2018.

TP-LINK Technologies Co., Ltd. Datasheet: **AV500 Nano Powerline Adapter TL-PA411**. Electronic Publication. 2013.

**Ecossistema de IoT no Brasil vai crescer 20% ao ano até 2022**. Agencia TeleBrasil. Disponível em: <http://www.agenciatelebrasil.org.br/Noticias/Ecossistema-de-IoT-no-Brasil-vai-crescer-20%25-ao-ano-ate-2022-240.html?UserActiveTemplate=site&UserActiveTemplate=mobile%252Csite>. Acesso em 10 de novembro de 2019.

VERMESAN, Ovidiu; BACQUET, Joël. **Cognitive Hyperconnected Digital Transformation: Internet of Things Intelligence Evolution**. Gistrup: River Publishers, 2017. 310 p.

BOUHAÏ, Nasreddine; SALEH, Imad. **Internet of Things: Evolutions and Innovations**. Vol. 4. Hoboken: John Wiley & Sons, 2017. 231 p.

SHIEH, William; DJORDJEVIC, Ivan. **OFDM for Optical Communications**. San Diego: Elsevier, 2009. 439 p.

HANES, David; SALGUEIRO, Gonzalo. **Fax, Modem, and Text for IP Telephony**. Indianapolis: Cisco Press, 2008. 213 p.

GOKHALE, Anu. **Introduction to Telecommunications**. Normal: Thomson Delmar Learning, 2004. 462 p.

IIDA, Takashi. **Satellite Communications: System and Its Design Technology**. Tokyo: Ohmsha, 1997. 311 p.

HURA, Gurdeep; SINGHAL, Mukesh. **Data and Computer Communications: Networking and Internetworking**. Boca Raton: CRC Press, 2001.

ROSENBERG, Eric. **A Primer of Multicast Routing**. Middletown: Springer, 2012.

GOLENIEWSKI, Lillian. **Telecommunications Essentials: The Complete Global Source for Communications Fundamentals, Data Networking, and Next-Generation Networks**. Boston: Addison-wesley, 2004. 166 p.

SHINDER, Debra Littlejohn. **Computer Network Essenssials**. Indianapolis: Cisco Press, 2002. 120 p.

BLAHUT, Richard. **Modem theory: an introduction to Telecommunications**. Nova York: Cambridge University Press, 2010. 399 p.

MARTIN, James Thomas. **Telecommunications and the Computer**. Nova Jersey: Prentice-hall, 1976. 123 p.

HOMEPLUG ALLIANCE. **HomePlug AV2 Technology**. 2013, 12p.

CIRANI, Simone et al. **Internet of Things: Architectures, Protocols and Standards**. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2019. 383 p.

VERMESAN, Ouvidiu; FRIESS, Peter. **Internet of Things: Global Technological and Societal Trends**. Aalborg: River Publishers, 2011. 317 p.

SILVA, Camila Ceccato da. **Redes de computadores – Conceito e prática**. Santa Cruz do Rio Pardo-SP: Viena, 2010.

**O que é uma rede lan e uma rede WAN?** Palpite Digital. Disponível em: <https://www.palpitedigital.com/o-que-e-uma-rede-lan-e-uma-rede-wan/>. Acesso em 02 de novembro de 2019.

**Cabo coaxial.** TecNet. Disponível em: <https://lownet.wordpress.com/2009/06/01/cabo-coaxial/>. Acesso em 29 de outubro de 2019.

**Modulação de fase, amplitude de frequência.** Redes de comunicação. Disponível em: <http://paulomatos-gpsi11.blogspot.com/2011/10/modulacao-de-faseamplitude-e-frequencia.html>. Acesso em 01 de novembro de 2019.

**Diagrama de constelação e olho.** SlideShare. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/luanoliveira35/apresentao-15651335>. Acesso em 03 de novembro de 2019.

FERREIRA, Sueli Mara Soares Pinto. **Introdução às redes eletrônicas de comunicação.** Ciência da Informação, Brasília, v. 23, n. 2, p. 258-263, maio/ago. 1994.

**OFDM – the science behind LTE.** Disponível em: <https://yatebts.com/ofdm-the-science-behind-lte/>. Acesso em 30 de outubro de 2019.

**IEEE 1901-2010 – IEEE Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications.** Disponível em: <https://standards.ieee.org/standard/1901a-2019.html>. Acesso em 30 de novembro de 2019.

FRANZIN, R. P. **Estudo da técnica FBMC aplicada em power line communication.** Universidade Presbiteriana Mackenzie - SP, 2017.

HENNING, P.C. **Internet: um novo recurso de acesso à informação.** Ciência da Informação. Brasília, v. 22, n. 1, p. 61-64, jan./ abr. 1993.

FRANCISCATTO, R.; CRISTO, F.; PERLIN, T. **Redes de computadores.** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2013.

ALENCAR, M. A. S. **Fundamentos de Redes de Computadores**. Manaus: Universidade Federal do Amazonas, 2010.

MORAES, A. F. **Redes de Computadores**. São Paulo: ed. Érica, 2014. 136 p.

FERNANDES, C. A. **Comunicações sem fios**. Lisboa: Universidade de Lisboa, Capítulo 20, 18p.

PINHEIRO, A. P.; JÚLIO C. C.; FELIPE A. M. C. **Transmissão de Dados Usando a Rede Elétrica no Contexto de Redes Smart Grids e Micro-Redes**. Anais do XX Congresso Brasileiro de Automática Belo Horizonte, MG, 20 a 24 de setembro de 2014. 8p.

WEBB, J.W.; ROMANO, R. M.. **Rompendo o Futuro**. ANconsulting, 2013. 239p.

RAPPAPORT, THEODORE S. **Comunicação sem fio – Princípios e práticas**. São Paulo: ed. Pearson, 2008. 412p.

RIOS, Renan Osório. **Protocolos e serviços de redes**. Colatina: CEAD / Ifes, 2011. 87p.

BERTOLOTO, Danilo Costa. **Redes de fibra óptica – Conexões locais em dimensões globais no Brasil**. Cuiabá MT, 2012. 99p.

QUARESMA, M.; CARRION, P. **Internet da Coisas (IoT): Definições e aplicabilidade aos usuários finais**. UDESC, 2009, 18p.

LAMPE, Lutz; TONELLO, Andrea; SWART, Theo. **Power Line Communications: Principles, Standards and Applications from Multimedia to Smart Grid**. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2016.