

REDE LAN RESIDENCIAL POWER LINE COMMUNICATIONS POR MEIO DA TECNOLOGIA HOMEPLUG AV

Mateus Guilherme da Silva¹, Edson Moacir Ahlert², Yuri Solis Stypulkowski³

Resumo: O crescente aumento dos mais variados dispositivos se integrando com redes de computadores leva a necessidade de meios físicos para o fornecimento de acesso a estas redes. A rede elétrica vem sendo estudada como um meio de comunicação de dados, tendo em vista que sua infraestrutura já está instalada e com uma grande capacidade de abrangência. Entre os serviços que poderiam usar a infraestrutura elétrica como meio de comunicação, estão os serviços de smart grids, sensores e casas inteligentes, distribuição de acesso à internet, veículos elétricos plugáveis e comunicações intra veiculares. O objetivo do presente trabalho foi realizar testes com a tecnologia PLC sustentada pela especificação Homeplug AV, cuja promessa é permitir que a rede elétrica se torne um meio físico para comunicação de dados. O método de testes envolveu a montagem de um circuito elétrico comum em âmbito residencial, onde em suas extremidades, foram inseridos dois equipamentos Homeplug AV e entre eles foram conectadas cargas elétricas que foram categorizadas em cargas indutivas, resistivas e capacitivas, para obtenção das métricas de desempenho. Os resultados apontaram uma diminuição significativa de desempenho na presença de cargas dotadas de motores elétricos.

Palavras-chave: Comunicação de dados, PLC, Homeplug AV.

1 INTRODUÇÃO

Diante da grande quantidade de informações digitais sendo geradas a todo momento, a sociedade passa a depender cada vez mais da infraestrutura de telecomunicações para a disseminação do acesso à informação. Este acesso se transformou num quesito chave para o desenvolvimento social, econômico

1 Graduado em Tecnologia em Redes de Computadores pela Univates. E-mail: mateusguilhermedasilva@gmail.com.

2 Professor da Univates, mestre em Ambiente e Desenvolvimento. E-mail: edsonahlert@univates.br.

3 Professor da Univates, mestre em Engenharia Elétrica. E-mail: yuri.stypulkowski@univates.br

e político de uma sociedade, estando presente nos mais diversos setores, desde o entretenimento doméstico até o setor público e privado de serviços (CARVALHO, 2003; BALBONI, 2007).

Em âmbito residencial, a necessidade de conexão digital em todos os pontos cresce a cada dia, exigindo cada vez mais recursos para a disponibilidade de dados, voz e imagem. Outra tendência que se observa em redes domésticas é a crescente demanda por sistemas de casas inteligentes e IoT (Internet das Coisas).

A tecnologia PLC (Power Line Communications) surge como uma possibilidade de prover uma infraestrutura de telecomunicação para o acesso à rede de computadores através de linhas elétricas. Apesar de em seus primórdios, na década de 50 por exemplo, ter sido usada apenas para pequenas comunicações unidirecionais para gerenciamento de cargas elétricas, novos padrões foram sendo desenvolvidos ao longo dos anos, tornando a tecnologia cada vez mais robusta, de modo que, atualmente, já é possível tornar uma tomada elétrica um ponto de telecomunicação. Esta tecnologia, aliada a redes sem fio WI-FI, pode fornecer uma cobertura digital completa para uma residência (LAMPE *et al.*, 2016; HOMEPLUG.ORG, 2017).

Considerando um cenário mais amplo, a tecnologia PLC surge também como forte aliada de um novo conceito de redes elétricas, conhecido como Smart Grid. Este conceito surge da fusão das linhas de distribuição de energia elétrica com a Tecnologia da Informação. Muitos protocolos vêm sendo desenvolvidos para comunicações PLC aplicadas em Smart Grid, muitos deles, inclusive, fornecem suporte a protocolos de camadas mais altas como IPV4 e IPV6.

Com as Smart Grids, as linhas elétricas passam a ser dotadas de inteligência e um leque de novas possibilidades se abre, como por exemplo, medidores elétricos conhecidos também como smart meters, instalados nas unidades consumidoras, podem automatizar a sua função. As subestações de energia podem automatizar processos de manobras para fornecimento de energia, equipamentos elétricos podem ser monitorados, acionados ou entrar em estado de baixo consumo de energia em períodos de alta demanda. Veículos elétricos plugáveis (PEVs) também podem ser dotados dessa tecnologia, onde pontos de recarga podem ser oferecidos em lugares públicos e a tarifação automatizada (URIBE-PÉREZ, 2017; HOMEPLUG.ORG, 2017).

Dentro da tecnologia PLC, com uso voltado para aplicações domésticas, se encontram as especificações desenvolvidas pela HomePlug Powerline Alliance que surgiu no ano 2000 com o intuito de desenvolver soluções para a comunicação pela rede elétrica. Suas especificações foram desenvolvidas para atender as mais variadas demandas de tráfego de dados e milhões de produtos PLC ao redor do mundo já incorporam essas especificações.

Dentre as especificações criadas podemos citar a especificação Homeplug AV, voltadas para necessidades de banda larga de até 200 Mbps,

Homeplug AV2, para necessidades com alta largura de banda e Homeplug Green PHY, desenvolvida para demandas em casas inteligentes, IoT e Smart Grid. Além de desenvolver as suas próprias especificações, seus membros atuaram também no desenvolvimento do padrão adotado pelo IEEE, conhecido pela especificação IEEE 1901, que aborda as comunicações de dados pelas redes elétricas (GAVETTE *et al.*, 2013; HOMEPLUG.ORG, 2017).

O uso da tecnologia PLC sustentada pela especificação Homeplug Green PHY, também vem sendo estudada para uso em comunicações intra-veiculares. O estudo realizado por Sheng *et al.* (2017), mostrou que a tecnologia é promissora para a troca de informações entre os diversos sensores de um automóvel moderno. Utilizando a malha elétrica disponível no veículo, não é necessário acrescentar peso extra com instalação de novos cabos e o desempenho mostrou-se aceitável mesmo para aplicações críticas quanto ao atraso de transmissão.

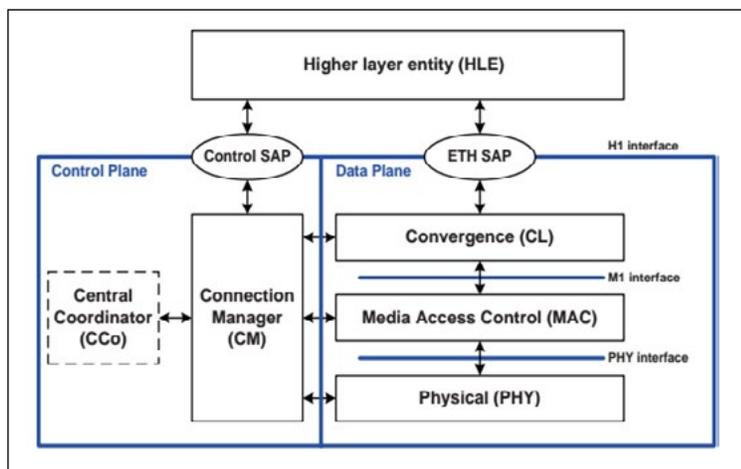
Estudar a tecnologia PLC sustentada pela especificação Homeplug AV vem a contribuir como uma possível solução para a cobertura de sinal digital em residências e demais construções, tendo em vista que a malha elétrica, meio físico utilizado por esta tecnologia, está presente em todos pontos de uma residência.

O presente trabalho teve por objetivo a pesquisa bibliográfica sobre a especificação Homeplug AV, elucidando as principais características e funções de sua arquitetura lógica, e na sequência, realização de testes das métricas, largura de banda, jitter e perda de pacotes em modo UDP e largura de banda em modo TCP. A medição foi feita com o uso do software IPERF, em meio a interferências produzidas por equipamentos elétricos comuns, em uma rede elétrica residencial construída para este fim. Os resultados visam fornecer subsídios que auxiliem na tomada de decisão quanto a escolha dessa tecnologia em substituição do cabeamento interno ou redes sem fio residenciais.

2 A ARQUITETURA HOMEPLUG AV

Segundo Gavette *et al.* (2013), os protocolos Homeplug AV estão divididos em dois planos, o Plano de Controle (Control Plane) e o Plano de dados (Data Plane). A Figura 1 ilustra esta arquitetura.

Figura 1 - Arquitetura de camadas de protocolo Homeplug AV



Fonte: Gavette *et al.* (2013, p. 14).

A primeira camada do plano de dados que nos deparamos é a camada de Convergência (CL). Ela fornece Camadas de Adaptação de Protocolo (PALs) para as camadas de nível superior. A adaptação de protocolo ocorre através de Pontos de Acesso a Serviços (SAP) e oferecem serviços de adaptação que protegem os aplicativos das complexidades das camadas Homeplug AV. A especificação Homeplug exige a presença de um SAP para o formato Ethernet, tornando a rede Homeplug AV compatível com as redes Ethernet comumente encontradas (HOMEPLUG AV, 2007).

Segundo Gavette *et al.* (2013), outras funções da camada de Convergência é fornecer carimbos de data e hora para os pacotes e o controle de jitter, ou suavização (smoothing) quando solicitado por uma camada de nível superior. O controle de jitter consiste em entregar os pacotes ao aplicativo de destino em uma taxa de atrasos constante, o que oferece uma melhor experiência para o usuário que está usufruindo deste aplicativo.

A camada MAC, operando no lado do plano de dados, trabalha com Unidades de Dados de Serviço MAC (MSDU), oriundos da camada de convergência e com mensagens de gerenciamento MAC. A função dessa camada é converter as MSDUs e mensagens de gerenciamento em Unidades de Dados do Protocolo MAC (MPDUs) para serem entregues a camada física (GAVETTE *et al.*, 2013).

A camada MAC Homeplug AV dispõe de serviço livre de contenção, ou seja, o meio fica livre de disputas entre as estações por determinado tempo, através da técnica Time Division Multiple Access (TDMA) e também oferece serviços quando há contenção, ou seja, quando há disputa pelo meio físico, através da técnica Collision Sense Multiple Access/Collision Avoidance

(CSMA/CA). Para que estes dois serviços funcionem adequadamente, o coordenador central (CCo) deve gerenciá-los (HOMEPLUG AV, 2005).

Em nível de sinal, a especificação Homeplug AV baseia-se na técnica OFDM (Multiplexação por Divisão de Frequências Ortogonais), essa técnica pode gerar uma economia de banda de até 50% em relação à técnica tradicional de FDM (Multiplexação por divisão de Frequência). Essa economia se deve ao fato do uso de frequências ortogonais, que podem ser colocadas muito próximas e ainda assim coincidem com pontos nulos das frequências adjacentes, minimizando a interferência entre subportadoras.

A faixa de frequência da especificação varia de 1.8 a 30 Mhz e utiliza em conjunto com a OFDM a Transformada Rápida de Fourier. Para a transmissão, usa-se a transformada rápida inversa, onde ocorre a soma das subportadoras, gerando assim o símbolo OFDM no domínio do tempo. Já na recepção, ocorre a transformada rápida, onde o símbolo OFDM é recuperado no domínio da frequência. As subportadoras podem ser moduladas em BPSK, QPSK, 8 QAM, 16 QAM, 64 QAM, 256 QAM ou 1024 QAM, dependendo da qualidade do canal e do tipo de informação que carregam. O número total de subportadoras permitidas é de até 1155, variando de acordo com normas regulamentadoras de cada país (PINTO, ALBUQUERQUE, 2002; HOMEPLUG AV, 2007; ROCHOL, 2012; GAVETTE, *et al.*, 2013).

Segundo Homeplug AV (2005), o Gerenciador de Conexões (CM) é uma entidade integrante da camada MAC, que opera no lado do plano de controle (vide Figura 1). O gerenciador recebe as solicitações de conexão de uma camada de nível superior e cabe a ele comunicar-se com o outro gerenciador envolvido em uma conexão e alternativamente com o coordenador central da rede Homeplug AV, informando sobre a necessidade de criação de uma conexão e também informando e monitorando os parâmetros para cumprir com as especificações de uma determinada conexão.

As conexões criadas pelo gerenciador de conexões são compostas por links locais ou globais. Se o link for local, ele é estabelecido e monitorado pelo próprio gerenciador, o coordenador central não possui nenhum conhecimento deste link. Estes links operam no intervalo de contenção do Beacon, ou seja, na região de CSMA. Já se o gerenciador de conexão avaliar as especificações de uma conexão e constatar que o nível de qualidade de serviço exigido para a conexão é alto, ele solicita ao coordenador central que reserve um link global na região livre de contenção (TDMA) para esta transmissão. O coordenador central, por sua vez, estuda se há possibilidade de atendê-la, se sim, ele solicita que as estações sondem o canal para realizar uma estimativa e designar um mapa de tons. Com base na estimativa do canal e nas especificações da conexão, o coordenador consegue determinar o tempo adequado para manter a conexão ativa. O link será então administrado pelo coordenador central em nível global e em nível local pelo gerenciador de conexão das estações envolvidas nesta conexão (HOMEPLUG AV, 2005; GAVETTE *et al.*, 2013).

Em uma rede Homeplug AV há apenas uma estação com o papel de Coordenador Central (CCo) habilitado. O principal papel do coordenador é fornecer o Central Beacon em broadcast dentro da rede, em intervalos definidos e sincronizados com o ciclo de corrente alternada. O Beacon delimita os períodos livres de contenção (TDMA) e com contenção (CSMA/CA) em que as estações podem transmitir. A alocação das transmissões em TDMA e CSMA variam conforme os requisitos de qualidade de serviço que uma camada de nível superior tenha solicitado. A sincronização do Beacon com o ciclo de corrente elétrica permite elaborar estratégias para problemas de interferências e auxiliar os cronogramas persistentes de transmissão TDMA (SANTOS, 2010; GAVETTE *et al.*, 2013).

Ao ligarmos uma estação, ela irá tentar fazer parte de alguma rede Homeplug AV que exista, caso não encontre nenhuma, ou não consiga, ela cria sua própria rede e será também o coordenador central dela. Para que as estações adentrem em uma rede Homeplug AV elas precisarão do Network Membership Key (NMK) da rede, que fornece segurança e privacidade (SANTOS, 2010).

Para fins didáticos pode-se assumir que as atividades relacionadas com a segurança se encontram em uma entidade chamada de Camada de Segurança que se assume também estar presente no Plano de Controle (GAVETTE *et al.*, 2013).

Todas as mensagens na rede Homeplug AV são criptografadas com a criptografia AES de 128 bits, com uma pequena exceção para algumas mensagens de gerenciamento. Para a formação de uma rede é necessário que as estações da mesma, compartilhem um mesmo NMK, que nada mais é que uma senha para a rede. A partir do momento que a estação se autentica com a senha junto ao coordenador central ela receberá uma chave de criptografia e utilizará esta chave para criptografar os pacotes de dados, o que garantirá privacidade aos usuários (HOMEPLUG AV, 2005).

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Com o objetivo de contribuir para a compreensão das principais características e arquitetura da tecnologia Homeplug AV, e assim, poder determinar os fatores mais importantes nos testes das métricas de desempenho, foram analisados três trabalhos relacionados a temática apresentada.

O estudo realizado por Horota *et al.* (2018) buscou analisar o desempenho da tecnologia PLC com o padrão Homeplug AV como forma de prover um meio de comunicação “sem novos fios”. O estudo avaliou o número de pacotes transmitidos, tamanho médio dos pacotes, o tráfego total e a vazão entre dois dispositivos. Os cenários de testes levaram em consideração a distância entre os dispositivos e a presença ou não de interferências. Com o estudo foi possível concluir que a distância constitui um fator que impacta no desempenho da tecnologia, onde distancia curtas apresentaram desempenho melhor que

distâncias maiores e também que a presença de interferências na rede elétrica acarretou em uma diminuição de desempenho.

O trabalho desenvolvido por Silva (2015) utilizou o protocolo Homeplug Green PHY (HPGY) em ambiente real, usando a rede elétrica do CCET/UNIRIO. O autor utilizou a infraestrutura lógica e elétrica dos laboratórios de informática para realizar testes de desempenho, medindo a taxa de download e upload para um site externo, em meio a interferências produzidas pelos equipamentos presentes nos laboratórios. Na sequência comparou o desempenho utilizando o protocolo HPGY com a rede cabeada convencional. Após a coleta de dados foi possível concluir que quando há instabilidade na rede elétrica o cabeamento convencional apontou melhores resultados, mas em ambientes sem instabilidade elétrica o padrão Homeplug apresentou o mesmo desempenho. Ainda no final de seu trabalho, o autor questiona se haveria alguma forma de isolar as interferências elétricas para melhorar o desempenho do canal de comunicação.

Para Aguiar (2018), o estudo procurou avaliar o estado da arte da tecnologia PLC no Brasil e no mundo, abordando também questões técnicas e regulamentadoras da tecnologia. Além disso, o autor conduziu uma experimentação com dois equipamentos PLC padrão Homeplug AV 200Mbps para análises de desempenho em diferentes cenários. Ficou comprovada a capacidade de ligações VoIP com o uso da tecnologia PLC sustentada pela especificação Homeplug AV. O estudo também apontou uma queda linear de largura de banda com o aumento da distância entre os equipamentos e que cenários com redes elétricas antigas e degradadas ou com presença de motores universais afetaram negativamente o desempenho da tecnologia.

4 METODOLOGIA E DESCRIÇÃO DA PROPOSTA

Nesta seção são apresentados os dispositivos PLC, softwares utilizados, equipamentos e detalhes do projeto elétrico criado para a realização dos testes, assim como a descrição dos cenários que serão simulados ao longo das experimentações.

Conforme descrito pelos autores Gavette *et al.* (2013), uma das principais fontes de ruídos em um ambiente PLC são os eletrodomésticos e demais equipamentos elétricos ligados na mesma rede elétrica em que se deseja transmitir dados.

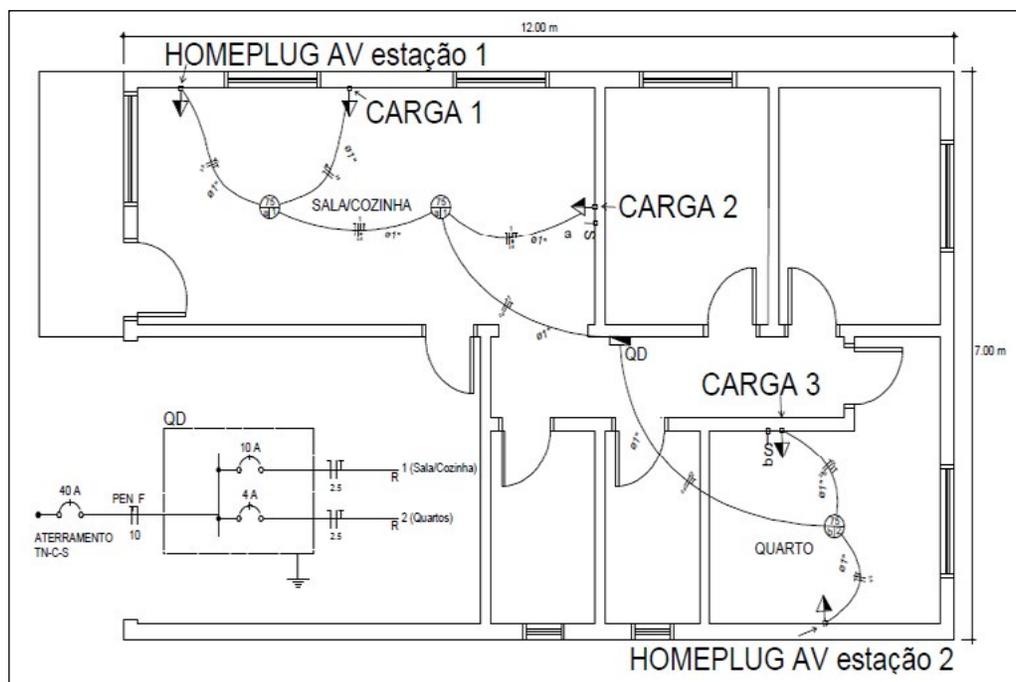
Diante disto o trabalho se propõe em montar uma rede elétrica conforme esquematizado na Figura 2. A montagem do circuito elétrico visa garantir que não haverá nenhuma outra carga interferindo nos resultados coletados e ao mesmo tempo, garante que padrões conhecidos foram seguidos como caminhos, emendas, seções e posições das cargas.

Quanto aos objetivos trata-se de Pesquisa Experimental ao proporcionar maior familiaridade com o problema. Quanto aos procedimentos técnicos

é Pesquisa Bibliográfica, desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos (GIL, 2008).

A planta elétrica da Figura 2 foi elaborada com auxílio da ferramenta LUMINE V4⁴ e é composta por dois circuitos elétricos, circuito 1, correspondente a sala e cozinha e circuito 2, correspondente a um dos quartos. Um quadro de distribuição (QD) está presente, onde há disjuntores para cada circuito. A construção da rede elétrica leva em consideração a seção mínima de condutor elétrico de 2.5 mm² para tomadas de uso geral. Os disjuntores são de 10A para o circuito 1 e 4A para o circuito 2. Tanto o dimensionamento dos disjuntores, condutores, eletrodutos e caixas de passagem seguem como base as orientações propostas pela NBR 5410 (2004). As emendas nos condutores foram realizadas conforme Cruz e Aniceto (2013).

Figura 2 - Planta baixa da rede elétrica de testes



Fonte: Dos Autores (2018).

O QD será alimentado diretamente pelo circuito de distribuição, advindo do medidor elétrico da concessionária, conforme Figura 3. Para dimensionamento deste circuito foram considerados os fatores de demanda

4 Software criado pela empresa AltoQI para o desenvolvimento de projetos de instalações elétricas prediais. Mais informações em: <http://www.altoqi.com.br/>. Acessado em 29 set. 2018.

encontrados no Regulamento de Instalações Consumidoras - Fecoergs, Anexo D, Tabela D.1 e também o dimensionamento de condutores de cobre, conforme NBR 5410 (2004).

Entre as duas extremidades mais distantes da planta foram colocados 3 equipamentos elétricos comuns em uma residência. Os equipamentos elétricos são em sua maioria de cargas de fator de potência composto, porém para facilitar a montagem de cenários e graficação de resultados os equipamentos que apresentarem funções de aquecimento por resistência serão enquadrados na categoria de cargas com fator de potência resistivo (ou unitário), já os equipamentos que apresentarem funções de rotação por motores elétricos serão enquadrados na categoria de cargas com fator de potência indutivo e por último, equipamentos eletrônicos dotados de capacitores serão categorizados em cargas com fator de potência capacitivo.

Figura 3 - Imagem do projeto elétrico construído



Fonte: Doss Autores (2018).

Nas extremidades foram instalados dois equipamentos Homeplug AV modelo TL-PA6010, cujas especificações podem ser vistas no Quadro 1, que foram testados em meio a interferências produzidas pelas cargas, como mostra a Figura 3. O monitoramento foi feito através da ferramenta IPERF, onde foram monitoradas as métricas jitter, largura de banda e perdas de pacotes para o modo UDP e largura de banda para o modo TCP, simulando alguns cenários possíveis com as diferentes cargas. Os diferentes parâmetros medidos para o

modo TCP e UDP se deve ao fato de que em modo TCP a entrega de pacotes é sempre garantida pelo próprio protocolo, o que inviabiliza a medição de alguns parâmetros como a perda de pacotes.

Quadro 1: Especificações Homeplug AV modelo TL-PA6010

Fabricante/Modelo	TP-LINK / TL-PA6010
Padrões	Homeplug AV, IEEE802.3, IEEE802.3u, IEEE802.3ab
Interfaces	1 porta Gigabit Ethernet
Taxa de dados	Até 600 Mbps
Segurança	Criptografia AES 128-bit
Alcance	300 metros

Fonte: TP-Link.com (2018).

Para o modo UDP os critérios aceitos foram de até 30 ms para a métrica jitter e até 1% para perda de pacotes. Segundo Szigeti e Hattingh (2004), essas taxas precisam ser atendidas para uma sessão de vídeo interativo agradável e com isso também cobrem automaticamente stream de vídeo, que tolera até 5% de perda.

A ferramenta IPERF, segundo Silva e Alves Junior (2014), é uma ferramenta livre e foi desenvolvida pela NLANDR/DAST (National Laboratory for Applied Network Research/Distributed Applications Support Team). Ela consiste de um gerador de tráfego, tanto TCP quanto UDP, e atua de forma ativa na rede gerando relatórios com métricas como vazão, perda de pacotes e jitter.

Em modo UDP, a ferramenta IPERF pode gerar um fluxo com largura de banda definida e pode monitorar a perda de pacotes, valores de jitter e a banda que realmente está sendo fornecida entre o cliente e o servidor IPERF (SILVA; ALVES JUNIOR, 2014). Para este trabalho foi utilizada a versão 3.1.3 do IPERF em 2 notebooks Sempron 3600 2.0 GigaHertz, 1 Gigabyte de memória RAM, controladora de rede RTL8211B 1 Gigabit Ethernet e sistema operacional Linux Debian 9.2. A estação 1 (vide Figura 2) foi colocada em modo servidor e possui o endereço IP 192.168.1.1. O comando para colocar o IPERF em modo servidor é descrito a seguir:

```
#iperf3 -s
```

O parâmetro *-s* indica que o IPERF deve entrar em modo *server* e por padrão passará a ouvir na porta 5201.

Já a estação 2 possui o endereço IP 192.168.1.2 e o IPERF foi posto em modo cliente, tanto em UDP como TCP. Os comandos para UDP e TCP são respectivamente apresentados a seguir.

```
#iperf3 -c 192.168.1.1 -i 1 -t 20 -u -b XXXM
```

```
#iperf -c 192.168.1.1
```

Uma descrição detalhada das funções de cada um dos parâmetros utilizados nos comandos anteriores é mostrada no Quadro 2.

Quadro 2: descrição dos parâmetros IPERF modo cliente

Parâmetro	Descrição
-c	Coloca o IPERF em modo cliente e na sequência é informado o IP do servidor.
-i	Indica o intervalo em que é exibido o relatório.
-t	Indica o tempo em segundos que o IPERF permanecerá monitorando o tráfego.
-u	Indica que o cliente deve gerar tráfego UDP.
-b	Indica o fluxo para enviar em bits/s. O fluxo é definido para um valor que atenda aos requisitos de QoS para vídeo interativo citado anteriormente.
XXXM	As letras X representam a taxa de vazão em megabits por segundo que se deseja transmitir.

Fonte: Iperf.fr (2018).

Para realização dos testes foram considerados 8 diferentes cenários onde, em cada um deles, a ferramenta IPERF irá monitorar o desempenho por 20 segundos. Os cenários de A ao F representam cenários comuns que poderíamos encontrar em uma residência. Já os cenários G e H foram criados para determinar se um filtro de linha seria capaz de melhorar as condições de um canal com baixa qualidade. A seguir são apresentados os detalhes de cada cenário.

- **Cenário A:** Onde não há nenhuma carga elétrica instalada, além dos próprios modems Homeplug AV.
- **Cenário B:** Presença de cargas resistivas. Posição da carga 1 contém uma chaleira elétrica Cadence CEL500 1850W, posição carga 2 possui um ferro de passar Black&Decker AJ2000PK-B2 1100W, posição carga 3 contém um aquecedor de ambiente Ventisol AQ-02 800W.
- **Cenário C:** Neste cenário estão presentes cargas capacitivas. A carga 1 contém um Monitor LCD Samsung 540N 120W, a carga 2 contém um Televisor tubo de imagem CCE HPS-1473 37W e a carga 3 possui um gabinete desktop Core 2 Duo com fonte PCTop FPA200S 200w.
- **Cenário D:** Contém cargas indutivas. Na posição carga 1 há um ventilador Ventisol CAA-02 130W, na posição carga 2 há um

liquidificador Walita RI-1774 350W e na posição carga 3 há uma micro retífica Einhell TH-MG 135 E 135W.

- **Cenário E:** O cenário E considerou as mesmas posições e cargas indutivas do cenário D e acrescentou três lâmpadas LEDs SAVE ENERGY SE-215.1455 9W instaladas nas caixas de passagem de teto.
- **Cenário F:** Apenas três lâmpadas LEDs Save Energy SE-215.1455 9W instaladas nas caixas de passagem de teto.
- **Cenário G:** Neste cenário foi selecionada uma das cargas da categoria que apresentou a taxa de transferência mais baixa, tanto em UDP como em TCP e os mesmos testes foram refeitos, apenas com esta carga na posição de carga 2.
- **Cenário H:** Já neste cenário, mantém-se a carga do cenário G, porém desta vez a carga é ligada em um filtro de linha Clamper X-FC-PT-8Bt-2J1-2CF-L-P/T e o filtro de linha é então ligado na tomada de carga 2.

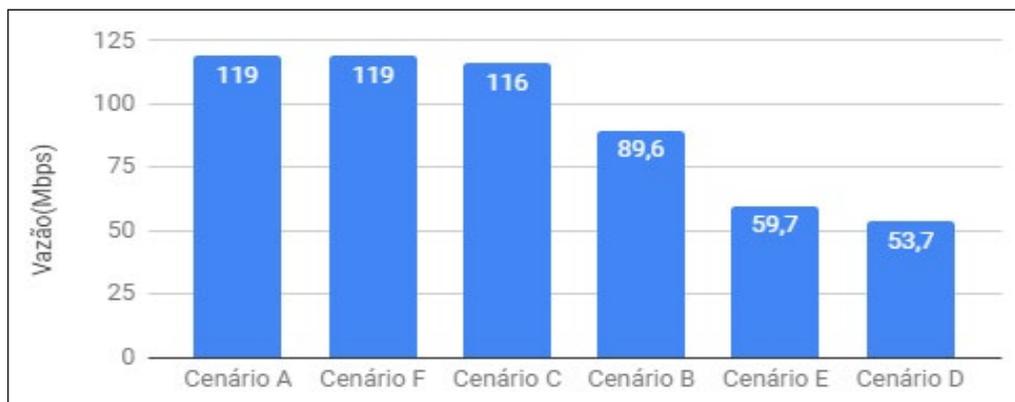
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos pela elaboração do referencial teórico e pela experimentação. Os resultados estão dispostos em gráficos e são analisados no decorrer desta seção.

Os Gráficos 1 a 4, foram gerados a partir dos dados coletados pelo IPERF nos cenários A a F conforme descritos anteriormente.

O Gráfico 1 mostra a vazão em modo UDP, isto é, quantidade de bits por unidade de tempo. É possível notar que o ruído colorido gerado por motores, conforme citado pelos autores Vital; Vital, 2012; Fontes; Zattar, 2015, resultou nos piores valores de vazão nos cenários onde estavam presentes, no caso, cenário E e D. Este mesmo valor de vazão é também utilizado para obtenção das demais métricas UDP, jitter e perda de pacotes, exibidas nos Gráficos 2 e 3.

Gráfico 1 - Vazão em modo UDP



Fonte: Dos Autores (2018).

No Gráfico 2 é medida a variação no atraso na transmissão UDP. Novamente, cenários que apresentaram fontes de ruído colorido tiveram os piores resultados (Cenário E e D). Lembrando que em relação a métrica jitter buscamos sempre os menores valores, pois quanto maior o jitter, maior serão as variações de atrasos entre um pacote e outro. Para compensar essas variações, técnicas de bufferização podem ser empregadas para reorganizar os pacotes antes de enviá-los para as camadas superiores, porém aplicações em tempo real podem ter o desempenho afetado.

Gráfico 2 - Jitter em modo UDP

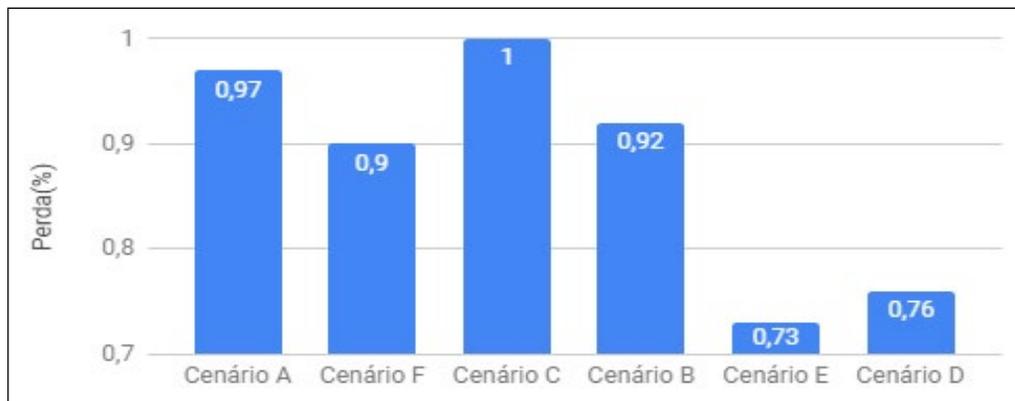


Fonte: Dos Autores (2018).

O Gráfico 3 mostra a perda de pacotes durante transmissão UDP. A perda de pacotes em um stream de vídeo pode resultar em pixels anormais durante a visualização ou em uma palavra incompreendida no caso de uma

transmissão de áudio. Na transmissão de dados, um pacote perdido gera uma inconsistência da informação e um novo pacote deve ser enviado, por isso aplicações para transmissão de dados geralmente não utilizam UDP e sim o protocolo TCP para garantir a entrega de todos os pacotes.

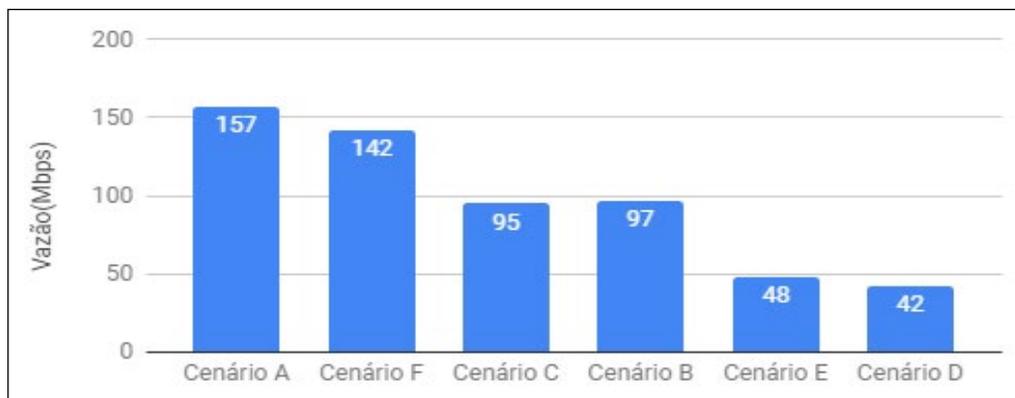
Gráfico 3 - Perda de pacotes em modo UDP



Fonte: Dos Autores (2018).

No Gráfico 4, novamente é exibida a vazão, porém desta vez em modo TCP. O comportamento é semelhante ao Gráfico 1, onde cenários que estavam sendo inundados por ruídos coloridos (cenários E e D) obtiveram o menor desempenho. Em outras palavras, houve uma diminuição de aproximadamente 70% da vazão com relação ao cenário A, conseqüentemente, nos cenários D e E leva-se de 3 a 4 vezes mais tempo para transportar a mesma quantidade de informações do que no cenário A.

Gráfico 4 - Vazão em modo TCP

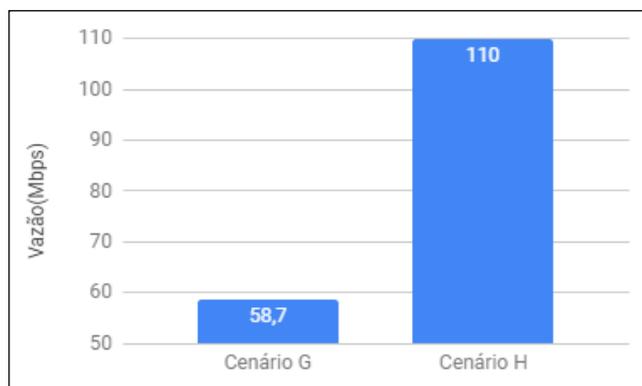


Fonte: Dos Autores (2018).

Nos Gráficos 5 a 8, são representadas as comparações das métricas avaliadas para os cenários G e H, obtidas também com o uso da ferramenta IPERF, buscando averiguar uma possível influência de um filtro de linha em um canal ruidoso. O equipamento selecionado foi o Liquidificador Walita RI-1774 350W, da categoria de cargas indutivas.

O Gráfico 5 apresenta a vazão em megabits por segundo em modo UDP. É possível notar que o filtro de linha no cenário H contribuiu significativamente para a redução de ruídos coloridos emitidos pelo equipamento, aumentando a taxa de transferência. Este valor de vazão também é utilizado para obtenção das métricas jitter e perda de pacotes dos Gráficos 6 e 7. Este aumento de vazão proporciona transferências de dados quase duas vezes mais rápidas que o cenário sem filtro.

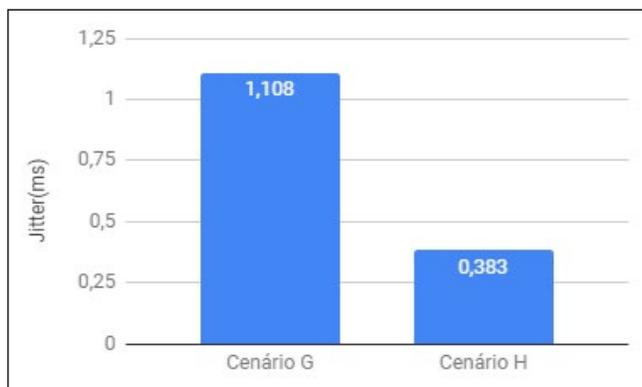
Gráfico 5 - Vazão em modo UDP



Fonte: Dos Autores (2018).

No Gráfico 6 é exibida a métrica jitter no modo UDP e novamente nota-se uma significativa melhora com o uso de um filtro de linha. Com valores de jitter menores, o tempo despendido em possíveis processos de buferização diminui, contribuindo principalmente para aplicações em tempo real.

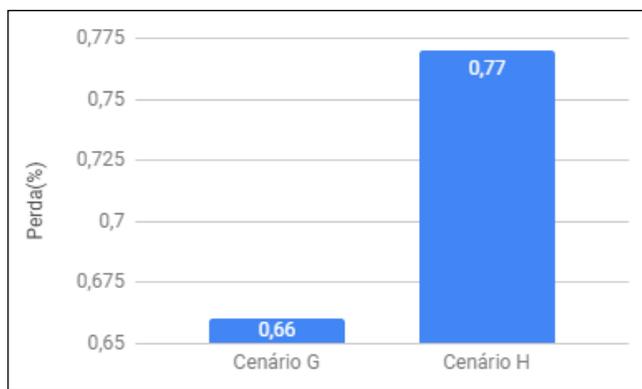
Gráfico 6 - Jitter em modo UDP



Fonte: Dos autores (2018).

O Gráfico 7 apresenta a perda de pacotes no modo UDP. É possível perceber que o cenário H, apesar de ser o cenário com o filtro de linha, apresentou mais perdas de pacotes, porém como explicado logo em seguida, este é um comportamento esperado.

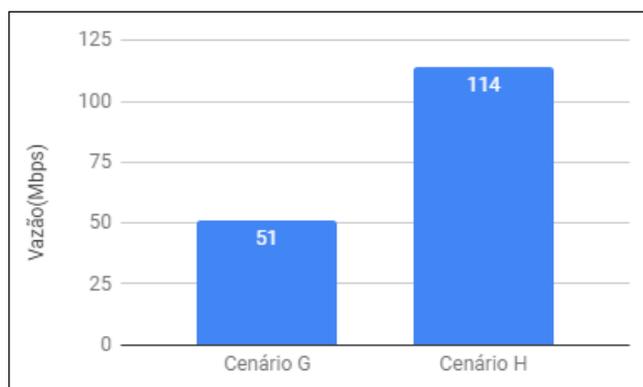
Gráfico 7 - Perda de pacotes em modo UDP



Fonte: Dos Autores (2018).

No Gráfico 8 vemos a taxa de transmissão em megabits por segundo em modo TCP e o mesmo comportamento do Gráfico 5 é observado, o filtro de linha atenuando ruídos coloridos melhora as condições do canal, permitindo uma maior taxa de transferência.

Gráfico 8 - Vazão em modo TCP



Fonte: Dos Autores (2018).

Olhando para os Gráficos 3 e 7, podemos notar um comportamento, que em um primeiro momento mostra-se confuso com relação a perda de pacotes nos cenários D, E e G. Em todos os demais gráficos de métricas, estes cenários apresentaram os piores resultados, porém nos gráficos de perdas de pacotes, estes cenários tiveram um desempenho melhor. Tendo em vista que o protocolo é adaptativo ao meio, este tipo de resultado tende a ser esperado, pois conforme a qualidade do canal diminui, uma técnica melhor e mais robusta de modulação deve ser utilizada para garantir o envio de informação. Em contrapartida, uma técnica de modulação mais robusta acarreta em uma taxa de vazão menor nestes cenários, o que pode ser comprovado observando os mesmos cenários nos gráficos de vazão.

O Quadro 3, a seguir, mostra um compilado com todos os cenários e resultados que foram discutidos anteriormente.

Quadro 3 - Comparativo geral

Cenários	Vazão UDP (Mbps)	Jitter UDP(ms)	Perda UDP(%)	Vazão TCP (Mbps)
Cenário A	119	0,319	0,97	157
Cenário F	119	0,237	0,9	142
Cenário C	116	0,373	1	95
Cenário B	89,6	0,350	0,92	97
Cenário E	59,7	1,112	0,73	48
Cenário D	53,7	1,290	0,76	42
Cenário G	58,7	1,108	0,66	51
Cenário H	110	0,383	0,77	114

Fonte: Dos Autores (2018).

Com base em todos os resultados é possível constatar que a taxa de transmissão ficou bem abaixo da capacidade máxima teórica do equipamento (vide Quadro 1) em todos os cenários. Os cenários que apresentaram as menores taxas de transmissão foram os cenários D e E, tanto para modo UDP, quanto para modo TCP.

Apesar do baixo desempenho nos cenários D e E, a taxa de transferência ainda seria suficiente para fluxo de vídeo em 4K, com 50 quadros por segundo e com codificação H.265, pois segundo Santana (2017), um fluxo de vídeo deste tipo requer uma taxa de transmissão de 16,5 Mbps. Já para comunicações de Smart Grid em uma HAN (Home Area Network) com cobertura de até 100 metros, mesmo os piores cenários ofereceriam uma taxa de transmissão mais do que o suficiente, pois segundo Kuzlu *et al.* (2014), a taxa de transmissão para tal é de 1 a 100 Kbps.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da infraestrutura elétrica ter sido projetada para a transmissão de energia e não informação, mostrou-se possível aproveitá-la para este fim. Os resultados mostraram que com a tecnologia PLC sustentada pela especificação Homeplug AV, aplicada na planta elétrica em questão, seria plenamente possível aproveitar a malha elétrica como forma de levar acesso à internet para dois cômodos extremos de uma residência, com capacidade de suportar inclusive stream de vídeo em 4K. Aplicações de automação e interligação de smart grids e casas inteligentes seriam também plenamente atendidas, visto os baixos requisitos de largura de banda necessários para tal.

O ruído elétrico produzido por algumas cargas pode ser amenizado com uso de filtros de linha, tornando o canal menos hostil para a transmissão de dados, porém desenvolver técnicas de adaptação ao meio e modulações robustas continua sendo de suma importância para manter a conexão estável quando se trata de transmissão de dados sobre linhas elétricas, visto que por vezes, o sinal poderá ter de atravessar canais onde o ruído possa não ser tratável.

Em comparação com outras tecnologias de transmissão de dados é possível perceber uma limitação clara, que é a não possibilidade de acrescentar mais meios físicos para aumentar a capacidade de transferência, como a exemplo da rede wireless, onde podemos acrescentar mais antenas para atendermos as demandas de conexão. Com a tecnologia PLC em uma tomada padrão, estaremos limitados a no máximo três condutores elétricos (fase, neutro e terra). Diante disso é possível notar que grande parte dos trabalhos utilizando a tecnologia PLC que vêm sendo desenvolvidos em meio acadêmico, estão voltados para a área de automação e smart grids, por serem áreas que não demandam grandes taxas de dados.

O uso de softwares de projetos elétricos como o LUMINE V4, tanto para elaboração como para visualização, bem como noções básicas para interpretação de plantas elétricas, torna-se um fator importante no uso de tecnologia PLC, pois auxiliam o profissional a visualizar o ambiente como um todo, facilitando a percepção de rotas que a informação pode seguir.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5410:2004 Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro, p. 209. 2004.

AGUIAR, Raphael Eduardo. **Power Line Communication: Transmissão De Dados Por Meio De Cabeamentos Elétricos**. 2018. Projeto de Graduação (Bacharel em Engenharia Elétrica e Eletrônica) - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

BALBONI, Mariana Reis. **Por detrás da inclusão digital: uma reflexão sobre o consumo e a produção de informação em centros públicos de acesso à Internet no Brasil**. São Paulo, 2007. 223p. Tese (Doutorado em Ciências da Comunicação) Escola de Comunicações e Artes, Universidade de São Paulo.

CARVALHO, José Oscar Fontanini. **O papel da interação humano-computador na inclusão digital**. Transinformação. Campinas, 15 (Edição Especial): 75 - 79, set/dez, 2003.

CRUZ, Eduardo Cesar Alves; ANICETO, Larry Aparecido. **Instalações Elétricas: Fundamentos, Prática e Projetos em Instalações Residenciais e Comerciais**. 2ª edição. São Paulo: Érica, 2013.

FECOERGS. Federação das Cooperativas de Energia, Telefonia e Desenvolvimento Rural do Rio Grande do Sul. **RIC - BT Regulamento de Instalações Consumidoras Fornecimento em Baixa Tensão**. Versão 2.0. Fecoergs, 2016.

FONTES, Jusiel; ZATTAR, Haroldo. **PLC - QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA**. Revista O Setor Elétrico. Edição 108 - Janeiro de 2015. Disponível em: <<https://www.osestoreletrico.com.br/plc-qualidade-da-energia-eletrica>>. Acesso em: 19 set. 2018.

GAVETTE, Sherman; KATAR, Srinivas; LATCHMAN, Haniph A.; YONGE III, Lawrence W. **Homeplug AV and IEEE 1901: A Handbook for PLC Designer and Users**. Hoboken: Wiley-IEEE Press, 2013.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

HOMEPLUG. **Homeplug Av White Paper**. 2005. Disponível em: <<http://www.homeplug.org/tech-resources/resources/>>. Acesso em: 5. jul. 2017.

HOMEPLUG. **Homeplug AV Specification Version 1.1**. 2007. Disponível em: <<http://www.homeplug.org/tech-resources/download-specs/>>. Acesso em: 5 jul. 2017.

HOMEPLUG. **Homeplug Green PHY: perfect fit for Smart Energy / Internet of Things (IoT) applications**. Disponível em: <<http://www.homeplug.org/tech-resources/green-phy-iot>>. Acesso em: 5 jul. 2017.

HOMEPLUG. **The Smart Energy / Smart Grid Revolution**. Disponível em: <<http://www.homeplug.org/tech-resources/smart-grid/>>. Acesso em: 7 jul. 2017.

HOMEPLUG, **Homeplug Technology Overview**. Disponível em: <<http://www.homeplug.org/tech-resources/techoverview/>>. Acesso em: 7 jul. 2017.

Horota, André K.; Peixoto Saulo C.; Santos Alex F.; Oliveira Alexandre M.; Maniçoba, Robson H. C. **Análise de desempenho de uma rede PLC doméstica padrão HomePlug AV**. VIII Conferência Nacional em Comunicações, Redes e Segurança da Informação – ENCOM 2018, 19-21 de Outubro, Salvador – BA

IPERF. **iPerf - The ultimate speed test tool for TCP, UDP and SCTP**. Disponível em: <<https://iperf.fr/iperf-doc.php>>. Acesso em: 13 set. 2018.

KUZLU, Murat; PIPATTANASOMPORN, Manisa; RAHMAN, Saifur. **Communication network requirements for major smart grid applications in HAN, NAN and WAN**. *Computer Networks* 67 (2014): 74-88.

LAMPE, Lutz; TONELLO Andrea M.; SWART Theo G. **POWER LINE COMMUNICATIONS: Principles, standards and applications from multimedia to smart grid**. 2. Ed. Chichester: Wiley-Publishing, 2016.

PINTO, Ernesto Leite; ALBUQUERQUE, Claudio Penedo. **A Técnica de Transmissão OFDM**. *Revista Científica Periódica - Telecomunicações*. V. 05. Junho de 2002.

ROCHOL, Juergen. **Comunicação de dados**. Vol. 22. Porto Alegre: Artmed, 2012.

SANTANA, Aldrin. **Visualização de imagens em pós-alta-definição**. 2017. 254 f. Tese (Doutorado em Arte e Cultura Visual) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

SANTOS, Nuno Filipe da Costa. **Análise e comparação das tecnologias Wi-Fi e Homeplug para a transmissão de streams de vídeo**. 2010. 133f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.

SHENG, Zhengguo; OZPOLAT, Mumin; TIAN, Daxin; LEUNG, Victor; NEKOVEE, Maziar. **Worst-Case Access Delay of HomePlug Green PHY (HPGP) for Delay-Critical In-Vehicle Applications**, *GLOBECOM 2017 - 2017 IEEE Global Communications Conference*, Singapore, 2017, pp. 1-6.

SILVA, Pedro Henrique Diniz; ALVES JÚNIOR, Nilton. **Ferramenta IPERF: geração e medição de Tráfego TCP e UDP**. Notas Técnicas, v. 4, n. 2, p. 1-13, 2014.

SILVA, Diogo Ferreira. **Implementação e Análise de Transmissão de Dados usando a Rede Elétrica do CCETUnirio**. 2015. Projeto de Graduação (Bacharel em Sistemas de Informação) - Escola de Informática Aplicada da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO).

SZIGETI, Tim; HATTINGH, Christina. **End-to-End QoS Network Design**. Cisco Press, 2004.

URIBE-PÉREZ, Noelia; ANGULO, Itziar; VEGA, David de la; ARRINDA, Amaia; ARZUAGA, Txetxu; MARRÓN, Laura; MARTÍNEZ, Sonia; SENDÍN, Alberto; URRUTIA, Iker. **TCP/IP capabilities over NB-PLC for Smart Grid applications: Field validation, 2017 IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications (ISPLC)**, Madrid, 2017, pp. 1-5.

VITAL, Richard Brandão Nogueira; Vital, Tatiane Melo. **Comunicação de Dados em Redes de Distribuição de Energia Elétrica de Baixa Tensão**. Revista Eletrônica TECCEN, Vassouras, v. 5, n. 1 p. 97-106, mai./ago., 2012.