



**UNILAB**

**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA  
AFRO-BRASILEIRA  
INSTITUTO DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIAS**

**MUNIRA GOMES SAMPAIO**

**ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA NUMA REDE WI-FI**

**REDENÇÃO-CE**

**2020**

MUNIRA GOMES SAMPAIO

ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA NUMA REDE WI-FI

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Energias do Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Energias.

Orientador: Prof. Dr. Sabi Yari Moïse  
BANDIRI

REDENÇÃO-CE

2020

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Sistema de Bibliotecas da UNILAB  
Catalogação de Publicação na Fonte.

---

Sampaio, Munira Gomes.

S192a

Análise do consumo de energia numa rede wi-fi / Munira Gomes  
Sampaio. - Redenção, 2021.  
50f: il.

Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de  
Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da  
Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção,  
2021.

Orientador: Prof.º Dr.º Sabi Yari Moise Bandiri.

1. Energia - Consumo. 2. Tecnologia. 3. Conservação de  
energia. I. Título

CE/UF/BSCA

CDD 620.92

---

MUNIRA GOMES SAMPAIO

ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA NUMA REDE WI-FI

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Energias do Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Energias.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA



---

Prof. Dr. Sabi Yari Moïse BANDIRI (Orientador) Universidade da integração internacional da lusofonia afro-brasileira (UNILAB)



---

Prof. Dr. Juan Carlos Alvarado Alcócer Universidade da integração internacional da lusofonia afro-brasileira (UNILAB)



---

Profa. Dra. Márcia Roberta Farias Universidade da integração internacional da lusofonia afro-brasileira (UNILAB)

Dedico este trabalho à minha família e minha excelentíssima avó Natália Correia (in memoriam), cuja presença foi essencial na minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço à Deus pela vida e saúde que me proporcionou durante essa jornada, em cada momento e fase sempre foi minha rocha e meu guia.

À universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), seu corpo docente, direção, administração e tercearizados que disponibilizaram um espaço de aprendizado e desenvolvimento tanto no domínio cognitivo como socioafetivo.

Ao Prof. Dr. Sabi Yari Moïse Bandiri pelo apoio, paciência e suporte na elaboração deste trabalho.

Agradeço aos meus pais Raquel Gomes Sampaio e Tiago José Sampaio, pelas orações, por nunca duvidarem do meu potencial e nunca medirem esforços para me apoiar e incentivar na lutar pelos meus sonhos.

Obrigado minha família irmãos Decky, Eta, William e Rute Sampaio e Tá que sempre estiveram presentes.

Meus agradecimentos aos meus amigos e minhas amigas companheiras(o) que são presentes de Deus durante minha formação.

"Semear ideias ecológicas e plantar sustentabilidade é ter a garantia de colhermos um futuro fértil e consciente."

(Sivaldo Filho)

## RESUMO

O consumo de energia na rede Wi-Fi é uma temática que merece uma atenção especial tendo em conta que na atualidade estamos perante a era da comunicação onde todos os dias milhares de indivíduos acessam à Internet. Essa conexão é reforçada pela portabilidade dos dispositivos e com a evolução da automação residencial, os aparelhos de Internet das coisas (*Internet of Things* - IoT) ganharam espaço neste cenário. O objetivo principal deste trabalho é analisar os componentes que mais consomem energia numa rede Wi-Fi bem como apresentar métodos que contribuem para aumento de eficiência energética nas redes sem fio. Assim, propõe-se a partir do método hipotético-dedutivo, com abordagem de viés qualitativo e técnica de pesquisa bibliográfica, descrever o funcionamento da rede, apresentar os fatores que levam o aumento do consumo de energia e por sua vez possíveis soluções que vão contribuir na redução desse gasto.

**Palavras-chave:** Rede Wireless. Rede Wi-Fi. Consumo de energia. Eficiência energética.

## **ABSTRACT**

The consumption of energy on the Wi-Fi network is a topic that deserves special attention, considering that today we are facing the era of communication where thousands of individuals access the Internet every day. This connection is reinforced by the portability of devices and with the evolution of home automation, Internet of Things (Internet of Things- IoT) devices have gained space in this scenario. The main objective of this work is to analyze the components that most consume energy in a Wi-Fi network as well as to present methods that contribute to increase energy efficiency in wireless networks. Thus, we propose to use the hypothetical-deductive method, with a qualitative approach and a bibliographic research technique, to describe the functioning of the network, to present the factors that lead to an increase in energy consumption and, in turn, possible solutions that will contribute to the reduction of this spent.

**Keywords:** Wireless network. Wi-Fi network. Energy consumption. Energy efficiency.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Internet das coisas - número de dispositivos conectados em milhões em todo o mundo de 2015-2025. . . . .	14
Figura 2 – Padrões globais de rede sem fio. . . . .	21
Figura 3 – Logotipo do grupo Wi-Fi Alliance. . . . .	23
Figura 4 – A promessa de casa inteligente - consumo de energia como um fator chave. .	27
Figura 5 – Porcentagem proporcional ao consumo devido a adição da placa de rede sem fio. . . . .	30
Figura 6 – O lugar ideal para colocar o roteador em casa. . . . .	35
Figura 7 – Comparação do consumo de energia para 802.11 convencional e 802.11 de baixo consumo (Low-Power Wi-Fi). . . . .	36
Figura 8 – Aumento de alcance com 802.11n. . . . .	37
Figura 9 – Resumo do consumo de energia. . . . .	38
Figura 10 – Consumo de energia do transceptor de rádio CC2420 IEEE 802.15.4. . . . .	39
Figura 11 – Zigbee e suas aplicações. . . . .	40
Figura 12 – Gráfico de comparação entre os padrões Zigbee, Bluetooth e Wi-Fi. . . . .	41
Figura 13 – Consumo de energia para ZigBee, Bluetooth e Wi-Fi. . . . .	41
Figura 14 – Tela inicial do simulador de consumo de energia do Enel. . . . .	43
Figura 15 – Ambiente do simulador onde os dispositivos eletrônicos são selecionados. .	44
Figura 16 – Consumo por aparelho R1. . . . .	44
Figura 17 – Consumo por aparelho R2. . . . .	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo de alcance, compatibilidade, frequência, velocidade de transmissão e custo dos padrões mais comuns de Wi-Fi. . . . .	24
Tabela 2 – Consumo de energia de um computador. . . . .	28
Tabela 3 – Dispositivos eletrônicos conectados na rede Wi-Fi com suas potências unitárias.	42
Tabela 4 – Relatório geral: consumo de energia dos equipamento eletrônicos conectados na rede Wi-Fi na R1. . . . .	43
Tabela 5 – Informações do consumo R1. . . . .	45
Tabela 6 – Relatório geral: consumo de energia dos equipamento eletrônicos conectados na rede Wi-Fi na R2. . . . .	45
Tabela 7 – Informações do consumo R2. . . . .	46

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3G	<i>Terceira Geração</i>
BSS	<i>Basic Service Set</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
ESS	<i>Extended Service Set</i>
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
FCC	<i>Comissão Federal de Comunicação</i>
GEE	<i>Gases do Efeito Estufa</i>
IEEE	<i>Instituto de Engenheiros Eletrônicos e Eletricistas</i>
IoT	<i>Internet of things</i>
ISM	<i>Industrial Scientific and Medical</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
MIMO	<i>Multiplly Input Multiplly Output</i>
ONU	<i>Organização das Nações Unidas</i>
PA	<i>Ponto de acesso</i>
RSF	<i>Redes Sem Fio</i>
STA	<i>Wireless LAN Stations</i>
TIC	<i>Tecnologia de Informação e Comunicação</i>
WECA	<i>Ethernet Compatibility Alliance</i>
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity/fidelidade sem fio</i>
WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access /Interoperabilidade Mundial para Acesso de Micro-Ondas</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
WMAN	<i>Wireless Metropolitan Area Network</i>
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i>
WWAN	<i>Wireless Wide Area Network</i>
xDSL	<i>Digital Subscriber Line</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

<i>GHZ</i>	Gigahertz
<i>h</i>	Hora
<i>Km</i>	Quilômetros
<i>KW</i>	Kilowatt
<i>MHZ</i>	Megahertz
<i>Mb</i>	Megabit
<i>mA</i>	Miliampère
<i>mW</i>	Miliwatts
<i>k</i>	Consumo de energia
<i>P</i>	Potência
<i>RS</i>	Reais
<i>R1</i>	Residência 1
<i>R2</i>	Residência 2
<i>S</i>	Segundo
<i>t</i>	Tempo

## SUMÁRIO

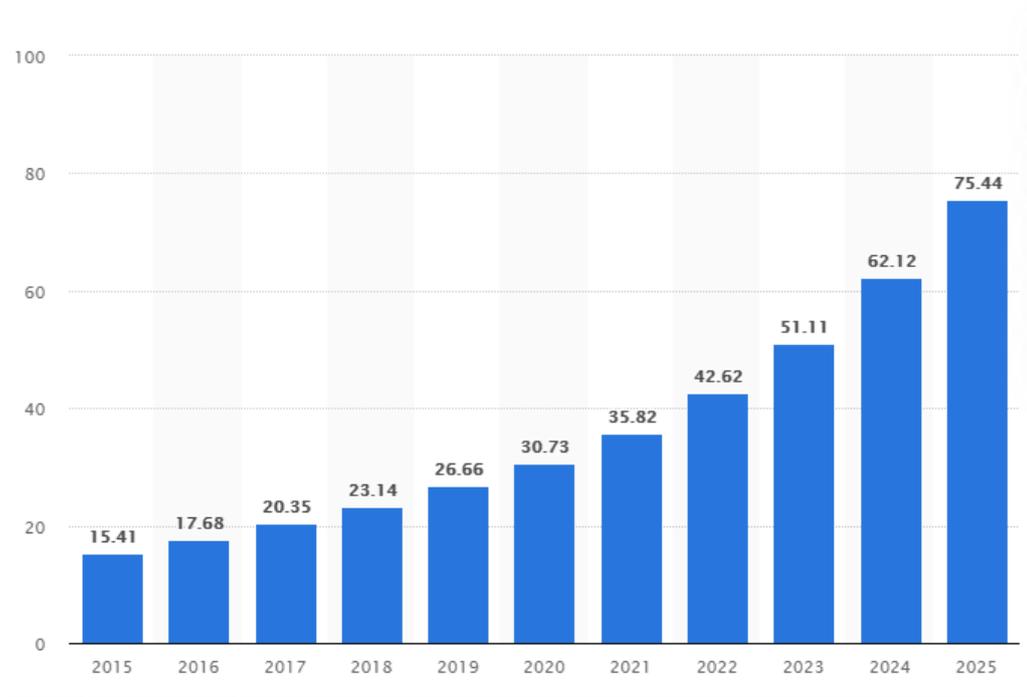
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
<b>1.1</b>	<b>Objectivos</b>	<b>15</b>
<i>1.1.1</i>	<i>Objetivos Gerais</i>	<i>15</i>
<i>1.1.2</i>	<i>Objetivos Específicos</i>	<i>15</i>
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b>	<b>16</b>
<b>1.3</b>	<b>Estrutura do Trabalho</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Rede wireless</b>	<b>18</b>
<i>2.1.1</i>	<i>Breve histórico</i>	<i>18</i>
<i>2.1.2</i>	<i>Funcionamento da tecnologia wireless</i>	<i>20</i>
<i>2.1.3</i>	<i>Equipamentos mais comuns</i>	<i>22</i>
<b>2.2</b>	<b>Funcionamento de uma rede Wi-Fi</b>	<b>22</b>
<i>2.2.1</i>	<i>Vantagens</i>	<i>25</i>
<i>2.2.2</i>	<i>Desvantagens</i>	<i>25</i>
<b>2.3</b>	<b>Fatores que interferem no consumo de energia numa rede Wi-Fi</b>	<b>27</b>
<i>2.3.1</i>	<i>Consumo de energia na placa da rede</i>	<i>28</i>
<i>2.3.2</i>	<i>Largura de banda</i>	<i>30</i>
<i>2.3.3</i>	<i>Uso inadequado dos protocolos e má organização do mapa</i>	<i>31</i>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>32</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>34</b>
<b>4.1</b>	<b>Sugestões de métodos para a redução do consumo de energia numa rede wifi</b>	<b>34</b>
<i>4.1.1</i>	<i>Planejamento dinâmico para a implementação</i>	<i>34</i>
<i>4.1.1.1</i>	<i>Análise do ambiente</i>	<i>34</i>
<i>4.1.1.2</i>	<i>Localização do ambiente</i>	<i>34</i>
<i>4.1.2</i>	<i>Protocolos low power Wi-Fi</i>	<i>36</i>
<i>4.1.2.1</i>	<i>Protocolo 802.11n</i>	<i>37</i>
<i>4.1.2.2</i>	<i>Protocolo 802.15.4</i>	<i>38</i>
<i>4.1.2.3</i>	<i>Zigbee</i>	<i>39</i>
<i>4.1.3</i>	<i>Simulador de consumo de energia do Enel</i>	<i>42</i>

4.1.3.1	<i>Consumo de energia dos dispositivos eletrônicos conectados na rede Wi-Fi na Residência 1 (R1)</i> . . . . .	42
4.1.3.2	<i>Consumo de energia dos dispositivos eletrônicos conectados na rede Wi-Fi na Residência 2 (R2)</i> . . . . .	44
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS</b> . . . . .	<b>47</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Desde os tempos mais remotos até aos nossos dias, o Homem sempre apresentou a necessidade de se comunicar entre si dentro de uma sociedade. Para tal, desenvolve vários métodos, técnicas e equipamentos cada vez mais inovadores que facilitam a sua interação e conexão à lugares mais distantes. Com a chegada da sociedade moderna, marcada pela evolução da tecnologia e surgimento da Internet, a *Tecnologia de Informação e Comunicação* (TIC) tem crescido cada vez mais junto com a disseminação, globalização e disponibilidade de informação (OLIVEIRA, 2015).

Figura 1 – Internet das coisas - número de dispositivos conectados em milhões em todo o mundo de 2015-2025.



Fonte: Statista, 2016.

A Figura 1 mostra uma evolução dos dispositivos conectados à Internet das Coisas (IoT) a partir de 2015 com uma projeção para chegar a 75,44 bilhões em todo o mundo até 2025, com um aumento de cinco vezes em dez anos (STATISTA, 2016).

A rede *Wireless Fidelity*/fidelidade sem fio (Wi-Fi) se destaca como uma das tecnologias mais utilizadas na atualidade o que levanta debates sobre a eficiência energética dos dispositivos atrelados a ela na medida que o consumo energético de um dispositivo eletrônico aumenta de forma consistente ao embutir uma placa de rede Wi-Fi na sua composição. No entanto, estes aparelhos não são projetados para ter uma longa duração da bateria (COSTA

DUARTE, 2013).

Nos últimos anos, nos países em desenvolvimento as tecnologias de informação e comunicação estão desempenhando um papel cada vez mais importante nas emissões globais de *Gases do Efeito Estufa* (GEE), devido ao aumento dos dispositivos eletrônicos (NASCIMENTO, 2015). Este fato realça a importância da pesquisa por demonstrar uma contribuição positiva no sentido de que ao racionalizar o consumo de energia na rede por um lado, irá contribuir para a redução dos gases do efeito estufa, por outro lado, irá auxiliar na redução do consumo de energia e na melhoria da conexão da rede Wi-Fi.

O estudo se baseia na análise do consumo de energia na rede Wi-Fi através de método hipotético-dedutivo, com abordagem de viés qualitativo e técnica de pesquisa bibliográfica, dessa maneira oferece possíveis soluções para atenuação do gasto de energia na mesma. Para diminuir o dispêndio no consumo de energia, faz-se necessário a adoção de alguns métodos que auxiliam e promovem a eficiência energética na rede são eles: planejamento dinâmico para implementação que consiste na análise e localização do ambiente e utilização dos protocolos desenvolvidos para reduzir o consumo de energia e aumentar o desempenho da rede como: 802.11n, 802.15.4 e Zigbee, no entanto todos estes métodos têm como intuito auxiliar na otimização da rede e de forma indireta proporcionar a redução no consumo de energia dos aparelhos atrelados à ela. Dessa forma são definidos os objetivos gerais e específicos a seguir.

## **1.1 Objectivos**

### **1.1.1 Objectivos Gerais**

- ★ Analisar os componentes que mais consomem energia numa rede Wi-Fi;
- ★ Apresentar métodos que contribuem para aumento de eficiência energética da mesma.

### **1.1.2 Objectivos Específicos**

- ★ Descrever o funcionamento de uma rede Wi-Fi;
- ★ Apresentar os fatores que levam ao aumento do consumo de energia na rede;
- ★ Apresentar possíveis soluções que podem contribuir para a diminuição do gasto da energia na rede.

## 1.2 Justificativa

Na busca pelo desenvolvimento sustentável, a *Organização das Nações Unidas* (ONU) sugere um aumento da qualidade de vida para todos sem que comprometa os recursos naturais para as futuras gerações. O desenvolvimento sustentável compreende quatro componentes: sustentabilidade ambiental, sustentabilidade econômica, sustentabilidade sociopolítica e a sustentabilidade cultural. Para que a sociedade possa atingir um nível de satisfação no futuro, deve haver uma mudança nos padrões de consumo que esta vive hoje, para bens que utilizem menos água, energia e outros recursos (ECO, 2014).

Com base na análise de carga de tráfego nas redes sem fio, verificou-se que a carga de tráfego é tipicamente muito desigual entre as *Redes Sem Fio* (RSF), mesmo nos períodos de alta densidade de tráfego, o maior problema dos equipamentos da rede está no seu consumo independente de carga (HAN C.; HARROLD; AL, 2011).

Nos últimos anos temos presenciado um "boom" dos equipamentos tecnológicos que se conectam à internet, com a introdução dos smartphones, tablets, iPads e vários outros dispositivos móveis. A intensificação do uso das mídias sociais como por exemplo, Facebook, Instagram, Blogs, Youtube ou Twitter têm vindo a ganhar força cada vez mais (RAMAN, 2017).

Como referido antes, a problemática que engloba o consumo de energia na sociedade atual e o desenvolvimento sustentável, é interessante apostar nas pesquisas que possam aprofundar nas investigações de forma mais detalhada, trazendo dados importantes que proporcionam um melhor entendimento do assunto. Nesse sentido o presente trabalho torna-se importante ao proporcionar um enriquecimento no conhecimento à pesquisadora, também pode servir como base para várias outras pesquisas futuras na área. A adoção das medidas para reduzir o consumo de energia na rede não só contribui positivamente para o meio ambiente mas também para diminuir o congestionamento da rede nas casas, empresas, universidades e etc.

## 1.3 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está dividido em quatro capítulos. No primeiro capítulo foi apresentado uma introdução a cerca do tema tratado, objetivos gerais e específicos, justificativa e estrutura do trabalho. A segunda parte objetiva apresentar uma descrição histórica da rede *wireless* - qualquer tipo de conexão sem cabo cuja finalidade é de trocar informações entre dois ou mais pontos, até o surgimento da rede Wi-Fi - protocolo de *Internet* baseado na tecnologia

*wireless* (GETO, 2016). Também foi apresentado o funcionamento da tecnologia *wireless* e os equipamentos mais utilizados neste tipo de inovação.

O terceiro capítulo tem como finalidade apresentar a rede Wi-Fi, mediante os parâmetros mais importantes dos padrões usados com mais frequência na atualidade comparando-os quanto ao alcance, compatibilidade, frequência, velocidade e custo. Por fim deste capítulo, foi exposto as vantagens e desvantagens que a rede Wi-Fi apresenta.

O quarto capítulo tem como objetivo investigar os fatores que interferem no consumo de energia na rede Wi-Fi nomeadamente no que acontece quando uma placa da rede local sem fio for adicionado nos dispositivos. Também este capítulo tem como propósito averiguar como a largura da banda assim como um uso inadequado dos protocolos e uma má organização do mapa da rede podem influenciar indiretamente no aumento do consumo energético nos aparelhos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Rede wireless

A rede *wireless* é uma das tecnologias não cabeada mais utilizada na atualidade que surgiu com a finalidade de complementar às redes cabeadas. *Wireless* é uma palavra inglesa que significa “sem fio”, ou seja, os dados transferidos através da conexão à *Internet* ou entre os computadores não trafegam de forma física a partir dos cabos diferentemente da rede cabeada. Oliveira (2017):

As redes sem fio surgiram da necessidade e desejo de existir comunicação em qualquer hora ou lugar com acesso rápido e compartilhado. Diferente dos modelos físicos, às redes sem fio não necessitavam de todo um aparato e terminais com cabeamento para o uso de um dispositivo, além de evitar uma total reestruturação para sua implementação.

Parafrazeando o mesmo autor, por motivos como a facilidade na mobilidade do usuário, baixo custo de obtenção por não existir a necessidade de comprar os cabos, essa tecnologia tem vindo a crescer e ser adotada pelas empresas, indústrias como também se encontra presente nas residências nos dispositivos como, por exemplo, *smartphones*, computadores, televisões e entre outros.

#### 2.1.1 Breve histórico

A batalha das correntes que se deu no século XIX nos Estados Unidos, foi marcada pela disputa de duas ideias opostas. Por um lado, Thomas Edison defendia a utilização e distribuição da corrente contínua, por outro, lado George Westinghouse e Nikola Tesla defendiam a corrente alternada. Até o ano de 1882 a corrente contínua tecnicamente possuía alguns benefícios para o setor energético na época porque funcionava muito bem com as lâmpadas incandescentes e motores. Além disso, essa corrente podia ser utilizada diretamente em baterias que servia como reserva para horas em que os geradores não estivessem funcionando.

Tesla por sua vez conseguiu desenvolver um sistema de geração, transmissão e uso de energia elétrica a partir de corrente alternada. No entanto, para conseguir a comercialização e patenteamento da mesma, ele fez uma parceria com Westinghouse o que levou o seu trabalho ao sucesso pelo seu diferencial na utilização dos campos magnéticos rotacionais. Após essa época, o conhecimento do magnetismo foi intensamente explorado dando origem para várias teorias e aplicações que mais tarde contribuíram para o desenvolvimento da rede sem fio.

- 1893 – Tesla fez uma demonstração pública da comunicação *wireless* via rádio em St. Louis, onde descreveu detalhadamente os princípios da comunicação via rádio.
- 1894 – Ledge fez a repetição dos mesmos testes de Herz com um coesorra - tubo de material isolante normalmente feito de vidro ou ebonite.
- 1895 – Tesla encontra sinais de recebimento das telegrafias de seu laboratório em Nova Iorque. Marconi transmitiu o primeiro telégrafo, ainda no mesmo ano, Popoff constrói um receptor para ondas elétricas naturais onde tenta descobrir temporais.
- 1896 – Marconi demonstra a telegrafia *wireless* ao escritório de telégrafo inglês. Após um ano testando-o na Itália ele prova as possibilidades de telegrafia sem fios com um coesor.
- 1897 – Marconi adquire a patente do telégrafo *wireless* e estabelece a primeira "Estação Marconi" em Needles localizado na Ilha Wight no sul da Inglaterra. Esta estação envia um sinal à costa inglesa a mais de 22 km.
- 1898 – No mês de junho é enviado a primeira telegrafia *wireless* paga de Needles. No mesmo ano em 20 julho, foi enviada de um navio para Daily Express a primeira mensagem de jornal como assunto os resultados de uma competição de navegação.
- 1901 – Marconi usa sintonia entre os receptores e transmissores no mesmo ano nos dias 12 e 13 de dezembro. Os primeiros sinais são enviados pelo Oceano Atlântico de Poldhu para New Foundland a uma distância de 2800 km.
- 1902 – Marconi desenvolveu um detector magnético, e foi onde começou a primeira comunicação bidirecional através do Atlântico.
- 1903 – Schlömilch desenvolveu o detector eletrolítico e ainda no mesmo ano Poulsen descobre a transmissão de ondas contínuas com um arco elétrico, foi então onde surge o primeiro serviço de notícias para navios em mar, o "Serviço Marconi *wireless*".
- 1940 – Foi o ano de primeiro uso da tecnologia *spread* espectro.
- 1971 – Primeira rede *wireless*, a Alohanet, na Universidade do Hawaii.
- 1980 – Aplicações limitadas usando estreita e a *Comissão Federal de Comunicação* (FCC) atribui frequências para uso comercial.
- 1989 – *Industrial Scientific and Medical* (ISM) autoriza o uso das frequências 900MHz, 2.4GHz e 5GHz onde os produtos baseados em 9000MHz começam a ser produzidos.
- 1990 – IEEE começa a trabalhar em um padrão industrial para WLAN.
- 1994 – Começam a ser produzidos os produtos com a frequência de 2.4GHz e foi aprovado o padrão *Instituto de Engenheiros Eletrônicos e Eletricistas* (IEEE) 802.11.

1999 – Foi ratificado IEEE 802.11a e 802.11b onde os produtos que são baseados em 802.11b começam a ser produzidos.

2000 – Revolução voz e dados na telefonia celular.

2002 – Revolução banda larga *Cable Modem, Digital Subscriber Line* (xDSL) ou Linha Digital de Assinante e entre outros.

2004 – Entrada de serviços de *Terceira Geração* (3G) disponível ao público.

A tecnologia Wi-Fi chegou no Brasil uma década atrás com a chegada dos primeiros dispositivos com sistema Android no país. Essa tecnologia tem apresentado um crescimento gigantesco no mundo inteiro com uma previsão de atingir mais de 75 bilhões de dispositivos conectados.

### **2.1.2 Funcionamento da tecnologia wireless**

A transmissão de dados é feita por radiação infravermelha que pode ser transmitida via satélite ou radiofrequência, cujo o funcionamento se dá através de um ponto de acesso - um equipamento que emite dados na forma de ondas de rádio que são captadas por antenas e transmitidas para os dispositivos conectados à rede (RIBEIRO, 2016). Há dois tipos de ligações para os elementos da rede: ligação ponto-a-ponto que se dá pela transmissão de dados através de conexão entre dois pontos por uma *bridge* (ponte) sem fio, sem que seja necessário atender requisitos da alteração do local e a ligação ponto multiponto que tem como objetivo fazer a cobertura de uma determinada área (BRANQUINHO, 2014). De acordo com a faixa de frequência a rede sem fio é classificada de seguinte maneira:

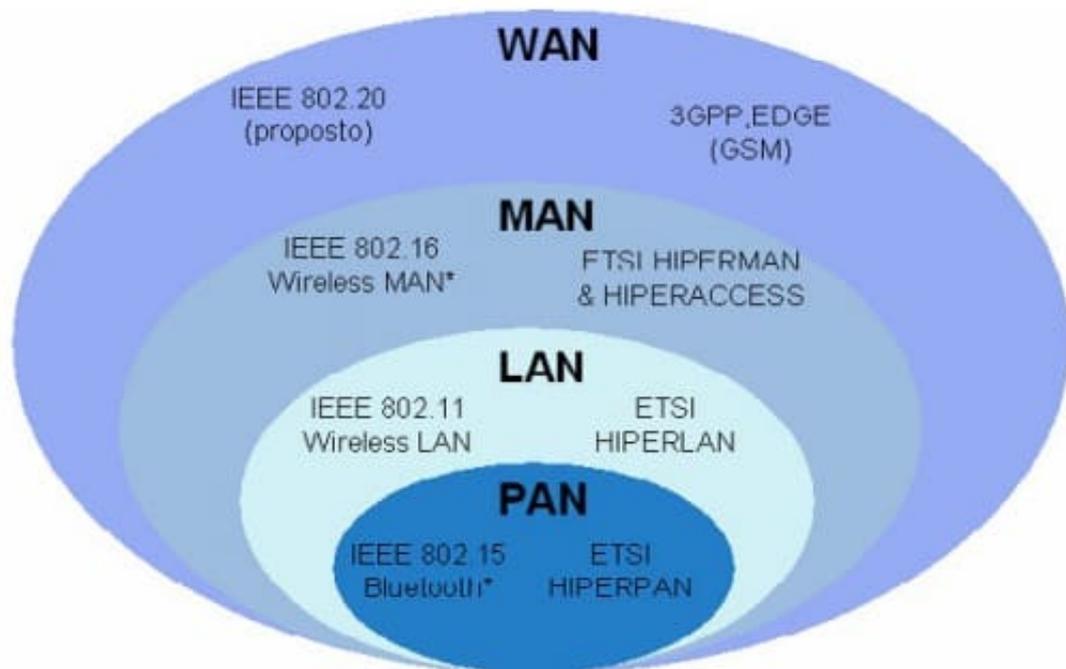
- ★ *Wireless Wide Area Network* (WWAN) - São as redes sem fio de longa distância, podem atingir um alcance de dezenas de quilômetros com a capacidade de cobrir grandes regiões metropolitanas ou grandes centros urbanos (GIANTOMASO, 2017).
- ★ *Wireless Metropolitan Area Network* (WMAN) - São as redes metropolitanas sem fio disponibilizadas pelas operadoras de celular para transmitir dados de longo alcance, como por exemplo, *Worldwide Interoperability for Microwave Access* /Interoperabilidade Mundial para Acesso de Micro-Ondas (WiMAX) - uma tecnologia de comunicação sem fio que disponibiliza o acesso a banda larga para grandes distâncias variando entre 6 à 9 km e cujo o principal objetivo é de promover a compatibilidade e interoperabilidade entre os equipamentos baseados no padrão IEEE 802.16 (TELECO, 2008).
- ★ *Wireless Local Area Network* (WLAN) - São redes locais sem fio, este tipo de rede possui a mesma função das redes *Local Area Network* (LAN) com cabo só que neste caso não

existe a necessidade de instalação de outros tipos de dispositivos na rede pois os pacotes de dados são enviados pelo ar através de infravermelho ou ondas de rádio (GIANTOMASO, 2017).

- \* *Wireless Personal Area Network (WPAN)* - São redes pessoais sem fio que apresentam uma cobertura de áreas com raio de aproximadamente 10 metros, também chamada de rede doméstica sem fio que serve geralmente para conectar aparelhos domésticos (ARTHAS, 2004).

A Figura 2 mostra uma classificação dos sistemas sem fio de dois grupos de acordo com a área de cobertura. No lado esquerdo, se encontra a designação do grupo do IEEE (*Institute of Electrical and Eletronics Engineers*) ao passo que o lado direito apresenta os padrões propostos pela *European Telecommunications Standards Institute (ETSI)*, porém apenas o padrão IEEE 802.11 *wireless LAN* será tratado neste trabalho pois atualmente a rede WLAN padrão é a rede Wi-Fi.

Figura 2 – Padrões globais de rede sem fio.



Fonte: Branquinho, Reggiane e Andreollo 2005.

### 2.1.3 Equipamentos mais comuns

De acordo com (MENESES, 2009), a rede *wireless* possui uma topologia específica que é composta por alguns elementos como:

- ★ *Basic Service Set* (BSS) - Representa a célula de comunicação da rede.
- ★ Ponte - Faz a ligação entre diversas redes como por exemplo, uma rede sem fio para uma rede cabeada convencional.
- ★ *Ponto de acesso* (PA) - Funciona como uma ponte, corresponde uma ponte de comunicação entre a rede sem fio e a rede convencional. Alguns PAs atuam como roteador promovendo o compartilhamento de *Internet* pelos outros micros da rede, também facilitam a obtenção de um endereço IP na rede.
- ★ *Extended Service Set* (ESS) - São várias células BSS vizinhas que se conectam entre si e possuem APs conectados a uma mesma rede convencional.
- ★ *Wireless LAN Stations* (STA) - Representam as estações de trabalho da BSS que possuem uma conectividade entre si.

Segundo (ARTHAS, 2004), um STA pode movimentar de uma célula BSS para outra mantendo conectada à rede. Esse processo denomina-se *roaming* e possui dois modos de operação previstos, são eles:

- ★ *Infrastructure mode* - Se dá quando existe a presença de um *access point* coordenando a comunicação entre estações de uma célula (BSS).
- ★ *Ad-Hoc mode* - Se dá quando não existe um *access point* e as estações se comunicam entre si diretamente.

Nos últimos anos a rede *wireless* teve um desenvolvimento considerável. O padrão IEEE 802.11 também conhecido como Wi-Fi por sua vez tem conquistado o mercado, no entanto, como ela é a tecnologia mais conhecida popularmente estes dois conceitos são confundidos. Na realidade, toda a tecnologia Wi-Fi é *wireless* mas nem todo *wireless* é Wi-Fi. No próximo capítulo vai ser abordado a rede Wi-Fi de modo esclarecedor com o intuito de proporcionar uma melhor compreensão.

## 2.2 Funcionamento de uma rede Wi-Fi

O termo Wi-Fi é uma abreviação em inglês *Wireless Fidelity* que significa fidelidade sem fio. Ele foi desenvolvido em 1999 pela *Ethernet Compatibility Alliance* (WECA),

associados com os fabricantes dos equipamentos de WLAN. Em 2003 esse nome foi mudado para Wi-Fi Alliance cujo logotipo foi disponibilizado pelo jornal (INFOWESTER, 2013) e apresentado na Figura 3, segundo (STEFANUTO, 2016).

Figura 3 – Logotipo do grupo Wi-Fi Alliance.



Fonte: Infowester 2013.

WLAN possui alguns padrões já desenvolvidos e outros ainda em desenvolvimento, são conjunto de especificações que se baseiam no protocolo IEEE 802.11 desenvolvido pelo Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrotécnicos. (ARTHAS, 2004).

Este padrão define normas para o uso das redes sem fio e pode criá-las, sua transmissão é realizada por radiofrequência, onde o sinal é espalhado pelo ar podendo chegar a centenas de metros, dependendo do equipamento e dos obstáculos, tais como árvores e paredes. Cada país opera em uma banda diferente, estabelecida pelo governo. (STEFANUTO, 2016).

Ainda parafraseando (STEFANUTO, 2016), também existem faixas que não precisam de aprovação governamental, elas são denominadas de faixas ISM (*Industrial, Scientific and medical*) e operam nos intervalos de 902 MHz - 928 MHz; 2,4 GHz - 2,485 GHz e 5,15 GHz - 5,825 GHz.

Os padrões desenvolvidos pelo Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrotécnicos (IEEE), são identificados por letras e cada um apresenta informações codificadas relativamente as frequências e velocidade de transmissão.

IEEE 802.11a: Este padrão opera na frequência de 5GHz com a capacidade de suportar até 64 usuários em cada ponto de acesso ainda, apresenta as especificações da camada de enlace e física para redes sem fio. Vale ressaltar que são poucos os dispositivos que atuam nesta frequência.

IEEE 802.11b: Este padrão cria conexões nas velocidades de transmissão de: 1 Mb/s, 2 Mb/s, 5,5 Mb/s e 11 Mb/s nos intervalos de frequência entre 2,4 e 2,4835 GHz, também descreve como os

produtos WLAN devem ser implementados.

IEEE 802.11g: É um padrão oferecido em 2003, que funciona com uma taxa de transmissão de até 54 Mb/s numa banda ISM de 2.4 GHz, com uma compatibilidade com qualquer aparelho, porém possui uma taxa de transferência limitada.

IEEE 802.11i: Refere-se a um grupo de trabalho que está ativamente definindo uma nova arquitetura de segurança para WLANs a fim de cobrir as gerações de soluções WLAN, tais como a 802.11a e 802.11g.

IEEE 802.11e: Este protocolo é compatível com 802.11b e 802.11a e proporciona o aprimoramento do protocolo 802.11 no que tange tanto na capacidade de multimídia como também nos aspectos de segurança.

★ Ainda existem outros padrões em desenvolvimento como por exemplo os grupos 802.11d, 802.11f e 802.11h (ARTHAS, 2004).

A Tabela 1 apresenta dados comparativos dos três padrões 802.11 mais usado no mundo quanto ao alcance, compatibilidade, frequência, velocidade de transmissão e custo. Analisando o alcance, o padrões 802.11b e 802.11g possuem uma maior abrangência de 100 à 150 metros ao passo que 802.11a apresenta um alcance menor de 25 à 100 metros. Para a compatibilidade, o padrão 802.11a não é compatível com os restantes, o padrão 802.11g apresenta uma compatibilidade com 802.11a apenas na velocidade de transmissão de 11Mb/s e o padrão 802.11b é compatível com todos. Relativamente à frequência, o padrão 802.11a apresenta uma maior frequência de 5.1 à 5.8GHz contra 2.4GHz dos padrões 802.11b e 802.11g. No que diz respeito a velocidade de transmissão, os padrões 802.11a e 802.11g apresentam maiores valores de 54Mb/s ao passo que o padrão 802.11b apresenta menor valor de 11Mb/s. Por fim, o padrão 802.11a é o que apresenta um custo mais alto, o padrão 802.11g possui baixo custo, porém o padrão 802.11b é o mais barato de todos.

Tabela 1 – Comparativo de alcance, compatibilidade, frequência, velocidade de transmissão e custo dos padrões mais comuns de Wi-Fi.

Padrão	Alcance	Compatibilidade	Frequência	Velocidade de transmissão	Custo
802.11a	25-100 m	Incompatível com o 802.11b e g	5.1-5.8GHz	Até 54Mb/s	Alto
802.11b	100-150m	Adoção generalizada	2.4GHz	11Mb/s	O mais baixo
802.11g	100-150m	Compatibilidade com 802.11b a 11Mb/s Incompatível com 802.11a.	2.4GHz	Até 54Mb/s	Baixo

Fonte: Adaptado Leandro, 2012.

### 2.2.1 *Vantagens*

A rede Wi-Fi possui muitas vantagens dentre os quais as principais serão citados a seguir segundo (FERRAUDO, 2019; TELECO, 2008).

★ Flexibilidade

Não possui a necessidade de passar cabos pelas paredes ou tetos em uma área de cobertura, faz com que a rede alcance lugares onde os fios não poderiam chegar.

★ Facilidade

Possui uma facilidade na expansão e uma redução na manutenção onde a utilização do espaço físico torna-se mais eficiente e mais fácil de realizar as devidas alterações nas configurações proporcionando uma maior mobilidade à rede. Além disso, ela proporciona aos usuários da rede uma conexão em qualquer lugar que esteja dentro da cobertura onde possam coexistir vários equipamentos conectados ao mesmo tempo numa mesma faixa de frequência.

★ Custo e benefício

Apesar de que algumas vezes os custos iniciais de investimento para a instalação do *hardware* e *software* podem ser maior do que para instalação de uma rede cabeada, o custo de ciclo de vida e o custo total da instalação pode ser bem mais atraente porque a manutenção é reduzida e mais barata logo os gastos com os materiais são reduzidos ao longo da vida útil dos mesmos. Por fim, a rede Wi-Fi proporciona uma melhor utilização de investimentos em tecnologias que já existem como *tablets*, computadores ou telefones, etc.

### 2.2.2 *Desvantagens*

Como tudo na vida sempre existe pontos fortes e fracos, também a rede Wi-Fi apresenta algumas desvantagens dentre os quais foram destacadas as principais como:

★ Qualidade de serviço e menor alcance

Relativamente à qualidade de serviço, este tipo de rede pode destacar uma taxa de transferência de dados menor em relação as redes convencionais, além disso, a variação da largura da banda que é estática, é estabelecida pelos órgãos competentes. O alcance médio da rede pode atingir até 150 metros algo que pode ser vantajoso para uma residência, mas quanto falamos em empresas e outros lugares de maior estrutura esse alcance pode não ser suficiente, nesse caso seria necessário recorrer ao uso de repetidores ou outros pontos de acesso para aumentar a taxa de transferência de dados (FERRAUDO, 2019; TELECO, 2008).

### ★ Interferências

De acordo com (TENCOLOGIA, 2016), a propagação de ondas de rádio na tecnologia Wi-Fi pode coincidir com outras transmissões da mesma frequência e provocar interferências. Quando um *modem* menos potente opera em um ambiente com pouca concorrência, ele apresenta maior desempenho comparado com um mais potente funcionando em um ambiente com muita concorrência.

A transmissão de sinal em ambientes fechados e/ou abertos pode sofrer interferências causado por diferentes tipos de obstáculos como:

1. Reflexão: Ocorre quando uma onda eletromagnética é emitida em objetos com dimensões maiores que seu comprimento de onda. Como por exemplo: prédios, muros, lagos, entre outros obstáculos.
2. Absorção: Ocorre quando uma onda eletromagnética se propaga em um ambiente e é absorvida pelo material incidente, este fato contribui na perda de intensidade do sinal. Ocorre, por exemplo, nos corpos de superfície preta ( corpos negros ).
3. Espalhamento: É quando há uma colisão e dispersão de onda com algum objeto material.
4. Difração: É quando uma onda se desvia em volta de um objeto que está bloqueando o sinal, este fenômeno acontece quando a onda viaja entre o transmissor e receptor.
5. Refração: Representa o desvio de sentido que uma onda pode sofrer quando este passa em um meio com densidade diferente, como por exemplo, uma massa de ar frio, lago, e gotas de chuva (JUNIOR IVO Y. TUZURA, 2019; TANENBAUM, 2003).

### ★ Segurança

A segurança da rede é uma das preocupações ao adquirir essa tecnologia, pois como este tipo de rede funciona com a transmissão da onda de rádio. O sinal é capaz de se propagar no ar atravessando a área da cobertura desejada o que pode tornar a rede vulnerável a interceptações. Um intruso pode ter acesso de modo fácil utilizando mecanismos como por exemplo uma antena feita com uma lata tubular com papel alumínio ou algum *software* específico.

Para se conectar a uma rede Wi-Fi, é necessário apenas estar ao alcance do ponto de acesso, mas supomos que um possível intruso utilize uma boa antena omnidirecional ou unidirecional, resumindo, basta se ter acesso ao sinal para que se possa invadir a rede sem fio. Sendo assim, o invasor pode estar tranquilamente sentado em seu sofá no conforto de seu lar, ou no estacionamento do prédio da

empresa, ou sentado comodamente em um banco da pracinha ao lado de sua empresa. (SILVA, 2010).

Para evitar que um invasor ou competidor tenha a oportunidade de ter acesso gratuito a *Internet* ou no pior dos casos que venha a capturar as informações pessoais ou empresarial como documentos pessoais, de trabalho ou as senhas importantes, devem ser adotadas as medidas de segurança necessárias a fim de aumentar o nível de proteção e diminuir a possibilidade de um ataque cibernético (SILVA, 2010).

### 2.3 Fatores que interferem no consumo de energia numa rede Wi-Fi

Hoje em dia nas casas inteligentes, serviços de saúde, segmentos comerciais e industriais, os aparelhos de IoT estão fortemente presentes como ilustra a Figura 4. No entanto, este crescimento traz consigo uma preocupação no que diz respeito ao consumo de energia, pois os equipamentos da rede não são projetados para ter uma duração prolongada de bateria (MARSAN; MEO, 2011; RAMAN, 2017).

Figura 4 – A promessa de casa inteligente - consumo de energia como um fator chave.



Fonte: Raman 2017.

Para calcular a energia elétrica utiliza-se a seguinte equação:

$$E_{el} = Pt. \quad (2.1)$$

Onde:

Tabela 2 – Consumo de energia de um computador.

Aparelho	Consumo por hora(KW/h)	Horas de uso por dia	Consumo por mês(KW/h)
CPU	0,04 a 0,06	5	6 a 9
Monitor	0,08 a 0,09	5	12 a 13,5
Impressora	0,07 a 0,08	5	10,05 a 12
CPU + Monitor + Impressora	0,19 a 0,23	5	28,5 a 34,5
CPU + Monitor	0,12 a 0,15	5	18 a 22,5

Fonte: Adaptado Berher 2020.

Eel - Energia elétrica

P - potência

t - Tempo

Para calcular o consumo de energia elétrica nos aparelhos presentes em casa utiliza-se a seguinte equação:

$$K = [P/1000]t \quad (2.2)$$

Onde:

k é o consumo em kWh (quilowatt por hora).

t é o tempo que o aparelho ficou ligado em horas (h).

P é a potência do aparelho, dada em watts (W) de acordo com (BERGHE, 2020).

A Tabela 2 apresenta dados dos componentes que consomem energia em um computador, no entanto vale ressaltar que esses aparelhos somam um consumo adicional quando são conectados à rede.

### 2.3.1 Consumo de energia na placa da rede

De acordo com (COSTA DUARTE, 2013), quando uma placa de rede local sem fio é adicionado a qualquer dispositivo o consumo de energia aumenta devidos a fatores como:

- ★ O consumo adicional devido à própria placa de rede

Existe um consumo adicional de energia devido a estrutura física de cada placa da rede, os elementos como por exemplo, *chip design*, voltagem de saída, controlador de voltagem, *layout* da placa, o seu tamanho, ou seja, toda arquitetura física pode determinar a quantidade de energia que a mesma vai utilizar.

- ★ O consumo adicional devido à energia utilizada pelos outros componentes da plataforma para manter a conexão com a placa de rede.

A interação da placa de rede com o processador hospedeiro, barramentos e memória geram um consumo adicional, ou seja, é necessário haver uma interação com outros componentes do aparelho para que a placa de rede realize suas tarefas por completo.

Um exemplo prático consiste na utilização de um barramento de interface para se comunicar com a *Central Processing Unit* (CPU), no entanto dependendo de sua estrutura física em certas arquiteturas, a CPU precisa transferir ou receber manualmente cada pacote para a placa de rede a fim de realizar a transmissão ou recepção de dados, este procedimento pode levar a um consumo considerável de energia e ocupar a CPU.

★ A implementação do sistema do *driver* para a placa de rede

O sistema do *driver* de uma placa de rede pode também apresentar um gasto adicional de energia quando realiza tarefas como gerenciamento de energia, interação *driver* vs CPU, gerenciamento da camada física, conexão de serviços e modo econômico de energia.

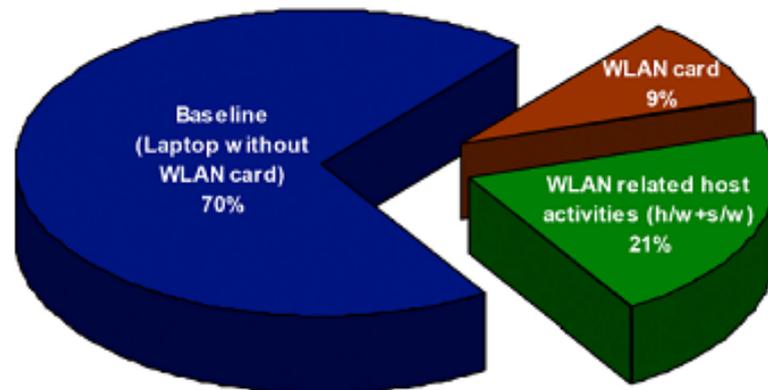
1. No gerenciamento de energia existe um gasto de energia para manter a conexão com a rede uma vez que na maior parte do tempo a rede fica ociosa e a placa da rede pode entrar no modo "*sleep*"(dormindo).
2. Na interação *driver*/CPU há um consumo de energia no momento da devolução para a placa da rede, os dados recebidos ou transferidos são processados pela CPU.
3. No gerenciamento da camada física a mudança do ambiente da rede gera a necessidade de atualizar diversos parâmetros da camada física, sendo uma delas a taxa de transmissão de dados.
4. Na conexão de serviços, há um consumo adicional de energia porque para manter a conexão com o roteador há um processo de verificação do aparelho para conferir se este ainda consegue receber sinal desse roteador e CPU processar os dados que foram recebidos.
5. No modo econômico de energia ou *sleep mood*, pode se verificar um gasto adicional de energia quando a placa se encontra neste estado e precisa acordar por conta própria ou pela CPU.

A Figura 5 apresenta uma porcentagem proporcional ao consumo devido a adição da placa de rede sem fio, com isso pode se verificar que os aparelhos portáteis são dependentes de uma bateria limitada.

Os elementos que mais consomem energia são:

- ★ Transmissão: Energia usada por um nó para enviar um pacote.
- ★ Recepção: Energia usada por um nó para receber um pacote.
- ★ Escuta ociosa: Energia usada quando o nó está esperando receber um pacote enquanto se

Figura 5 – Porcentagem proporcional ao consumo devido a adição da placa de rede sem fio.



Fonte: Costa, Duarte e Costa 2013.

encontra em ociosidade.

- ★ Escuta passiva (*overhearing*): Energia usada por um nó quando este serve de intermédio para o caminho de um pacote.
- ★ Controle de *overhead*: Energia usada em função do volume de pacotes que serão enviados ou recebidos.
- ★ Confiança: Energia usada de acordo com o nível de confiança do protocolo.
- ★ Tempo de inversão: Energia usada de acordo com o tempo necessário para que possa ocorrer a mudança entre os modos transmissão e recepção e vice versa (COSTA DUARTE, 2013).

### 2.3.2 Largura de banda

A largura de banda apresenta a medida de capacidade de uma transmissão ou conexão de uma rede, ou seja, determina a quantidade de dados (bits) que podem ser transmitidos em um determinado período de tempo fixo. Quanto maior a largura de banda maior é a velocidade de transmissão de dados. Dependendo da largura de banda ou da capacidade do ponto de acesso sem fio, a adição de mais clientes (dispositivos conectados) à rede pode diminuir a taxa de transferência, resultando em menores velocidades de *download*, este fato obriga os equipamentos a consumir mais energia.

Conexao (2020):

No geral, problemas relacionados à largura de banda podem acontecer de diversas maneiras. Destaque para os que são relacionados ao canal ou central que contam com recursos dedicados com um número pré-definido de dispositivos

anexos. Quando essa estrutura elétrica é montada, muitas vezes a largura de banda disponível pode ficar mais limitada.

Outra questão que pode dificultar o funcionamento da largura de banda – e, por consequência, limitar a velocidade da internet – está relacionado ao compartilhamento de dados definidos pelo canal ou central de tecnologia. De acordo com especialistas, altos níveis de contenção do canal têm a capacidade de diminuir a largura de banda que fica disponível para os dispositivos no canal.

### ***2.3.3 Uso inadequado dos protocolos e má organização do mapa***

Os protocolos representam uma forma de padronizar todos os dispositivos que utilizam as redes Wi-Fi como por exemplo: roteadores, televisores, *smartphones* ou dispositivos de Internet das coisas para garantir que todos os aparelhos possam comunicar entre si utilizando a mesma tecnologia, gerenciados pelo IEEE (Instituto de Engenheiro e Eletricistas e Eletrônicos) que define as normas e especificações que as fabricantes devem usar para evitar a desordem que seria se cada uma criasse sua tecnologia própria de transmissão de dados. O uso de um protocolo que não se adequa a condições do cliente pode causar problemas como saturação da rede, além de que um planejamento inadequado pode levar a uma instalação do modem em lugares menos atraentes proporcionando desvantagens como dificuldades de operação que pode levar o equipamento a necessitar de maior quantidade de energia para realizar um trabalho (RIBEIRO, 2016).

### 3 METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho foi desenvolvido uma pesquisa a partir de método hipotético-dedutivo, com abordagem de viés qualitativo e técnica de pesquisa bibliográfica, tendo como base nos trabalhos acadêmicos, artigos científicos, livros e revistas. A coleta dessas informações se baseia nas fontes primárias que se caracterizam por materiais originais mas principalmente nas fontes secundárias que representam os trabalhos baseados na fonte primária através de citações, interpretações ou revisões dos trabalhos autorais.

a pesquisa bibliográfica busca a resolução de um problema (hipótese) por meio de referenciais teóricos publicados, analisando e discutindo as várias contribuições científicas. Esse tipo de pesquisa trará subsídios para o conhecimento sobre o que foi pesquisado, como e sob que enfoque e/ou perspectivas foi tratado o assunto apresentado na literatura científica. Para tanto, é de suma importância que o pesquisador realize um planejamento sistemático do processo de pesquisa, compreendendo desde a definição temática, passando pela construção lógica do trabalho até a decisão da sua forma de comunicação e divulgação (BOCCATO, 2006).

Realizou-se um estudo acerca do consumo de energia numa rede Wi-Fi na qual foram apresentados um breve histórico sobre rede *wireless*, dos fatos históricos que culminaram no seu surgimento, funcionamento da sua tecnologia e equipamentos comuns que são geralmente utilizados por esse tipo de modernização.

Foi feito um estudo sobre a rede Wi-Fi desde seu surgimento, os padrões desenvolvidos como: IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.11i, IEEE 802.11e e fez-se uma comparação dos padrões a, b e g quanto ao alcance, compatibilidade, frequência, velocidade de transmissão e custo. Essas informações são importantes principalmente na tomada de decisão que possa levar a uma escolha do padrão mais adequado a realidade do cliente, também foi feito um estudo sobre principais desvantagens da rede que são: qualidade de serviço e menor alcance onde se verificou que relativamente aos serviços convencionais. A rede Wi-Fi apresenta menor taxa de transferência de dados e um alcance médio da rede até 150 metros, sendo mais propenso a sofrer interferências dos agentes externos e ataques cibernéticos devido a possibilidade de propagação do sinal além da área de cobertura desejada. Em contra partida esse tipo de rede possui pontos positivos que são: flexibilidade, facilidade da instalação e manutenção e a relação do custo/benefício da sua utilização.

Foi feito uma análise dos fatores que interferem no consumo de energia da rede, nomeadamente na placa da rede que apresenta um consumo adicional de energia ao ser introduzido nos dispositivos, na largura de banda e a forma de utilização dos protocolos.

Depois de ter feito uma análise da rede e verificado quais os fatores contribuem no gasto de energia, foi apresentado os métodos que podem ser adotados a fim de minimizar esse desperdício que são: planejamento dinâmico para implementação da rede, que se baseia na análise do ambiente e representa o primeiro passo a seguir a fim de selecionar o lugar adequado para implementação. A localização do ambiente que consiste na escolha do lugar da instalação do roteador o que pode ser num local interno, externo ou em ambos dependendo da necessidade do cliente. Verificou-se que este tipo de análise inicial pode auxiliar na redução do gasto de energia, pois optando por uma boa localização do roteador pode evitar problemas como interferência na rede e o superaquecimento do roteador o que leva a uma poupança de energia nos equipamentos que compõem a rede.

Foram apresentados três protocolos da *low power Wi-Fi*: Protocolo 802.11n que duplica a frequência do sinal do canal de 20MHZ para 40MHZ, com o uso de até quatro (4) canais MIMO, aumentando a taxa de transferência de dados e promovendo uma redução no consumo de energia. O Protocolo 802.15.4 é um padrão IEEE que especifica a camada física e realiza o controle de acesso para redes pessoais, trabalha com os dispositivos de baixo custo que se comunicam a menores distâncias visando o prolongamento na duração de baterias dos aparelhos. Foi estudado o Zigbee, essa tecnologia se destina principalmente aos dispositivos de IoT e possui a finalidade de descongestionar a rede Wi-Fi criando uma rede específica para servir esses aparelhos com isso promove um aumento na velocidade de tráfego do Wi-Fi evitando o gasto de energia.

E por fim, foi feito uma simulação do consumo de energia no simulador de consumo da Enel comparando duas residências com diferente quantidade de dispositivos conectados à rede Wi-Fi a fim de analisar quais aparelhos apresentam maior consumo de energia. Esse simulador proporciona ao consumidor uma análise detalhado dos aparelhos que mais consomem e apresenta sugestões dos aparelhos mais eficientes no mercado.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Sugestões de métodos para a redução do consumo de energia numa rede wifi

Para reduzir o consumo de energia na rede Wi-Fi é necessário adotar algumas medidas importantes que possam contribuir para a melhoria do desempenho da rede e como consequência diminuir o gasto da energia da mesma.

#### 4.1.1 *Planejamento dinâmico para a implementação*

Nos últimos anos, foi verificado um crescimento explosivo das *Wireless* LANs, devido ao enorme marketing feito pelos fabricantes baseando-se na principal vantagem que é a mobilidade. Outro triunfo seria a facilidade de instalação entretanto, para se implementar uma rede local sem fio é necessário estar atento a diversos fatores. Para uma realização de um projeto mais detalhado o projetista deve efetuar uma pesquisa prévia para descobrir quais técnicas vai adotar dependendo da complexidade e funcionalidade exigida pelo cliente (MENESES, 2009).

##### 4.1.1.1 *Análise do ambiente*

Para a implementação de uma rede Wi-Fi deve se analisar o ambiente em que a rede será implementada, é preciso ter uma noção da média do número de pessoas que terão acesso a rede como por exemplo: uma residência com poucos computadores, um aeroporto, cafés, ou um hospital que pode ser um ambiente de difícil instalação devido a presença de equipamentos radiológicos, portas de incêndio, longos corredores, elevadores, usuários móveis e entre outros (MENESES, 2009). Além dessas características deve se atentar ao nível mínimo de segurança exigido, largura de banda desejada necessária para atender a rede, o impacto que a rede terá sobre o ambiente e dentre outros (NETSPOT, 2020).

##### 4.1.1.2 *Localização do ambiente*

Após o primeiro passo, já se sabe em que local será feito a instalação da rede. Pode ser em um ambiente “*indoor*”, “*outdoor*” ou “*ambos*”.

###### ★ *Indoor*

Em ambientes *indoor* como escritórios, fábricas e galpões, a implementação da rede sem fio torna-se mais fácil pela ausência de obstáculos naturais e pela limitação espacial por causa

Figura 6 – O lugar ideal para colocar o roteador em casa.



Fonte: Tecmundo, 2018.

da distância reduzida. Neste ambiente é importante saber o que ajuda e o que prejudica o sinal transmitido pelo roteador. A instalação do *modem* na área central do local permite uma distribuição equilibrada do sinal, como ilustra a Figura 6, caso este for instalado em uma região menos centralizada, uma sugestão seria adotar o uso de um cabo *Ethernet* (TILT, 2019; FREIRE, 2016).

Para evitar problemas com os obstáculos é aconselhável que o roteador esteja situado o mais livre das paredes possível, pois quanto maior a grossura do obstáculo a ser transposto pela onda, pior é o sinal de Wi-Fi. Um dos lugares apropriados pode ser os cantos próximos aos corredores, pois estes locais apresentam menos paredes a serem ultrapassadas. Ainda devem ser evitados a aproximação com os aquários devido a capacidade de absorção do sinal que a água apresenta (FREIRE, 2016).

Uma das medidas a se tomar para amenizar as interferências é manter o roteador distante de outros eletrônicos, pois estes podem apresentar a frequência de 2,4 GHz a mesma dos roteadores, o que pode provocar uma interferência na emissão das ondas e levar uma lentidão na rede. Por esse motivo deve-se evitar a instalação do *modem* perto destes dispositivos como microondas, telefones sem fio, babás eletrônicas, caixas de som Bluetooth e etc (FREIRE, 2016).

Relativamente ao posicionamento correto da antena, é recomendável que seja posicionado na vertical, para que o sinal possa se espalhar horizontalmente. As ondas de rádio se espalham para frente e para baixo onde a maioria dos móveis ocupam o primeiro plano. Essa região acaba oferecendo sempre mais obstáculos físicos que a parte alta. Nesse sentido, faz-se necessário o alojamento o roteador em cima de estantes ou lugares similares para evitar as barreiras.

ras.No caso das casas com dois andares o lugar apropriado seria no teto ou no segundo andar, outra opção seria uma aquisição de um repetidor (TILT, 2019). Para evitar o superaquecimento do aparelho que leva o aumento no consumo de energia, faz-se prudente acomodar o roteador afastado das janelas ou portas de varanda, a fim de evitar a exposição ao sol principalmente no verão (FREIRE, 2016).

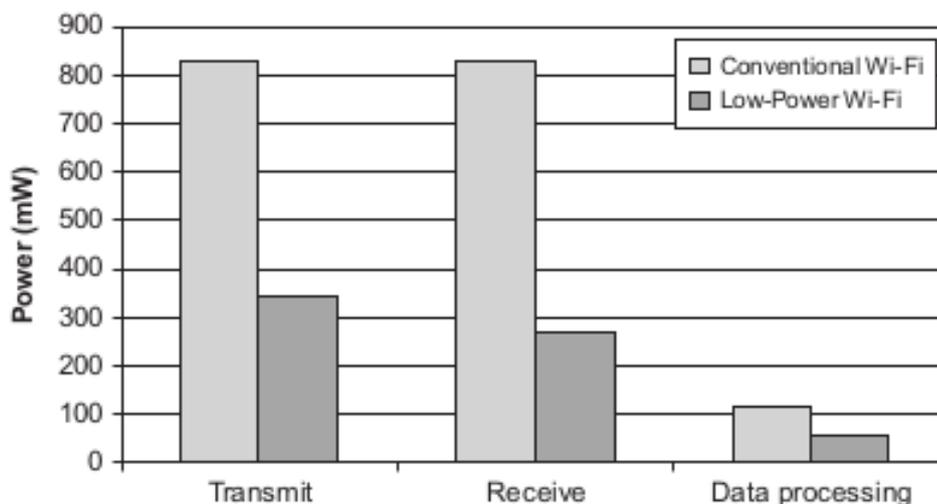
★ *Outdoor*

Em ambientes *outdoor* como por exemplo, ligação entre prédios, podem ser vistos várias situações de obstáculos que dificultem a instalação e manutenção da rede como: montanhas, prédios, árvores e etc. Para evitar esses problemas é aconselhável o uso de uma torre para superar tais obstáculos. Esta atividade envolve um projeto de engenharia prévio e detalhado com o intuito de realizar um estudo do local escolhido para instalação da torre com a altura adequada permitida pelos órgãos especializados (MENESES, 2009).

#### 4.1.2 Protocolos low power Wi-Fi

O Low-power Wi-Fi é o termo utilizado para denominar um dispositivo Wi-Fi eficiente em energia. Ele tem como foco minimizar o consumo de energia quando não há transferência de dados para garantir boa resposta e pouca latência.

Figura 7 – Comparação do consumo de energia para 802.11 convencional e 802.11 de baixo consumo (Low-Power Wi-Fi).



Fonte: Perez 2015.

Um dispositivo Wi-Fi convencional fica constantemente na escuta mesmo quando não há transferência de dados, ao passo que um dispositivo Low-Power Wi-Fi possui chip

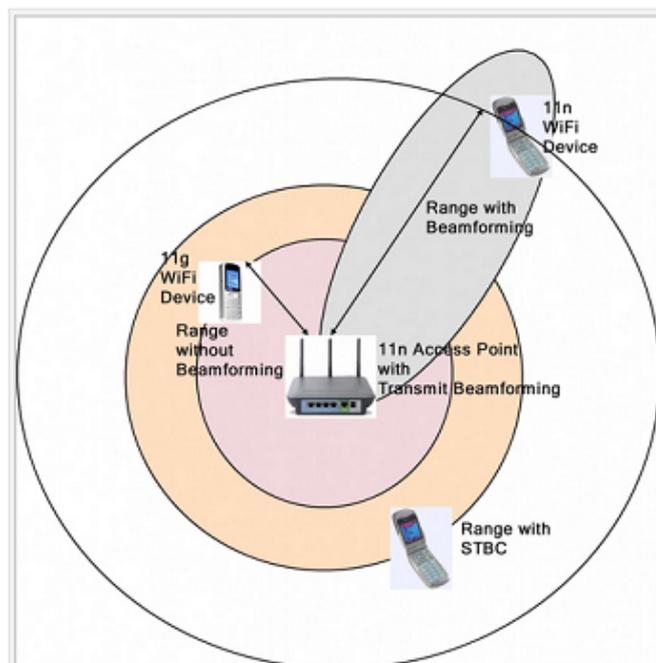
otimizado para um consumo eficiente de energia, é programado para entrar em modo inativo quando não há trabalho para realizar e periodicamente acorda para resolver tarefas de rede ou de aplicação e para reafirmar ao ponto de acesso (COSTA DUARTE, 2013).

Analisando a Figura 7 pode se concluir que um dispositivo Low-Power Wi-Fi apresenta menor consumo de energia para transmitir, receber e processar dados comparado com um dispositivo Wi-Fi convencional. Essa redução no consumo de energia os torna muito conveniente para aplicações IoT, pois o circuito de baixa potência possibilita uma duração de bateria por mais tempo.

#### 4.1.2.1 Protocolo 802.11n

O padrão 802.11n é similar aos seus antecessores 802.11 a/b/g nos aspectos como fluxos da camada física e de enlace, porém os protocolos de segurança permanecem os mesmos. As taxas de transferência e técnicas de alto desempenho utilizadas neste protocolo faz com que a tecnologia n proporcione redes Wi-Fi com conexões mais rápidas e de maior alcance o que facilita na transmissão de conteúdos em alta definição (STEFANUTO, 2016).

Figura 8 – Aumento de alcance com 802.11n.

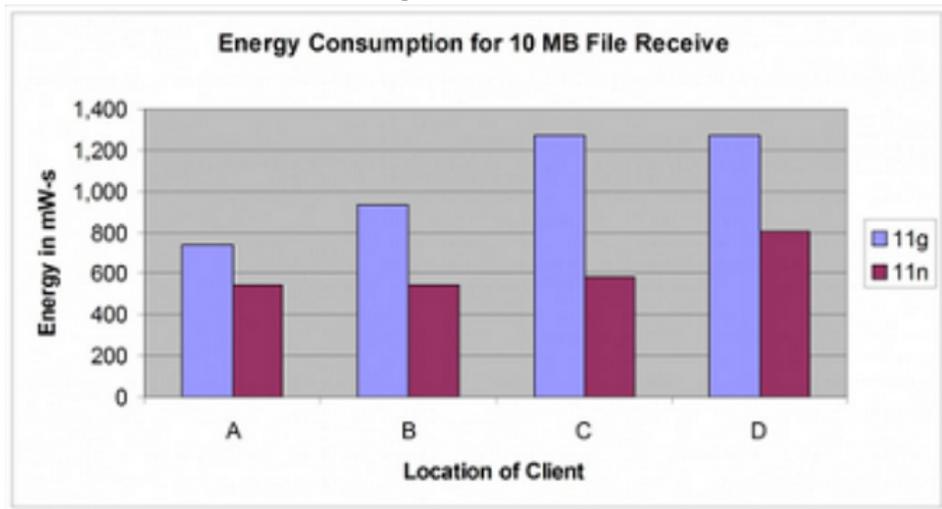


Fonte: Costa 2012.

Este padrão aperfeiçoa o tamanho da largura de banda utilizando antenas com tecnologia Múltiplas Entradas e Múltiplas Saídas (*Multiply Input Multiply Output (MIMO)*) que permite a utilização de vários fluxos de transmissão, usando diversos conjuntos de transmissores

e receptores transmitindo informações de forma paralela, utiliza canais com 40 MHz de banda o que praticamente duplica as taxas de transferências por canal como mostra a Figura 8, ainda permite a combinação de dois canais de 20 MHz sem superposição para formar um único canal de 40 MHz. Além da economia de energia a experiência do usuário também se torna mais satisfatória, pois a capacidade da rede aumenta (COSTA DUARTE, 2013).

Figura 9 – Resumo do consumo de energia.



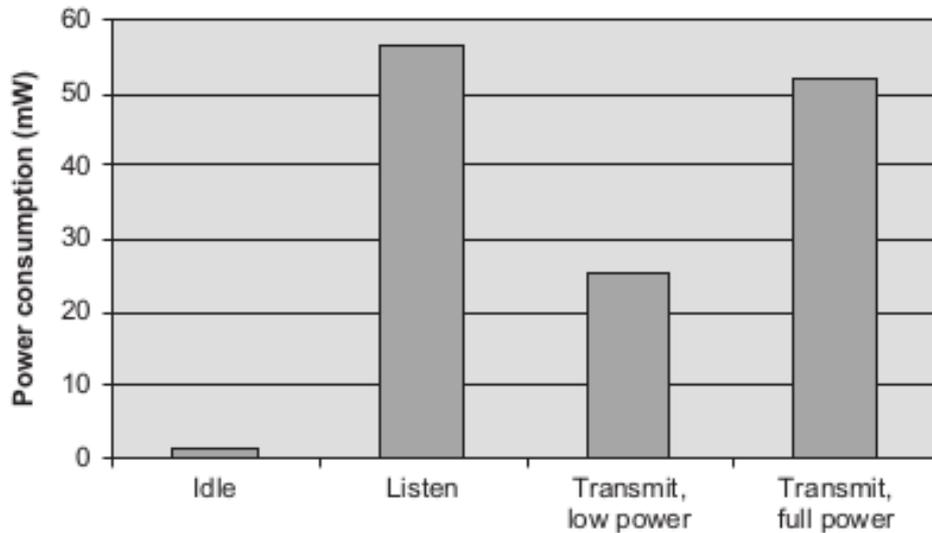
Fonte: Costa 2012.

De com a Figura 9, percebe-se que, em média o padrão 11g consome 4200 mW/s para cada 10MB de arquivo recebido, enquanto o padrão 11n consome 2400 mW/s. O que representa uma economia de aproximadamente 57%. Este padrão possui a capacidade de melhorar o desempenho da rede ao aumentar a taxa de transferência reduz o uso da CPU, pois os pacotes de dados são transmitidos de forma mais rápida proporcionando uma maior eficiência na bateria dos equipamentos, o que promove uma redução no consumo de energia (CARDOSO, 2014).

#### 4.1.2.2 Protocolo 802.15.4

O IEEE 802.15.4 é um padrão para WPANs de baixa velocidade, especifica a camada física e efetua o controle de acesso para redes sem fio. Este protocolo se destaca por servir dispositivos de baixo custo que comunicam a menores distâncias, geralmente são alimentados por baterias e possuem restrições no quesito a processamento e memória disponíveis. Das faixas disponíveis, a banda 2.4GHZ é a mais utilizada com uma taxas de transmissão de até 250Kbps, o alcance do rádio fica entre 10m à 100m, contudo pode haver dispositivos com alcances maiores (REBELATO, 2018).

Figura 10 – Consumo de energia do transceptor de rádio CC2420 IEEE 802.15.4.



Fonte: Perez 2015.

Esses equipamentos passam maior parte do tempo no estado inativo, se ativa periodicamente para ouvir o canal a fim de saber se existe uma mensagem recebida, este tipo de mecanismo permite que a aplicação seja balanceada entre o consumo de bateria e a latência das mensagens. Deste modo prolonga a duração da bateria do dispositivo que necessita de baixo ciclo de trabalho e consequentemente reduz o consumo de energia (COSTA DUARTE, 2013).

Na Figura 10 pode se verificar claramente que no transceptor de rádio CC2420 IEEE 802.15.4 o consumo de energia apresenta uma redução consideravelmente no estado inativo com valores de aproximadamente 1 mW de potência de saída, o estado de escuta apresenta maior consumo de energia com valor de aproximadamente 57 mW. A transmissão de potência total é quase o dobro de valor de transmissão de baixa potência. Nessa aplicação a potência de transmissão pode ser configurada por software, de acordo com a necessidades da rede, porém no modo inativo o dispositivo não consegue escutar por apresentar pouco consumo de energia (PEREZ, 2015).

#### 4.1.2.3 Zigbee

ZigBee é um protocolo de comunicação sem fio entre os dispositivos eletrônicos que se baseia no padrão de área de rede pessoal 802.15.4. Ele é destinado a aplicações de controle e sensores remotos que representam os dispositivos com ênfase na baixa potência de operação e uma taxa de transmissão de dados reduzida. Este padrão é apropriado para operar nos aparelhos domésticos inteligentes conhecido como *Internet of things* (IoT), onde se amplia

cada vez mais sua conectividade não só para *laptops* e *smartphones* mas também para carros conectados, residências inteligentes - automação residencial ou serviços de saúde conectados (Figura 11).

Figura 11 – Zigbee e suas aplicações.

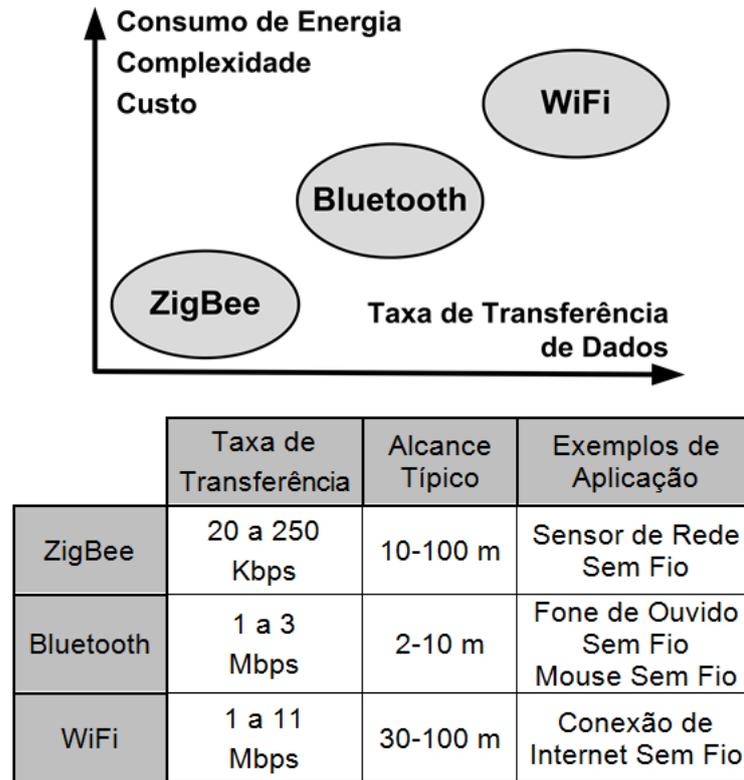


Fonte: Cardoso 2014.

A conexão destes aparelhos pode congestionar o tráfego na rede Wi-Fi e levá-los ao estado de escuta ociosa consumindo mais energia, logo a rede Zigbee cria uma rede exclusiva para esses dispositivos a fim de evitar conflitos e afogamento da rede. Essa tecnologia utiliza um sistema de malha onde cada dispositivo pode receber e retransmitir os dados, formando uma interconexão entre aparelhos que apresentam baixo consumo de energia por transmitirem pacotes pequenos de comunicação de dados, podem consumir 0,38watts/s, enquanto que Wi-Fi convencional consome 0,86 watts/s (SOUSA, 2019).

De acordo com a Figura12 disponibilizada pela (LEVY, 2014), pode-se constatar que Zigbee apresenta menor consumo de energia, complexidade e custo com menor taxa de transferência de dados de 20 à 250 Kb/s. O Wi-Fi apresenta maior consumo de energia, complexidade e custo com maior valor de taxa de transmissão de 1 à 11Mb/s. O Bluetooth apresenta valores intermediários. Quanto ao alcance, Wi-Fi possui maior valor de 30m à 100m, porém esse valor pode ser ampliado dependendo do aprimoramento do padrão como é o caso de 802.11g. O Zigbee apresenta um alcance de 10m à 100m e um dos exemplos de sua aplicação é nos sensores

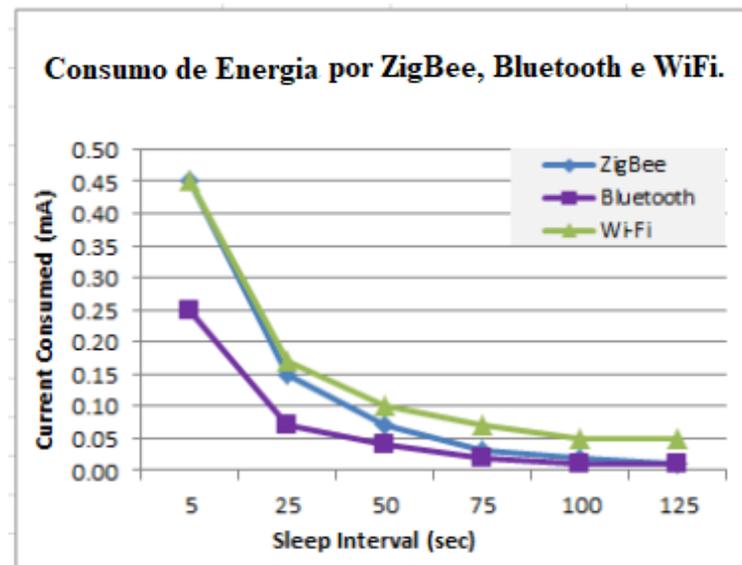
Figura 12 – Gráfico de comparação entre os padrões Zigbee, Bluetooth e Wi-Fi.



Fonte: Levy 2014.

de rede sem fio.

Figura 13 – Consumo de energia para ZigBee, Bluetooth e Wi-Fi.



Fonte: Asaduzzaman 2015.

A Figura 13, disponibilizada pelo (ASADUZZAMAN, 2015), representa o consumo de energia para ZigBee, Bluetooth e Wi-Fi versus corrente consumida em mA com o intervalo de tempo inativo. Verifica-se que Wi-Fi apresenta maior consumo de energia para entrar no modo

inativo ao longo do tempo medido. Nos intervalos de 75s à 125s Zigbee e Bluetooth apresentam valores de corrente consumida tendendo à zero.

#### 4.1.3 *Simulador de consumo de energia do Enel*

Foi feito uma simulação no simulador de consumo da Enel - projeto desenvolvido com o objetivo de proporcionar ao consumidor informações da energia elétrica consumida por cada aparelho nas casas. Ao entrar no simulador você seleciona o cômodo e os equipamentos, logo informa a quantidade por tipo de equipamento, potência e tempo de uso do aparelho selecionado. O simulador estima o consumo em KWh/mês, apresenta um relatório do consumo de cada equipamento, seu correspondente custo e no final exibe sugestão de equipamentos mais eficientes no mercado certificados pelo Procel.

Realizou-se uma análise comparativa do consumo de energia nos aparelhos eletrônicos que podem se conectar à rede Wi-Fi em duas residências com necessidades diferente. Segundo as informações disponibilizadas no simulador do Enel, a tarifa do consumo de energia por KWh é R\$0,546450. A Tabela 3 mostra os aparelhos considerados nas duas residências e a potência unitária (W) de cada um desses equipamentos eletrônicos conectados na rede Wi-Fi.

Tabela 3 – Dispositivos eletrônicos conectados na rede Wi-Fi com suas potências unitárias.

Dispositivo	Potência (W)
Roteador	12
Televisão	225
Computador	300
Lâmpada Inteligente	12
Baba Eletrônica	60
Ventilador de Teto Controlado	200

Fonte: Autora.

A Figura 14 e Figura 15 mostram a tela principal do simulador e o ambiente de simulação onde os tipos de dispositivos eletrônicos podem ser acrescentados respectivamente.

##### 4.1.3.1 *Consumo de energia dos dispositivos eletrônicos conectados na rede Wi-Fi na Residência 1 (R1)*

Os valores apresentados nas Tabelas 4, 5 e Figura 16, demonstram uma simulação de uma casa pequena com poucos dispositivos conectados na rede Wi-Fi: uma televisão, um roteador e um computador, cada um com o seu tempo de uso diário. O computador apresentou

Figura 14 – Tela inicial do simulador de consumo de energia do Enel.



Fonte: Autora.

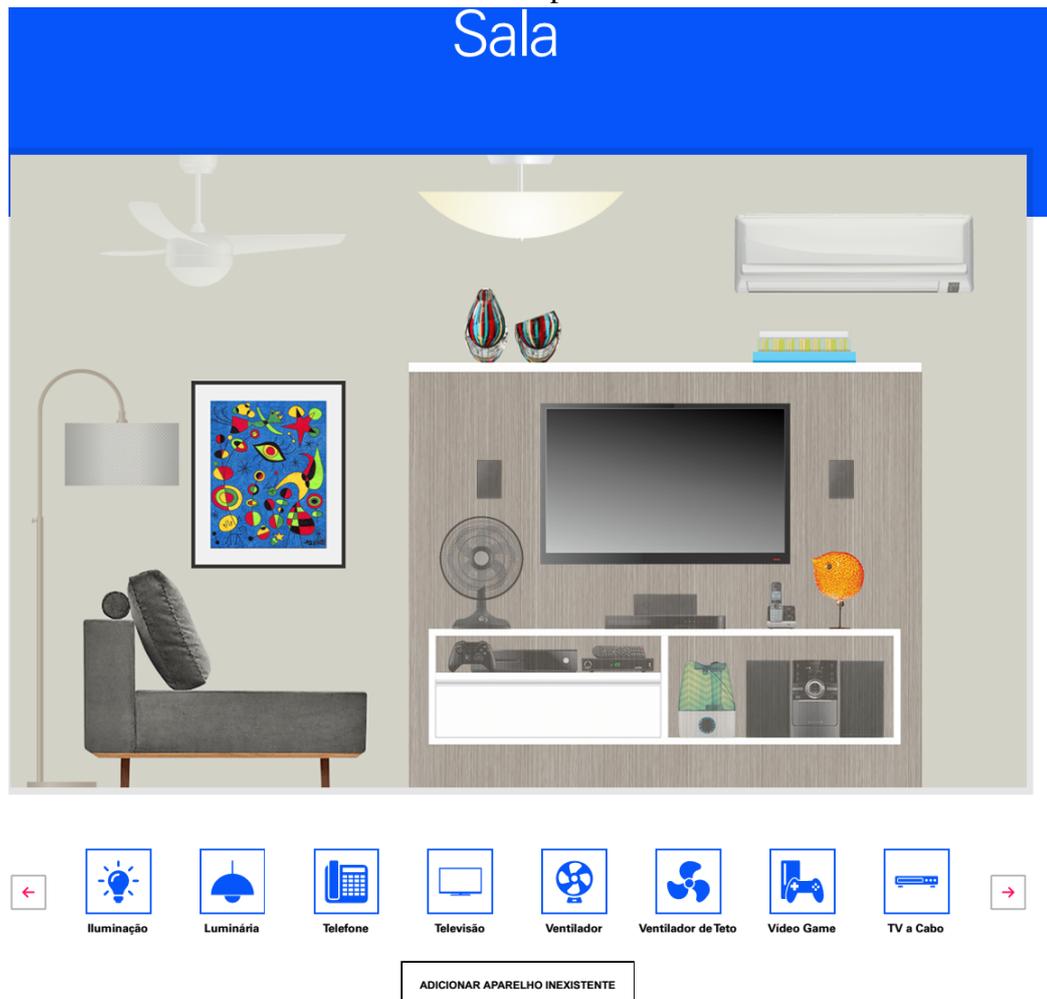
Tabela 4 – Relatório geral: consumo de energia dos equipamento eletrônicos conectados na rede Wi-Fi na R1.

Quantidade	Descrição	Uso diário	KWh/mês	Custo/mês	Consumo/Total
1	Televisão	6 horas	27,00	14,75	25,08%
1	Roteador	24 horas	8,64	4,72	8,03%
1	Computador	8 horas	72,00	39,34	66,89%
Total			107,64	RS 58,82	100,00%

Fonte: Autora.

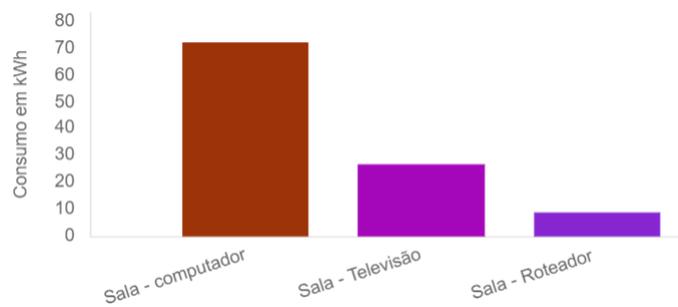
maior consumo de energia com 72KWh/mês apesar de possuir 6h de uso diário possui maior potência unitária de 300 W. Diferente do roteador com 24h de uso diário consome apenas 8,64 KWh/mês devido a sua menor potência unitária de 12W. Por apontar um maior consumo de energia em relação a outros aparelhos na casa, o computador também apresentou uma maior parcela de custo mensal com 39,34 reais (R\$) em um total de 107,64 (R\$) representando 66,89% do consumo total na conta de energia. No cálculo total de consumo em reais (R\$) é adicionando a tarifa com tributos, contudo estes não representam o foco do presente trabalho.

Figura 15 – Ambiente do simulador onde os dispositivos eletrônicos são selecionados.



Fonte: Autora.

Figura 16 – Consumo por aparelho R1.



Fonte: Autora.

#### 4.1.3.2 Consumo de energia dos dispositivos eletrônicos conetados na rede Wi-Fi na Residência 2 (R2)

Na segunda residência, foi considerada uma casa maior tendo dois TVs, um roteador, dois computadores, doze lâmpadas inteligentes, quatro ventiladores de teto controlados e um babá

Tabela 5 – Informações do consumo R1.

Consumo	Tarifa com tributos	Custo
50 KWh	RS 0,55097	RS 27,55
57 KWh	RS 0,75707	RS 42,88
Consumo total		RS 70,43

Fonte: Autora.

Tabela 6 – Relatório geral: consumo de energia dos equipamento eletrônicos conectados na rede Wi-Fi na R2.

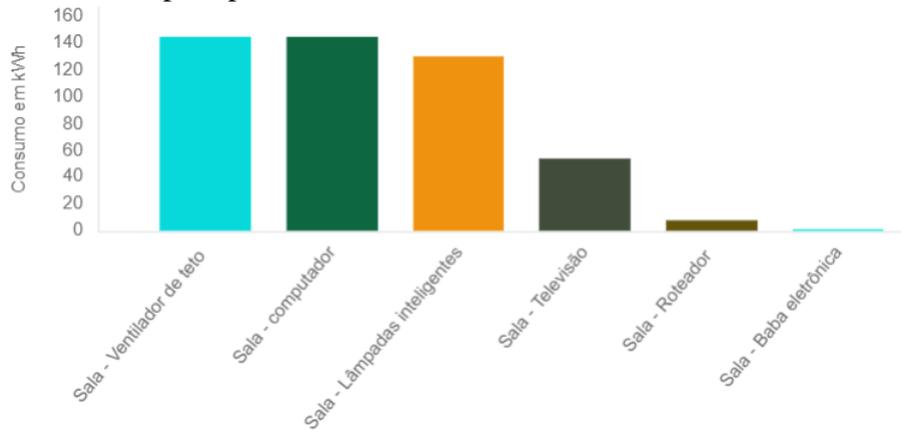
Quantidade	Descrição	Uso diário	KWh/mês	Custo/mês	Consumo
2	Televisão	6 horas	54,00	RS 29,51	11,22%
1	Roteador	24 horas	8,64	RS 4,72	1,80%
2	Computador	8 horas	144,00	RS 78,69	29,92%
12	Lâmpadas inteligentes	6 horas	129,60	RS 70,82	26,93%
4	Ventilador de teto controlado	6 horas	144,00	RS 78,69	29,92%
1	Baba eletrônica	12 horas	0,99	RS 0,54	0,21%
Total			481,23	RS 262,97	100,00%

Fonte: Autora.

eletrônico dados apresentados nas Tabelas 6, 7 e Figura 17. O ventilador de teto e computador apresentam maiores valores de consumo, apesar da quantidade e tempo de uso diferente, ambos apontam um consumo de 144 KWh/mês. Também é possível analisar o impacto do consumo na conta de energia, ambos com 29,92% do total somando os dois obtêm-se 59,84%, ou seja mais da metade do consumo. Como consequência ambos também representam maior parcela de consumo total em reais (R\$) na conta de energia com um valor de 78,69 cada, num total de 262,97 (R\$)/mês.

Uma das medidas que o consumidor da residência 2 (R2) poderia tomar, seria de substituir os equipamentos que apresentam maior consumo de energia. De acordo as orientações da Enel optando por aparelhos mais eficientes no mercado consoante o seu perfil de uso, pois alguns equipamentos com um consumo elevado de energia necessitam de uma atenção especial como por exemplo, um forno elétrico - equipamento com resistência elétrica (para esquentar). Informações sobre o consumo de energia podem proporcionar uma maior clareza ao consumidor permitindo-lhe adotar medidas necessárias para reduzir o gasto de energia e exercer a prática do consumo consciente.

Figura 17 – Consumo por aparelho R2.



Fonte: Autora.

Tabela 7 – Informações do consumo R2.

Consumo	Tarifa com tributos	Custo
50KWh	RS 0,55097	RS 27,55
430KWh	RS 0,75707	RS 325,71
Consumo total		RS 353,26

Fonte: Autora.

## 5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O desenvolvimento do presente trabalho possibilitou uma análise do consumo de energia na rede Wi-Fi onde foi possível verificar quais os componentes da rede consomem mais energia e apresentar métodos para a redução desse consumo. Ao analisar a rede verificou-se que os fatores que mais contribuem para o gasto de energia consistem na placa da rede, na largura de banda, no uso inadequado dos protocolos e numa má organização do mapa da rede, tendo observado essas causas foi possível estudar e explicar soluções para amenizar a tal problemática.

O desenvolvimento desta pesquisa proporcionou à autora um maior interesse e aprofundamento nos conhecimentos sobre o tema do trabalho assim como pode servir de auxílio para pesquisas futuras no quesito a eficiência energética da rede Wi-Fi.

Dada à importância do assunto, conclui-se que medidas como uma boa perícia na escolha do local da instalação pode proporcionar vantagens como: diminuição da exposição dos roteadores aos agentes climáticos, promoção de uma boa distribuição da rede pelo ambiente, diminuição interferências e entre outros. Os protocolos da *Low Power* Wi-Fi: 802.11n, 802.15.4 e Zigbee podem auxiliar na eficiência energética, pois traduzem-se numa tecnologia com a finalidade de auxiliar na economia de energia dos dispositivos da rede. Também verificou-se que a simulação do consumo de energia pode auxiliar na diminuição do gasto da energia na medida que permite ao consumidor a realização de uma análise do seu consumo, proporcionando-lhe uma maior clareza na escolha de aparelhos mais eficientes em termos energéticos.

Nesse sentido, o desenvolvimento de um algoritmo para a segurança poderia agregar na proteção e evitar um afundamento na rede causado pelo excesso de conexões de intrusos, para além de risco de roubo de informações. Também pode ser interessante estudos e desenvolvimento de materiais resistentes que se adaptam às condições climáticas como por exemplo a temperatura a fim de evitar o superaquecimento do roteador e diminuir o gasto de energia.

## REFERÊNCIAS

- ARTHAS, K. **Tutorial wireless**. 2004. Disponível em: <<http://www.babooforum.com.br/idealbb/view.asp?topicID=269602>>. Acesso em: 26 Ago. 2020.
- ASADUZZAMAN, K. K. C. A. **A time and energy efficient parking system using Zigbee communication protocol**. 2015. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/figure/Power-consumption-for-ZigBee-Bluetooth-and-Wi-Fi\\_fig5\\_283633635](https://www.researchgate.net/figure/Power-consumption-for-ZigBee-Bluetooth-and-Wi-Fi_fig5_283633635)>. Acesso em: 02 Out. 2020.
- BERGHE, R. **Como calcular o consumo de energia dos aparelhos elétricos?** 2020. Disponível em: <<https://www.zoom.com.br/tv/deumzoom/como-calculer-e-economizar-energia-eletrica-residencial>>. Acesso em: 03 Out. 2020.
- BOCCATO, V. R. C. Metodologia da pesquisa bibliográfica na área odontológica e o artigo científico como forma de comunicação. *Odontol. Univ. Cidade São Paulo, São Paulo*, v. 18, n. 3, p. 265–274, 2006.
- BRANQUINHO, O. **Tecnologias de Redes sem Fio**. [S.l.]: Rio de Janeiro: RNP/ESR, 2014.
- CARDOSO, V. de O. **Low power WiFi**. 2014. Disponível em: <[https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos\\_vf\\_2014\\_2/victor/#pages\\_about](https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2014_2/victor/#pages_about)>. Acesso em: 12 Set. 2020.
- CONEXAO, M. **Saiba mais sobre a largura de banda**. 2020. Disponível em: <<http://www.minhaconexao.com.br/blog/saiba-mais-sobre-a-largura-de-banda/>>. Acesso em: 28 Ago. 2020.
- COSTA DUARTE, C. **Low-power Wi-Fi**. 2013. Disponível em: <[https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos\\_vf\\_2012\\_2/lpwifi/index.html](https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2012_2/lpwifi/index.html)>. Acesso em: 22 jun. 2020.
- ECO, O. **O que é desenvolvimento sustentável**. 2014. Disponível em: <<https://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/28588-o-que-e-desenvolvimento-sustentavel/>>. Acesso em: 05 Set. 2020.
- FERRAUDO, G. **Internet via cabo ou via WiFi? Inovações que você precisa conhecer**. 2019. Disponível em: <<https://www.cianet.com.br/blog/infraestrutura-e-tecnologia/internet-via-cabo-wifi/>>. Acesso em: 26 Ago. 2020.
- FREIRE, R. **Locais para posicionar o roteador e melhorar o sinal WI-FI**. 2016. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/dicas-e-tutoriais/noticia/2016/03/locais-para-posicionar-o-roteador-e-melhorar-o-sinal-wi-fi.html>>. Acesso em: 07 Ago. 2020.
- GETO, D. **Saiba a diferença que existe entre Wi-Fi e Wireless**. 2016. Disponível em: <<https://www.menosfios.com/saiba-as-diferencas-entre-wifi-e-wireless/>>. Acesso em: 25 Set. 2020.
- GIANTOMASO, I. **Entenda o seu roteador: o que é LAN, WAN, WLAN, DNS, WPS e Ethernet**. 2017. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/listas/noticia/2017/02/entenda-o-seu-roteador-o-que-e-lan-wan-wlan-dns-wps-e-ethernet.html>>. Acesso em: 27 Set. 2020.
- HAN C.; HARROLD, T. A. S.; AL et. Green radio: radio techniques to enable energy-efficient wireless networks. *IEEE Communications Magazine*, n. 6, p. 46–54, 2011.

INFOWESTER. **O que é Wi-Fi IEEE 80211?** 2013. Disponível em: <<https://www.infowester.com/wifi.php>>. Acesso em: 28 Ago. 2020.

JUNIOR IVO Y. TUZURA, H. P. M. C. A. P. Tipos de interferências na propagação de sinal wireless em redes domesticas. Caderno de estudos tecnológicos, v. 6, n. 1, 2019.

LEVY, P. **Como calcular o consumo de energia dos aparelhos elétricos?** 2014. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Comparacao-entre-os-padroes-ZigBee-Bluetooth-e-WiFi-Fonte-Adaptado-de\\_fig1\\_271824067](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Comparacao-entre-os-padroes-ZigBee-Bluetooth-e-WiFi-Fonte-Adaptado-de_fig1_271824067)>. Acesso em: 1 Out. 2020.

MARSAN, M. A.; MEO. Green wireless networking: Three questions. in ad hoc networking workshop (med-hoc-net). 2011 The 10th IFIP Annual Mediterranean, p. 41–44, 2011.

MENESES, E. B. **REDE WIRELESS: UMA SOLUÇÃO SEM FIOS.** 2009. Disponível em: <<https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/redewireless.pdf>>. Acesso em: 05 Ago. 2020.

NASCIMENTO, R. P. **Uma reflexão sobre eficiência energética nas estações bases.** 2015. Disponível em: <[http://www.unirios.edu.br/revistarios/media/revistas/2015/9/redes\\_verdes.pdf](http://www.unirios.edu.br/revistarios/media/revistas/2015/9/redes_verdes.pdf)>. Acesso em: 28 jul. 2020.

NETSPOT. **Planeje a sua rede Wi-Fi com a ferramenta de levantamento WiFi da NetSpot.** 2020. Disponível em: <<https://www.netspotapp.com/pt/wifi-planning-and-site-survey.html>>. Acesso em: 27 Set. 2020.

OLIVEIRA, B. **Análise e proposta de melhoria na estrutura de redes sem fio nas escolas públicas na microrregião de Araranguá.** 2017. Disponível em: <<https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/redewireless.pdf>>. Acesso em: 20 Abr. 2020.

OLIVEIRA, C. de. **Tic's na educação: a utilização das tecnologias da informação e comunicação na aprendizagem do aluno.** 2015. Disponível em: <<file:///C:/Users/tagmi/Downloads/11019-Texto>>. Acesso em: 5 Jun. 2020.

PEREZ, U. A. **Low Power WiFi: A study on power consumption for Internet of Things.** Dissertação (Master in Innovation and Research in Informatics Computer Networks and Distributed Systems) — Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Geotecnia, Universidade Federal do Ceará, Barcelona, 2015.

RAMAN, N. **How low-powered Wi-Fi sensors are the future of the IoT.** 2017. Disponível em: <<https://www.imgtec.com/blog/how-low-powered-wi-fi-sensors-are-the-future-of-iot/>>. Acesso em: 02 Out. 2020.

REBELATO, J. G. B. **Internet das coisas para medição inteligente de energia com ênfase em tecnologias de comunicação.** 2018. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/13883/1/CT\\_CEIOT\\_I\\_2018\\_06.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/13883/1/CT_CEIOT_I_2018_06.pdf)>. Acesso em: 12 Set. 2020.

RIBEIRO, G. **802.11ac e 802.11n: veja diferenças entre padrões da performance Wi-Fi.** 2016. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2016/09/80211ac-e-80211n-veja-diferencas-entre-padroes-da-performance-wi-fi.html>>. Acesso em: 05 Ago. 2020.

SILVA, L. R. **SEGURANÇA EM REDES SEM FIO (WIRELESS)**. 2010. Disponível em: <<https://www.ppgia.pucpr.br/~jamhour/RSS/TCCRSS08B/Leandro%20Rodrigues%20Silva%20-%20Artigo.pdf>>. Acesso em: 15 Ago. 2020.

SOUSA, F. **O queé Sigbee? saiba tudo sobre o protocolo IoT e casa conectada**. 2019. Disponível em: <<https://www.techtodo.com.br/noticias/2019/12/o-que-e-zigbee-saiba-tudo-sobre-o-protocolo-para-iot-e-casa-conectada.ghhtml>>. Acesso em: 12 Set. 2020.

STATISTA. **Internet of Things - number of connected devices worldwide 2015-2025**. 2016. Disponível em: <<https://www.statista.com/aboutus/our-research-commitment>>. Acesso em: 02 Out. 2020.

STEFANUTO, I. Evolução das redes sem fio: Comparativo entre wi-fi e bluetooth. Caderno de estudos tecnológicos, v. 4, n. 1, 2016.

TANENBAUM, A. S. Redes de computadores. Rio de Janeiro: Elsevier 5ª edição. Tradução: Vanderberb D. de Souza., 2003.

TELECO. **Wi-Fi e WiMAXII: Conceitos do WiMAX**. 2008. Disponível em: <[https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialww2/pagina\\_2.asp](https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialww2/pagina_2.asp)>. Acesso em: 26 Ago. 2020.

TENCOLOGIA, S. **Mudanças em padrão Wi-Fi podem melhorar conexão e diminuir interferências**. 2016. Disponível em: <<https://www.cadernomercado.com.br/mudancas-em-padrao-wi-fi-podem-melhorar-conexao-e-diminuir-interferencias/>>. Acesso em: 15 Ago. 2020.

TILT. **Olha o truque! colocar o roteador no alto realmente melhora o sinal Wi-Fi?** 2019. Disponível em: <<https://www.uol.com.br/tilt/noticias/redacao/2019/02/12/sim-posicionar-o-roteador-mais-alto-possivel-melhora-o-sinal-entenda.htm>>. Acesso em: 27 Set. 2020.