



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

ELIZEU JOÃO SCHÜTZ

RENATO ELZÉRIO CONRAT

**ESTUDO DOS EFEITOS DA EMISSÃO RADIADA DE LÂMPADAS DE LED NO DESEMPENHO DE
ROTEADORES WI-FI**

Palhoça

2023

ELIZEU JOÃO SCHÜTZ
RENATO ELZÉRIO CONRAT

**ESTUDO DOS EFEITOS DA EMISSÃO RADIADA DE LÂMPADAS DE LED NO DESEMPENHO DE
ROTEADORES WI-FI**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica, da Universidade do Sul de Santa Catarina, como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Fabio Ignácio da Rosa, Esp. Eng.

Palhoça
2023

AGRADECIMENTOS

Queremos agradecer primeiramente a Deus, por ter nos dado força e determinação para superar as dificuldades ao longo de toda a nossa vida pessoal e na trajetória do curso de graduação.

Também gostaríamos de agradecer imensamente aos nossos professores Fábio Ignácio da Rosa e Francielli Scarpini Barbosa Cordeiro, por nos terem direcionado e sanado todas as nossas dúvidas para este desenvolvimento do trabalho.

Elizeu

Agradeço a minha família, por todo o apoio e incentivo recebido ao longo do curso de graduação, todo o incentivo fornecido por minha esposa Laura Caroline Demetrio, foram essenciais, também ao meu filho João Pedro Demetrio Schütz, meus pais Nelson Noir Schütz e Isolene Ern Schütz, e toda a família, pois sem seu apoio, esta etapa seria muito mais difícil.

Renato

Agradeço a minha família pelo apoio durante todos os momentos deste curso de graduação, em especial a minha esposa Bruna Schmitz Conrat, meus pais José Conrat e Ágatha Inez Kôns Conrat e também meus irmãos José Ricardo Conrat e Rodoldo Egydio Conrat, pois sem todos eles certamente não poderia completar esta etapa de minha vida pessoal.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo investigar o impacto da emissão radiada por lâmpadas de LED no desempenho de roteadores Wi-Fi, visto sua importância em diferentes aplicações. Para atingir esse propósito, foram conduzidos testes práticos em diferentes cenários, utilizando alguns modelos de lâmpadas de LED. O estudo se desenvolveu em um cenário residencial e permitiu avaliar a performance da conexão em diferentes posições e distâncias. Nesta metodologia se incluiu a validação do desempenho em termos de velocidade de transmissão e estabilidade. Os resultados obtidos apontam que, de maneira geral, os testes propostos não demonstraram uma interferência significativa capaz de afetar negativamente o seu desempenho, destacando-se a robustez do roteador Wi-Fi em face das emissões radiadas pelas lâmpadas estudadas. Os achados sugerem que, em um contexto residencial, a presença dessas lâmpadas não compromete substancialmente a qualidade da conexão. Esse resultado contribui para o entendimento da compatibilidade eletromagnética entre tecnologias de fonte alimentação de iluminação LED e as redes *wireless*, destacando que nestes cenários estudados não obtivemos interferência, proporcionando assim confiança na utilização desses dispositivos em ambientes domésticos.

Palavras-chave: Compatibilidade eletromagnética. Wi-Fi. EMI. EMC. LED.

ABSTRACT

This study aimed to investigate the impact of radiated emissions from LED lamps on the performance of Wi-Fi routers, given its importance in different applications. To achieve this purpose, practical tests were conducted in different scenarios, using some models of LED lamps. The study was developed in a residential scenario and allowed the performance of the connection to be evaluated in different positions and distances. This methodology included validation of performance in terms of transmission speed and stability. The results obtained indicate that, in general, the proposed tests did not demonstrate significant interference capable of negatively affecting its performance, highlighting the robustness of the Wi-Fi router in the face of emissions radiated by the lamps studied. The findings suggest that, in a residential context, the presence of these lamps does not substantially compromise the quality of the connection. This result contributes to the understanding of electromagnetic compatibility between LED lighting power supply technologies and wireless networks, highlighting that in these studied scenarios we did not obtain interference, thus providing confidence in the use of these devices in domestic environments.

Keywords: Electromagnetic compatibility. Wi-Fi. EMI. EMC. LED.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Formação da onda eletromagnética a partir de um condutor	15
Figura 2 – Estrutura da área de EMC	16
Figura 3 – Elementos de EMC	17
Figura 4 – Fontes de EMC.....	18
Figura 5 – Exemplo de EMI	19
Figura 6 – Blocos de uma fonte chaveada.....	20
Figura 7 – Formas de onda tensão e corrente	21
Figura 8 – Harmônicos e rede elétrica.....	21
Figura 9 – Conversor de uma lâmpada de LED, vista superior.....	22
Figura 10 – Conversor de uma lâmpada de LED, vista inferior.....	22
Figura 11 – Comparação 1024QAM e 4096QAM.	25
Figura 12 – Equipamentos utilizados	29
Figura 13 – Cenários no ambiente de teste.....	30
Figura 14 – SpeedTest em execução	31
Figura 15 – Exemplo das Lâmpadas usadas no teste.....	33
Figura 16 – Posicionamento do roteador nos testes	34
Figura 17 – Espectro e canais nas frequências de 2.4 GHz e 5 GHz.....	34
Figura 18 – Dados de <i>Download</i> do teste em 2,4 GHz (TESTE 1).....	36
Figura 19 – Dados de <i>Download</i> do teste em 5 GHz (TESTE 1).....	37
Figura 20 – Dados de <i>Download</i> do teste em 2,4 GHz (TESTE 2).....	38
Figura 21 – Dados de <i>Download</i> do teste em 5 GHz (TESTE 2).....	40
Figura 22 – Dados de <i>Download</i> do teste em 2,4 GHz (TESTE 3).....	41
Figura 23 – Dados de <i>Download</i> do teste em 5 GHz (TESTE 3).....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Evolução e melhorias do padrão 802.11	24
Tabela 2 – Lâmpadas utilizadas.....	32
Tabela 3 – Dados do teste em 2,4 GHz (TESTE1).....	35
Tabela 4 – Dados do teste em 5 GHz (TESTE 1).....	36
Tabela 5 – Dados do teste em 2,4 GHz (TESTE 2).....	38
Tabela 6 – Dados do teste em 5 GHz (TESTE 2).....	39
Tabela 7 – Dados do teste em 2,4 GHz (TESTE 3).....	41
Tabela 8 – Dados do teste em 5 GHz (TESTE 3).....	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
1.1	JUSTIFICATIVA.....	10
1.2	DELIMITAÇÕES	11
1.3	OBJETIVOS	11
1.3.1	Objetivo Geral.....	11
1.3.2	Objetivos Específicos	11
1.4	METODOLOGIA	12
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1	ELETROMAGNETISMO APLICADO	13
2.2	COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA	15
2.3	ELETRÔNICA DE POTÊNCIA APLICADA EM LÂMPADAS LED	19
2.4	REDES WIRELESS (WI-FI).....	23
2.5	INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA EM AMBIENTES RESIDENCIAIS.	26
3	DESENVOLVIMENTO	29
3.1	CENÁRIO E AMBIENTE DE TESTE	30
3.2	FERRAMENTA SPEEDTESTE.	31
3.3	MODELOS DE LÂMPADAS	32
3.4	PROCEDIMENTO DAS MEDIÇÕES	33
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
3.5.1	Resultados TESTE 1	35
3.5.2	Resultados TESTE 2	38
3.5.3	Resultados TESTE 3	40
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	44

1 INTRODUÇÃO

O crescimento global e a adoção do trabalho remoto por muitas empresas têm mudado significativamente a forma como a sociedade se comunica e obtém informações. O número crescente de pessoa que utilizam a internet demonstra a importância das conexões na rede mundial. Segundo a *International Telecommunication Union* (ITU)¹, estima-se que aproximadamente 5,3 bilhões de pessoas, ou 66% da população mundial, estariam utilizando a internet em 2022. Isso representa um aumento de 24% desde 2019, com 1,1 bilhão de pessoas conectadas durante esse período.

Atualmente, a área das telecomunicações, e principalmente as redes sem fio, como o Wi-Fi², está se tornando cada vez mais presente na vida das pessoas. Portanto, é crucial que os equipamentos ofereçam altas taxas de transferência, alcance de sinal e qualidade, para que os usuários possam desfrutar dos serviços oferecidos por meio da comunicação wireless, que desempenha um papel essencial na sociedade.

Outro exemplo do crescente uso do Wi-Fi é a Internet das Coisas (IoT), que visa conectar os dispositivos domésticos à rede. Essa conexão nos ambientes residenciais ocorre principalmente através da comunicação Wi-Fi, especialmente nas frequências de 2,4 GHz. O número de conexões IoT tem aumentado e se popularizado nos últimos anos.

Em contrapartida, devido ao fato de a comunicação Wi-Fi ser transmitida e estabelecida por ondas eletromagnéticas, é possível que tenhamos dispositivos que causem interferência no sinal de Wi-Fi, como micro-ondas, secadores de cabelo, telas de LCD e reatores de lâmpadas. Sendo esta última um elemento ou dispositivo, que faz uso de um circuito de fonte chaveada, o qual pode gerar certo nível de interferência em outros dispositivos.

Neste trabalho o foco é estudar as possíveis interferências que as lâmpadas de LED podem causar no sinal de Wi-Fi, visto que as mesmas têm evoluído a sua eletrônica de potência na busca por melhor eficiência, como exemplo a utilização de fontes chaveadas para alimentação dos LEDs. Essas fontes podem ser geradoras de ruído eletromagnético excessivo,

¹ União Internacional de Telecomunicações, é a agência da ONU especializada em tecnologias de informação e comunicação.

² Abreviação de *Wireless Fidelity*, era um selo que representava que o equipamento era compatível com a rede sem fio.

caso não sigam rigorosamente as normas aplicáveis. Devido a isto, para atingir o objetivo serão realizados estudos e análises específicas, levando em consideração algumas condições de uso em ambientes residenciais, como o posicionamento diverso do roteador, e verificar o real impacto e relevância desta interferência no sinal de Wi-Fi.

1.1 JUSTIFICATIVA

A comunicação de dados via rede Wi-Fi entre dispositivos em algumas importantes aplicações não pode falhar, precisando assim cada vez mais melhor estabilidade. Para que isso ocorra precisamos levar em consideração os demais equipamentos que estão neste mesmo ambiente. No entanto, em decorrência do avanço e necessidade de dispositivos eletrônicos cada vez melhores e em maiores quantidades em um mesmo ambiente, surgiram problemas a serem resolvidos. Dentre estes problemas, pode-se citar a EMI³.

Uma das aplicações que apresentaram um grande avanço nos últimos tempos é a iluminação de ambientes, o que não é uma necessidade recente, porém atualmente as lâmpadas são indispensáveis em nosso cotidiano, e com o passar dos anos as lâmpadas passaram por diversas atualizações, visando maior eficiência, menor consumo e durabilidade, nos dias atuais as lâmpadas de LED estão sendo utilizadas em larga escala para iluminação residencial, industrial, pública, produtos visuais e etc.

As lâmpadas de LEDs são alimentadas em sua maioria um conversor AC/DC (fonte), interna. Devido a forma de funcionamento e características desta fonte, ela é capaz de gerar ruídos e radiar ondas eletromagnéticas, estas ondas devem atender os critérios estabelecidos pelos órgãos reguladores, quanto a EMC⁴ e EMI, porém muitas vezes ainda podemos ter no mercado produtos capazes de gerar um ruído que pode de interferir em outros equipamentos próximos.

Por conta disto, este trabalho tem como objetivo o estudo dos efeitos da emissão de ruídos por lâmpadas de LED, e se estas são capazes de interferir principalmente em sinais de Wi-Fi.

³ *Electromagnetic Interference*, é capacidade de um sistema interferir eletromagneticamente em um segundo sistema, causando a este outro, perturbação em seu desempenho.

⁴ *Electromagnetic Compatibility*, está relacionada a um sistema ou um conjunto de sistemas serem ou não eletromagneticamente compatíveis.

Para isso, este trabalho visa a experimentação de performance de um roteador Wi-Fi em ambiente residencial, sujeito a possíveis interferências causados por alguns modelos de lâmpadas de LED, apresentando os resultados obtidos e possíveis formas de evitar que o roteador sofra com esses ruídos. O estudo será fundamentado por diferentes conteúdos disciplinares das cadeiras de eletromagnetismo, ondas e antenas, circuitos e eletrônica.

1.2 DELIMITAÇÕES

O presente trabalho limita-se ao estudo dos efeitos da emissão radiada por alguns modelos de lâmpadas de LED e sua capacidade de interferência em sinais de radiofrequência, nas redes Wi-Fi. Sendo que, o objetivo é avaliar se a qualidade de uma rede wireless pode ser comprometida por essas interferências especialmente em ambientes residenciais, não sendo o foco deste trabalho o estudo de técnicas de transmissão utilizadas no Wi-Fi. O estudo também não irá se aprofundar no funcionamento e métodos dos circuitos eletrônicos internos que geram o sinal padronizado para a propagação do sinal na comunicação de redes conforme a IEEE.

1.3 OBJETIVOS

Visando o tema de estudo apresentado, os seguintes objetivos foram definidos.

1.3.1 **Objetivo Geral**

Efetuar testes de performance e avaliar diferentes situações residenciais envolvendo um roteador WI-FI e lâmpadas de LED, para assim avaliar se as fontes presentes nas lâmpadas de LED, são capazes de gerar interferências no sinal da rede Wi-Fi.

1.3.2 **Objetivos Específicos**

- a) Fazer levantamento de modelos de lâmpadas LED.
- b) Definir o *setup* de testes para cada modelo.
- c) Realizar testes de performance de um roteador Wi-Fi em um ambiente residencial.
- d) Compilar os dados obtidos através dos testes para avaliação.

1.4 METODOLOGIA

Será aplicado neste trabalho a metodologia de pesquisa experimental, no qual segundo Prodanov e Freitas (2013, p.57)

Na pesquisa experimental, o pesquisador procura refazer as condições de um fato a ser estudado, para observá-lo sob controle. Para tal, ele se utiliza de local apropriado, aparelhos e instrumentos de precisão, a fim de demonstrar o modo ou as causas pelas quais um fato é produzido, proporcionando, assim, o estudo de suas causas e efeitos.

Também será adotado neste trabalho o embasamento em pesquisas bibliográficas para reforçar o conhecimento de variáveis que serão apresentadas neste experimento, trazendo assim base para a análise e entendimento dos resultados obtidos nos testes experimentais.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho compreende uma estrutura de 5 capítulos, onde o capítulo 1 apresenta os seguintes tópicos: introdução ao tema, justificativa, objetivos e metodologia aplicada. O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica, e esta serve como base para a realização dos testes envolvendo roteadores WI-FI e lâmpadas de LED. O capítulo 3 expõe detalhes dos testes aplicados. O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos com base nos detalhes dos testes apresentados no capítulo 3. E por fim, o capítulo 5 aborda as considerações finais, compilando os dados obtidos no capítulo 4 e satisfazendo os objetivos previamente traçados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Conforme a evolução das tecnologias, os termos EMC e EMI estão cada vez mais presentes no dia a dia do desenvolvimento e testes de novos equipamentos. Os sistemas, portanto, devem ter seu desenvolvimento pautado em normas para que desta forma não ocorram interferências, e estes sejam compatíveis entre si em um mesmo ambiente. Neste capítulo será apresentado as bases teóricas e matemáticas, sobre alguns dos conceitos fundamentais relacionados a interferência eletromagnética. Serão apresentados também os princípios do funcionamento de uma rede de internet wireless, o qual será feito o estudo de sua performance e possíveis problemas que podem ser causados por ruídos do ambiente.

2.1 ELETROMAGNETISMO APLICADO

Para compreendermos o funcionamento físico das redes Wi-Fi e também das origens de EMC e EMI, precisamos entender os princípios do eletromagnetismo, conforme (CHRISTOPOULOS, 2007, p.5, tradução nossa)

Nenhum entendimento sólido do EMC pode ser obtido sem pelo menos uma compreensão física do que é o eletromagnetismo. O conhecimento analítico normalmente associado com o assunto também é necessário, para que se possa fazer predições quantitativas de performance do EMC.

Os fenômenos do eletromagnetismo, foram estudados e testados por diversos físicos famosos no passado, porém, James Clerk Maxwell, conseguiu compilar por meio de equações as teorias desenvolvidas por Faraday, Lenz, Ampère e Gauss e conseguiu adicionar a esta lei a corrente de deslocamento. Através da teoria desenvolvida por Maxwell demonstrada através de suas equações, o eletromagnetismo se tornou algo compreensivo. Através das equações abaixo, podemos visualizar as 4 equações de Maxwell em sua forma integral e também em sua forma local para facilitar o entendimento dos fenômenos físicos envolvidos nas ondas

eletromagnéticas. Para o desenvolvimento das equações de Maxwell quanto a visão de cálculo vetorial, são envolvidas operações com gradiente, divergente e rotacional⁵.

A primeira equação (2.1), representa a Lei de Gauss para a elétrica.

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q_{enc}}{\epsilon_0} \Rightarrow \text{div}\vec{E} = \frac{q_{enc}}{\epsilon_0} \quad (2.1)$$

A segunda equação (2.2), representa a Lei de Gauss para o magnetismo.

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0 \Rightarrow \text{div}\vec{B} = 0 \quad (2.2)$$

A terceira equação (2.3), representa a Lei de Faraday.

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{s} \Rightarrow \text{rot}\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t} \quad (2.3)$$

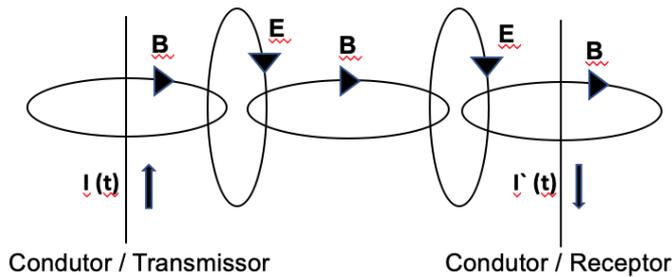
A quarta equação (2.4), representa a Lei de Ampère.

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 (I_{enc} + \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int_S \vec{E} \cdot d\vec{s}) \Rightarrow \text{rot}\vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial\vec{E}}{\partial t} + \mu_0 \vec{J} \quad (2.4)$$

Através das equações de Maxwell, o fenômeno das ondas eletromagnéticas foi previsto e explicado. Para a propagação de uma onda eletromagnética, podemos ver que através da equação 2.4, é constatado que um fluxo de corrente elétrica variável no tempo, é capaz de gerar um campo magnético também variável no tempo, da mesma forma a equação 2.3, demonstra que um campo magnético variável no tempo é capaz de gerar um campo elétrico variável no tempo, e assim sucessivamente, ocorre a propagação da onda eletromagnética, como demonstrado na figura 1.

⁵ O desenvolvimento de operações de gradiente, divergente e rotacional demandam o conhecimento prévio de cálculo vetorial, o qual está fora do escopo deste trabalho

Figura 1 – Formação da onda eletromagnética a partir de um condutor



Legenda:

$I(t)$ - Corrente variável no tempo

B - Campo magnético

E - Campo elétrico

Fonte: Adaptado de NIKNEJAD (2007)

As ondas eletromagnéticas, são a base para o funcionamento de sistemas baseados em rádio frequência, e conforme descrito pelo autor Sadiku (2004, p.371) "A existência das ondas eletromagnéticas, previstas pelas equações de Maxwell foi inicialmente investigada por Heinrich Hertz. Depois de vários experimentos, Hertz teve sucesso na geração e detecção de ondas de rádio", utilizando essa definição como base, hoje podemos usufruir de tecnologias como rádio, televisão, Wi-Fi, e outras tecnologias sem fio. Por outro lado, as mesmas ondas eletromagnéticas que tornaram possível toda a tecnologia que temos hoje a disposição, são capazes de interferir no funcionamento dos sistemas próximos.

O entendimento básico sobre as equações de Maxwell, campos elétricos e magnéticos, propagação de ondas eletromagnéticas e sua formação, são necessários para o entendimento dos princípios de EMC e efeitos de EMI.

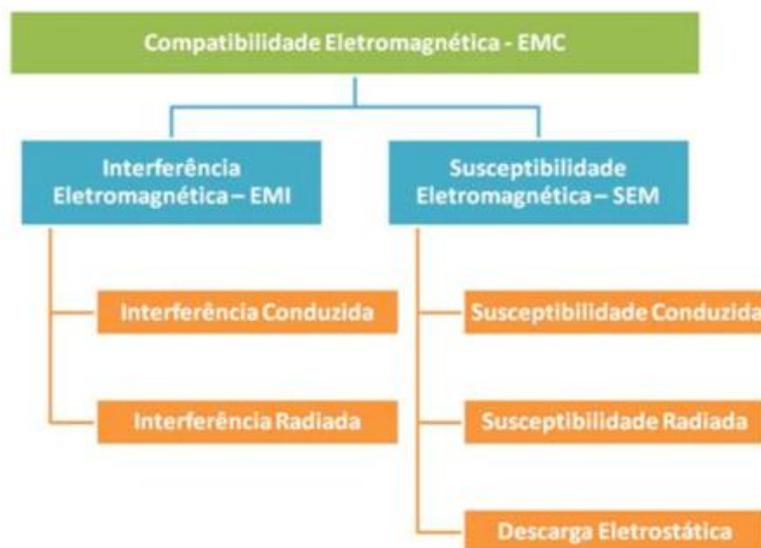
2.2 COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA

O EMC é a capacidade de um produto, equipamento ou sistema eletrônico de funcionar em um ambiente eletromagnético satisfatoriamente, sem perturbar e interferir nos equipamentos adjacentes e sem ser perturbado por outros equipamentos. A engenharia de compatibilidade eletromagnética é ramo da engenharia elétrica que estuda a geração, propagação e recepção de energia eletromagnética, esta que é capaz de causar efeitos indesejáveis em um determinado

sistema. Neste ramo é realizado o estudo e definição de padrões para projeto e operação de equipamentos para que estes não sofram e não causem interferência eletromagnética dentro dos limites estabelecidos por normas dos órgãos regulamentadores (EMCert, 2023), como os órgãos FCC, IEC e no Brasil a ANATEL.

Os testes de compatibilidade eletromagnética, são vastos, e englobam interferência eletromagnética assim como a susceptibilidade eletromagnética, dentro destes ramos, são aplicados testes específicos a cada uma destas áreas, assim o resultado destes testes particulares e específicos, irá compor a resultado de compatibilidade eletromagnética de um produto ou sistema, como exemplificado na figura 2.

Figura 2 – Estrutura da área de EMC



Fonte: Blog ESSS (2022).

Como resultado dos testes de compatibilidade eletromagnética, as unidades de medida, volts para tensão (V), e ampere para corrente (A), são aplicadas aos testes de emissão por condução. Para emissão irradiada são aferidos o campo elétrico medido em volts por metro (V/m), e campo magnético em ampere por metro (A/m), onde junto a essas grandezas também são aplicadas as unidades watt (W) para potência elétrica, e W/m² para densidade de potência em watt por metro quadrado. Devido a possibilidade de obtenção de unidades de medida com uma faixa de valores amplos, ou seja, números muito grandes, a números muito pequenos, os

resultados são expressos em decibéis (dB), escala é baseada em logaritmo, sendo assim a demonstração e operações matemáticas de valores grandes ou pequenos, é facilitada.

Com o desenvolvimento da tecnologia utilizada nos dispositivos eletrônicos residenciais, como por exemplo os sistemas de comunicações sem fio, a necessidade de testar e regulamentar a irradiação destes equipamentos bem como a sua compatibilidade se tornou necessária para os desenvolvedores.

Para um sistema ou um grupo ser eletromagneticamente compatível, este deve cumprir os seguintes critérios, como mostra (SCHLICHTING, 2003):

Não causar interferência eletromagnética (EMI), em outros sistemas, ou seja, o seu funcionamento não pode provocar o mal funcionamento a outros sistemas próximos;
Não ser susceptível a interferência eletromagnética (EMI), de outros sistemas, ou seja, o seu funcionamento não ser prejudicado por ruídos gerados por outros sistemas;
Não causar interferência eletromagnética (EMI) em si próprio, ou seja, os ruídos produzidos por ele não podem afetar o seu funcionamento.

Um sistema neste caso pode ser considerado qualquer circuito eletrônico, como por exemplo a fonte chaveada, que é utilizada em conjunto com uma CPU e que também pode ser utilizada para alimentar diversos outros circuitos com diferentes propósitos, e que formam assim um grupo de sistemas.

Através destes critérios mencionados acima, podemos concluir que para ocorrer a interferência eletromagnética, é preciso haver um gerador (fonte) para a interferência, e um sistema, produto ou equipamento, susceptível onde a interferência irá atuar (receptor), e também um meio onde a interferência irá se propagar (SCHLICHTING, 2003), como é possível visualizar através da figura 3.

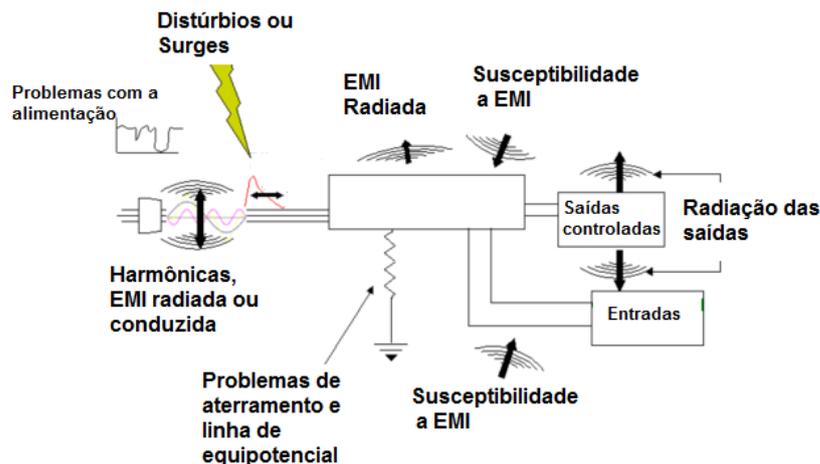
Figura 3 – Elementos de EMC



Fonte: Autor (2023).

As fontes de ruído podem ser diversas e nem sempre são externas ao produto eletrônico, em algumas situações o próprio produto pode ser o gerador de EMI, interferindo assim em outros componentes de seu sistema, ou em seu próprio circuito, como exemplificado através da figura 4.

Figura 4 – Fontes de EMC

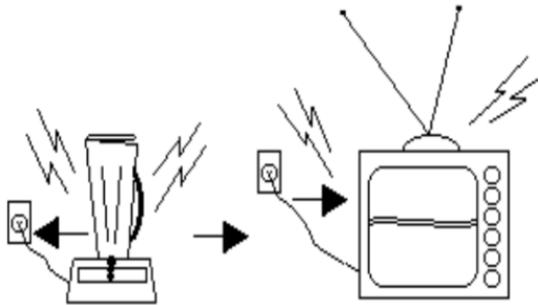


Fonte: Vivace P. Instruments (2011).

Além destas interferências geradas internamente ao produto, podemos classificar os sinais de RF que são externos ao produto como geradores de ruído. Quando o produto é susceptível a estes sinais, fica então propenso a ter falhas e apresentar performance abaixo do que foi projetado inicialmente. Os ruídos externos em geral são mais difíceis de prever, possuindo origens distintas dependendo do ambiente eletromagnético onde o produto será utilizado, no entanto, dependendo da aplicação do produto eletrônico, apenas algumas destas fontes podem causar algum dano. Em ambientes residenciais temos muitos eletrodomésticos que são fontes possíveis para interferir nos demais.

Os efeitos da emissão eletromagnética radiada (EMI), e distorções da forma de onda geradas pelo funcionamento de um liquidificador, como no exemplo acima, podem interferir no funcionamento de televisores, e outros dispositivos. Isto ocorre devido a formação de arcos elétricos resultantes da comutação das escovas do motor, gerando assim perturbações ricas em harmônicas, como demonstrado na figura 5.

Figura 5 – Exemplo de EMI



Fonte: Bruno Fontana da Silva (2014).

Os conversores AC/DC, popularmente conhecidos como carregadores e fontes de alimentação, também são capazes de gerar interferências em equipamentos de radiofrequência, devido a emissão eletromagnética radiada, e distorções geradas pelo circuito de chaveamento e componentes magnéticos tais como, transformadores, capacitores e indutores presentes no circuito do conversor AC/DC.

2.3 ELETRÔNICA DE POTÊNCIA APLICADA EM LÂMPADAS LED

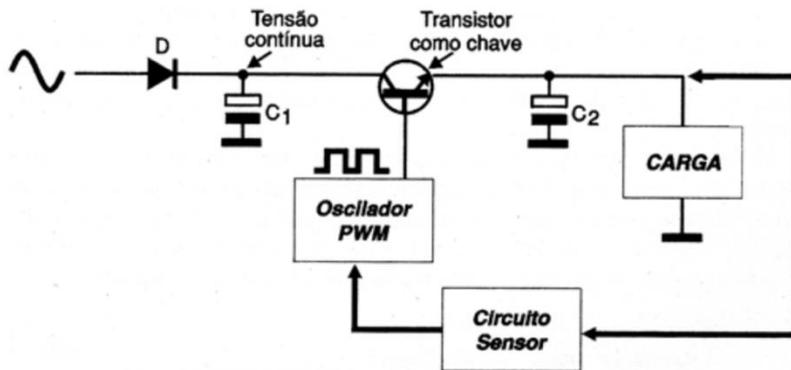
A eletrônica de potência, é uma área interdisciplinar da engenharia que tem por objetivo o estudo e aplicação de dispositivos semicondutores de potência como, transistores, tiristores e diodos na conversão e controle da energia elétrica em níveis altos de potência (AHMED, 2000, p.14).

A conversão de energia ocorre com a transformação de uma forma de onda em outra, como uma simples conversão de corrente alternada (AC) para contínua (DC), utilizando dispositivos semicondutores como chaves para controlar ou modificar o valor da tensão ou corrente de um circuito. Esta conversão envolve diversas áreas da engenharia, como circuitos, eletromagnetismo, conversão e outras. A transferência de potência elétrica de uma fonte para a carga pode ser controlada pela variação da tensão de alimentação ou pela inserção de um regulador (AHMED, 2000, p.14).

Dispositivos semicondutores utilizados como chaves, vem sendo utilizados em grande escala em dispositivos eletrônicos em seus conversores AC/DC ou DC/DC, nesta prática, temos

um ou mais transistores atuando como chaves, conforme modelo de blocos demonstrado na figura 6.

Figura 6 – Blocos de uma fonte chaveada



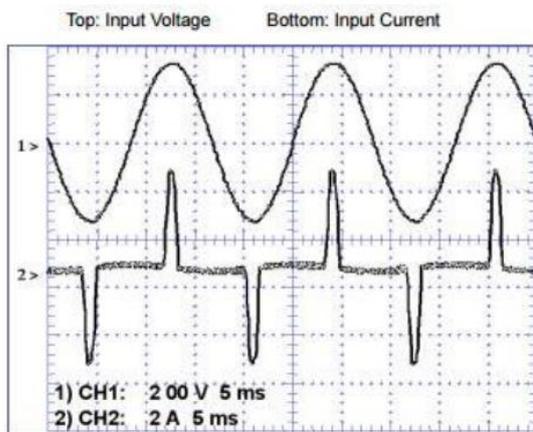
Fonte: BRAGA (2014).

Conforme diagrama de blocos apresentado na figura 6, seu funcionamento ocorre da seguinte forma, o diodo D1 retifica o sinal AC da rede elétrica, o capacitor C1 funciona como filtro, o transistor atua como chave, sendo controlado por um oscilador. Conforme a relação entre o tempo em que o transistor se encontra em condução e o tempo não conduzindo, o circuito consegue ajustar a tensão de saída para a carga.

A frequência em que o transistor opera, precisa ser superior a 20 kHz, pois assim seu ruído não é audível para o ser humano, porém, este ruído eletrônico precisa ser tratado e estar conforme as normas regulamentadoras, pois ele pode prejudicar a rede elétrica. O eletromagnetismo envolvido no funcionamento destes circuitos, também se faz presente com as perturbações geradas a rede elétrica (fonte) pelo circuito de chaveamento, e a emissão eletromagnética radiada (EMI) pelo circuito, este é o ponto de estudo das áreas de EMI e EMC, onde estes conversores precisam se adequar as irradiações e seus limites estabelecidos em normas dos órgãos reguladores.

A associação de elementos capacitivos e indutivos a chaveadores, conforme descrito anteriormente, e capaz de gerar as correntes harmônicas, devido a característica de carga e descarga dos elementos passivos dos circuitos, durante partes de um ciclo da rede elétrica, conforme figura 7.

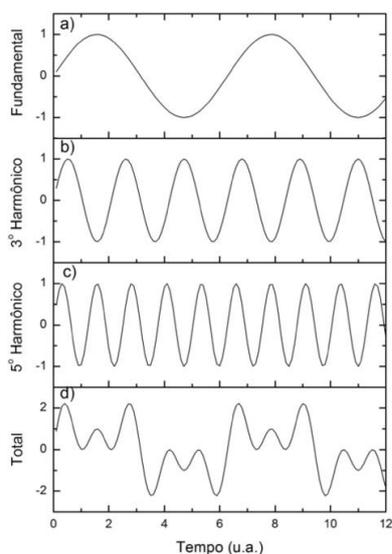
Figura 7 – Formas de onda tensão e corrente



Fonte: ISRAEL, D. L. C.; CARLOS, R. M. D; DIEGO, S. G. (2018).

A demanda de corrente em apenas algumas partes de um ciclo da rede elétrica exemplificado na figura 7, é um exemplo de consumo não linear de energia. A associação de cargas com esta característica de consumo não linear de corrente, pode resultar em achatamentos da forma de onda da rede elétrica, baixo fator de potência, e outros problemas decorrentes, através da figura 8, é possível visualizar como a presença de harmônicos de terceira e quinta ordem, prejudicam a rede elétrica.

Figura 8 – Harmônicos e rede elétrica



Fonte: SCIELO. (2019).

Todo equipamento eletrônico, dispõe de algum tipo de conversor estático, seja ele AC/DC, DC/DC ou DC/AC, como nas lâmpadas de LED, o mesmo ocorre, pois geralmente estão dispostos com uma fonte de alimentação, que será conectado à rede elétrica, podendo esta ser acoplada, porém, internamente a lâmpada de LED, possui diversos circuitos que operam em alta frequência, reguladores de tensão, placas, trilhas e malhas, e todos estão expostos a interferências, e também, podem ser fontes de interferências.

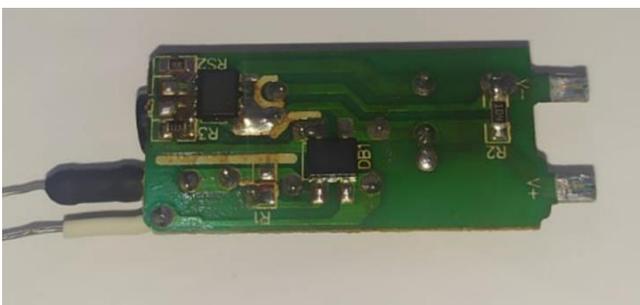
No caso das lâmpadas de LEDs, a tensão de alimentação que geralmente é de 127/220 VAC, assim necessitando que está tensão, seja retificada através de um conversor AC/DC para a alimentar os LEDs que em sua maioria são alimentados por tensão contínua DC. O conversor que destas lâmpadas utilizam conforme mencionado acima são os circuitos chaveadores, hoje em dia esses dispositivos eletrônicos podem ser encontrados de variadas formas de encapsulamento. Na Figura 9 e 10 podemos ver um exemplo de uma placa de circuito eletrônico do conversor de uma lâmpada de LED de 9 W.

Figura 9 – Conversor de uma lâmpada de LED, vista superior.



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 10 – Conversor de uma lâmpada de LED, vista inferior.



Fonte: Autoria própria (2023)

2.4 REDES WIRELESS (WI-FI)

As pesquisas e estudos sobre transmissão de dados sem fio, e eletromagnetismo são assuntos que vêm sendo desenvolvidos ao longo dos últimos séculos, pesquisas realizadas por nomes como Heinrich Hertz, Michael Faraday, Nikola Tesla, James Clerk Maxwell e outros, foram fundamentais para a existência das redes sem fio como as conhecemos atualmente (GIZMODO, 2023).

As conexões Wi-Fi surgiram a partir da necessidade de conectar dispositivos sem cabeamento à rede e internet, sendo então sua mais óbvia vantagem a mobilidade. A tecnologia sem fio foi desenvolvida inicialmente para uso militar durante a Segunda Guerra Mundial e, posteriormente, se expandiu para uso comercial e pessoal.

As redes de comunicação Wi-Fi têm sua transmissão realizada por meio de sinais de radiofrequência, que se propagam pelo ar. Estas utilizam de vários níveis de frequência dentro do espectro.

Durante a segunda guerra mundial, foi desenvolvido por Hedy Lamarr, um sistema de torpedos guiados por rádio que os impedia de serem detectados pelo inimigo, e uma tecnologia de espectro alargado por salto de frequência que acabou dando origem ao primeiro padrão de conexão WI-FI IEEE 802.11 em 1997 (G1, 2023).

A primeira versão da tecnologia sem fio, conhecida como IEEE 802.11, foi lançada em 1997. Ela permitia a conexão de dispositivos sem fio a uma rede local por meio de frequências de rádio. No entanto, a velocidade de transmissão de dados era limitada, em torno de 2 Mbps. A partir de 1999, foram lançadas novas versões da tecnologia, como a 802.11b, que permitia a transmissão de dados em velocidades de até 11 Mbps, e a 802.11g, que suportava velocidades de até 54 Mbps. Essas melhorias na tecnologia permitiram que as conexões Wi-Fi se tornassem mais comuns e acessíveis (VIEIRA. Danielle Lopes Ferreira Gonçalves, 2004).

Atualmente, a tecnologia Wi-Fi continua a ser aprimorada e desenvolvida para atender às necessidades dos usuários. A mais recente versão é a 802.11be, também conhecida como Wi-Fi 7, que oferece velocidades de até 46 Gbps e maior eficiência energética (TECNOBLOG, 2023).

Depois que os padrões Wi-Fi (802.11) foram lançados e implementados, o mundo começou a se transformar com a abertura dos mercados e o surgimento de novas tecnologias.

Cada novo padrão é construído sobre o padrão anterior com melhoria na velocidade e confiabilidade.

Nos últimos 20 anos, desde de que foi inicialmente lançado, o IEEE 802.11, evoluiu de 2 Mbps para velocidades acima de gigabit, um aumento de 1.000 vezes na taxa de transferência. O padrão tem avançado continuamente com a introdução de novos protocolos como 802.11n, 802.11ac e 802.11ax (Wi-Fi 6) e por último o 802.11be (Wi-Fi 7). Os novos padrões suportam esquemas de modulação de ordens superiores, como 64 QAM⁶, 256 QAM, 1024 QAM e 4096 QAM. Esses novos padrões também suportam a transmissão de vários fluxos para um único cliente ou vários clientes simultaneamente. Além de aumentar as taxas de dados de pico, foram feitos esforços para melhorar a eficiência espectral, que caracteriza o quão bem o sistema usa o espectro disponível. Técnicas multiusuário, como entrada múltipla saída múltipla (MU-MIMO) e acesso múltiplo por divisão de frequência ortogonal (OFDMA⁷), foram introduzidas para melhorar a eficiência e a capacidade da rede.

A tabela abaixo nos mostra a evolução do padrão 802.11, que recebeu melhorias desde sua criação em 1997 até o mais recente lançamento que aconteceu em 2019. A partir de 2009 o padrão passa a se chamar apenas Wi-Fi 4, 5, 6 e 7 para facilitar a nomenclatura.

Tabela 1 – Evolução e melhorias do padrão 802.11

IEEE	Ano de Lançamento	Frequência da banda	Largura de Banda	Throughput Máximo
802.11	1997	2.4 GHz	22 MHz	2 Mbps
802.11a	1999	5 GHz	20 MHz	54 Mbps
802.11b	1999	2.4 GHz	22 MHz	11 Mbps
802.11g	2003	2.4 GHz	20 MHz	54 Mbps
802.11n (Wi-Fi 4)	2009	2.4/5 GHz	20/40 MHz	600 Mbps
802.11ac (Wi-Fi 5)	2013	2.4/5 GHz	20/40/80/160 MHz	6,8 Gbps
802.11ax (Wi-Fi 6)	2019	2.4/5 GHz	20/40/80/160 MHz	10 Gbps
802.11be (Wi-Fi 7)	2023/24	2.4/5/6 GHz	até 320 MHz	46 Gbps

Fonte: Aatoria própria (2023)

⁶ *Quadrature Amplitude Modulation*, técnica de modulação de sinal caracterizada pela superposição de duas portadoras em quadratura moduladas em amplitude.

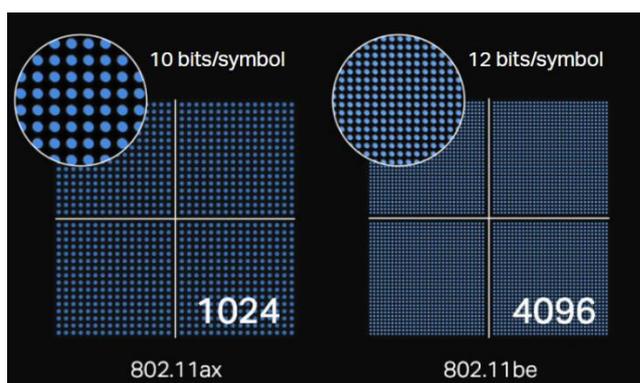
⁷ *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*, é uma versão ampliada do OFDM. Em vez de fazer divisão de pacotes de dados para um único usuário (como no OFDM), o OFDMA o faz para múltiplos usuários

Como podemos observar na tabela, o padrão vem a cada versão se aperfeiçoando e melhorando principalmente a taxa de transmissão, e isto se torna cada vez mais importante visto a necessidade das novas tecnologias que surgem a cada ano com esta demanda por mais velocidade e qualidade nas transmissões de dados.

O Wi-Fi 7 como podemos ver é o mais novo padrão que foi desenvolvido e vem sendo lançado ao mercado, este novo padrão alcança taxa de transferência teórica de 46 Gbps. Essa taxa pode ser alcançada principalmente pelo tipo de modulação empregada nesse novo padrão, onde diferente dos anteriores Wi-Fi 5 e 6 que utilizavam níveis de modulação de 256-QAM e 1024-QAM respectivamente, no Wi-Fi 7 a modulação é de 4096-QAM.

Na figura 11 podemos ver como a diferença do padrão de modulação 1024-QAM e 4096-QAM.

Figura 11 – Comparação 1024QAM e 4096QAM.



Fonte: TP-LINK (2023).

Com esta evolução dos padrões do WI-FI, para atender as novas demandas de tecnologias, também nos deparamos com a uma crescente utilização de lâmpadas de LED nos ambientes residenciais, muitas vezes de forma mais decorativa, como até mesmo as fitas de LED, esses dispositivos podem interferir na qualidade e velocidade da rede WI-FI.

A transmissão de dados de um roteador é realizada através da emissão de uma onda eletromagnética, onde temos potência sendo irradiada em um sinal de rádio frequência, sendo o ar o seu meio de transmissão não guiado. Com a distância e obstáculos no ambiente, este sinal é degradado, sendo refletido e atenuado, e devido a isto em distancias maiores, teremos um

sinal de menor potência e mais susceptível a ser prejudicado pelos ruídos e emissões de fontes de outros equipamentos, como por exemplo as lâmpadas de LED.

Isso é explicado pela relação sinal vs ruído, onde o nível de sinal diminui, e o um ruído que era menor pode agora então sobrepor ao sinal do roteador, gerando mal funcionamento.

2.5 INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA EM AMBIENTES RESIDENCIAIS.

Como abordado no capítulo anterior as redes wireless se tornaram indispensáveis em nosso cotidiano, tanto em ambientes de trabalho quanto em nossas residências. No entanto é bastante comum nos depararmos com situações em que a velocidade e a estabilidade da rede Wi-Fi são comprometidas. Uma das principais razões para isso acontecer é interferência eletromagnética no roteador ou no sinal de Wi-Fi.

Especialmente nos ambientes residenciais, podemos identificar vários dispositivos que podem causar interferência, dentre eles podemos citar redes Wi-Fi próximas, fornos de micro-ondas, dispositivos Bluetooth, motores, equipamentos com fontes chaveadas, entre outros. Estes equipamentos têm como características o funcionamento em altas frequências, ou são dispostos de chaveadores e comutadores ou elementos magnéticos.

À medida que o dispositivo sem fio conectado ao roteador Wi-Fi se distancia fisicamente do roteador, a chance desta conexão sofrer interferências, podem ser elevadas, isto ocorre devido a um parâmetro fundamental avaliado em qualquer dispositivo eletrônico de comunicação, e este parâmetro é a relação sinal ruído. Desta forma, à medida que o sinal da rede Wi-Fi é atenuado, os ruídos gerados por alguns equipamentos domésticos, (já mencionados anteriormente,) podem apresentar potências e condições suficientes para interferir na transmissão de dados de uma rede Wi-Fi, devido a diminuição da potência do sinal Wi-Fi, devido à distância ou obstáculos, e assim interferências geradas por fontes chaveadas, motores, e outros equipamentos podem vir a interferir.

Outro aspecto importante são as interferências conduzidas, que podem ser geradas na rede elétrica, devido a presença de correntes harmônicas e distorções da forma de onda da rede elétrica, que podem ser gerados por equipamentos que tem como base de funcionamento comutadores, chaveadores, SCR`s, Triac`s e etc, tais como liquidificador, chuveiro eletrônico,

inversor solar e outros dispositivos elétricos que não consomem energia de maneira linear, assim, estas correntes harmônicas e distorções apresentadas pela rede elétrica, podem gerar ruídos em fontes de alimentação de equipamentos eletrônicos, de tal forma que o equipamento pode apresentar instabilidade, travamento e outros problemas, devido a características da rede elétrica. conforme é explicado (Paredes; Reis; Deckmann; 2017, CARACTERIZAÇÃO DE CARGAS LINEARES E NÃO LINEARES EM CONDIÇÕES DE TENSÕES NÃO SENOIDAIS):

Com a proliferação dos conversores eletrônicos de potência, amplamente difundidos no mercado industrial e doméstico a rede elétrica passou a apresentar correntes harmônicas que podem resultar em distorções significativas nas tensões. Tais fontes harmônicas (cargas não lineares) estão distribuídas por toda a rede. Embora estas cargas individualmente produzam quantidades insignificantes de correntes harmônicas, o efeito conjugado de um grande número de tais cargas pode ser significativo, podendo criar uma série de perturbações para as concessionárias e para os usuários finais.

Com relação as fontes, esses dispositivos elétricos estão presentes em muitos aparelhos eletrônicos domésticos comumente utilizados, como é o caso de luminárias de LED. Quando esses equipamentos estão em espaços pequenos e próximos uns dos outros, o potencial de interferência, tanto recebida quanto emitida, é maior ainda, tornando-se assim grandes obstáculos para a qualidade e velocidade de uma rede wireless.

Em residências menores, as obstruções físicas também são capazes de afetar o nível de sinal de uma rede Wi-Fi, resultando em atenuação ou até mesmo bloqueio completo. Portanto paredes, portas, espelhos e objetos metálicos não devem estar em pontos de bloqueio levando-se em consideração a posição do roteador na casa e os dispositivos conectados. E por isso a posição do roteador é muito importante para a qualidade do sinal.

Além disso, a frequência utilizada pelos roteadores também influencia nesta análise de interferência. A faixa de frequência utilizada de 2,4 GHz apresenta neste sentido o pior cenário com relação a interferências no sinal, isto porque em geral são mais utilizados, e seu espectro possui menos canais que em comparação as faixas de frequência de 5 GHz por exemplo, isso conforme é explicado (CARVALHO, 2012, Teleco, Redes Wlan):

A faixa de 2.4 GHz (mais utilizada e com mais dispositivos) possui poucos canais úteis (isolados e sem sobreposição), que são os canais 1, 6 e 11. Nesta faixa,

qualquer projeto deve prever um plano de frequências de reuso 3, posicionando corretamente os APs e limitando a cobertura dos mesmos, para minimizar interferências. Pode-se limitar a cobertura do AP com a velocidade mandatória mínima. Por exemplo, ao invés de utilizar a velocidade de 1Mbit/s (11b), se for configurado para velocidade mandatória mínima de 12Mbit/s (11g), o usuário precisará estar mais próximo do AP, com melhor relação sinal-ruído, para poder se associar e acessar a rede.

Sabendo então que os dispositivos podem estar expostos a interferência em seu ambiente eletromagnético e também em alguns casos gerarem ruídos que podem ocorrer internamente em seu próprio circuito eletrônico, podemos entrar mais a fundo nos testes de verificação da performance do roteador Wi-Fi e seu comportamento quando exposto a tais ruídos mencionados, para então avaliar os dados e estudar como podemos controlar para que isso possa ser amenizado ou até mesmo torná-los imune.

3 DESENVOLVIMENTO

Conforme visto desde o início deste trabalho, apresentamos uma revisão bibliográfica sobre assuntos que foram estudados e que são pertinentes ao tema de estudo proposto. Onde o principal foco foi a compatibilidade eletromagnética visando conceitos, aspectos e características que fazem um certo sistema ser considerado compatível eletromagneticamente. Também foi abordado sobre a eletrônica de potência aplicada nos conversores utilizados na indústria de lâmpadas de LED, que devido ao chaveamento de sinal podem ser possíveis geradores de ruídos para o ambiente.

No terceiro item trouxemos a evolução e a importância das redes *wireless* nos dias atuais, essa tecnologia que está em constante mudança e sempre melhorando a experiência do usuário com a internet, busca sempre por conexões mais velozes, maior número de usuários conectados, e o menor nível de interferência externa possível.

Por fim abordamos a questão de interferência eletromagnética em ambientes residenciais, onde cada vez mais os dispositivos são submetidos a utilização em um mesmo ambiente.

Com o referencial teórico apresentado foi iniciado o estudo proposto, para isso foi preparado um cenário de teste de performance que consiste em um roteador Wi-Fi de tecnologia AX (Wi-Fi 6), da marca Intelbras e um notebook com placas de rede compatível com tecnologia AX. No teste de performance foi utilizado a ferramenta SpeedTest da Ookla, versão v1.11.165.1. Na figura 12 apresentamos o modelo do roteador e do notebook.

Figura 12 – Equipamentos utilizados



Fonte: Autoria própria (2023)

3.1 CENÁRIO E AMBIENTE DE TESTE

Os testes foram realizados em 3 cenários diferentes, inicialmente foi testado em uma distância menor, sendo aproximadamente 3 metros no TESTE 1, praticamente sem barreira física ficando o roteador e o notebook em visada, neste foi utilizada uma lâmpada da marca X-LED de 12 W.

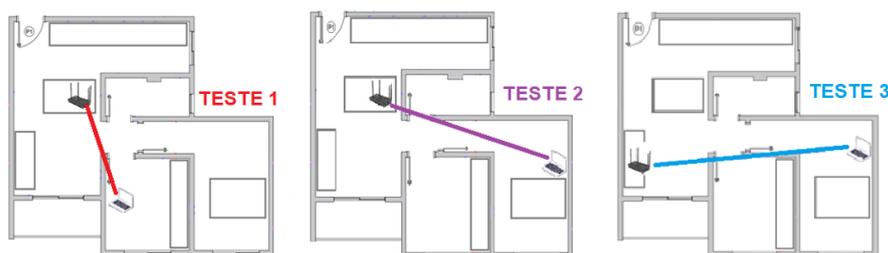
No TESTE 2 foi colocado uma distância maior, 6 metros, e ficando o roteador atrás de uma parede atenuando assim o sinal, neste teste foi utilizado uma lâmpada da marca Y – LED também de potência 12 W.

Nestes 2 primeiros testes utilizamos 2 modelos de lâmpada similares e de marcas diferentes, sendo estas colocados em um abajur bem próximas do roteador que estava em uma mesa para fim de testes.

O TESTE 3 foi aplicado de uma forma diferente, foi colocado o roteador fixado em uma parede, uma maneira bem comum de ser vista em muitas residências, e neste cenário foi realizado o teste com as lâmpadas do teto que são *Spot* LEDs embutidos no gesso da marca Z – LED de 6 W de potência.

Desta forma estes 3 cenários nos proporcionaram validar a performance em algumas distâncias diferentes para que assim possamos ter níveis de sinal recebido distintos. E fontes possíveis de ruído também diferentes. Abaixo poderemos ver na figura 13 a planta do apartamento e as posições dos testes.

Figura 13 – Cenários no ambiente de teste



Fonte: Autoria própria (2023)

A residência utilizada no teste conta com uma área total de 48 m². O cenário e a conexão estão totalmente expostos a qualquer tipo de interferência eletromagnética que possa estar

presente no ambiente, simulando assim sua aplicação normal. No primeiro momento foi testado a performance da conexão sem gerar qualquer ruído externo proposital, para assim obtermos os dados necessário para comparação com o segundo teste onde será inserido as fontes externas que no caso do estudo serão os conversores de uma lâmpada LED.

3.2 FERRAMENTA SPEEDTESTE.

Com o Speedtest podemos testar a latência (ou Ping), a velocidade de *Download* e a velocidade de *Upload* da conexão com a internet. O teste é rápido e no final você pode verificar a velocidade de *Download* e *Upload* da conexão, bem como em quantos milissegundos está a sua latência. A latência é o tempo de viagem ou tempo que as informações levam para sair do ponto de conexão da sua casa até chegar no outro ponto de conexão que é o servidor. A largura da sua banda e a latência vão definir a capacidade da sua rede (MUNDOTELE, 2023).

O teste de latência vai mostrar quanto tempo o comando enviado está demorando para chegar no servidor de destino e quanto tempo a resposta dele está demorando para chegar até você. São nesses casos que acontece o famoso LAG (*Latency At Game*) em jogos online.

As outras duas medições feitas pelo SpeedTest são as velocidades de *Download* e de *Upload*. Sendo o Dowload a velocidade de transferência de dados de um servidor na internet para o seu dispositivo e o *Upload* a velocidade de transferência de dados do seu dispositivo para a internet sendo estas medidas dadas em megabits por segundo (Mbps), conforme exemplificado através da figura 14, que mostra um teste realizado com conexão via cabo, ao roteador de teste, podemos ver que neste tipo de conexão a taxa de transferência alcança o valor máximo que foi contratado do provedor de internet que é 650 Mbps.

Figura 14 – SpeedTest em execução



Fonte: Autoria própria (2023)

3.3 MODELOS DE LÂMPADAS

Hoje em dia podemos encontrar vários modelos diferentes de lâmpadas no mercado, em diversas cores, tamanhos e modelos. Por esse motivo, não existe uma única opção considerada a ideal e mais vantajosa. É preciso observar características como potência, formato, marca e outros critérios para definir o modelo ideal para o ambiente onde ela será utilizada.

Para esse estudo utilizamos principalmente as lâmpadas de LED pois são mais comumente utilizadas, elas se tornaram populares visto sua capacidade de consumir em torno de 80% menos eletricidade em relação a outros modelos mais antigos, como é o caso das incandescentes ou fluorescentes.

Dessa forma na tabela 2 abaixo se encontram os 3 modelos de lâmpadas que foram utilizadas para os testes, possibilitando assim uma comparação entre algumas marcas de modelo similares.

Tabela 2 – Lâmpadas utilizadas

Marca	Potência	Luz	Foto
X - LED	12W	Branca-6500 K	
Y - LED	12W	Branca-6500 K	
Z - LED	6W	Branca-6500 K	

Fonte: Aatoria própria (2023)

Na figura 15 abaixo, podemos ver alguns desses modelos utilizados no teste e sua aplicação em um ambiente residencial, como podemos ver as lâmpadas além de iluminar o ambiente também podem e são comumente usadas para decoração. Dessa forma muitas vezes são colocadas múltiplas lâmpadas, próxima de paredes, gesso, moveis, equipamentos eletrônicos e em suportes diferenciados.

Figura 15 – Exemplo das Lâmpadas usadas no teste



Fonte: Autoria própria (2023)

É importante também notar que nos testes utilizamos lâmpadas de 6W e de 12W, pois são os modelos mais comuns de utilização em residências, no entanto é comum encontrar modelos de maior potência, sendo estas fontes de ruídos maiores, devido ao conversor de tensão que as alimenta precisar de uma corrente maior no chaveamento.

3.4 PROCEDIMENTO DAS MEDIÇÕES

Para a realização dos testes foram definidos 3 cenários diferentes, onde a distância entre o roteador e o dispositivo conectado foi alterada, isso para que fosse possível testar a performance em diferentes níveis de sinais recebidos pelo dispositivo conectado ao roteador.

Como a própria conexão com a internet pode variar de acordo com o horário do dia e disponibilidade dos servidores de teste, as medições foram realizadas alternando entre performance com as lâmpadas desligadas e com as lâmpadas desligada, desta forma podemos ter uma comparação mais fiel do comportamento da conexão em teste.

Na figura 16 podemos ver a disposição física e como estavam o roteador e as lâmpadas utilizadas, veja que para o TESTE 1 e TESTE 2 estavam alocados na mesma posição o que mudou foi somente a posição do notebook, já no TESTE 3 a posição foi diferente.

Figura 16 – Posicionamento do roteador nos testes



Fonte: Autoria própria (2023)

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico será apresentado os resultados e dados de performance dos testes realizados. No primeiro cenário de testes foram coletados os dados de performance da conexão utilizando dois modelos de lâmpada. O teste foi realizado em conexão no Wi-Fi em frequência de 2,4 GHz e também 5 GHz.

Na figura 17 é possível visualizar algumas especificações da rede utilizada, tais como o nível de sinal, espectro nas faixas de frequência do teste, medida de potência recebida pelo notebook, podemos então ver que o nível de sinal médio para os testes foi de -55dBm para a frequência de rede de 2,4 GHz e de -60 dBm para a frequência de rede 5 GHz. Esta verificação da potência do sinal é realizada com a ferramenta de teste *Netspot*.

Figura 17 – Espectro e canais nas frequências de 2.4 GHz e 5 GHz



Fonte: Autoria própria (2023)

Podemos ver que o sinal de maior potência são os do roteador em teste, visto a proximidade com o mesmo.

As tabelas que estão sendo apresentadas a seguir mostram os valores de taxa de performance para ambas as conexões em 2,4 GHz e 5 GHz. Onde nas legendas os termos *Download-1* e *Upload-1* se referem ao teste com a lâmpada ligadas e *Download-2* e *Upload-2* se referem ao teste com elas desligadas.

3.5.1 Resultados TESTE 1

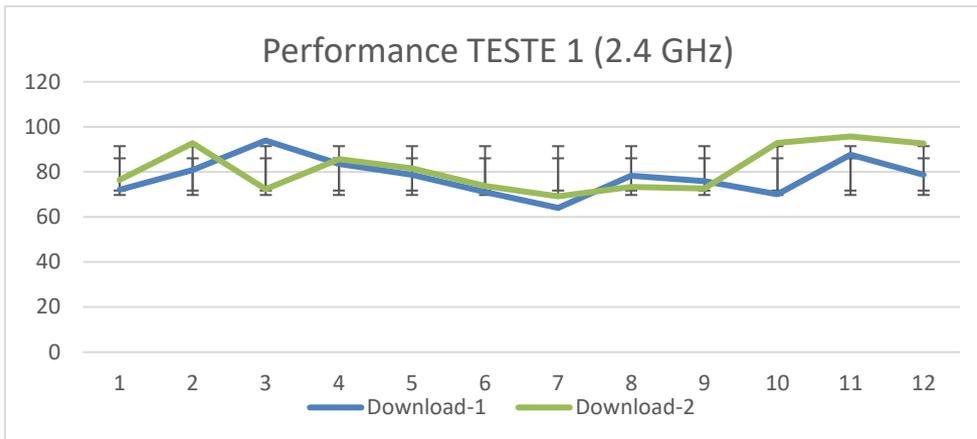
O primeiro teste realizado, foi executado com a rede em frequência de 2,4 GHz e 5 GHz, o roteador foi disposto a distância de 3 metros do notebook, conforme exemplificado nos tópicos anteriores na Figura 13.

Tabela 3 – Dados do teste em 2,4 GHz (TESTE1)

<i>Download-1</i>	<i>Upload-1</i>	<i>Download-2</i>	<i>Upload-2</i>
72,13	33,84	76,39	53,82
80,79	40,53	92,81	45,65
93,94	47,92	72,39	47,63
83,48	48,4	85,6	37,68
78,78	34,57	81,61	38,45
71,1	42,2	73,74	57,4
64,04	36,61	69,16	40,64
78,27	37,05	73,27	45,08
75,85	39,75	72,65	57,47
70,04	38,96	92,92	56,11
87,64	52,57	95,74	33,99
78,7	54,86	92,61	37,16

Fonte: Autoria própria (2023)

Com base nos dados aferidos durante os testes e compilados na tabela acima, é possível a verificação dos valores obtidos através da tabela 3, com os dados de *Download 1* e *Upload 1* com a lâmpada de testes ligada, e também os valores para *Download 2* e *Upload 2* com a lâmpada de testes desligada, ambos os cenários foram executados para a frequência de rede em 2,4 GHz.

Figura 18 – Dados de *Download* do teste em 2,4 GHz (TESTE 1)

Fonte: Autoria própria (2023)

Através da figura 18, é possível a visualização de maneira comparativa entre os valores obtidos para *Download 1*, com a lâmpada ligada e *Download 2*, com a lâmpada desligada. Durante as medições realizadas, os resultados obtidos para download com a lâmpada ligada e desligada não apresentaram divergências, desta forma, hora o teste com lâmpada ligada apresentou resultados melhores, e hora o teste com a lâmpada desligada apresentou melhor desempenho

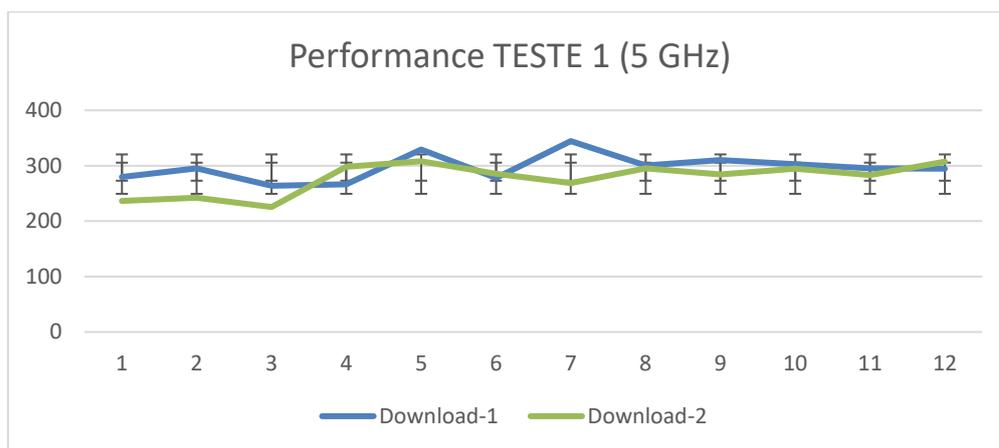
Tabela 4 – Dados do teste em 5 GHz (TESTE 1)

<i>Download-1</i>	<i>Upload-1</i>	<i>Download-2</i>	<i>Upload-2</i>
279,8	175,9	236,32	145,75
295,14	168,77	242,56	167,6
263,94	172,83	225,56	158,69
266,75	141,17	298,36	150,59
329,37	154,93	308,06	146,54
278,19	140,86	285,41	159,67
344,52	169,65	268,65	143,04
300,44	143,09	295,11	171,12
310,23	138,08	284,55	150,04
302,86	135,62	294,56	185,47
295,41	151,82	283,24	154,93
294,53	145,71	307,2	170,29

Fonte: Autoria própria (2023)

Com base nos dados aferidos durante os testes e compilados na tabela acima, é possível a verificação dos valores obtidos através da tabela 4, com os dados de *Download 1* e *Upload 1* com a lâmpada de testes ligada, e também os valores para *Download 2* e *Upload 2* com a lâmpada de testes desligada, ambos os cenários foram executados para a frequência de rede em 5 GHz.

Figura 19 – Dados de *Download* do teste em 5 GHz (TESTE 1)



Fonte: Autoria própria (2023)

Através da figura 19, é possível a visualização de maneira comparativa entre os valores obtidos para *Download 1*, com a lâmpada ligada e *Download 2*, com a lâmpada desligada. Durante as medições realizadas, os resultados obtidos para download com a lâmpada ligada e desligada não apresentaram divergências, desta forma, hora o teste com lâmpada ligada apresentou resultados melhores, e hora o teste com a lâmpada desligada apresentou melhor desempenho.

Neste primeiro teste podemos visualizar que os dados não apresentaram uma diferença significativa de performance nas frequências de 2,4 GHz e 5 GHz.

3.5.2 Resultados TESTE 2

O segundo teste realizado, foi executado com a rede em frequência de 2,4 GHz e 5 GHz, o roteador foi disposto a distância de 6 metros do notebook, conforme exemplificado nos tópicos anteriores na Figura 13.

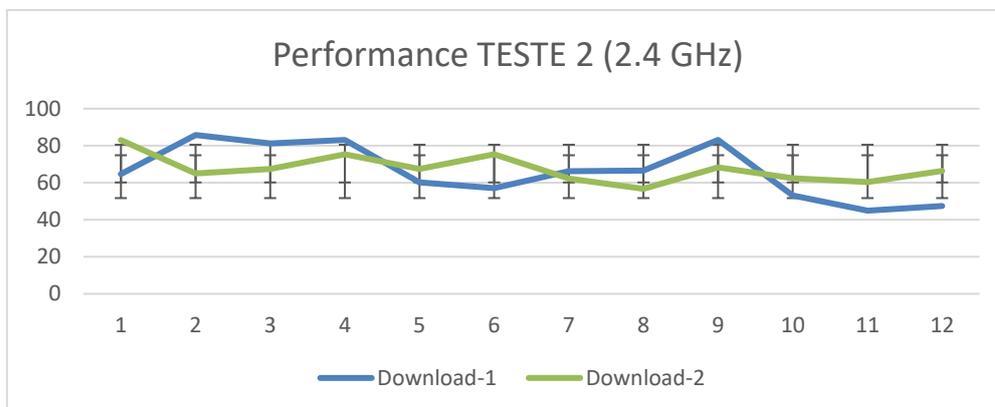
Tabela 5 – Dados do teste em 2,4 GHz (TESTE 2)

<i>Download-1</i>	<i>Upload-1</i>	<i>Download-2</i>	<i>Upload-2</i>
64,68	57,96	83,04	47,7
85,79	68,63	64,96	55,52
81,26	77,83	67,48	53,53
83,14	64,26	75,3	72,95
60,22	54,15	67,36	68,32
57,02	44,84	75,45	60,13
66,21	46,66	62,23	55,19
66,55	61,85	56,72	42,6
83,13	36,51	68,31	50,09
53,1	48,06	62,51	51,63
44,91	48,9	60,4	48,39
47,36	46,68	66,37	54,43

Fonte: Autoria própria (2023)

Com base nos dados aferidos durante os testes e compilados na tabela acima, é possível a verificação dos valores obtidos através da tabela 5, com os dados de *Download 1* e *Upload 1* com a lâmpada de testes ligada, e também os valores para *Download 2* e *Upload 2* com a lâmpada de testes desligada, ambos os cenários foram executados para a frequência de rede em 2,4 GHz.

Figura 20 – Dados de *Download* do teste em 2,4 GHz (TESTE 2)



Fonte: Autoria própria (2023)

Através da figura 20, é possível a visualização de maneira comparativa entre os valores obtidos para *Download 1*, com a lâmpada ligada e *Download 2*, com a lâmpada desligada. Durante as medições realizadas, os resultados obtidos para download com a lâmpada ligada e desligada não apresentaram divergências, desta forma, hora o teste com lâmpada ligada apresentou resultados melhores, e hora o teste com a lâmpada desligada apresentou melhor desempenho.

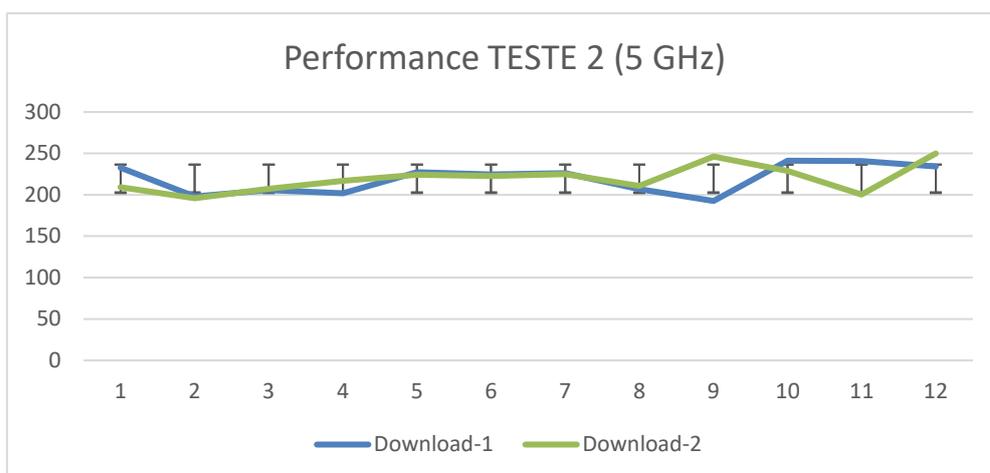
Tabela 6 – Dados do teste em 5 GHz (TESTE 2)

<i>Download-1</i>	<i>Upload-1</i>	<i>Download-2</i>	<i>Upload-2</i>
232,78	115,74	209,02	118,54
198,11	102,81	195,81	124,33
205,64	108,67	207,34	107,94
201,81	104,39	216,67	105,41
227,28	122,08	224,23	118,69
224,53	98,44	222,67	100,67
226,26	96,4	225,1	98,97
206,87	116,17	210,77	91,05
192,54	115,59	245,97	111,39
241,14	123,91	228,63	131,51
240,76	116,62	200,26	129,19
234,14	133,19	249,87	128,51

Fonte: Autoria própria (2023)

Com base nos dados aferidos durante os testes e compilados na tabela acima, é possível a verificação dos valores obtidos através da tabela 6, com os dados de *Download 1* e *Upload 1* com a lâmpada de testes ligada, e também os valores para *Download 2* e *Upload 2* com a lâmpada de testes desligada, ambos os cenários foram executados para a frequência de rede em 5 GHz.

Figura 21 – Dados de *Download* do teste em 5 GHz (TESTE 2)



Fonte: Autoria própria (2023)

Através da figura 21, é possível a visualização de maneira comparativa entre os valores obtidos para *Download 1*, com a lâmpada ligada e *Download 2*, com a lâmpada desligada. Durante as medições realizadas, os resultados obtidos para download com a lâmpada ligada e desligada não apresentaram divergências, desta forma, hora o teste com lâmpada ligada apresentou resultados melhores, e hora o teste com a lâmpada desligada apresentou melhor desempenho.

Neste segundo cenário de teste podemos notar uma queda na taxa de transferência em ambas frequências, isso ocorreu devido o dispositivo estar disposto a uma distância de 6 metros, com a presença de obstáculos físicos, conseqüentemente a sinal recebido no notebook está mais atenuado que no teste anterior.

Podemos também notar que neste cenário com a lâmpada Y – LED os valores de *Download* com e sem a lâmpada ligado apresentaram valores similares.

3.5.3 Resultados TESTE 3

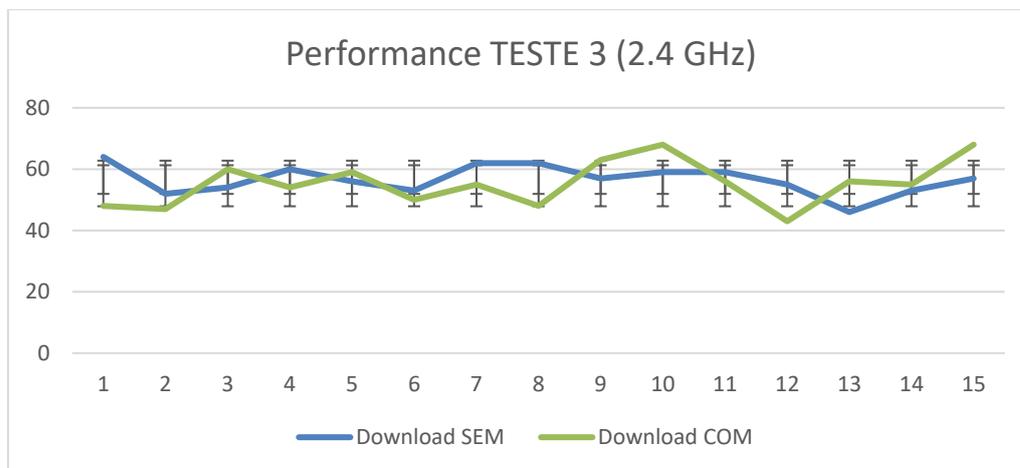
O terceiro teste realizado, foi executado com a rede em frequência de 2,4 GHz e 5 GHz, o roteador foi disposto, conforme exemplificado nos tópicos anteriores na Figura 13.

Tabela 7 – Dados do teste em 2,4 GHz (TESTE 3)

<i>Download-1</i>	<i>Upload-1</i>	<i>Download-2</i>	<i>Upload-2</i>
64,35	19,22	48,82	16,53
52,63	13,16	47,39	14,74
54,12	9,78	60,92	15,90
60,56	20,32	54,26	15,45
56,64	24,45	59,02	11,53
53,5	25,76	50,27	20,12
62,74	25,98	55,75	23,87
62,25	32,12	48,92	24,28
57,24	22,34	63,25	22,69
59,23	25,62	68,02	14,24
59,24	14,27	56,90	17,87
55,78	15,84	43,19	13,54
46,94	10,68	56,05	10,76
53,46	13,19	55,39	12,77
57,11	12,94	68,38	22,81

Fonte: Autoria própria (2023)

Com base nos dados aferidos durante os testes e compilados na tabela acima, é possível a verificação dos valores obtidos através da tabela 7, com os dados de *Download 1* e *Upload 1* com a lâmpada de testes ligada, e também os valores para *Download 2* e *Upload 2* com a lâmpada de testes desligada, ambos os cenários foram executados para a frequência de rede em 2,4 GHz.

Figura 22 – Dados de *Download* do teste em 2,4 GHz (TESTE 3)

Fonte: Autoria própria (2023)

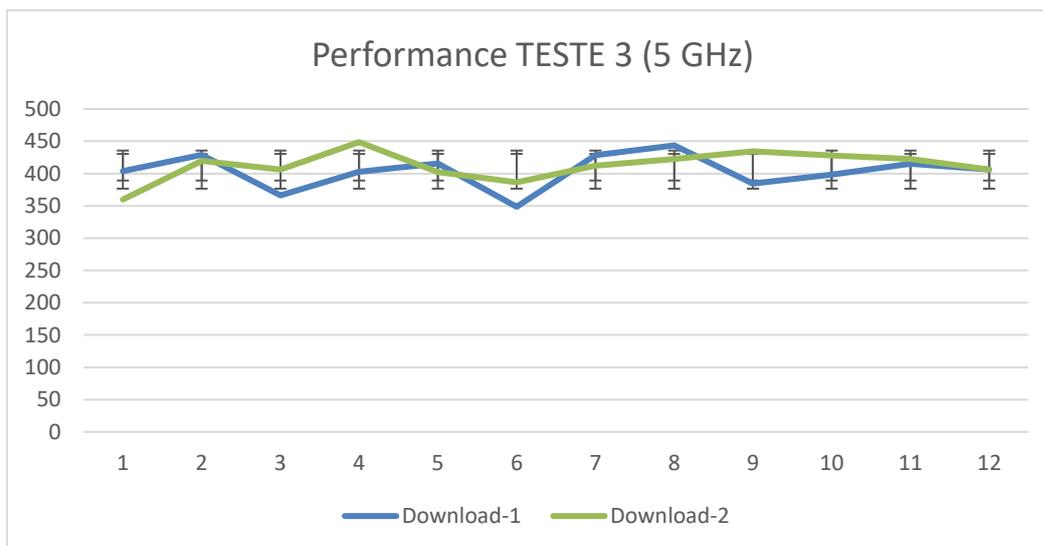
Através da figura 22, é possível a visualização de maneira comparativa entre os valores obtidos para *Download 1*, com a lâmpada ligada e *Download 2*, com a lâmpada desligada. Durante as medições realizadas, os resultados obtidos para download com a lâmpada ligada e desligada não apresentaram divergências, desta forma, hora o teste com lâmpada ligada apresentou resultados melhores, e hora o teste com a lâmpada desligada apresentou melhor desempenho.

Tabela 8 – Dados do teste em 5 GHz (TESTE 3)

<i>Download-1</i>	<i>Upload-1</i>	<i>Download-2</i>	<i>Upload-2</i>
403,76	347,36	359,82	293,58
428,79	338,03	419,76	343,06
366,29	256,58	406,18	309,23
402,76	278,62	448,69	333,33
415,56	334,23	402,29	268,34
348,56	321,12	386,34	324,45
428,34	278,25	412,2	312,53
443,57	348,14	422,38	378,23
384,34	334,68	434,42	314,62
398,23	323,68	428,21	303,81
415,34	336,87	422,37	356,93
406,12	285,32	406,12	305,23

Fonte: Autoria própria (2023)

Com base nos dados aferidos durante os testes e compilados na tabela acima, é possível a verificação dos valores obtidos através da tabela 8, com os dados de *Download 1* e *Upload 1* com a lâmpada de testes ligada, e também os valores para *Download 2* e *Upload 2* com a lâmpada de testes desligada, ambos os cenários foram executados para a frequência de rede em 5 GHz.

Figura 23 – Dados de *Download* do teste em 5 GHz (TESTE 3)

Fonte: Autoria própria (2023)

Através da figura 23, é possível a visualização de maneira comparativa entre os valores obtidos para *Download 1*, com a lâmpada ligada e *Download 2*, com a lâmpada desligada. Durante as medições realizadas, os resultados obtidos para download com a lâmpada ligada e desligada não apresentaram divergências, desta forma, hora o teste com lâmpada ligada apresentou resultados melhores, e hora o teste com a lâmpada desligada apresentou melhor desempenho.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tecnologia em todas as áreas está avançando rapidamente, e com isso alguns problemas que muitas vezes não são perceptíveis para alguns ambientes, ainda assim podem estar presentes, como é o caso de estudo deste trabalho, onde as conexões Wi-Fi que desempenham um papel fundamental em diversas áreas, como residências e ambientes corporativos, podem sofrer interferências de outros dispositivos, caso não estejam posicionadas corretamente.

Diante dos testes que foram propostos no início deste estudo, foi constatado e apresentado resultados positivos com relação qualidade do sinal Wi-Fi, onde conseguimos com os testes comprovar que estes modelos de lâmpadas mais comumente utilizadas e foram testadas, não são capazes de interferir significativamente na performance e estabilidade do sinal de Wi-Fi de um roteador. Estes resultados sugerem que os cenários de teste e diferentes modelos de lâmpadas testados, não exercem impacto notável na eficiência da conexão.

Foram testadas as conexões na faixa de frequência de 2,4 GHz bem como de 5 GHz, verificamos que ambas faixas de frequência não foram afetadas pela proximidade de conversores de lâmpadas de LED.

A faixa de 2,4 GHz é a mais utilizada para as conexões de dispositivos inteligentes, e qualquer outro eletrodoméstico que tenha conexão com a internet, isto foi evidenciado também nos testes, ao verificar o espectro de canais do ambiente, e por se tratar de uma faixa bastante utilizada foi o teste que tomamos mais atenção ao fazer as validações, no entanto como no 5 GHz, os resultados apresentaram que na média a performance não se alterou com a presença das lâmpadas.

Por fim vale ressaltar que, embora os resultados apontem para a inexistência de interferência nestes cenários, é importante estar ciente das limitações do estudo. Futuras pesquisas e trabalhos neste sentido, podem explorar outros aspectos que não foram contemplados nesta análise, aprimorando ainda mais nosso entendimento sobre a robustez e estabilidade das conexões Wi-Fi.

REFERÊNCIAS

- EMBARCADOS, Francesco. **A história do primeiro Transistor**. Disponível em: <https://embarcados.com.br/a-historia-do-primeiro-transistor/>. Acesso em: 17 mar. 2023.
- GIZMODO, Adam. **Como começou essa história de transmitir informações sem fio**. Disponível em: <https://gizmodo.uol.com.br/como-comecou-essa-historia-de-transmitir-informacoes-sem-fio/>. Acesso em: 17 mar. 2023.
- G1, BBC. **Quando o Wi-Fi foi criado e o que o nome significa**. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/tecnologia/noticia/2021/05/03/quando-o-wi-fi-foi-criado-e-o-que-o-nome-significa.ghtml>. Acesso em: 17 mar. 2023.
- PUCRS, Matheus Fay Soares, Deivid Lejes Quevedo. **O que é Compatibilidade Eletromagnética (EMC)?**. Disponível em: <https://www.pucrs.br/labelo/o-que-e-compatibilidade-eletromagnetica-emc/#:~:text=EMC%20%C3%A9%20a%20capacidade%20de,os%20outros%20em%20seu%20ambiente>. Acesso em: 31 mar. 2023.
- SCHLICHTING, Luís Carlos Martinhago. **Contribuição ao estudo da compatibilidade eletromagnética aplicada aos conversores estáticos**. 2003. 139 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. (SCHLICHTING, 2003)
- ILUMINIM, Maria Eduarda. **HISTÓRIA DAS LÂMPADAS: ENTENDA A SUA CRIAÇÃO E EVOLUÇÃO**. Disponível em: <https://blog.iluminim.com.br/historia-das-lampadas-entenda-a-sua-criacao-e-evolucao/>. Acesso em: 01 abr. 2023.
- DELTA, Blog. **Objetos que causam interferência no wi-fi**. Disponível em: <https://www.deltainternet.net.br/blog/60/objetos-que-causam-interferencia-no-wi-fi#:~:text=Eletrodom%C3%A9sticos,e%20outros%20operam%20com%20%C3%A1gua>. Acesso em: 14 jun. 2023.
- MUNDOEDUCAÇÃO, Joab Silas da Silva Júnior. **O experimento de Oersted**. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/experimento-oersted.htm>. Acesso em: 03 mai. 2023.
- MARCONI, Marina de Andrade. **Cultura e sociedade**. In: LAKATOS, Eva Maria. **Sociologia**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 1991.
- BARBI, Ivo. **Projetos de Fontes Chaveadas**. 3º edição, 2014.
- AHMED, Ashfaq. **Eletronica de potência**. 1º edição, 2000.
- NIKNEJAD, A. M. **Electromagnetics for High-Speed Analog and Digital Communication Circuits**. 1. ed. [S.l.]: Cambridge University Press, 2007. ISBN 978-0-521-85350-7.

BRAGA, I. N. C. Conversores DC/DCs. S.d. Disponível em: <https://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/8397-como-funcionam-as-fontes-chaveadas-art1448.html>. Acesso em: 12 de maio de 2023.

EMCERT. O que é EMC? Disponível em: <http://emcert1.hospedagemdesites.ws/emcert/emc>. Acesso em: 01 abr. 2023.

VIVACE P. INSTRUMENTS. EMI - Interferência Eletromagnética em instalações industriais e muito mais. 2011. Disponível em: <<https://www.watelectronics.com/major-electrical-electronic-components/> <https://www.vivaceinstruments.com.br/pt/artigo/emi-interferencia-eletromagnetica-em-instalacoes-industriais-e-muito-mais>>. Acesso em: 24 de novembro de 2023.

FOCUS, Wireless Fidelity – sabe o que é isso? Disponível em: <https://focusconsultoria.net/wireless-fidelity-sabe-o-que-e-isso/>. Acesso em: 03 mai. 2023.

STEFANI TAI, MSI, Wireless Fidelity. Apresentando o Wi-Fi 7: A próxima revolução do Wi-Fi? Disponível em: <https://br.msi.com/blog/what-is-wifi-7>, Acesso em: 03 Jun. 2023.

TP-LINK, O que é o Wi-Fi 7? Disponível em: <https://www.tp-link.com/br/wifi7/#4K-QAM>, Acesso em: 13 Jun. 2023.

SADIKU, M. N. O. Elementos de Eletromagnetismo. 3. ed. [S.l.]: Bookman, 2004. ISBN 9788536302751.

TELECO. Redes WLAN: Interferência. 2012. Disponível em: <https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredeswlanad/pagina_4.asp>. Acesso em: 14 Jun 2023.

ISRAEL, D. L. C.; CARLOS, R. M. D; DIEGO, S. G. Análise de um retificador monofásico com alto fator de potência utilizando o conversor boost interleaved de duas fases frente às normativas IECiec61000- 3-2 (2009) classe D. Engevista, 2018

ESSS, Blog. O que é compatibilidade eletromagnética?. Disponível em: <https://www.esss.co/blog/compatibilidade-eletromagnetica/>. Acesso em: 16 out. 2023.

TECNOBLOG. Disponível em: <https://tecnoblog.net/responde/o-que-e-wi-fi-7-802-11-be/>. Acesso em: 14 out. 2023.

MUNDOTELE. Disponível em: <https://www.mundotele.com.br/como-funciona-o-speedtest-o-teste-de-velocidade-mais-famoso-da-internet/>. Acesso em: 14 out. 2023.

VIEIRA. Danielle Lopes Ferreira Gonçalves. IEEE 802.11. Disponível em: https://www.ravel.ufrj.br/sites/ravel.ufrj.br/files/publicacoes/tutorial_padrao_ieee_802.11_2.pdf. Acesso em: 17 out. 2023.

CHRISTOPOULOS, C. Principles and Techniques of Electromagnetic Compatibility. 2. ed. [S.l.]: CRC Press, 2007. ISBN 978-0-8493-7035-9.

SILVA, Bruno Fontana da. Introdução à Compatibilidade Eletromagnética. Disponível em: https://wiki.sj.ifsc.edu.br/images/3/31/Aula_15_-_Introdu%C3%A7%C3%A3o_%C3%A0_CEM.pdf. Acesso em: 16 nov. 2023.

PAREDES, REIS, DECKMANN. CARACTERIZAÇÃO DE CARGAS LINEARES E NÃO LINEARES EM CONDIÇÕES DE TENSÕES NÃO SENOIDAIS. 2017 Disponível em: <<https://sobraep.org.br/site/Uploads/2018/06/rvol22no1p15.pdf>>. Acesso em: 02 out 2023.