

# Estudo sobre a utilização de canais DFS em redes *Wi-Fi* residenciais

Cristian Teixeira Sodré

Francielli Scarpini Barbosa Cordeiro, Ma. Eng. Elétrica, Professora Orientadora

## Resumo

Com os avanços tecnológicos, as redes *wireless* estão melhorando cada vez mais. Atualmente, estas se tornaram um item essencial no dia a dia, acompanhando a sociedade desde os momentos de lazer, até momentos de estudo e trabalho. Com a crescente demanda por desempenho e consumo de dados, o espectro fica cada vez mais congestionado. Por outro lado, observa-se que em ambientes residenciais, a utilização de determinadas frequências conhecidas como canais DFS não é tão popular. Isso ocorre pelo fato de que existem determinados dispositivos que operam nestas frequências que, de acordo com a regulação, não podem sofrer interferências. No entanto, é possível utilizar estes canais em ambientes residências, desde que o roteador disponha de alguns mecanismos. Diante disto, surgiu o interesse em realizar um estudo a fim de entender os requisitos para a utilização dos canais DFS em residências, verificando qual o impacto no desempenho da rede ao fazer o uso desta faixa do espectro.

**Palavras-chave:** *Wi-Fi*. Interferências. Desempenho.

## Abstract

*With technological advances, wireless networks are continually improving. Currently, they have become an essential item in everyday life, accompanying society from moments of leisure, to moments of study and work. With the growing demand for performance and data consumption, the spectrum becomes increasingly congested. On the other hand, it is observed that in residential environments, the use of certain frequencies known as DFS channels is not very popular. This is due to the fact that there are certain devices that operate at these frequencies that, according to regulation, cannot suffer interference. However, it is possible to use these channels in residential environments, as long as the router has certain mechanisms. Given this, interest arose in carrying out a study in order to understand the requirements for using DFS channels in homes, and to check the impact on network performance when using this spectrum band.*

**Keywords:** *Wi-Fi*. Interference. Performance.

## 1. Introdução

O modelo onde apenas um computador atende as necessidades computacionais de uma determinada organização tornou-se obsoleto, abrindo espaço para um modelo no qual vários computadores autônomos realizam as tarefas

interconectados. Segundo Tanenbaum (2011), redes de computadores são conjuntos de dispositivos independentes interconectados, seja por fios de cobre, fibras ópticas, ondas de infravermelho ou qualquer tecnologia que permita conexão.

A rede de computadores responsável por interconectar os milhares de computadores e os mais variados dispositivos espalhados pelo mundo é a *internet*. Esta pode ser descrita por componentes de *hardware*, *software* e pela infraestrutura de rede que é responsável por fornecer os serviços e as aplicações (Kurose e Ross, 2017).

Em ambientes residenciais, a *internet* oferece conexão a computadores e servidores remotos, abrindo ao usuário uma ampla gama de possibilidades e benefícios, tais como: acesso à informação, comunicação com outras pessoas, educação, entretenimento, compras, trabalho, entre outros. Em resumo, a internet tem um profundo impacto na vida moderna e tornou-se essencial devido a sua versatilidade.

Para ter acesso à rede global WAN (*Wide Area Network*), é necessário um equipamento que permite a conexão entre os dispositivos da rede local LAN (*Local Area Network*). Os dispositivos responsáveis por tal função que são tratados neste artigo são os roteadores, em especial, os de uso residencial. Em geral, os roteadores estabelecem conexões em redes de computadores e executam a função de encaminhar os pacotes com informação. A conexão entre os dispositivos e os roteadores pode ocorrer de duas formas: com ou sem cabo.

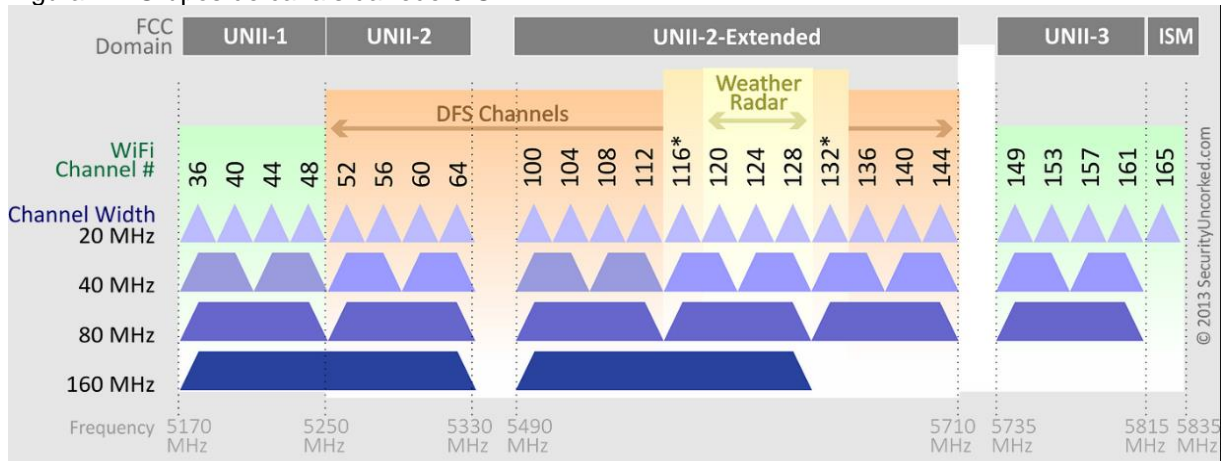
Nos últimos anos, as redes sem fio tornaram-se muito populares e cada vez mais as pessoas ficam dependentes desta tecnologia. Isso ocorre devido a sua facilidade, mobilidade e conveniência para os usuários. As redes *Wi-Fi* deixaram de ser apenas um complemento às redes com fio e se tornaram substitutas, pois com o avanço das tecnologias, passaram a ter excelente desempenho.

Para estabelecer a comunicação, os roteadores operam em frequências delimitadas por normas, cujo objetivo é organizar o espectro de forma eficiente e racional, evitando que determinadas faixas do espectro sofram interferências. Conforme a resolução nº 671 da Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações), as denominadas frequências ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), designadas para uso Industrial, Científico e Médico, não dependem de autorização e assumem frequências de 900 MHz, 2,4 GHz e 5 GHz. Os roteadores operam em frequências 2,4 GHz e 5 GHz, portanto não precisam de licença para transmitir, desde que obedeçam

aos limites de potência. No entanto, estas frequências estão sujeitas a interferências de outros equipamentos.

A frequência disponibilizada na rede 5 GHz começa em 5,170 GHz e termina em 5,835 GHz e é dividida em grupos menores, chamados UNII-1, UNII-2, UNII-3 e ISM. A Figura 1 mostra os canais e suas divisões.

Figura 1 – Grupos de canais da rede 5 GHz.



Fonte: Brito (2018)

A partir da Figura 1, é possível constatar que os grupos de canais UNII-2 e UNII-2-Extended se encontram na faixa de Seleção Dinâmica de Frequência ou DFS (*Dynamic Frequency Selection*). Em geral, estes canais operam nas mesmas frequências que determinados radares e podem ser utilizados desde que acatem as regulações.

### 1.1. Objetivos

A utilização destes canais pode otimizar o desempenho e a eficiência das redes *Wi-Fi*, visto que cada vez mais os ambientes ficam congestionados e complexos. Portanto entender os fundamentos das telecomunicações e a regulamentação é essencial para avaliar as vantagens e desvantagens do tema proposto.

### 1.2. Objetivos Gerais

Avaliar se a utilização da faixa de frequência em questão por roteadores pode trazer benefícios aos usuários. Para isso, é necessário compreender os fundamentos

teóricos e avaliar os requisitos impostos pelo órgão regulador para a utilização destas frequências.

### 1.3. Objetivos Específicos

- Verificar quais são estes canais e as condições para utilizá-los em roteadores residenciais.
- Avaliar quais são as possíveis interferências e como elas podem afetar a rede.
- Testar a influência no desempenho da rede, através de testes práticos.
- Definir as vantagens e desvantagens de sua utilização.

### 1.4. Definição da problemática

O espectro eletromagnético é um bem público e de fruição limitada. Com a crescente demanda por acesso a sistemas de acesso sem fio em banda larga, a disputa para transmitir informações no espectro fica cada vez mais acirrada. Os padrões de redes sem fio mais antigos permitiam a operação apenas na faixa de frequência de 2,4 GHz. Com a evolução tecnológica, a utilização da faixa de 5 GHz se tornou mais comum e abriu muitas possibilidades. No entanto, dentro desta faixa, há canais que são utilizados com menos frequência pois disputam o meio de transmissão com dispositivos que não podem sofrer interferência.

A utilização dos canais DFS é possível, desde que seja seguida uma série de regras, cujo objetivo é garantir que o roteador não gere interferência em outros dispositivos. Entender quais são os dispositivos que operam nesta frequência e os mecanismos que garantem ao roteador o funcionamento dentro da legalidade é importante, pois garantindo o bom funcionamento destes dispositivos, é possível utilizar o espectro de maneira mais eficiente, ampliando assim qualidade e velocidade nas redes *wireless* em algumas situações.

## 2. Canais DFS no contexto *Wi-Fi*

Esta seção aborda os princípios básicos de telecomunicações, aplicando-os no contexto dos roteadores e mostrará os canais DFS e suas particularidades.

## 2.1. O que é um roteador

O roteador é um dispositivo responsável por gerenciar o tráfego de uma rede LAN e fornecer a comunicação entre os usuários e outras redes. Para executar tal função, este pode se comunicar com os dispositivos através de cabos ou radiofrequência. Em alguns ambientes a utilização de cabos não é prática, se torna inviável e segundo Gast (2002), as redes *wireless* oferecem vantagens sobre as redes cabeadas como: flexibilidade, baixo custo em alguns casos e facilidade e velocidade de implantação. Portanto, é notável que as redes sem fio possuem muitas vantagens e por isso estão se tornando cada vez mais populares.

O padrão de redes locais sem fio é o 802.11 e ficou muito conhecido *como Wi-Fi*. Com o passar dos anos, este padrão evoluiu e foram aprimoradas características como velocidade, latência, técnicas de múltiplo acesso, quantidade de máxima dispositivos, protocolos de segurança, consumo de energia e dispositivos compatíveis. A Tabela 1 mostra características como frequências utilizadas e velocidade máxima em Mbps (*Megabits* por segundo) de cada protocolo.

Tabela 1 - Características dos padrões 802.11.

Padrão	Frequências utilizadas	Velocidade Máxima
802.11a	5 GHz	54 Mbps
802.11b	2,4 GHz	11 Mbps
802.11g	2,4 GHz	54 Mbps
802.11n ( <i>Wi-Fi 4</i> )	2,4 GHz e 5 GHz	600 Mbps
802.11ac ( <i>Wi-Fi 5</i> )	2,4 GHz e 5 GHz	6,9 Gbps
802.11ax ( <i>Wi-Fi 6</i> )	2,4 GHz e 5 GHz	9,6 Gbps
802.11ax ( <i>Wi-Fi 6e</i> )	2,4 GHz e 5 GHz e 6 GHz	9,6 Gbps
802.11be ( <i>Wi-Fi 7</i> )	2,4 GHz e 5 GHz e 6 GHz	46,1 Gbps

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 2.2. Frequências de operação

O espectro eletromagnético é utilizado por diversos equipamentos de telecomunicações. Para obedecer a utilização eficiente e econômica do espectro, os roteadores operam na faixa de aplicações para fins industriais, científicos e médicos. A faixa ISM varia dependendo da região, mas no Brasil inclui partes da banda de 900 MHz 2,4 GHz e 5 GHz.

### 2.2.1. Banda de 2,4 GHz (2,4 GHz – 2,5 GHz)

Os roteadores compartilham esta faixa do espectro com dispositivos como fornos de micro-ondas, telefones sem fio, dispositivos *Bluetooth*, entre outros. Devido à grande quantidade de dispositivos que utilizam esta região do espectro, há mais interferência. No Brasil, o espectro ISM 2,4 GHz foi disposto em 11 canais de 22 MHz.

### 2.2.2. Banda de 5 GHz (5 GHz – 5,825 GHz)

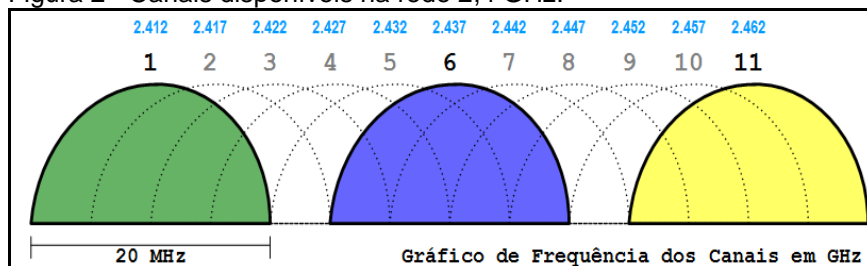
É comumente suportada por roteadores mais modernos. É dividida em subfaixas que proporcionam uma maior largura de banda, um maior número de canais e conseqüentemente menos interferência, se comparada com a rede 2,4 GHz.

## 2.3. Canais e Largura de Banda

De acordo com Medeiros (2007), o canal de rádio deve ser entendido como o segmento do espectro de frequências que é ocupado pela onda eletromagnética do emissor. Portanto o canal de operação do roteador determina a frequência na qual o mesmo transmite as informações. Os canais podem ser um fator determinante na qualidade da rede, pois alterando-o é possível evitar distúrbios e interferências de outros dispositivos.

A largura de banda é a extensão do espectro que está sendo utilizada pelo roteador, ou seja, é a largura do canal. Esta característica é responsável por determinar a medida da capacidade de transmissão do dispositivo, logo quanto maior a largura de banda, mais *bits* podem ser enviados ao mesmo tempo. A Figura 1, vista anteriormente, e a Figura 2, mostram os canais e as larguras de banda disponíveis na frequência de 5 GHz e 2,4 GHz, respectivamente.

Figura 2 - Canais disponíveis na rede 2,4 GHz.



Fonte: Brito (2018)

## 2.4. Interferências

Conforme Gast (2002), as redes *Wi-Fi* necessitam de um planejamento cuidadoso devido à natureza das ondas de rádio. Isso se deve pelo fato de que cada residência possui suas particularidades e diversos tipos de interferências podem estar presentes no ambiente ou surgir em eventos aleatórios. A propagação das ondas de rádio pode ser facilmente afetada por fatores do ambiente. A planta baixa e o material da construção ajudam a moldar a forma com que a onda se propaga no ambiente.

Além dos fatores do ambiente físico, o ambiente eletromagnético também influencia no comportamento dos dispositivos eletrônicos devido à emissão de EM (Energia Eletromagnética) por estes equipamentos e à sua suscetibilidade à EMI (Interferência Eletromagnética), conforme Sadiku (2018, p.732) afirma:

O ambiente eletromagnético consiste em vários aparelhos, como estações de transmissão de rádio e TV, radar e auxílios à navegação que irradiam energia EM quando operam. Todo dispositivo está suscetível à EMI. Sua influência pode ser vista ao nosso redor. Os resultados incluem "fantasmas" na recepção de imagens de TV, interferência de rádio de táxis com sistemas de polícia, interferência transitória de linhas de energia com computadores pessoais e auto-oscilação de um receptor de rádio ou circuito transmissor.

Outras redes influenciam, pois utilizam do mesmo meio para transmitir: o ar. Segundo a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios, o número de domicílios com acesso à *internet* no Brasil chegou a 90% em 2021, ou seja, em bairros residenciais com centenas de prédios, há grande chance de haver um alto número de roteadores utilizando o espectro. Apesar da variedade de canais disponíveis, a interferência dos canais adjacentes também influencia no comportamento das redes. Devido à largura de banda, quando um canal é selecionado, este sobrepõe os canais próximos, conforme observado na Figura 2.

## 2.5. Canais DFS (*Dynamic Frequency Selection*)

Os canais DFS ocupam as frequências entre 5.250 e 5.330 MHz e 5.490 a 5.710 MHz, são opções viáveis para utilização em ambiente residencial e geralmente são menos utilizados por roteadores, logo podem sofrer menos interferência. No entanto nestas frequências há dispositivos como radares que não podem disputar o meio de transmissão.

De acordo com o Plano Atribuição e Destinação de Faixas de Radiofrequências no Brasil (Resolução nº759 da Anatel), os serviços são listados em duas categorias: primários ou secundários. Os serviços primários são caracterizados pelo direito à proteção contra interferências prejudiciais, enquanto os serviços secundários não possuem esta garantia. Os sistemas *Wi-Fi* residenciais se enquadram nos serviços secundários, logo não podem interferir nos sistemas primários como os de rádio, navegação aérea e radares meteorológicos.

## **2.6. Especificações do dispositivo para utilizar os canais DFS**

A fim de assegurar que o roteador não cause interferências em dispositivos de caráter primário, alguns mecanismos devem ser implementados. A seguir, estes mecanismos são explicados, utilizando informações do Ato nº 14448 de 04 de dezembro de 2017 da Anatel, que define suas características de funcionamento.

### **2.6.1. *Transmit Power Control* (TPC)**

O *Transmit Power Control* (TPC) ou Controle de Potência de Transmissão é um mecanismo que define regras para a potência máxima de transmissão de forma dinâmica.

De acordo com o item 11.5, o fator de mitigação deve ser de pelo menos 3 dB (Decibel) e caso o transmissor não possua este mecanismo, a potência EIRP (Potência Isotrópica Radiada Efetiva) deve sofrer a seguinte alteração: “o valor médio da potência EIRP deverá estar limitado ao valor máximo permitido, reduzido em pelo menos 3 dB para os equipamentos operando nas faixas 5.150-5.350 MHz e 5.470-5.725 MHz.” (BRASIL, 2017).

### **2.6.2. *Dynamic Frequency Selection* (DFS)**

O Mecanismo de Seleção Dinâmica de Frequência é responsável por verificar no meio de transmissão se há algum rádio de caráter primário transmitindo naquele instante. Caso haja alguma transmissão, o roteador deve desocupar o canal dentro de um tempo determinado pela regulação. As características de operação deste mecanismo são definidas pelo item 11.6, citado a seguir:

[...]

11.6.1. O tempo de verificação da disponibilidade do canal deverá ser de 60 segundos e nenhuma transmissão deverá ser iniciada antes da verificação da disponibilidade do canal;

11.6.2. Após a verificação da disponibilidade do canal e tendo sido identificada sua ocupação, este canal estará sujeito a um período de não ocupação de 30 minutos;

11.6.3. Para os equipamentos operando com máxima EIRP menor que 200 mW, o mecanismo DFS deverá ser capaz de detectar sinais interferentes acima do limiar de -62 dBm, calculado durante um intervalo médio de 1 microssegundo;

11.6.4. Para os equipamentos operando com EIRP entre 200 mW (23 dBm) e o valor máximo permitido, o mecanismo DFS deverá ser capaz de detectar sinais interferentes acima do limiar de -64 dBm, calculado durante um intervalo médio de 1 microssegundo.

11.6.5. Caso seja detectado um sinal interferente com valor acima do limiar de detecção do DFS, todas as transmissões no respectivo canal devem cessar dentro de 10 segundos;

11.6.6. Admite-se o uso de mecanismo DFS na faixa 5.150-5.250 MHz, entretanto o uso deste mecanismo não é obrigatório nesta faixa. (BRASIL, 2017, p.15).

## **2.7. Vantagens e desvantagens da utilização dos canais DFS**

O fato de possuir certas restrições de uso faz com que muitos modelos de roteadores disponíveis no mercado brasileiro não utilizem estas frequências, por isso esta faixa do espectro pode possuir menos interferência de redes *Wi-Fi*. Com o objetivo de verificar esta afirmação, foram realizados testes de desempenho em ambiente real, comparando a utilização de diferentes canais. Mesmo que já existam outros dispositivos já utilizando a faixa de canais DFS, caso roteador seja compatível com estes canais, também é vantajoso, pois este ainda tem uma maior gama de opções para a utilização do espectro.

No entanto, é necessário observar que em determinados ambientes, próximos a aeroportos por exemplo, há possibilidade de o roteador parar a transmissão ou reduzir o valor de potência para liberar o espectro dentro da faixa de canais DFS devido a existência de radares nestes locais. Isso pode impactar diretamente a experiência do usuário, pois podem ocorrer quedas na rede ou na conexão do

dispositivo, ocasionando em travamentos em *streamings*, quedas em serviços e lentidão na navegação.

Portanto, é necessário avaliar as condições do espectro antes de utilizar estes canais, pois em determinadas situações, pode melhorar significativamente ou ocasionar instabilidades na rede.

### 3. Metodologia

A pesquisa pode ser considerada experimental, pois são estudadas as causas e efeitos do tema proposto. De acordo com Prodanov e Freitas (2013), neste tipo de pesquisa, o pesquisador utiliza aparelhos, instrumentos de precisão e do local para estudar as causas e efeitos da pesquisa. Com o objetivo de verificar se é vantajoso utilizar os canais DFS em ambientes residenciais, podem ser realizados alguns testes para aferir o desempenho na rede. No entanto, é importante observar que por estes testes serem executados em ambientes residenciais, ou seja, simulando a aplicação real, pode haver variações devido às interferências citadas ao longo do artigo.

A partir dos estudos realizados, foi preparado um cenário de teste de performance que consiste em um roteador *Wi-Fi* da marca *Huawei*, de tecnologia AX (*Wi-Fi 6*) e um *smartphone* compatível com a tecnologia AX. Para o teste de performance foi utilizado o *software WiFiman*, versão 2.2.0. O comparativo foi feito entre os canais 36, 56, 100, 120, 132 e 149, sempre utilizando a maior largura de banda suportada pelo roteador, que é 80 MHz. Deste modo é possível verificar o comportamento da rede em todas as faixas de frequência.

O teste de velocidade disponibilizado pelo *software WiFiman* mede o *ping* (intervalo de tempo entre a saída do pacote da máquina e o retorno), velocidade de *download* e de *upload* da conexão com a *internet*. É importante destacar que este teste consiste em aferir a velocidade da rede de acordo com o plano de *internet* contratado (400 Mbps de *download* e 200 Mbps de *upload*). Apesar desta limitação, o teste é válido para verificar o desempenho da rede e é amplamente utilizado, visto que existem diversos *softwares* e *sites* que disponibilizam esta funcionalidade.

Os testes com cada canal foram realizados em 3 condições diferentes. O primeiro teste de desempenho foi realizado em uma distância de 2 metros do roteador, sem obstruções, em visada. O segundo teste foi realizado a uma distância de 6 metros, com alguns obstáculos, mas ainda com visada. Já o terceiro teste foi realizado

a uma distância de 12 metros, com uma parede entre o *smartphone* e o roteador. Deste modo foi possível avaliar a performance da rede, variando o nível de sinal da conexão.

A partir dos resultados obtidos, é possível realizar uma análise comparativa entre o desempenho da rede nos diferentes canais de operação na residência onde foi realizado o teste. A residência em questão é localizada em um bairro residencial, onde não há aeroportos próximos, sistemas meteorológicos ou outros tipos de radares que podem dificultar ou impossibilitar a utilização dos canais DFS.

## **4. Desenvolvimento**

A partir dos conceitos citados inicialmente sobre as tecnologias *wireless*, foi possível entender o que são os canais DFS e verificar que existem vantagens e desvantagens sobre a utilização dos mesmos. Como parte do objetivo do artigo é testar a influência no desempenho da rede, foi montado um cenário de testes práticos, que permitiu compreender melhor os detalhes sobre o uso destes canais na residência.

A residência utilizada no teste tem área de 95 m<sup>2</sup>, e foram feitos testes de velocidade em diferentes cômodos, para validar a performance da rede com diferentes níveis de sinal. Por ser um cenário de testes em um ambiente real, a conexão está exposta a interferências eletromagnéticas, de outras redes, equipamentos e até mesmo dos rádios de caráter primário vistos anteriormente.

### **4.1. Materiais utilizados**

4.1.1. Roteador *Huawei AX2*

4.1.2. *Smartphone Samsung Galaxy S22+*

4.1.3. *Software WiFiman*

### **4.2. Software WiFiman**

O *software WiFiman* é uma ferramenta gratuita que pode ser utilizada para medir o desempenho da rede. Ao iniciar um teste de desempenho, espera-se obter valores de latência, velocidade de *Download* e *Upload* em Mbps. O *software* também

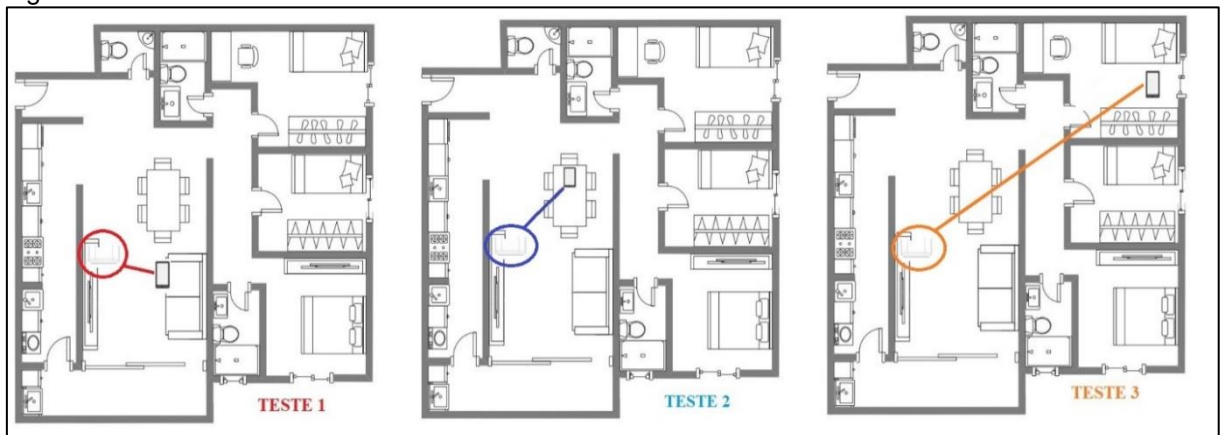
permite fazer uma varredura da rede, onde são mostradas todas as redes que o dispositivo encontra naquele ambiente.

### 4.3. Procedimento das medições

O cenário real possui características citadas anteriormente que podem mascarar os resultados obtidos. Com o intuito de obter valores mais confiáveis, foram realizadas três medições seguidas e o valor levado em consideração para o comparativo é a média aritmética dos valores registrados.

Além das medições repetidas, foram realizados testes em diferentes cômodos da residência, validando assim o desempenho da rede com diferentes níveis de sinal. A Figura 3 mostra a localização dos testes 1, 2 e 3.

Figura 3 – Cenários de teste.



Fonte: Elaborado pelo autor.

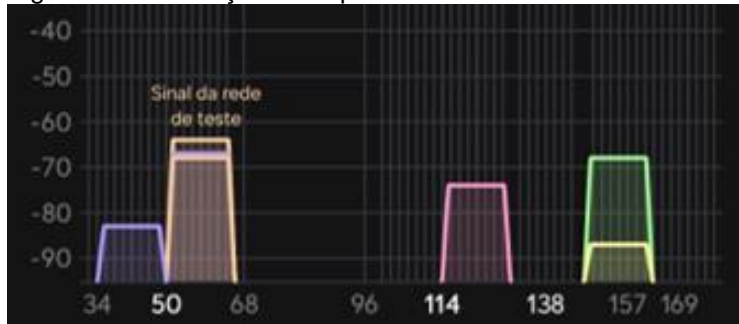
Primeiramente foi feita a configuração do roteador, selecionando o canal e a largura de banda e então as medições 1, 2 e 3 em cada cômodo foram realizadas em sequência. A tabela 2 mostra o canal, os testes 1, 2 e 3, suas respectivas medições e na última linha, suas respectivas médias.

## 5. Resultados obtidos

Ao longo deste tópico são apresentadas algumas informações relacionadas ao espectro durante a execução dos testes e os dados de *performance* coletados da rede. Na figura 4 é uma captura de tela do *smartphone* durante a execução do *software*

*WiFiman*, onde é possível observar informações como faixa de frequência ocupada pelo roteador e intensidade de sinal recebida pelo *smartphone*.

Figura 4 – Verificação do espectro no *software WiFiman*



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a análise da Figura 4, é possível constatar que existem outras redes *Wi-Fi* no ambiente de testes. Nos canais DFS, observa-se que existia apenas uma rede entre os canais 114 e 138 e que no restante desta faixa não havia a presença de transmissões. Desse modo, esperava-se que nestes canais o desempenho fosse melhor, diferente dos canais mais disputados, onde o desempenho tendia a ser mais afetado.

### 5.1. Resultados dos testes

As tabelas 2, 3, 4, 5, 6 e 7 mostram os resultados de todas as medições e seus respectivos valores médios. Ao final da exposição destes dados, as Figuras 5 e 6 mostram os valores médios de *download* e *upload* em todos os testes realizados em forma de gráfico, facilitando assim a visualização dos resultados finais para fins comparativos. As medidas de *ping* foram realizadas sempre enviando informações para o mesmo servidor e em todos os momentos se demonstraram estáveis, variando entre 16 ms e 24 ms.

Tabela 2 – Valores obtidos no canal 36 e suas respectivas médias.

Canal 36	Teste 1		Teste 2		Teste 3	
	<i>Download</i>	<i>Upload</i>	<i>Download</i>	<i>Upload</i>	<i>Download</i>	<i>Upload</i>
Medição 1	324	140,9	331,5	144,5	113	118,7
Medição 2	331,3	135	304	144,8	110,6	114,3
Medição 3	339,7	139,3	297,9	145,1	95,5	119,7
Média	331,6	138,4	311,3	144,8	106,3	117,5

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 3 – Valores obtidos no canal 56 e suas respectivas médias.

Canal 56	Teste 1		Teste 2		Teste 3	
	<i>Download</i>	<i>Upload</i>	<i>Download</i>	<i>Upload</i>	<i>Download</i>	<i>Upload</i>
Medição 1	319,8	144,3	329,8	143,2	54,8	58,8
Medição 2	359,6	138,3	336,3	142	57,2	57,7
Medição 3	309,7	145,1	334,8	145,8	81,1	80
Média	329,7	142,5	333,6	143,6	64,6	65,5

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4 – Valores obtidos no canal 100 e suas respectivas médias.

Canal 100	Teste 1		Teste 2		Teste 3	
	<i>Download</i>	<i>Upload</i>	<i>Download</i>	<i>Upload</i>	<i>Download</i>	<i>Upload</i>
Medição 1	347,7	145,9	357,1	144,1	163	130,8
Medição 2	326	145,4	302,3	143,2	177,4	149
Medição 3	333,6	142,1	315,5	140,7	144,3	128,8
Média	335,7	144,4	324,9	144,7	161,2	136,2

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5 – Valores obtidos no canal 120 e suas respectivas médias.

Canal 120	Teste 1		Teste 2		Teste 3	
	<i>Download</i>	<i>Upload</i>	<i>Download</i>	<i>Upload</i>	<i>Download</i>	<i>Upload</i>
Medição 1	352,6	142,7	332,6	147	150,6	133,6
Medição 2	332,6	147	322,2	140,3	160,3	128,4
Medição 3	346,6	149,1	337,9	140,6	151,1	120,5
Média	343,9	146,2	330,9	142,6	154	127,5

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 6 – Valores obtidos no canal 132 e suas respectivas médias.

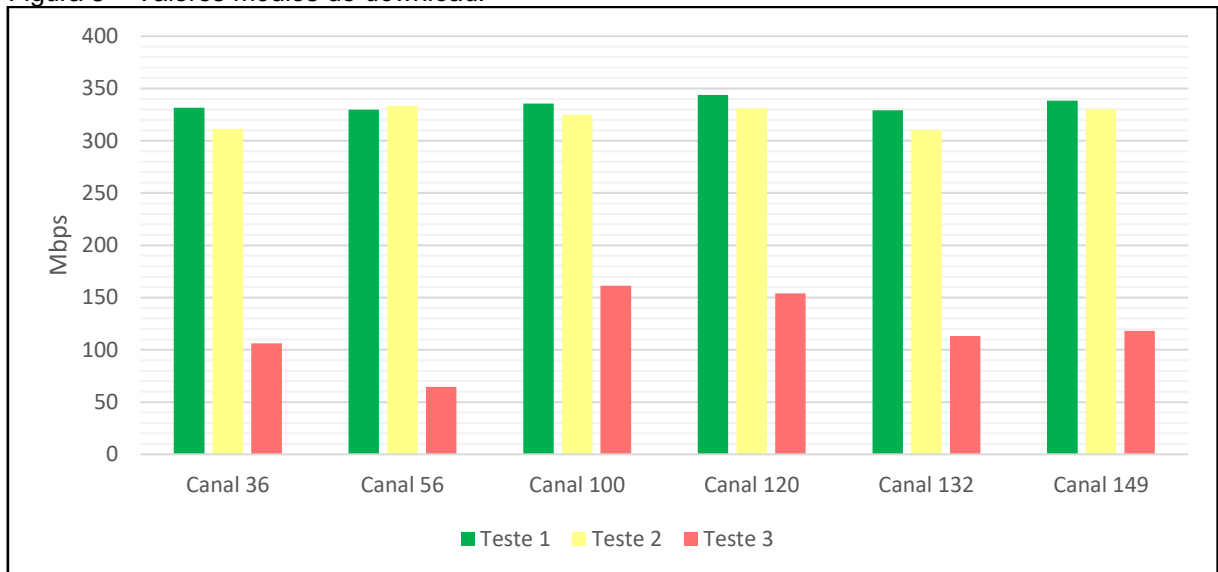
Canal 132	Teste 1		Teste 2		Teste 3	
	<i>Download</i>	<i>Upload</i>	<i>Download</i>	<i>Upload</i>	<i>Download</i>	<i>Upload</i>
Medição 1	335	144,4	303	144,5	108,2	101,2
Medição 2	327,8	139,8	298,6	147,7	113,3	97,8
Medição 3	325,3	141,7	328,7	141,5	118	113
Média	329,3	141,8	310,1	144,5	113,1	104

Fonte: Elaborado pelo autor.

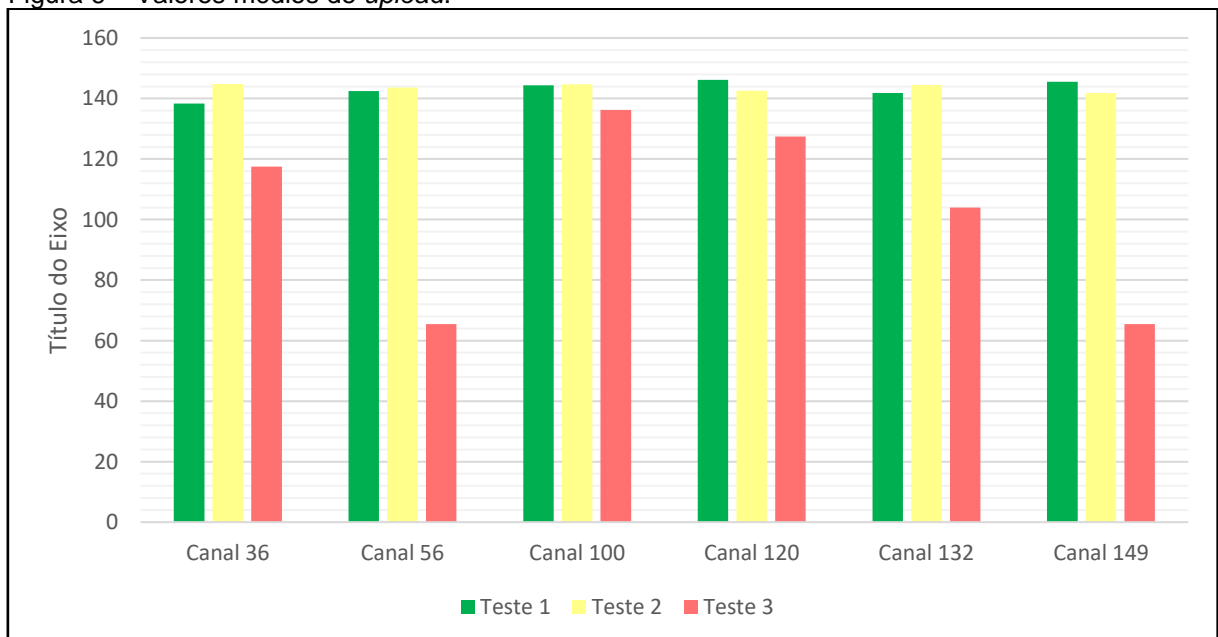
Tabela 7 – Valores obtidos no canal 149 e suas respectivas médias.

Canal 149	Teste 1		Teste 2		Teste 3	
	<i>Download</i>	<i>Upload</i>	<i>Download</i>	<i>Upload</i>	<i>Download</i>	<i>Upload</i>
Medição 1	324,5	146,2	321	142,7	117,4	75,8
Medição 2	347,6	147,7	328,7	142,3	128,6	61,5
Medição 3	342,5	142,8	341,1	140,4	108,4	58,2
Média	338,2	145,5	330,2	141,8	118,1	65,1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5 – Valores médios de *download*.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 6 – Valores médios de *upload*.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nos resultados obtidos, é possível verificar que os durante os testes, os dados mantiveram-se contantes, demonstrando que a rede possui um bom nível de estabilidade. Também é possível verificar que os valores medidos nos canais com ausência ou baixa quantidade de redes disputando o meio de comunicação, os resultados foram melhores, conforme o esperado.

## 5.2 – Adversidades superadas

Por ser uma tecnologia que depende de diversos fatores, os testes precisaram ser realizados em momentos em que não existiam mais dispositivos conectados na rede, pois os resultados poderiam ser afetados já que o tráfego de dados se dividiria. Outro fator a ser levado em consideração é que o desempenho da rede depende de fatores relacionados à infraestrutura do provedor, mas esta variável não afetou de forma significativa os testes, pois as variações encontradas nos resultados condizem com as condições do espectro.

Para realizar testes que extraem o máximo do roteador, deve-se testar o produto em um ambiente controlado, como uma *shielding box*, que é um equipamento que blinda quaisquer ruídos em seu interior. Neste cenário, poderia ser executado um *software* para gerar um tráfego com o máximo de dados que o roteador suporta. Porém neste do cenário ideal, as diferenças seriam mínimas e todos os canais teriam um desempenho similar. No entanto, o objetivo dos testes era realizar as medições em um ambiente real, para verificar o comportamento da rede em um ambiente residencial, mesmo tendo em vista que existem diversos fatores que podem afetar o teste.

## 6. Considerações Finais

Os canais DFS portanto fazem parte da banda de 5 GHz que possui algumas restrições. Apesar disso, através de mecanismos e implementações de *software*, a legislação permite a utilização destes canais em ambientes residenciais. As exigências impostas pelo órgão regulador são importantes pois organizam o espectro, não deixando com que determinados equipamentos sofram interferências.

Por meio da realização de testes em cenário real, ou seja, em uma residência propensa a interferências e outras situações que podem interferir no funcionamento

de sistemas *Wi-Fi*, foi possível fazer uma análise sobre a utilização destes canais. A residência onde foram realizados os testes se apresentou como um cenário favorável para a utilização dos canais DFS, pois durante o teste foi possível transmitir informações nestes os canais sem interrupções. Além disso, conforme mostrado na Figura 4, a única região do espectro que se encontrava sem redes *Wi-Fi* estava localizada na faixa DFS. Dessa forma, a partir da realização dos testes foram obtidos valores positivos, onde foi possível observar uma diferença considerável nos valores de *download* e *upload* da rede, principalmente a medida em que o usuário se afasta do roteador, pois o nível de ruído é muito menor quando comparado com a utilização do restante da banda de 5 GHz.

É importante destacar que cada ambiente possui suas particularidades como obstáculos e interferências eletromagnéticas que refletem diretamente nos resultados dos testes, o que torna a análise válida somente para o ambiente em questão. Porém, essa realidade pode se aplicar para diversos outros cenários, permitindo que melhores resultados sejam alcançados.

Existem também situações e locais onde o uso dos canais DFS pode não ser adequado. Locais próximos a instalações com radares, por exemplo, a utilização destes canais pode não ser aconselhada, levando em conta as interrupções na rede que podem ser causadas. Existem também ambientes onde esta região do espectro é mais utilizada, logo o desempenho da rede deve ser afetado. É importante também verificar se os dispositivos são compatíveis com estas frequências, visto que dispositivos mais antigos ou menos avançados podem não suportar estes canais.

Portanto, não há de fato um canal melhor na rede 5 GHz. Em geral, o desempenho da rede depende do ambiente suas características. Os canais DFS podem ser utilizados desde que a legislação seja seguida, pois permitem a gestão mais inteligente do espectro. Esses canais podem abrir uma maior gama de escolha para o usuário do roteador, possibilitando algumas vantagens quando utilizados em alguns ambientes e desvantagens quando utilizado em outros.

## Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. **ATO N° 14448**: REQUISITOS TÉCNICOS PARA A AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE DE EQUIPAMENTOS DE RADIOCOMUNICAÇÃO DE RADIAÇÃO RESTRITA. Brasil. 2017. Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/atos-de-certificacao-de-produtos/2017/1139-ato-14448>. Acesso em: 21 nov. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. **RESOLUÇÃO N° 671**: REGULAMENTO DE USO DO ESPECTRO DE RADIOFREQUÊNCIAS. Brasil. 2016. Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2016/911-resolu%C3%A7%C3%A3o-671>. Acesso em: 12 out. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. **RESOLUÇÃO N°759**: PLANO DE ATRIBUIÇÃO, DESTINAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE FAIXAS DE FREQUÊNCIAS NO BRASIL. Brasil. 2023. Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2023/1834-resolucao-759>. Acesso em: 12 nov. 2023.

Brasil. **90% dos lares brasileiros já tem acesso à internet no Brasil, aponta pesquisa**: segundo a pesquisa nacional por amostra de domicílios, isso significa 65,6 milhões de domicílios conectados, portanto, 5,8 milhões a mais do que em 2019. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/casacivil/pt-br/assuntos/noticias/2022/setembro/90-dos-lares-brasileiros-ja-tem-acesso-a-internet-no-brasil-aponta-pesquisa>. Acesso em: 15 nov. 2023.

BRITO, Samuel Henrique Bucke. **Planejamento de Canais em Redes Wi-Fi: Como Fazer?** 2018. Disponível em: <https://medium.com/ubntbr/planejamento-de-canais-em-wlan-wifi-como-fazer-673233cccc6f>. Acesso em: 20 out. 2023.

GAST, Matthew S.. **802.11 Wireless Networks**: the definitive guide. 2. ed. Asdasd: O'Reilly, 2005. 464 p.

KUROSE, James F.; ROSS, Keith W.. **Computer Networking**: a top-down approach. 7. ed. England: Pearson Education, 2017. 852 p.

MEDEIROS, Júlio Cesar de Oliveira. **Princípios de Telecomunicações: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2007. 316 p

SADIKU, Matthew N. O. **Elements of Electromagnetics**. 7. ed. New York: Oxford University Press, 2018. 895 p

TANENBAUM, Andrew S.; WETHERALL, David. **Redes de Computadores**. 5. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2011. 582 p.