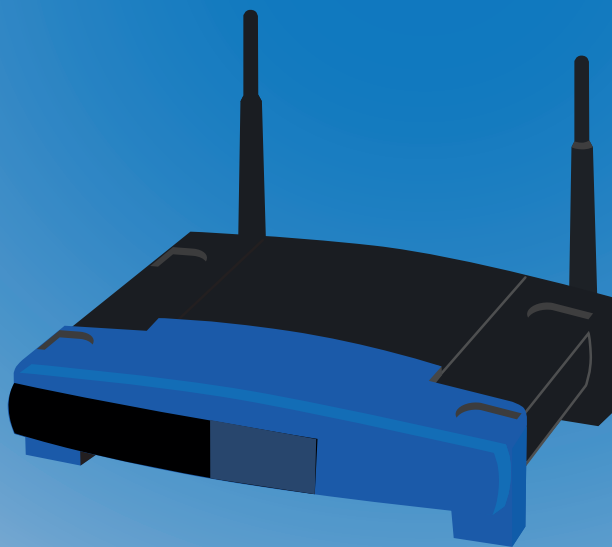


GABRIEL TORRES

REDES Wi-Fi



Clube do Hardware

GABRIEL TORRES

REDES **Wi-Fi**

*Clube **do** Hardware*

Copyright © 2020 Gabriel Torres
Copyright © 2020 Clube do Hardware

Projeto gráfico	Clube do Hardware
Ilustrações	Ingo Bertelli
Editoração Eletrônica	SF Editorial
Revisão Ortográfica	Jéssica Brandet Alves

REDES WI-FI

Versão 31/08/2020

Gabriel Torres

ISBN 978-65-992225-0-4

Nenhuma parte deste livro poderá ser reproduzida sem a autorização prévia e por escrito do autor Gabriel Torres.

Apesar de toda a atenção, erros de digitação não são descartados. Caso encontre algum erro neste livro, por favor, entre em contato conosco pelo e-mail webmaster@clubedohardware.com.br para que possamos verificar e, eventualmente, corrigir o livro.

O autor Gabriel Torres se isenta de quaisquer responsabilidades por eventuais perdas ou danos a pessoas ou bens por uso deste livro.

Não fornecemos suporte técnico ou garantia técnica de qualquer tipo, tampouco a leitura desta obra dá direito a qualquer tipo de certificação. Ao adquirir o seu exemplar deste livro, você concorda com estes termos. Dúvidas sobre qualquer assunto abordado neste livro devem ser dirigidas em <https://www.clubedohardware.com.br/forums>, onde serão respondidas por membros de nossa comunidade.

Sobre o Autor

Gabriel Torres é um dos mais conhecidos especialistas brasileiros em hardware e redes de computadores, com mais de 25 livros publicados e curso online na área.

É fundador e editor executivo de uma das maiores, mais antigas e mais respeitadas comunidades sobre informática, redes e tecnologia do Brasil - o [*Clube do Hardware*](#) - que recebe a visita mensal de mais de cinco milhões de usuários.

Foi colunista do caderno de informática do jornal O DIA (RJ) durante quase 11 anos (1996-2007). Em 2001, e novamente em 2003, a Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro (ALERJ) homenageou as empresas que mais ajudaram o desenvolvimento da informática no Estado do Rio de Janeiro. No segmento de mídia, o jornal O DIA foi homenageado, com moção especial a Gabriel Torres “pelos inestimáveis serviços prestados à informática brasileira”.

Apresentação

Este ebook é uma pequena amostra grátis do meu livro “[Redes de Computadores – Versão Revisada e Atualizada – 2ª Edição](#)”, contendo um resumo sobre o funcionamento básico de redes Wi-Fi. As informações aqui contidas são de grande valia tanto para usuários e estudantes, quanto para profissionais experientes.

Espero que você faça bom proveito deste conteúdo!

Sumário

Sobre o Autor	4
Apresentação	5
Introdução	8
Arquitetura de Redes Wi-Fi	8
Serviços de Estação	11
Serviços de Distribuição	11
Criptografia	12
Segurança	13
Uso do Espectro Eletromagnético	14
Uso da Faixa de 2,4 GHz	14
Características da Faixa de 2,4 GHz	16
Uso da Faixa de 5 GHz	17
Características da Faixa de 5 GHz	18
Protocolos	19
O Próximo Passo	23

REDES Wi-Fi



Introdução

Existem várias tecnologias para se montar uma rede sem fio, sendo o padrão IEEE 802.11 o mais popular. Este padrão é também conhecido como Wi-Fi, mas é importante saber que Wi-Fi e IEEE 802.11 não são a mesma coisa. Wi-Fi é uma marca registrada da [Aliança Wi-Fi](#), um grupo formado por diversos fabricantes. Para um equipamento ter o direito de ser chamado Wi-Fi ele tem de ter passado pelo processo de certificação deste grupo. Sendo assim, todo equipamento Wi-Fi é IEEE 802.11, mas nem todo equipamento IEEE 802.11 é Wi-Fi. Deixando esta questão semântica de lado, na prática todos acabam usando os termos “Wi-Fi”, “IEEE 802.11”, “sem fio” e “wireless” como sinônimos.

Arquitetura de Redes Wi-Fi

Para que possamos nos aprofundar na explicação do protocolo IEEE 802.11 precisamos antes explicar conceitos básicos de como redes sem fio Wi-Fi operam.

Há três modos de operação em redes Wi-Fi:

◆ **Ad-hoc:** usado para conectar um pequeno número de computadores por meio de transmissão sem fio, sem o uso de um periférico chamado ponto de acesso. É possível trocar dados e compartilhar recursos (como impressoras) entre esses computadores, mas para acessar a uma rede maior (como a rede da sua empresa ou à Internet) pelo menos um deles tem de ter este acesso e compartilhá-lo com os demais computadores da rede ad-hoc. Este acesso a uma rede maior pode ser feito por meio da ligação de um cabo ou via conexão sem fio, usando um dos outros métodos descritos a seguir.



Figura 1: Rede ad-hoc.

◆ **BSS (Basic Service Set):** neste modo de operação, a rede sem fio é comandada por um periférico chamado ponto de acesso (frequentemente abreviado AP, Access Point; modelos voltados para usuários caseiros e pequenas empresas são mais conhecidos como “roteadores de banda larga”). Para que os computadores que estão na rede sem fio possam acessar uma rede maior (rede da empresa ou à Internet), o ponto de acesso precisa estar conectado à rede da empresa e/ou à Internet através de cabos. Quando isto ocorre, o nome do modo de operação passa a ser IBSS (Infrastructure Basic Service Set). Este é o modo de operação usado em redes caseiras e redes de pequenas empresas. Neste modo de operação, a rede recebe um SSID (Service Set ID) que consiste em um nome configurado pelo administrador da rede. Em um computador com interface de rede sem fio, precisamos selecionar a rede a qual queremos nos conectar: o nome da rede que aparece na lista de redes disponíveis é o seu SSID. Redes BSS também recebem um identificador aleatório de 48 bits (seis bytes) usando o mesmo formato de endereços MAC, chamado BSSID.

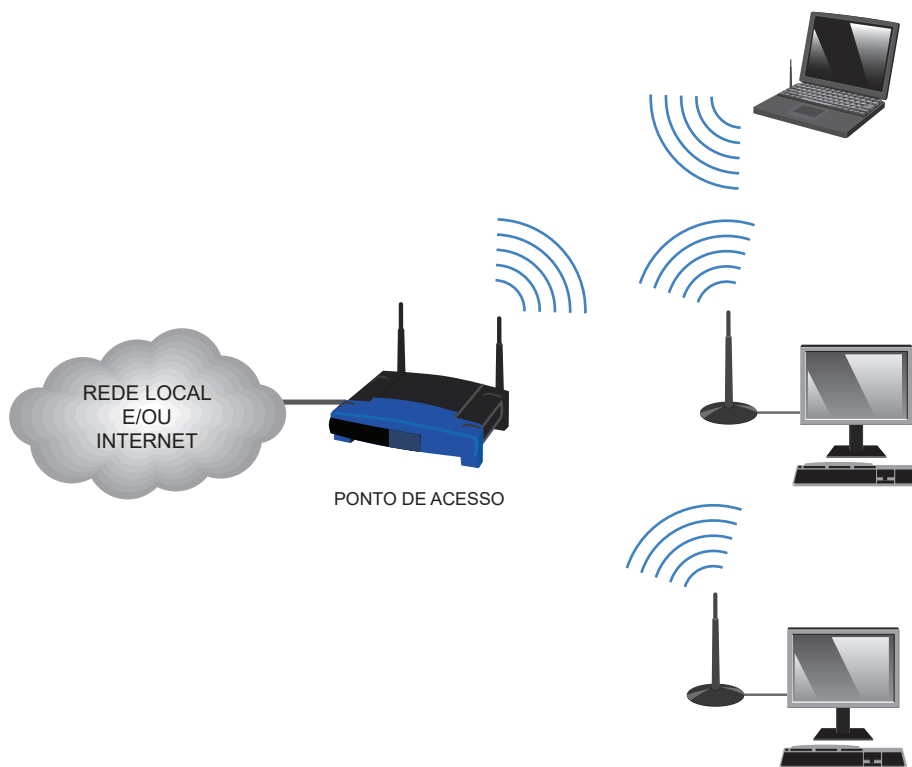


Figura 2: Rede IBSS.

◆ **ESS (Extended Service Set):** neste modo de operação são usados vários pontos de acesso formando uma rede maior com o mesmo SSID, permitindo que o usuário mantenha a sua conectividade com a rede quando está em trânsito, saindo do al-

cance de um ponto de acesso e entrando no alcance de outro. Note que a simples instalação de vários pontos de acesso em um ambiente não torna a rede ESS, pois cada um deles criará uma rede individual usando um SSID diferente e, neste caso, os usuários perderão a conectividade com a rede quando estiverem em trânsito e passarão a ficar fora de alcance do ponto de acesso ao qual estavam conectados, mesmo que haja sinal de outro ponto de acesso nesta nova localização. No projeto de redes ESS é necessário que haja uma interseção de pelo menos 10% na área de cobertura dos pontos de acesso. Este é o modo de operação usado quando precisamos de uma rede com grande área de cobertura, onde há necessidade de locomoção dos usuários sem perda da conexão. Vale ressaltar que redes ESS funcionam de maneira similar à rede de telefonia celular (no caso dos telefones celulares a área de cobertura de cada antena é chamada célula e você pode migrar de uma célula para a outra sem a perda da conexão).

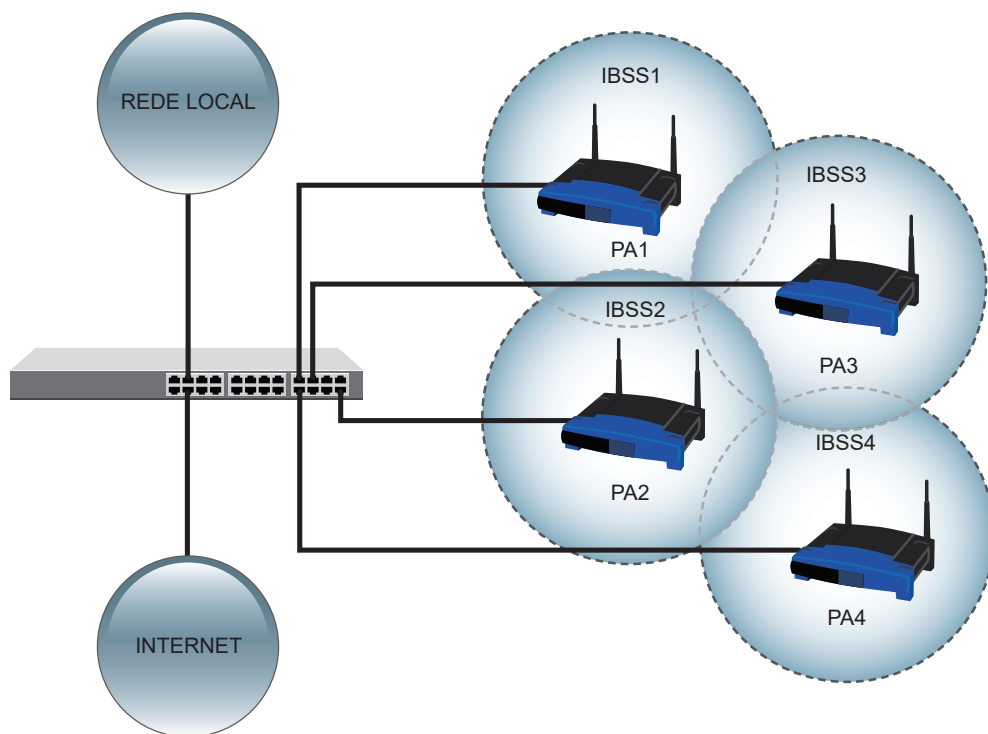


Figura 3: Rede ESS.

Em redes Wi-Fi, qualquer periférico contendo uma interface de rede sem fio é chamado estação. Isso inclui computadores, smartphones e periféricos que possuam essa interface (por exemplo, uma TV “smart” ou uma impressora com recurso de rede sem fio).

O sistema de distribuição é o caminho usado por pontos de acesso para trocarem informações como, por exemplo, enviar um pacote de dados que tenha partido de uma BSS, que tenha como destino outra BSS (ver Figura 3), trocar informações para manter o usuário conectado quando ele move de uma BSS para outra e para encaminhar pacotes que tenham como destino a rede usando cabos ou a Internet. Nos exemplos dados nas Figuras 2 e 3, o sistema de distribuição empregado usa cabos, porém é possível usar comunicação sem fio para fazer a comunicação entre pontos de acesso.

Serviços de Estação

O padrão IEEE 802.11 define alguns serviços disponíveis para as estações. Eles são:

- ◆ **Autenticação:** para permitir ou impedir computadores a terem acesso à rede sem fio. A autenticação pode ser do tipo aberta, em que não é necessário o uso de uma chave criptográfica (“senha”); ou por chave compartilhada, em que, quem quiser ter acesso à rede, precisa conhecer a chave criptográfica dela. Neste caso, um sistema de criptografia precisa estar ativado.
- ◆ **Desautenticação:** feito quando uma estação pretende se desconectar da rede sem fio.
- ◆ **Privacidade:** serviço para proteção de dados por meio da criptografia deles. Este serviço é essencial, pois em uma rede sem fio que não possua criptografia qualquer computador pode “escutar” os quadros de dados sendo trafegados no ar, podendo, assim, ter acesso às informações ali contidas por meio de um programa para visualização de quadros de dados (*sniffer*).
- ◆ **Entrega de dados:** motivo pelo qual montamos redes, ou seja, enviar dados de uma estação para outra.

Serviços de Distribuição

Esses serviços estão disponíveis para os pontos de acesso da rede sem fio:

- ◆ **Associação:** usado para fazer a ligação lógica entre uma estação e um ponto de acesso. Primeiro, cada estação precisa estar associada a um ponto de acesso para poder acessar a rede e seus recursos. Cada estação pode se associar a apenas um desses pontos, mas o ponto de acesso pode ser associado a várias estações. Este serviço normalmente é feito quando um computador “entra” na rede.
- ◆ **Desassociação:** este tipo de pedido pode ser feito tanto por estações quanto por pontos de acesso. Por exemplo, um ponto de acesso pode desassociar uma estação caso ela esteja enfrentando problemas de tráfego ou quando o administrador da

rede está removendo o ponto dela por motivos de manutenção. Estações podem se desassociar de um ponto de acesso quando o usuário quer “sair” da rede.

◆ **Reassociação:** este serviço permite a uma estação mover de um ponto de acesso para outro dentro de uma rede ESS, desassociando-se do ponto de acesso anterior e associando-se ao novo ponto de acesso, sem perda de conectividade. Com a reassociação, quadros que forem mandados para o ponto de acesso antigo com destino à estação que está se reassociando serão encaminhados para o novo ponto de acesso, para que não haja perda de quadros.

◆ **Distribuição:** o serviço de distribuição permite que estações acessem o sistema de distribuição da rede, de forma a ter acesso a outros pontos de acesso e estações.

◆ **Integração:** este serviço permite a conexão de redes Wi-Fi a outras redes, fazendo a tradução de quadros IEEE 802.11 em quadros usando o formato da outra rede.

Criptografia

Como em redes Wi-Fi qualquer dispositivo que esteja no alcance do ponto de acesso pode acessar os quadros de dados sendo transmitidos, a criptografia é essencial para que ninguém capture informações da sua rede ou utilize recursos oferecidos, como o acesso à Internet.

Importante notar que os dados são criptografados somente na comunicação das estações ao ponto de acesso. Se o destino for um endereço localizado fora da rede sem fio, ao chegar ao ponto de acesso os dados são decodificados e seguem sem criptografia ao seu destino, já que outros tipos de rede, como a Ethernet, não usam criptografia.

Vamos explicar rapidamente o funcionamento básico de criptografia, para isso usaremos o algoritmo RSA, que é bastante didático. Neste algoritmo, são criadas duas chaves criptográficas: uma pública (responsável pela criptografia dos dados) e uma privada (responsável pela descryptografia dos dados). Tais chaves são geradas pelo dispositivo receptor, sendo a chave pública divulgada para todos os dispositivos que queiram transmitir dados ao receptor, enquanto que a chave privada somente o receptor tem acesso.

Quando A quer mandar uma mensagem cifrada para B, ele codifica esta mensagem usando a chave pública de B. Quando B recebe esta mensagem, ele usa sua chave privada para abri-la, ou seja, decodificá-la. Como somente quem tem a chave privada pode “abrir” (decodificar) a mensagem, alguém que roube os dados não terá acesso a eles, mesmo que ele conheça a chave pública, pois ela só permite a codificação da mensagem e não a sua decodificação, e não é possível gerar a chave privada a partir da chave pública.

É importante notar que, quando a rede Wi-Fi está com criptografia ativada, a chave criptográfica nunca circula na rede: ela é configurada individualmente no ponto

de acesso e nas estações. Durante o processo de autenticação, a estação manda um quadro de autenticação ao ponto de acesso. O ponto de acesso envia então um quadro de autenticação à estação contendo um texto de verificação. A estação tem de então criptografar este texto, usando a chave criptográfica que foi configurada e enviá-lo ao ponto de acesso usando um quadro de autenticação. O ponto de acesso decodifica o texto enviado e compara com o texto original, enviando um quadro de autenticação aceitando-a ou negando-a, dependendo se os textos “bateram” ou não. Como é possível notar, em momento algum a estação ou o ponto de acesso transfere a chave criptográfica na rede.

Ao se habilitar criptografia em uma rede Wi-Fi, a chave é criada a partir de uma senha que se deve configurar no ponto de acesso e nas estações por meio de um algoritmo matemático. Assim, a “senha” configurada no ponto de acesso e nas estações na realidade não é a chave criptográfica que é de fato usada.

Os principais protocolos criptográficos que podem ser usados em redes Wi-Fi são os seguintes:

- ◆ **WEP (Wired Equivalent Privacy):** não deve ser usado, pois é um protocolo cuja segurança já foi quebrada.
- ◆ **WPA (Wi-Fi Protected Access):** não deve ser usado, pois é um protocolo cuja segurança já foi quebrada.
- ◆ **WPA2 (Wi-Fi Protected Access 2):** só deve ser usado caso o ponto de acesso e as estações não tenham WPA3.
- ◆ **WPA3 (Wi-Fi Protected Access 3):** é o algoritmo mais forte no momento e que deve ser utilizado.

Os protocolos WPA estão disponíveis em duas variantes:

- ◆ **Personal:** usado em pequenas redes.
- ◆ **Enterprise:** usado em redes corporativas, fazendo uso de um servidor de autenticação RADIUS.

Segurança

Além de habilitar criptografia, outro cuidado importante deve ser tomado. Pontos de acesso sem fio como os roteadores de banda larga atualmente trazem um sistema para facilitar a configuração das estações, denominado WPS (Wi-Fi Protected Setup). Entretanto, este sistema apresenta risco de segurança e recomendamos que não seja usado. De fato, recomendamos que tal sistema seja completamente desabilitado no painel de controle do ponto de acesso.

Uso do Espectro Eletromagnético

Redes Wi-Fi operam transmitindo ondas de rádio. O uso do espectro eletromagnético é definido pelas agências reguladoras de telecomunicações de cada país, como a Anatel no Brasil e a FCC nos EUA. Existem faixas denominadas ISM (Industrial, Scientific, and Medical) ou ICM (Industrial, Científico e Médico) que podem ser usadas livremente sem a necessidade de autorização prévia por parte da agência reguladora. Destas, duas podem ser utilizadas por redes Wi-Fi: 2,4 GHz e 5 GHz.

Uso da Faixa de 2,4 GHz

A faixa de 2,4 GHz começa na frequência de 2.401 MHz e termina na frequência de 2.473 MHz (EUA) ou 2.483,5 MHz (maioria dos países do mundo, incluindo o Brasil - Resolução Anatel 506/2008). Esta faixa de frequência é dividida em 14 canais, com uma distância de 5 MHz entre cada canal (exceto entre os canais 13 e 14, que possuem uma distância de 12 MHz entre eles). Nos EUA só é permitido o uso dos canais até o 11 e, no Brasil, até o 13.

Tabela 1: Canais da banda de 2,4 GHz.

Canal	Frequência central
Canal 1	2.412 MHz
Canal 2	2.417 MHz
Canal 3	2.422 MHz
Canal 4	2.427 MHz
Canal 5	2.432 MHz
Canal 6	2.437 MHz
Canal 7	2.442 MHz
Canal 8	2.447 MHz
Canal 9	2.452 MHz
Canal 10	2.457 MHz
Canal 11	2.462 MHz
Canal 12	2.467 MHz
Canal 13	2.472 MHz
Canal 14	2.484 MHz

Os canais possíveis de serem usados (1 a 13) têm 5 MHz de largura, porém redes IEEE 802.11 operando na faixa de 2,4 GHz podem usar canais de 20 MHz, 22 MHz ou 40

MHz, dependendo do protocolo. Ou seja, cada canal utilizado na rede é maior do que cada canal oferecido na faixa de 2,4 GHz. Com isto, há uma sobreposição de canais.

Por exemplo, se você tiver uma rede operando no canal um, uma segunda rede operando no canal dois gerará interferência na primeira, visto que uma rede operando no canal um também usa as frequências do canal dois.

Idealmente, redes Wi-Fi utilizando a faixa de 2,4 GHz deveriam ser configuradas a usar um dos seguintes canais:

- ◆ **Canais de 20 MHz sem sobreposição:** 1, 5, 9 e 13
- ◆ **Canais de 22 MHz sem sobreposição:** 1, 6 e 11
- ◆ **Canais de 40 MHz sem sobreposição:** 3 e 11

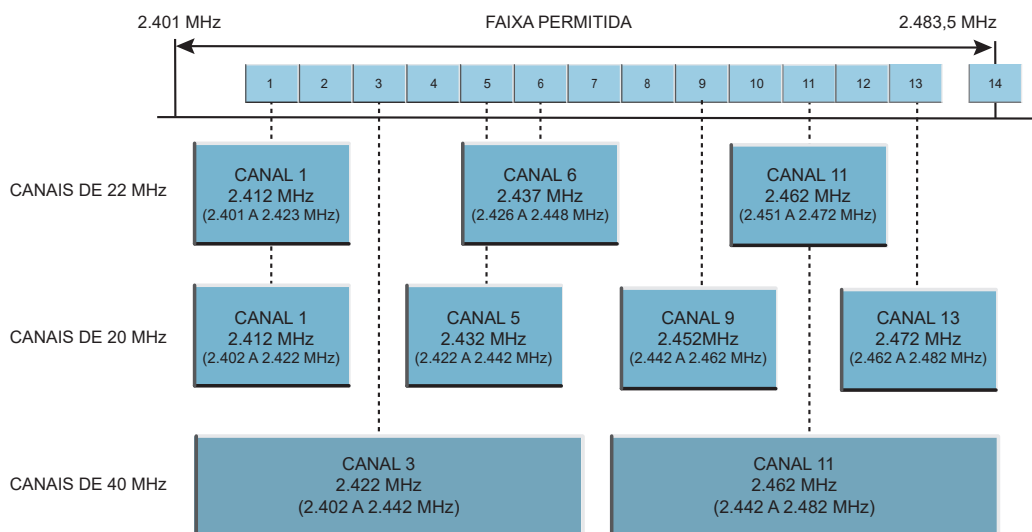


Figura 4: Canais de 2,4 GHz sem sobreposição.

Isto significa que só poderíamos ter até quatro redes Wi-Fi utilizando canais de 20 MHz em um mesmo ambiente. Porém, em centros urbanos isso é simplesmente impossível. Se você utilizar o app Wifi Analyzer em seu smartphone, verá uma situação similar à apresentada na Figura 5: há inúmeras redes utilizando a faixa de frequência de 2,4 GHz.

Desta forma, a faixa de 2,4 GHz está saturada, pois, além de ser muito mais usada para redes Wi-Fi em comparação à faixa de 5 GHz, outros equipamentos como fornos de micro-ondas, telefones sem fio e sistemas de controle remoto por radiofrequência também utilizam a faixa de 2,4 GHz, sobrecarregando-a ainda mais.

- ◆ Poucos canais disponíveis
- ◆ Muitas redes usando
- ◆ Menor desempenho
- ◆ Maior alcance
- ◆ Mais barata
- ◆ Disponível em todos os equipamentos Wi-Fi

Uso da Faixa de 5 GHz

A vantagem da faixa de frequência de 5 GHz é que ela apresenta um número de canais muito maior do que a faixa de 2,4 GHz, sem sobreposição, e é menos utilizada e, portanto, possui menos interferência, o que acarreta em um maior desempenho da rede Wi-Fi. No entanto, quanto maior a frequência de transmissão, menor o alcance e, portanto, tal faixa oferece um alcance menor do que o de redes operando a 2,4 GHz.

Como anteriormente observado, enquanto todos os produtos com suporte a Wi-Fi obrigatoriamente operam na faixa de 2,4 GHz, nem todos conseguem trabalhar a 5 GHz.

A divisão da faixa de frequência de 5 GHz varia muito de país para país. No Brasil, a Resolução 506/2008 da Anatel determina o uso desta faixa de frequência da maneira ilustrada na Figura 6. O DFS (Dynamic Frequency Selection, Seleção Dinâmica de Frequência) detecta se há radar utilizando o canal, fazendo com que o ponto de acesso troque de canal de forma automática.

Com a faixa de frequência disponível no Brasil, temos 24 canais de 20 MHz sem sobreposição, que podem ser combinados para formar onze canais de 40 MHz (com a sobreposição de um deles), cinco canais de 80 MHz ou dois canais de 160 MHz.

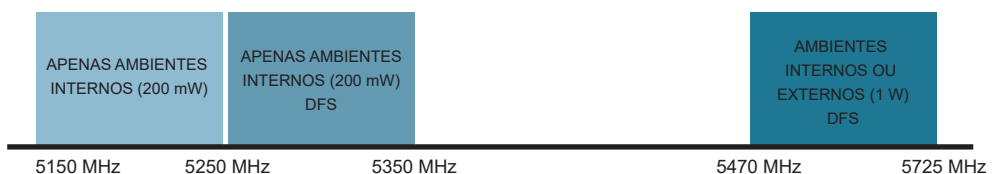


Figura 6: Uso da faixa de 5 GHz no Brasil (Resolução 506/2008).

Tabela 2: Canais de 20 MHz da banda de 5 GHz.

Canal (20 MHz)	Frequência central	DFS	Ambiente
32	5.160 MHz	Não	Interno (200 mW)
36	5.180 MHz	Não	Interno (200 mW)
40	5.200 MHz	Não	Interno (200 mW)
44	5.220 MHz	Não	Interno (200 mW)
48	5.240 MHz	Não	Interno (200 mW)
52	5.260 MHz	Sim	Interno (200 mW)
56	5.280 MHz	Sim	Interno (200 mW)
60	5.300 MHz	Sim	Interno (200 mW)
64	5.320 MHz	Sim	Interno (200 mW)
68	5.340 MHz	Sim	Interno (200 mW)
96	5.480 MHz	Sim	Interno ou externo (1 W)
100	5.500 MHz	Sim	Interno ou externo (1 W)
104	5.520 MHz	Sim	Interno ou externo (1 W)
108	5.540 MHz	Sim	Interno ou externo (1 W)
112	5.560 MHz	Sim	Interno ou externo (1 W)
116	5.580 MHz	Sim	Interno ou externo (1 W)
120	5.600 MHz	Sim	Interno ou externo (1 W)
124	5.620 MHz	Sim	Interno ou externo (1 W)
128	5.640 MHz	Sim	Interno ou externo (1 W)
132	5.660 MHz	Sim	Interno ou externo (1 W)
136	5.680 MHz	Sim	Interno ou externo (1 W)
140	5.700 MHz	Sim	Interno ou externo (1 W)
144	5.720 MHz	Sim	Interno ou externo (1 W)
148	5.740 MHz	Sim	Interno ou externo (1 W)

Os canais disponíveis, na prática, dependem do modelo do ponto de acesso sem fio.

Características da Faixa de 5 GHz

- ◆ Mais “vazia”
- ◆ Canais individuais
- ◆ Mais canais disponíveis
- ◆ Menos redes usando
- ◆ Maior desempenho

- ◆ Menor alcance
- ◆ Mais cara
- ◆ Disponível apenas em modelos mais caros

Protocolos

Na Tabela 3 temos uma comparação das principais características dos protocolos IEEE 802.11 existentes, indicando, em particular, qual banda cada padrão pode operar (2,4 GHz ou 5 GHz) e as larguras de canal suportadas. A banda e a largura do canal que serão usadas na prática dependerão da configuração dos equipamentos.

Tabela 3: Resumo dos protocolos IEEE 802.11.

Padrão	Nome	Ano	Banda		Canais					Transmissão
			2,4 GHz	5 GHz	20 MHz	22 MHz	40 MHz	80 MHz	160 MHz	
802.11-1997	–	1997	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗	FHSS DSSS Infravermelho
802.11b	“Wi-Fi 1”	1999	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗	DSSS
802.11a	“Wi-Fi 2”	1999	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✗	OFDM
802.11g	“Wi-Fi 3”	2003	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	OFDM
802.11n	Wi-Fi 4	2009	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	MIMO-OFDM
802.11ac	Wi-Fi 5	2014	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	MIMO-OFDM
802.11ax	Wi-Fi 6	2020	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	MIMO-OFDM

Em relação às taxas de transferência máxima suportadas, o ponto de acesso e a estação negociam qual é a maior taxa de transferência que é possível ser utilizada com estabilidade. Os primeiros protocolos IEEE 802.11 traziam poucas opções de velocidade, enquanto os protocolos a partir do IEEE 802.11n (Wi-Fi 4) fazem uso de uma enorme tabela de possibilidades que inclui o número de antenas disponíveis, a largura do canal e o intervalo de guarda.

Em resumo temos o seguinte:

- ◆ **IEEE 802.11-1997:** 2 Mbit/s e 1 Mbit/s
- ◆ **IEEE 802.11b:** 11 Mbit/s, 5,5 Mbit/s, 2 Mbit/s e 1 Mbit/s
- ◆ **IEEE 802.11a e IEEE 802.11g:** 54 Mbit/s, 48 Mbit/s, 36 Mbit/s, 24 Mbit/s, 18 Mbit/s, 12 Mbit/s, 9 Mbit/s, 6 Mbit/s

Tabela 4: Taxas de transferência disponíveis no IEEE 802.11n (Wi-Fi 4).

Índice MCS	Fluxos espaciais	Modulação	Taxa de codificação	Taxa de transferência (Mbit/s)			
				20 MHz		40 MHz	
				IG 800 ns	IG 400 ns	IG 800 ns	IG 400 ns
0	1	BPSK	1/2	6,5	7,2	13,5	15
1	1	QPSK	1/2	13	14,4	27	30
2	1	QPSK	3/4	19,5	21,7	40,5	45
3	1	16-QAM	1/2	26	28,9	54	60
4	1	16-QAM	3/4	39	43,3	81	90
5	1	64-QAM	2/3	52	57,8	108	120
6	1	64-QAM	3/4	58,5	65	121,5	135
7	1	64-QAM	5/6	65	72,2	135	150
8	2	BPSK	1/2	13	14,4	27	30
9	2	QPSK	1/2	26	28,9	54	60
10	2	QPSK	3/4	39	43,3	81	90
11	2	16-QAM	1/2	52	57,8	108	120
12	2	16-QAM	3/4	78	86,7	162	180
13	2	64-QAM	2/3	104	115,6	216	240
14	2	64-QAM	3/4	117	130	243	270
15	2	64-QAM	5/6	130	144,4	270	300
16	3	BPSK	1/2	19,5	21,7	40,5	45
17	3	QPSK	1/2	39	43,3	81	90
18	3	QPSK	3/4	58,5	65	121,5	135
19	3	16-QAM	1/2	78	86,7	162	180
20	3	16-QAM	3/4	117	130	243	270
21	3	64-QAM	2/3	156	173,3	324	360
22	3	64-QAM	3/4	175,5	195	364,5	405
23	3	64-QAM	5/6	195	216,7	405	450
24	4	BPSK	1/2	26	28,8	54	60
25	4	QPSK	1/2	52	57,6	108	120
26	4	QPSK	3/4	78	86,8	162	180
27	4	16-QAM	1/2	104	115,6	216	240
28	4	16-QAM	3/4	156	173,2	324	360
29	4	64-QAM	2/3	208	231,2	432	480
30	4	64-QAM	3/4	234	260	486	540
31	4	64-QAM	5/6	260	288,8	540	600
32	1	BPSK	1/4	ND	ND	6,0	6,7

Tabela 5: Taxas de transferência disponíveis no IEEE 802.11ac (Wi-Fi 5).

Índice MCS	Fluxos espaciais	Modulação	Taxa de codificação	Taxa de transferência (Mbit/s)							
				20 MHz		40 MHz		80 MHz		160 MHz	
				IG 800 ns	IG 400 ns	IG 800 ns	IG 400 ns	IG 800 ns	IG 400 ns	IG 800 ns	IG 400 ns
0	1	BPSK	1/2	6,5	7,2	13,5	15	29,3	32,5	58,5	65
1	1	QPSK	1/2	13	14,4	27	30	58,5	65	117	130
2	1	QPSK	3/4	19,5	21,7	40,5	45	87,8	97,5	175,5	195
3	1	16-QAM	1/2	26	28,9	54	60	117	130	234	260
4	1	16-QAM	3/4	39	43,3	81	90	175,5	195	351	390
5	1	64-QAM	2/3	52	57,8	108	120	234	260	468	520
6	1	64-QAM	3/4	58,5	65	121,5	135	263,3	292,5	526,5	585
7	1	64-QAM	5/6	65	72,2	135	150	292,5	325	585	650
8	1	256-QAM	3/4	78	86,7	162	180	351	390	702	780
9	1	256-QAM	5/6	ND	ND	180	200	390	433,3	780	866,7
0	2	BPSK	1/2	13	14,4	27	30	58,5	65	117	130
1	2	QPSK	1/2	26	28,9	54	60	117	130	234	260
2	2	QPSK	3/4	39	43,3	81	90	175,5	195	351	390
3	2	16-QAM	1/2	52	57,8	108	120	234	260	468	520
4	2	16-QAM	3/4	78	86,7	162	180	351	390	702	780
5	2	64-QAM	2/3	104	115,6	216	240	468	520	936	1040
6	2	64-QAM	3/4	117	130,3	243	270	526,5	585	1053	1170
7	2	64-QAM	5/6	130	144,4	270	300	585	650	1170	1300
8	2	256-QAM	3/4	156	173,3	324	360	702	780	1404	1560
9	2	256-QAM	5/6	ND	ND	360	400	780	866,7	1560	1733,3
0	3	BPSK	1/2	19,5	21,7	40,5	45	87,8	97,5	175,5	195
1	3	QPSK	1/2	39	43,3	81	90	175,5	195	351	390
2	3	QPSK	3/4	58,5	65	121,5	135	263,3	292,5	526,5	585
3	3	16-QAM	1/2	78	86,7	162	180	351	390	702	780
4	3	16-QAM	3/4	117	130	243	270	526,5	585	1053	1170
5	3	64-QAM	2/3	156	173,3	324	360	702	780	1404	1560
6	3	64-QAM	3/4	175,5	195	364,5	405	ND	ND	1579,5	1755
7	3	64-QAM	5/6	195	216,7	405	450	877,5	975	1755	1950
8	3	256-QAM	3/4	234	260	486	540	1053	1170	2106	2340
9	3	256-QAM	5/6	260	288,9	540	600	1170	1300	2340	2600
0	4	BPSK	1/2	26	28,8	54	60	117,2	130	234	260
1	4	QPSK	1/2	52	57,6	108	120	234	260	468	520
2	4	QPSK	3/4	78	86,8	162	180	351,2	390	702	780
3	4	16-QAM	1/2	104	115,6	216	240	468	520	936	1040
4	4	16-QAM	3/4	156	173,2	324	360	702	780	1404	1560
5	4	64-QAM	2/3	208	231,2	432	480	936	1040	1872	2080
6	4	64-QAM	3/4	234	260	486	540	1053,2	1170	2106	2340
7	4	64-QAM	5/6	260	288,8	540	600	1170	1300	2340	2600
8	4	256-QAM	3/4	312	346,8	648	720	1404	1560	2808	3120
9	4	256-QAM	5/6	ND	ND	720	800	1560	1733,3	3120	3466,7

Tabela 6: Taxas de transferência disponíveis no IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6).

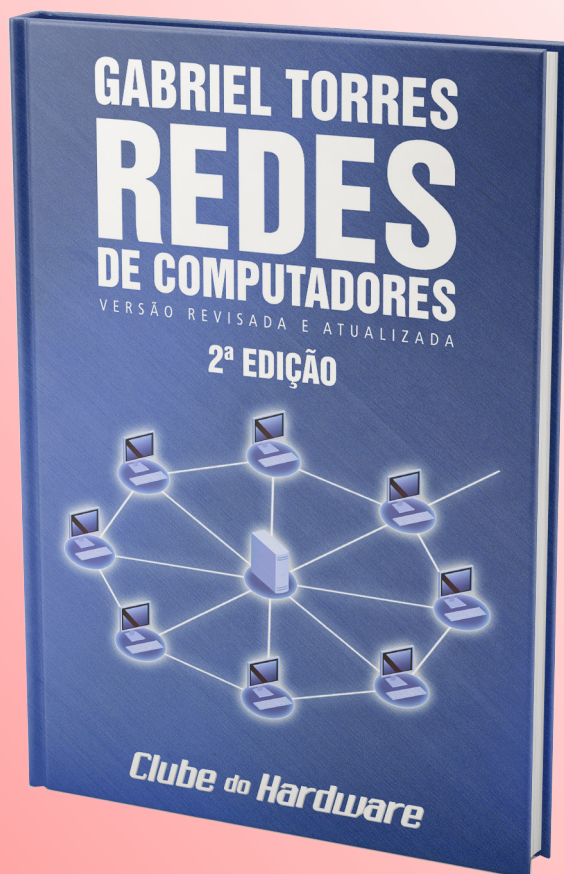
Índice MCS	Modulação	Taxa de codificação	Taxa de transferência (Mbit/s)							
			20 MHz		40 MHz		80 MHz		160 MHz	
			IG 1600	IG 800 ns	IG 1600	IG 800 ns	IG 1600	IG 800 ns	IG 1600	IG 800 ns
0	BPSK	1/2	8	8,6	16	17,2	34	36,0	68	72
1	QPSK	1/2	16	17,2	33	34,4	68	72,1	136	144
2	QPSK	3/4	24	25,8	49	51,6	102	108,1	204	216
3	16-QAM	1/2	33	34,4	65	68,8	136	144,1	272	282
4	16-QAM	3/4	49	51,6	98	103,2	204	216,2	408	432
5	64-QAM	2/3	65	68,8	130	137,6	272	288,2	544	576
6	64-QAM	3/4	73	77,4	146	154,9	306	324,4	613	649
7	64-QAM	5/6	81	86,0	163	172,1	340	360,3	681	721
8	256-QAM	3/4	98	103,2	195	206,5	408	432,4	817	865
9	256-QAM	5/6	108	114,7	217	229,4	453	480,4	907	961
10	1024-QAM	3/4	122	129,0	244	258,1	510	540,4	1021	1081
11	1024-QAM	5/6	135	143,4	271	286,8	567	600,5	1134	1201



A Tabela 6 indica a largura de banda para apenas um fluxo espacial (uma antena) e os valores apresentados precisam ser multiplicados pelo número de fluxos espaciais (antenas) efetivamente usados.

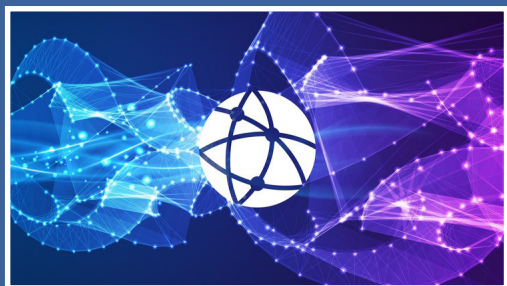
O Próximo Passo

CURTIU este *e-book* grátis? Este conteúdo é apenas uma pequena amostra do que você encontrará em meu livro *Redes de Computadores - Versão Revisada e Atualizada - 2ª Edição*. Com 1.022 páginas, você aprenderá tudo o que precisa saber sobre redes, com a mesma didática e qualidade de apresentação que teve o prazer de avaliar neste *e-book*.



[Clique aqui e confira!](#)

Seja aluno de Gabriel Torres e aprenda sobre redes diretamente com o autor deste livro!



CURSO ARQUITETURA DE REDES

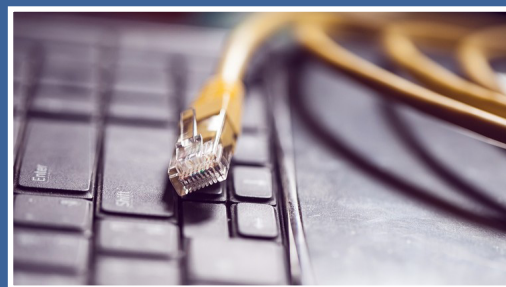
Neste curso você aprenderá o embasamento teórico necessário para aprofundar seus estudos em cursos intermediários e avançados. Você aprenderá, entre outros assuntos, sobre princípios de funcionamento de redes, números binários, arquiteturas, comunicação, protocolos, equipamentos de redes, segurança e muito mais!

"Sem palavras, a qualidade do curso é superior aos cursos presenciais se comparado, muito didático e qualquer leigo pode aprender! O professor consegue de maneira simples descomplicar o assunto sem deixar de se aprofundar no tema."

- John Lennon Barbosa dos Santos

Vantagens dos nossos cursos:

- ◆ Pagamento único, sem mensalidades
- ◆ Acesso vitalício
- ◆ Atualizações regulares com novas aulas e melhorias
- ◆ Acesso grátis a futuras aulas e atualizações
- ◆ Seção de perguntas e respostas para você tirar as suas dúvidas sobre o conteúdo do curso
- ◆ Certificado de conclusão de curso



CURSO REDES TCP/IP

Você aprenderá, entre outros assuntos, sobre endereçamento IPv4 e IPv6, portas, tradução de endereços (NAT), protocolos de aplicação (HTTP, DNS, FTP, e-mail, etc.), protocolos de transporte (TCP e UDP), protocolos de rede (IPv4, IPv6, IPsec e ICMP), protocolos de roteamento e muito mais!

"O curso nos concede uma experiência de alto nível no que concerne a parte dos protocolos TCP/IP, além de uma didática incontestável em que a confiança no instrutor nos reporta uma garantia máxima de aprendizado."

- Márcio Andrey Amancio Almeida

<https://www.clubedohardware.com.br/cursos>