

Redes e Conectividade

Redes sem fio - wireless, IEEE802.11 (a, b, g, n)

Versão 1.1
Agosto de 2016

Prof. Jairo

jairo@uni9.pro.br
professor@jairo.pro.br

<http://www.jairo.pro.br/>

O padrão IEEE802.11, também é conhecido como wi-fi, e desde o início tem sido o padrão de fato para comunicação em redes locais sem fio (WLAN, wireless).

IEEE802.11 tem uma grande variedade de padrões. Vamos nos ater a IEEE802.11a, IEEE802.11b, IEEE802.11g e IEEE802.11n.

1 - IEEE802.11a

O padrão IEEE802.11a é capaz de produzir um alto nível de performance. Recentemente, ao contrário da época do lançamento (1999), tem sido muito usado.

Este padrão foi ratificado ao mesmo tempo que IEEE802.11b, mas embora opere à frequência de 5 GHz com taxa de transferência de 54 Mbps, nunca adquiriu a popularidade deste último. Isto é devido aos custos de fabricação dos chips de 5 GHz do IEEE802.11a ser mais alto que o dos chips de 2,4 GHz usados no IEEE802.11b.

Especificação IEEE802.11a:

PARÂMETRO	VALOR
Data de aprovação do padrão	Julho de 1999
Taxa de transferência máxima (Mbps)	54
Taxa de transferência típica (Mbps)	25
Alcance típico (metros)	30
Modulação	OFDM
Banda de rádio frequência (RF em GHz)	5
Número de fluxos espaciais (<i>spatial streams</i>)	1
Largura de banda (MHz)	20

IEEE802.11a usa conceitos básicos do IEEE802.11 e opera a 5GHz na banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), que o habilita a ser usado em qualquer lugar do mundo como banda livre de licença.

A modulação é OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) para permitir atingir a taxa máxima de 54 Mbps, embora um nível prático realista esteja na região de 20 Mbps. A taxa de transferência de dados pode ser reduzida para 48, 36, 24, 18, 12 ou 6 Mbps se necessário. Tem 12 canais não sobrepostos.

2 - IEEE802.11b

O padrão IEEE802.11b foi o primeiro a ser amplamente adotado em *laptops* e também outros equipamentos.

Foi lançado em julho de 1999 e rapidamente a ideia de rede wireless pegou, com uso de pontos de acesso (*hotspots*) disponibilizados para que as pessoas pudessem acessar seus e-mails e surfar na internet enquanto estivessem fora de casa ou fora da sede de trabalho.

Foi somente após a ratificação do 802.11, com posterior disponibilização de produtos com esta tecnologia, que o wi-fi decolou de forma ampla. Os *hotspots* foram então disponibilizados nos escritórios, ambientes de trabalho em geral, hotéis, aeroportos, e com isso tornou-se mais fácil usar *laptops* portáteis enquanto estivesse viajando pelo mundo.

Foi por operar a apenas 2,4 GHz, e por isso ter custo inferior, que no início o IEEE802.11b se popularizou e o IEEE802.11a não.

Especificação IEEE802.11b:

PARÂMETRO	VALOR
Data de aprovação do padrão	Julho de 1999
Taxa de transferência máxima (Mbps)	11
Taxa de transferência típica (Mbps)	5
Alcance típico (metros)	30
Modulação	CCK (DSSS)
Banda de rádio frequência (RF em GHz)	2,4
Largura de banda (MHz)	20

O IEEE802.11b usa a técnica CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) que foi definida na base original 802.11. Usando esta técnica, quando um nó quer transmitir ele primeiro escuta o meio para saber se o canal não está em uso, e então transmite. Depois de transmitido, escuta o meio para saber se houve reconhecimento do sinal enviado, e caso não receba retorno assume que a transmissão de outro nó causou interferência. Em caso de ter ocorrido interferência, aguarda um tempo aleatório, escuta o meio e retransmite de novo.

O sinal de rádio (RF, *Radio Frequency*) usado por 802.11b, CCK - *Complementary Code Keying*, é uma leve variação do CDMA (*Code Division Multiple Access*), que usa a base DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*). Em vista do fato da especificação original IEEE802.11 usar CDMA/DSSS, foi fácil atualizar qualquer chipset que existisse à época para prover o novo padrão 802.11b. Como resultado, os novos *chipsets* 802.11b surgiram relativamente rápido no mercado.

Embora as especificações 802.11b sejam para operar à taxa básica de 11 Mbps, o sistema monitora a qualidade do sinal e adota uma taxa de transmissão mais baixa caso o sinal sofra alguma

interferência, desse modo aumentando a correção de erros e tornando a transmissão mais resistente. Nessas condições, baixa para 2 Mbps e posteriormente 1 Mbps. Este esquema é conhecido como ARS (*Adaptive Rate Selection*).

Mas embora a taxa de transferência especificada seja boa, na realidade a taxa atingida numa rede real é muito menor. Mesmo sob boas condições de rádio (sinal bom e baixa interferência), a taxa esperada para sistemas que usam TCP está em torno de 5,9 Mbps. Isto é resultado de alguns fatores. Um deles é o uso de CSMA/CD, que obriga o sistema a esperar que o canal esteja desocupado para poder então transmitir, e outro é a carga adicional produzida pelo uso de TCP. Se for usado UDP ao invés de TCP, a taxa de transferência aumenta para cerca de 7,1 Mbps.

Alguns sistemas 802.11b propagandeiam que suportam taxas de transmissão muito superiores ao padrão básico especificado no 802.11b, mas isso é devido a melhorias proprietárias adotadas por alguns fabricantes. Estas melhorias elevam a taxa de transferência a 22, 33 ou 44 Mbps e são muitas vezes rotuladas de 802.11b+. Estes esquemas não foram aprovados pelo IEEE e, de qualquer modo, já foram superados pelas últimas versões do padrão 802.11, como 802.11g e 802.11n.

3 - IEEE802.11g

Após a introdução do wi-fi com os padrões 802.11a e 802.11b, o padrão 802.11b se tornou o mais popular, operando em 2,4 GHz na banda ISM. Isso porque era mais alto o custo do chip do padrão 802.11a para operar a 5 GHz.

Então, para operar a 2,4 GHz na banda ISM e prover as altas velocidades do 802.11a, foi criado um novo padrão, conhecido como IEEE802.11g, que rapidamente superou o 802.11b. Na prática, antes da ratificação do 802.11g já haviam produtos com essa tecnologia no mercado, que posteriormente veio a se tornar a tecnologia wi-fi dominante.

Especificação IEEE802.11g:

PARÂMETRO	VALOR
Data de aprovação do padrão	Junho de 2003
Taxa de transferência máxima (Mbps)	54
Modulação	CCK, DSSS ou OFDM
Banda de rádio frequência (RF em GHz)	2,4
Largura de banda (MHz)	20

Mas embora especifique uma taxa de transferência máxima de 54 Mbps, na prática oferece uma taxa real de apenas 24 Mbps.

802.11g é compatível com 802.11b, porém a presença deste último padrão como participante reduz significativamente a velocidade da rede.

Para conseguir prover resiliência contra efeitos de múltiplos caminhos (*multipath*) e manter altas taxas de transferência, o principal método de modulação escolhido para 802.11g foi OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*), embora outros esquemas também sejam usados para manter compatibilidade.

Em adição ao uso de OFDM, DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) também é usado.

Para prover o máximo de compatibilidade e ainda assim ser compatível com versões antigas, quatro tipos de camadas físicas (*physical layer*) são usadas, das quais três são definidas como ERPs (*Extended Rate Physicals*). Quem envia o quadro (*frame*) pode usar qualquer uma das quatro camadas, desde que elas sejam suportadas em todas as outras pontas do linque.

As quatro opções de camadas definidas nas especificações 802.11g são:

- **ERP-DSS-CCK:** Esta camada é usada com 802.11b. DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*, espalhamento espectral por sequência direta) é usado junto com CCK (*Complementary Code Keying*, chaveamento por código complementar). A performance do sistema é a mesma do legado 802.11b;

- **ERP-OFDM:** Esta camada física é uma novidade introduzida por 802.11g, onde OFDM é usado para permitir transmitir à frequência de 2,4 GHz e prover taxas de transmissão de 802.11a, que usam frequências de 5,8 GHz;
- **ERP-DSSS/PBCC:** Esta camada física foi introduzida para uso com 802.11b e inicialmente proveu a mesma taxa de transmissão da camada DSS/CCK, mas com 802.11g estas taxas foram estendidas para prover 22 e 33 Mbps. Usa tecnologia DSSS para modulação combinado com PBCC (*Packet Binary Convolutional Code*) para codificação dos dados;
- **DSSS-OFDM:** Esta camada é nova para 802.11g e usa uma combinação de DSSS e OFDM, onde o cabeçalho do pacote é transmitido usando DSSS enquanto a carga útil é transmitida usando OFDM.

O padrão 802.11g ocupa um canal de largura de banda nominal de 22 MHz, tornando possível acomodar até três sinais não sobrepostos dentro da banda de 2,4 GHz. Apesar disso, a separação entre diferentes pontos de acesso wi-fi resulta na interferência não ser normalmente um problema.

SUMÁRIO DAS CAMADAS FÍSICAS WI-FI DO IEEE802.11g		
Camada física	Uso	Taxa de transmissão (Mbps)
ERP-DSSS	mandatório	1, 2, 5,5, 11
ERP-OFDM	mandatório	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54
ERP-PBCC	opcional	1, 2, 5,5, 11, 22, 33
DSS-OFDM	opcional	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54

4 - IEEE802.11n

Depois de estabelecidos os padrões wi-fi 802.11a, 802.11b e 802.11g, começaram os trabalhos para buscar maior velocidade na transferência de dados. O resultado veio em janeiro de 2004, quando o IEEE anunciou que havia formado um novo comitê para desenvolvimento do novo padrão de alta velocidade, o 802.11n.

Com as melhorias de performance oferecidas pelo 802.11n, o novo padrão logo se espalhou com vários produtos oferecidos ao consumidor. Embora inicialmente poucos *hotspots* oferecessem o padrão 802.11n, estes dispositivos eram compatíveis e capazes de trabalhar com *hotspots* baseados em 802.11b e 802.11g.

A ideia por trás do padrão 802.11n era a de que ele seria capaz de prover melhor performance e ser capaz de manter o rápido ritmo de crescimento de velocidade provido por tecnologias tais como Ethernet. O novo padrão 802.11n ostenta uma performance impressionante. Os principais pontos são mostrados abaixo.

Especificação IEEE802.11n:

PARÂMETRO	VALOR
Taxa de transferência máxima (Mbps)	600
Banda de rádio frequência (RF em GHz)	2,4 ou 5
Modulação	CCK, DSSS ou OFDM
Número de fluxos espaciais (spatial streams)	1, 2, 3 ou 4
Largura de banda (MHz)	20 ou 40

Para atender a estas especificações, novas funcionalidades tiveram que ser incorporadas no padrão IEEE802.11n, isso para permitir melhor performance. As maiores inovações são mostradas abaixo:

- Mudanças na implementação do OFDM;
- Introdução do MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*, que usa múltiplos transmissores e receptores para transferir mais dados ao mesmo tempo);
- Economia de energia MIMO: o uso de MIMO aumenta o consumo de corrente elétrica, devido ao aumento de transmissores e receptores. Deste modo, é preciso usar a energia com mais eficiência;
- Canal com largura de banda mais extensa: opção de uso de 40 MHz além do tradicional 20 MHz;
- Tecnologia de antena: melhoria das tecnologias, com a introdução de formação de feixe (*beam forming*) e diversidade. Basicamente, adiciona mais antenas no equipamento e permite que múltiplas antenas sejam utilizadas simultaneamente para transmissão, recepção ou mesmo transmissão e recepção simultânea;
- Em circunstâncias especiais, redução de suporte de compatibilidade com versões

anteriores para melhorar a transferência de dados.

A compatibilidade com versões anteriores provida por IEEE802.11n introduz significativa sobrecarga quando se usa versões antigas de wi-fi, desse modo reduzindo a capacidade de transferência. Mas quando todos os dispositivos na rede estão no padrão IEEE802.11n, a funcionalidade de compatibilidade com versões antigas pode ser removida para prover a máxima velocidade na taxa de transferência. Do mesmo modo que IEEE802.11g, quando dispositivos antigos entram na rede, a operação da rede inteira é reduzida consideravelmente.

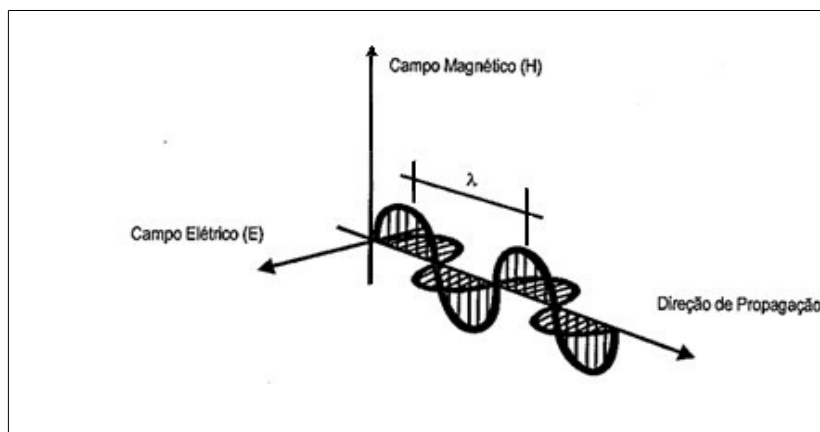
Em vista das funcionalidades associadas a compatibilidade com versões anteriores, existe três modos nos quais um ponto de acesso IEEE802.11n pode operar:

- Legado (somente 802.11 a, b e g);
- Misturado (ambos 802.11 a, b, g e n);
- Greenfield (somente 802.11n, performance máxima).

5 – Comprimento da onda

O comprimento da onda (λ) usado influencia na taxa de transmissão de dados, quanto maior a frequência, maior a taxa de transmissão. Porém, no caminho entre o hotspot e o usuário (portátil, desktop) podem existir obstáculos tais como paredes e colunas, que atenuam o sinal wireless.

Para entender esse efeito da atenuação, o primeiro aspecto a ser notado é que a transmissão wireless usa ondas eletromagnéticas. As ondas eletromagnéticas são ondas transversais, isto é, considerada a direção de propagação da onda existe um campo elétrico perpendicular a um campo magnético.



É o campo elétrico que gera o magnético, que por sua vez regenera o elétrico, e assim o sinal se propagaria indefinidamente caso não existisse atenuação ou interferência.

Acontece que um obstáculo no caminho, por exemplo, uma parede, atenua o campo elétrico da onda, que por sua vez enfraquece a geração do campo magnético, desse modo atenuando a propagação do sinal wireless.

Vamos calcular o comprimento da onda wireless e comparar com a espessura do obstáculo que possa haver no caminho para entender o efeito da atenuação devido a obstáculos.

Dados:

$$c = \lambda v$$

Onde:

c: velocidade da luz (300.000 Km/s) => 3×10^8 m/s

λ : comprimento da onda

v: frequência (Hz) => Hz = 1/s

Desse modo, para a frequência de **5 GHz** temos o seguinte comprimento de onda λ :

$$\lambda = \frac{c}{v} = \frac{3 \times 10^8}{5 \times 10^9} = 0,6 \times 10^{-1} = 0,06 \text{ m} = \mathbf{6 \text{ Cm}}$$

Para a frequência de **2,4 GHz** temos o seguinte comprimento de onda λ :

$$\lambda = \frac{c}{v} = \frac{3 \times 10^8}{2,4 \times 10^9} = 1,2 \times 10^{-1} = 0,12 \text{ m} = \mathbf{12 \text{ Cm}}$$

Pode ser notado que quanto maior a frequência, menor o comprimento de onda e, portanto, maior a atenuação do sinal devido a obstáculos no caminho.

Por outro lado, quanto maior a frequência, maior a taxa de transmissão de dados por unidade de tempo.