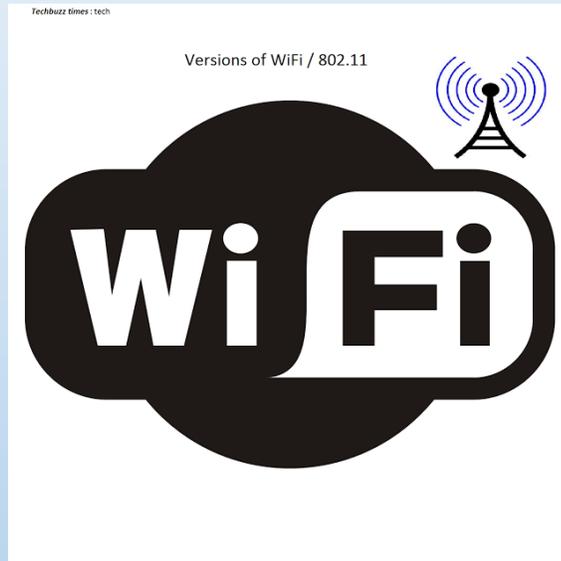


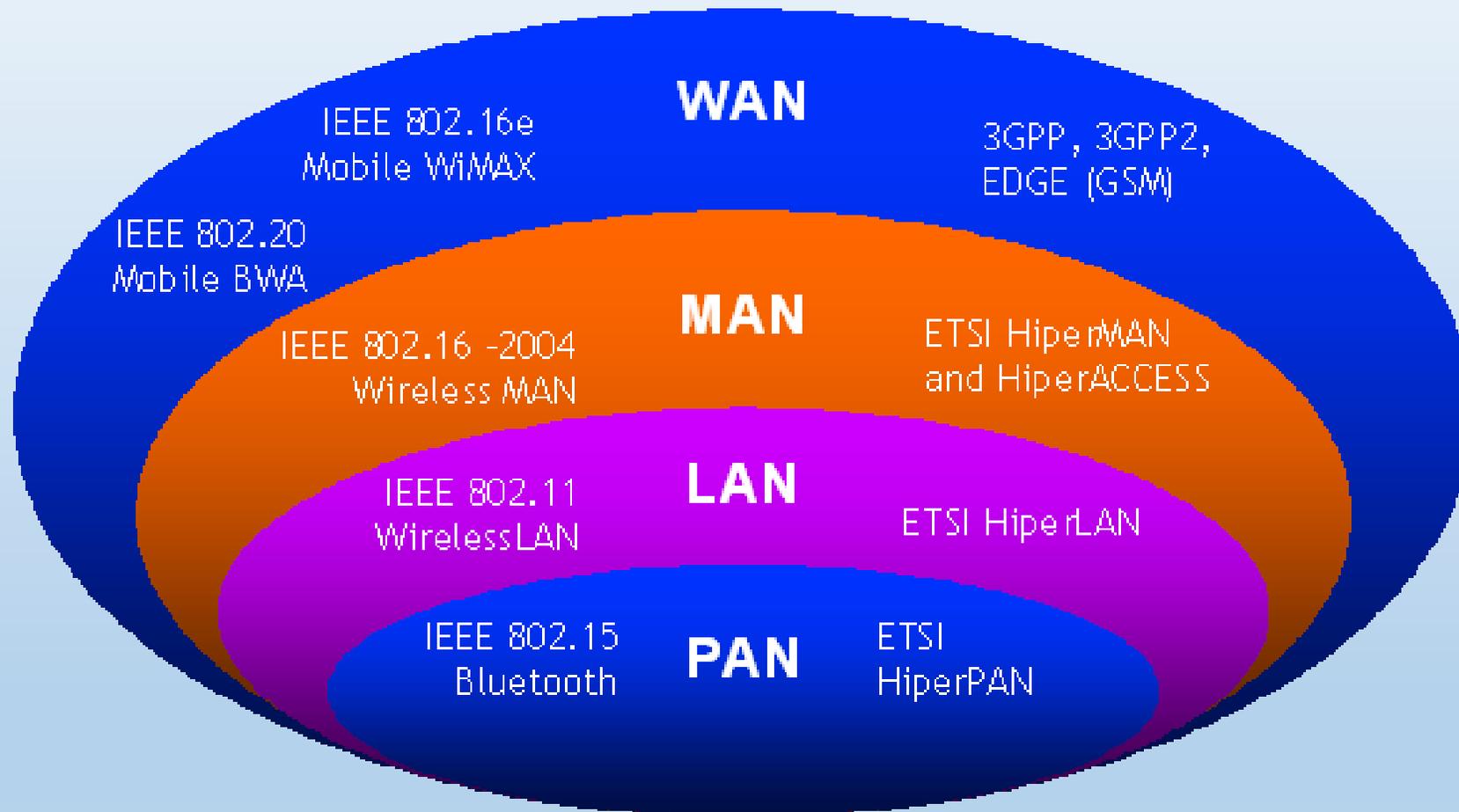
# Sistemas WiFi



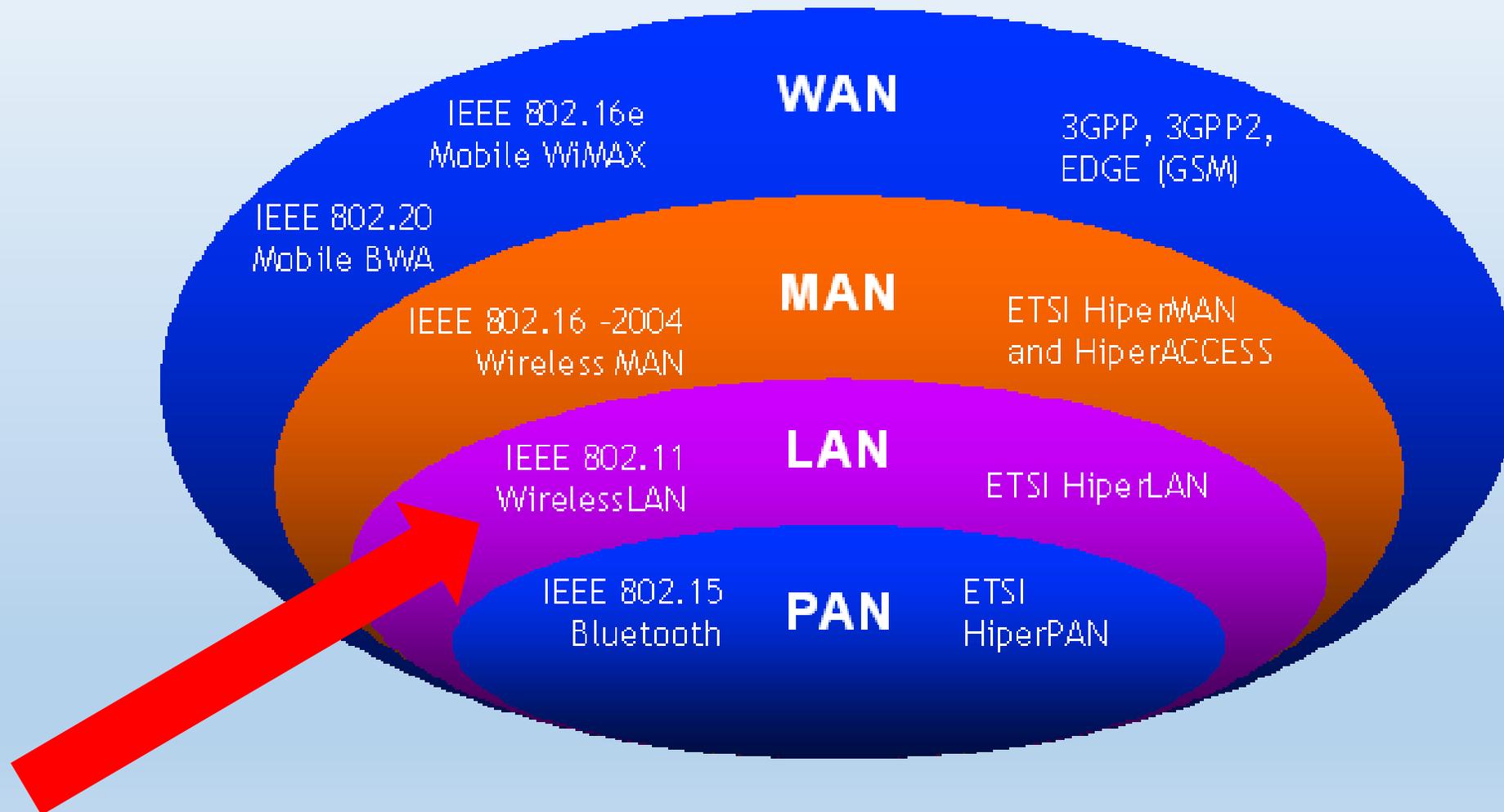
Objetivo:

Desenvolver uma especificação para conectividade sem fio para estações fixas, portáteis e móveis dentro de uma área local.

# Tipos de Redes sem Fio e Padrões



# Tipos de Redes sem Fio e Padrões



# Sistemas WiFi (Wireless Fidelity)

- O 802.11 é um conjunto de padrões criados pelo IEEE para prover cobertura em banda larga para uso em redes wireless locais.
- Há uma variedade de padrões 802.11 definidos pelo IEEE 802 LMSC (LAN/MAN Standards Committee): 802.11a - 802.11b - 802.11e - 802.11f - 802.11g - 802.11h - 802.11i - 802.11j - 802.11k - 802.11n - 802.11s - 802.11ac - 802.11ad - 802.11af - 802.11ah.
- Dentre estes, os padrões mais conhecidos são os padrões 802.11a, 802.11b, 802.11g e 802.11n.
- Os novos padrões visam sempre obter maiores taxas de transmissão, utilizando para isso novas técnicas de modulação.
- A WiFi Alliance certifica os equipamentos para que cumpram as normativas dos padrões em questão.



# IEEE 802.11

- O padrão 802.11 original definiu três tipos de **camadas físicas** diferentes e independentes para as redes sem-fio: **duas delas eram baseadas em técnicas de espalhamento espectral (*spread spectrum*)**, e a terceira era baseada no uso de sistemas infravermelho.
- Todas elas suportavam as **taxas de transmissão de 1 Mbps e 2 Mbps**, que foram as taxas especificadas no padrão original.
- As duas técnicas de espalhamento espectral especificadas foram a *Frequency Hopping* (FHSS – *Frequency Hopping Spread Spectrum*) e a *Direct Sequence* (DSSS – *Direct Sequence Spread Spectrum*), que utilizam a **faixa de frequência de 2,4 GHz** (chamada de ISM – *Industrial Scientific and Medical*), que juntos com a especificação do infravermelho vão formar as 3 camadas físicas definidas no padrão original.
- As transmissões com infravermelho (IR) não atravessam certos tipos de materiais, apesar de poderem enviar mais dados do que a transmissão com radiofrequência (RF). Com isso, a transmissão através de radiofrequência acaba sendo o padrão adotado nas transmissões WLAN.
- A banda ISM compreende três segmentos do espectro: 902 MHz a 928 MHz, 2.400 MHz a 2.483,5 MHz e 5.725 MHz a 5.850 MHz.

# Padrão 802.11a



- Com a necessidade de se obter taxas de transmissão mais elevadas, criou-se então um novo padrão que foi adicionado ao IEEE 802.11.
- O IEEE 802.11a definiu um novo padrão para redes sem-fio, que utiliza a **faixa de frequência de 5 GHz**, ao invés da faixa ISM de 2,4 GHz.
- A faixa de 5 GHz trouxe algumas vantagens, como um menor nível de interferência, por não haver tantos equipamentos utilizando essa faixa, mas também trouxe alguns problemas que fizeram com que o 802.11a não tivesse tanto sucesso, como por exemplo, problemas de padronização da faixa de frequência.
- Opera em duas bandas de frequências:
  - Banda Inferior opera de 5,15 GHz a 5,35 GHz utilizando 8 canais com 20 MHz de banda;
  - Banda superior opera de 5,725 GHz a 5,825 GHz, operando com 5 canais de 20 MHz;

# Padrão 802.11a



- Nesse novo padrão, optou-se por utilizar um esquema de modulação totalmente diferente do anterior, não mantendo assim compatibilidade entre as duas especificações.
- Os equipamentos 802.11a não são compatíveis com os equipamentos 802.11 b/g e não são mais fabricados.
- O 802.11a utiliza como técnica de **modulação o OFDM** (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), que usa várias sub-portadoras, moduladas em BPSK, QPSK, 16-QAM ou 64-QAM.
- Também utiliza um **código convolucional** corretor de erros (FEC), com taxas de 1/2, 2/3 ou 3/4.
- Na sua configuração máxima, o 802.11a pode chegar a **54 Mbps**, possuindo várias configurações possíveis a partir de 6 Mbps.
- Alcance (médio) de cerca de **30 metros**.

# Padrão 802.11a



- Embora o 802.11a tenha sido desenvolvido concomitantemente com o 802.11b, ele não teve um tempo de utilização tão grande quanto o padrão 802.11b, apesar de oferecer uma taxa de transferência de dados muito maior.
- A razão para isso foi que operava na banda ISM (banda industrial, científica e médica) de 5 GHz, em vez da banda de 2,4 GHz, e isso fez com que os **chips fossem mais caros**.
- O 802.11a estava, possivelmente à frente de seu tempo, e foi mais adotado em LANs corporativas do que para usuários finais.
- OFDM é uma forma de modulação que usa um grande número de portadoras ortogonais. O uso de OFDM proporciona uma redução significativa nos problemas de interferência causada por efeitos de multipercurso, bem como o uso mais eficiente o espectro radioelétrico.

# Padrão 802.11a



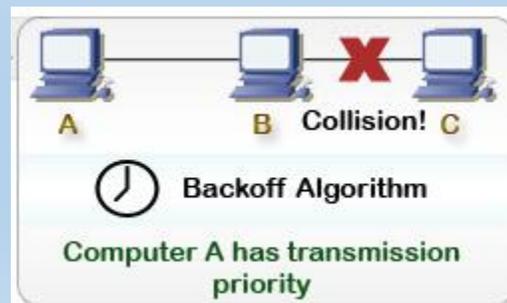
PARAMETER	VALUE
Date of standard approval	July 1999
Maximum data rate (Mbps)	54
Typical data rate (Mbps)	25
Typical range indoors (Metres)	~30
Modulation	OFDM
RF Band (GHz)	5
Number of spatial streams	1
Channel width (MHz)	20

DATA RATE (MBPS)	MODULATION	CODING RATE
6	BPSK	1/2
9	BPSK	3/4
12	QPSK	1/2
18	QPSK	3/4
24	16-QAM	1/2
36	16-QAM	3/4
48	64-QAM	1/2
54	64-QAM	3/4

- Uma variedade de formas de modulação pode ser usada em cada uma das sub-portadoras OFDM 802.11a.
- BPSK, QPSK, 16-QAM e 64 QAM podem ser usados conforme as condições o permitam.
- Para cada taxa de dados configurada, existe uma forma de modulação correspondente que é adotada.

# Media Access Control nos Padrões 802.11

- Diferentemente do Padrão Ethernet IEEE 802.3 que utiliza CSMA/CD, o padrão IEEE 802.11 define uma função de coordenação distribuída (DCF) para compartilhar o acesso ao meio com base no protocolo CSMA/CA.
- Os padrões CSMA são métodos que utilizam detecção de portadora para controle de tráfego.
- O padrão CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detect) atua após a ocorrência de uma colisão, enquanto que o padrão CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) atua para evitar colisões antes que elas aconteçam.



CSMA/CD

# Media Access Control nos Padrões 802.11

- O CSMA/CA escuta o canal antes da transmissão para determinar se algum outro nó está transmitindo.
- Se o canal estiver limpo, o pacote será enviado.
- Se o canal não estiver limpo, o nó espera por um período de tempo aleatório e, em seguida, verifica novamente para ver se o canal está limpo.
- Esse período de tempo é chamado de fator backoff, e é contado por um contador backoff. Se o canal estiver limpo quando o contador backoff chegar a zero, o nó transmite o pacote.
- Se o canal não estiver limpo quando o contador backoff chegar a zero, o fator backoff será novamente configurado e o processo será repetido.
- Quando o pacote é transmitido, o nó receptor envia um pacote de confirmação (ACK) um curto intervalo de tempo após receber o pacote.
- Se um ACK não for recebido, o pacote é considerado perdido e uma retransmissão é organizada.

# Padrão 802.11b



- Uma outra iniciativa para se aumentar as taxas de transmissão do padrão 802.11, mas mantendo a compatibilidade com o padrão original, foi a criação do 802.11b;
- O objetivo principal era permitir que a funcionalidade sem fio fosse análoga às conexões Ethernet com fio;
- Adota uma **pequena variação do CDMA**, que utiliza o DSSS básico (*Direct Sequence Spread Spectrum*) como base;
- Tendo em vista que a especificação 802.11 original usa CDMA/DSSS, foi fácil atualizar qualquer chipset existente e outros investimentos para o novo padrão 802.11b. Assim, o custo de produção de chips para operar a 2,4 GHz foi muito menor que para 5 GHz, tendo como resultado que os chipsets 802.11b apareceram rapidamente no mercado;
- Embora o 802.11a tenha sido desenvolvido concomitantemente com o 802.11b (ambos foram publicados em 1999, o padrão 802.11b chegou antes ao mercado);
- **802.11b foi o primeiro padrão wireless usado em grande escala** (incorporado a equipamentos portáteis e com a presença de *hotspots* Wi-Fi em escritórios, hotéis e aeroportos);

# Padrão 802.11b



- Utiliza a mesma **faixa de frequência de 2,4 GHz**, e mantém os modos de operação a **1 Mbps e 2 Mbps**. (Atribui a faixa de frequência de 2,4 GHz a 2,4835 GHz, para Brasil, China, Estados Unidos e Europa. Atribui a faixa de 2,471 GHz a 2,497 GHz para o Japão.)
- A **técnica HR-DSSS** adotada (FHSS foi descartado) introduz uma nova técnica de codificação de alta taxa, possibilitando chegar a **5,5 Mbps e 11 Mbps**.
- Para se atingir velocidades maiores, o 802.11b utiliza, ao invés da sequência de *Barker*, uma técnica de codificação chamada de *Complementary Code Keying* (CCK), que consiste em um conjunto de 64 palavras de 8 bits, que irão formar o código, e mantém as propriedades de ortogonalidade.
- A modulação utilizada será novamente o DQPSK, para os dois modos, que já faz o mapeamento de 2 bits por símbolo.
- A diferença agora estará no **código CCK**, que ao invés de mapear um código para um bit como fazia o código de *Barker*, irá **mapear cada palavra do código em 2 ou 6 bits**, de acordo com a taxa utilizada, resultando em um total de 4 bits por símbolo para 5,5 Mbps, e 8 bits por símbolo para 11 Mbps.
- Alcance de cerca de 50 metros em propagação indoor, e até 200 metros para propagação outdoor.

# Padrão 802.11b



PARAMETER	VALUE
Date of standard approval	July 1999
Maximum data rate (Mbps)	11
Typical data rate (Mbps)	5
Typical range indoors (Metres)	~30
Modulation	CCK (DSSS)
RF Band (GHz)	2.4
Channel width (MHz)	20

Taxa de Transmissão	Alcance indoor	Alcance outdoor
11 Mbps	50m	200m
5.5 Mbps	75m	300m
2 Mbps	100m	400m
1 Mbps	150m	500m

- Embora os sistemas 802.11b sejam especificados para operar a uma taxa básica de 11 Mbps, o sistema monitora a qualidade do sinal.
- **Se o sinal cai ou os níveis de interferência aumentam, então é possível que o sistema adote uma taxa de dados mais lenta** com mais correção de erro, que seja mais resiliente.
- Nessas condições, o sistema primeiro retornará a uma taxa de 5,5 Mbps, então 2Mbps e, finalmente, 1 Mbps.
- Este esquema é conhecido como **Seleção de Taxa Adaptativa (ARS)**.

# Padrão 802.11g



- Após a introdução do Wi-Fi com os padrões 802.11a e 802.11b, o padrão 802.11b tornou-se o mais popular na banda ISM 2.4 GHz, apesar de atingir menores taxas do que o 802.11a.
- Para fornecer as velocidades mais elevadas mantendo operação na banda ISM 2.4 GHz, um novo padrão foi introduzido.
- Conhecido como 802.11g, o novo padrão logo foi disponibilizado ao mercado e, em pouco tempo, tornou-se a tecnologia Wi-Fi dominante.
- Surgiu em 2003, como uma versão avançada em comparação com as versões 802.11a e 802.11b, combinando os melhores elementos das versões a e b ([a modulação do 802.11a - a OFDM](#), e [a faixa de frequência do 802.11b - a ISM de 2,4 GHz](#)), resultando em maior alcance e maior largura de banda.
- Além do uso de **OFDM**, o padrão IEEE 802.11g utiliza a técnica de espalhamento espectral **DSSS**, e a modulação **CCK** (CCK é uma forma de espalhamento espectral que utiliza códigos complementares binários de auto-correlação nula).

# Padrão 802.11g



Para atingir o desempenho desejado e manter compatibilidade com as versões anteriores, **quatro camadas físicas diferentes são adotadas**, três delas sendo definidas pelo padrão de taxa ERP (*Extended Rate PHY*) e uma delas adotando uma combinação de DSSS e OFDM.

As quatro camadas físicas são assim denominadas:

- ERP-DSSS-CCK: compatível com os sistemas herdados 802.11b.
- ERP-OFDM: introduzida no padrão 802.11g onde OFDM é usado para permitir a provisão de taxas de dados em 2,4 GHz que foram alcançadas por 11a a 5,8 GHz.
- ERP-DSSS/PBCC: introduzida para uso com 802.11b com taxas de dados estendidas para 22 e 33 Mbps. (PBCC: *Packet-based Binary Convolutionary Code* - códigos convolucionais binários, com codificação em um sistema baseado em pacotes - sequências complementares possuem autocorrelação nula.)
- DSSS-OFDM: camada nova, introduzida no padrão 802.11g, adota uma combinação de DSSS e OFDM - o cabeçalho do pacote é transmitido usando DSSS enquanto a carga útil é transmitida usando OFDM

# Padrão 802.11g



- Utiliza a mesma faixa de frequência do 802.11b (2,4GHz), fazendo com que os dois padrões sejam compatíveis;
- A largura de banda máxima é de 54Mbps por canal, mas na prática é possível atingir taxas de transmissão reais em torno de 25Mbps;
- Opera nos mesmos canais de frequência que os canais da 802.11b;
- O padrão WiFi g é completamente compatível com a versão b, o que significa que o mesmo ponto de acesso pode ser usado para as versões b e g.
- Tem uma cobertura (teórica) de cerca de 3 – 5km.

# Padrão 802.11g



IEEE 802.11G WI-FI FEATURES	
FEATURE	802.11G
Date of standard approval	June 2003
Maximum data rate (Mbps)	54
Modulation	CCK, DSSS, or OFDM
RF Band (GHz)	2.4
Channel width (MHz)	20

IEEE 802.11G WI-FI PHYSICAL LAYER SUMMARY		
PHYSICAL LAYER	USE	DATA RATES (MBPS)
ERP-DSSS	Mandatory	1, 2, 5.5, 11
ERP-OFDM	Mandatory	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54
ERP-PBCC	Optional	1, 2, 5.5, 11, 22, 33
DSSS-OFDM	Optional	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54

O padrão 802.11g forneceu uma série de melhorias em relação ao padrão 802.11b, que foi seu antecessor. Os destaques de sua performance são apresentados na tabela acima.

# Padrão 802.11n

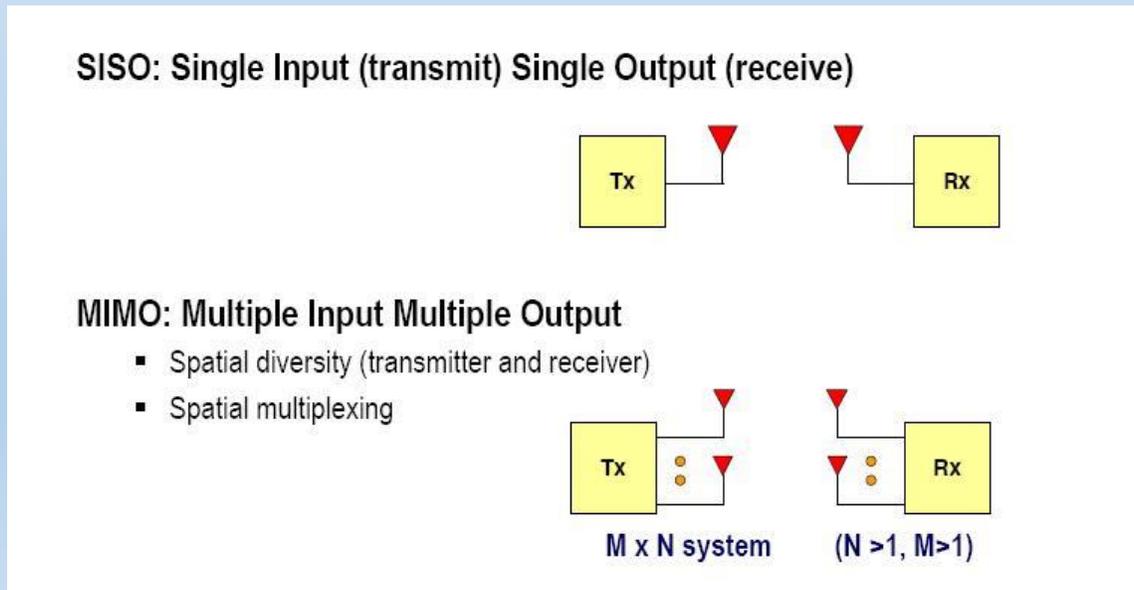


- Após o lançamento inicial do padrão WiFi, o 802.11b tornou-se o mais comum adotado em dispositivos de consumo, em parte devido ao menor custo. O 802.11b foi substituído pelo 802.11g três anos depois. O 802.11g garantia compatibilidade com as versões anteriores, visando manter suporte com o *hardware* existente;
- O IEEE aprovou oficialmente a versão final do padrão para redes sem fio **802.11n em 2009**;
- O padrão 802.11n introduziu o uso opcional da banda de 5GHz, além da faixa de 2.4 GHz;
- O padrão atinge **maior largura de banda**, pois emprega tecnologia **MIMO-OFDM** (utiliza antenas MIMO) para garantir maior taxa de transferência paralela;
- O sistema MIMO permite utilizar vários conjuntos de antenas transmissoras e receptoras;
- **Maior alcance em função do aumento da intensidade do sinal, viabilizado pela diretividade e diversidade das antenas MIMO**;
- **Taxas de transferências teóricas de 65 Mbps a 600 Mbps** (acima de 100Mbps);
- O padrão 802.11n mantém a compatibilidade com os padrões IEEE 802.11a/b/g existentes.

## Algumas características do padrão 802.11n

- O número de subportadoras de dados OFDM é aumentado de 48 para 52, o que melhora a taxa máxima de **54 a 58,5** Mbps;
- O sistema de controle de erros (FEC) adiciona dados redundantes para permitir ao receptor detectar e corrigir erros;
- A taxa de codificação de 3/4 é melhorada para 5/6 aumentando a taxa de link de **58,5 para 65** Mbps;
- O intervalo de guarda (prefixo cíclico) entre os símbolos OFDM é reduzido de 800ns para 400ns, aumentando a taxa de **65 a 72,2** Mbps;
- Duplicando a largura de banda do canal de 20 a 40 MHz, a taxa passa de **72,2 a 150** Mbps;
- O suporte de até quatro fluxos espaciais (MIMO) aumenta o *throughput* até 4 vezes, de **150 a 600** Mbps.

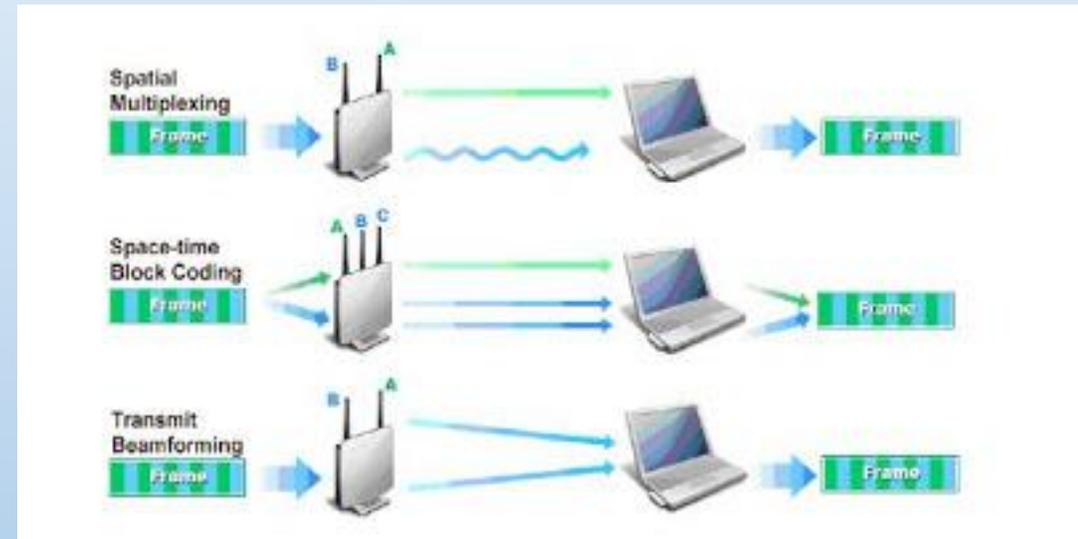
- Os sistemas baseados no padrão 802.11n têm capacidade para receber e/ou transmitir simultaneamente através de várias antenas;
- São definidas muitas configurações de antenas "M x N", variando de "1 x 1" a "4 x 4";
- M refere-se ao número de antenas de transmissão e N refere-se ao número de antenas de recepção;
- Por exemplo, um dispositivo com 2 antenas de transmissão e 3 antenas de recepção é um dispositivo MIMO "2 x 3";
- Quanto mais antenas um dispositivo 802.11n usa simultaneamente, maior é a taxa máxima de dados.



# Padrão 802.11n



- A **multiplexação espacial** (Spatial Multiplexing - SM) subdivide um fluxo de sinal de saída para transmissão através de diferentes antenas.
- Como cada transmissão se propaga ao longo de um caminho diferente, esses fluxos espaciais chegam com diferentes amplitudes e atrasos.
- A multiplexação de dois fluxos espaciais em um único canal efetivamente duplica a capacidade e, assim, maximiza a taxa de dados.
- A **codificação de bloco de espaço-tempo** (*Space-Time Block Coding* - STBC) envia um fluxo de sinal de saída de forma redundante, usando até quatro fluxos espaciais codificados de forma diferente, cada um transmitido através de uma antena diferente.
- Ao detectar conjuntamente os fluxos espaciais que chegam ao receptor, o receptor tem uma melhor chance de determinar com precisão o fluxo de sinal original na presença de interferência e distorção de RF, aumentando a confiabilidade e reduzindo a taxa de erro .



# Padrão 802.11n



IEEE 802.11N SALIENT FEATURES	
PARAMETER	IEEE 802.11N STANDARD
Maximum data rate (Mbps)	600
RF Band (GHz)	2.4 or 5
Modulation	CCK, DSSS, or OFDM
Number of spatial streams	1, 2, 3, or 4
Channel width (MHz)	20, or 40

Os principais pontos de performance do padrão são resumidos na tabela ao lado.

- O padrão IEEE 802.11n foi elaborado para ser capaz de proporcionar um desempenho muito superior ao desempenho dos padrões anteriores, atingindo velocidades oferecidas por tecnologias como a Ethernet.
- Para conseguir tal desempenho, uma série de novos recursos foram incorporados no padrão IEEE 802.11n, como mudanças na implementação do OFDM, introdução do sistema MIMO e novas tecnologias de antenas.

# Sumário dos principais padrões 802.11 Wi-Fi

	802.11A	802.11B	802.11G	802.11N
<b>Date of standard approval</b>	July 1999	July 1999	June 2003	Oct 2009
<b>Maximum data rate (Mbps)</b>	54	11	54	~600
<b>Modulation</b>	OFDM	CCK or DSSS	CCK, DSSS, or OFDM	CCK, DSSS, or OFDM
<b>RF Band (GHz)</b>	5	2.4	2.4	2.4 or 5
<b>Number of spatial streams</b>	1	1	1	1, 2, 3, or 4
<b>Channel width (MHz) nominal</b>	20	20	20	20, or 40

# Padrão 802.11ac

ac

- A última grande revisão do padrão WiFi foi o **802.11ac**, projetado para aumentar drasticamente a velocidade de transferência de dados;
- De alto desempenho, operando na frequência de 5GHz, este é o primeiro padrão no caminho para "Gigabit WiFi", onde as velocidades podem atingir 1 Gbit/s;
- Este padrão foi desenvolvido entre 2011 e 2013;
- A principal diferença entre os padrões 802.11n e 802.11ac é a **velocidade**. Enquanto os dispositivos que utilizam Wi-Fi n conseguem chegar a 450 Mbps, os dispositivos ac podem chegar a 1.3 Gbps, quase **três vez mais rápido** do que o padrão anterior.
- Outra diferença está na quantidade de antenas. Enquanto o padrão n pode trabalhar com até quatro antenas, os roteadores ac comportam até oito antenas trabalhando simultaneamente. Com mais pontos de transmissão e recepção de sinal, menos congestionada fica a rede;
- O **beamforming**, que é opcional para dispositivos n, é obrigatório para dispositivos ac. A tecnologia permite, de forma inteligente, reforçar o sinal nos locais onde há dispositivos conectados.

# Padrão 802.11ac



- A tecnologia 802.11ac traz o conjunto de antenas de *beamforming* mais inteligente e avançado.
- A maioria das antenas das estações de base têm baixa diretividade, emitindo um sinal Wi-Fi aproximadamente igual e constante em todas as direções.
- Mas o conjunto de antenas de *beamforming* é mais inteligente. Ele sabe onde há um dispositivo 802.11ac na área.
- Então, o *beamforming* direciona o sinal para esse dispositivo (sinal Wi-Fi mais forte, mais claro e mais rápido).
- O padrão 802.11n opera em 2.4 GHz – também podendo trabalhar em 5 GHz. Já o 802.11ac trabalha em 5 GHz. Na prática, apesar de oferecer alcance menor, operar em 5 GHz significa operar com menos interferências (diversos dispositivos, de telefones sem fio a microondas, emitem sinais em 2.4 GHz, o que pode poluir a frequência, tornando o Wi-Fi instável).
- O ac também oferece uma largura de canal maior, até 160 MHz contra 40 MHz do n.
- O padrão 802.11ac é compatível com todos os padrões anteriores. Porém, para extrair o máximo de desempenho, todos os equipamentos devem suportar o Wi-Fi ac. Isso também vale para roteadores n, que vão funcionar com dispositivos ac.

# Padrão 802.11ac



IEEE 802.11AC SALIENT FEATURES	
PARAMETER	DETAILS
Frequency band	5.8 GHz ISM (unlicensed) band
Max data rate	6.93 Gbps
Transmission bandwidth	20, 40, & 80 MHz 160 & 80 + 80 MHz optional
Modulation formats	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM 256-QAM optional
FEC coding	Convolutional or LPDC (optional) with coding rates of 1/2, 2/3, 3/4, or 5/6
MIMO	Both single and multi-user MIMO with up to 8 spatial streams.
Beam-forming	Optional

IEEE 802.11AC PHYSICAL LAYER		
FEATURE	MANDATORY	OPTIONAL
Channel bandwidth	20MHz, 40 MHz, 80 MHz	160 MHz, 80+80 MHz
FFT size	64, 128, 256	512
Data subcarriers/ Pilots	52 / 4, 108 / 6, 234 / 8	468 / 16
Modulation types	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM	256-QAM
Spatial streams & MIMO	1	2 to 8 TX beamforming, STBC Multi-user-MIMO

As tabelas acima apresenta algumas das principais características do padrão 802.11ac.

# Padrão 802.11ad



- O padrão 802.11ad adota uma abordagem muito diferente da tecnologia Wi-Fi existente, visando um **aumento maciço de velocidade à custa de alcance**.
- Esta versão opta por uma **alta frequência de transmissão de 60 GHz**, que permite que as velocidades de dados atinjam cerca de **7 Gbit/s**.
- Esta banda de frequência tem características de propagação significativamente diferentes das bandas de 2,4 GHz e 5 GHz onde as redes Wi-Fi operam.
- Esta frequência não pode atravessar paredes, e **requer uma linha de visada direta** para o roteador.
- O padrão 802.11ad é adequado para **transferências rápidas de dados dentro um mesmo ambiente**, mas não para uma rede doméstica ou de escritório completa.

# Padrão 802.11ad



802.11AD CHARACTERISTIC	DESCRIPTION
Operating frequency range	60 GHz ISM band
Maximum data rate	7 Gbps
Typical distances	1 - 10 m
Antenna technology	Uses beamforming
Modulation formats	Various: single carrier and OFDM

Os principais pontos de performance do padrão são resumidos nas tabelas.

802.11AD MODULATION AND CODING SUMMARY		
CONTROL PHY		
CODING	MODULATION	IDEAL RAW BIT RATE
1/2 LDPC 32X Spreading	$\pi/2$ DBPSK	27.5 Mbps
SINGLE CARRIER PHY		
CODING	MODULATION	IDEAL RAW BIT RATE
1/2 LDPC, 2X repetition 1/2 LDPC 5/8 LDPC, 3/4 LDPC 13/16 LDPC	$\pi/2$ BPSK $\pi/2$ QPSK $\pi/2$ 16-QAM	385 Mbps to 4620 Mbps
OFDM PHY		
CODING	MODULATION	IDEAL RAW BIT RATE
1/2 LDPC 5/8 LDPC, 3/4 LDPC 13/16 LDPC-	OFDM-SQPSK OFDM-QPSK OFDM-16-QAM OFDM-64-QAM	693 Mbps to 6756.75 Mbps
LOW POWER SINGLE CARRIER PHY		
CODING	MODULATION	IDEAL RAW BIT RATE
RS(224,208) + Block Code (16/12/9/8.8)	$\pi/2$ BPSK $\pi/2$ QPSK	625.6 Mbps to 2503 Mbps

# Padrão 802.11af



- O padrão IEEE 802.11af, também conhecido como "White-Fi" e "Super Wi-Fi", é uma emenda ao padrão WiFi, aprovada em fevereiro de 2014, que permite a **operação WLAN no espectro de espaço em branco da TV** nas **faixas VHF e UHF entre 54 e 790 MHz**.
- Ele usa tecnologia de **rádio cognitivo** para transmitir em canais de TV não utilizados.
- Os pontos de acesso e as estações determinam sua posição usando um sistema de posicionamento por satélite, como o GPS, e usam a Internet para consultar um banco de dados de localização geográfica (GDB) fornecido por uma agência reguladora regional para **descobrir quais canais de frequência estão disponíveis para uso em um determinado momento e posição**.
- A camada física usa **OFDM** e é baseada no padrão **802.11ac**.
- Os canais de frequência são de 6 a 8 MHz de largura, dependendo do domínio regulatório.

# Padrão 802.11af



- No Padrão 802.11af, a perda do caminho de propagação, bem como a atenuação por materiais como tijolo e concreto, é menor nas faixas UHF e VHF do que nas faixas de 2,4 e 5 GHz, o que **umenta a faixa possível**.
- Esta característica torna o padrão af a tecnologia WiFi de maior alcance, com quilômetros de cobertura.
- A característica de maior alcance é de grande utilidade para a **IOT de longa distância** e também adequada para **aplicações comerciais ou industriais que exigem comunicação de longo alcance**.
- No entanto, estas frequências não estarão disponíveis para Wi-Fi em algumas regiões, limitando as potenciais aplicações de consumo.

# Padrão 802.11ah



- Com a demanda em torno de uma solução Wi-Fi de baixa potência, o Wi-Fi Alliance introduziu o **Wi-Fi HaLow como designação para produtos que incorporam a tecnologia IEEE 802.11ah.**
- O **Wi-Fi HaLow opera em bandas de frequência abaixo de um giga-hertz**, uma frequência muito menor do que as tecnologias WiFi existentes de 2,4 GHz e 5 GHz.
- **Em 900MHz (bandas isentas de licença de sub-1 GHz), oferece maior cobertura, de até 1km, e menor consumo de energia de energia.**
- É mais lento do que a maioria das redes LAN existentes. No entanto, é bastante adequado para dispositivos de baixa potência que requerem apenas a transmissão de breves rajadas de dados, como os dispositivos para IOT.
- O Wi-Fi HaLow permitirá uma variedade de novas aplicações, incluindo sensores e wearables.

# Roadmap of Wireless Standards

- **IEEE 802.11 - The original 1 Mbit/s and 2 Mbit/s, 2.4 GHz RF and IR standard**
- **IEEE 802.11a - 54 Mbit/s, 5 GHz standard (1999, shipping products in 2001)**
- **IEEE 802.11b - Enhancements to 802.11 to support 5.5 and 11 Mbit/s (1999)**
- **IEEE 802.11d - International (country-to-country) roaming extensions**
- **IEEE 802.11e - Enhancements: QoS, including packet bursting**
- **IEEE 802.11F - Inter-Access Point Protocol (IAPP)**
- **IEEE 802.11g - 54 Mbit/s, 2.4 GHz standard (backwards compatible with b) (2003)**
- **IEEE 802.11h - 5 GHz spectrum**
- **IEEE 802.11i - Enhanced security**
- **IEEE 802.11j - Extensions for Japan**
- **IEEE 802.11k - Radio resource measurement enhancements**
- **IEEE 802.11n - Higher throughput improvements**
- **IEEE 802.11p - Wireless Access for the Vehicular Environment (ambulances and passenger cars)**
- **IEEE 802.11r - Fast roaming**
- **IEEE 802.11s - Wireless mesh networking**
- **IEEE 802.11T - Wireless Performance Prediction (WPP) - test methods and metrics**
- **IEEE 802.11u - Interworking with non-802 networks (e.g., cellular)**
- **IEEE 802.11v - Wireless network management**

# Outros padrões WiFi intermediários e complementares

- IEEE 802.11ai é uma revisão do padrão 802.11 que adicionou novos mecanismos para um tempo de configuração de link inicial mais rápido
- IEEE 802.11aj é uma alteração do 802.11ad para uso no espectro não licenciado de 45 GHz disponível em algumas regiões do mundo (especificamente a China).
- IEEE 802.11aq é uma alteração ao padrão 802.11 que permite interconexão com redes não 802. Estende alguns dos mecanismos do padrão 802.11u.
- IEEE 802.11ax é o sucessor do 802.11ac e aumentará a eficiência das redes WLAN. O projeto tem como objetivo fornecer 4x o throughput de 802.11ac.
- IEEE 802.11ay é uma emenda que define uma nova camada física para redes 802.11 para operar no espectro de ondas de 60 GHz. Será uma extensão do 11ad existente, com o objetivo de ampliar o throughput, alcance e aplicações, compreendendo: operação em ambientes fechados, back-haul e comunicações de curto alcance. A taxa máxima de transmissão de 802.11ay é de 20 Gbit/s.
- IEEE 802.11-2016 é uma revisão baseada no IEEE 802.11-2012, incorporando 5 emendas (11ae, 11aa, 11ad, 11ac, 11af). Além disso, as funções MAC e PHY existentes foram aprimoradas e os recursos obsoletos foram removidos ou marcados para remoção.