



GUIA TÉCNICO DE REFERÊNCIA

Guia Técnico WiFi

Redes Sem Fios — WiFi 4 a WiFi 7

Versão: 1.0 | **Data:** Maio de 2026

Normas: IEEE 802.11a/b/g/n/ac/ax/be · Wi-Fi Alliance

Domínio: Telecomunicações & Redes Sem Fios

Índice de Conteúdos

1. Introdução às Redes WiFi	3
2. Evolução das Normas WiFi	3
2.1 WiFi 1 a WiFi 3 (Legacy)	4
2.2 WiFi 4 (802.11n)	4
2.3 WiFi 5 (802.11ac)	5
2.4 WiFi 6/6E (802.11ax)	5
2.5 WiFi 7 (802.11be)	6
2.6 Tabela Comparativa	7
3. Frequências e Canais	7
3.1 Banda 2.4 GHz	7
3.2 Banda 5 GHz	8
3.3 Banda 6 GHz	9
3.4 DFS e Regulamentação PT	9
4. Propagação e Cobertura	10
4.1 Free Space Path Loss (FSPL)	10
4.2 Atenuação por Obstáculos	10
4.3 Planeamento Indoor	11
5. Tecnologias Chave	11
5.1 MIMO e MU-MIMO	11
5.2 OFDMA	12
5.3 Beamforming	12
5.4 Band Steering e Roaming	13
5.5 Mesh WiFi	13
6. Segurança WiFi	14
7. Troubleshooting WiFi	15
8. Equipamentos Operadores PT	17

1. Introdução às Redes WiFi

As redes WiFi (Wireless Fidelity) são a tecnologia de comunicação sem fios mais difundida no mundo, permitindo a ligação de dispositivos à Internet e a redes locais sem necessidade de cabos. Baseadas nas normas IEEE 802.11, as redes WiFi evoluíram drasticamente desde a sua introdução em 1999, passando de velocidades de 11 Mbps para os 46 Gbps teóricos do WiFi 7.

Para os técnicos de telecomunicações em Portugal, o WiFi é um componente crítico da cadeia de serviço — o "último metro" entre o router/ONT e os dispositivos do cliente. Uma instalação FTTH ou HFC perfeita pode resultar numa má experiência se o WiFi não estiver corretamente configurado.

Este guia técnico abrange todas as gerações WiFi relevantes, frequências e canais, propagação de sinal, tecnologias avançadas como OFDMA e MU-MIMO, segurança, troubleshooting e equipamentos específicos dos operadores portugueses (MEO, NOS, Vodafone, DIGI).

2. Evolução das Normas WiFi

A Wi-Fi Alliance introduziu a nomenclatura simplificada (WiFi 1, 2, 3...) em 2018 para facilitar a identificação das gerações. Cada geração trouxe melhorias significativas em velocidade, eficiência, alcance e número de dispositivos simultâneos.

2.1 WiFi 1 a WiFi 3 (Legacy)

WiFi 1 (802.11b, 1999): Primeira norma comercializada em massa. Operava apenas nos 2.4 GHz com modulação DSSS/CCK, atingindo 11 Mbps. Apesar da velocidade limitada, democratizou o acesso sem fios em residências e escritórios.

WiFi 2 (802.11a, 1999): Introduziu a banda dos 5 GHz e modulação OFDM com 64-QAM, atingindo 54 Mbps. Menos interferência mas menor alcance. Pouco adotada na Europa inicialmente.

WiFi 3 (802.11g, 2003): Combinou a modulação OFDM do 802.11a com a banda 2.4 GHz do 802.11b, oferecendo 54 Mbps com retrocompatibilidade total. Tornou-se o padrão dominante durante vários anos.

2.2 WiFi 4 (802.11n)

Lançado em 2009, o WiFi 4 foi um salto revolucionário. Principais inovações:

- **MIMO (Multiple Input, Multiple Output):** Até 4 antenas TX/RX (4x4), permitindo múltiplos fluxos de dados simultâneos (spatial streams).
- **Canais de 40 MHz:** Duplicação da largura de canal (20 → 40 MHz) para maior throughput.
- **Dual-Band:** Primeira norma a operar oficialmente em 2.4 e 5 GHz.
- **Velocidade máxima teórica:** 600 Mbps (4 streams × 150 Mbps).
- **Frame Aggregation:** Empacotamento de múltiplos frames (A-MPDU, A-MSDU) para maior eficiência.

2.3 WiFi 5 (802.11ac)

Lançado em 2014, focou-se na banda de 5 GHz para maximizar a performance:

- **256-QAM:** Modulação mais densa, transportando 8 bits por símbolo (vs. 6 no WiFi 4).
- **Canais até 160 MHz:** Quadruplicação da largura de canal para throughputs massivos.
- **MU-MIMO (Downlink):** Primeiro suporte a transmissão simultânea para múltiplos dispositivos (até 4 em Wave 2).
- **Beamforming explícito:** Focagem do sinal na direção do dispositivo para melhor SNR.
- **Velocidade máxima:** 6.9 Gbps teóricos (8 streams × 160 MHz × 256-QAM).

2.4 WiFi 6/6E (802.11ax)

Lançado em 2020 (WiFi 6) e 2021 (WiFi 6E com banda 6 GHz), representou a maior evolução desde o WiFi 4:

- **OFDMA:** Divisão de cada canal em sub-canais (Resource Units), servindo múltiplos dispositivos simultaneamente.
- **1024-QAM:** 10 bits por símbolo, aumento de 25% na capacidade vs. 256-QAM.
- **MU-MIMO bidirecional:** Uplink e downlink simultâneo para até 8 dispositivos.
- **TWT (Target Wake Time):** Dispositivos IoT podem "dormir" em intervalos programados, reduzindo consumo de bateria.
- **BSS Coloring:** Cada rede recebe uma "cor" identificadora, reduzindo interferência entre redes vizinhas (OBSS).
- **WiFi 6E:** Extensão para a banda 6 GHz (5925-7125 MHz), adicionando até 1200 MHz de espectro limpo.

2.5 WiFi 7 (802.11be)

O WiFi 7, certificado em 2024, é a geração mais avançada atualmente disponível:

- **4096-QAM (4K-QAM):** 12 bits por símbolo, aumento de 20% vs. 1024-QAM.
- **Canais de 320 MHz:** Dobro da largura máxima do WiFi 6, na banda 6 GHz.
- **MLO (Multi-Link Operation):** Agregação de múltiplas bandas simultaneamente (2.4+5+6 GHz).
- **Até 16 spatial streams:** Dobro do WiFi 6.
- **Preamble Puncturing:** Utilização de porções livres de canais parcialmente ocupados.
- **Velocidade máxima teórica:** 46 Gbps (16 streams × 320 MHz × 4K-QAM).

2.6 Tabela Comparativa

Geração	Norma IEEE	Ano	Bandas	Canal Máx.	Vel. Máx.	Modulação	Tecnologia Chave
WiFi 1	802.11b	1999	2.4 GHz	22 MHz	11 Mbps	CCK/DSSS	Primeiro WiFi massificado
WiFi 2	802.11a	1999	5 GHz	20 MHz	54 Mbps	64-QAM	Primeira utilização 5 GHz
WiFi 3	802.11g	2003	2.4 GHz	20 MHz	54 Mbps	64-QAM	Retrocompatível com 11b

WiFi 4	802.11n	2009	2.4/5 GHz	40 MHz	600 Mbps	64-QAM	MIMO (até 4 streams)
WiFi 5	802.11ac	2014	5 GHz	160 MHz	6.9 Gbps	256-QAM	MU-MIMO, Beamforming
WiFi 6	802.11ax	2020	2.4/5 GHz	160 MHz	9.6 Gbps	1024-QAM	OFDMA, TWT, BSS Color
WiFi 6E	802.11ax	2021	6 GHz	160 MHz	9.6 Gbps	1024-QAM	Banda 6 GHz
WiFi 7	802.11be	2024	2.4/5/6 GHz	320 MHz	46 Gbps	4096-QAM	MLO, 16 streams, 320 MHz

3. Frequências e Canais

3.1 Banda 2.4 GHz

A banda 2.4 GHz (2400-2483.5 MHz) é a mais antiga e universal. Em Portugal estão disponíveis os canais 1 a 13. Apenas os canais 1, 6 e 11 são não sobrepostos em 20 MHz — nunca usar outros canais, pois a sobreposição parcial causa interferência pior do que partilhar o mesmo canal.

Canal	Freq. Central	Largura	Sobreposição	Recomendação
1	2412 MHz	20 MHz	Não (com 6, 11)	✔ Prioritário
6	2437 MHz	20 MHz	Não (com 1, 11)	✔ Prioritário
11	2462 MHz	20 MHz	Não (com 1, 6)	✔ Prioritário
13	2472 MHz	20 MHz	Parcial com 11	⚠ Evitar

Vantagens: Maior alcance, compatibilidade universal. Desvantagens: Apenas 3 canais não sobrepostos, elevada interferência (micro-ondas, Bluetooth, outros APs).

3.2 Banda 5 GHz

A banda 5 GHz (5150-5850 MHz) oferece muito mais espectro, dividido em sub-bandas UNII:

Sub-banda	Frequências	Canais	DFS	Potência EIRP	Notas
UNII-1	5150-5250 MHz	36, 40, 44, 48	Não	200 mW (23 dBm)	Indoor — sem restrições
UNII-2	5250-5350 MHz	52-64	Sim	200 mW	DFS obrigatório
UNII-2 Ext	5470-5725 MHz	100-140	Sim	1 W (30 dBm)	DFS, boa potência
UNII-3	5725-5850 MHz	149-165	Não	1 W / 4 W outdoor	Livre

3.3 Banda 6 GHz

A banda 6 GHz (5925-7125 MHz) é exclusiva do WiFi 6E e WiFi 7:

- **Sem dispositivos legacy:** Zero interferência de equipamentos antigos.
- **Canais largos:** 80, 160 e 320 MHz nativamente.
- **Europa:** Low Power Indoor (LPI) com 200 mW EIRP máximo.
- **Ideal para:** Gaming, videoconferência e aplicações tempo-real.

3.4 DFS e Regulamentação em Portugal

DFS (Dynamic Frequency Selection) é obrigatório nos canais que partilham espectro com radares. O AP monitoriza o canal durante 60 segundos (CAC) antes de transmitir. Se detetar um sinal radar, deve evacuar em 10 segundos. Possíveis micro-desconexões.

Portugal segue as normas **ETSI EN 301 893**. Potência máxima EIRP: 200 mW indoor (UNII-1/2) e 1 W (UNII-2 Ext/UNII-3).

4. Propagação e Cobertura

4.1 Free Space Path Loss (FSPL)

$$\text{FSPL (dB)} = 20 \cdot \log_{10}(d) + 20 \cdot \log_{10}(f) + 32.44 \quad (\text{d em km, } f \text{ em MHz})$$

Exemplo: A 10 metros em 5 GHz (5500 MHz), FSPL \approx 60.2 dB. No 2.4 GHz (2437 MHz), FSPL \approx 53.1 dB — 7 dB menos. Isto explica o maior alcance dos 2.4 GHz.

4.2 Atenuação por Obstáculos

Material	Atenuação Típica	Impacto	Notas
Vidro simples	2 dB	Mínimo	Vidro duplo: 4-6 dB
Pladur/Gesso	3 dB	Baixo	Parede divisória padrão
Madeira	4 dB	Baixo-Médio	Portas e estantes
Tijolo	6 dB	Médio	Paredes exteriores típicas PT
Alvenaria antiga	8 dB	Alto	Edifícios pré-1970
Betão armado	12 dB	Muito alto	Lajes e pilares
Metal	20+ dB	Bloqueante	Portas metálicas, elevadores

4.3 Planeamento de Cobertura Indoor

- T1/T2 (50-90 m²):** Um AP central geralmente suficiente em 2.4 GHz. Para 5 GHz, posicionar perto das áreas de maior utilização.
- T3/T4 (100-150 m²):** Considerar mesh com 2 nós, especialmente com paredes de tijolo/betão.
- Moradia (200+ m²):** Mesh com 3+ nós obrigatório. Backhaul Ethernet para máximo desempenho.
- Posicionamento do AP:** Centro da casa, 1.5-2m altura, longe de micro-ondas e superfícies metálicas. Evitar armários fechados.

5. Tecnologias Chave

5.1 MIMO e MU-MIMO

- SU-MIMO:** O AP comunica com um dispositivo de cada vez, usando múltiplos streams (ex: 2x2 = 2 streams).
- MU-MIMO (WiFi 5+):** Transmissão simultânea para múltiplos dispositivos. WiFi 5: 4 dispositivos downlink. WiFi 6: 8 dispositivos up/downlink.
- Na prática:** Smartphones são 2x2. Laptops premium 2x2 ou 3x3. APs topo de gama 4x4 ou 8x8.

5.2 OFDMA e Eficiência Espectral

OFDMA (introduzido no WiFi 6) divide um canal em Resource Units (RUs) de 26, 52, 106 ou 242 subportadoras. Múltiplos dispositivos transmitem/recebem em simultâneo, cada um ocupando apenas as RUs necessárias. Ideal para ambientes densos com muitos dispositivos IoT.

5.3 Beamforming

Direciona o sinal WiFi para a posição do dispositivo. **Explicit Beamforming (WiFi 5+)** usa sounding frames para focagem precisa. Ganho típico: 3-6 dB. Melhoria significativa em alcance e velocidade, especialmente em 5 GHz.

5.4 Band Steering e Roaming

Band Steering incentiva dispositivos a ligarem-se à banda de 5 GHz. O AP atrasa o probe response em 2.4 GHz.

Roaming 802.11r/k/v: Permitem transição rápida entre APs mesh. 802.11r (Fast BSS Transition) reduz o handoff para <50ms, essencial para VoIP e streaming.

5.5 Mesh WiFi

- **Backhaul wireless:** Comunicação entre nós via WiFi (5 GHz dedicado). Cada salto reduz ~50% do throughput.
- **Backhaul Ethernet:** Ligação por cabo — máximo desempenho. Sempre recomendado.
- **Soluções PT:** MEO Smart WiFi (Plume), NOS WiFi Intelligent, Vodafone Super Wi-Fi (TP-Link Deco).

6. Segurança WiFi

6.1 Evolução dos Protocolos

Protocolo	Ano	Cifra	Chave	Vulnerabilidades	Estado	Recomendação
WEP	1999	RC4	40/104 bits	Quebrado em minutos	❌ Obsoleto	Nunca usar
WPA	2003	TKIP (RC4)	128 bits	Ataques TKIP	❌ Descontinuado	Não recomendado
WPA2-PSK	2004	AES-CCMP	128 bits	KRACK (2017), PSK fraca	⚠️ Aceitável	OK c/ pass forte
WPA2-Ent.	2004	AES-CCMP	128 bits	Mais seguro (RADIUS)	✅ Recomendado	Empresas (802.1X)
WPA3-PSK	2018	SAE+GCMP	128/192 bits	SAE resist. offline	✅ Recomendado	Melhor residencial
WPA3-Ent.	2018	GCMP-256	192 bits	Suite B (CNSA)	✅ Recomendado	Máx. segurança
OWE	2018	AES-CCMP	128 bits	Sem password, com cifra	✅ Redes abertas	Subst. redes abertas

6.2 Boas Práticas de Segurança

- **Password WPA2/WPA3:** Mínimo 12 caracteres, mistura de letras, números e símbolos. Evitar nome da rede ou morada.
- **Desativar WPS:** O WPS PIN é vulnerável a ataques de força bruta (Reaver). Manter sempre desativado.
- **Firmware atualizado:** Verificar atualizações pelo menos trimestralmente.
- **Rede de convidados:** Isolar dispositivos de visitantes numa rede separada sem acesso à LAN principal.
- **Gestão remota desativada:** Interface de administração só acessível via LAN.

7. Troubleshooting WiFi

7.1 Diagnóstico de Velocidade

Quando o cliente reporta velocidade WiFi lenta:

- **Passo 1:** Testar por cabo Ethernet. Se por cabo também é lento, o problema não é WiFi.
- **Passo 2:** Verificar em que banda está ligado (2.4 ou 5 GHz). Na app do router ou via browser.

- **Passo 3:** Testar em 5 GHz perto do router. Se atinge a velocidade contratada, o problema é cobertura.
- **Passo 4:** Verificar número de dispositivos. Mais de 15 em simultâneo degrada desempenho.
- **Passo 5:** Scan de canais (WiFi Analyzer). Mudar para canal menos congestionado.

7.2 Problemas de Cobertura

- **Reposicionar router:** Posição central, 1.5-2m altura.
- **Obstáculos:** Betão armado e espelhos são os maiores bloqueadores.
- **Mesh vs Extender:** Extenders cortam 50% throughput e não fazem roaming. Mesh sempre preferível.

7.3 Desconexões Intermitentes

- **DFS:** Se num canal DFS (52-64, 100-140), pode evacuar por deteção de radar. Mover para não-DFS.
- **Interferência:** Micro-ondas, DECT, baby monitors operam nos 2.4 GHz.
- **Drivers:** Atualizar drivers WiFi do portátil (Gestor de Dispositivos → Adaptadores de Rede).
- **Roaming:** Se alterna constantemente entre APs mesh, ajustar sensibilidade de roaming.

8. Equipamentos dos Operadores PT

Equipamentos WiFi fornecidos pelos principais operadores em Portugal (2024-2026):

Operador	Router/ONT	WiFi	Bandas	Solução Mesh
MEO	Smart Router 2.0	WiFi 6	2.4 + 5 GHz	MEO Smart WiFi (Plume)
MEO	Smart Router 3.0	WiFi 6E	2.4 + 5 + 6 GHz	MEO Smart WiFi
NOS	NOS Router WiFi 6	WiFi 6	2.4 + 5 GHz	NOS WiFi Intelligent
Vodafone	Smart Router 2.0	WiFi 6	2.4 + 5 GHz	Vodafone Super Wi-Fi
DIGI	Router DIGI	WiFi 5/6	2.4 + 5 GHz	Não incluído

Nota: Os modelos e funcionalidades podem variar conforme o pacote contratado e a zona geográfica.

Dicas de Configuração por Operador

- **MEO:** Acesso via 192.168.1.254. Password na etiqueta do router. Gestão via app Plume/MEO.
- **NOS:** Acesso via 192.168.1.1. Gestão de banda (2.4/5 GHz) na app NOS.
- **Vodafone:** Acesso via 192.168.1.1. Super Wi-Fi utiliza nós TP-Link Deco com backhaul wireless.
- **DIGI:** Acesso via 192.168.1.1. Router básico, sem mesh integrado. Mesh de terceiros recomendado para casas maiores.