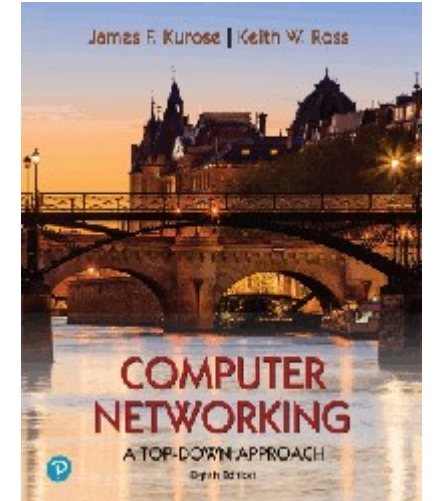


Redes de Computadores

Redes sem Fio e

Redes Móveis



Material baseado nas apresentações (*slides*) disponibilizados junto com o livro referência a seguir.

A note on the use of these Powerpoint slides:
We're making these slides freely available to all (faculty, students, readers). They're in PowerPoint form so you see the animations; and can add, modify, and delete slides (including this one) and slide content to suit your needs. They obviously represent a *lot* of work on our part. In return for use, we only ask the following:

All material copyright 1996-2020
J.F Kurose and K.W. Ross, All Rights Reserved

Bibliografia:

*Computer Networking: A
Top Down Approach*

*8th Edition, Global Edition
Jim Kurose, Keith Ross
Pearson 2020*

Sumário

Introdução

Wireless (redes sem fio)

- Enlaces sem fio e características da rede
- WiFi: LANs sem fio 802.11
- Redes celulares: 4G e 5G

Mobilidade

- Princípios do gerenciamento de mobilidade
- Gerenciamento de mobilidade: questões práticas
 - Redes 4G/5G
 - Mobile IP
- Mobilidade e o impacto em protocolos de nível superior

Redes móveis (*mobile*) e sem fio (*wireless*): contexto

Há muito mais dispositivos móveis que assinantes de linhas fixas

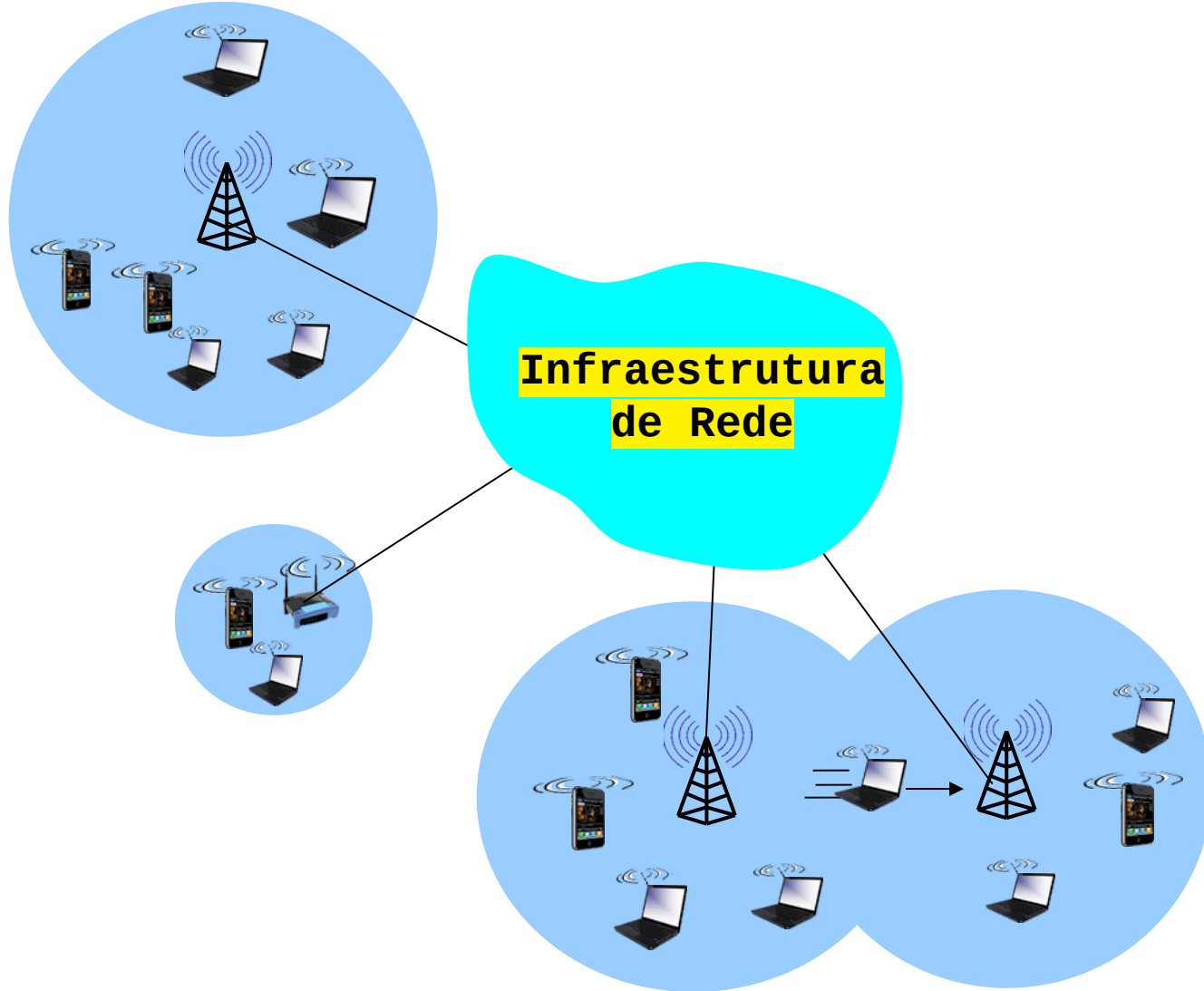
Há mais dispositivos móveis de banda larga que dispositivos fixos conectados à banda larga (5-1 em 2019)

Redes celulares 4G/5G adotando a pilha de protocolos de Internet (incluindo configurações SDN – *Software Defined Networking*)

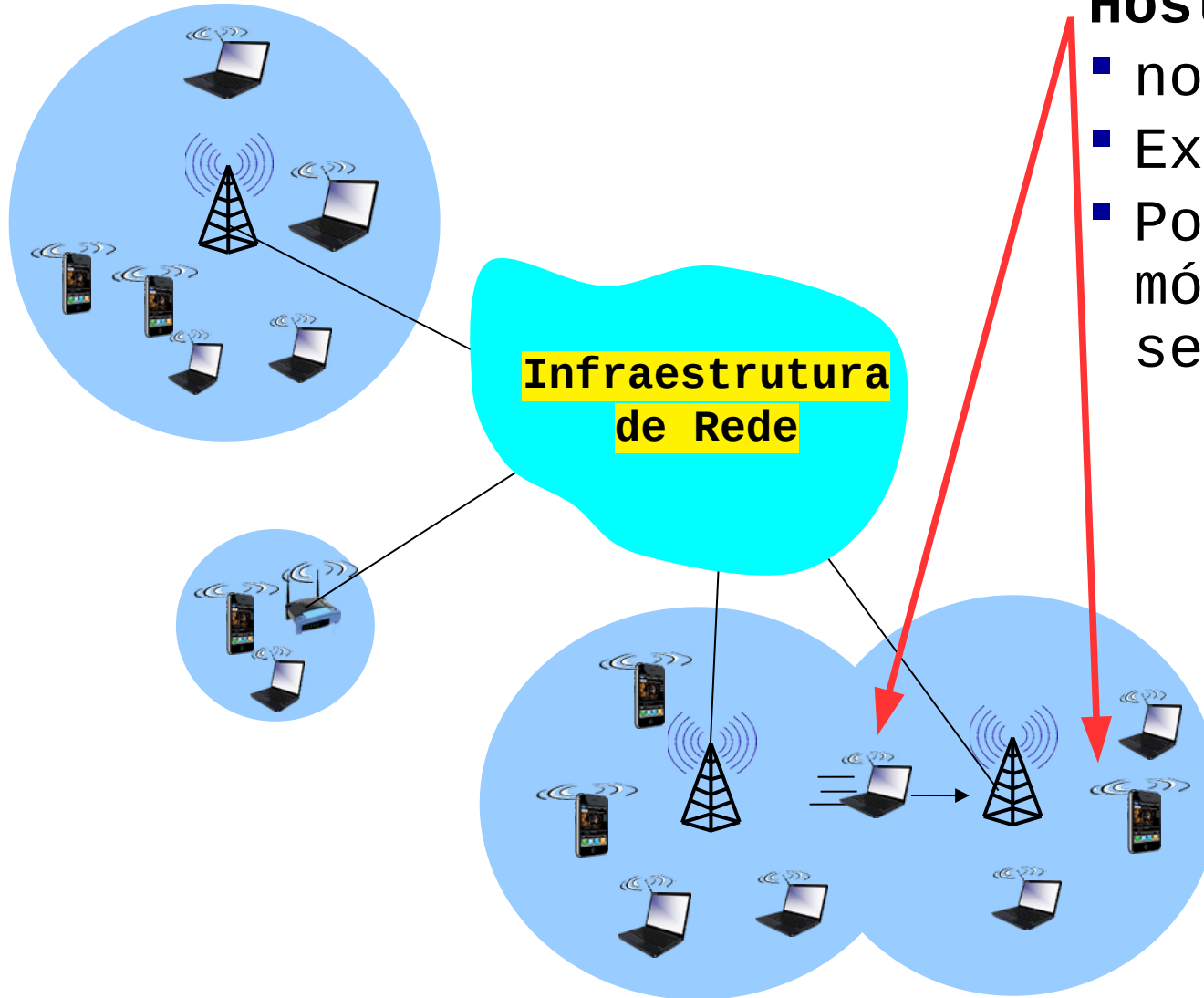
Duas importantes mas diferentes questões:

- **Redes sem fio**: como se comunicar em enlaces de redes sem fio compartilhadas
- **Mobilidade**: tratamento dos usuários móveis quando muda ou troca o ponto de conexão à rede móvel

Elementos de uma rede sem fio

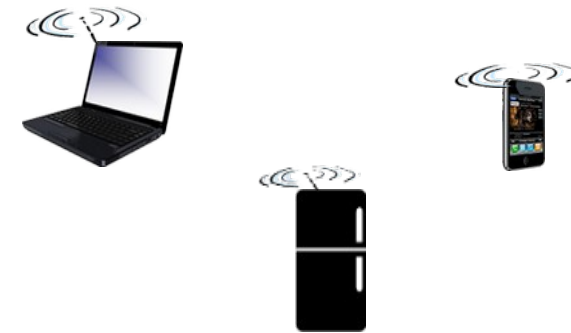


Elementos de uma rede sem fio

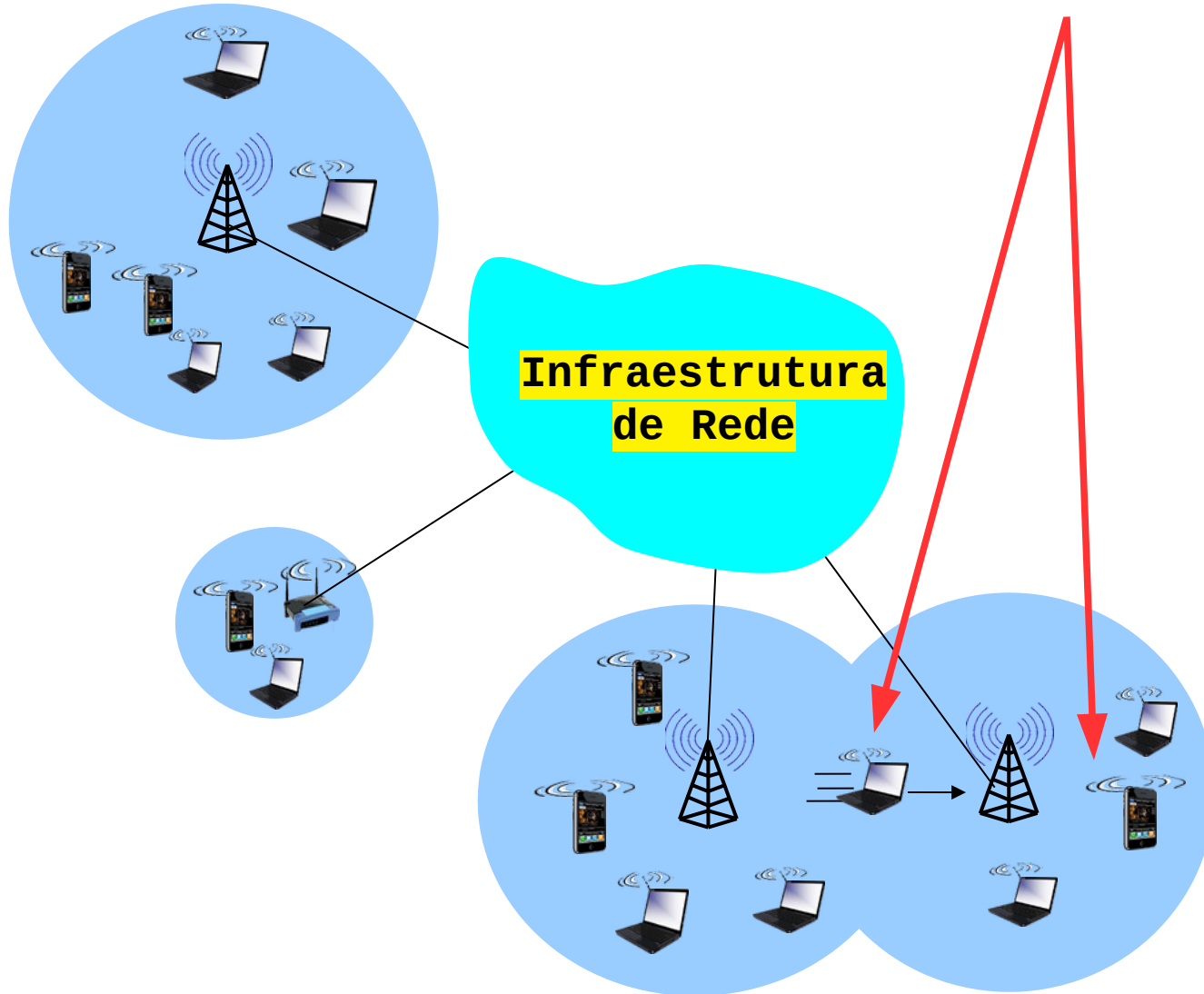


Hosts sem fio

- notebooks, smartphones, **IoT**
- Executa aplicações
- Pode ser estacionário (não-móvel) ou móvel (sem fio nem sempre indica mobilidade)



Elementos de uma rede sem fio

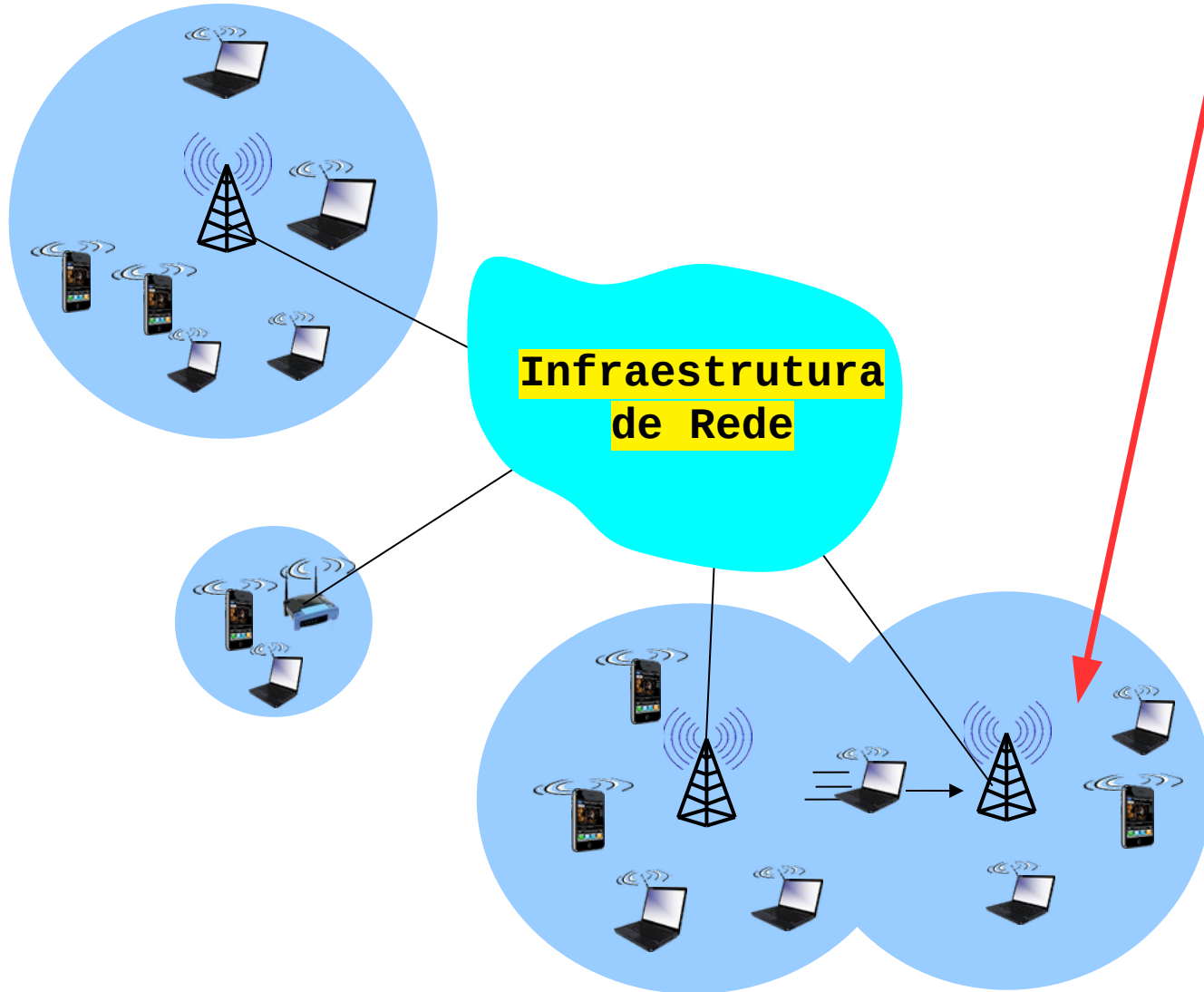


Estação base

- Conecta-se tipicamente a uma rede cabeada
- *Relay* – responsável por enviar pacotes entre redes cabeadas e hosts sem fio dentro de sua área:

células em redes celulares e pontos de acesso 802.11

Elementos de uma rede sem fio

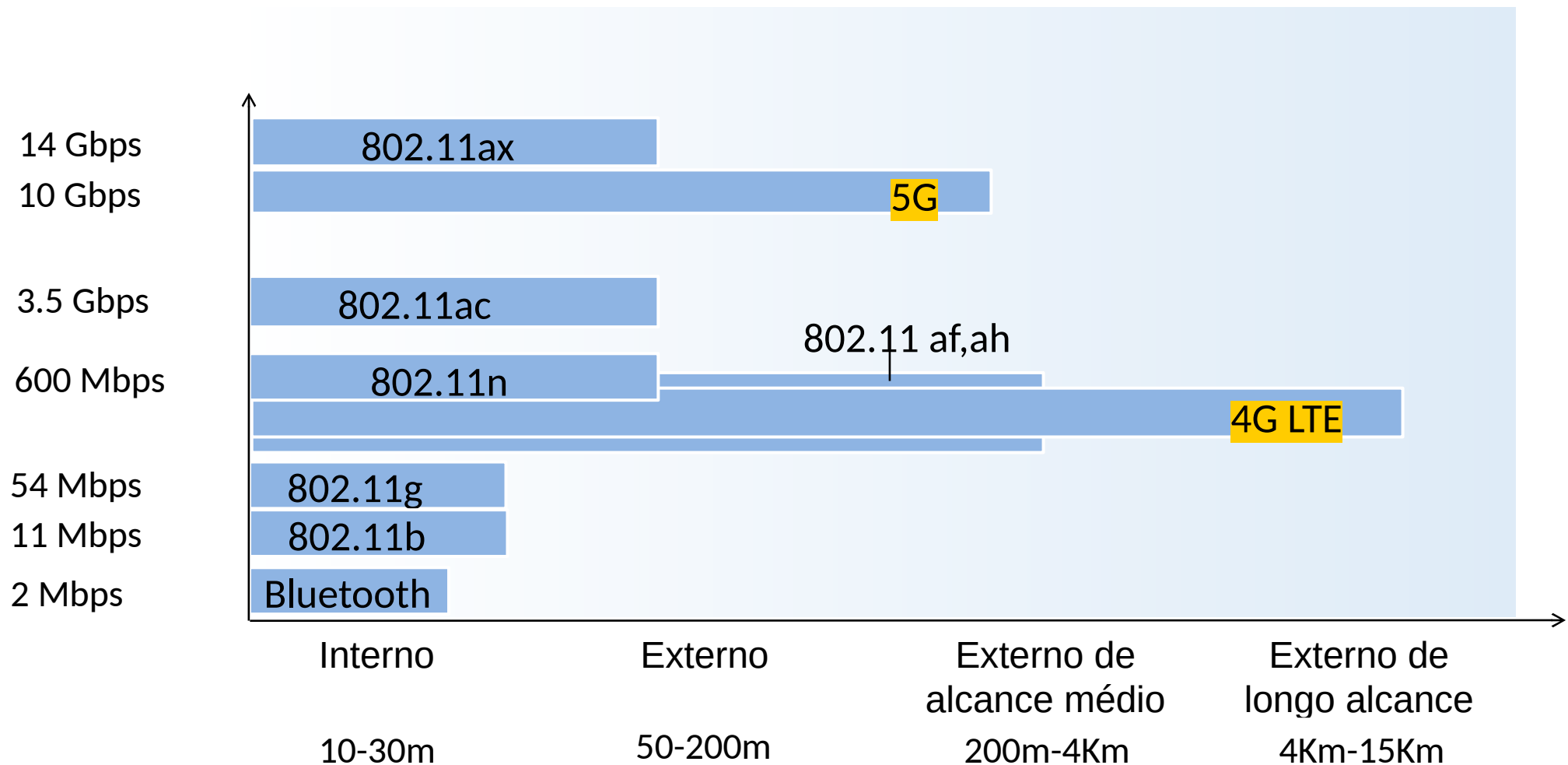


Enlace Rede sem Fio

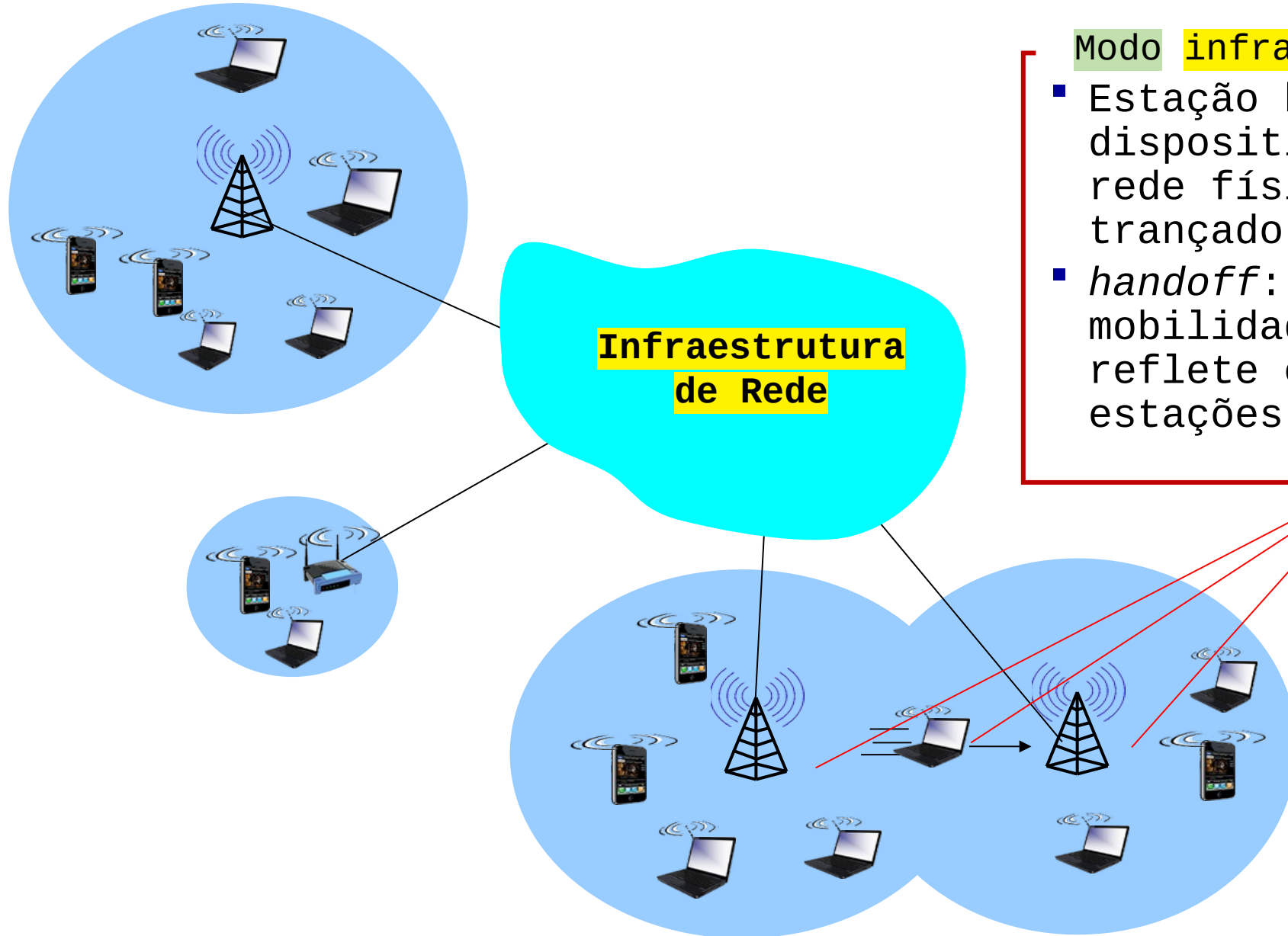
- Tipicamente usado para conectar disp. móveis em uma estação base
- Também usado como enlace de backbone
- Protocolos de acesso múltiplo coordenam acesso ao enlace
- Várias razões de transmissão de dados e diferentes distâncias

Características de alguns enlaces de redes sem fio:

Wireless e Redes Celulares Móveis



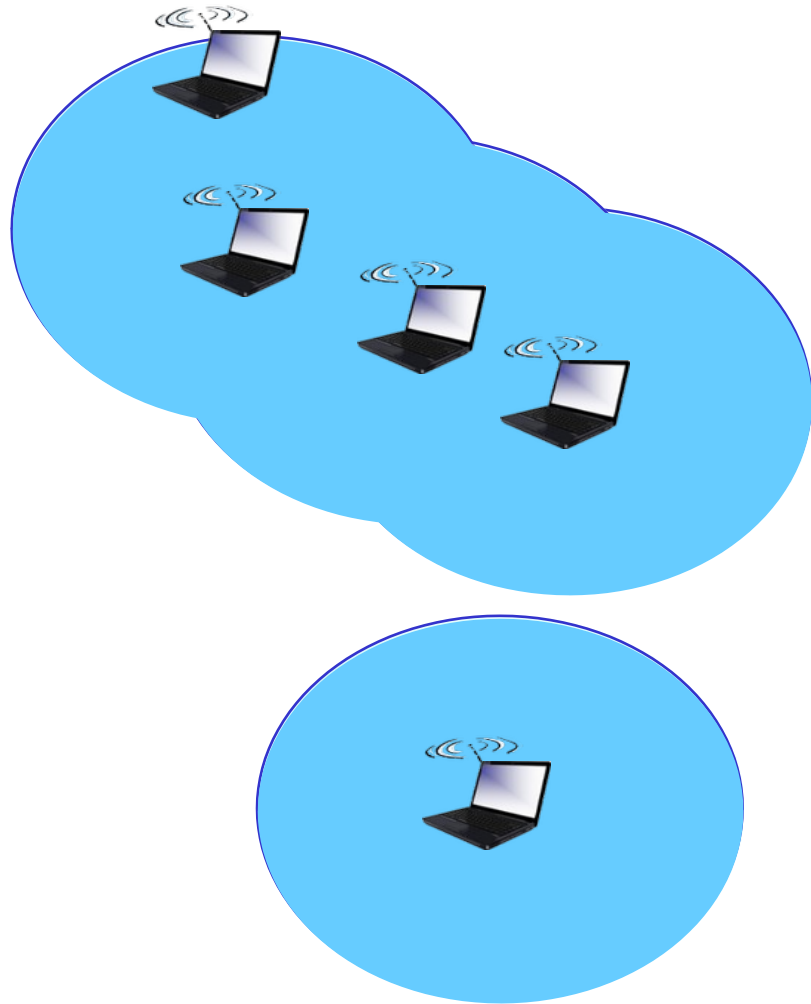
Elementos de uma rede sem fio



Modo infraestrutura

- Estação base conecta dispositivos móveis em uma rede física cabeada (par trançado ou fibra óptica)
- *handoff*: mudanças na mobilidade dos dispositivos reflete em mudanças entre estações base

Elementos de uma rede sem fio



Modo *ad hoc*

- Sem estações base (AP)
- Nós (hosts) somente podem transmitir para outros nós dentro do alcance do enlace
- Nós se organizam dentro da rede: o roteamento ocorre entre os mesmos

Taxonomia de redes sem fio

Quantos nós (hops) um pacote de atravessar?

	único hop	múltiplos hops
Com infraestrutura (p. ex. APs)	Hosts conectam-se a uma estação base (Wi-Fi, celular) que é conectada à infraestrutura de rede da internet	Hosts podem ter que retransmitir através de vários nós sem fio para se conectar à infraestrutura. Ex.: redes mesh sem fio
Sem infraestrutura	Sem uma estação base; sem conexão à infraestrutura da internet. Ex.: Bluetooth, ad hoc nets	Sem estação base; sem conexão à infraestrutura; conexão entre nós (normalmente móveis). Ex.: MANETs (mobile ad hoc networks) e VANETs (vehicular ad hoc networks)

Sumário

Introdução

Wireless (redes sem fio)

- Enlaces sem fio e características da rede
- WiFi: LANs sem fio 802.11
- Redes celulares: 4G e 5G

Mobilidade

- Princípios do gerenciamento de mobilidade
- Gerenciamento de mobilidade: questões práticas
 - Redes 4G/5G
 - Mobile IP
- Mobilidade e o impacto em protocolos de nível superior

Características dos enlaces sem fio

Importantes diferenças das redes com fio

Intensidade do sinal decresce: um sinal de rádio tem sua potência atenuada quando se propaga através de qualquer meio (perda de caminho – *path loss*)

Interferência originada por outras fontes:

Frequências de redes sem fio (p. ex. 2.4 GHz) são meios físicos compartilhados

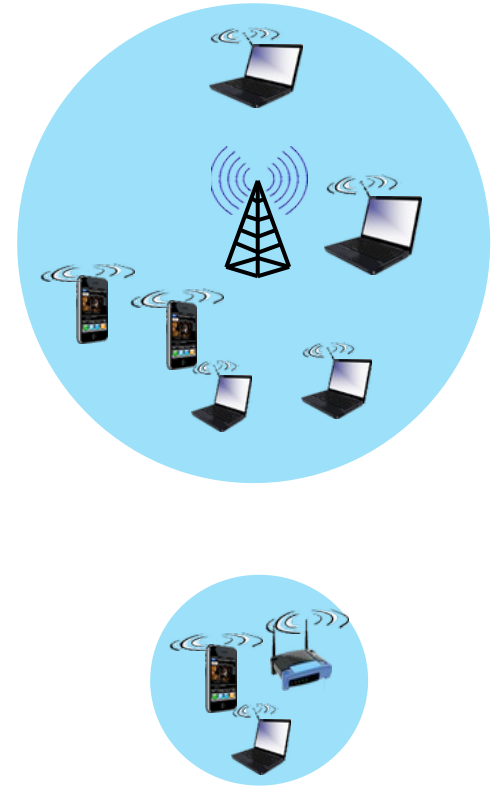


Características dos enlaces sem fio

Importantes diferenças das redes com fio

Propagação multicaminho (*multipath propagation*): sinais de rádio refletem em objetos, chegando ao destino em diferentes instantes de tempo (*transmit and receive diversity*).

Com **802.11n**, o multicaminho passou a ser usado para transmitir e receber em vários *streams* (MIMO: *multiple in, multiple out*)



Características dos enlaces sem fio

Alcance das redes sem fio depende de:

- Ganho das antenas instaladas nos pontos de acesso e no cliente: 2-3 dBi (notebooks) 3-7 dBi (externas)
- A potência dos transmissores: 50 a 100 mW (limitada pela ANATEL)
- Obstáculos e fontes de interferência

Características dos enlaces sem fio

Obstáculos: superfícies metálicas, incluindo espelhos; materiais densos (concreto e pedra); corpos com grande concentração de água (aquários, piscinas, extensas folhagens)

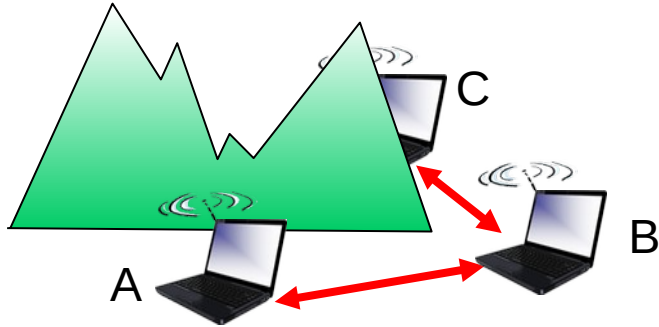
Interferências: são todos os equipamentos que geram sinais nas mesmas frequências de operação das redes sem fio.

- Para a faixa de 2,4 GHz: outros pontos de acesso transmitindo no mesmo canal; fornos de microondas; telefones sem fio

- A faixa de 5 GHz possui menor interferência de equipamentos

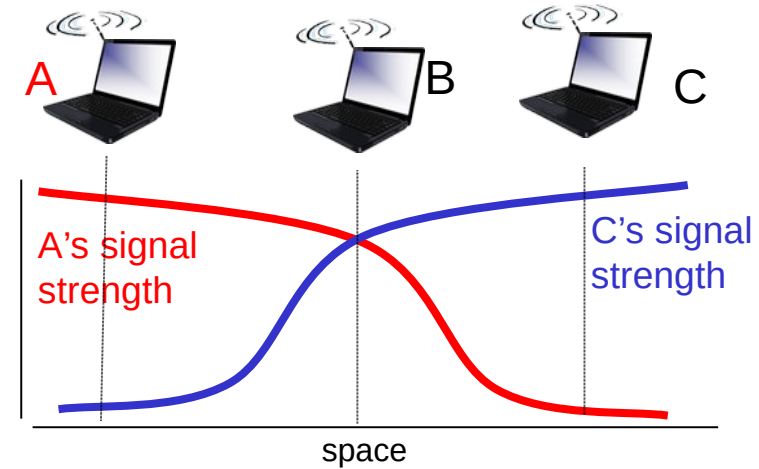
Características dos enlaces sem fio

Problemas adicionais criados por **múltiplos** transmissores e **múltiplos** receptores



Problema do terminal escondido
(*hidden terminal problem*)

- B e A ouvem-se mutuamente
- B e C ouvem-se mutuamente
- A e C não podem ouvir respectivas transmissões e **eles desconhecem que estão interferindo em B**



Atenuação do sinal

- B e A ouvem-se mutuamente
- B e C ouvem-se mutuamente
- A e C **não podem “ouvir” sobre a interferência causada em B**

Características dos enlaces sem fio

RESUMO: **fenômenos** que **afetam a**
propagação dos sinais de radio-frequência

Reflexão

Difração

Desvanecimento

Efeito Doppler

Caminhos múltiplos

Interferência

Ruído

Características dos enlaces sem fio

Bandas de radio **ISM** (aplicações **Industriais, Científicas e Médicas** - *Industrial, Scientific and Medical*)

- São faixas de frequência não licenciadas (podem ser usadas para diversos propósitos, desde que respeitadas questões de potência/alcance)
- Telecomunicações de baixa potência e de curto alcance
- Usos: Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, telefones sem fio, RFID e NFC.

Atribuição de frequências:

(Mundo: ITU) (EUA: FCC) (Brasil: ANATEL)

<https://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?numeroPublicacao=314474&pub=original&filtro=1&documentoPath=314474.pdf>

https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredeswifi1/pagina_5.asp

Características dos enlaces sem fio

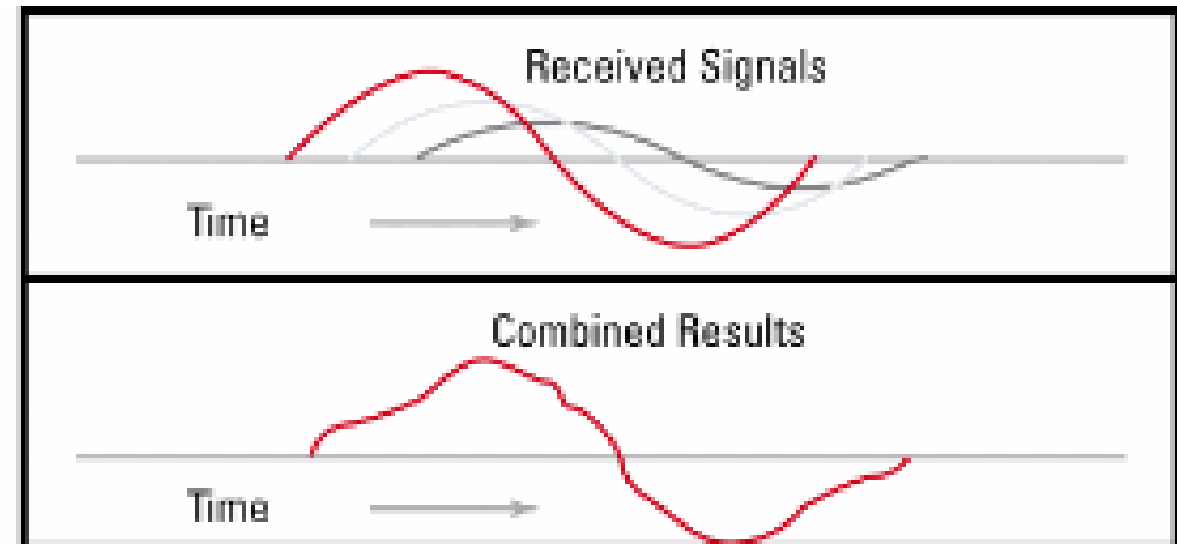
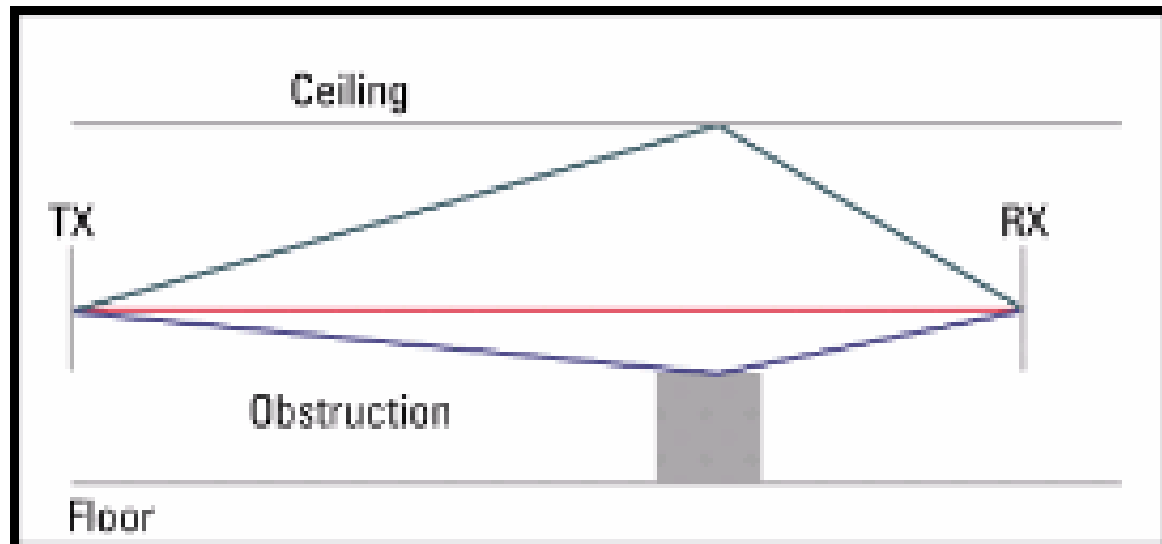
Bandas de radio **ISM** (aplicações **Industriais, Científicas e Médicas** - *Industrial, Scientific and Medical*)

Algumas faixas designadas pela Anatel:

(HF) 6,765-6,795 MHz 13,563-13,567 MHz
26,957-27,283 MHz
(VHF) 40,66-40,7 MHz
(UHF) 902-928 MHz 2400-2500 MHz (UHF)
(SHF) 24-24,25 GHz
(EHF) 61-61,5 GHz 122-123 GHz

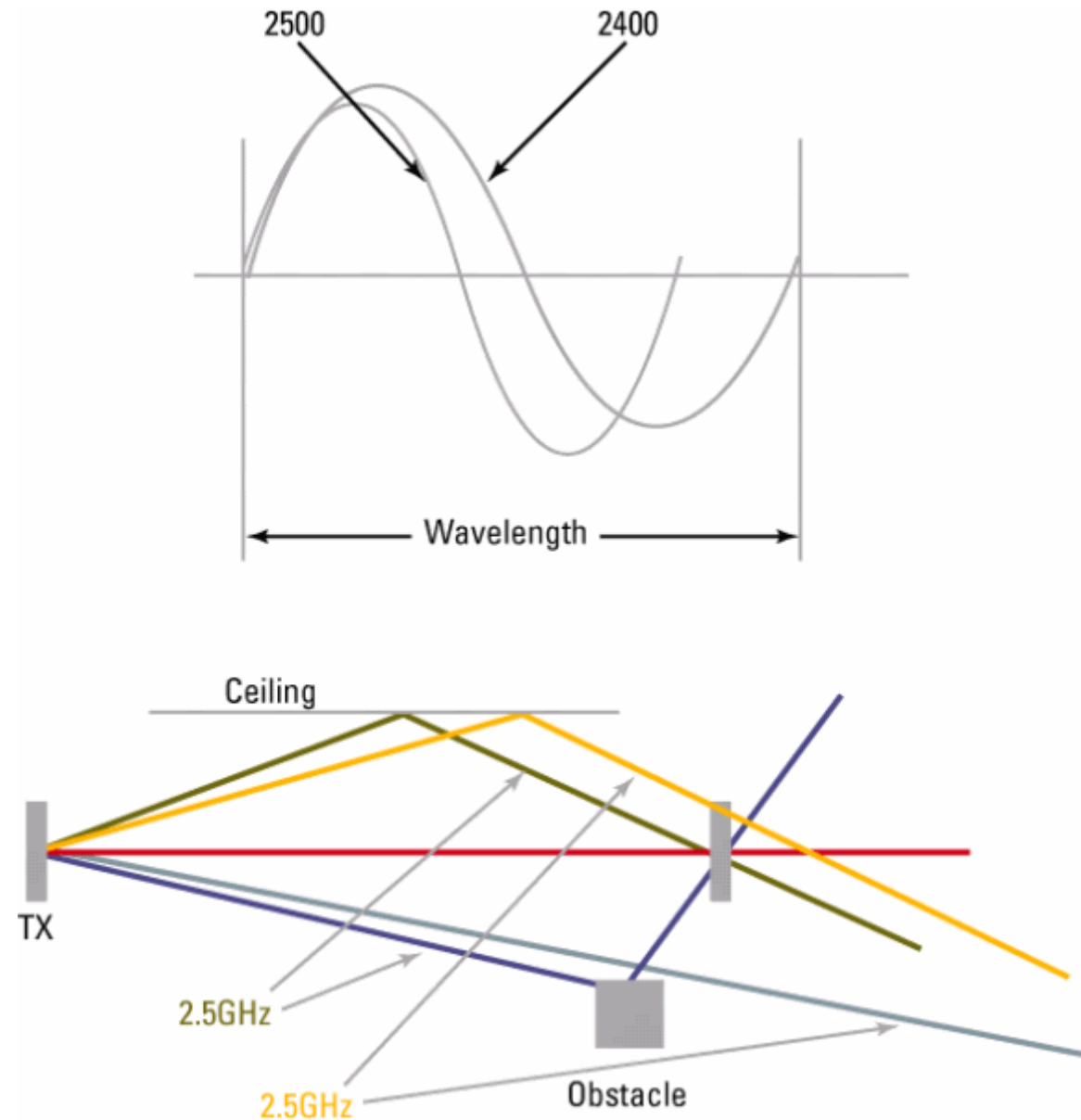
Características dos enlaces sem fio

Propagação Multicaminho



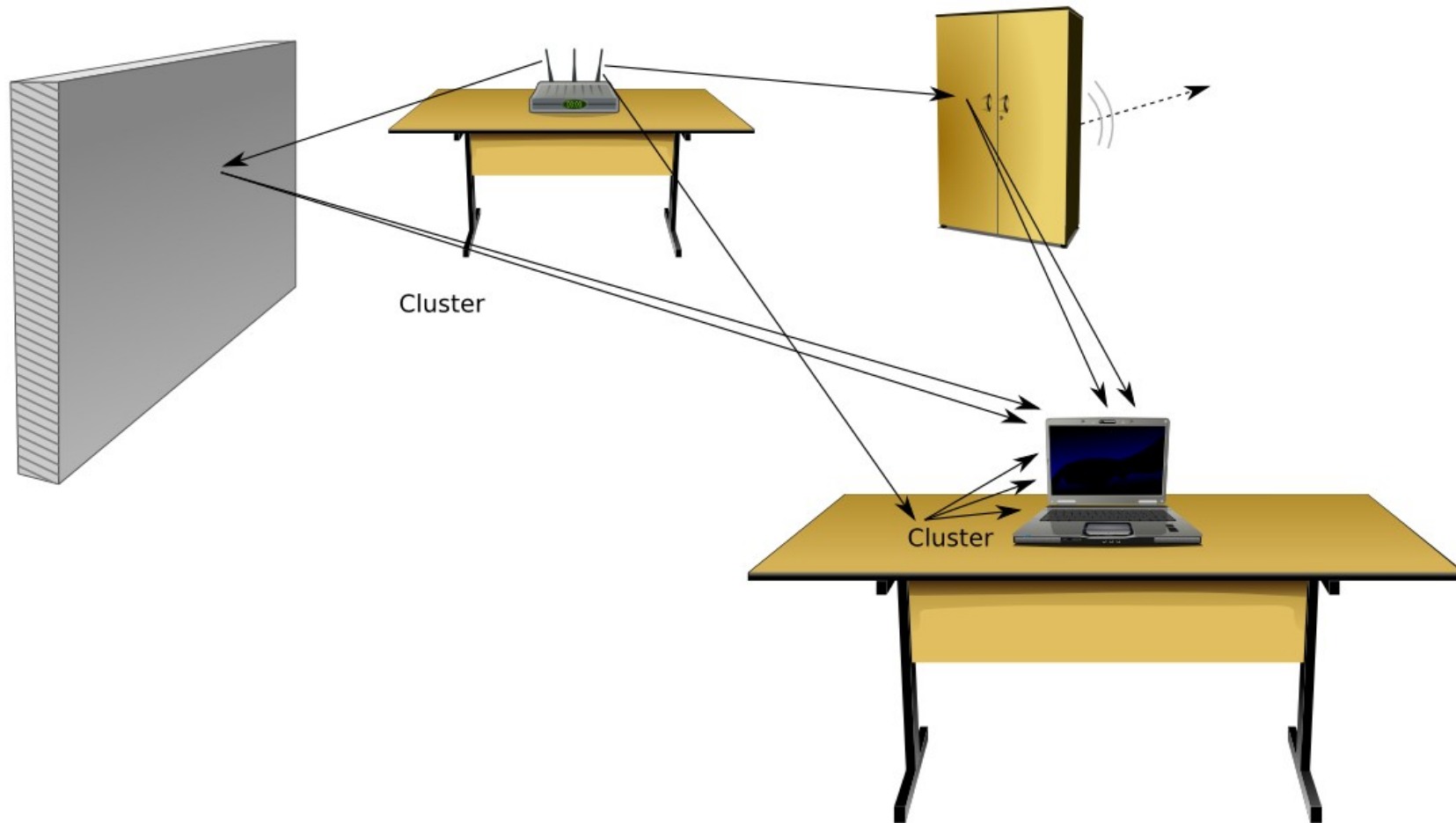
Características dos enlaces sem fio

Propagação Multicaminho



Características dos enlaces sem fio

Propagação **Multicaminho** em redes 802.11n



MIMO (multiple-input and multiple-output)

Método que maximiza o uso do enlace através do uso de múltiplas antenas.

Sumário

Introdução

Wireless (redes sem fio)

- Enlaces sem fio e características da rede
- **WiFi: LANs sem fio 802.11**
- Redes celulares: 4G e 5G

Mobilidade

- Princípios do gerenciamento de mobilidade
- Gerenciamento de mobilidade: questões práticas
 - Redes 4G/5G
 - Mobile IP
- Mobilidade e o impacto em protocolos de nível superior

IEEE 802.11 Wireless LAN (WLAN)

IEEE 802.11 standard	Year	Max data rate	Range	Frequency
802.11b	1999	11 Mbps	30 m	2.4 Ghz
802.11g	2003	54 Mbps	30m	2.4 Ghz
802.11n (WiFi 4)	2009	600	70m	2.4, 5 Ghz
802.11ac (WiFi 5)	2013	3.47Gpbs	70m	5 Ghz
802.11ax (WiFi 6)	2020 (exp.)	14 Gbps	70m	2.4, 5 Ghz
802.11af	2014	35 – 560 Mbps	1 Km	unused TV bands (54-790 MHz)
802.11ah	2017	347Mbps	1 Km	900 Mhz

- Todos usam o protocolo CSMA/CA para acesso múltiplo ao meio e possuem versões estação base e redes ad-hoc

IEEE 802.11 Wireless LAN (WLAN)

Padronização da tecnologia: IEEE (e Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) LAN/MAN)

Padrão de rede sem fio (IEEE 802.11) faz parte dos padrões de redes locais (IEEE 802) que definem as camadas física e enlace.

Wi-Fi Alliance (<https://www.wi-fi.org/>): organização que congrega empresas visando certificação de produtos 802.11 com vistas à interoperabilidade.

https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11

https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11ac-2013

https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11n-2009

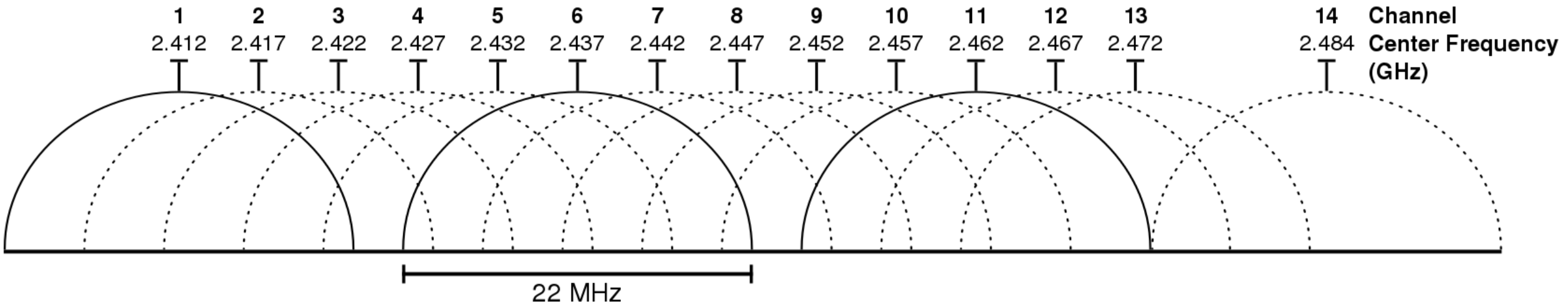
https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11be

CISCO: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/wireless/what-is-wifi.html>

CISCO <https://www.cisco.com/c/en/us/products/wireless/what-is-wi-fi-6.html>

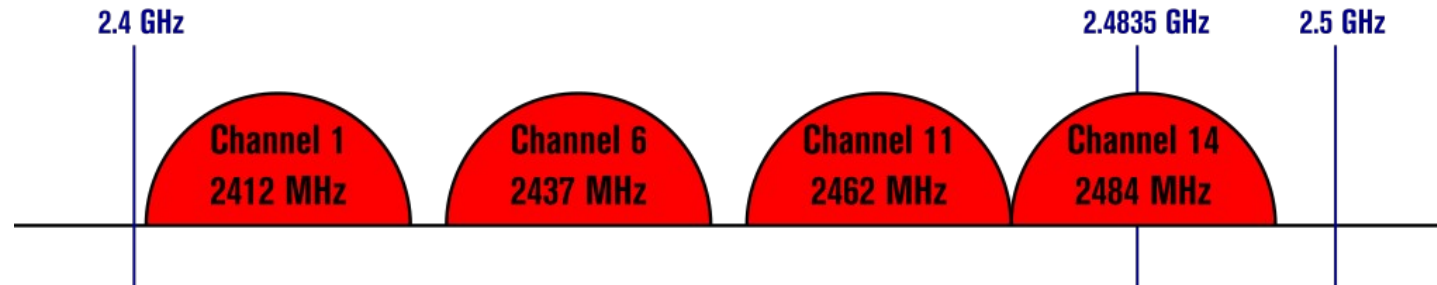


802.11: canais e largura de banda

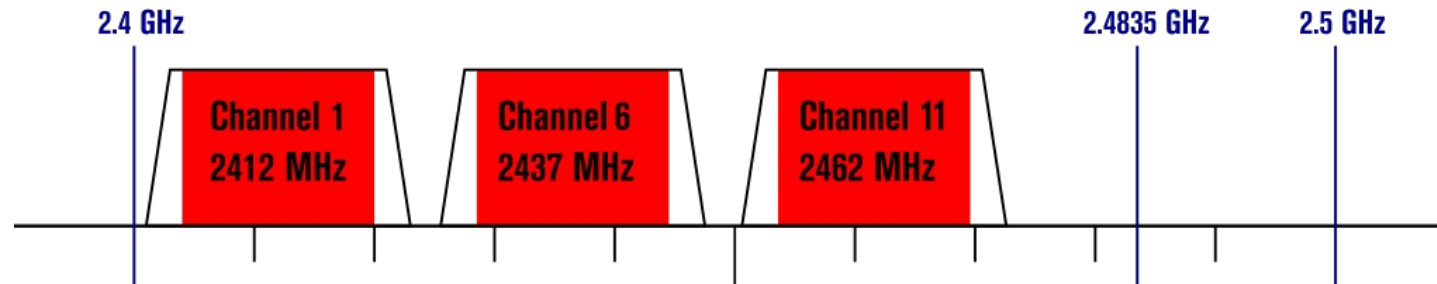


Non-Overlapping Channels for 2.4 GHz WLAN

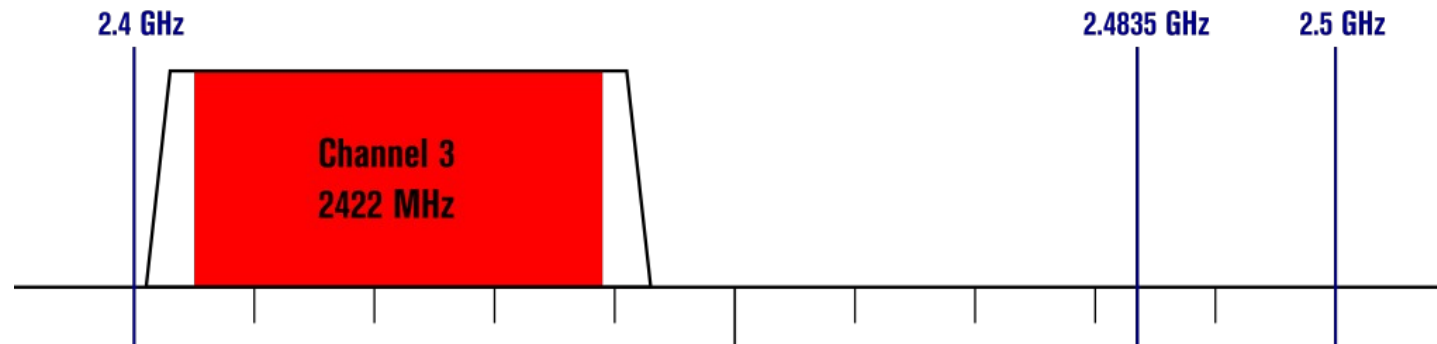
802.11b (DSSS) channel width 22 MHz



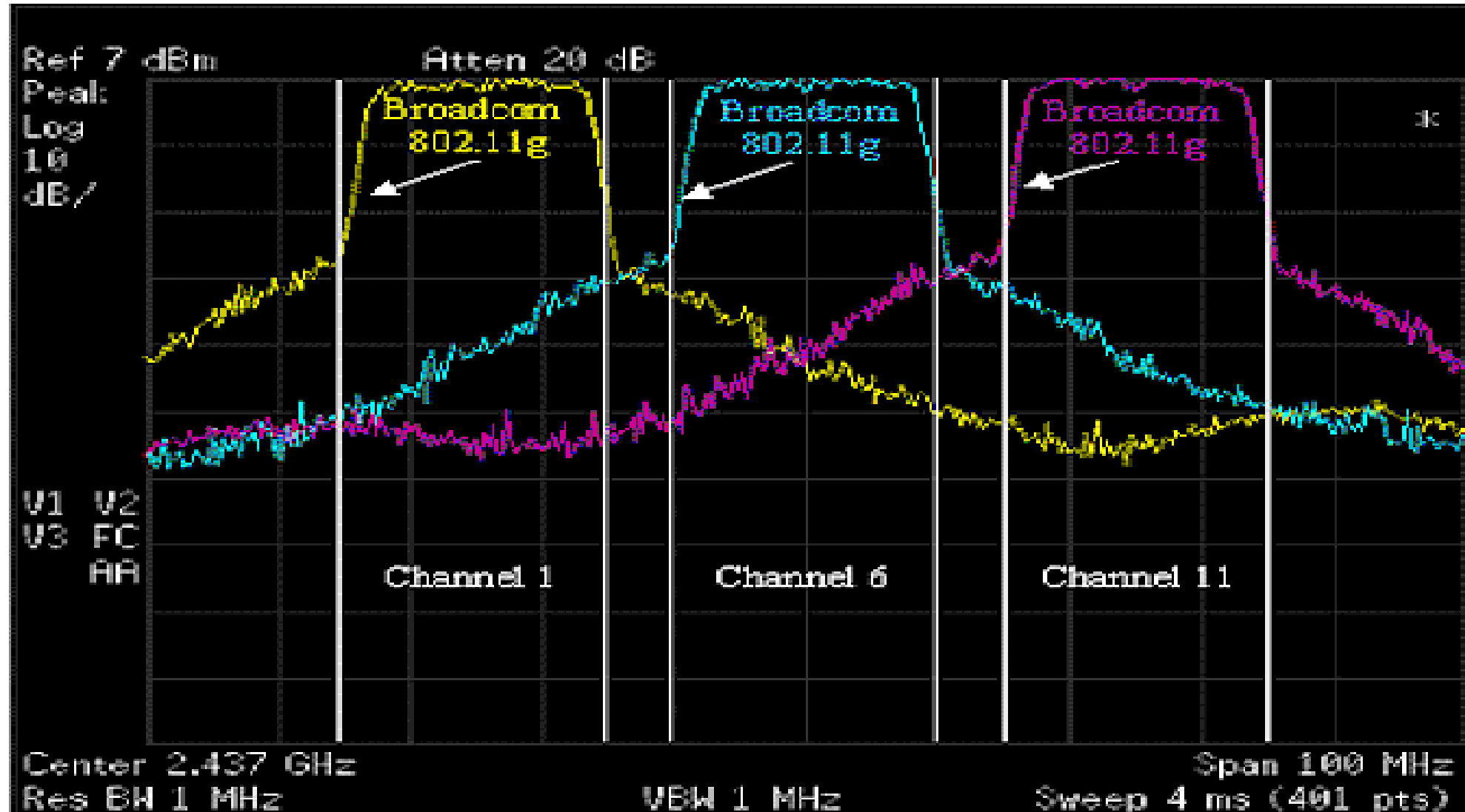
802.11g/n (OFDM) 20 MHz ch. width – 16.25 MHz used by sub-carriers



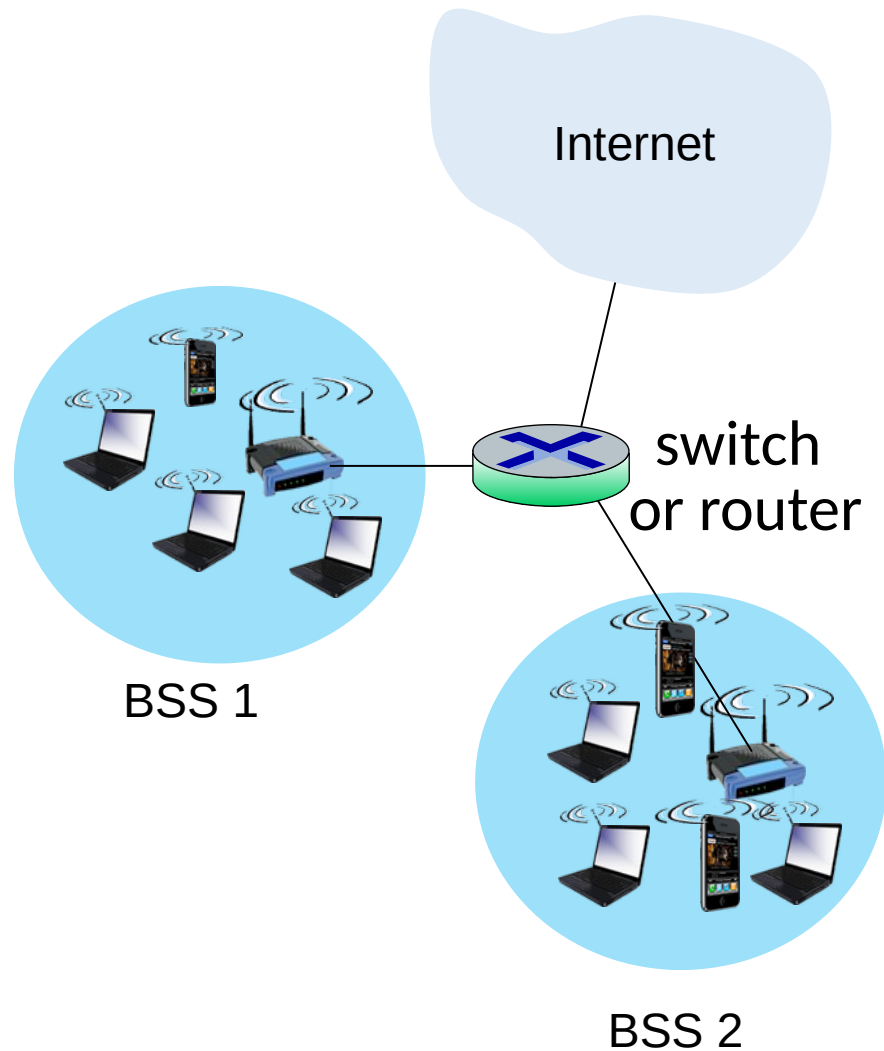
802.11n (OFDM) 40 MHz ch. width – 33.75 MHz used by sub-carriers



802.11: canais - "vazamento" em outras frequências



802.11 Arquitetura da LAN



Hosts wireless se comunicam com estações base (pontos de acesso ou *access point* – AP)

Basic Service Set (BSS) (célula) – no modo de infraestrutura contém:

- hosts sem fio
- uma estação base (AP)

No modo ad hoc, somente hosts

802.11 Canais e Associação

Espectro de rádio dividido em **canais** de diferentes frequências

- Administrador do AP escolhe a frequência (alocação estática ou dinâmica)
- Possibilidade de interferência

Hosts que chegam precisam se **associar** ao AP

- Varre (**scan**) por canais, ouvindo por frames de beacon
- **Seleciona** o AP para se associar (o protocolo não define a qual AP se conectar)
- Realiza o processo de **autenticação** (WEP, WPA, WPA2, WPA3, RADIUS, DIAMETER, IEEE 802.11i)
- Executa o **DHCP** para obter endereço IP de demais informações de rede (máscara, GW, DNS)

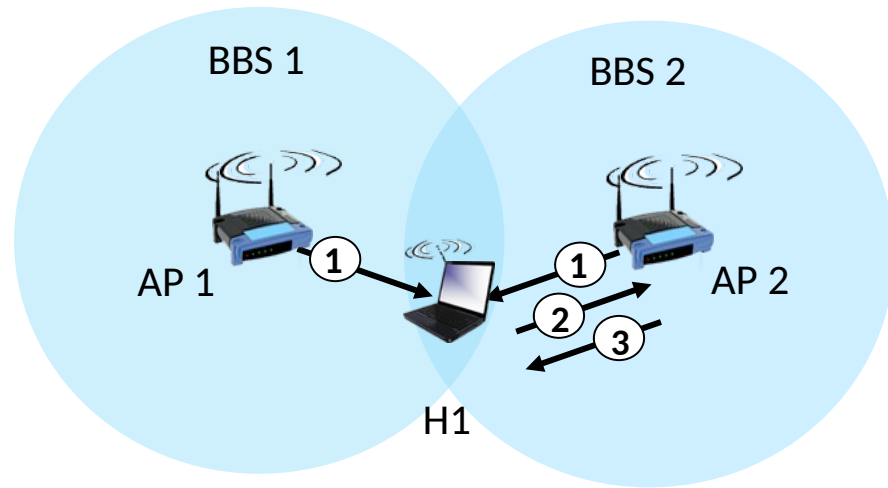
802.11b: espectro 2.4GHz-2.485GHz dividido em:

- 13 canais (Brasil)
- 11 canais (EUA)



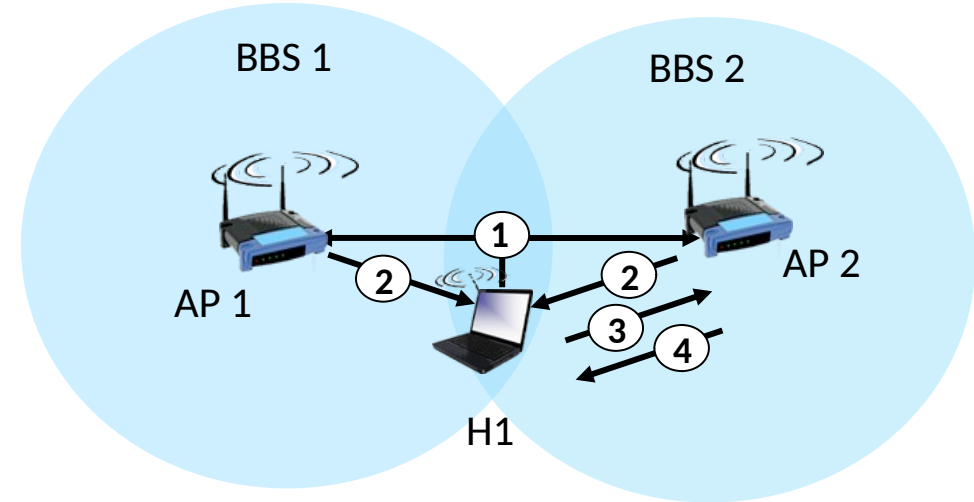
Frames beacon: enviados periodicamente por um AP. Contém: SSID e MAC

802.11: scanning ativo/passivo



Scanning passivo

- (1) Frames **beacon** enviados por APs
- (2) Frame (**Association Request**) enviado por H1 para o AP selecionado
- (3) Frame (**Association Response**) do AP para o H1

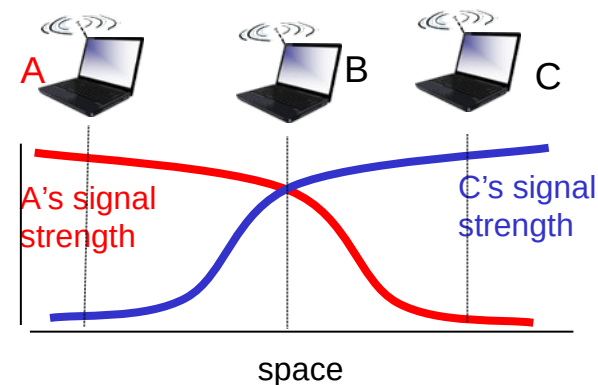
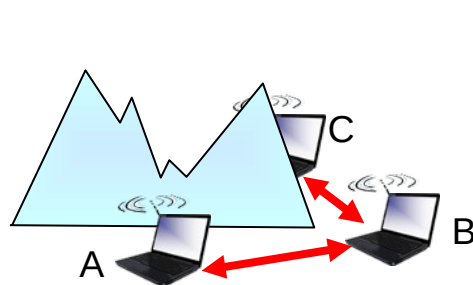


Scanning ativo

- (1) Frame (**Probe Request**) enviado por H1 (**broadcast**)
- (2) Frames (**Probe Response**) enviados pelos APs
- (3) Frame (**Association Request**) enviado por H1 para o AP selecionado
- (4) Frame (**Association Response**) enviado do AP selecionado para H1

802.11: acesso múltiplo

- Colisões: dois ou mais nós transmitindo ao mesmo tempo
- 802.11: CSMA – “sentir” o meio antes de transmitir
 - don’t collide with detected ongoing transmission by another node
- 802.11: **não provê detecção de colisão**
 - Dificuldade em detectar colisões: transmissão de sinal em nível de potência alto; enquanto; a recepção ocorre com um sinal de intensidade extremamente fraca
 - Além disso, não pode detectar colisões devido a outros problemas inerentes às redes sem fio: terminal escondido e fading
 - Objetivo: **evitar colisões**: CSMA/CollisionAvoidance



802.11 protocolo MAC: CSMA/CA

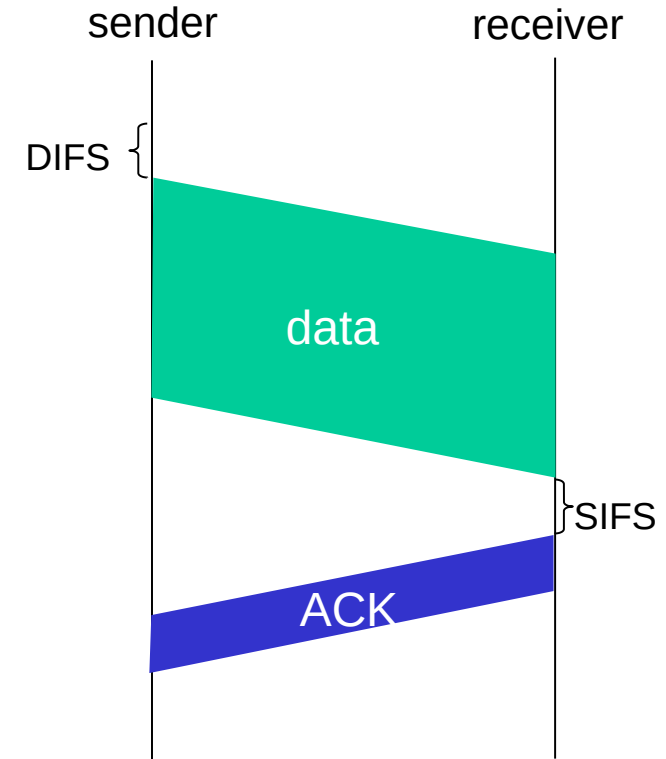
802.11: remetente

- a) Se sentir o canal livre espera um tempo (**DIFS**), então Transmite todo o frame (sem CD)
- b) Se sentir o canal ocupado então Inicia um tempo aleatório de espera (*backoff*)
Timer decrementa enquanto canal livre
Transmite quando o timer expira
Se não receber ACK, aumenta o tempo de intervalo backoff, e repete b)

802.11: receptor

Se frame recebido OK então

Retorna uma mensagem ACK depois de um tempo de espera (**SIFS**): processo para resolver o problema do terminal escondido



Evitando colisões

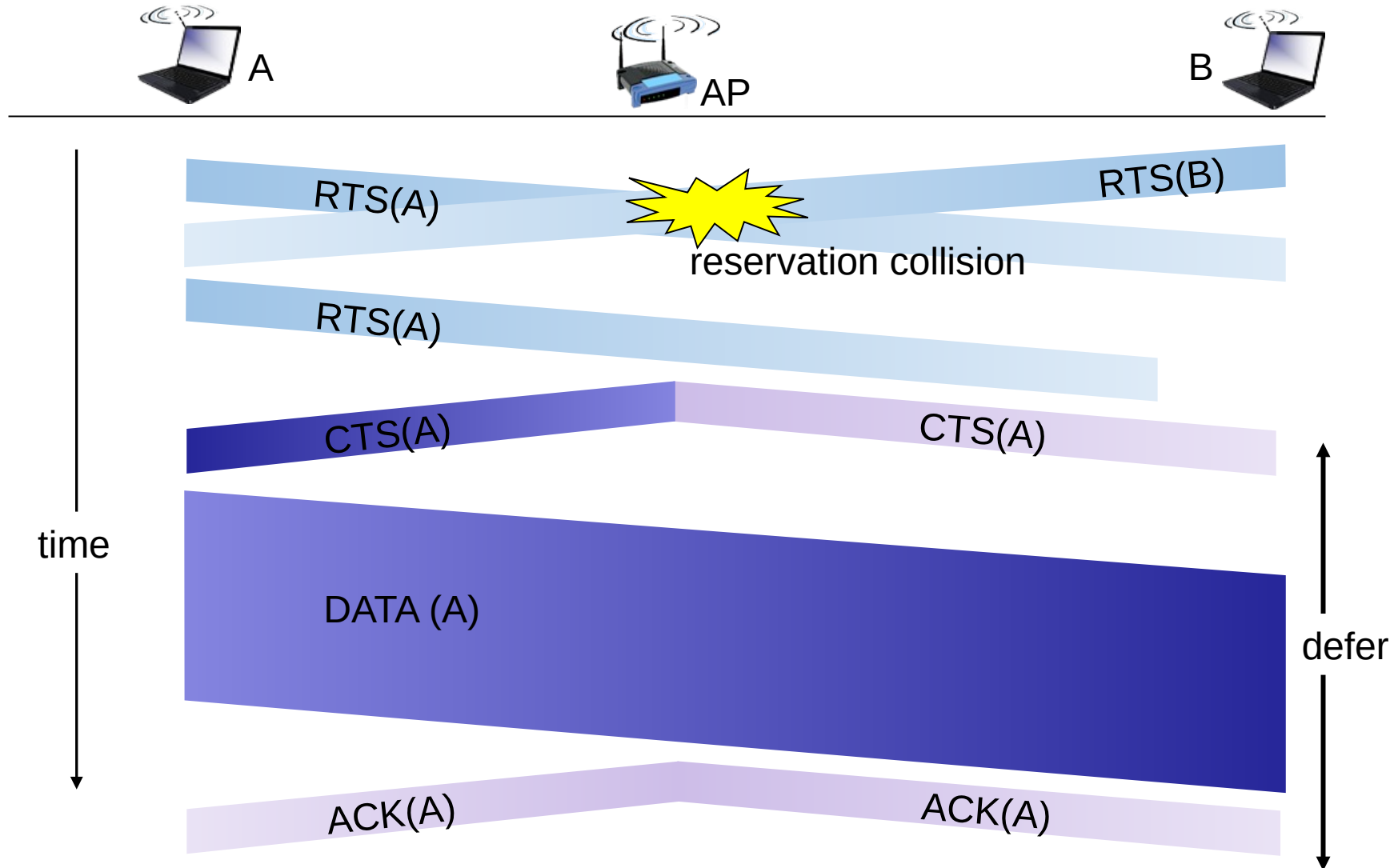
Problema do terminal escondido (*hidden terminals*)

Outra solução: remetente “reserva” o canal para uso de frames de dados

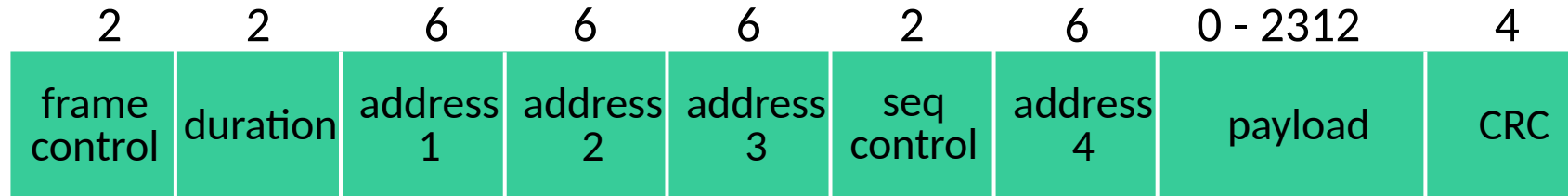
- Remetente envia primeiro um pacote de pequeno tamanho (probabilidade de colisão menor) com *request-to-send* (RTS) para o AP usando CSMA (se ocorrerem colisões, elas não impactarão em demasia o uso do canal)
- APs enviam broadcasts *clear-to-send* CTS em resposta ao RTS
- Mensagens CTS serão ouvidas por todos os nós
 - Remetente envia o frame de dados
 - Outras estações evitam transmissões

O maior objetivo do IEEE 802.11 quanto ao uso do meio compartilhado é evitar as colisões quanto for possível.

Evitando colisões: RTS-CTS



802.11 Frame: endereçamento



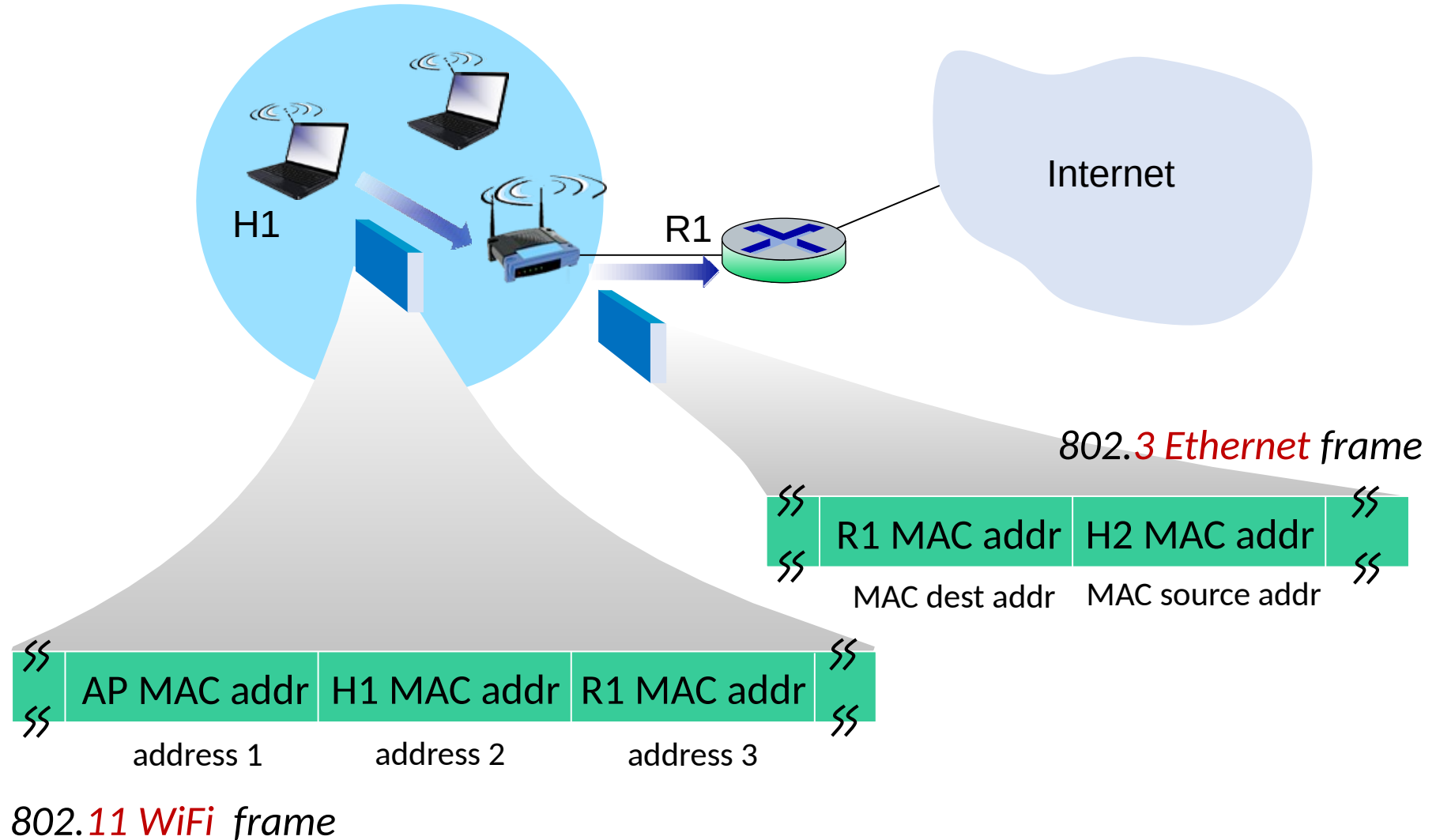
Address 1: endereço MAC do host ou AP de destino

Address 2: endereço MAC do host ou do AP que está transmitindo

Address 3: endereço MAC da interface do roteador ao qual o AP está conectado

Address 4: somente usado para o modo ad hoc

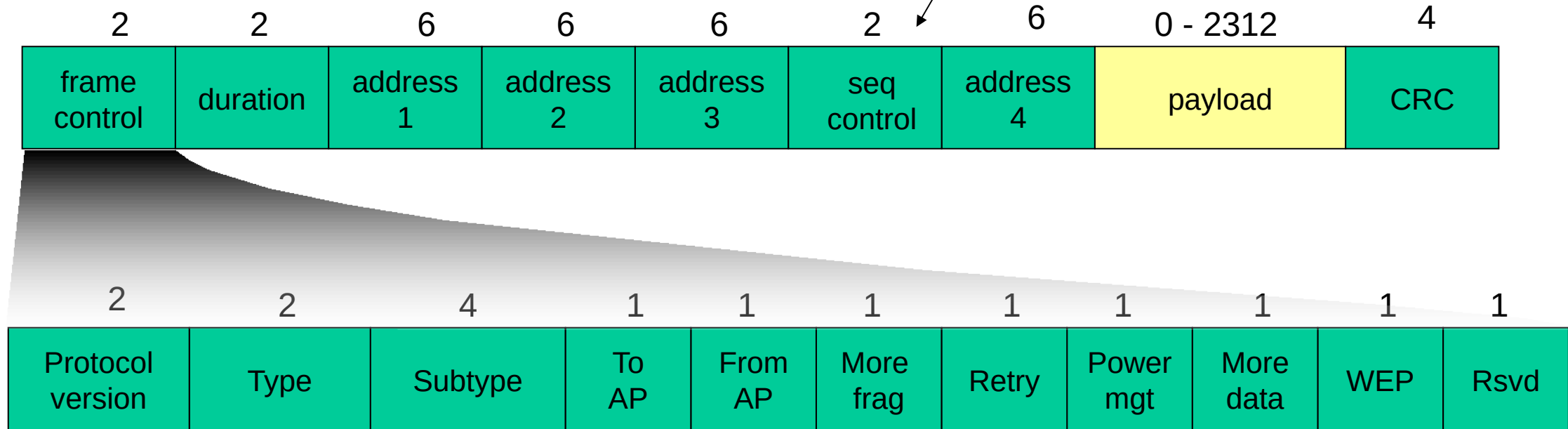
802.11 Frame: endereçamento



802.11 Frame

Duração do tempo de reserva para transmissão (RTS/CTS)

frame seq #
(para RDT)



Tipo quadro
(RTS, CTS, ACK, dados)

Tecnologia MIMO

MIMO (*multiple-input e multiple-output*): método para multiplicar a capacidade do rádio ao usar várias antenas para transmissão e recepção.

Esse processo explora a propagação multicaminho.

Padrões que usam:

IEEE 802.11n (Wi-Fi 4) MIMO: 4 streams

IEEE 802.11ac (Wi-Fi 5) MIMO: 8 streams

IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6) MIMO: 8 streams

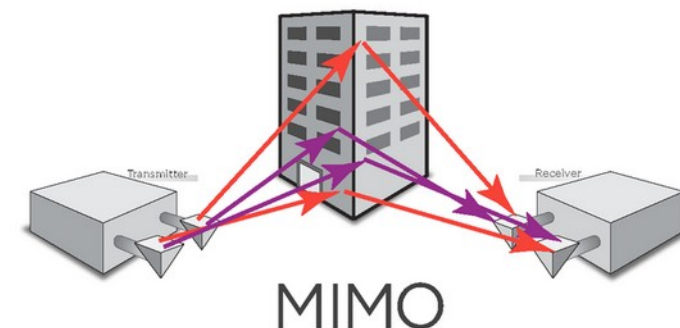
HSPA+ (3G)

WiMAX

Long Term Evolution (LTE) (4G)

MU-MIMO (*multi-user, multiple input, multiple output*):

tecnologia introduzida com o padrão IEEE 802.11ac Wave 2 (Wi-Fi 5): permite que um AP possa transmitir para vários clientes ao mesmo tempo



Aspectos gerais de configuração Redes sem Fio

Dispositivos para conexão à rede sem fio



Aspectos gerais de configuração Redes sem Fio

Pontos de acesso (AP) e dispositivos (interfaces) 802.11n



Parâmetros gerais configuração AP

LINKSYS®
A Division of Cisco Systems, Inc.

Firmware Version: 1.01.33

Wireless

Dual Band Wireless-N Gigabit Router with Storage Link

WRT600N

Setup

Wireless

Security

Storage

Access Restrictions

Applications & Gaming

Administration

Status

Basic Wireless Settings

Wireless Security

Wireless MAC Filter

Advanced Wireless Settings

Wireless Network

5GHz Wireless Settings

2.4GHz Wireless Settings

Network Mode:
Mixed

Network Name(SSID):
linksys_media

Radio Band:
Auto

Wide Channel:
Auto (DFS)

Standard Channel:
Auto (DFS)

SSID Broadcast:
☒ Enabled ☐ Disabled

Network Mode:
Mixed

Network Name(SSID):
linksys

Radio Band:
Auto

Wide Channel:
Auto

Standard Channel:
Auto

SSID Broadcast:
☒ Enabled ☐ Disabled

[Help...](#)

CISCO SYSTEMS

Save Settings

Cancel Changes

Parâmetros gerais configuração AP

Configuração	Sem Fio	Segurança	Restrições de Acesso	Aplicativos e Jogos
Configurações sem fio básicas Segurança sem fio Acesso sem fio Configurações avançadas				
<p>Modo de rede sem fio: Misto</p> <p>Nome da rede sem fio (SSID): <input type="text"/></p> <p>Canal sem fio: Apenas B</p> <p>Transmissão de SSID sem fio: <input checked="" type="radio"/> Habilitar <input type="radio"/> Desabilitar</p>				

Parâmetros gerais configuração AP

Beacon Interval	<input type="text" value="50"/>	(default:100 msec, range:1~1000)
RTS Threshold	<input type="text" value="512"/>	(default:2432, range: 256~2432)
Fragmentation Threshold	<input type="text" value="512"/>	(default:2346, range: 256~2346, even number only)
DTIM Interval	<input type="text" value="3"/>	(default:3, range: 1~255)
TX Rates (Mbps)	<div><div>Auto</div><div>1 2 5.5 6 9 11 12 18 24 36 48 54</div></div>	
SSID Broadcast	<div>Auto</div> <div><input checked="" type="radio"/> Enabled</div>	

Cancel

Apply

Parâmetros gerais configuração AP

Wireless > Channel and SSID

To make changes to the wireless settings of the router, make the changes here. Click the "Save" button to save the settings. [More Info](#)

Wireless Channel >

Extension Channel >

SSID >

Wireless Mode >

Broadcast SSID >

☒ [More Info](#)

Protected Mode >

 [More Info](#)

Bandwidth >

20MHz only

20MHz+40MHz auto

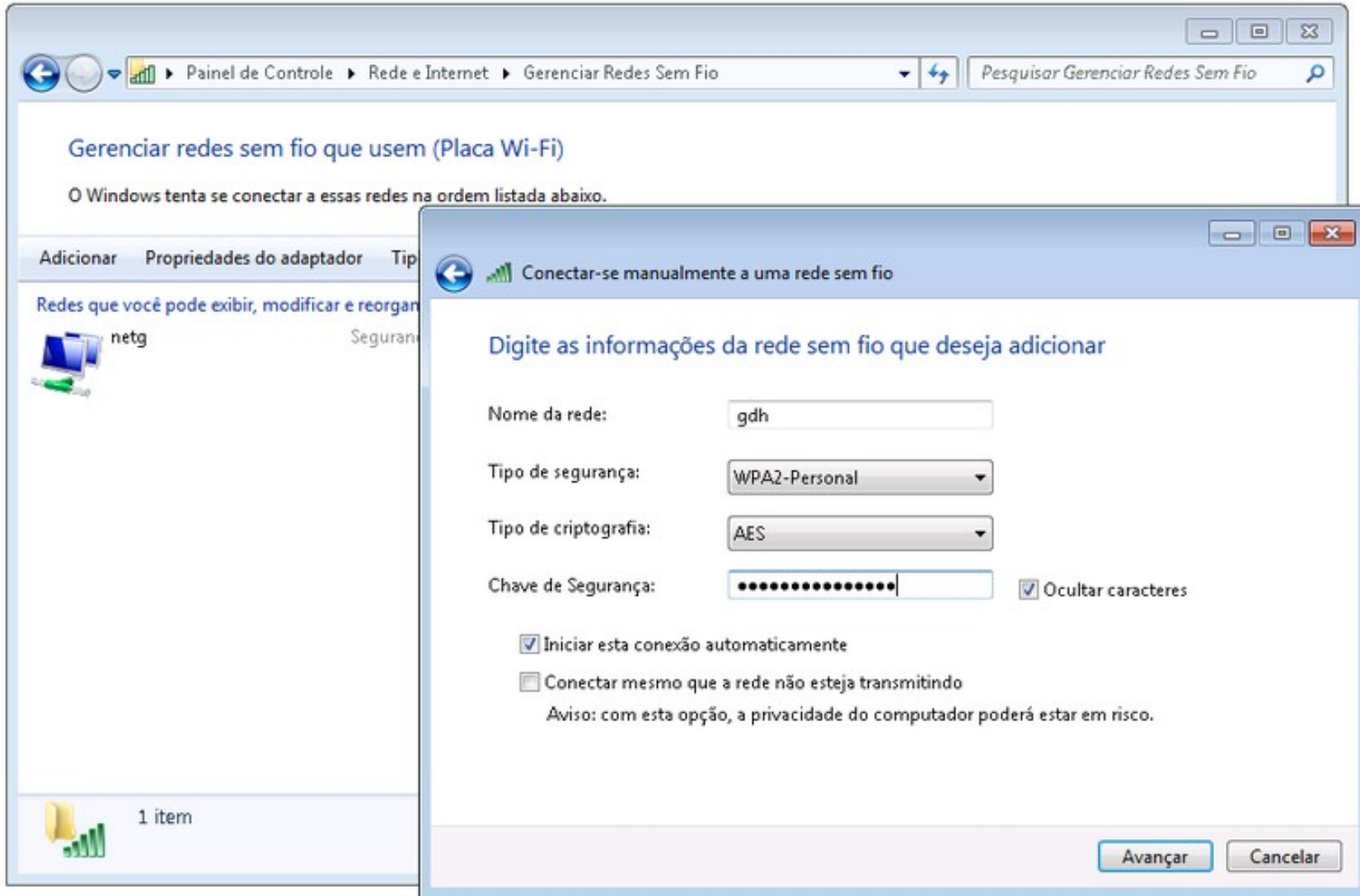
Parâmetros gerais configuração AP

Wireless: configuração de AP 802.11

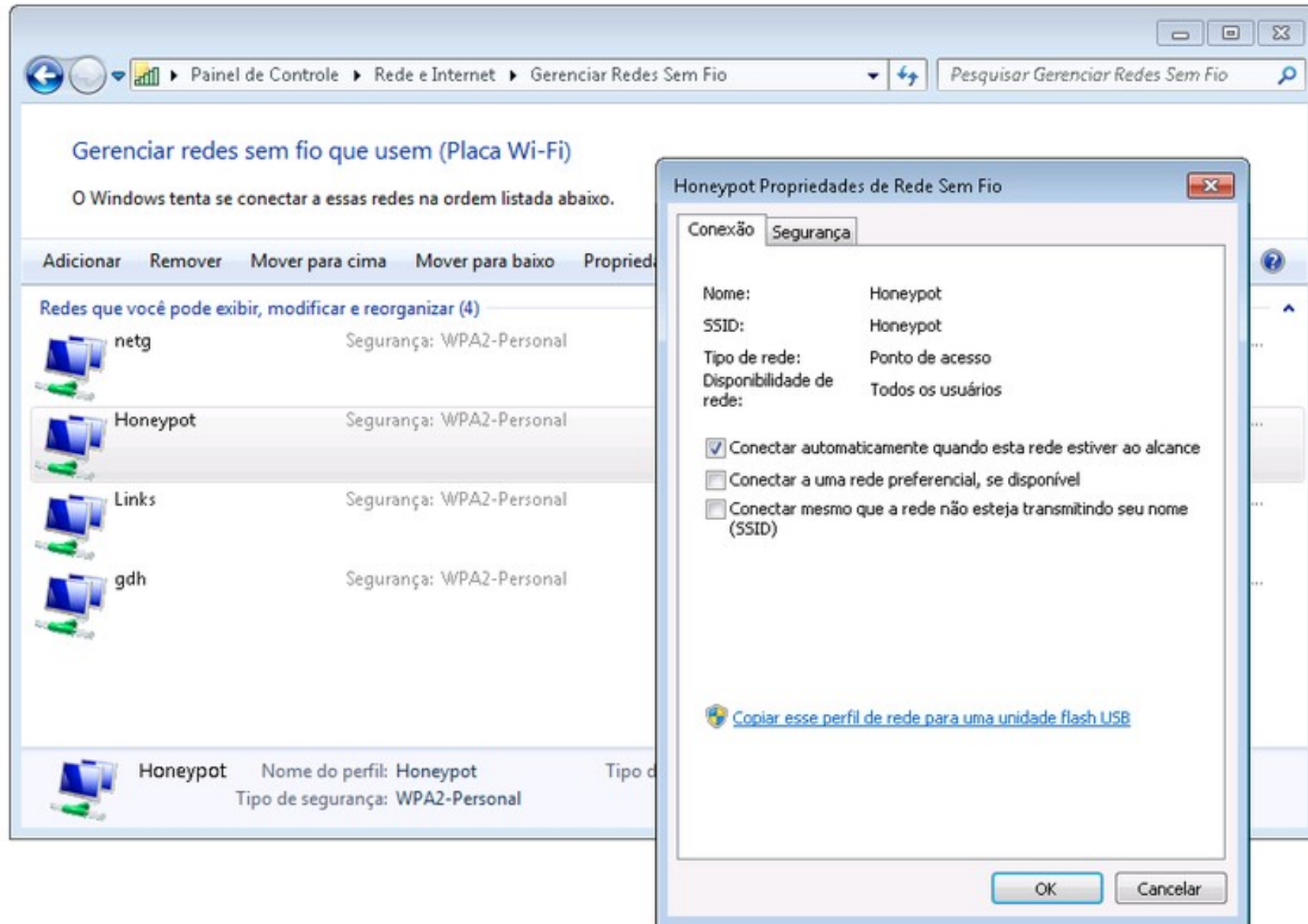
Segurança: ~~WEP~~ (*Wired-Equivalent Privacy*), ~~WPA~~ e WPA-PSK (*Pre-Shared Key*)

Authentication Type	WPA-PSK ▼
Cipher Type	<input checked="" type="radio"/> TKIP <input type="radio"/> AES
Passphrase	*****
Confirmed Passphrase	*****

Parâmetros gerais configuração cliente



Parâmetros gerais configuração cliente



Parâmetros gerais configuração cliente

