

# Capítulo 6

## Redes sem fio e redes móveis

### Nota sobre o uso destes slides ppt:

Estamos disponibilizando estes slides gratuitamente a todos (professores, alunos, leitores). Eles estão em formato do PowerPoint para que você possa incluir, modificar e excluir slides (incluindo este) e o conteúdo do slide, de acordo com suas necessidades. Eles obviamente representam *muito* trabalho da nossa parte. Em retorno pelo uso, pedimos apenas o seguinte:

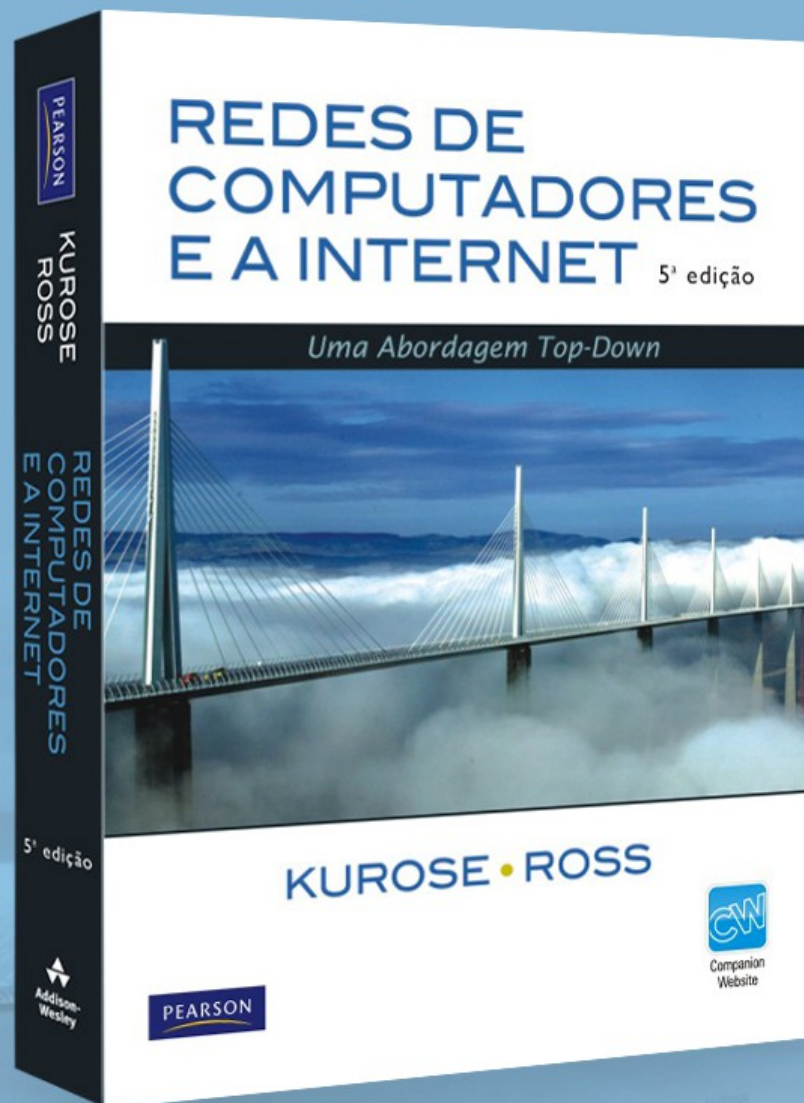
Se você usar estes slides (por exemplo, em sala de aula) sem muita alteração, que mencione sua fonte (afinal, gostamos que as pessoas usem nosso livro!).

Se você postar quaisquer slides sem muita alteração em um site Web, que informe que eles foram adaptados dos (ou talvez idênticos aos) nossos slides, e inclua nossa nota de direito autoral desse material.

Obrigado e divirta-se! JFK/KWR

Todo o material copyright 1996-2009

J. F Kurose e K. W. Ross, Todos os direitos reservados



# Capítulo 6: Redes sem fio e redes móveis

## Fundamentos:

- ρ assinantes telefone sem fio (móvel) agora excede número de assinantes de telefone com fio!
- ρ redes de computador: laptops, palmtops, PDAs, telefone preparado para Internet prometem acesso livre à Internet a qualquer hora
- ρ dois desafios importantes (mas diferentes)
  - μ **sem fio:** comunicação por enlace sem fio
  - μ **mobilidade:** tratar do usuário móvel, que muda o ponto de conexão com a rede

# Capítulo 6: Esboço

## ρ 6.1 Introdução

### Redes sem fio

## ρ 6.2 Características de enlaces e redes sem fio

### μ CDMA

## ρ 6.3 LANs sem fio 802.11 ("wi-fi")

## ρ 6.4 Acesso celular à Internet

### μ arquitetura

### μ padrões (p. e., GSM)

## Mobilidade

## ρ 6.5 Gerenciamento da mobilidade: princípios

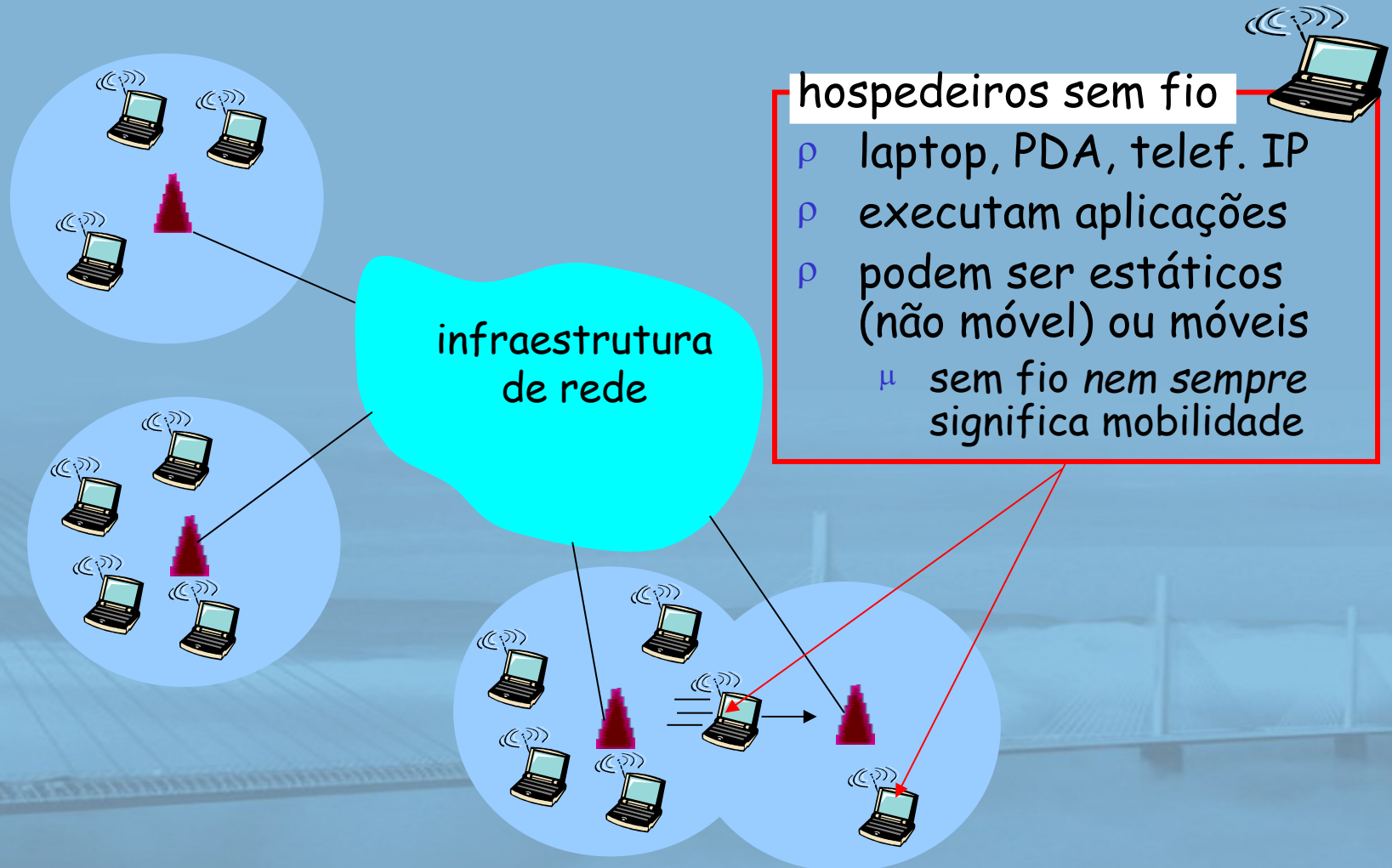
## ρ 6.6 IP móvel

## ρ 6.7 Gerenciamento de mobilidade em redes celulares

## ρ 6.8 Mobilidade e protocolos de camadas superiores

## ρ 6.9 Resumo

# Elementos de uma rede sem fio

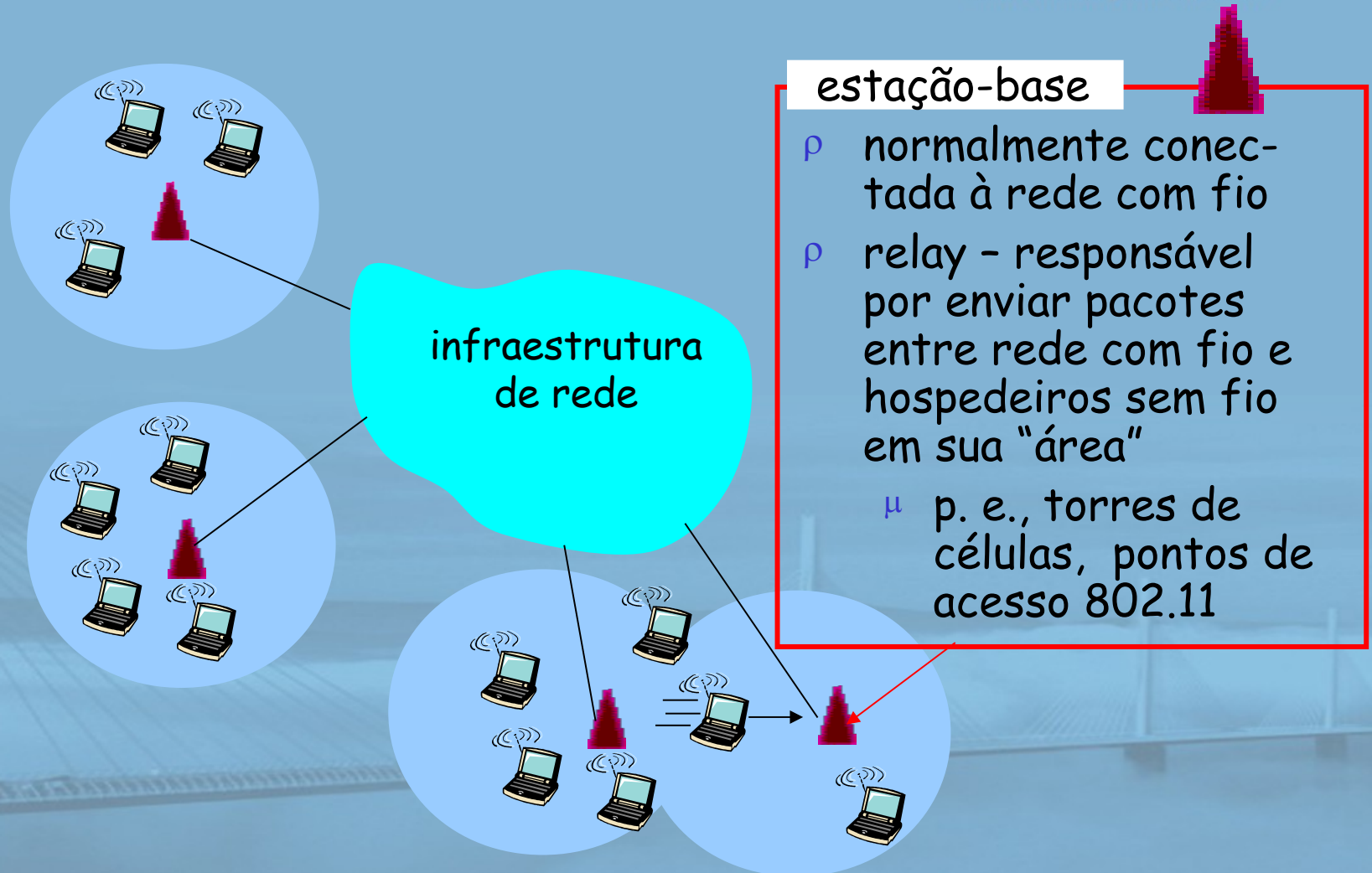




# REDES DE COMPUTADORES E A INTERNET

5ª edição

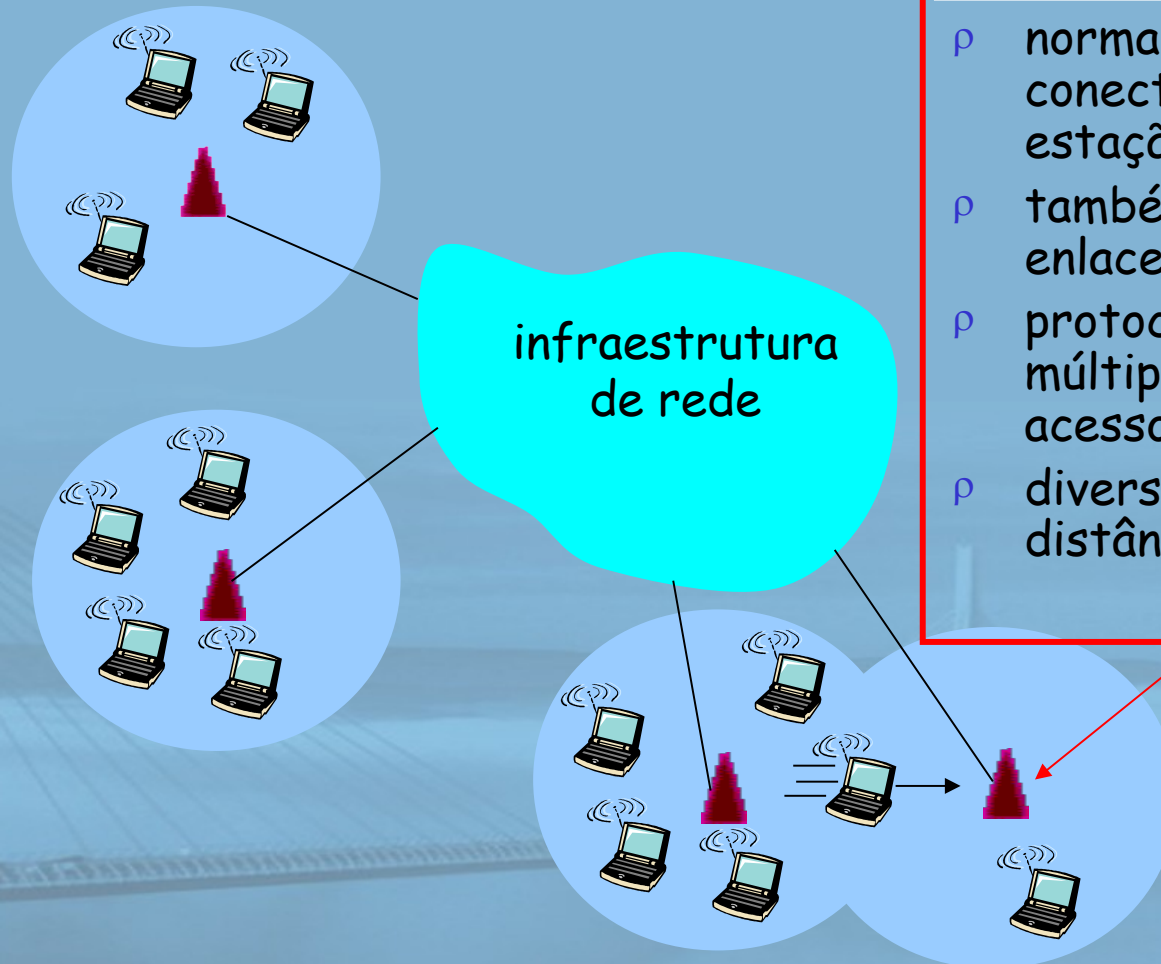
*Uma Abordagem Top-Down*



# REDES DE COMPUTADORES E A INTERNET

5ª edição

*Uma Abordagem Top-Down*

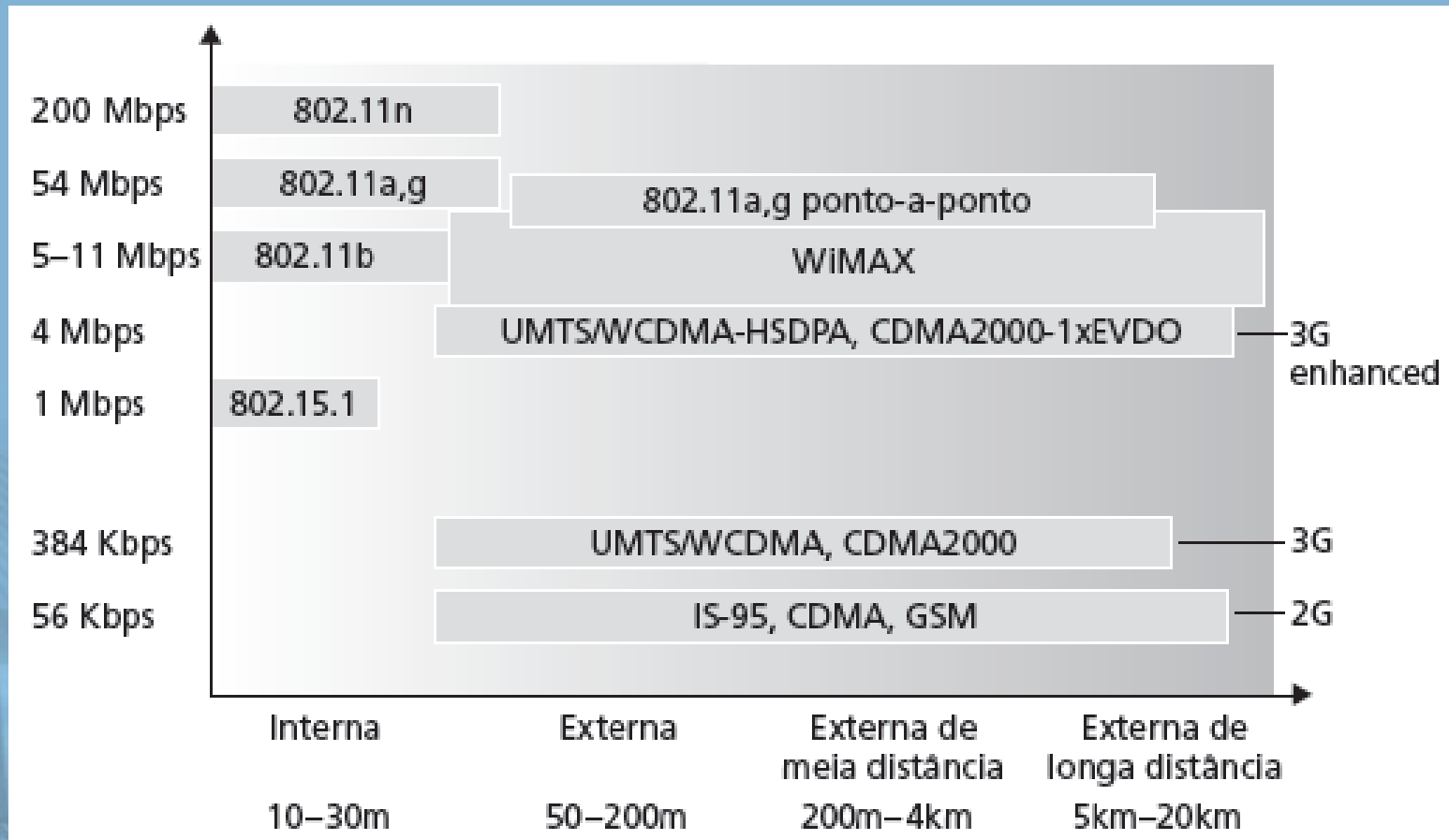


## enlace sem fio

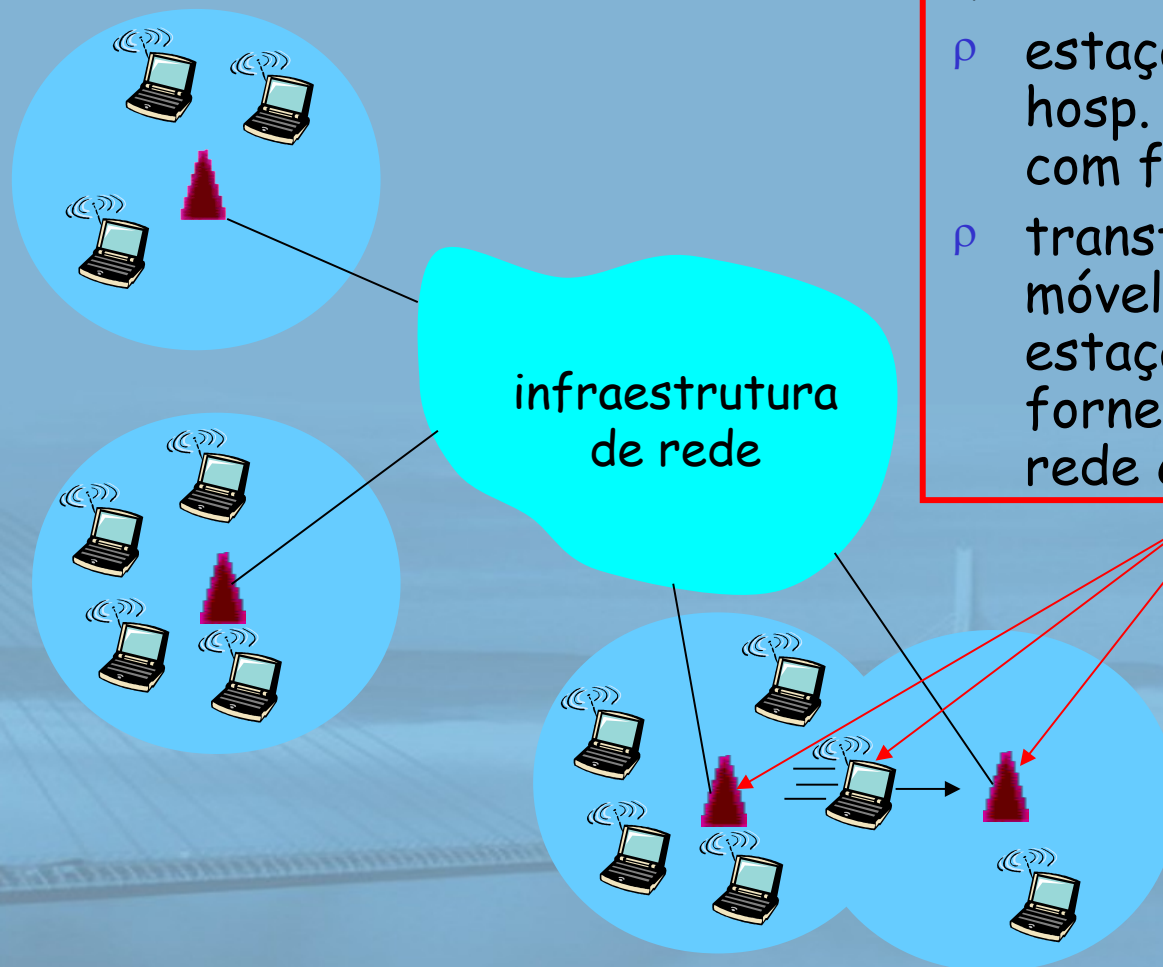


- ρ normalmente usado para conectar disp. móveis à estação-base
- ρ também usado como enlace de backbone
- ρ protocolo de acesso múltiplo coordena acesso ao enlace
- ρ diversas taxas de dados, distância de transmissão

# Características de padrões de enlace sem fio selecionados



# Elementos de uma rede sem fio



## modo de infraestrutura

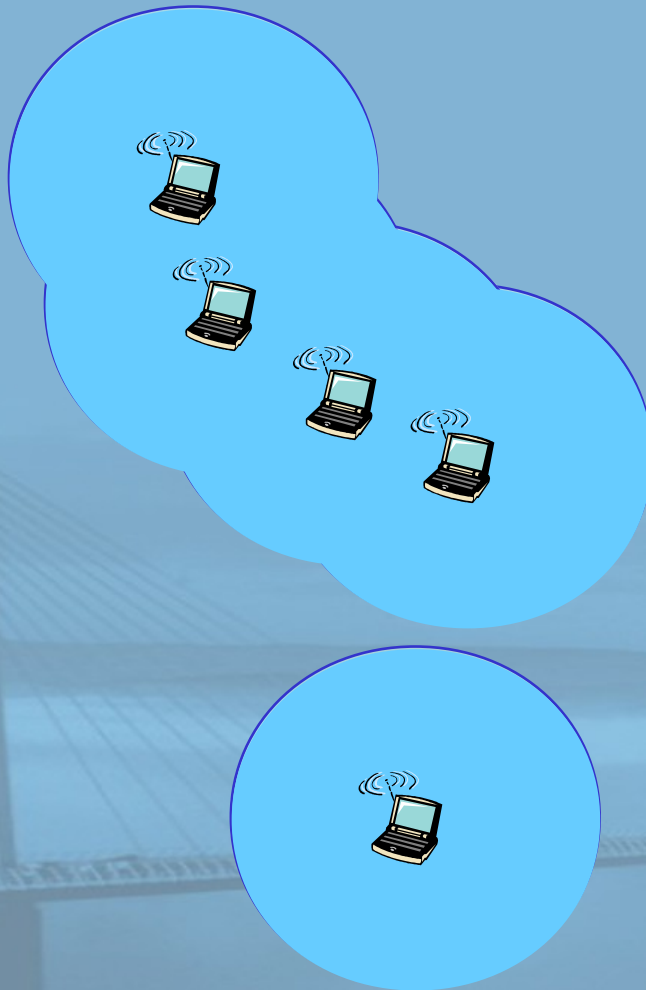
- ρ estação-base conecta hosp. móveis à rede com fio
- ρ transferência: hosp. móvel muda de estação-base fornecendo conexão à rede com fio



# REDES DE COMPUTADORES E A INTERNET

5ª edição

*Uma Abordagem Top-Down*



## modo ad hoc

- ρ sem estações-base
- ρ nós só podem transmitir a outros nós dentro da cobertura do enlace
- ρ nós se organizam em uma rede: roteiam entre si mesmos

# Taxonomia da rede sem fio

	único salto	múltiplos saltos
infraestrutura (p. e., APs)	hospedeiro conecta-se à estação-base (WiFi, WiMAX, celular) que se conecta à Internet maior	hosp. pode ter de retransmitir por vários nós sem fio para se conectar à Internet maior: <i>rede em malha</i>
sem infraestrutura	sem estação-base, sem conexão com Internet maior (Bluetooth, redes ad hoc)	sem estação-base, sem conexão com Internet maior. Pode ter de retransmitir para alcançar outro nó sem fio MANET, VANET

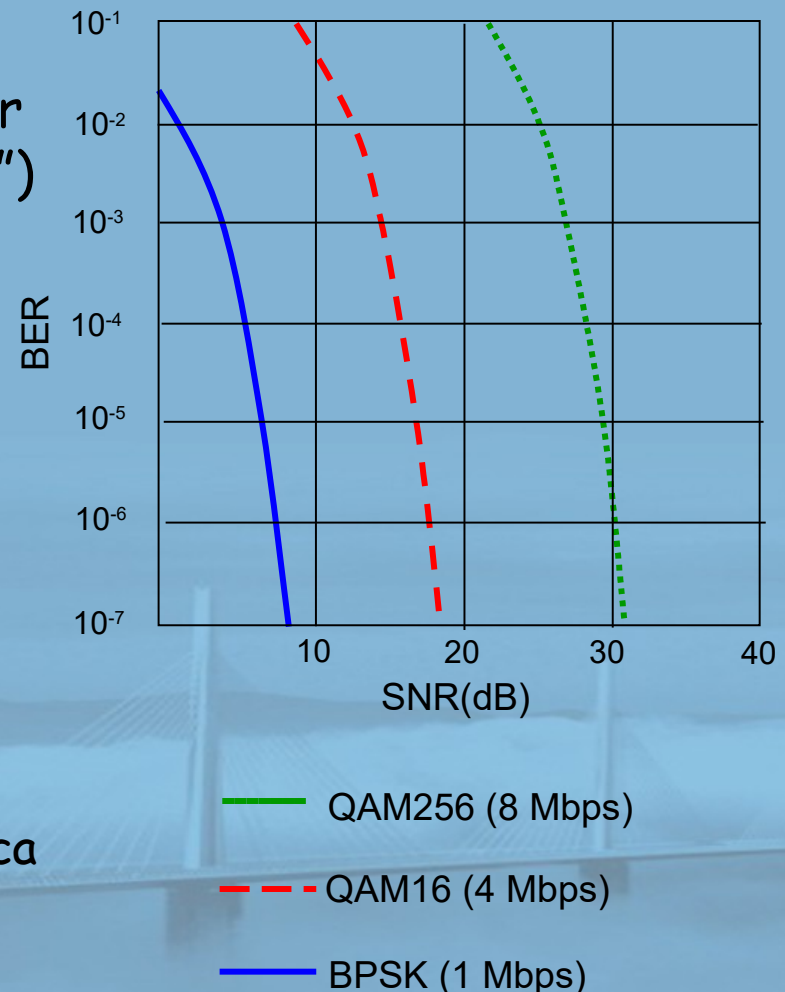
# Características do enlace sem fio (1)

Diferenças do enlace com fio...

- μ **Redução fora do sinal:** sinal de rádio se atenua enquanto se propaga pela matéria (perda do caminho)
- μ **interferência de outras fontes:** frequências padrão de rede sem fio (p. e., 2,4 GHz) compartilhadas por outros dispositivos (p. e., telefone); dispositivos (motores) também interferem
- μ **propagação multivias:** sinal de rádio reflete-se em objetos e no solo, chegando ao destino em momentos ligeiramente diferentes

... tornam a comunicação por (até mesmo ponto a ponto) enlace sem fio muito mais “difícil”

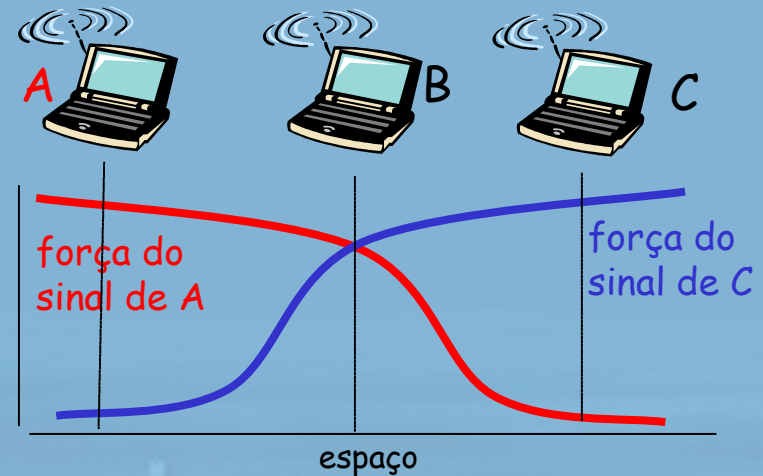
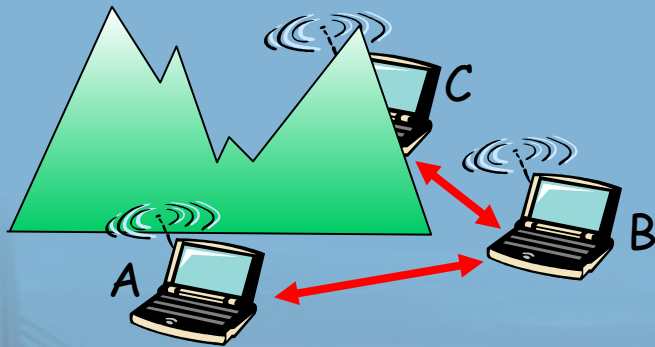
- ρ SNR: razão sinal-ruído
  - μ maior SNR - mais fácil extrair sinal do ruído (uma "coisa boa")
- ρ *SNR versus BER*
  - μ *camada física*: aumenta potência -> aumenta SNR -> diminui BER
  - μ *SNR*: escolha camada física que atende requisito BER, dando vazão mais alta
    - SNR pode mudar com a mobilidade: adapta dinamicamente a camada física (técnica de modulação, taxa)





# Características da rede sem fio

Múltiplos remetentes e receptores sem fio criam problemas adicionais (além do acesso múltiplo):



## Problema do terminal oculto

- ρ B, A escutam um ao outro
- ρ B, C escutam um ao outro
- ρ A, C não podem ouvir um ao outro

significa que A, C não sabem de sua interferência em B

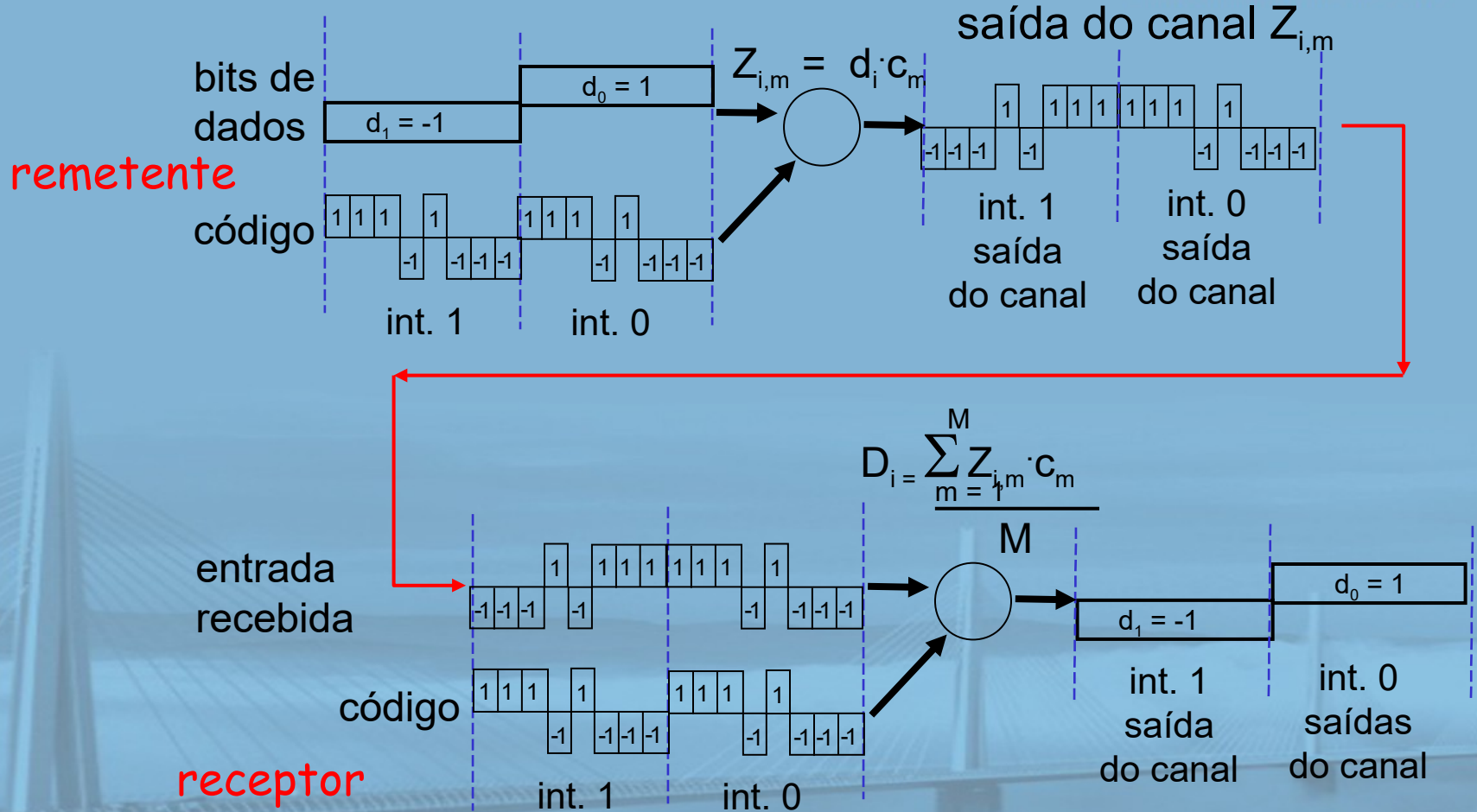
## Atenuação do sinal:

- ρ B, A escutam um ao outro
- ρ B, C escutam um ao outro
- ρ A, C não podem escutar um ao outro interferindo em B

# Code Division Multiple Access (CDMA)

- ρ usado em vários padrões de canais de broadcast sem fio (celular, satélite etc.)
- ρ "código" exclusivo atribuído a cada usuário; ou seja, particionamento de conjunto de código
- ρ todos usuários compartilham mesma frequência, mas cada usuário tem a própria sequência de "chipping" (ou seja, código) para codificar dados
- ρ **senal codificado** = (dados originais) X (sequência de chipping)
- ρ **decodificação**: produto interno entre sinal codificado e sequência de chipping
- ρ permite que múltiplos usuários "coexistam" e transmitam simultaneamente com o mínimo de interferência (se os códigos forem "ortogonais")

# Codificação/decodificação CDMA



# Capítulo 6: Esboço

## ρ 6.1 Introdução

### Redes sem fio

## ρ 6.2 Características de enlaces e redes sem fio

### μ CDMA

## ρ 6.3 LANs sem fio 802.11 ("wi-fi")

## ρ 6.4 Acesso celular à Internet

### μ arquitetura

### μ padrões (p. e., GSM)

## Mobilidade

## ρ 6.5 Gerenciamento da mobilidade: princípios

## ρ 6.6 IP móvel

## ρ 6.7 Gerenciamento de mobilidade em redes celulares

## ρ 6.8 Mobilidade e protocolos de camadas superiores

## ρ 6.9 Resumo



# LAN sem fio IEEE 802.11

## ρ 802.11b

- μ espectro não licenciado de 2,4-5 GHz
- μ até 11 Mbps
- μ Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) na camada física
  - todos os hospedeiros usam o mesmo código de chipping

## ρ 802.11a

- μ intervalo 5-6 GHz
- μ até 54 Mbps

## ρ 802.11g

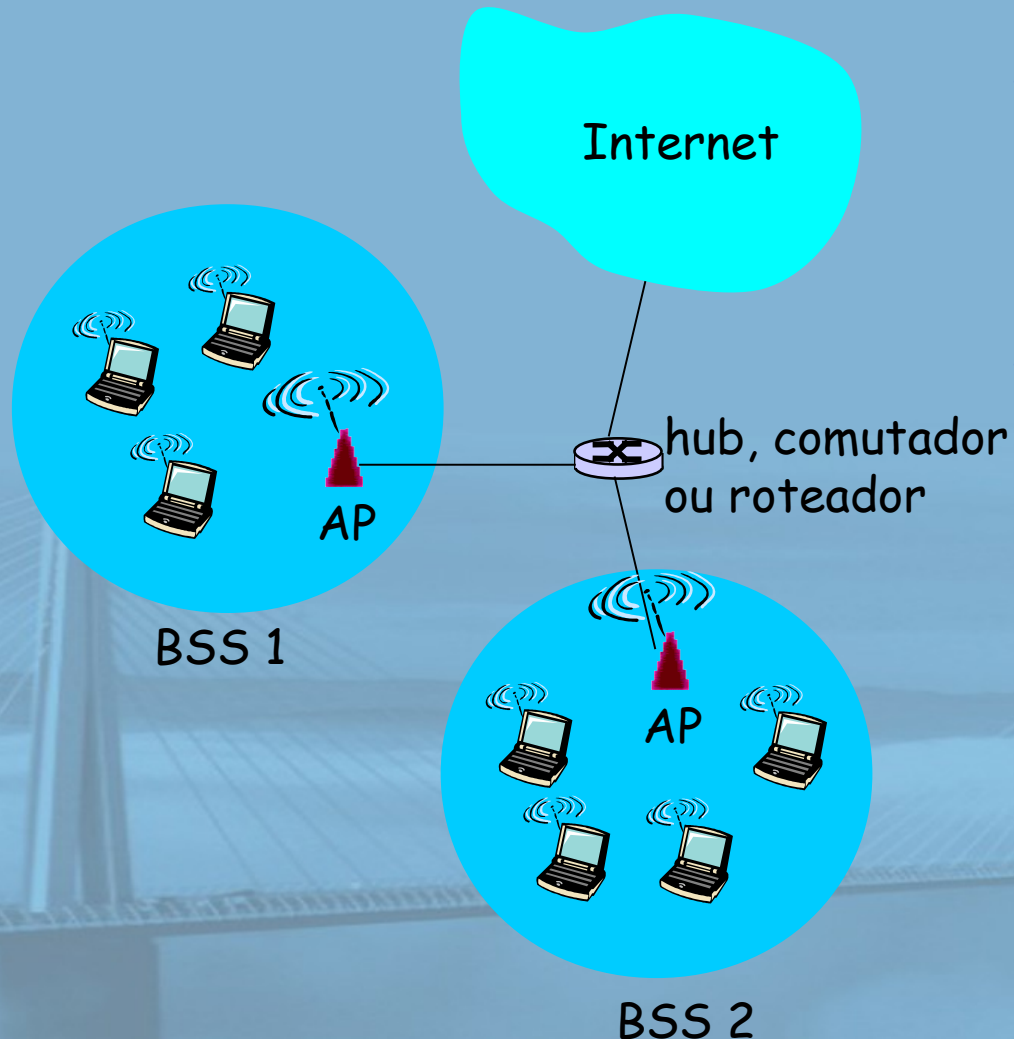
- μ intervalo 2,4-5 GHz
- μ até 54 Mbps

## ρ 802.11n: múltiplas antenas

- μ intervalo 2,4-5 GHz
- μ até 200 Mbps

- 
- ρ todos usam CSMA/CA para acesso múltiplo
  - ρ todos têm versões de estação-base e rede ad-hoc

# Arquitetura de LAN 802.11

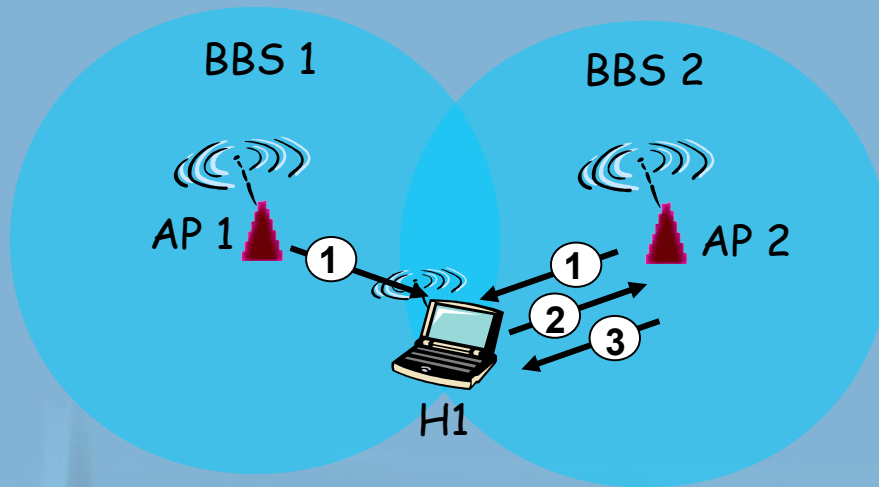


- ρ hospedeiro sem fio se comunica com estação-base
  - μ **estação-base = ponto de acesso (AP)**
- ρ **Basic Service Set (BSS)** (ou "célula") no modo de infraestrutura contém:
  - μ hospedeiros sem fio
  - μ ponto de acesso (AP): estação-base
  - μ modo ad hoc: apenas hosts

## 802.11: Canais, associação

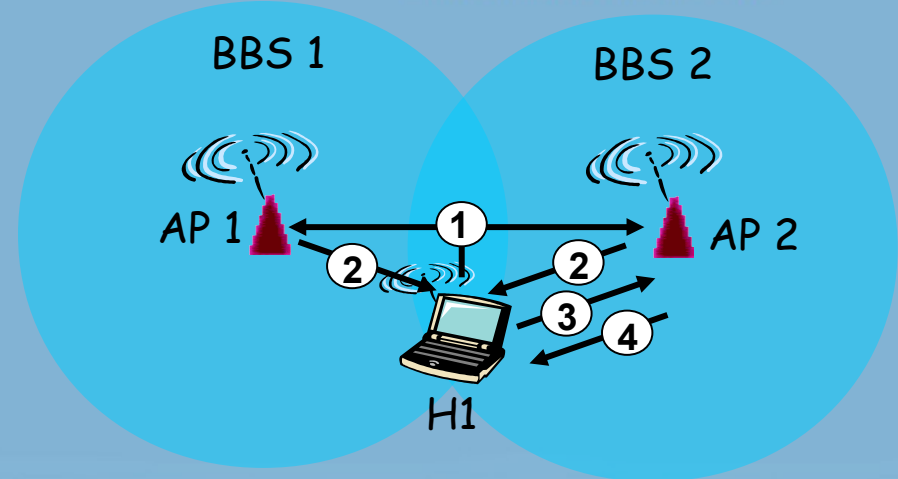
- ρ 802.11b: espectro de 2,4 GHz-2,485 GHz dividido em 11 canais em diferentes frequências
  - μ Admin. do AP escolhe frequência para AP
  - μ possível interferência: canal pode ser o mesmo daquele escolhido pelo AP vizinho!
- ρ hospedeiro: precisa *associar-se* a um AP
  - μ varre canais, escutando quadros de sinalização contendo nome do AP (SSID) e endereço MAC
  - μ seleciona AP para associar-se
  - μ pode realizar autenticação [Capítulo 8]
  - μ normalmente rodará DHCP para obter endereço IP na sub-rede do AP

# 802.11: varredura passiva/ativa



## Varredura passiva:

- (1) quadros de sinalização enviados dos APs
- (2) quadro de solicitação de associação enviado: H1 para AP selecionado
- (3) quadro de resposta de associação enviado: H1 para AP selecionado



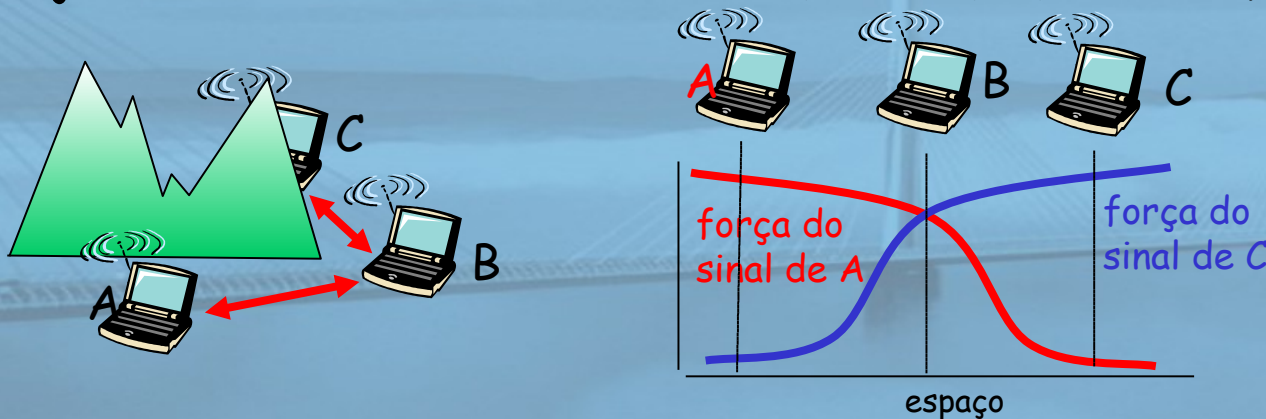
## Varredura ativa:

- (1) Broadcast de quadro de solicitação de investigação de H1
- (2) Quadro de resposta de investigações enviado de APs
- (3) Quadro de resposta de associação enviado: H1 para AP selecionado
- (4) Quadro de resposta de associação enviado: AP selecionado para H1



# IEEE 802.11: acesso múltiplo

- ρ evita colisões: 2 ou + nós transmitindo ao mesmo tempo
- ρ 802.11: CSMA - detecta antes de transmitir
  - μ não colide com transmissão contínua de outro nó
- ρ 802.11: sem detecção de colisão!
  - μ difícil de receber (sentir colisões) na transmissão devido a sinais recebidos fracos (desvanecimento)
  - μ não pode sentir todas as colisões em qualquer caso: terminal oculto, desvanecimento
  - μ objetivo: **evitar colisões**: CSMA/C(ollision)A(voidance)



# Protocolo MAC IEEE 802.11: CSMA/CA

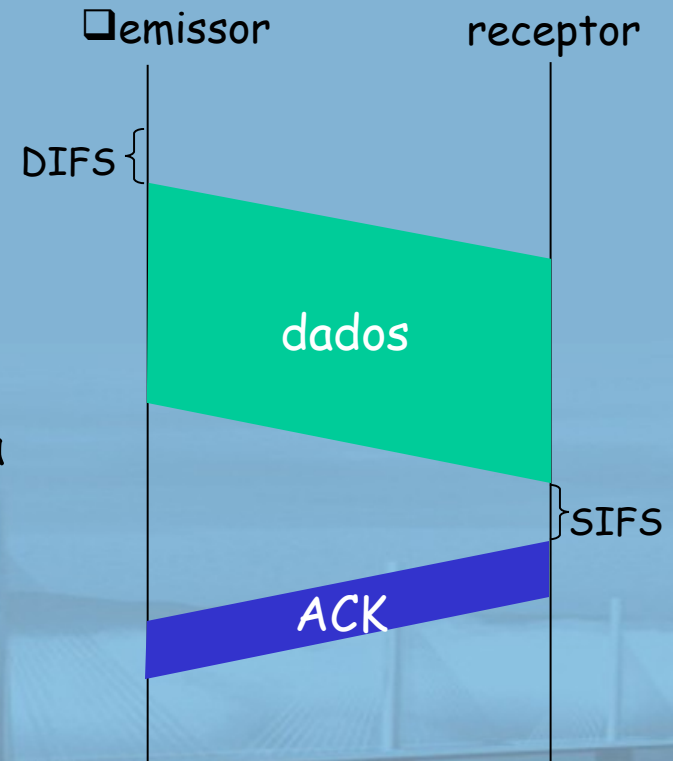
## remetente 802.11

- 1 se sentir canal ocioso para **DIFS** então transmite quadro inteiro (sem CD)
- 2 se sentir canal ocupado então
  - ❑ inicia tempo aleatório de backoff
  - ❑ temporizador conta regressivamente enquanto canal está ocioso
  - ❑ transmite quando temporizador expira
  - ❑ se não há ACK, aumenta intervalo de backoff aleatório, repete 2

## receptor 802.11

- se quadro recebido OK

retorna ACK após **SIFS** (ACK necessário devido ao problema de terminal oculto)

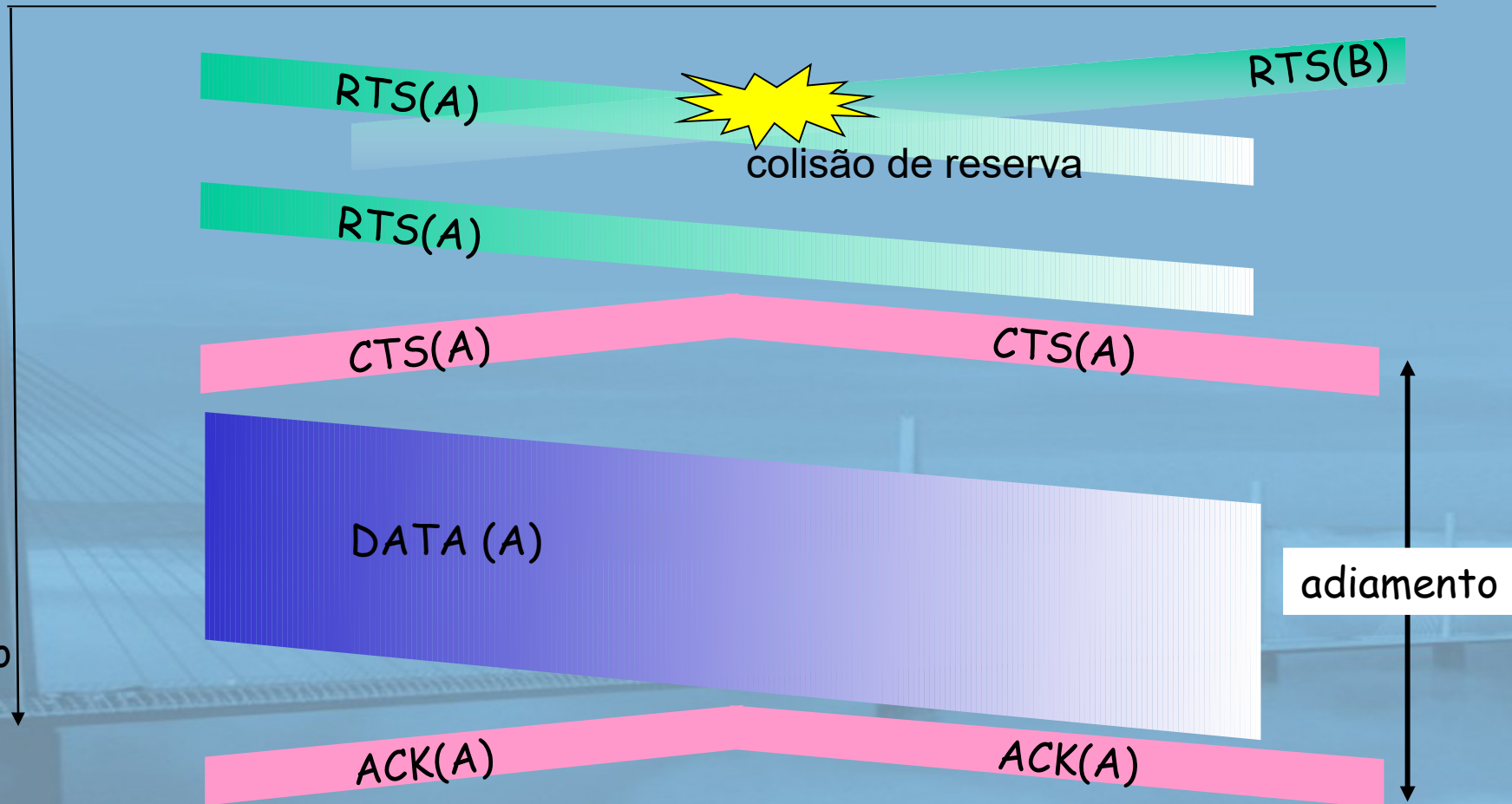


## Evitando colisões (mais)

- ideia:** permite que remetente "reserve" canal em vez de acesso aleatório aos quadros de dados: evitar colisões de quadros de dados longos
- ρ remetente primeiro transmite *pequenos* pacotes request-to-send (RTS) à BS usando CSMA
    - μ RTSs ainda podem colidir uns com os outros (mas são curtos)
  - ρ BS envia por broadcast clear-to-send (CTS) em resposta a RTS
  - ρ CTS escutado por todos os nós
    - μ remetente transmite quadro de dados
    - μ outras estações adiam transmissões

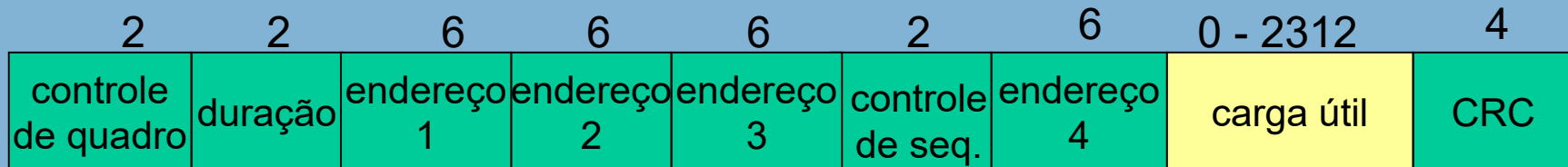
Evite colisões de quadro de dados completamente usando pequenos pacotes de reserva!

# Prevenção de colisão: troca RTS-CTS





## Quadro 802.11: endereçamento



**Endereço 1:** endereço MAC  
do hosp. sem fio ou AP a  
receber este quadro

**Endereço 2:** endereço MAC  
do hosp. sem fio ou AP  
transmitindo este quadro

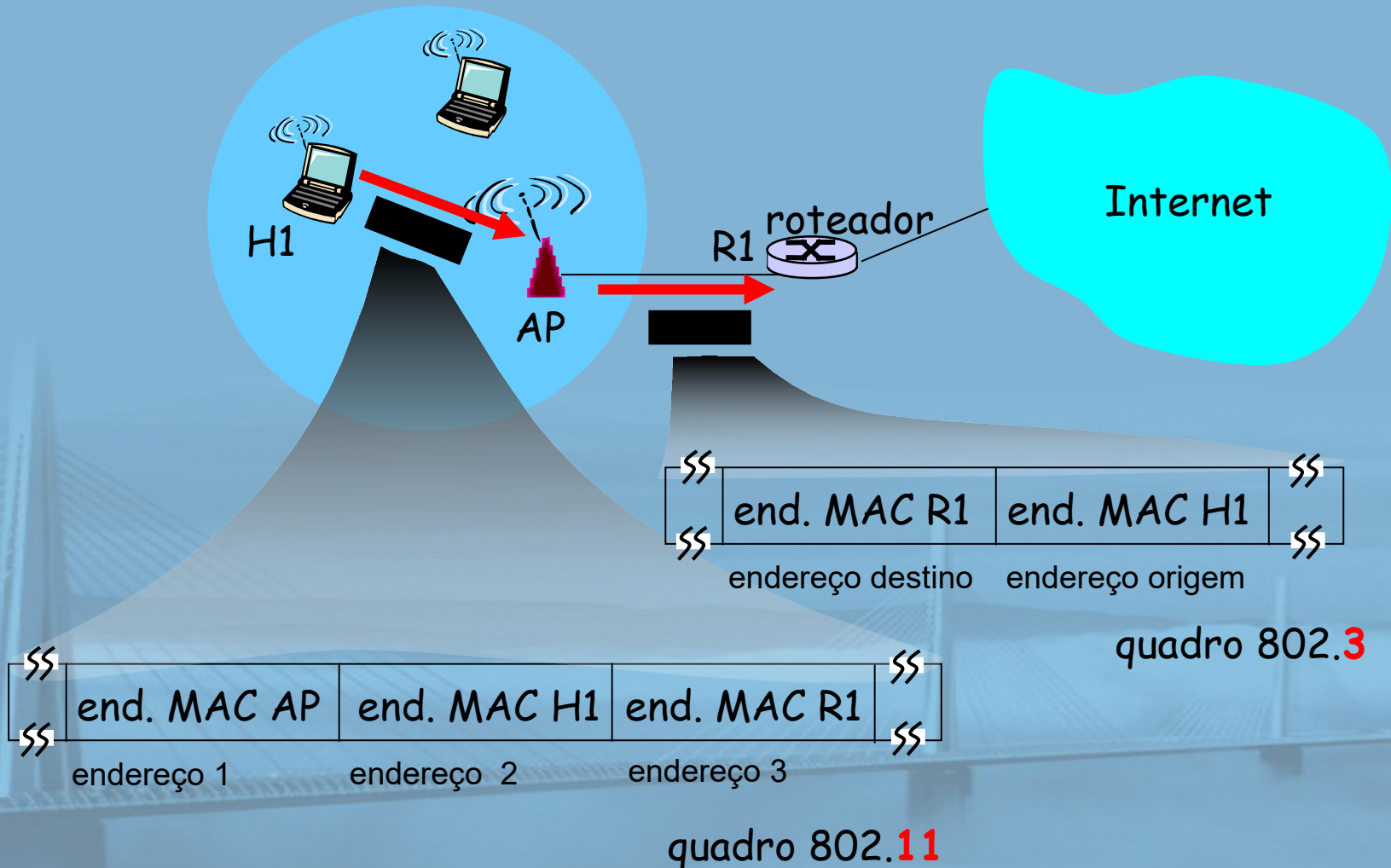
**Endereço 3:** endereço  
MAC da interface do  
roteador ao qual AP está  
conectado

**Endereço 4:** usado  
apenas no modo ad hoc

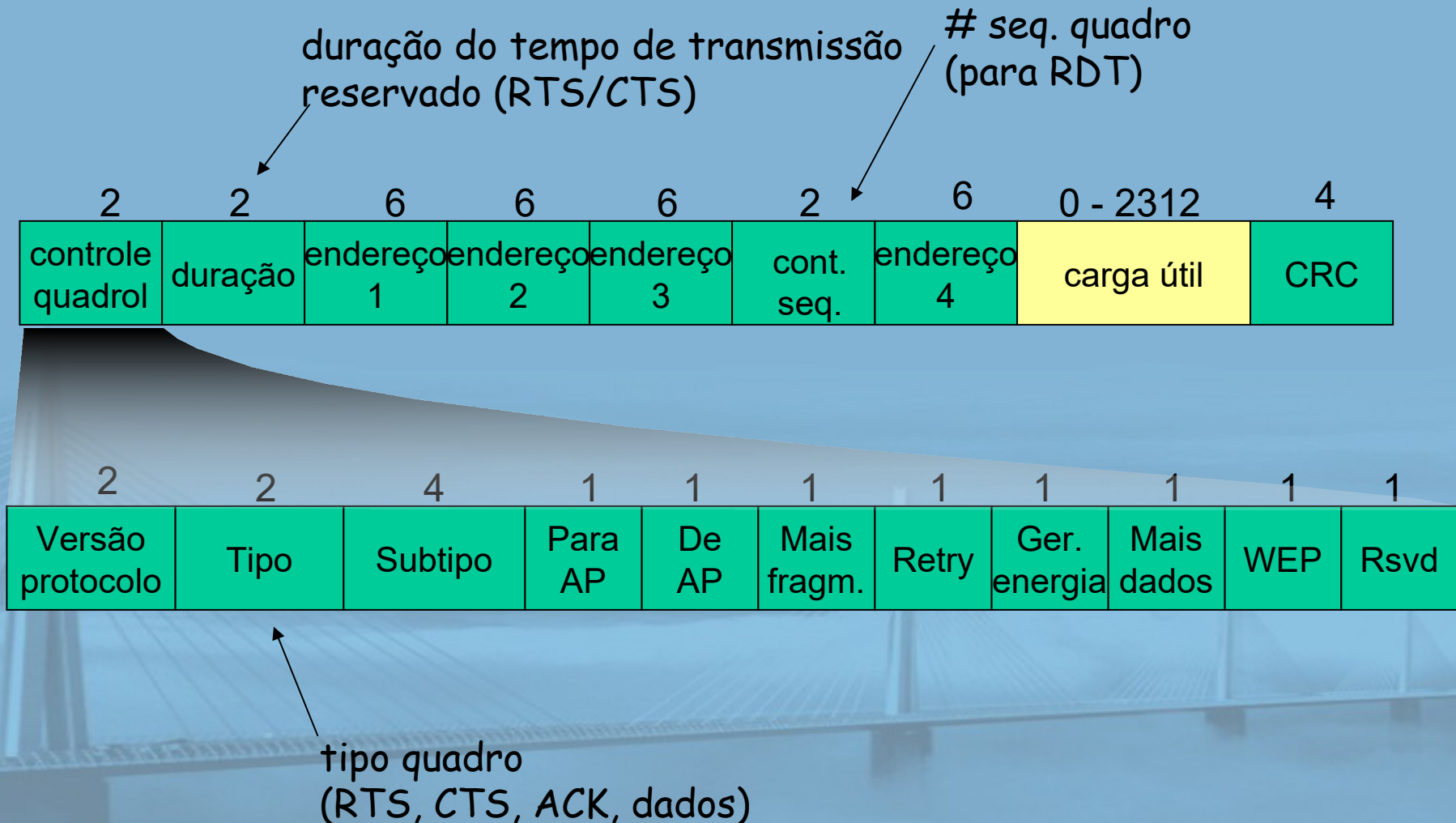
# REDES DE COMPUTADORES E A INTERNET

5ª edição

*Uma Abordagem Top-Down*

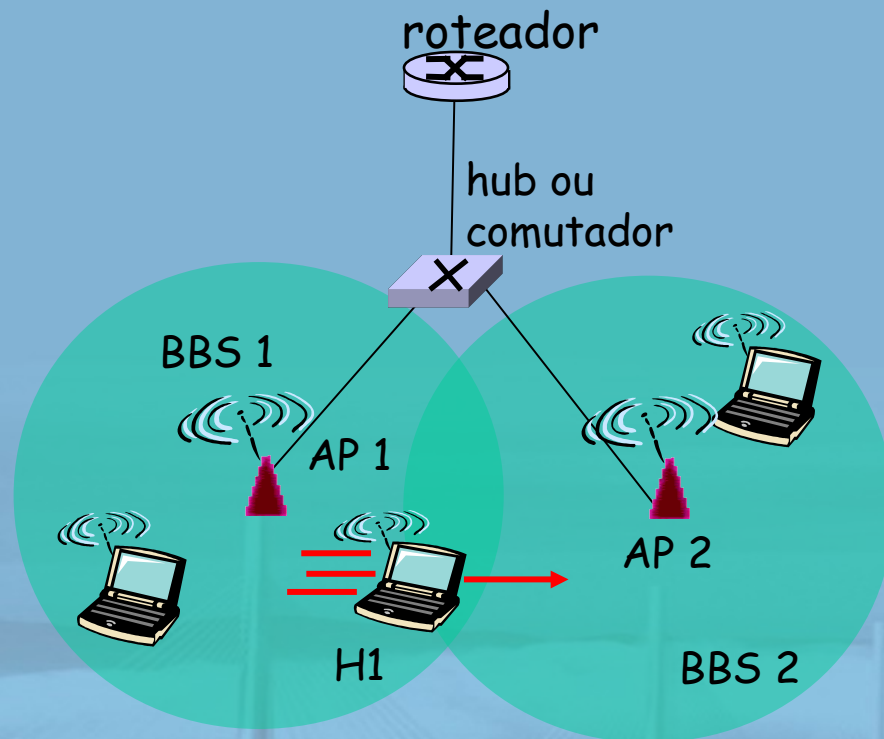


# Quadro 802.11: mais



# 802.11: mobilidade dentro da mesma sub-rede

- ρ H1 permanece na mesma sub-rede IP: endereço IP pode permanecer o mesmo
- ρ comutador: qual AP está associado a H1?
  - μ autoaprendizagem (Cap. 5): comutador verá quadro de H1 e "lembrará" qual porta do comutador pode ser usada para alcançar H1



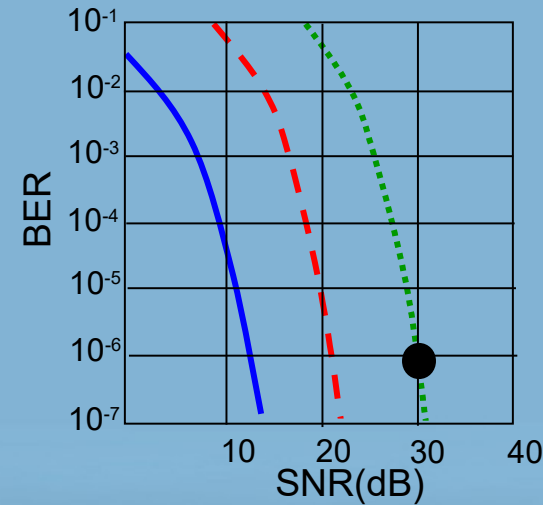


# 802.11: capacidades avançadas

## Adaptação de taxa

ρ estação-base, disp. móvel muda taxa de transmissão dinamicamente (técnica de modulação da camada física) enquanto móvel se move, SNR varia

- QAM256 (8 Mbps)
- QAM16 (4 Mbps)
- BPSK (1 Mbps)
- ponto operacional



1. SNR diminui, BER aumenta quando nó se afasta da estação-base
2. Quando BER se torna muito alto, passa para taxa de transmissão inferior, mas com BER mais baixo

# Capítulo 6: Esboço

## ρ 6.1 Introdução

### Redes sem fio

## ρ 6.2 Características de enlaces e redes sem fio

### μ CDMA

## ρ 6.3 LANs sem fio 802.11 ("wi-fi")

## ρ 6.4 Acesso celular à Internet

### μ arquitetura

### μ padrões (p. e., GSM)

## Mobilidade

## ρ 6.5 Gerenciamento da mobilidade: princípios

## ρ 6.6 IP móvel

## ρ 6.7 Gerenciamento de mobilidade em redes celulares

## ρ 6.8 Mobilidade e protocolos de camadas superiores

## ρ 6.9 Resumo

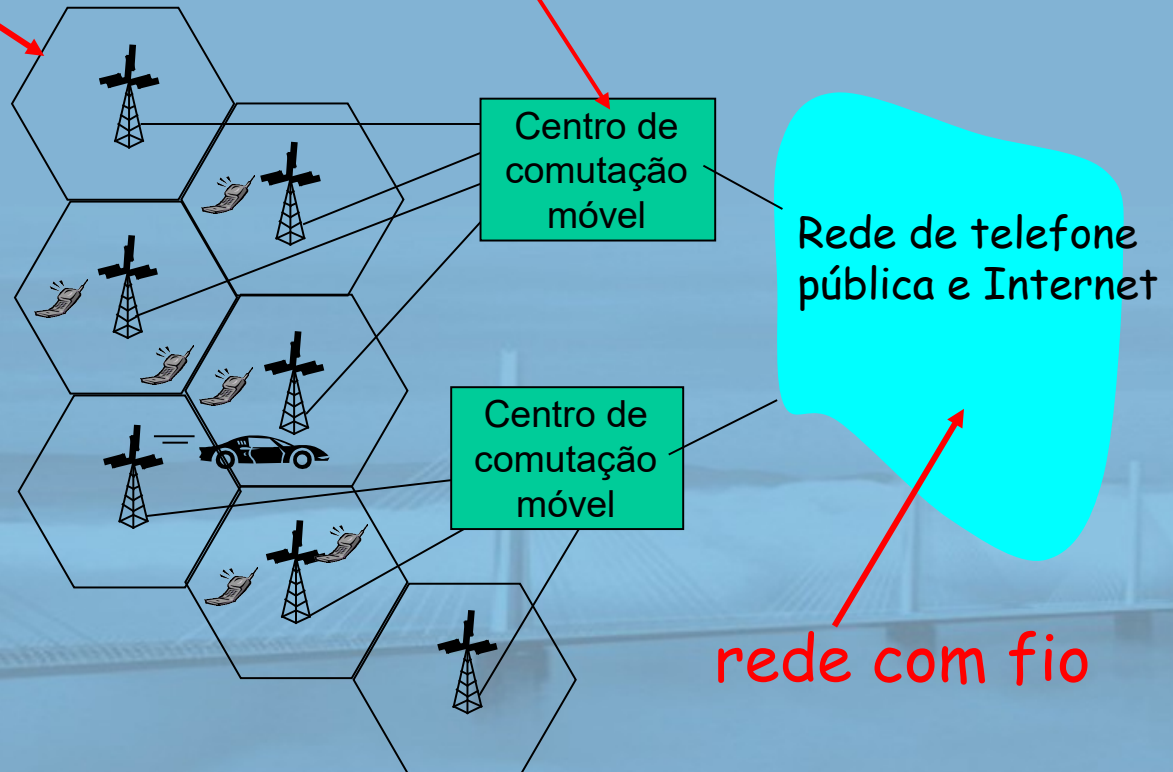
# Componentes da arquitetura de rede celular

## célula

- ▣ cobre região geográfica
- ▣ *estação-base* (BS) semelhante a 802.11 AP
- ▣ *usuários móveis* se conectam à rede por BS
- ▣ *interface-ar*: protocolo da camada física e enlace entre estação móvel e BS

## MSC

- ▣ conecta células à rede remota
- ▣ gerencia conf. chamada (adiante!)
- ▣ trata da mobilidade (adiante!)

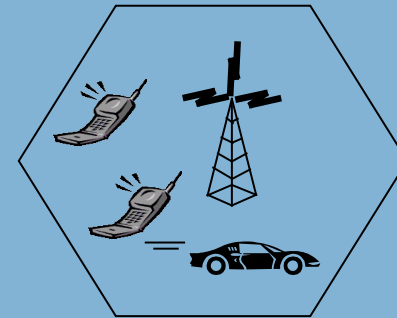


# Redes de celular: o primeiro salto

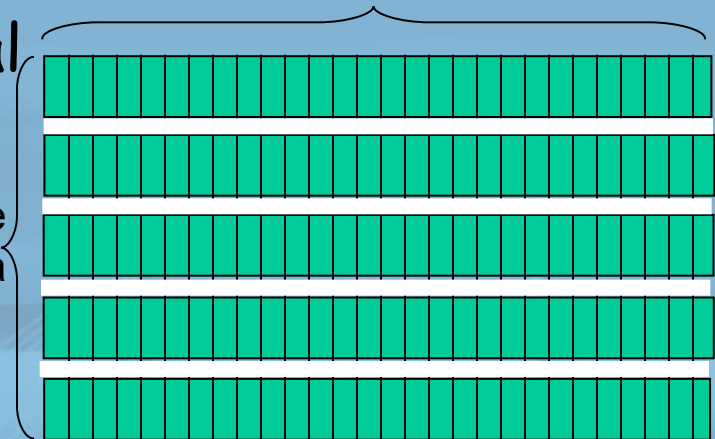
Duas técnicas para compartilhar espectro de rádio de estação móvel-para-BS

ρ **FDMA/TDMA combinado:**  
dividem espectro em canais de frequência, dividem cada canal em intervalos de tempo

ρ **CDMA:** Code Division Multiple Access



intervalos de tempo





# Padrões de celular: breve análise

## Sistemas 2G: canais de voz

- ρ IS-136 TDMA: FDMA/TDMA combinados (América do Norte)
- ρ GSM (Global System for Mobile communications): FDMA/TDMA combinados
  - μ mais implementado
- ρ IS-95 CDMA: Code Division Multiple Access



Não se afogue em uma sopa de letrinhas: use isso apenas como referência

## sistemas 2.5 G: canais de voz e dados

- ρ para os que não podem esperar pelo serviço 3G: extensões 2G
- ρ General Packet Radio Service (GPRS)
  - μ evolução do GSM
  - μ dados enviados em múltiplos canais (se disponíveis)
- ρ Enhanced Data rates for Global Evolution (EDGE)
  - μ também evoluído do GSM, usando modulação avançada
  - μ taxas de dados de até 384K
- ρ CDMA-2000 (fase 1)
  - μ taxas de dados de até 144K
  - μ evoluído do IS-95

## sistemas 3G: voz/dados

- ρ Universal Mobile Telecommunications Service (UMTS)
  - μ serviço de dados: High Speed Uplink/Downlink Packet Access (HSDPA/HSUPA): 3 Mbps
- ρ CDMA-2000: CDMA em intervalos TDMA
  - μ serviço de dados: 1 x Evolution Data Optimized (1xEVDO) até 14 Mbps

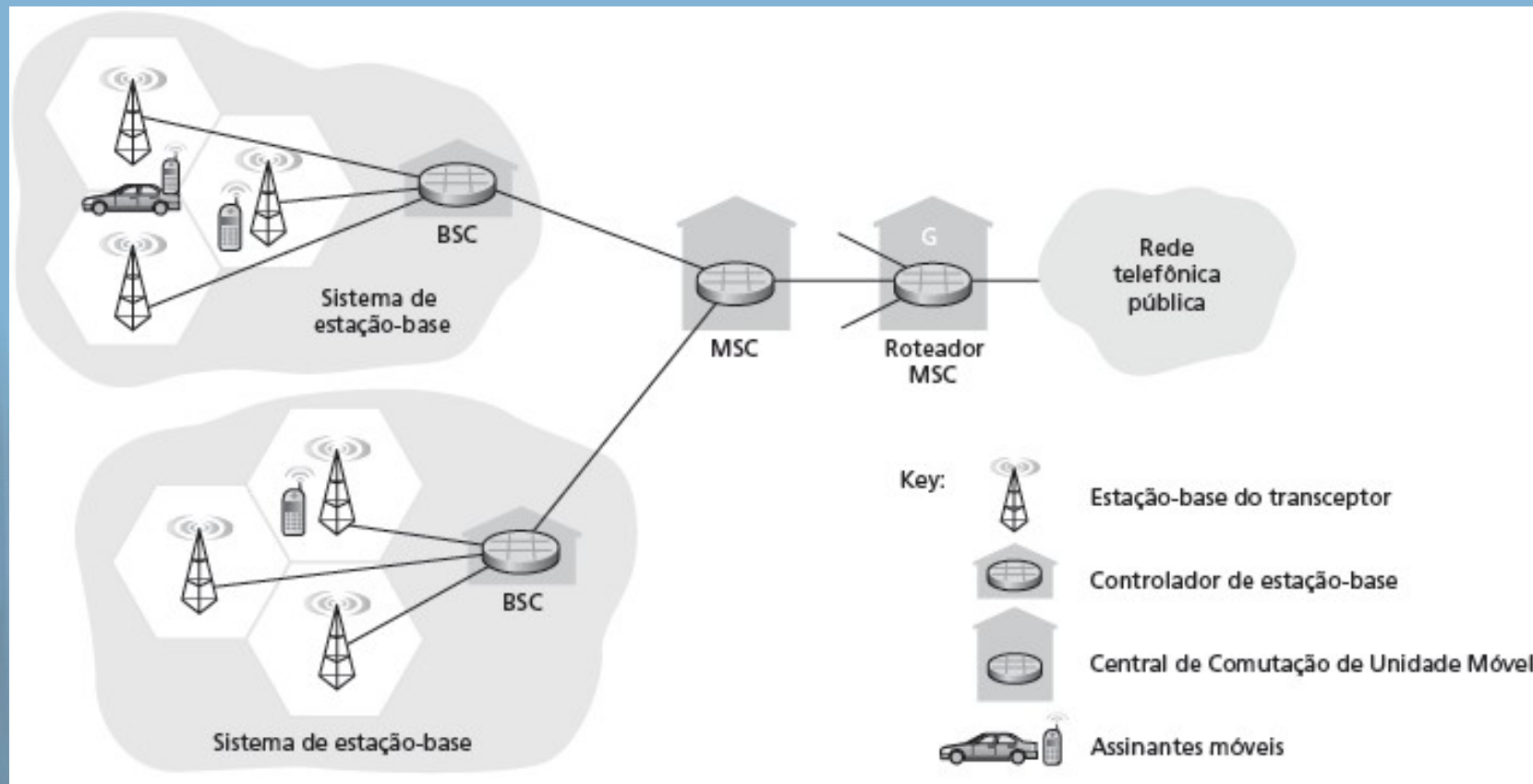
..... mais tópicos de celular (e mais interessantes) devido à mobilidade (fique ligado para ver os detalhes)

# Arquitetura de rede 2G (voz)

## REDES DE COMPUTADORES E A INTERNET

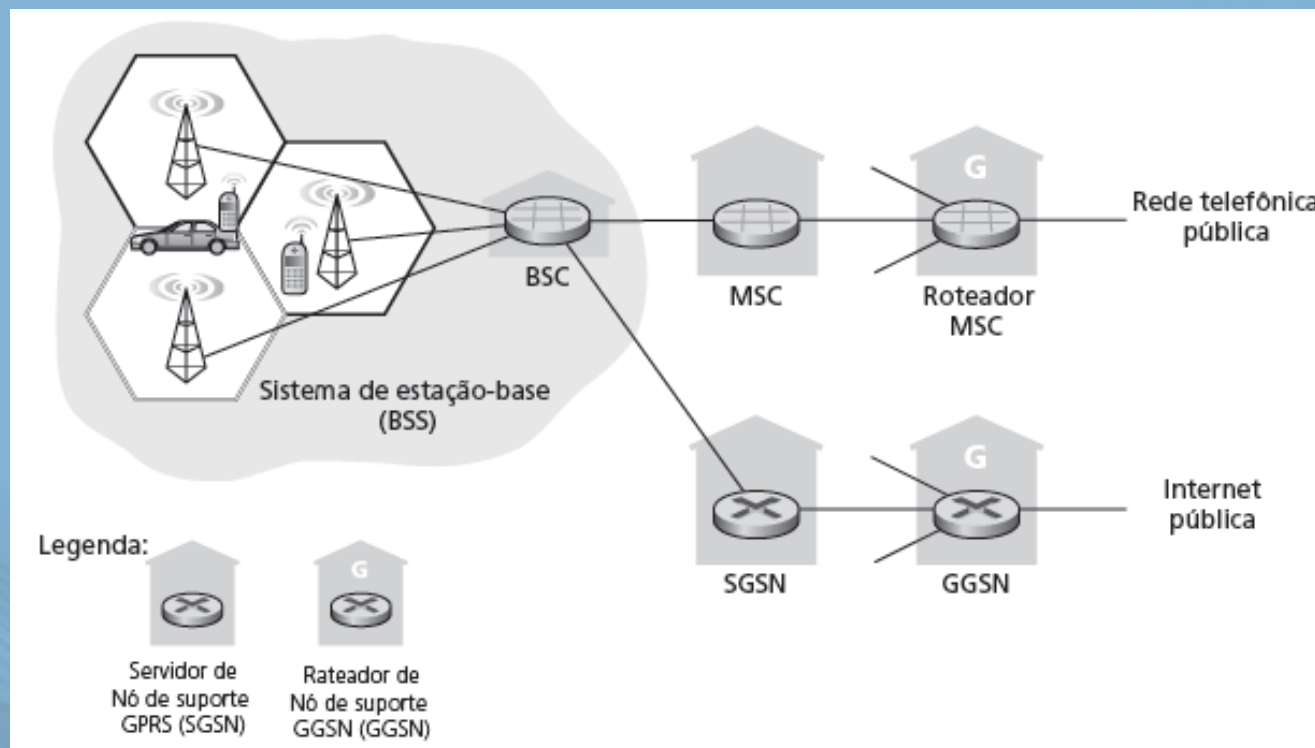
5ª edição

*Uma Abordagem Top-Down*





# Arquitetura de rede 2.5G (voz + dados)



**Detalhe importante:** nova rede celular de dados opera em paralelo (exceto na borda) com rede celular de voz existente

- ❑ rede de voz inalterada no núcleo
- ❑ rede de dados opera em paralelo