

# Capítulo 6: Redes sem fio e redes móveis

## Fundamentos:

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

# Capítulo 6: Esboço

## ❑ 6.1 Introdução

### Redes sem fio

## ❑ 6.2 Características de enlaces e redes sem fio

- CDMA

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

## ❑ 6.4 Acesso celular à Internet

- arquitetura
- padrões (p. e., GSM)

## Mobilidade

## ❑ 6.5 Gerenciamento da mobilidade: princípios

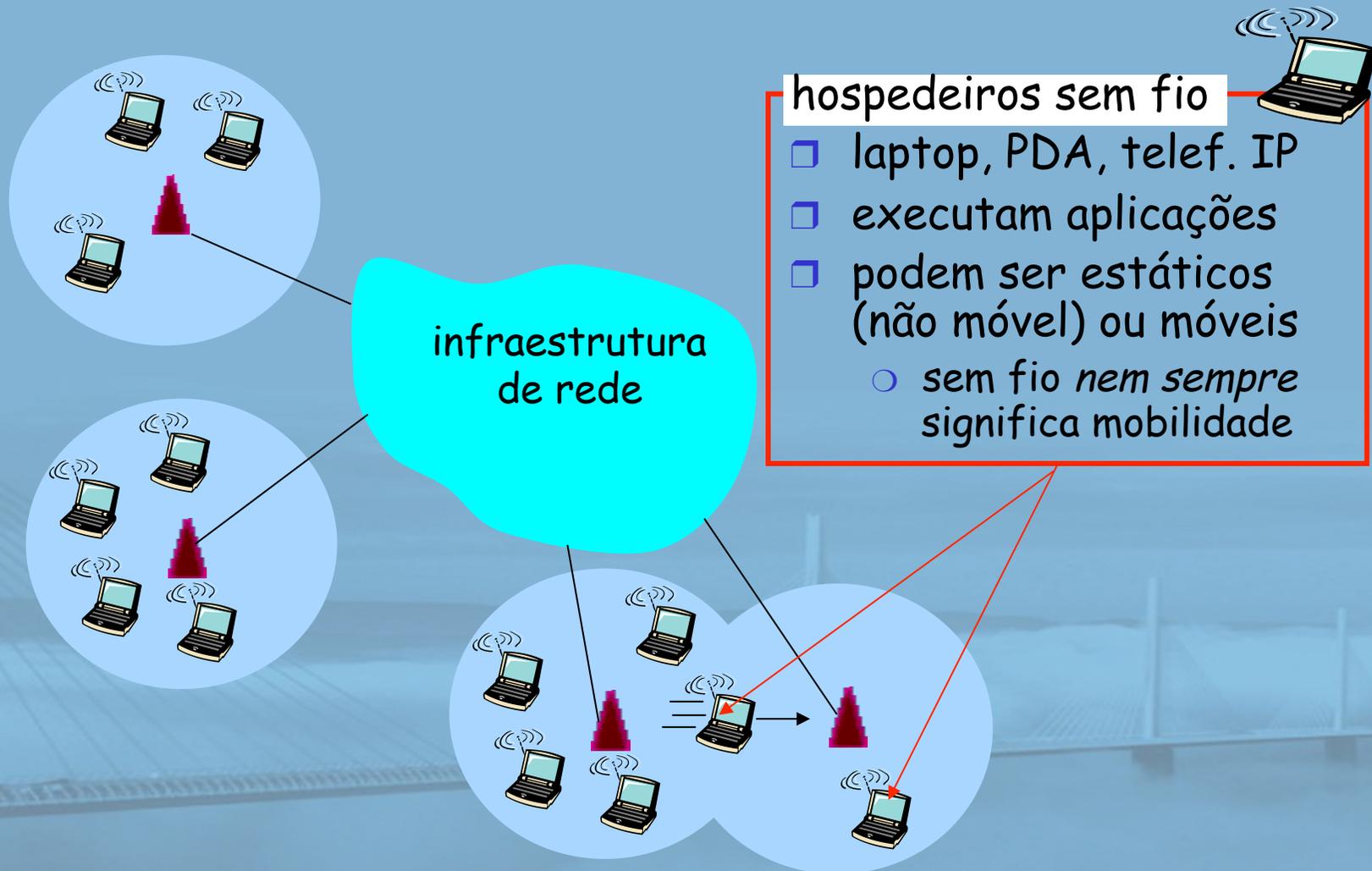
## ❑ 6.6 IP móvel

## ❑ 6.7 Gerenciamento de mobilidade em redes celulares

## ❑ 6.8 Mobilidade e protocolos de camadas superiores

## ❑ 6.9 Resumo

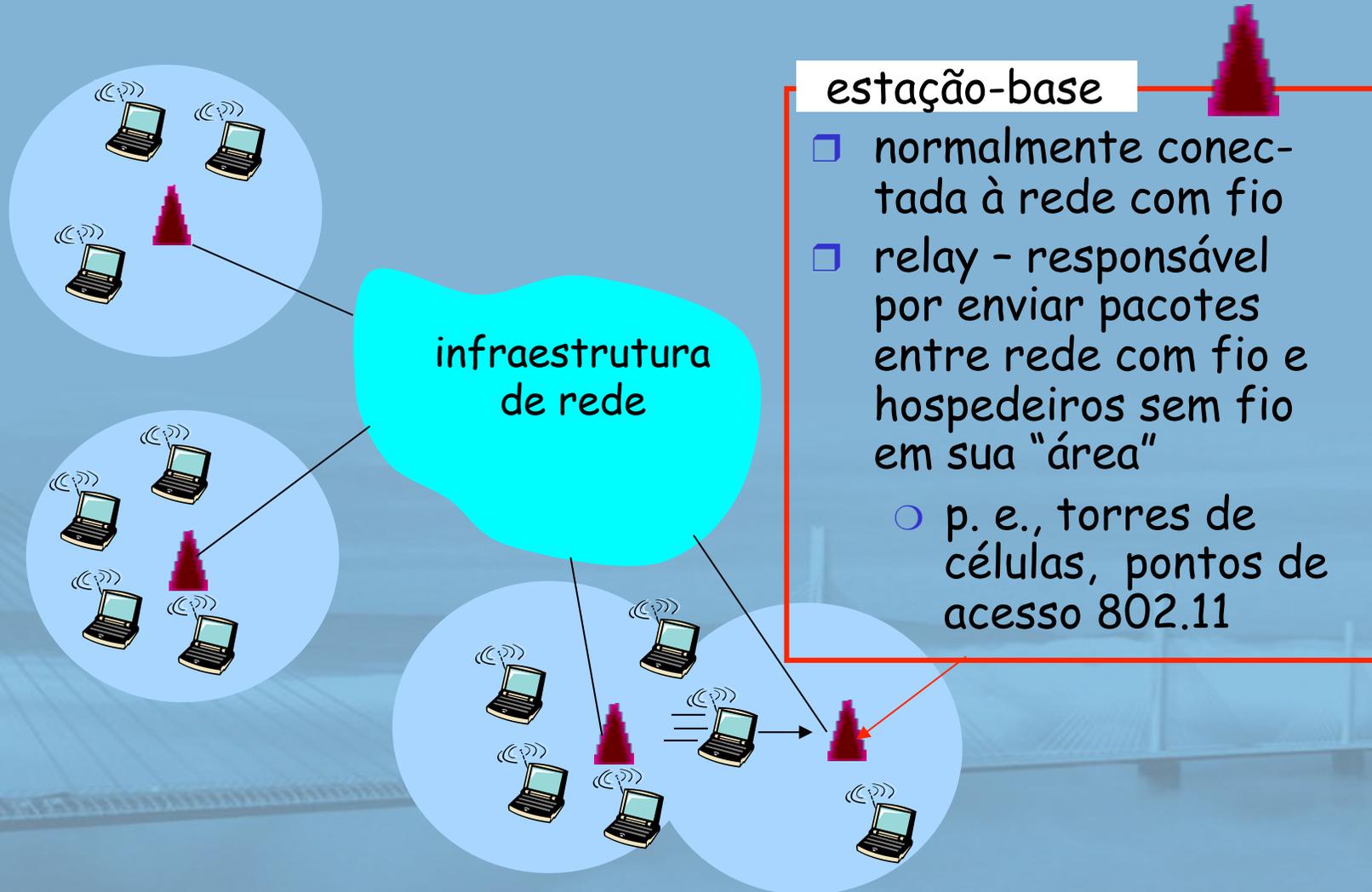
# Elementos de uma rede sem fio



# REDES DE COMPUTADORES E A INTERNET

5ª edição

Uma Abordagem Top-Down



## estação-base

- normalmente conectada à rede com fio
- relay - responsável por enviar pacotes entre rede com fio e hospedeiros sem fio em sua "área"
  - p. e., torres de células, pontos de acesso 802.11

# REDES DE COMPUTADORES E A INTERNET

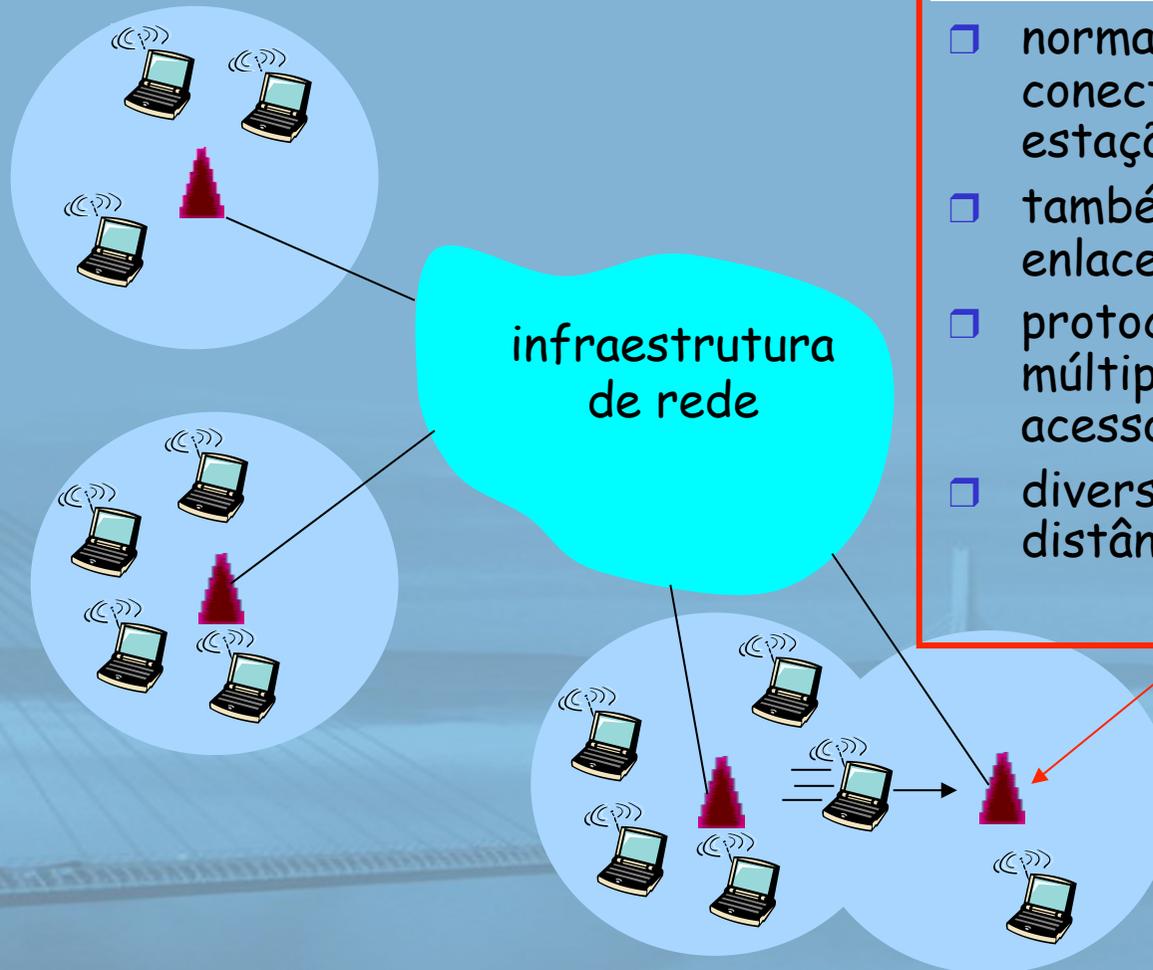
5ª edição

Uma Abordagem Top-Down

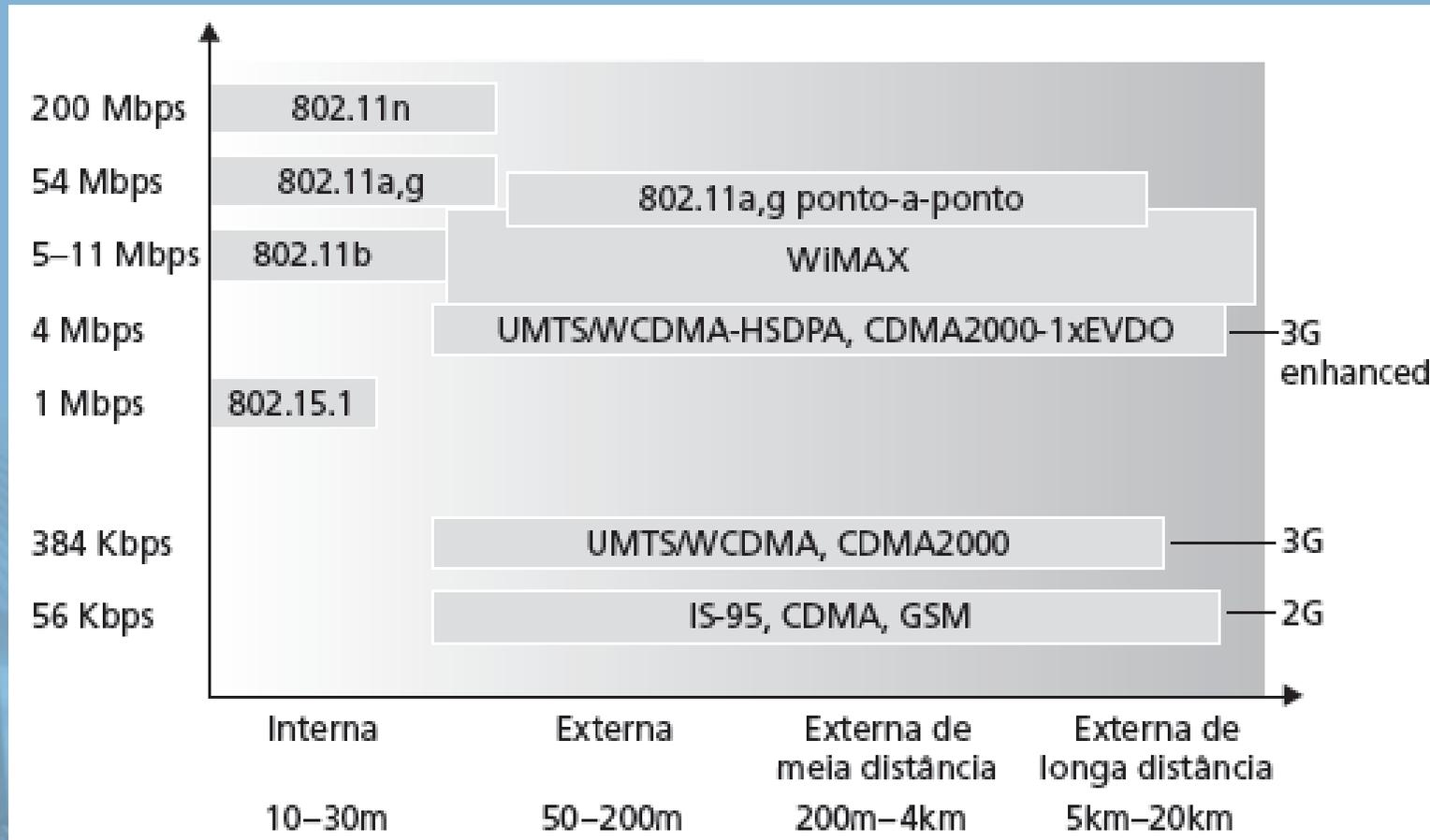
## enlace sem fio



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



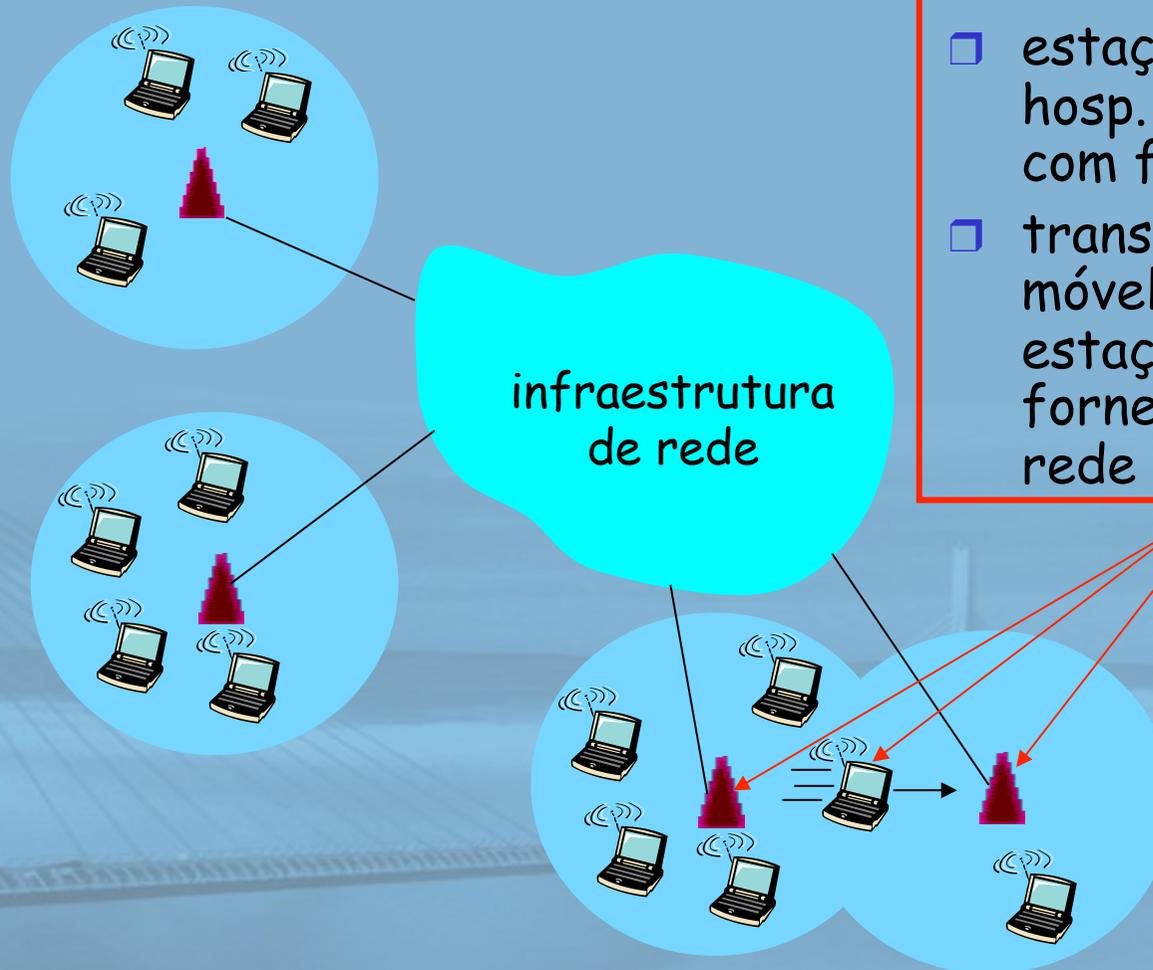
# Características de padrões de enlace sem fio selecionados



# Elementos de uma rede sem fio

## modo de infraestrutura

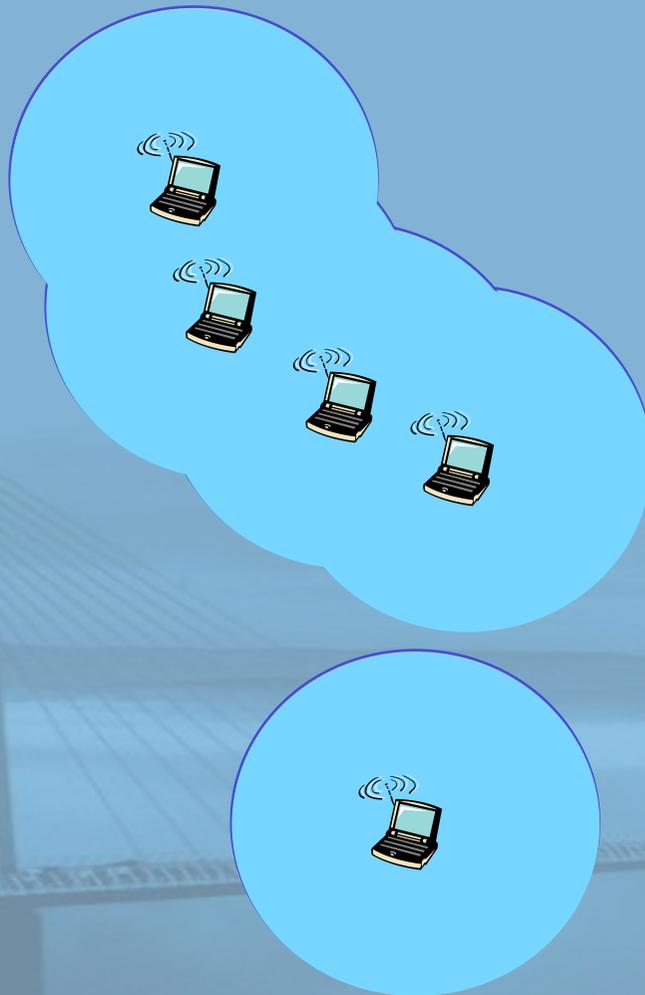
- ❑ estação-base conecta hosp. móveis à rede com fio
- ❑ transferência: hosp. móvel muda de estação-base fornecendo conexão à rede com fio



# REDES DE COMPUTADORES E A INTERNET

5ª edição

*Uma Abordagem Top-Down*



## modo ad hoc

- sem estações-base
- nós só podem transmitir a outros nós dentro da cobertura do enlace
- 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)

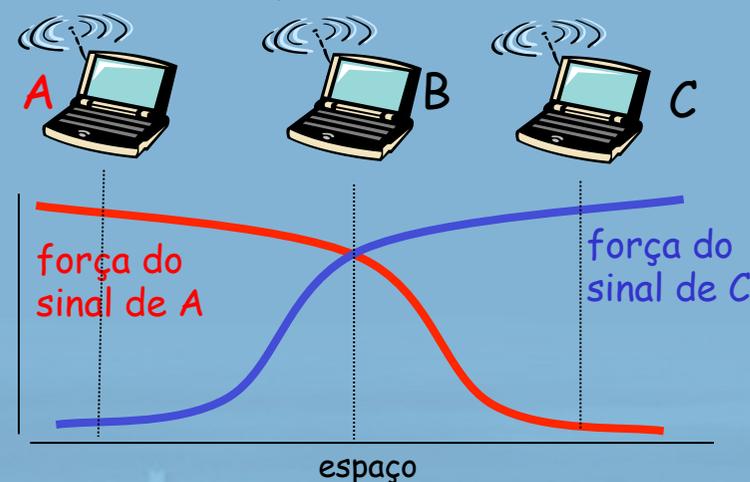
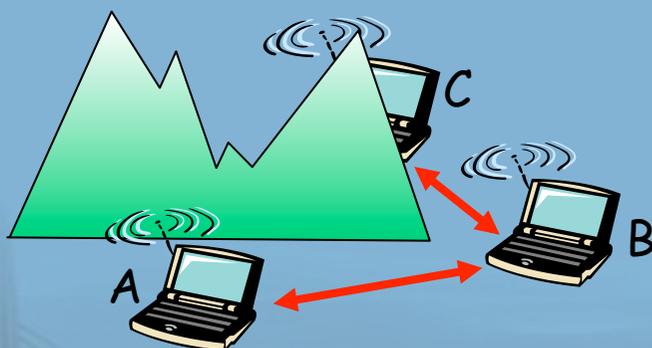
Diferenças do enlace com fio...

- **Redução fora do sinal:** sinal de rádio se atenua enquanto se propaga pela matéria (perda do caminho)
- **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
- **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"

# Características da rede sem fio

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



## Problema do terminal oculto

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

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

## Atenuação do sinal:

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

# Code Division Multiple Access (CDMA)

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

# LAN sem fio IEEE 802.11

## ❑ 802.11b

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

## ❑ 802.11a

- intervalo 5-6 GHz
- até 54 Mbps

## ❑ 802.11g

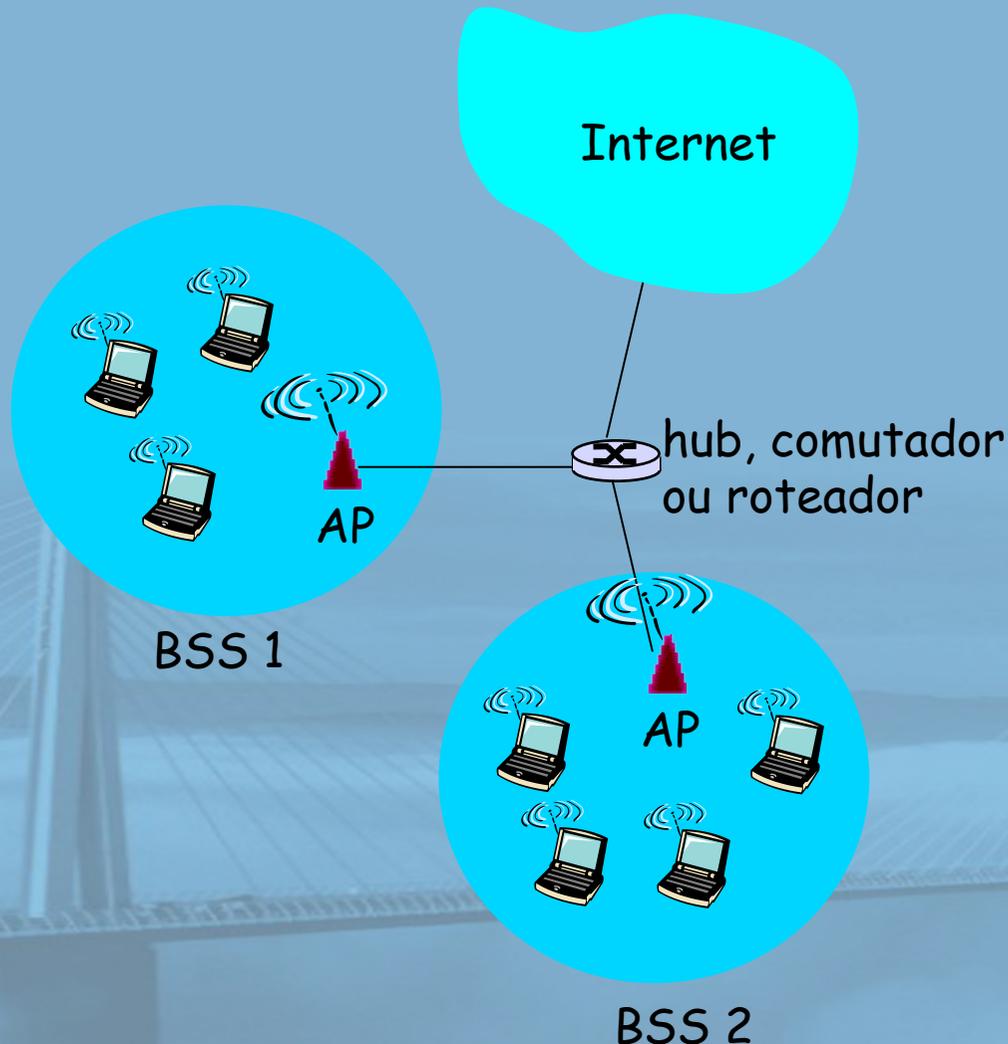
- intervalo 2,4-5 GHz
- até 54 Mbps

## ❑ 802.11n: múltiplas antenas

- intervalo 2,4-5 GHz
- até 200 Mbps

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

# Arquitetura de LAN 802.11

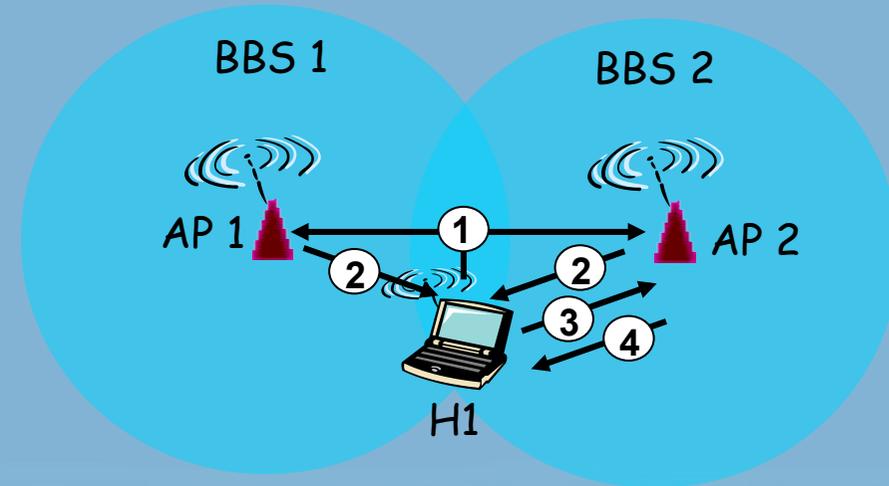
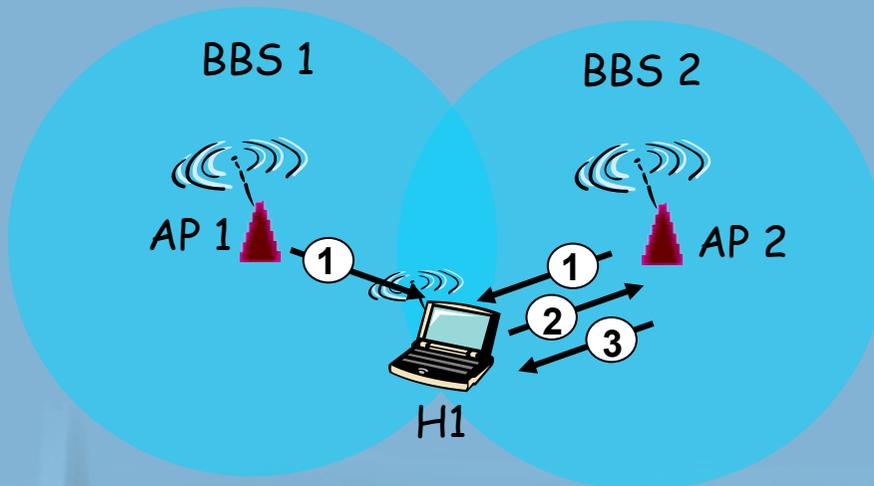


- hospedeiro sem fio se comunica com estação-base
  - estação-base = ponto de acesso (AP)
- **Basic Service Set (BSS)** (ou "célula") no modo de infraestrutura contém:
  - hospedeiros sem fio
  - ponto de acesso (AP): estação-base
  - modo ad hoc: apenas hosts

## 802.11: Canais, associação

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

# 802.11: varredura passiva/ativa



## Varredura passiva:

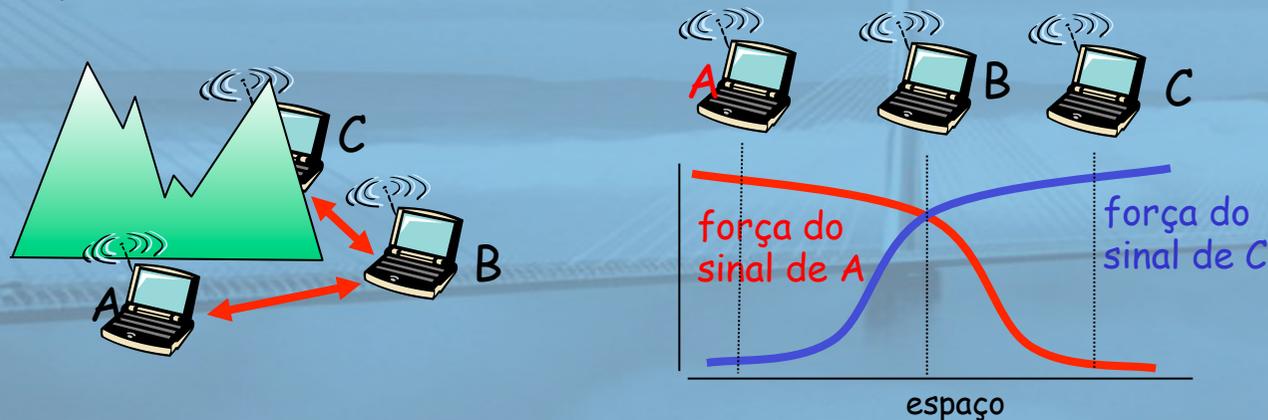
- (1) quadros de sinalização enviados dos APs
- (2) quadro de solicitação de associação enviado: H1 para AP selecionado
- (3) quadro de resposta de associação enviado: H1 para AP selecionado

## 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

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



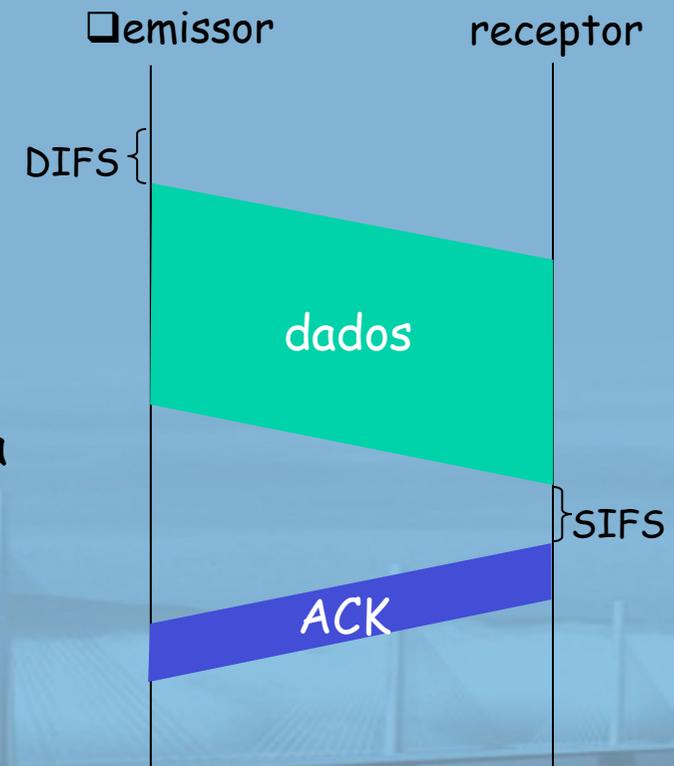
# Protocolo MAC IEEE 802.11: CSMA/CA

## 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)



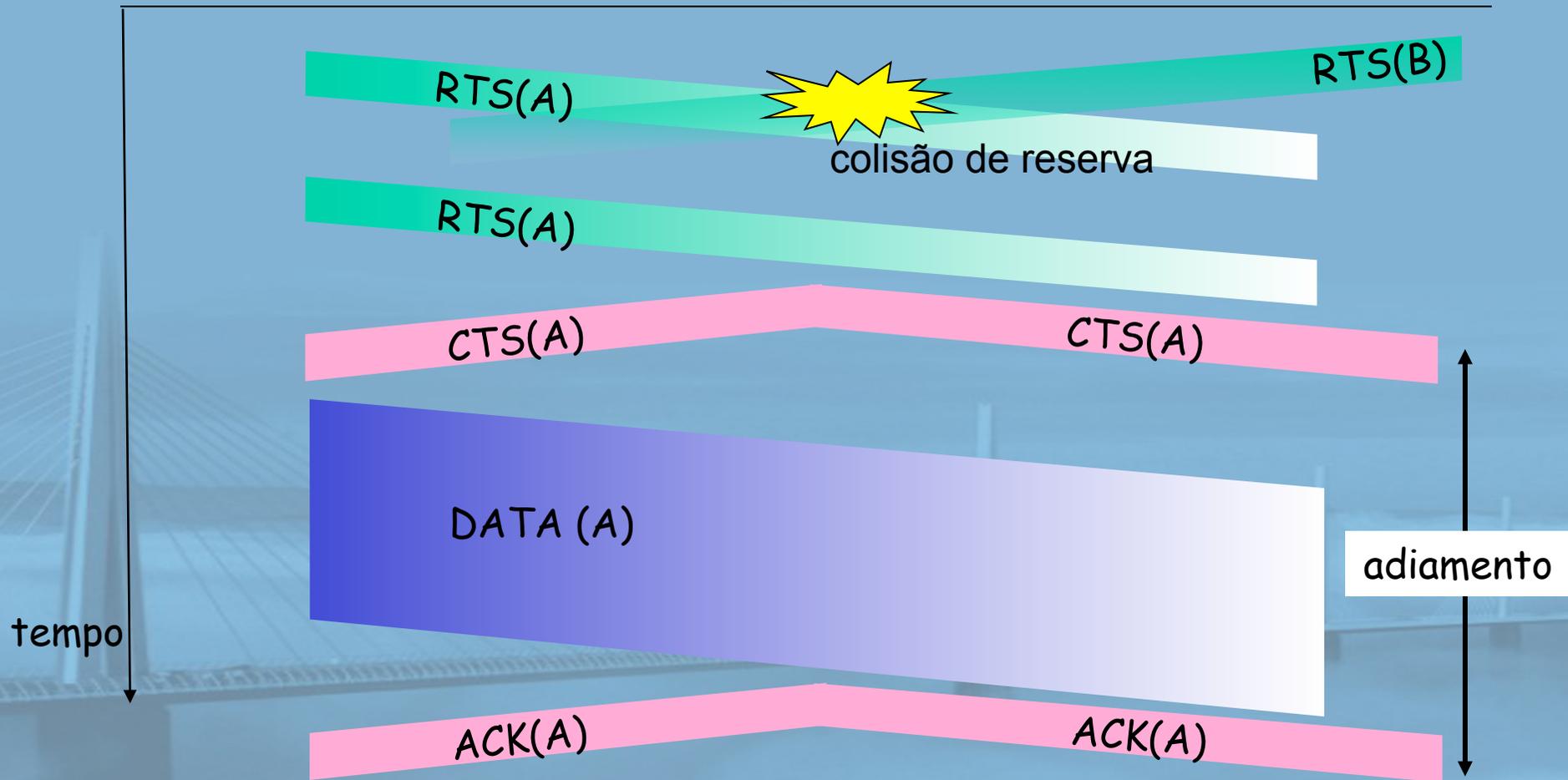
## Evitando colisões (mais)

*ideia:* permite que remetente "reserve" canal em vez de acesso aleatório aos quadros de dados: evitar colisões de quadros de dados longos

- ❑ remetente primeiro transmite *pequenos* pacotes request-to-send (RTS) à BS usando CSMA
  - RTSs ainda podem colidir uns com os outros (mas são curtos)
- ❑ BS envia por broadcast clear-to-send (CTS) em resposta a RTS
- ❑ CTS escutado por todos os nós
  - remetente transmite quadro de dados
  - 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

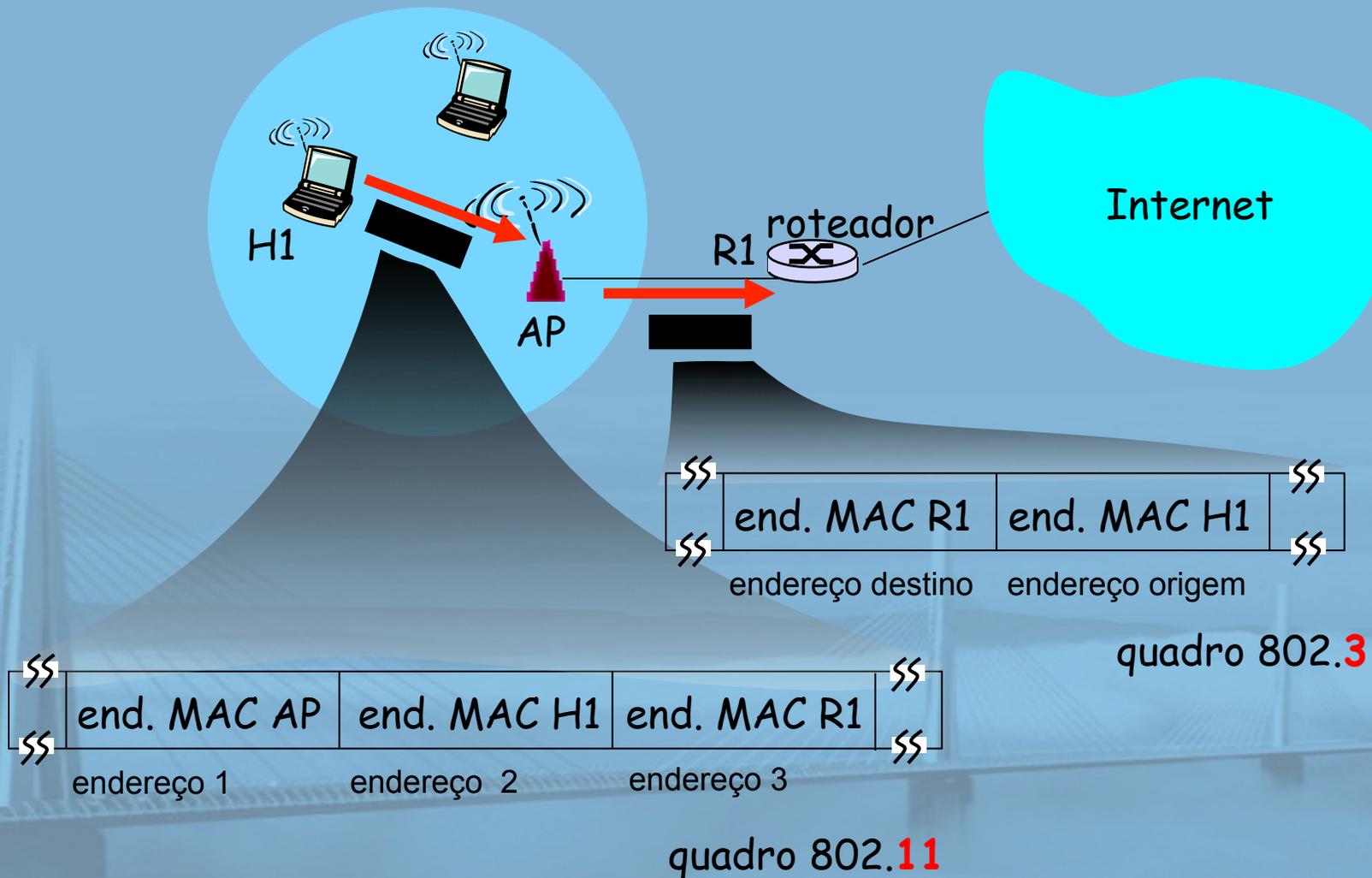
**Endereço 3:** endereço MAC da interface do roteador ao qual AP está conectado

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

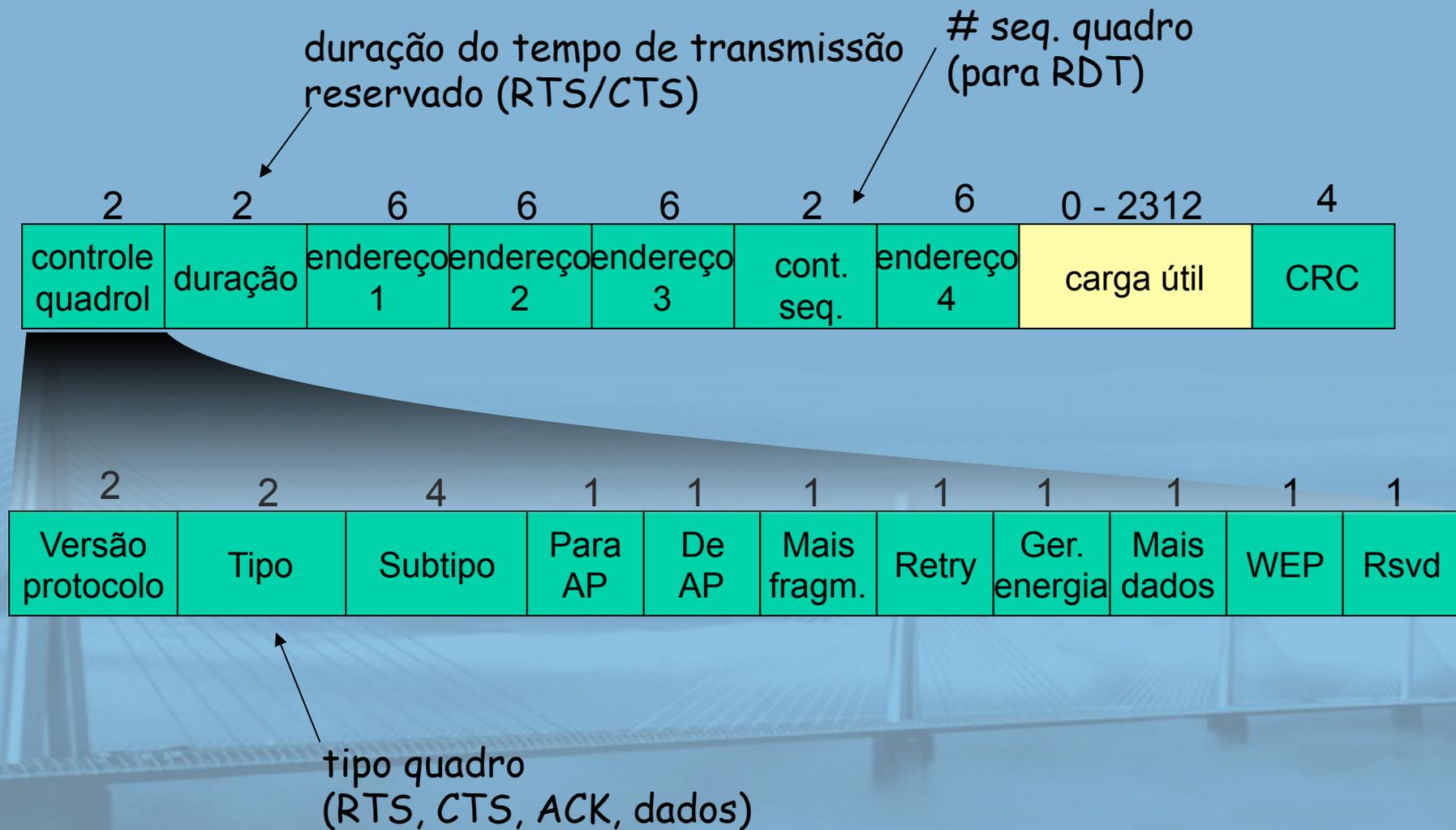
# REDES DE COMPUTADORES E A INTERNET

5ª edição

Uma Abordagem Top-Down

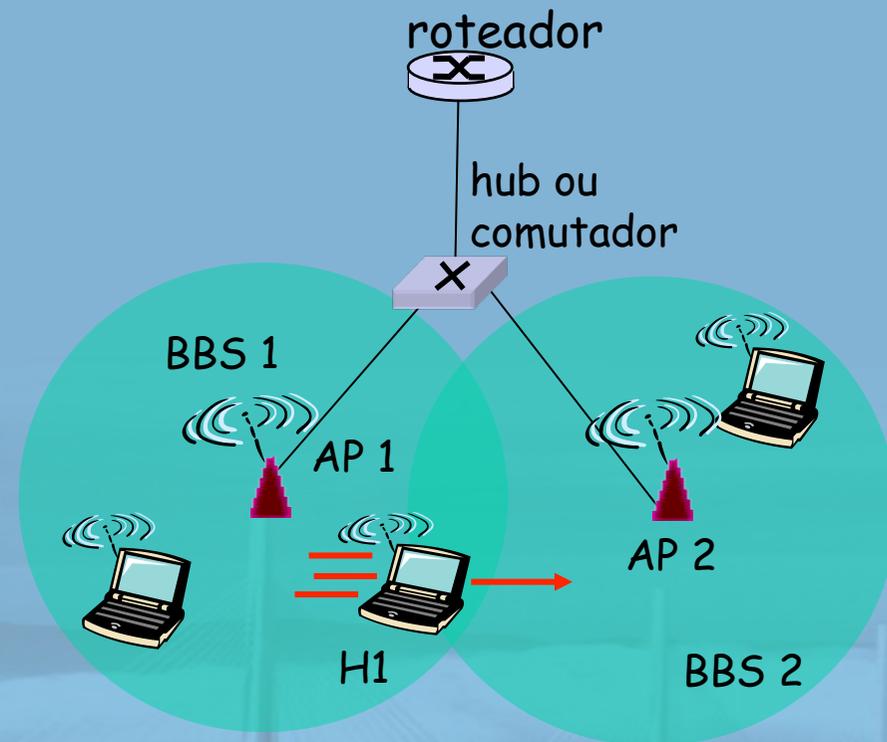


# Quadro 802.11: mais



# 802.11: mobilidade dentro da mesma sub-rede

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

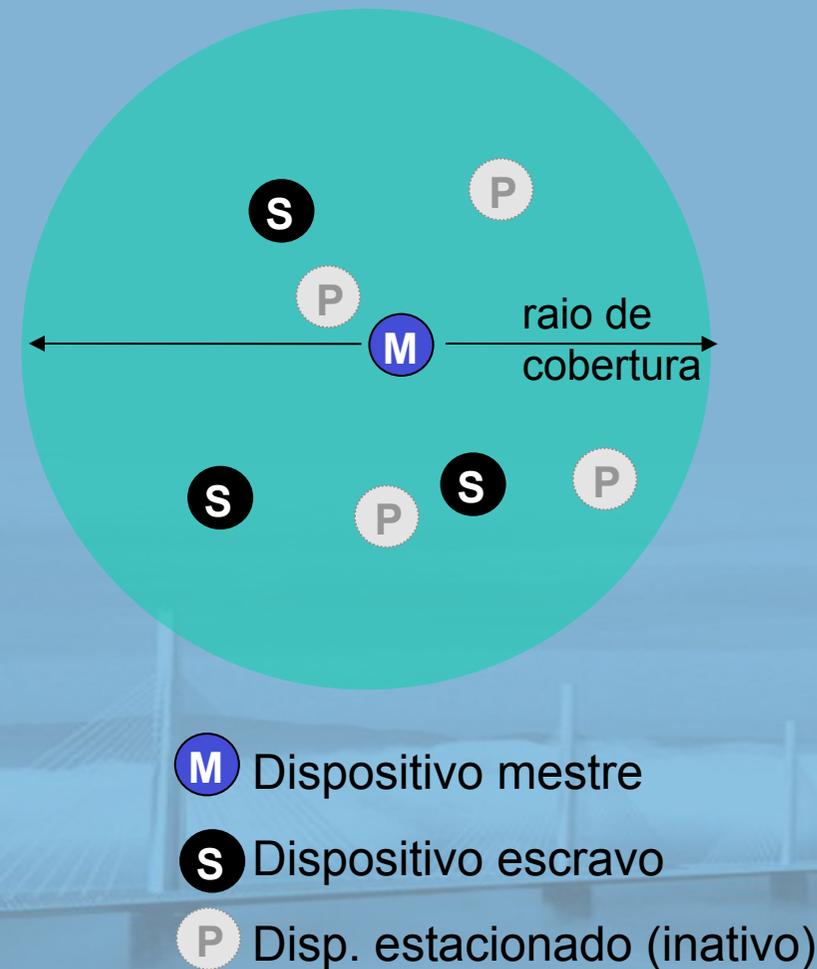


## Gerenciamento de energia

- ❑ nó-para-AP: "Vou dormir até o próximo quadro de sinalização"
  - AP sabe não transmitir quadros para esse nó
  - nó acorda antes do próximo quadro de sinalização
- ❑ quadro de sinalização: contém lista de estações móveis com quadros AP-para-móvel esperando para serem enviados
  - nó permanecerá acordado se quadros AP-para-forém enviados; caso contrário, dorme novamente até próximo quadro de sinalização

# 802.15: rede de área pessoal

- ❑ menos de 10 m de diâmetro
- ❑ substituta para cabos (mouse, teclado, fones)
- ❑ ad hoc: sem infraestrutura
- ❑ mestre/escravos:
  - escravos solicitam permissão para enviar (ao mestre)
  - mestre concede solicitações
- ❑ 802.15: evolução da especificação Bluetooth
  - banda de rádio 2,4-2,5 GHz
  - até 721 kbps



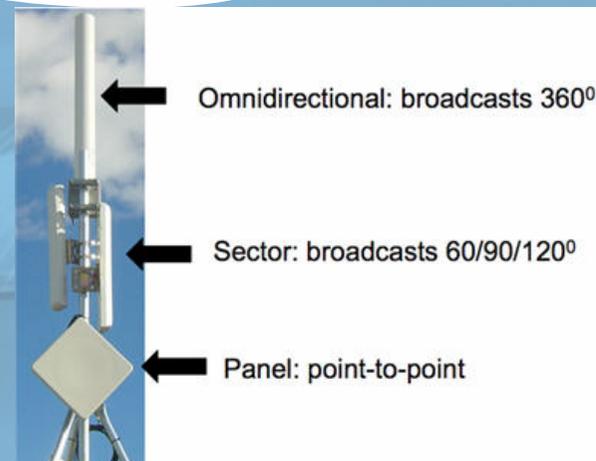
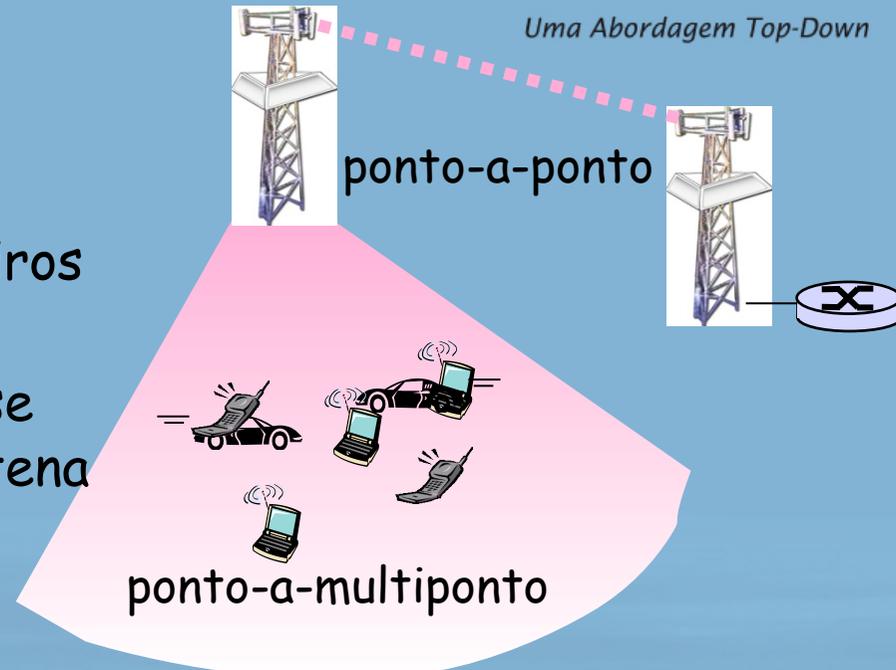
# 802.16: WiMAX

- ❑ como 802.11 & celular:  
modelo de estação-base
  - transmissões de/para  
estação-base por hospedeiros  
com antena direcional
  - transporte de estação-base  
para estação-base com antena  
ponto-a-ponto
- ❑ diferente de 802.11:
  - intervalo de ~6 milhas  
("cidade em vez de  
lanchonete")
  - ~14 Mbps

## REDES DE COMPUTADORES E A INTERNET

5ª edição

Uma Abordagem Top-Down



# 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!)

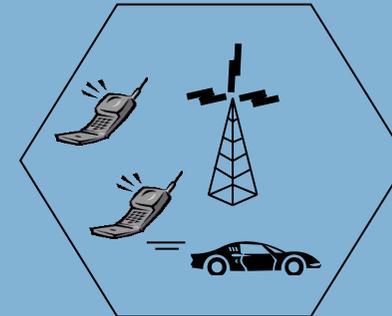


# Redes de celular: o primeiro salto

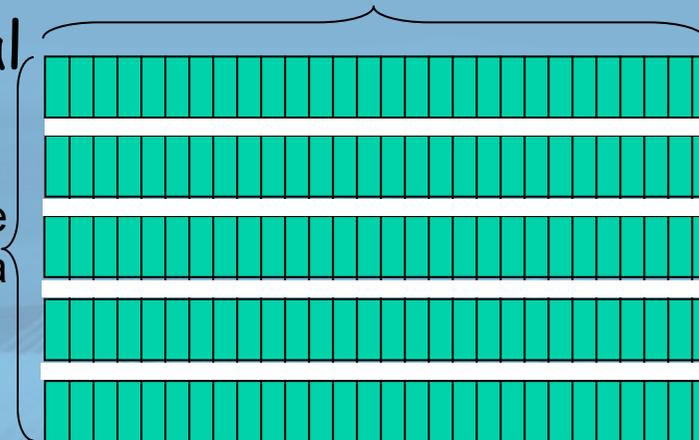
Duas técnicas para compartilhar espectro de rádio de estação móvel-para-BS

- **FDMA/TDMA combinado:** dividem espectro em canais de frequência, dividem cada canal em intervalos de tempo
- **CDMA:** Code Division Multiple Access

bandas de frequência



intervalos de tempo



# Padrões de celular: breve análise

## Sistemas 2G: canais de voz

- ❑ IS-136 TDMA: FDMA/TDMA combinados (América do Norte)
- ❑ GSM (Global System for Mobile communications): FDMA/TDMA combinados
  - mais implementado
- ❑ 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

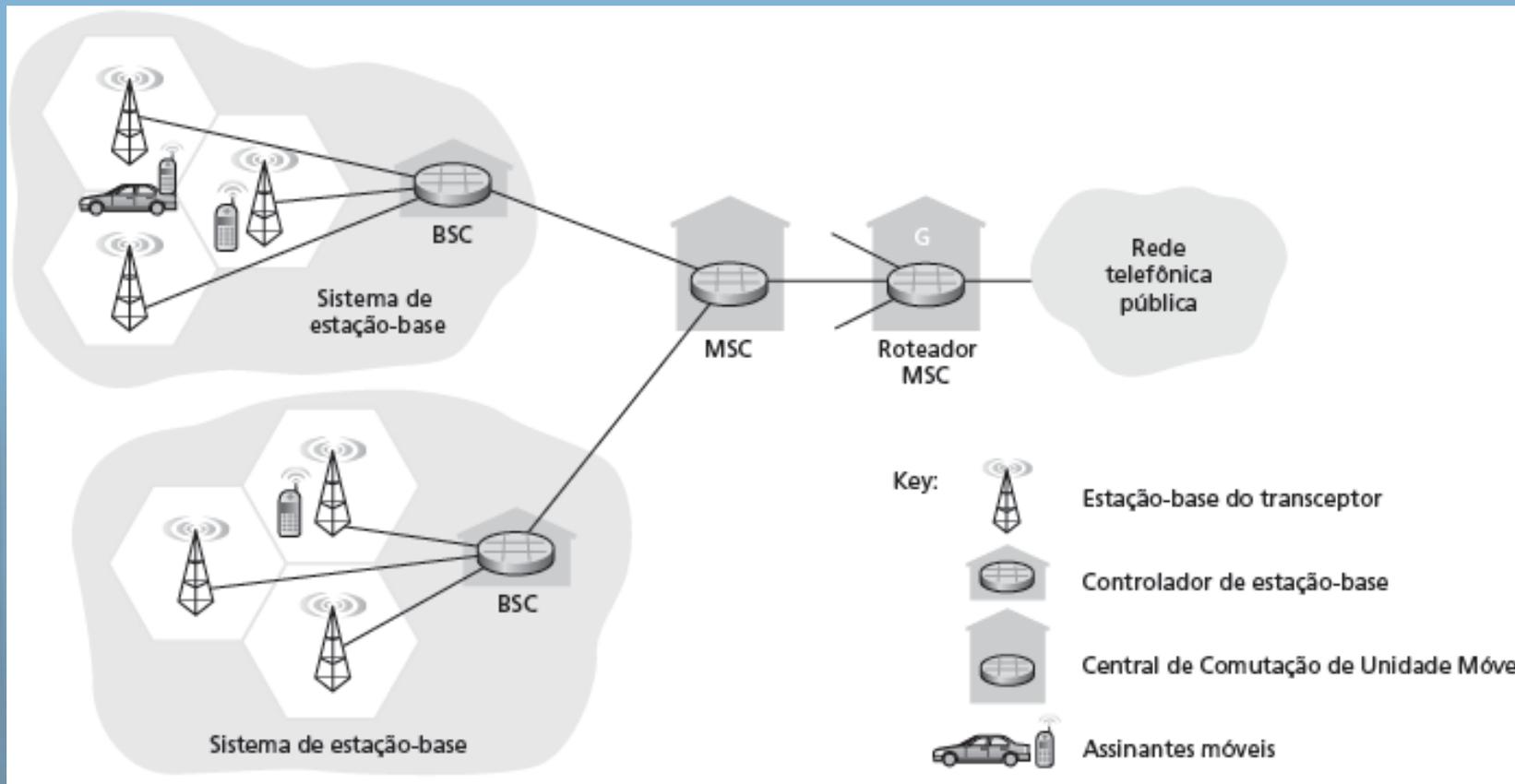
- ❑ para os que não podem esperar pelo serviço 3G: extensões 2G
- ❑ General Packet Radio Service (**GPRS**)
  - evolução do GSM
  - dados enviados em múltiplos canais (se disponíveis)
- ❑ Enhanced Data rates for Global Evolution (**EDGE**)
  - também evoluído do GSM, usando modulação avançada
  - taxas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

## sistemas 3G: voz/dados

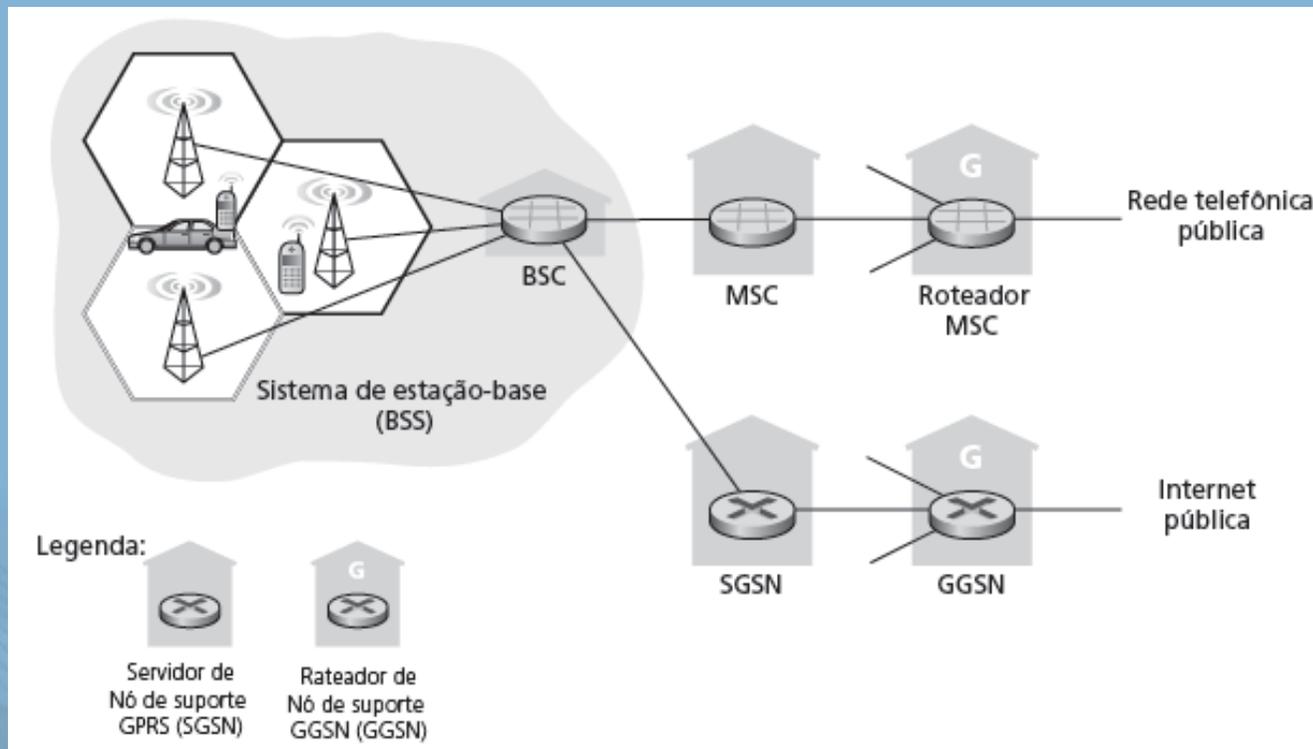
- ❑ Universal Mobile Telecommunications Service (UMTS)
  - serviço de dados: High Speed Uplink/Downlink Packet Access (HSDPA/HSUPA): 3 Mbps
- ❑ CDMA-2000: CDMA em intervalos TDMA
  - serviço de dados: 1 x Evolution Data Optimized (1xEVDO) até 14 Mbps

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

# Arquitetura de rede 2G (voz)



# 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

# O que é mobilidade?

- espectro de mobilidade, do ponto de vista da *rede*:

sem mobilidade

alta mobilidade



usuário sem fio  
móvel usando mesmo  
ponto de acesso

usuário móvel,  
conectando/  
desconectando da  
rede usando DHCP.

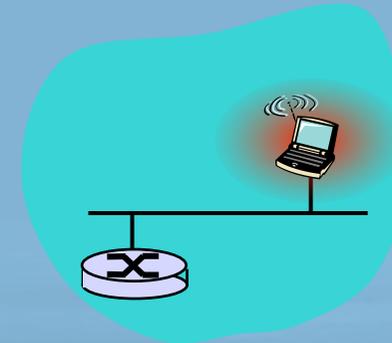
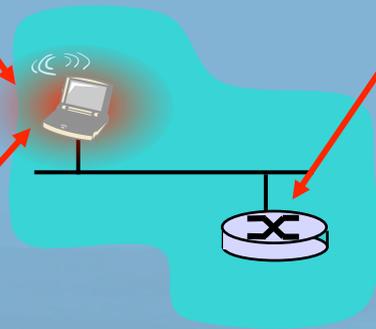
usuário móvel,  
passando por ponto de  
acesso múltiplo  
enquanto mantém  
conexões ativas (como  
o telefone celular)

# Mobilidade: vocabulário

**rede nativa:** "lar"  
permanente do nó móvel (p.  
e., 128.119.40/24)

**agente nativo:** entidade que  
realizará funções de  
mobilidade em favor do nó  
móvel, quando esta é remota

**endereço permanente:**  
endereço na rede  
nativa, sempre pode ser  
usado para alcançar nó  
móvel  
p. e., 128.119.40.186



# Mobilidade: mais vocabulário

**endereço permanente:**  
permanece constante (p. e.,  
128.119.40.186)

**rede visitada:** rede em que  
nó móvel reside atualmente  
(p. e., 79.129.13/24)

**Endereço aos cuidados:**  
endereço na rede visitada.  
(p. e., 79,129.13.2)



rede  
remota

**correspondente:** quer  
se comunicar com nó  
móvel

**agente externo:**  
entidade na rede  
visitada que realiza  
funções de mobilidade  
em favor do nó móvel.

## Como você contacta um amigo móvel:

considerando que seu amigo constantemente muda de endereço, como você o encontra?

- procura em todos os catálogos?
- liga para seus pais?
- espera que ele lhe informe onde está?

Não sei para onde  
Alice se mudou...



# Mobilidade: técnicas

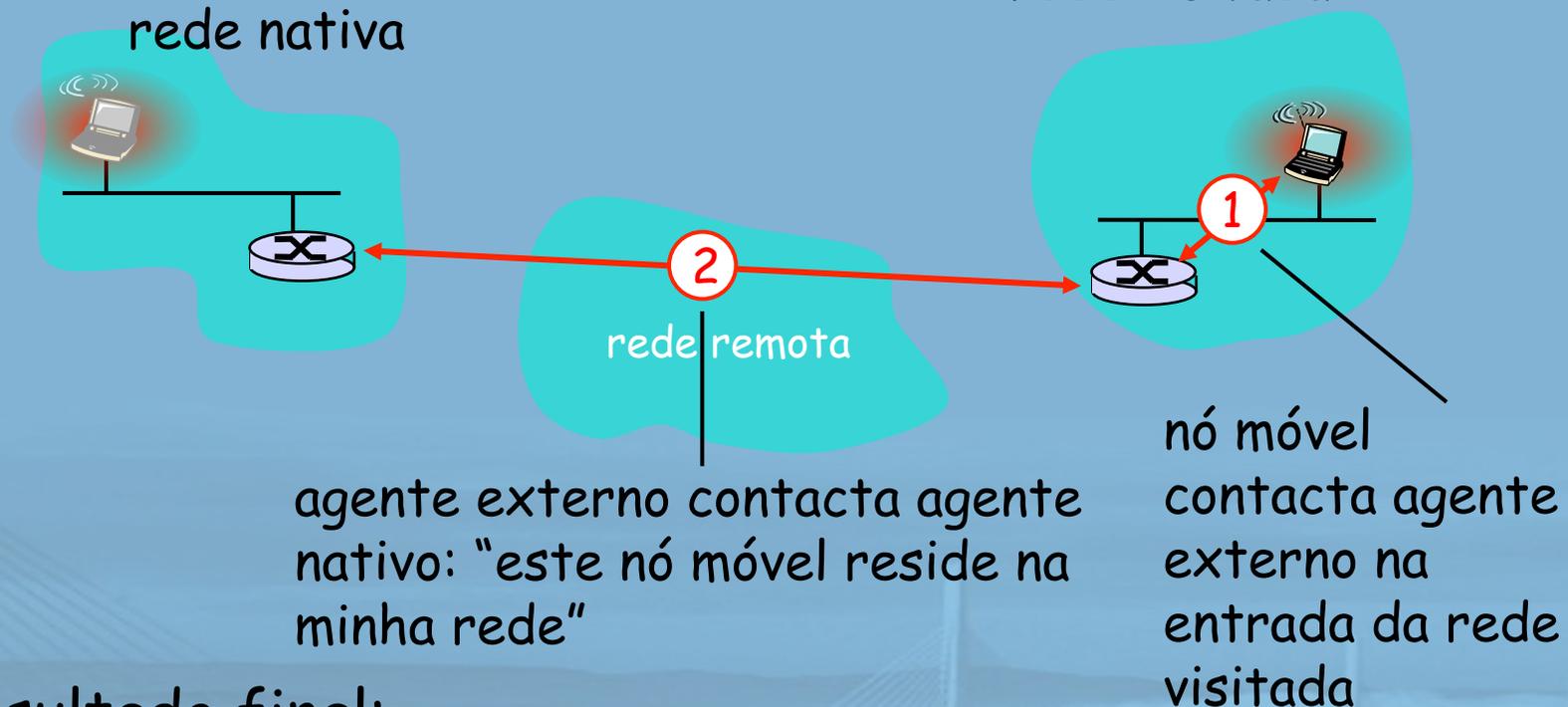
- ❑ *Deixe que o roteamento cuide disso:* roteadores anunciam endereço permanente de nós-móveis-em residência por meio de troca de tabela de roteamento.
  - tabelas de roteamento indicam onde cada nó móvel está localizado
  - não há mudanças nos sistemas finais
- ❑ *Deixe que os sistemas finais cuidem disso:*
  - *roteamento indireto:* comunicação do correspondente ao nó móvel passa por agente nativo, depois encaminhada ao remoto
  - *roteamento direto:* correspondente recebe endereço externo do nó móvel, envia diretamente a ele

- ❑ *Deixe que o roteamento cuide disso:* roteadores anunciam endereços de nós-móveis-em-residência por meio de uma tabela de roteamento.
  - tabelas de roteamento de cada nó móvel está localizado
  - não há mudanças nas tabelas finais
- ❑ *Deixe que os sistemas finais cuidem disso:*
  - *roteamento indireto:* comunicação do correspondente ao nó móvel passa por agente nativo, depois encaminhada ao remoto
  - *roteamento direto:* correspondente recebe endereço externo do nó móvel, envia diretamente a ele

não  
expansível  
para milhões  
de nós  
móveis

# Mobilidade: registro

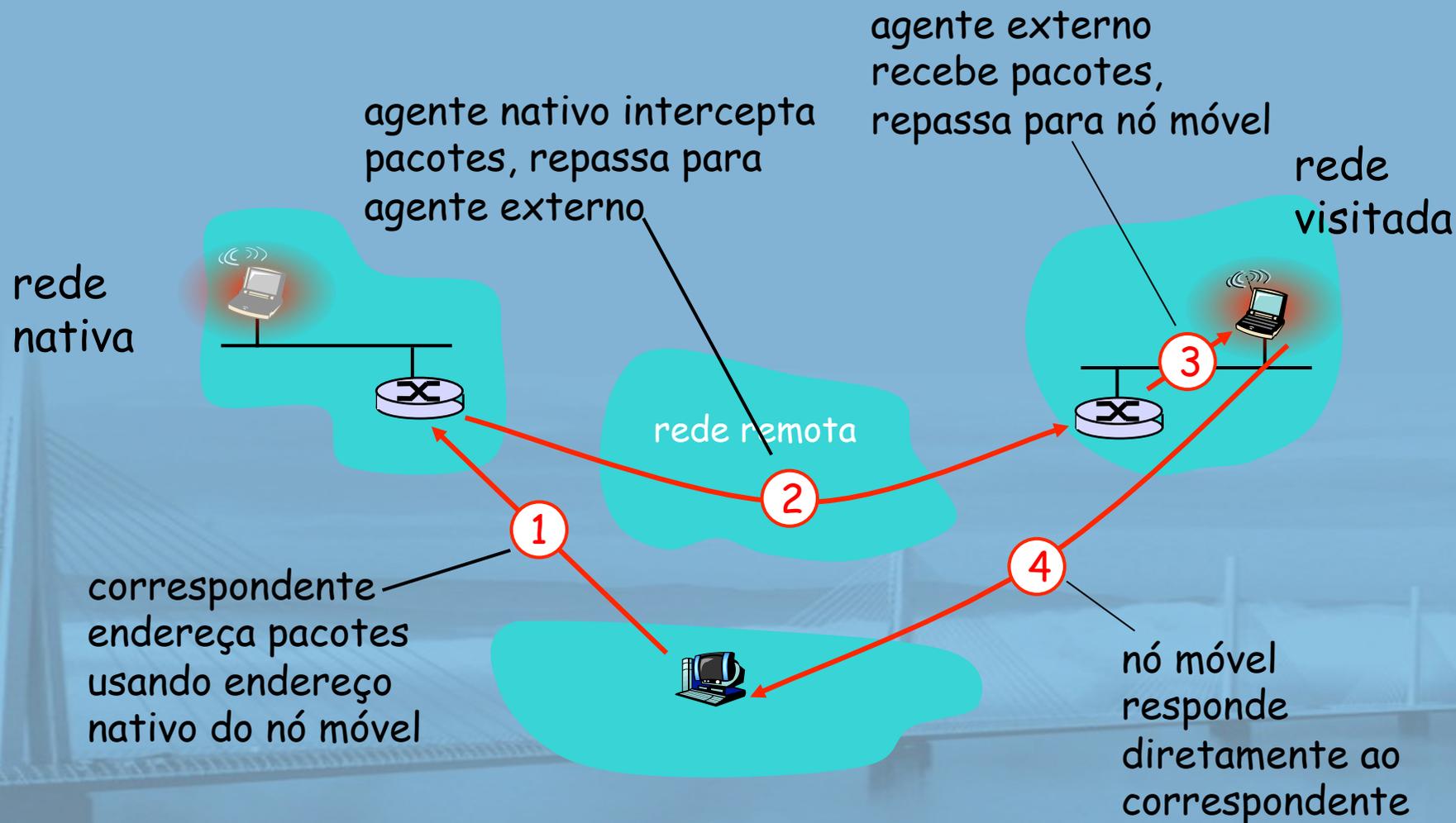
rede visitada



Resultado final:

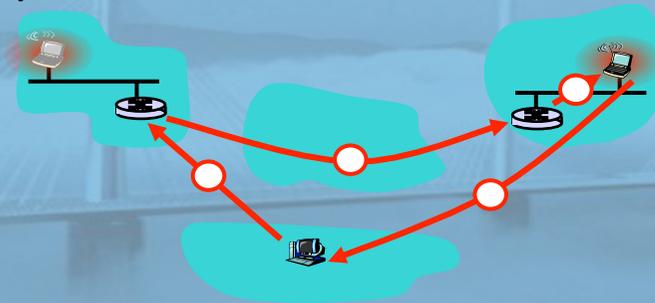
- Agente externo sabe sobre nó móvel
- Agente nativo sabe local do nó móvel

# Mobilidade via roteamento indireto



# Roteamento indireto: comentários

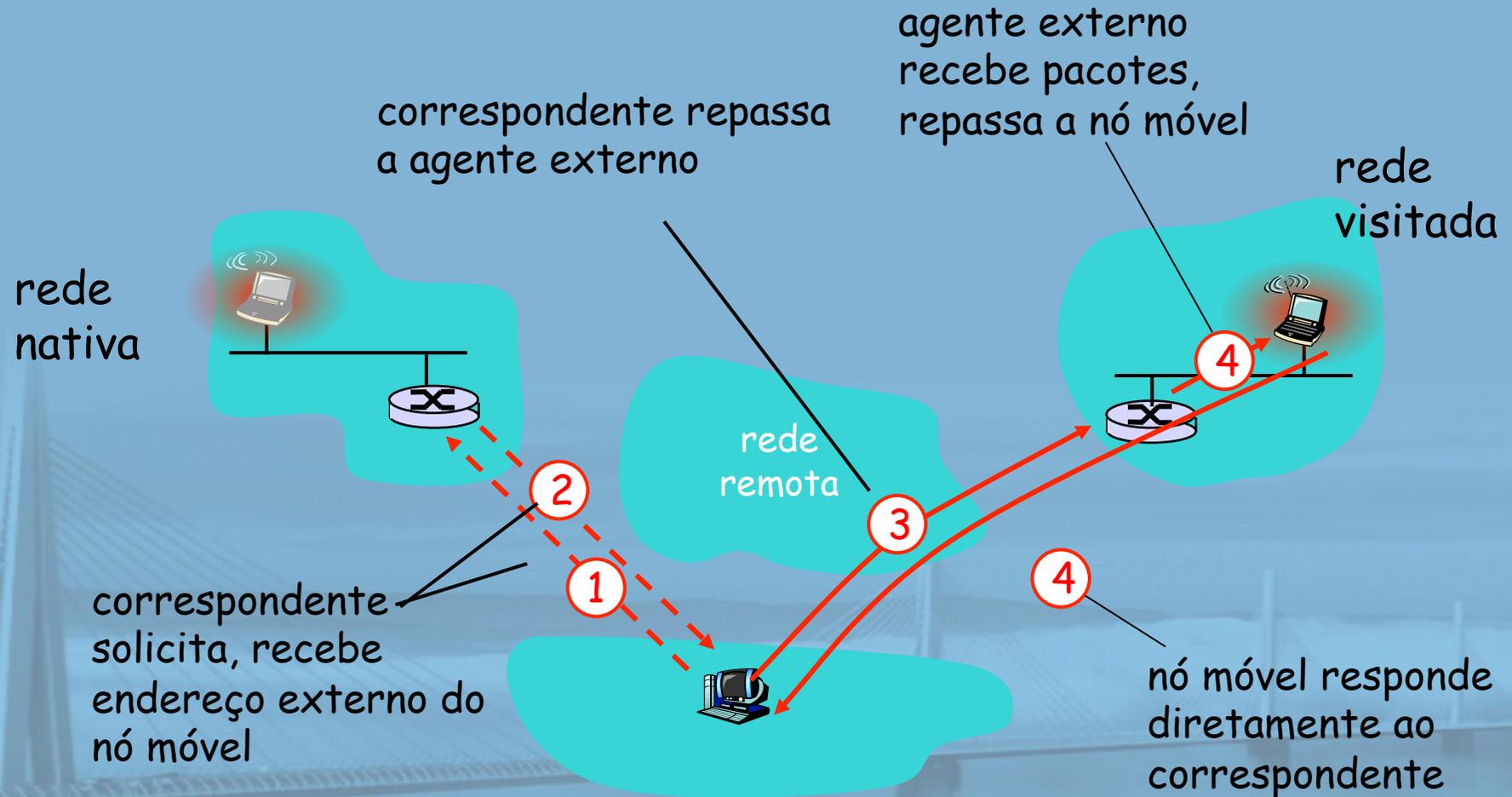
- ❑ Nó móvel usa dois endereços:
  - endereço permanente: usado pelo correspondente (daí o local do nó móvel ser *transparente* ao correspondente)
  - endereço aos cuidados: usado pelo agente nativo para repassar datagramas ao nó móvel
- ❑ funções do agente externo podem ser feitas pelo próprio nó móvel
- ❑ roteamento triangular: correspondente - rede nativa - nó móvel
  - ineficaz quando correspondente, nó móvel está na mesma rede



## Roteamento indireto: movendo entre redes

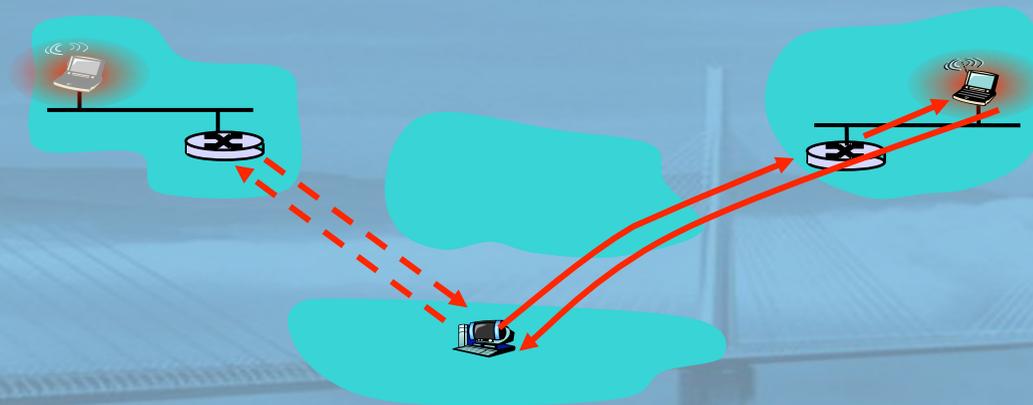
- ❑ suponha que o usuário móvel passe para outra rede
  - registra com novo agente externo
  - novo agente externo registra com agente nativo
  - agente nativo atualiza endereço aos cuidados para nó móvel
  - pacotes continuam sendo encaminhados ao nó móvel (mas com nodo-endereço aos cuidados)
- ❑ mobilidade, mudança de redes externas transparente: *conexões ativas podem ser mantidas!*

# Mobilidade via roteamento direto



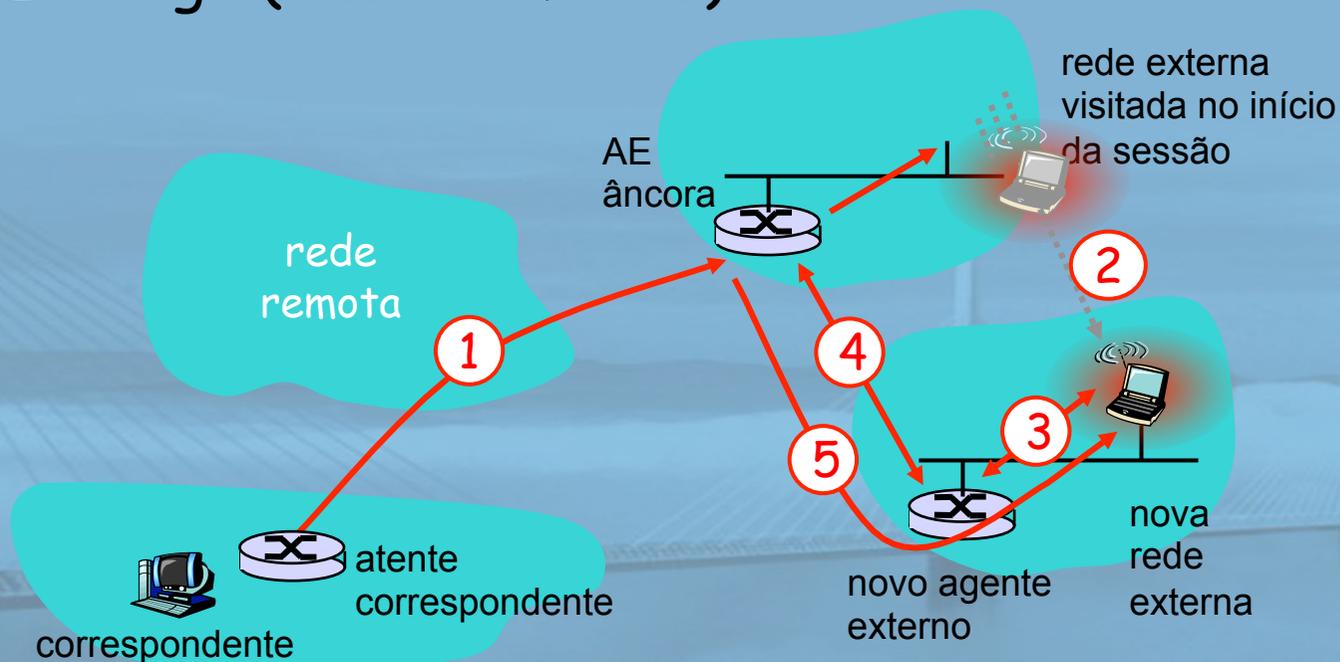
# Mobilidade via roteamento direto: comentários

- ❑ contorna problema do roteamento triangular
- ❑ **não transparente ao correspondente:**  
correspondente deve obter endereço aos cuidados do agente nativo
  - e se nó móvel mudar a rede visitada?



# Acomodando mobilidade com roteamento direto

- ❑ agente externo âncora: AE na primeira rede visitada
- ❑ dados sempre roteados primeiro para AE âncora
- ❑ quando nó móvel se move: novo AE repassa dados do AE antigo (encadeamento)



# IP móvel

- ❑ RFC 3344
- ❑ tem muitos recursos que já vimos:
  - agentes nativos, agentes externos, registro de agente externo, endereços aos cuidados, encapsulamento (pacote dentro de pacote)
- ❑ três componentes do padrão:
  - roteamento indireto de datagramas
  - descoberta de agente
  - registro com agente nativo

# IP móvel: roteamento indireto

pacote enviado pelo agente nativo ao  
agente externo: *pacote dentro de pacote*



pacote agente externo-nó móvel



Endereço  
permanente:  
128.119.40.186



pacote enviado  
pelo  
correspondente

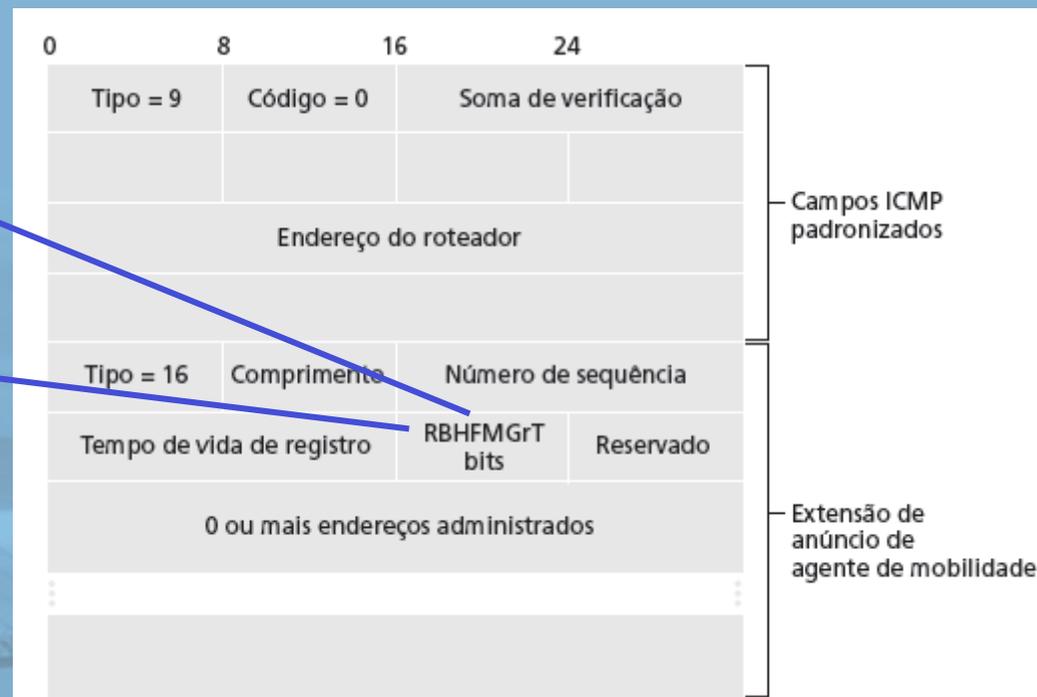
Endereço aos  
cuidados:  
79.129.13.2

# IP móvel: descoberta de agente

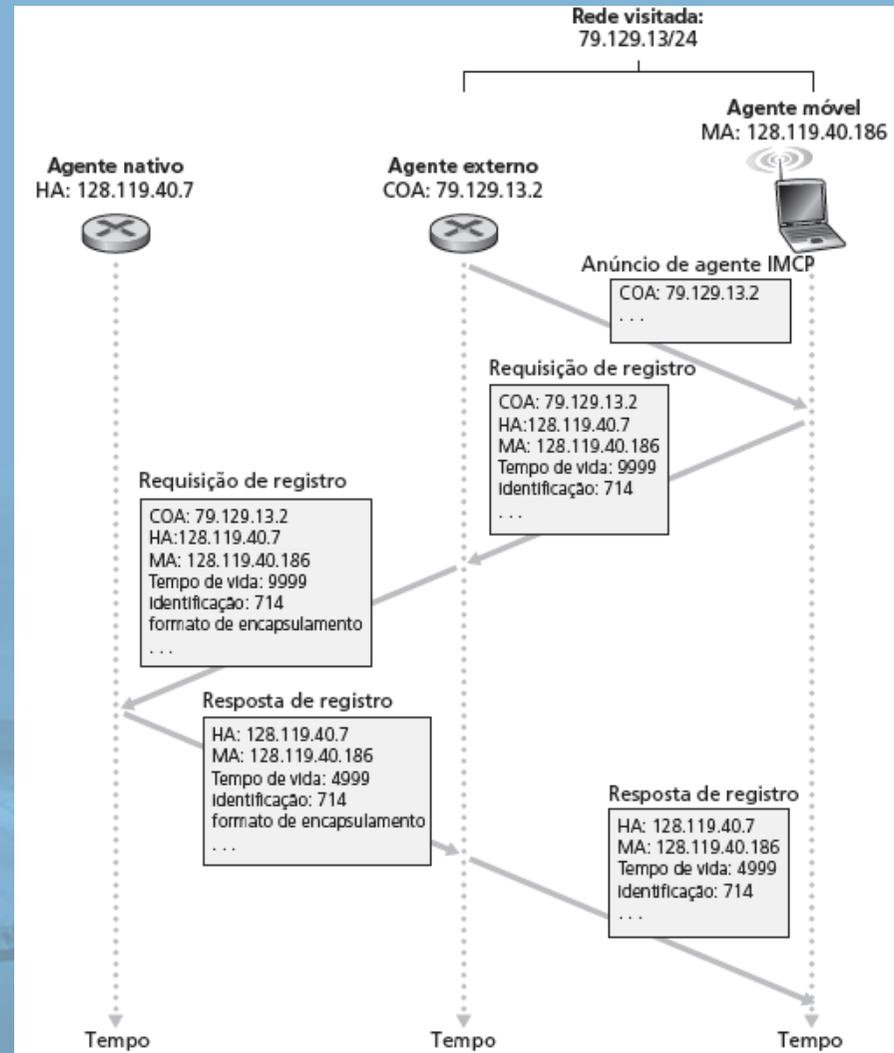
- ❑ **anúncio de agente:** agentes externo/doméstico anunciam serviço por broadcasting de mensagens ICMP (campo de tipo = 9)

bits H,F: agente doméstico e/ou externo

bit R: registro obrigatório

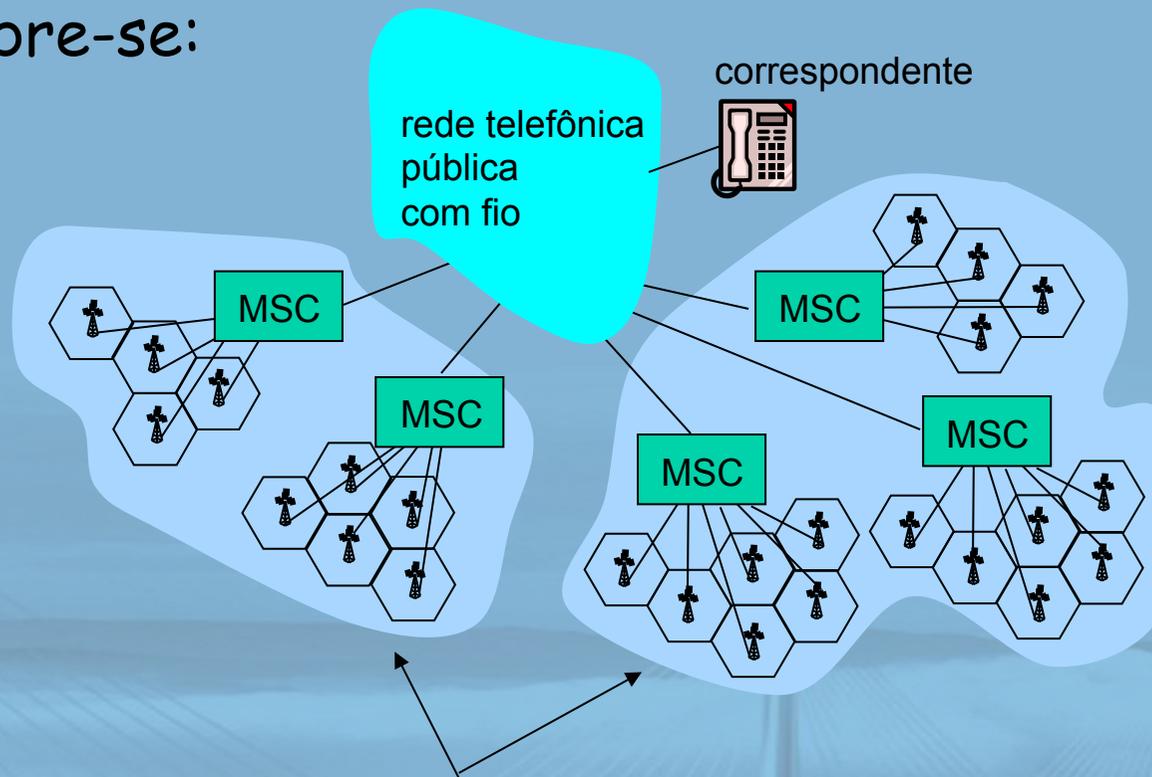


# IP móvel: exemplo de registro



# Componentes da arquitetura de rede celular

lembre-se:

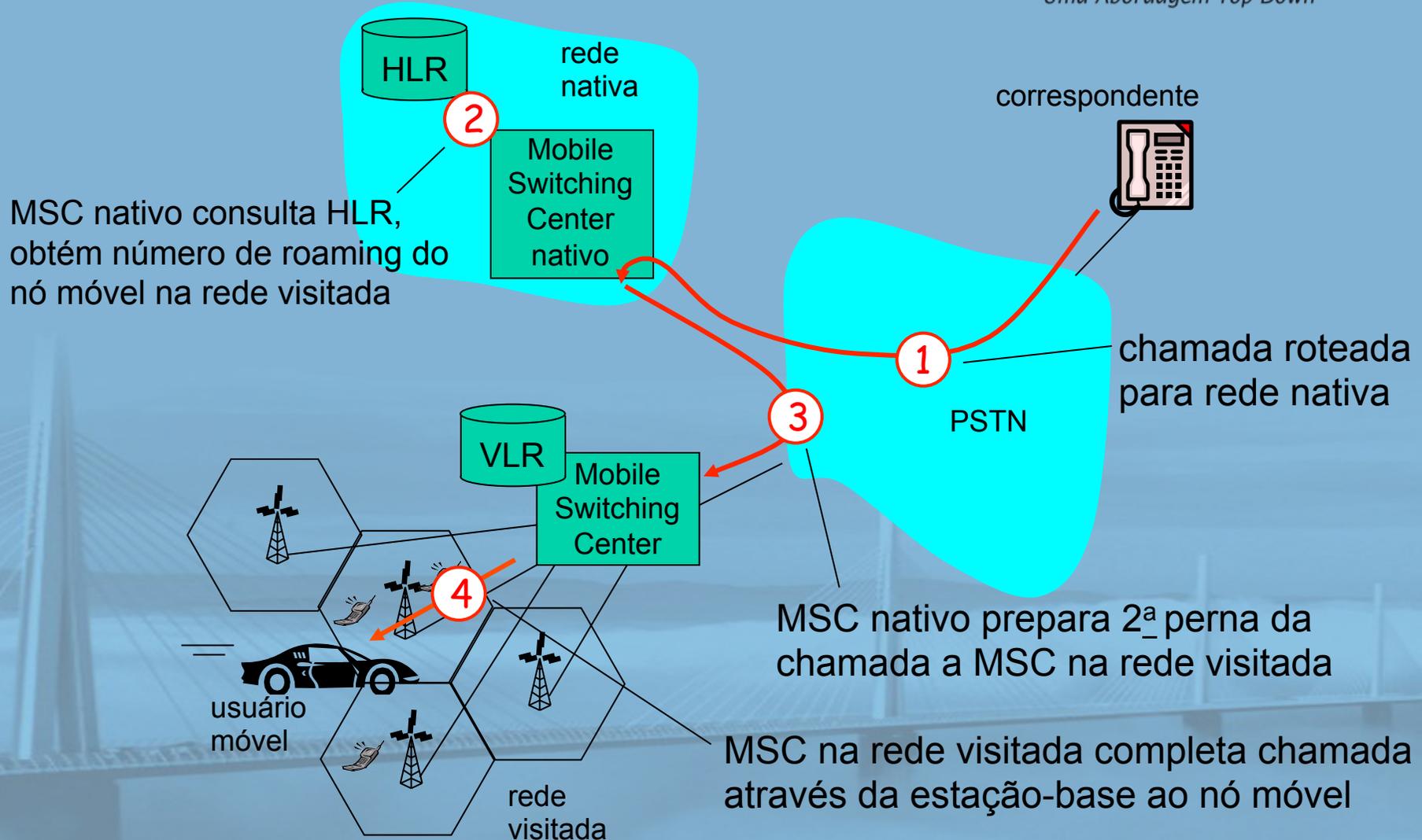


diferentes redes de celular,  
operadas por diferentes provedores

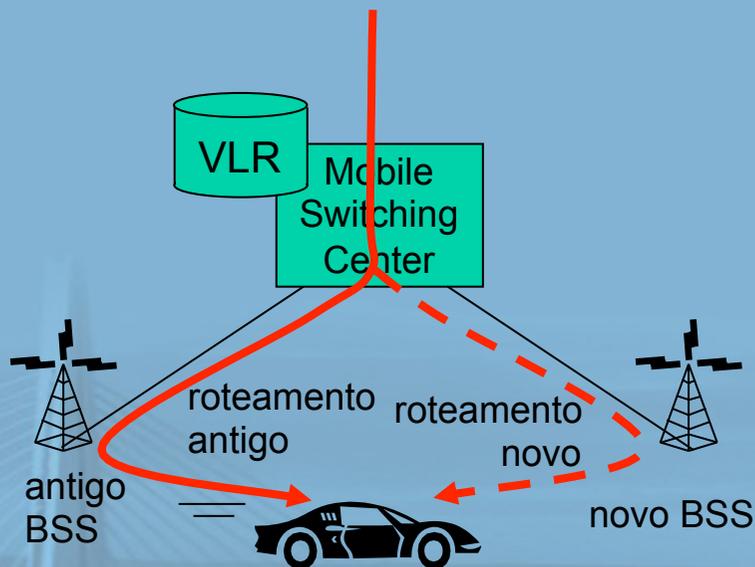
# Tratando da mobilidade nas redes celulares

- ❑ *rede nativa*: rede do provedor de celular que você assina (p. e., Sprint PCS, Verizon)
  - *Home Location Register (HLR)*: banco de dados na rede nativa contendo # de telefone celular permanente, informação de perfil (serviços, preferências, cobrança), informações sobre local atual (poderia estar em outra rede)
- ❑ *rede visitada*: rede em que nó móvel reside no momento
  - *Visitor Location Register (VLR)*: banco de dados com entrada para cada usuário atualmente na rede
  - poderia ser a rede nativa

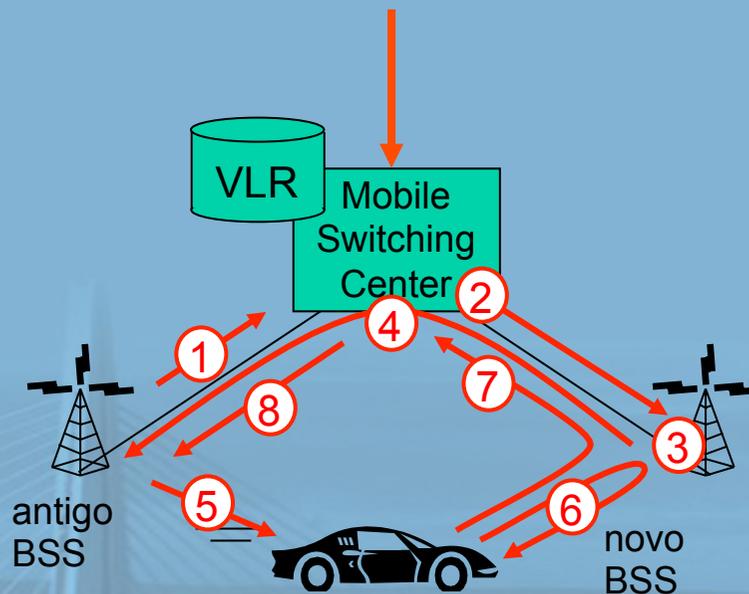
# GSM: roteamento indireto ao nó móvel



# GSM: transferência com MSC comum

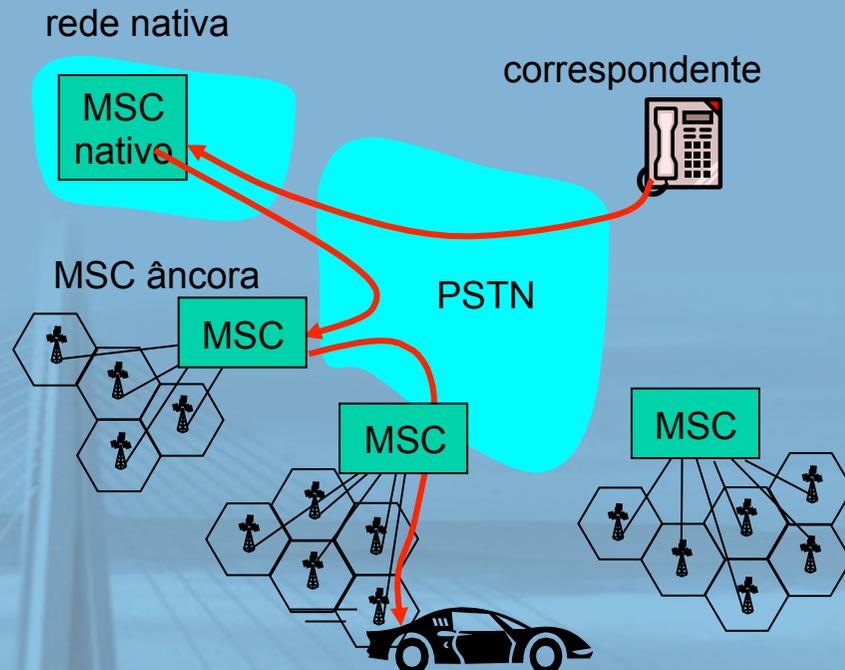


- ❑ Objetivo da transferência: rotear chamada via nova estação-base (sem interrupção)
- ❑ motivos para transferência:
  - sinal mais forte de/para novo BSS (conectividade contínua, menos dreno de bateria)
  - balanceamento de carga: libera canal no BSS atual
  - GSM não comanda por que realizar transf. (política), apenas como (mecanismo)
- ❑ transferência iniciada pelo BSS antigo



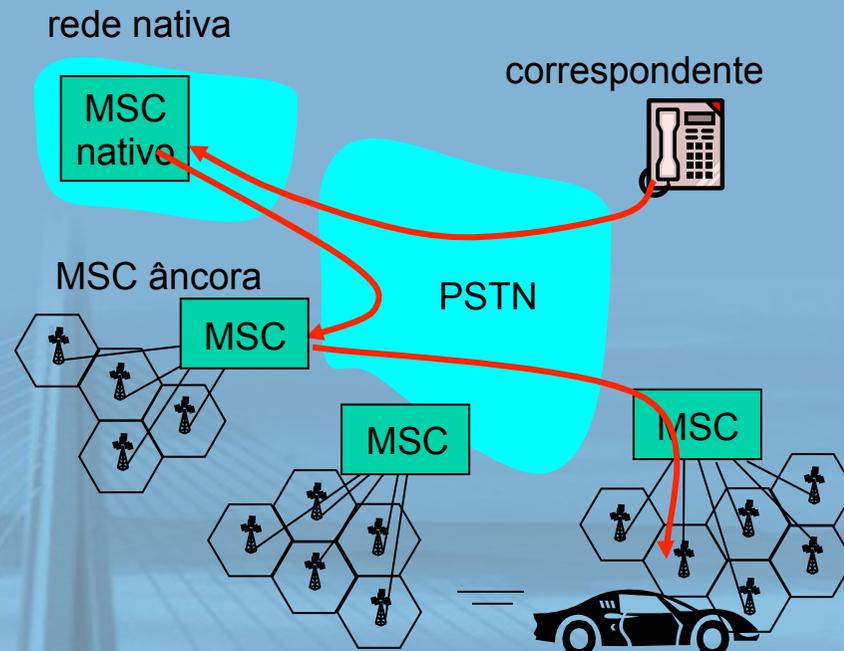
1. Antigo BSS informa ao MSC da transferência iminente, oferece lista de 1 ou mais novos BSSs
2. MSC prepara caminho (aloca recursos) para novo BSS
3. Novo BSS aloca canal de rádio para uso pelo nó móvel
4. Novo BSS sinaliza MSC, antigo BSS: pronto
5. Antigo BSS informa ao nó móvel: realize transferência para novo BSS
6. Nó móvel, novo sinal BSS para ativar novo canal
7. Móvel sinaliza via novo BSS ao MSC: transferência completa. MSC rerroteia chamada
8. Recursos MSC-antigo-BSS liberados

# GSM: transferência entre MSCs



(a) antes da transferência

- ❑ **MSC âncora:** primeiro MSC visitado durante chamada
  - chamada continua roteada pelo MSC âncora
- ❑ novos MSCs adicionados ao final da cadeia de MSC enquanto nó móvel se move para novo MSC
- ❑ IS-41 permite etapa adicional de redução de caminho para encurtar cadeia multi-MSC



(b) após transferência

- **MSC âncora:** primeiro MSC visitado durante chamada
  - chamada permanece roteada por MSC âncora
- novos MSCs incluídos ao final da cadeia MSC à medida que nó móvel se move para novo MSC
- IS-41 permite etapa adicional de redução de caminho para encurtar cadeia multi-MSC

# Mobilidade: GSM versus IP móvel

<b>Elemento do GSM</b>	<b>Comentário sobre o elemento do GSM</b>	<b>Elemento do IP móvel</b>
Sistema nativo	Rede à qual pertence o número de telefone permanente do usuário	Rede nativa
Central de comutação de unidade móvel ou simplesmente MSC nativa, Registro nativo de localização (HLR)	MSC nativa: ponto de contato para obter endereço roteável de usuário móvel. HLR: banco de dados no sistema nativo que contém número de telefone permanente, informações de perfil, localização corrente de usuário móvel, informações de assinatura	Agente nativo
Sistema visitado	Rede, exceto o sistema nativo, onde o usuário móvel está residindo correntemente	Rede visitada
Central de serviços de comutação de unidade móvel visitada, Registro de Localização de Visitante (VLR)	MSC visitada: responsável por estabelecer chamadas de/para nós móveis em células associadas com MSC. VLR: registro temporário em banco de dados em sistema visitado, contendo informações de assinatura para cada usuário móvel visitado	Agente externo
Número de roaming de estação móvel (MSRN) ou simplesmente número de roaming	Endereço roteável para segmento de chamada telefônica entre MSC nativa e MSC visitada, que não é visível nem para o usuário móvel nem para o correspondente	Endereço administrado

# Sem fio, mobilidade: impacto sobre protocolos de camada mais alta

- ❑ logicamente, impacto *deveria* ser mínimo...
  - modelo de serviço pelo melhor esforço permanece inalterado
  - TCP e UDP podem rodar (e rodam) sem fio, móvel
- ❑ ... mas, do lado do desempenho:
  - perda de pacote/atraso devido a erros de bit (pacotes descartados, atrasos para retransmissões da camada de enlace) e transferência
  - TCP interpreta perda como congestionamento, diminuirá janela de congestionamento sem necessidade
  - prejuízos de atraso para tráfego em tempo real
  - largura de banda limitada de enlaces sem fio