

# Acesso celular à Internet

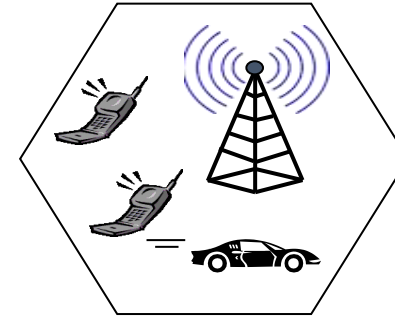
## *Evolução:*

Quando se fala sobre tecnologia celular, em geral a classificamos como pertencendo a uma das diversas “gerações”:

- *Primeira geração (1G):*
  - ✓ sistemas FDMA analógicos;
  - ✓ desenvolvidos para a comunicação apenas por voz.
- *Segunda geração (2G):*
  - ✓ também foram projetados para voz, apesar de serem sistemas digitais
  - ✓ comutação por circuitos
- *Sistemas 3G, 4G, 5G, etc:*
  - ✓ também suportam voz, mas com uma ênfase cada vez maior nas capacidades de dados e enlaces de acesso via rádio com maior velocidade.

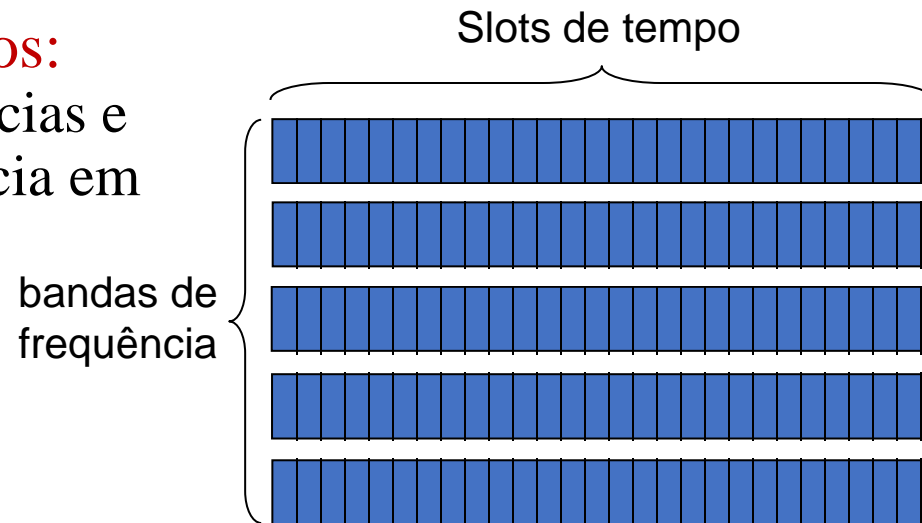
# Redes celulares: primeiro passo

**Duas técnicas para compartilhar o espectro de rádio na comunicação do dispositivo móvel para a BS**

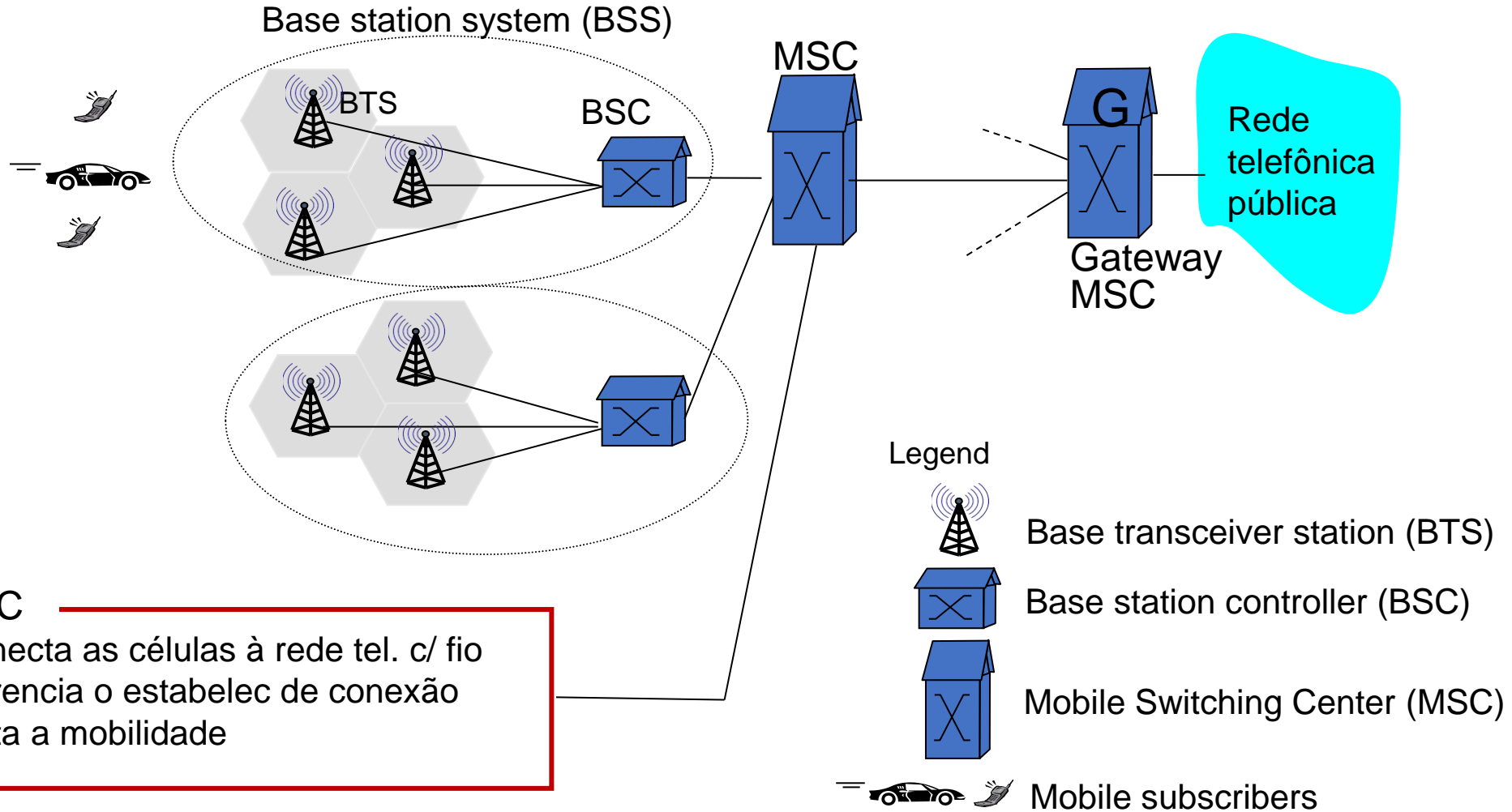


- **FDMA/TDMA combinados:**  
divide o espectro em frequências e divide cada canal de frequência em slots de tempo

- **CDMA**



# Componentes da arquitetura 2G (voz)



# Redes celulares 3G

## Universal Mobile Telecommunications Service (UMTS)

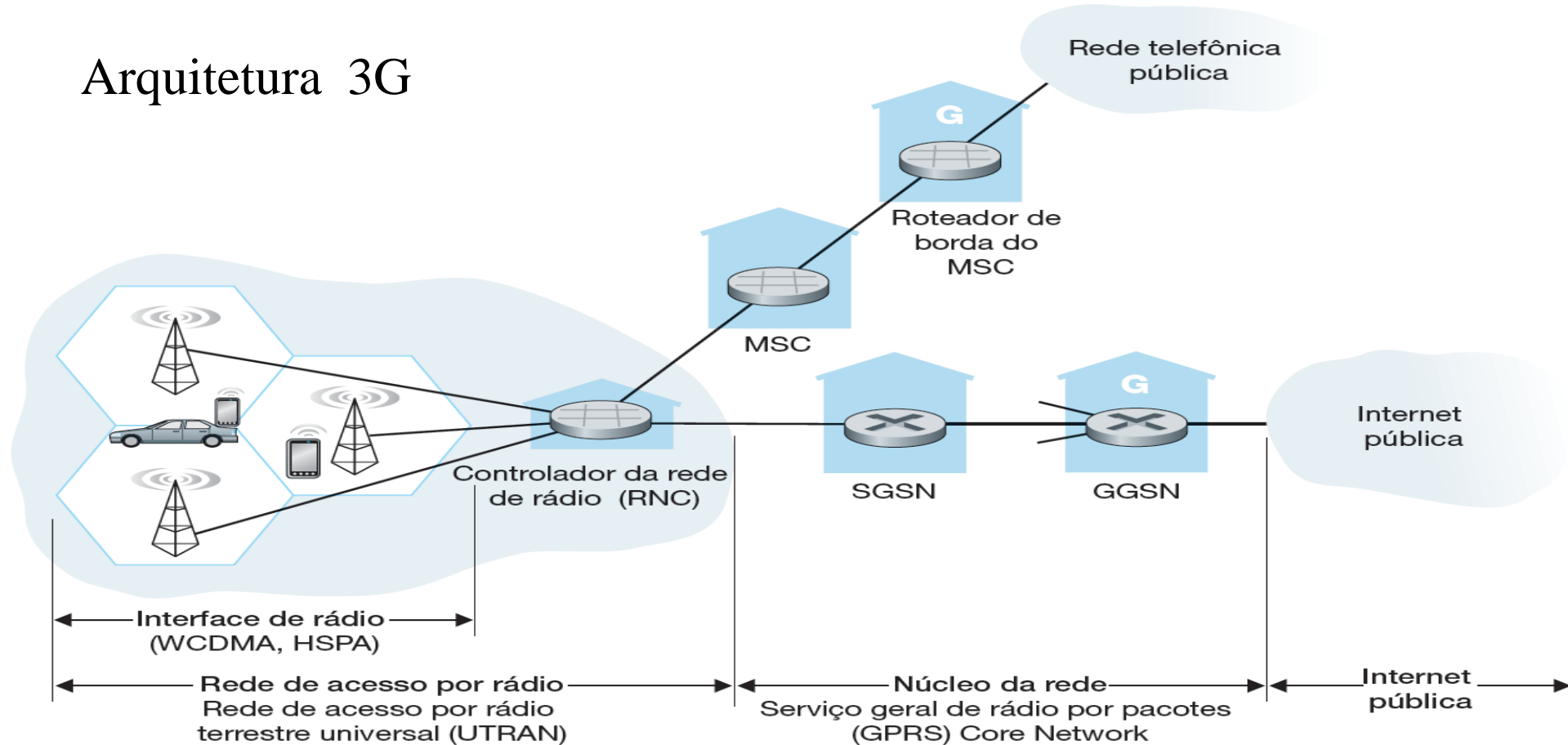
- Usa CDMA dentro dos slots TDMA
- Serviço de dados: High Speed Uplink/Downlink packet Access (HSDPA/HSUPA): até 14 Mbps

O núcleo da rede de dados celular 3G conecta as redes de acesso por rádio à Internet pública. Existem dois tipos de nós no núcleo da rede 3G:

- Servidor de Nó de Suporte GPRS (SGSN).
- Roteador de borda de suporte GPRS (GGSN).

# Redes celulares 3G

## Arquitetura 3G



Legenda:

Servidor de nó de suporte GPRS (SGSN)

Roteador de borda de suporte GPRS (GGSN)

# Redes celulares 3G

## Componentes:

- ❑ RNC – controlador de rede de rádio: em geral controla várias estações-base transceptoras da célula. A rede de acesso por rádio 3G é a rede do primeiro salto sem fio que vemos como usuários do 3G.
- ❑ MSC – central de comutação móvel: contabilidade e autorização do usuário
- ❑ SGSN – serviço de nó de suporte GPRS (Serving GPRS Support Node): responsável pelo repasse de datagramas de/para os nós da rede móvel
- ❑ GGSN – Roteador de borda de suporte GPRS (Gateway GPRS Support Nodes): conecta vários SGSNs à Internet

# Redes celulares 3G

## *Outras características:*

- ❑ O RNC se conecta à rede de voz do celular por comutação de circuitos via um MSC e à Internet por comutação de pacotes via SGSN.
- ❑ O 3G não usa FDMA/TDMA do GSM, mas uma técnica denominada DS-WCDMA (Direct Sequence Wideband CDMA). Isso obriga um acesso de rádio paralelo à rede 2G.

# Redes celulares 4G: LTE

- Solução para a Internet móvel
- Motivação para o desenvolvimento:
  - **Mais dispositivos móveis de banda larga conectados do que dispositivos fixos (5-1 em 2019)!**
  - **Disponibilidade 4G: 97% do tempo (Coreia do Sul) e 90% (USA)**  
⇒ **surgimento de novos dispositivos de IoT**
- Taxas de transmissão de dezenas de Mbps
- Padrões especificados pela 3rd Generation Partnership Project (3GPP)
  - **[www.3gpp.org](http://www.3gpp.org)**
  - **4G: padrão LTE (Long-Term Evolution)**



# Redes celulares 4G: LTE

## *Similaridades* com a Internet cabeada:

- Distinção borda/núcleo, mas ambos abaixo da mesma operadora
- Rede celular global: uma rede de redes
- Uso dos protocolos estudados anteriormente:  
*HTTP, DNS, TCP, UDP, IP, NAT, Ethernet, tunelamento*
- Interconectada com a Internet cabeada

## *Diferenças* com a Internet cabeada:

- Camada de enlace diferente
- Mobilidade como 1ª classe de serviço
- Identificação do usuário (via cartão SIM)
- Usuário é cliente de um provedor de celular:
  - Noção de *home network* (rede nativa) vs *roaming* (redes visitadas)
  - Acesso global, com infraestrutura para autenticação e acordos entre operadoras

# Redes celulares 4G: LTE

O padrão 4G Long-Term Evolution (LTE) apresentado pelo 3GPP (projeto de parceria da 3ª geração) tem *duas inovações* importantes em relação aos sistemas 3G:

1) *Núcleo de pacote desenvolvido (EPC)* – rede de núcleo simplificado IP, que unifica a rede celular comutada por circuitos (voz) com a rede celular comutada por pacotes.

## *Rede “toda em IP”*

→ deve-se evitar congestionamento

- Redes 2G e 3G podem se conectar ao núcleo da rede.

# Redes celulares 4G: LTE

- 2) *Rede de acesso por rádio LTE* – combinação da multiplexação por divisão de frequência com a multiplexação por divisão de tempo no conhecida como (OFDM) – Orthogonal FDM.

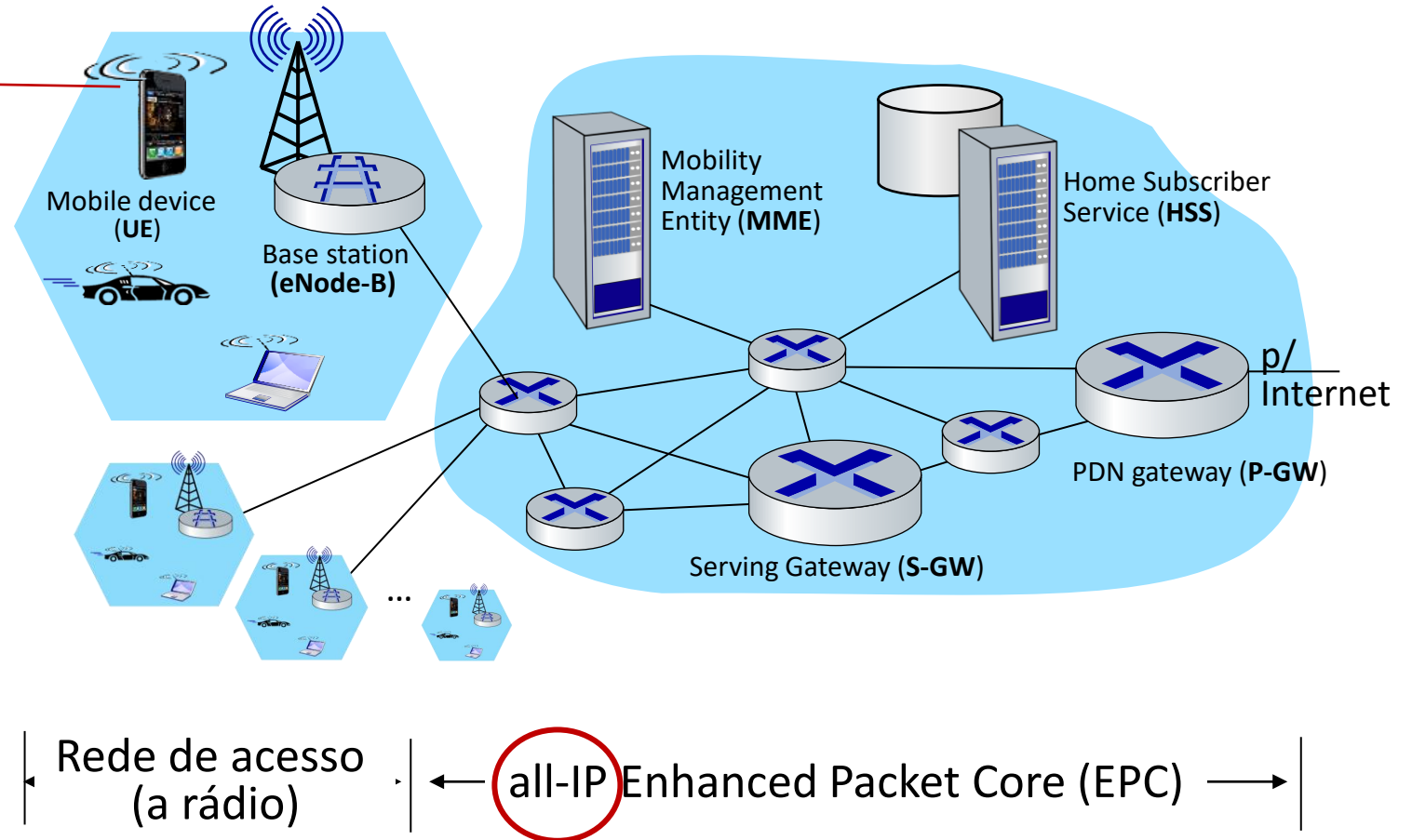
*→ evita interferências de diferentes canais uns nos outros, mesmo quando as frequências entre os canais são pouco espaçadas*

- sofisticadas antenas de entrada múltipla e saída múltipla (MIMO)
- diferentes esquemas de modulação podem ser usados para alterar a taxa de transmissão
- um nó pode receber vários intervalos de tempo (em várias ou na mesma frequência)

# Elementos da arquitetura 4G: LTE

## Dispositivo móvel:

- smartphone, tablet, laptop, IoT, ... c/ rádio 4G LTE
- Implementa as 5 camadas de rede TCP/IP
- Possui um identificador global:
  - 64-bit International Mobile Subscriber Identity (**IMSI**), gravado no cartão **SIM** (Subscriber Identity Module):
    - **país, rede nativa da operadora ao qual pertence, serviços que o assin. Pode acessar, chave criptográfica, etc**
    - **análogo ao endereço MAC**

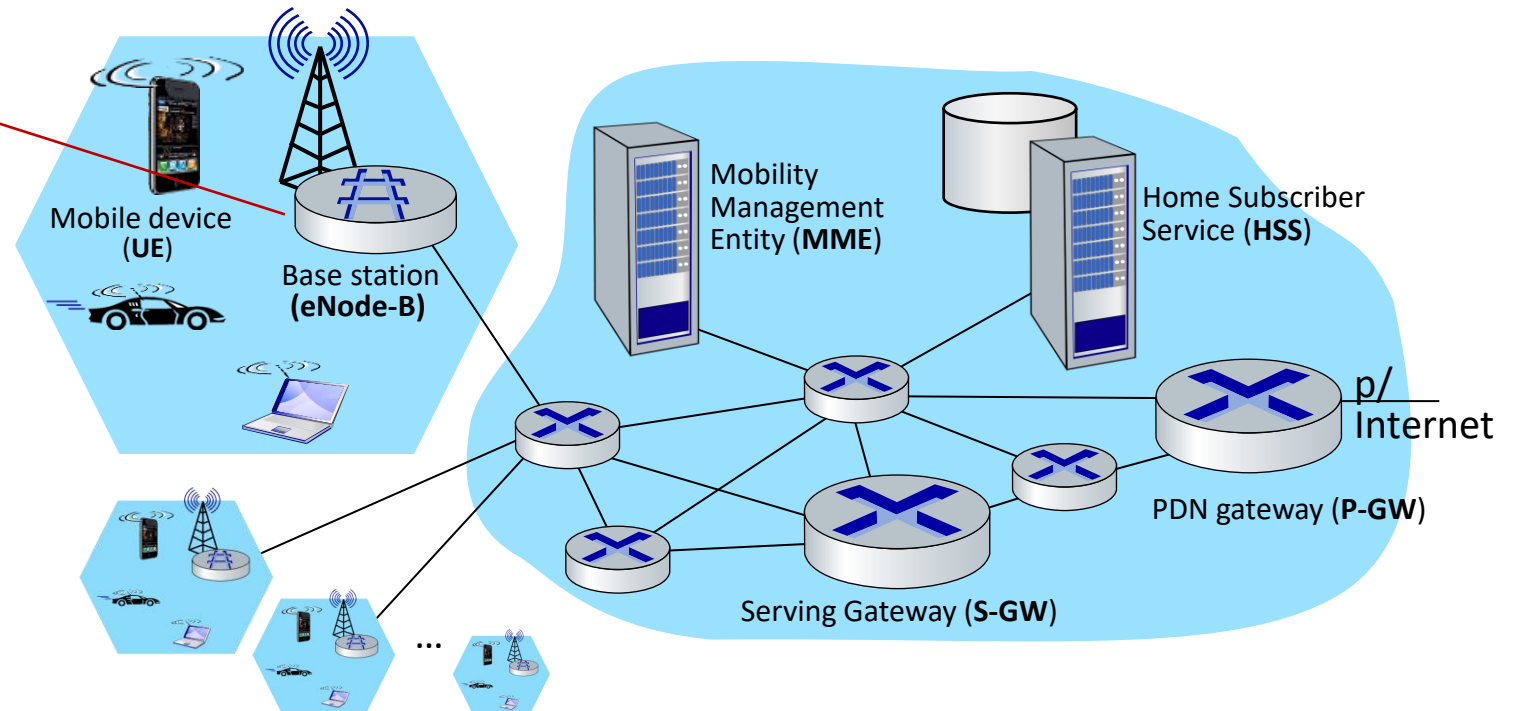


- **pode ser um sensor de temperatura ou uma câmera de vigilância**

# Elementos da arquitetura 4G: LTE

## Estação base (e-Node-B):

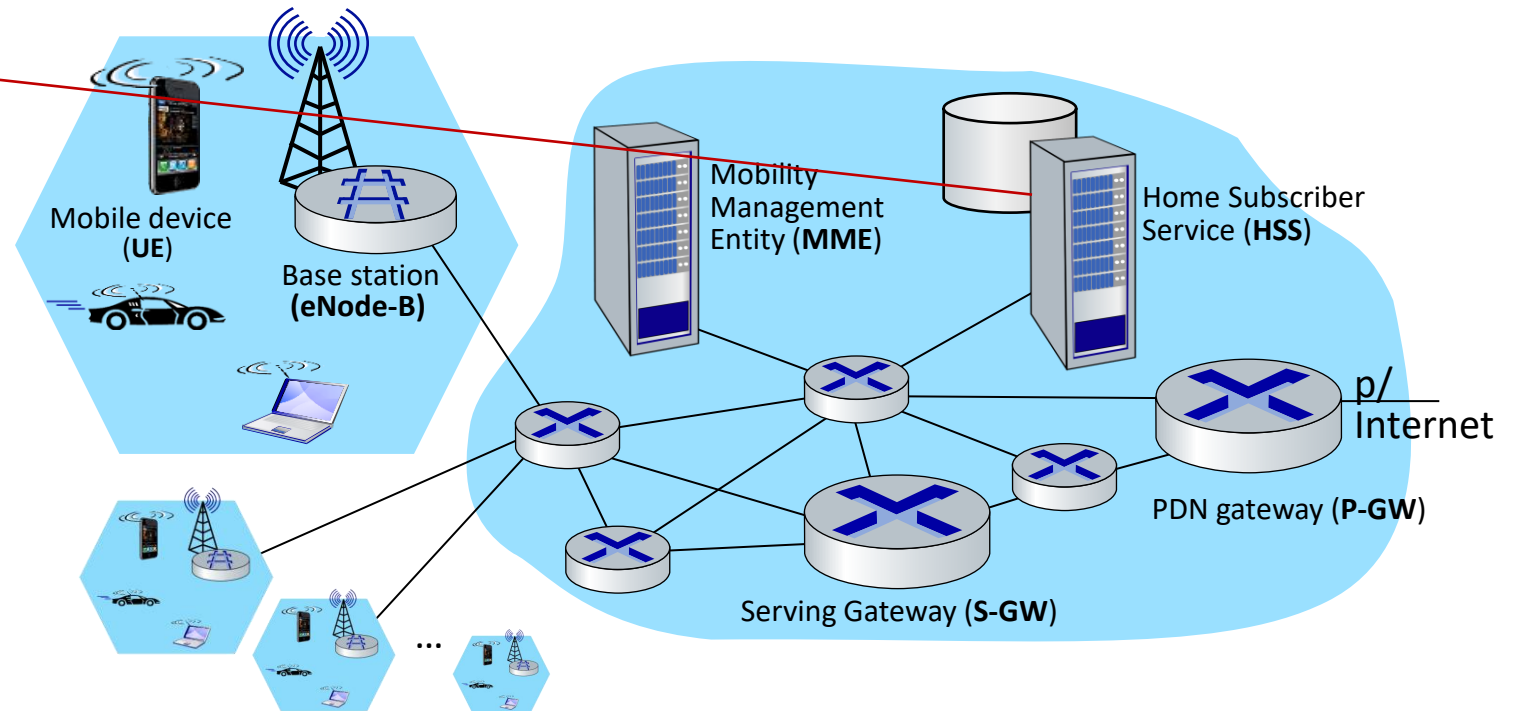
- Na “borda” da rede da operadora
- Gerencia recursos de rádio (s/ fio), dispositivos móveis na sua área de cobertura (“célula”)
- Coordena a autenticação do dispositivo móvel nos outros elementos e a alocação de recursos (quantidade de canais)
- Similar ao AP do WiFi , mas:
  - tem papel ativo na mobilidade do usuário
  - realiza a coordenação com as estações base mais próximas para otimizar o uso do rádio



# Elementos da arquitetura 4G: LTE

## Serviço de assinante doméstico (HSS):

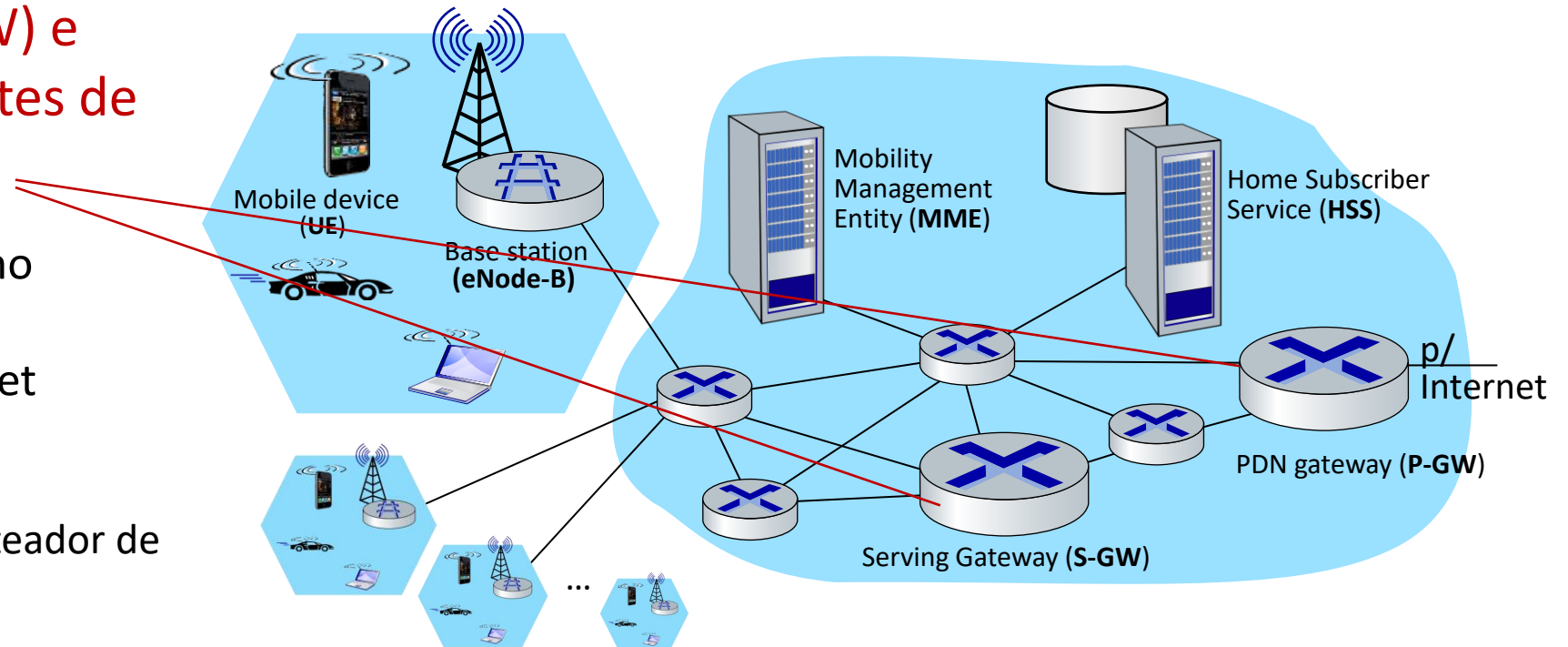
- Banco de dados que armazena informações sobre os dispositivos móveis para os quais a rede do HSS é sua rede nativa
- Trabalha em conjunto com o MME para a autenticação do dispositivo móvel



# Elementos da arquitetura 4G: LTE

## Gateway de serviço (S-GW) e Gateway da rede de pacotes de dados (P-GW):

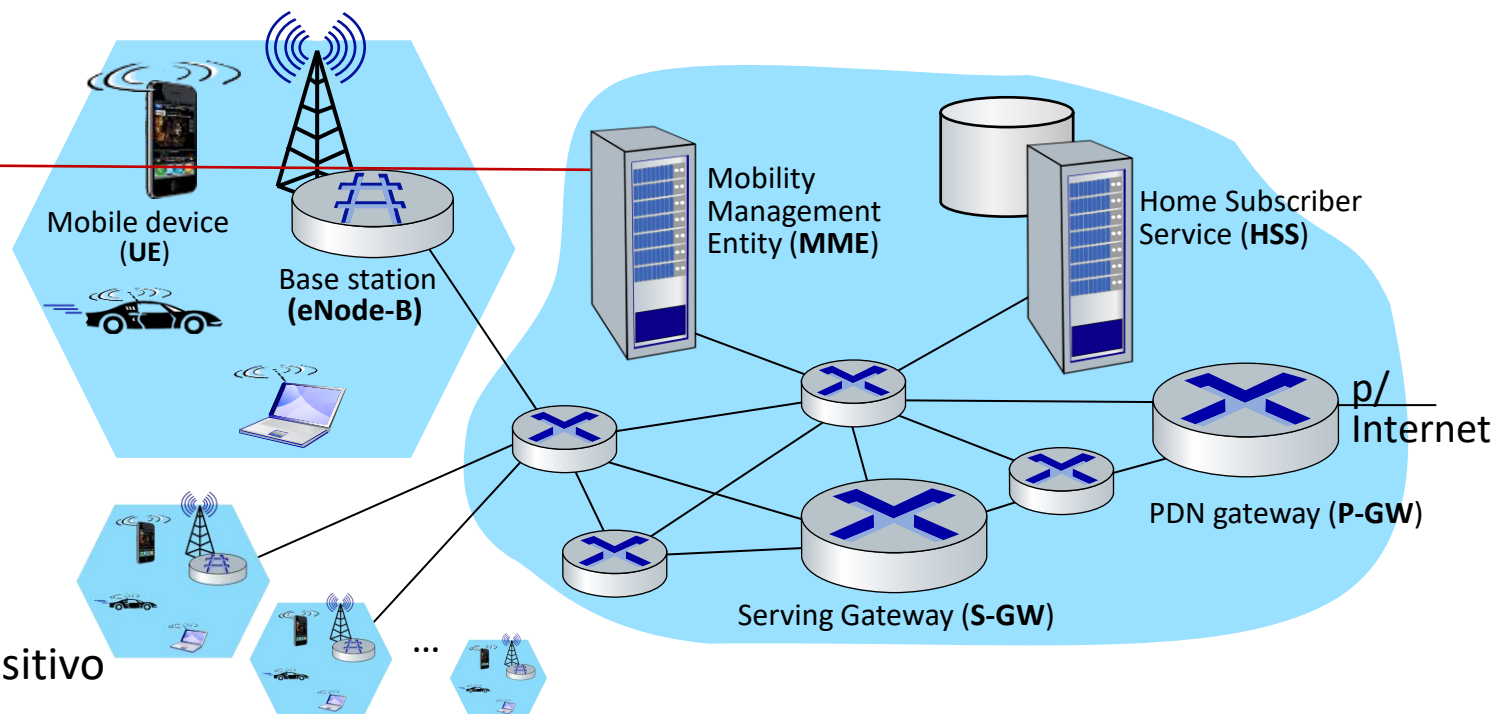
- Dois roteadores que ficam no caminho de dados entre o dispositivo móvel e a Internet
- P-GW
  - Se parece com qq outro roteador de borda da Internet
  - Oferece endereços IP NAT para os dispositivos móveis, cumprindo as funções de tradução NAT
  - Se parece com outros roteadores de borda (ultimo element antes da Internet)
- S-GW: roteadores de serviço que possuem a mesma função de qq outros roteadores da Internet



# Elementos da arquitetura 4G: LTE

## Mobility Management Entity (MME)

- Autenticação do dispositivo (***tanto do dispositivo p/ rede qto da rede p/ dispositivo***) coordenada com o HSS
- Gerenciamento do dispositivo:
  - Handover entre células
  - Rastreamento da localização do dispositivo dentro da rede da operadora
- ***Estabelece os túneis*** do dispositivo móvel para o P-GW
- Atua como intermediário entre o dispositivo móvel e o HSS da rede nativa do dispositivo





# MME – Gerenciamento do dispositivo

## Autenticação: passo a passo

- MME recebe requisição de ligação do dispositivo móvel
- MME contacta o HSS na rede nativa do dispositivo (caso o dispositivo esteja em *roaming*)
- HSS retorna informações criptografadas suficientes para que a MME local possa comprovar ao dispositivo a sua autenticidade e para que o dispositivo prove à MME que é, realmente, o dispositivo associado àquela IMSI

## Estabelecimento do caminho até o roteador de borda

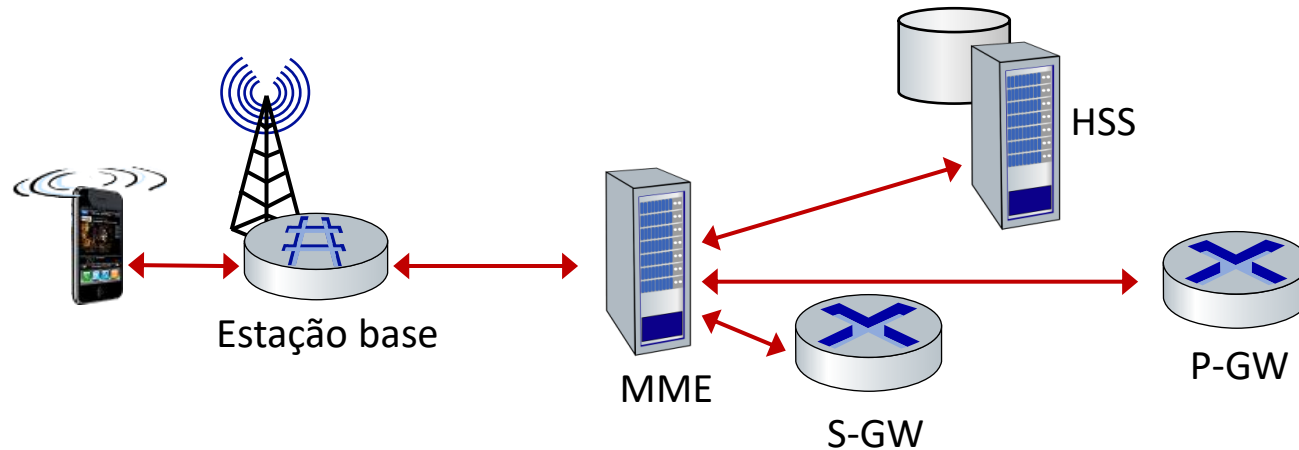
- Estabelece e configura túneis entre a estação base e o gateway de serviço e entre este e o gateway da rede de pacote de dados (P-GW)
- Quando dispositivo se movimenta, apenas a extremidade do túnel que termina na estação base deve ser alterada (dentro da mesma operadora)

# MME – Gerenciamento do dispositivo

## Rastreamento da localização do dispositivo:

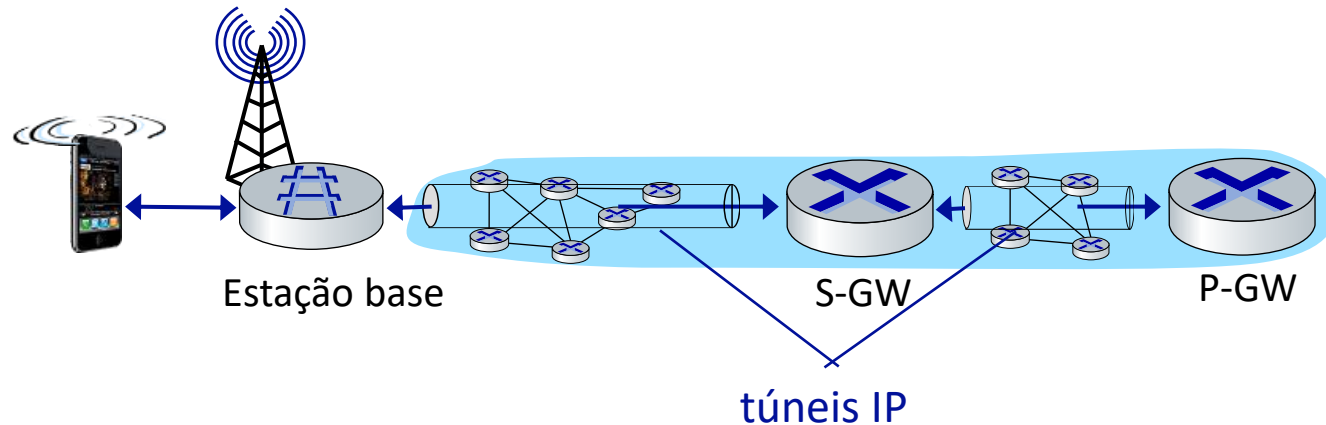
- à medida que o dispositivo se move entre as células, as estações-base atualizam a MME sobre a localização do mesmo
- se o dispositivo entra em modo de suspensão quando se move entre as células a MME deve despertá-lo utilizando um processo denominado *Paginação*

# LTE: separação entre planos de controle e de dados



## Plano de controle

- Novos protocolos para gerenciamento de mobilidade, segurança e autenticação



## Plano de dados

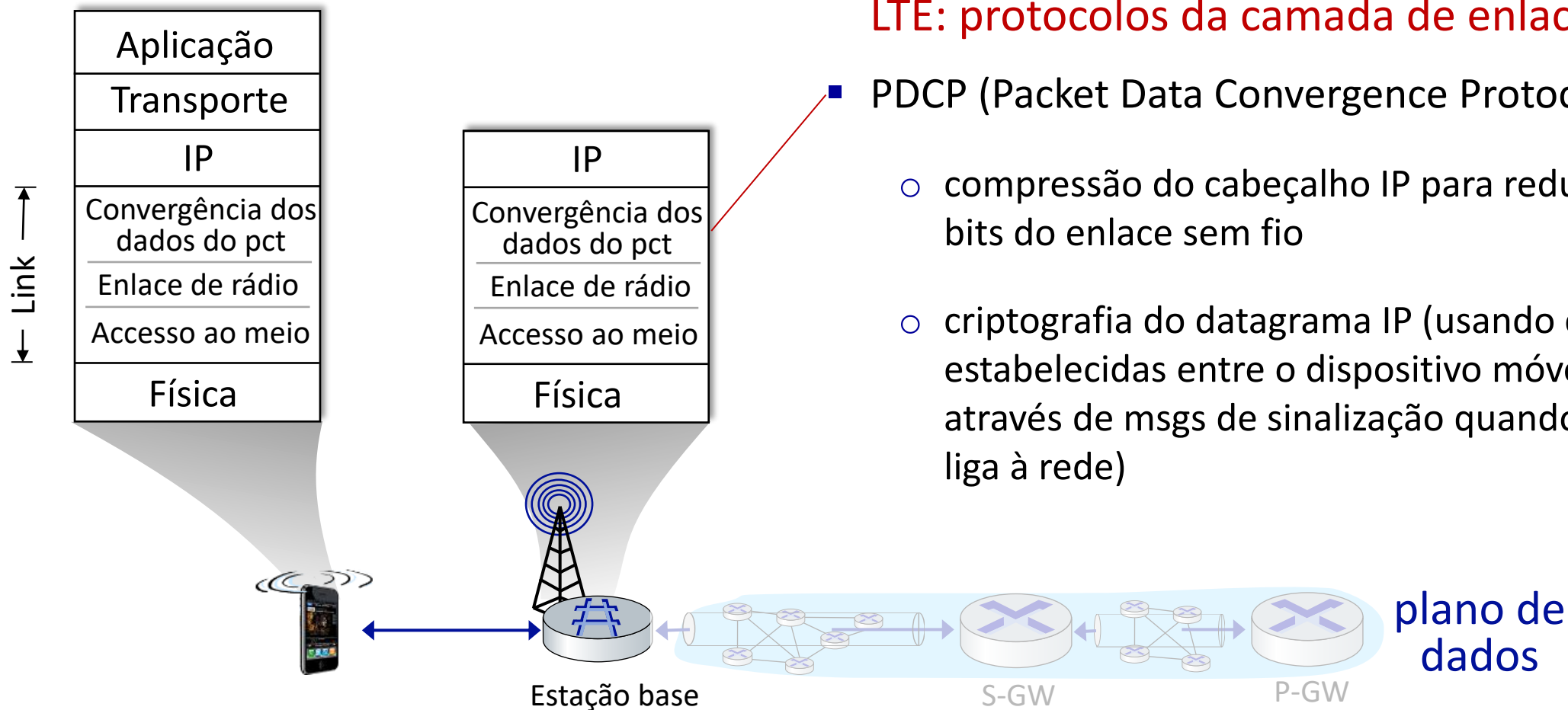
- Novos protocolos nas camadas de enlace e física
- Uso de tunelamento para facilitar a mobilidade

# LTE - pilha de protocolos do plano de dados (até o P-GW)

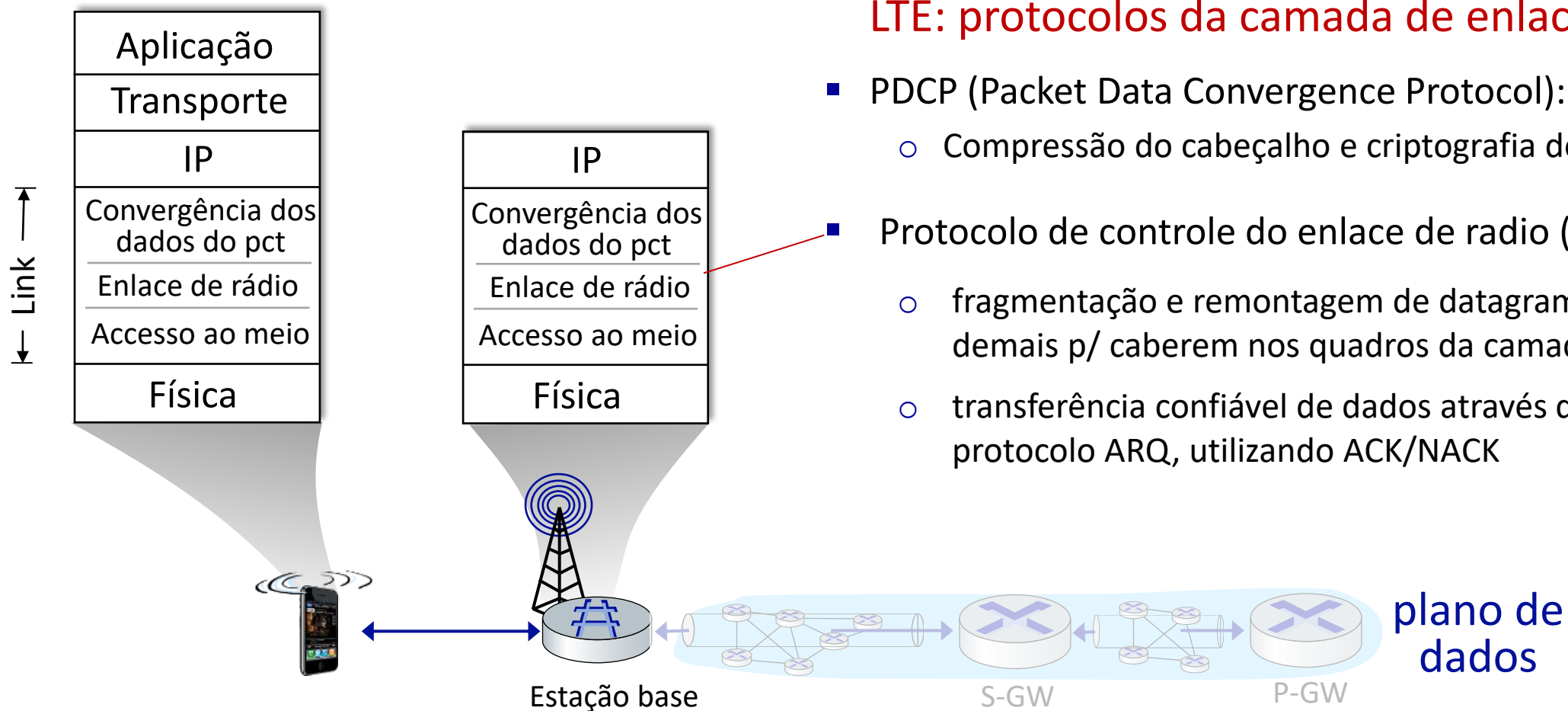
## LTE: protocolos da camada de enlace:

### ■ PDCP (Packet Data Convergence Protocol):

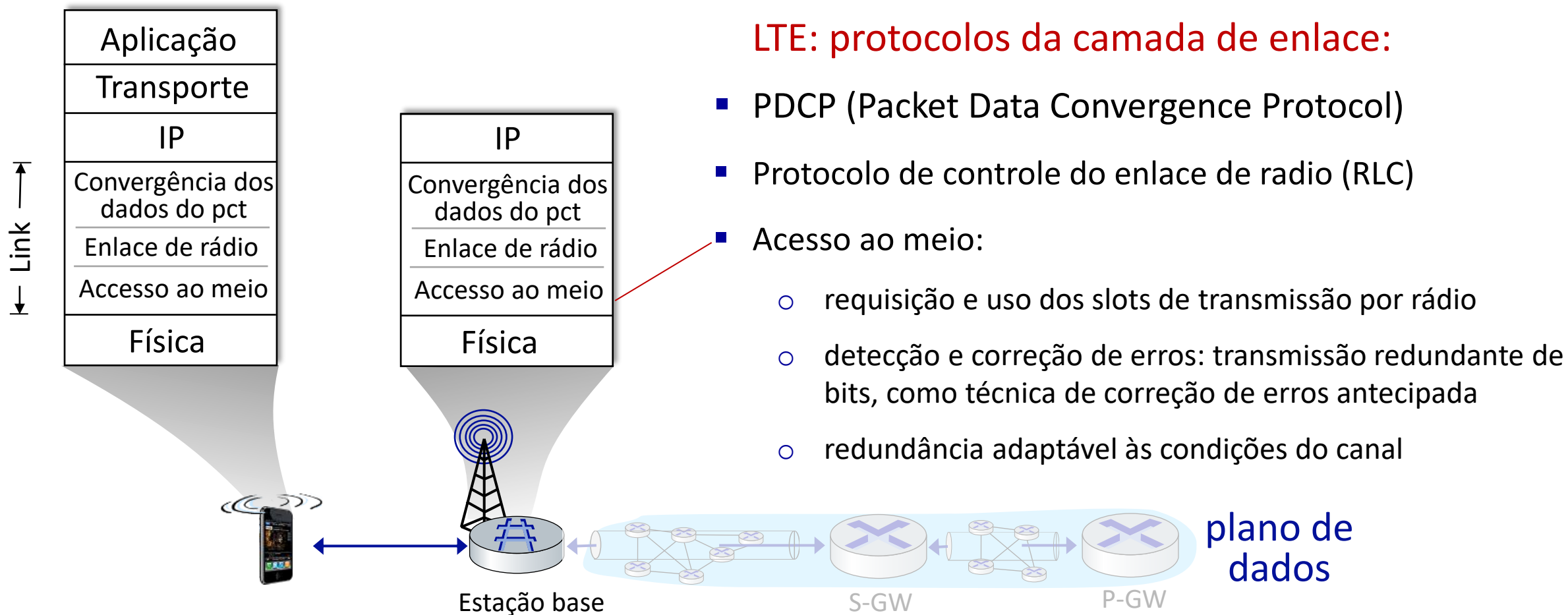
- compressão do cabeçalho IP para reduzir o número de bits do enlace sem fio
- criptografia do datagrama IP (usando chaves estabelecidas entre o dispositivo móvel LTE e o MME através de msgs de sinalização quando o dispositivo se liga à rede)



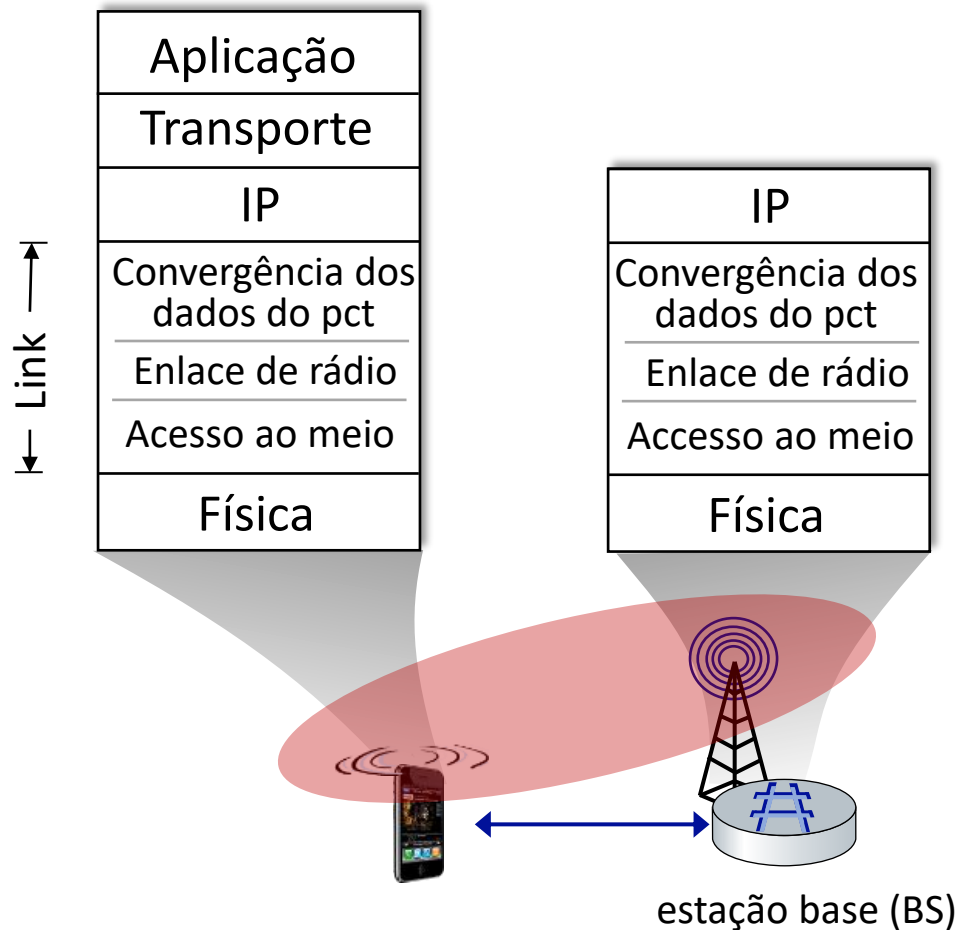
# LTE - pilha de protocolos do plano de dados (até o P-GW)



# LTE - pilha de protocolos do plano de dados (até o P-GW)



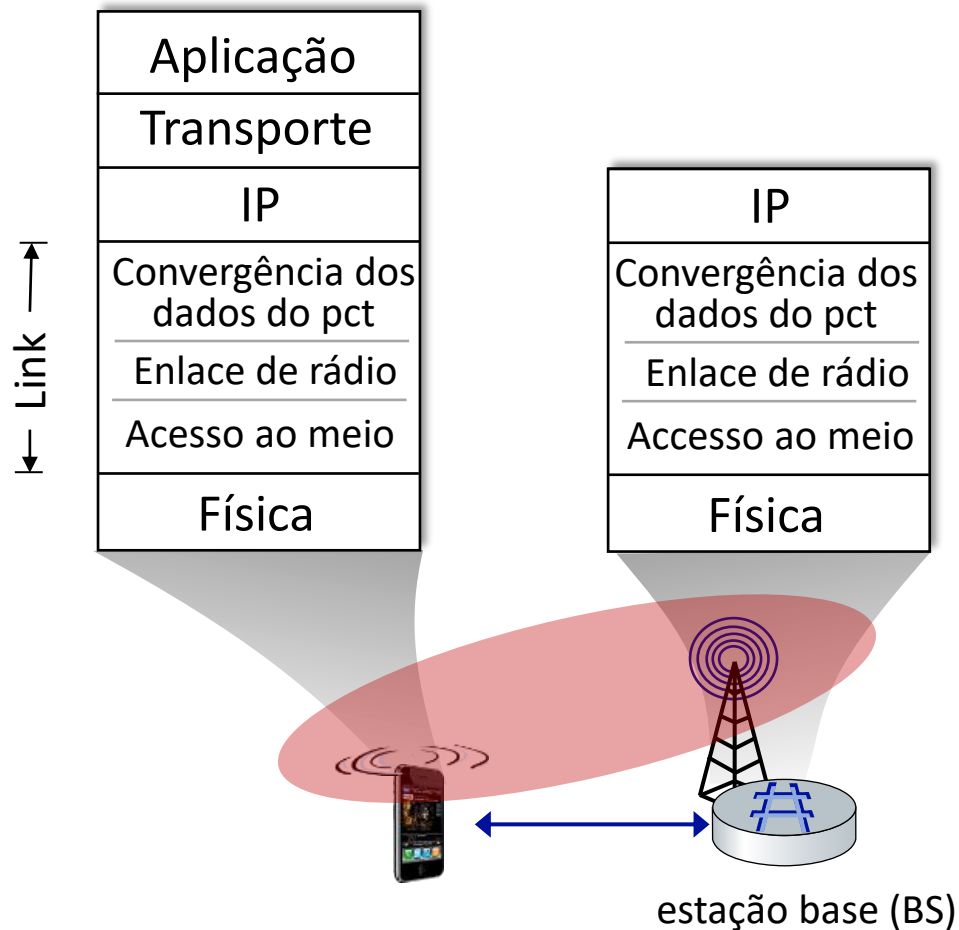
# LTE - pilha de protocolos do plano de dados: 1º enlace



## LTE: rede de acesso via rádio

- *canal downstream* : TDM dentro de um canal de frequência (OFDM - orthogonal frequency division multiplexing)
  - “ortogonal”: mínima interferência entre os canais
  - *upstream*: FDM, TDM similar ao OFDM
- a cada dispositivo ativo são alocados dois ou mais slots de tempo de 0,5 ms sobre uma ou mais das frequências do canal
- quanto mais intervalos de tempo o dispositivo receber maior será sua taxa de transmissão

# LTE - pilha de protocolos do plano de dados: 1º enlace

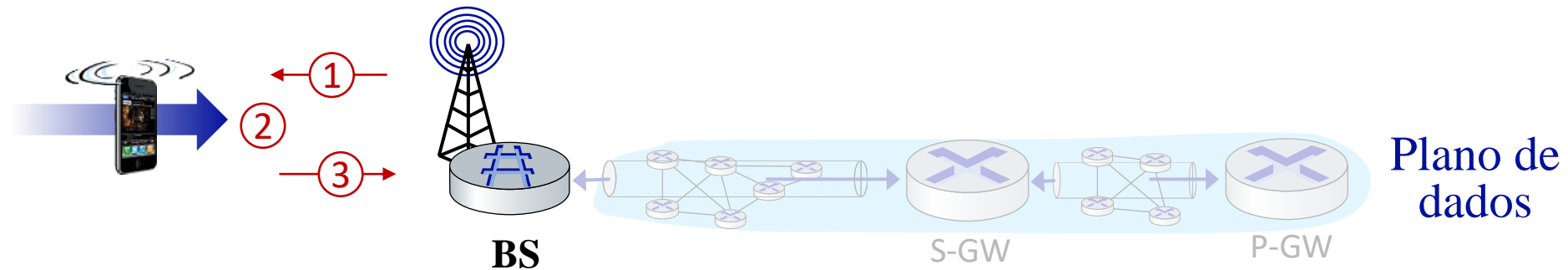


## LTE: rede de acesso via rádio

- Algoritmo de escalonamento dos slots:
  - não é padronizado (fica sob responsabilidade da operadora da rede ou do fabricante do dispositivo)
  - estação-base faz escalonamento oportunista, aproveitando melhor o meio físico
  - tbm podem ser usados no escalonamento as prioridades do usuário e níveis de serviço contratado
- LTE-A: permite alcançar 100's Mbps através da alocação de canais agregados a um dispositivo

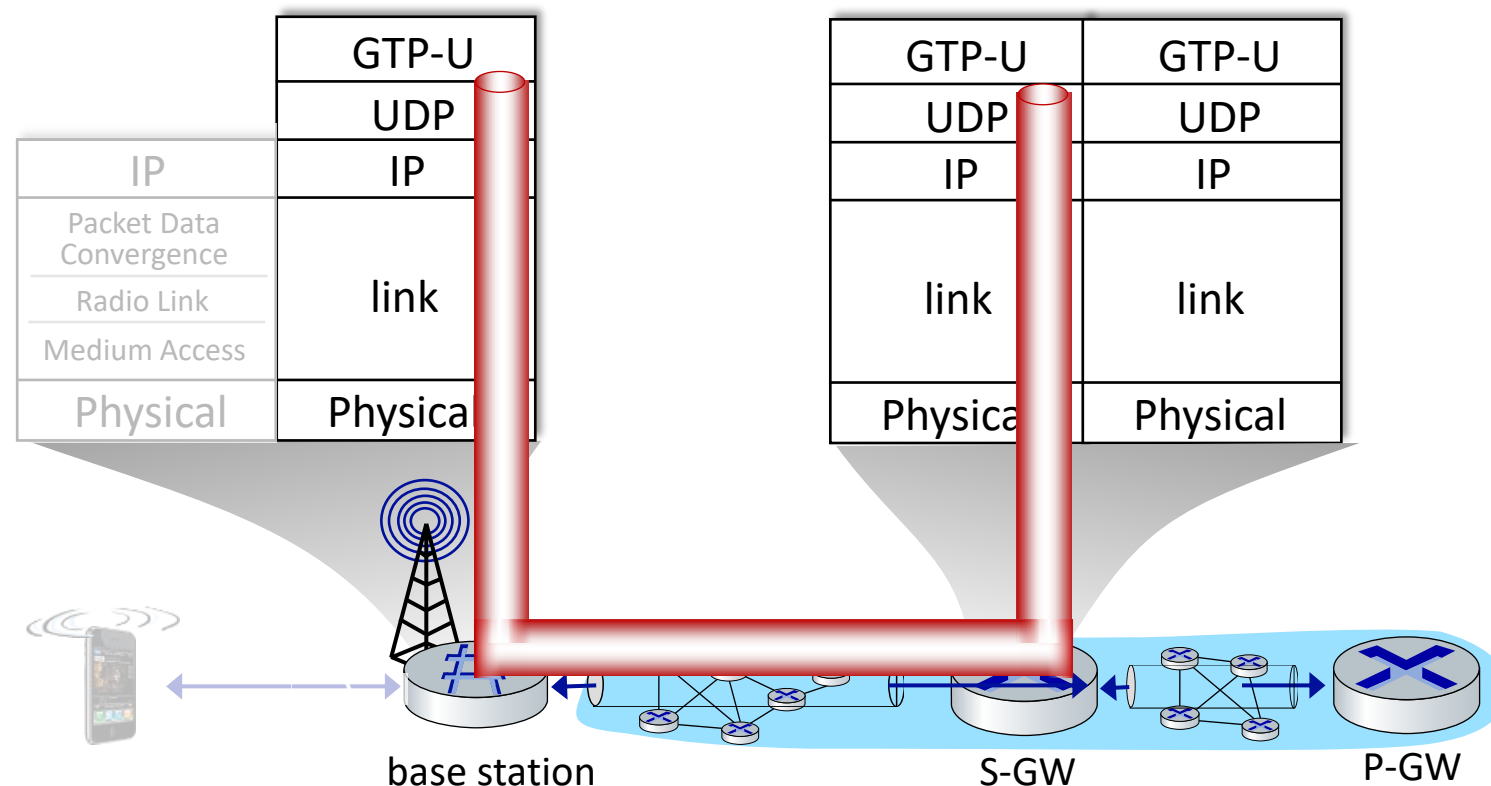


# LTE – plano de dados: associação com uma BS



- ① BS transmite por difusão sinal de sincronização primária a cada 5 ms em todas as frequências
  - **BSs de várias operadoras podem estar transmitindo sinais de sincronização**
- ② Dispositivo móvel procura um sinal de sincronização primário, então localiza o 2º sinal de sincronização nesta frequência.
  - **Dispositivo móvel, então, encontra informações transmitidas pela BS: largura de banda do canal, configurações e informações da operadora de celular da BS**
  - **Dispositivo móvel pode obter informações de várias estações base (várias redes celulares)**
- ③ Dispositivo seleciona com qual BS vai se associar (por exemplo, dá preferência pela operadora da sua rede nativa)
- ④ Outros passos ainda são necessários p/ autenticação mútua (segunda fase), estabelecimento do estado e configuração do caminho de dados até o P-GW

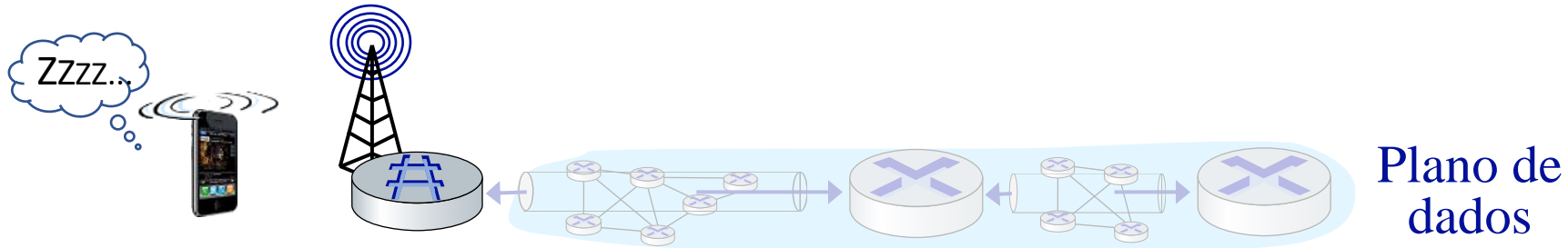
# LTE - pilha de protocolos do plano de dados: tunelamento



## Tunelamento:

- Datagrama é encapsulado usando protocolo de tunelamento GPRS (GTP) e enviado dentro de um segmento UDP p/ o S-GW
- S-GW reenvia o datagrama, via túnel, p/ o P-GW
- Dando suporte à mobilidade: somente os pontos finais do tunelamento mudam quando o usuário se move

# Gerenciamento de energia: modos de suspensão



Assim como no WiFi e no Bluetooth, o dispositivo móvel LTE pode colocar o rádio para *dormir*, economizando bateria:

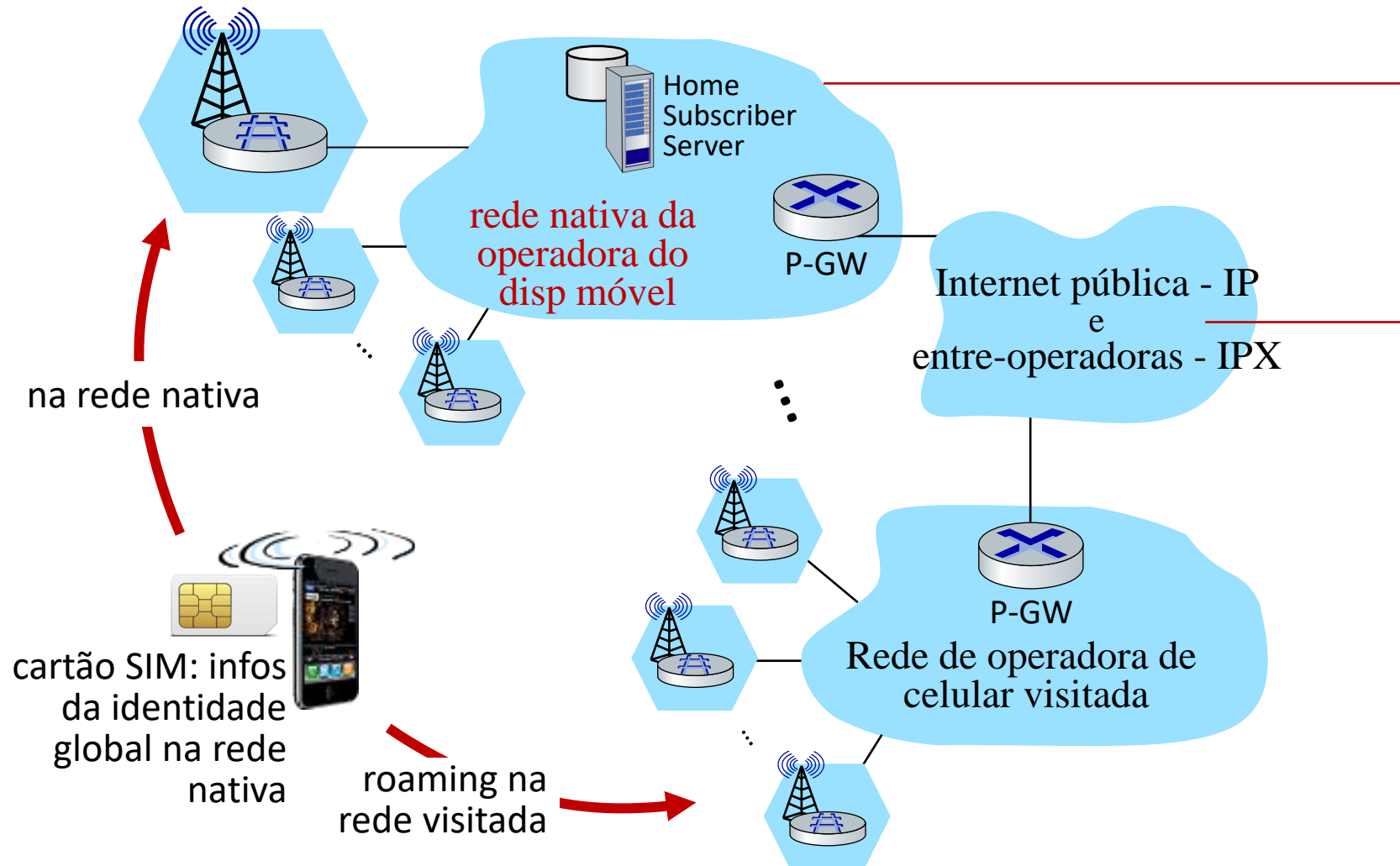
## Sono leve: após 100's msec de inatividade

- Agenda com a BS para acordar periodicamente (após 100's msec) p/ monitorar o canal em busca de transmissões *downstream*

## Sono profundo: após 5-10 segundos de inatividade

- Dispositivo móvel pode trocar de célula durante o sono profundo – necessidade de restabelecimento da associação com a BS (possivelmente nova) de modo a verificar as mensagens de paginação transmitidas pela MME para a estação base à qual o dispositivo se associou pela última vez, de modo a receber os pacotes enviados

# Rede celular global: uma rede de redes



## Rede nativa - HSS:

- informações de identificação e serviços, enquanto estiver na rede nativa e em *roaming*

## Toda IP:

- Operadoras se conectam entre si e com a Internet pública em pontos de troca de tráfego
- 2G e 3G: não são totalmente IP e, portanto, devem ser interconectadas de outra forma (IPX)

# Evoluindo para o 5G

**Objetivo:** aumento de 10 vezes na taxa de pico (Gbps), diminuição de 10 vezes na latência, aumento de 100 vezes na capacidade de tráfego em relação ao 4G

- **5G NR (novo rádio):**
  - O padrão 5G divide as bandas em dois grupos: FR1 (450 MHz–6 GHz) e o FR2 (24 GHz–52 GHz)
  - A princípio o a tecnologia da camada física do 5G não era compatível com 4G e não foi desenvolvido para smartphones mas para conexões sem fio domésticas
  - MIMO: múltiplas antenas em cada estação base
- **Frequências de ondas milimétricas:** taxas de transmissão de dados bem maiores, mas em curtas distâncias
  - pico-células: células com diâmetros de 10 a 100 m (não apropriada para zonas rurais)
  - intenso desenvolvimento de novas estações base para áreas urbanas são necessários
  - altamente susceptíveis à interferência atmosférica (folhagem de árvores e chuva)  
→ *imprópria para uso em áreas externas*