

# Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

**Prof. Miguel Elias Mitre Campista**

`http://www.gta.ufrj.br/~miguel`

# Parte II

## Princípios Básicos de Comunicação em Redes

# Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem?



# Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem?
  - Um canal de comunicação entre elas



# Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem?
  - Um canal de comunicação entre elas



# Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem e se entenderem?



# Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem e se entenderem?
  - Uma linguagem comum entre as duas partes



# Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem e se entenderem?
  - Uma linguagem comum entre as duas partes





# Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem e se entenderem?
  - Uma linguagem comum entre as duas partes



# Protocolos de Comunicação

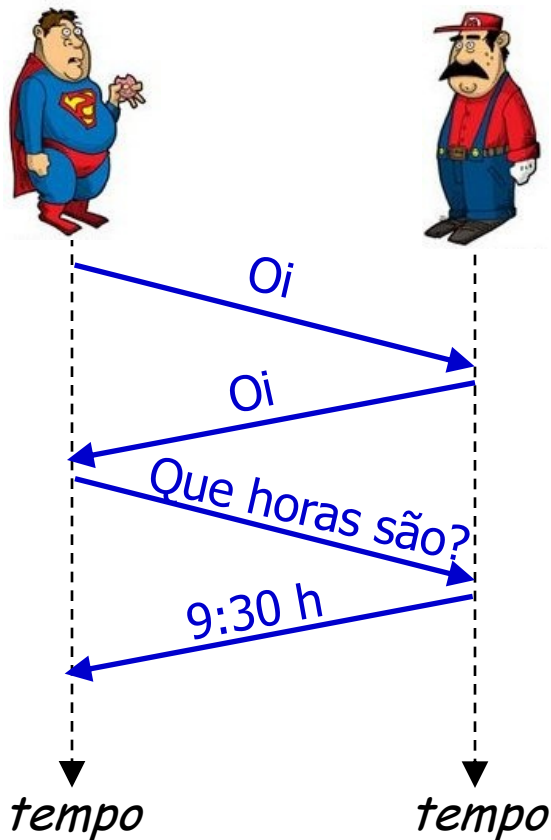
- Conjunto de regras e procedimentos que definem a comunicação entre duas ou mais entidades
- Definem
  - As ações tomadas durante a recepção e/ou transmissão de mensagens
  - As ações tomadas caso outros eventos ocorram
    - Ex.: Desaparecimento de um vizinho
  - O formato e a ordem das mensagens trocadas entre duas ou mais entidades

# Protocolos de Comunicação

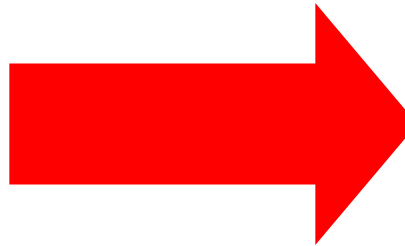
- Na Internet...
  - Todas as atividades que envolvem duas ou mais entidades comunicantes são governadas por um protocolo

# Protocolos de Comunicação

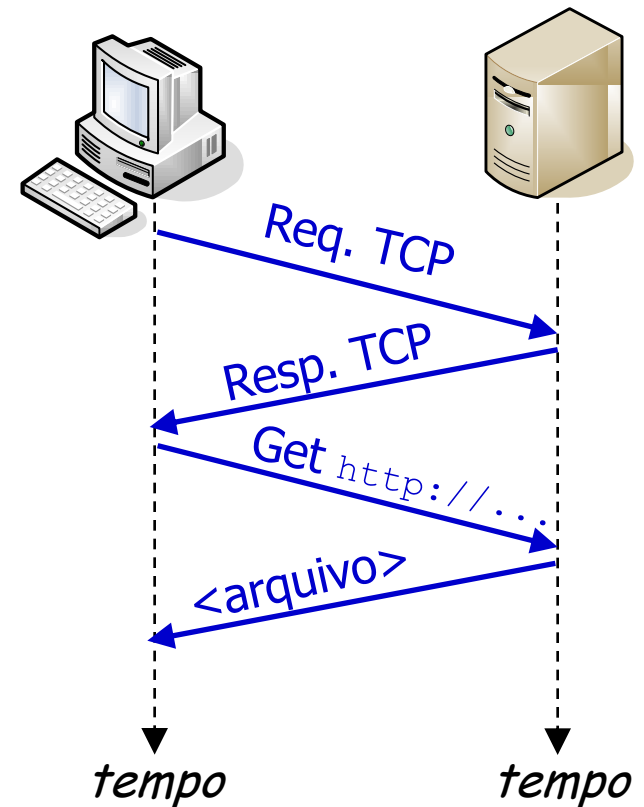
Protocolo humano



Analogia  
utilizando  
hardware e  
software...



Protocolo de rede



# Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
  - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade, segura, em grupo, etc.

# Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
  - Comunicação confiável e sem falhas



# Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
  - Comunicação confiável e sem falhas



# Protocolos de Comunicação

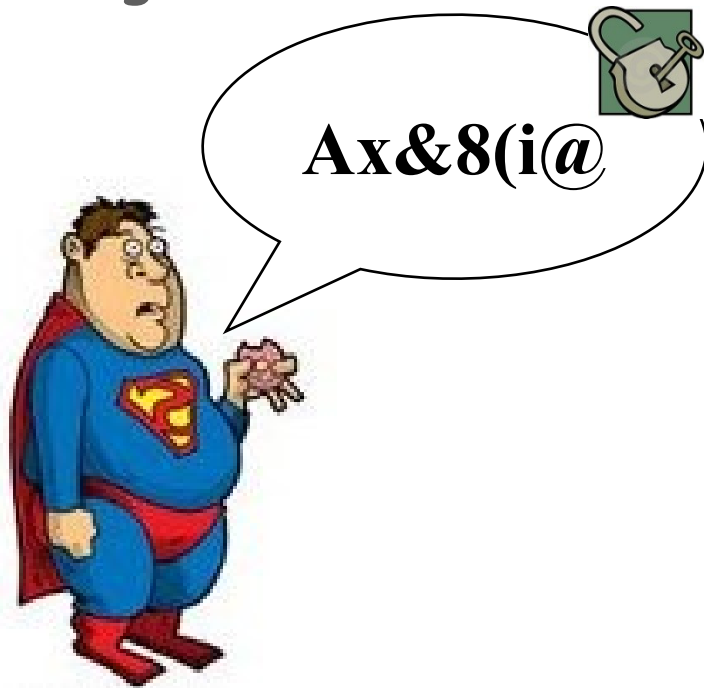
- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
  - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade





# Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem “apenas” se comunicarem
  - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade, segura,



# Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem “apenas” se comunicarem
  - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade, segura, **em grupo**, etc.



# Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
  - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade, segura, **em grupo**, etc.



# Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem “apenas” se comunicarem
  - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade, segura, em grupo, etc.

**Ao aumentar os requisitos...**



**Maior é a complexidade do protocolo de comunicação  
usado nas redes de computadores**

# O que são as Redes de Computadores?

- Definições
  - Conjunto de computadores autônomos interconectados por uma única tecnologia
    - **A Internet é uma "rede de redes"!**
  - Sistema de comunicação que visa a interconexão entre computadores, terminais e periféricos
- Usos das redes de computadores
  - Aplicações comerciais
    - **Compartilhamento de recursos físicos e informações**
    - **Comunicação entre usuários**
    - **Comércio eletrônico**

# O que são as Redes de Computadores?

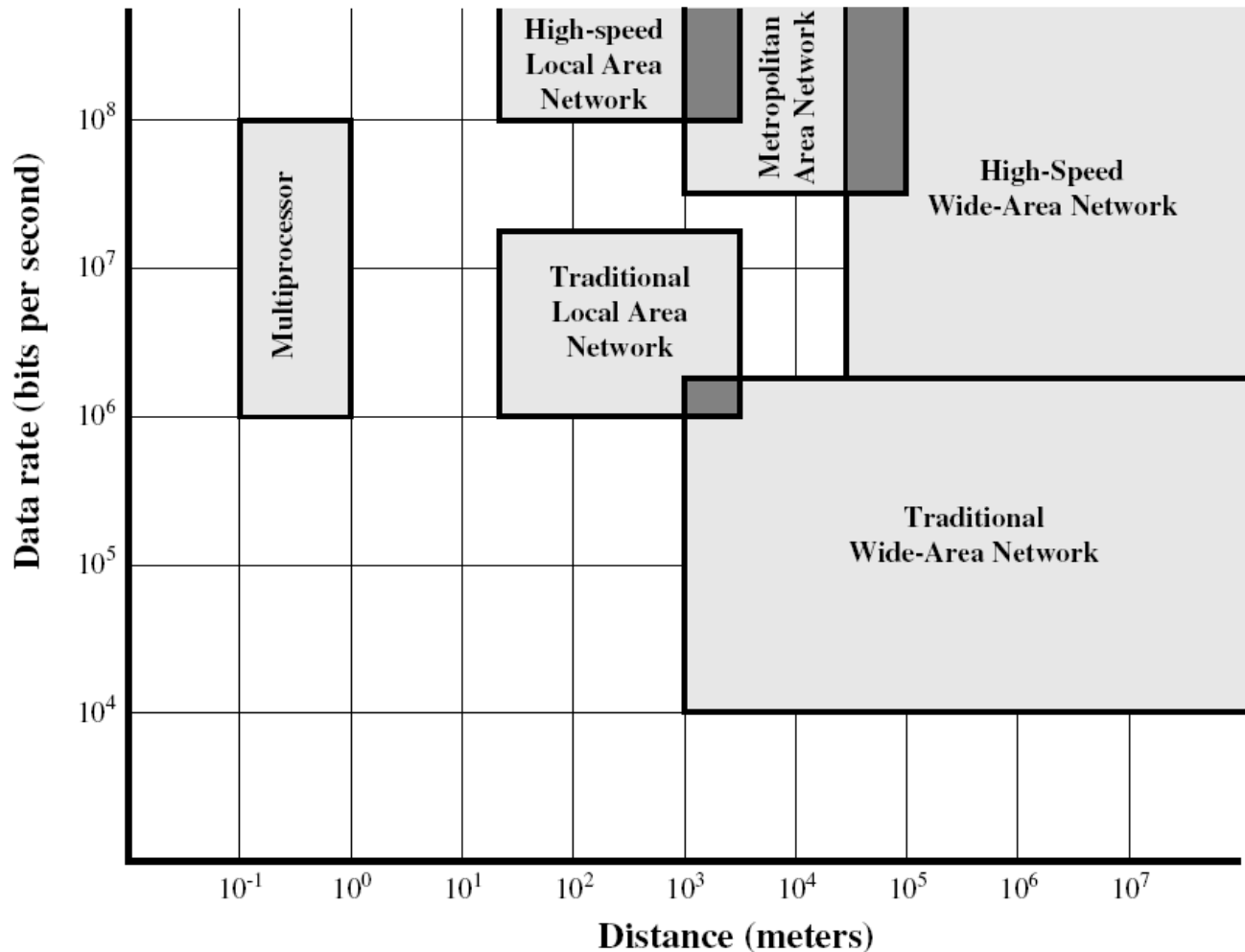
- Usos das redes de computadores (continuação)
  - Aplicações domésticas
    - Compartilhamento de recursos físicos e informações
    - Comunicação entre usuários
    - Comércio eletrônico
    - Entretenimento
  - Usuários móveis
    - Escritório portátil
    - Aplicações militares

# Como as Redes podem ser Classificadas?

- Segundo a extensão geográfica...
  - Redes "do corpo" (*Body Area Networks* - BANs)
  - Redes pessoais (*Personal Area Networks* - PANs)
  - Redes de controladores (*Controller Area Networks* - CANs)
  - Redes locais (*Local Area Networks* - LANs)
  - Redes metropolitanas (*Metropolitan Area Networks* - MANs)
  - Redes regionais (*Regional Area Networks* - RANs)
  - Redes de longa distância (*Wide Area Networks* - WANs)
  - Redes de nuvens (*Internet Area Networks* - IANs)
  - Etc...

# Como as Redes podem ser Classificadas?

Comparação de LANs, MANs e WANs (fonte: Stallings)





# Como as Redes podem ser Classificadas?

- Redes Pessoais (PAN)
  - Cobrem distâncias muito pequenas
    - Destinadas a uma única pessoa
  - Ex.: Bluetooth, ZigBee etc.

**Por serem  
comumente sem-fio  
são chamadas  
também de WPAN  
(Wireless PAN)**



# Como as Redes podem ser Classificadas?

- Redes Locais (LAN)
  - Cobrem pequenas distâncias
    - Um prédio ou um conjunto de prédios
  - Geralmente pertencentes a uma mesma organização
  - Taxa de transmissão da ordem de Mb/s
  - Pequenos atrasos de propagação
  - Ex.: Ethernet, WiFi, etc.

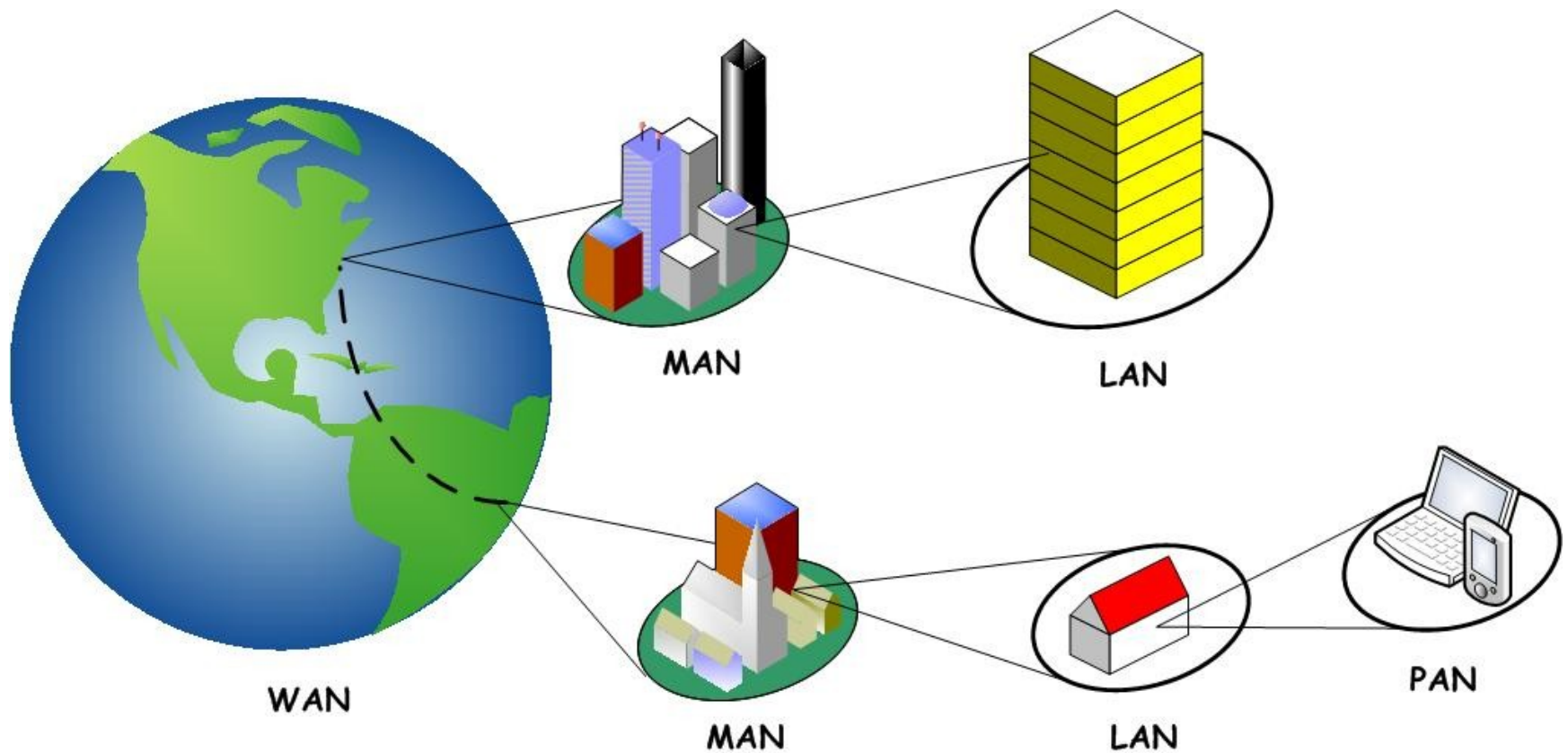
# Como as Redes podem ser Classificadas?

- Redes Metropolitanas (MAN)
  - Cobrem grandes distâncias
    - Uma cidade
  - Ex.: rede baseada na TV a cabo

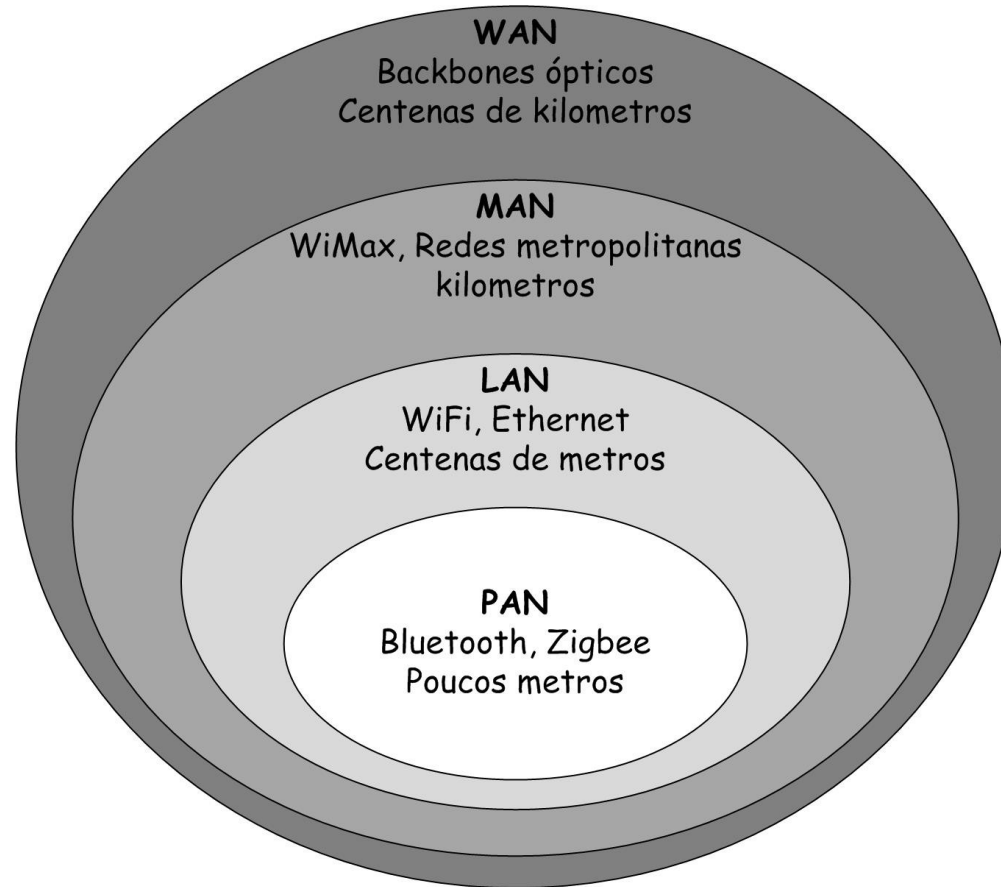
# Como as Redes podem ser Classificadas?

- Redes de Longa Distância (WAN)
  - Cobrem distâncias muito grandes
    - Um país, um continente
  - Transmissão através de comutadores de pacotes interligados por enlaces dedicados
  - De um modo geral possuem taxas de transmissão menores que as das LANs
  - Atraso de propagação maiores do que das LANs
  - Ex.: ATM

# Como as Redes podem ser Classificadas?



# Como as Redes podem ser Classificadas?



# Como as Redes podem ser Classificadas?

- Segundo a topologia...
  - Estruturas físicas de interligação dos equipamentos da rede
  - Cada uma apresenta características próprias, com diferentes implicações quanto a...
    - Custo, Confiabilidade, Alcance
  - Tipos mais comuns
    - Malha, Estrela, Anel, Barramento, Híbridas

# Como as Redes podem ser Classificadas?

- Malha
  - Usada principalmente em redes de longa distância
  - Em geral as redes locais não usam a topologia em malha
    - Custo associado aos meios físicos é pequeno em redes locais
    - Complexidade da decisão de por onde enviar a mensagem aumenta o custo
    - Armazenamento e processamento de cada mensagem a cada nó intermediário aumenta o atraso e diminui a vazão

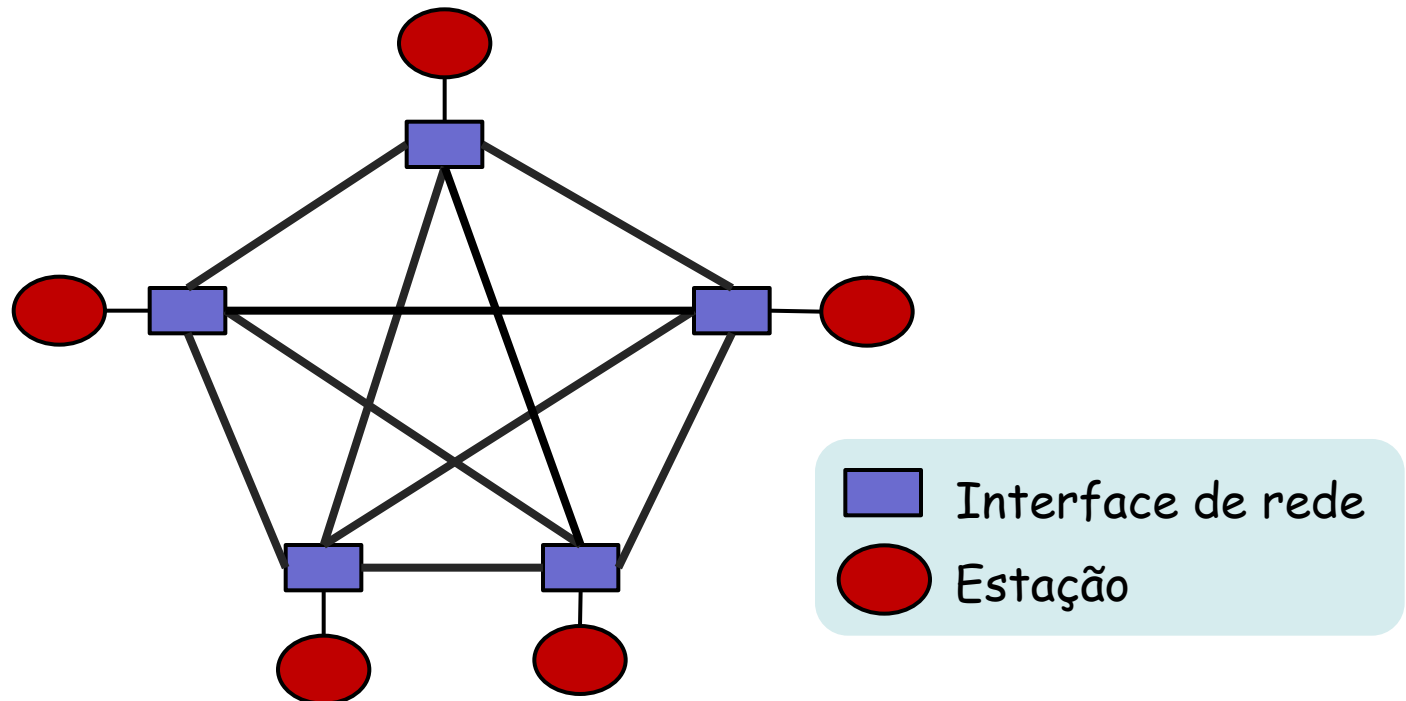


# Como as Redes podem ser Classificadas?

- Malha
  - Pode ser completa ou irregular

# Como as Redes podem ser Classificadas?

- Malha completa
  - Cada estação é conectada a todas as outras estações

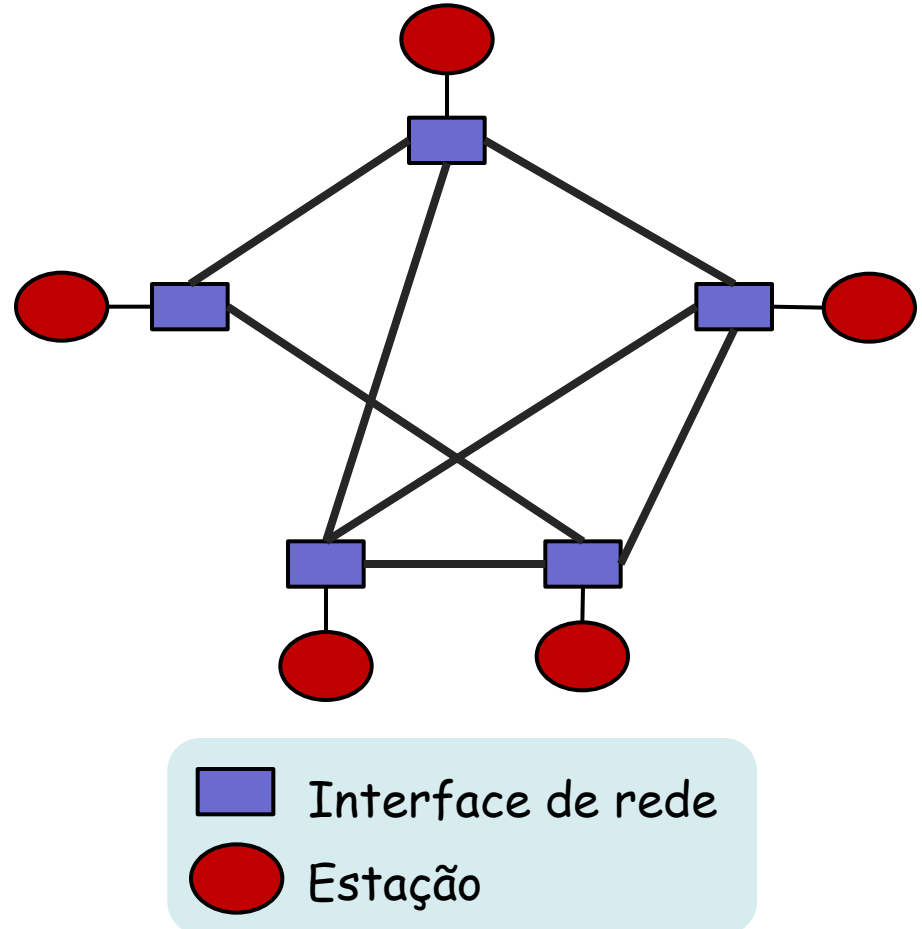


# Como as Redes podem ser Classificadas?

- Malha completa
  - Vantagens
    - Não há compartilhamento do meio físico
    - Não há necessidade de decisões de por onde encaminhar a mensagem (roteamento)
  - Desvantagem
    - Grande quantidade de ligações
      - Custo

# Como as Redes podem ser Classificadas?

- Malha Irregular
  - Topologia mais geral possível
  - Cada estação pode ser conectada diretamente a um número variável de estações



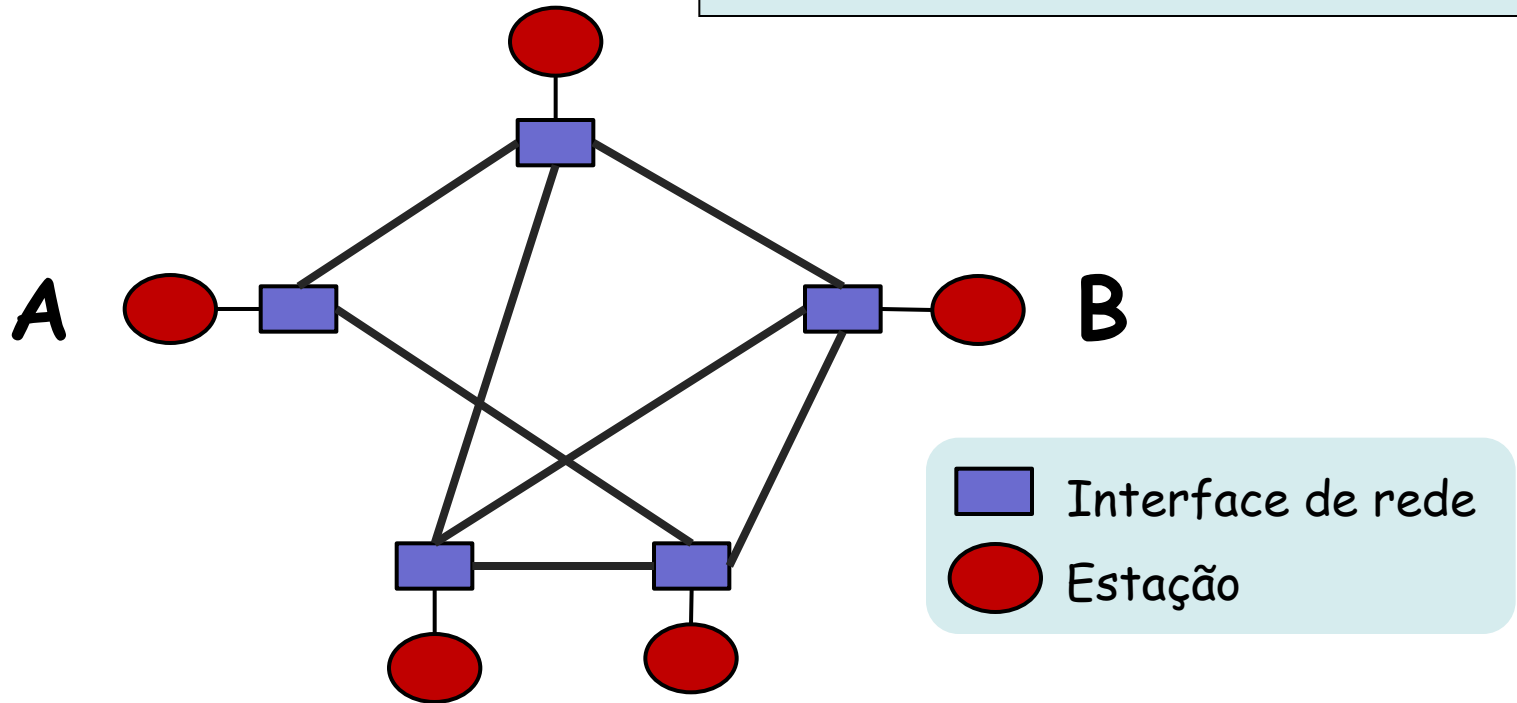
# Como as Redes podem ser Classificadas?

- Malha Irregular
  - Vantagem
    - Arranjo de interconexões pode ser feito de acordo com o tráfego
    - Pode escolher por onde enviar a mensagem
      - Para evitar congestionamento
  - Desvantagem
    - Necessita de decisão de encaminhamento

# Como as Redes podem ser Classificadas?

- Malha Irregular

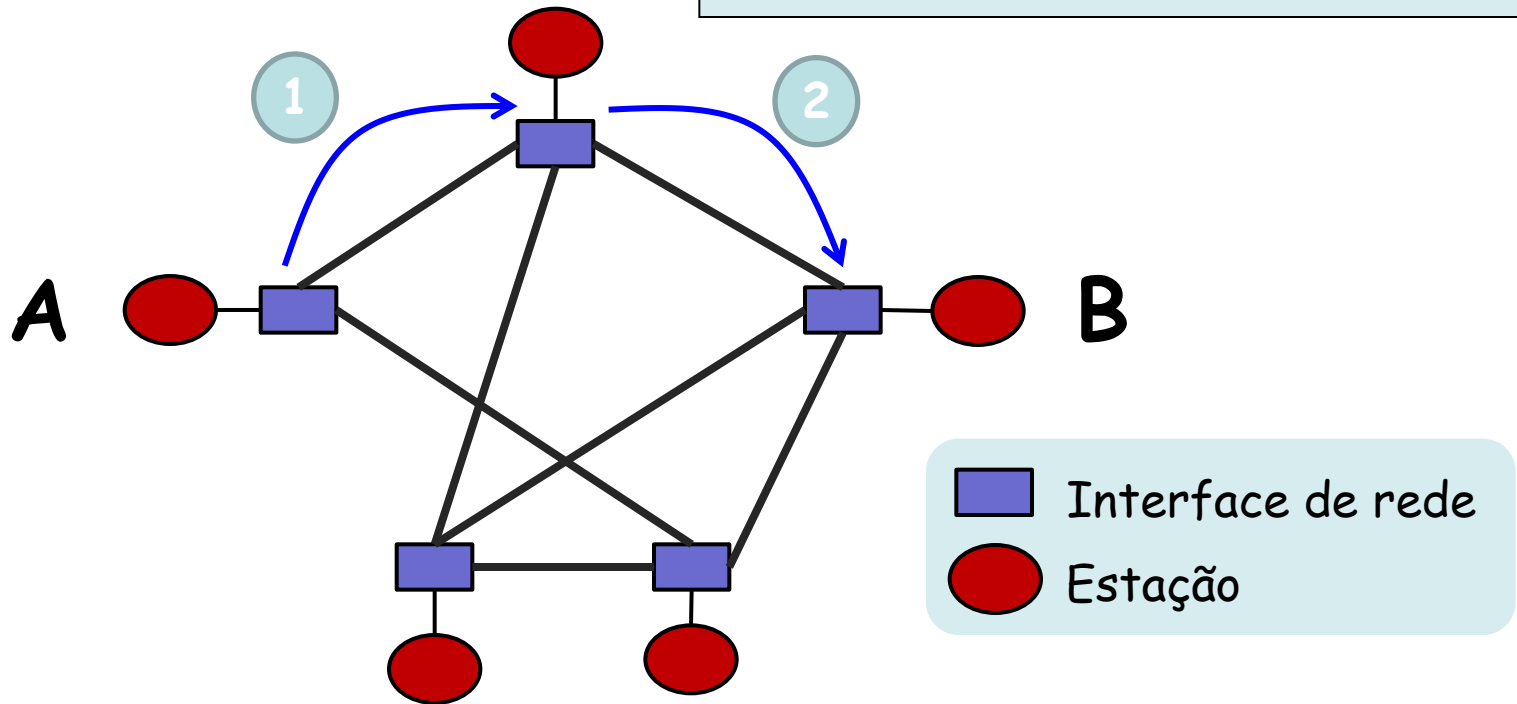
Como A fala com B se não há um enlace direto?



# Como as Redes podem ser Classificadas?

- Malha Irregular

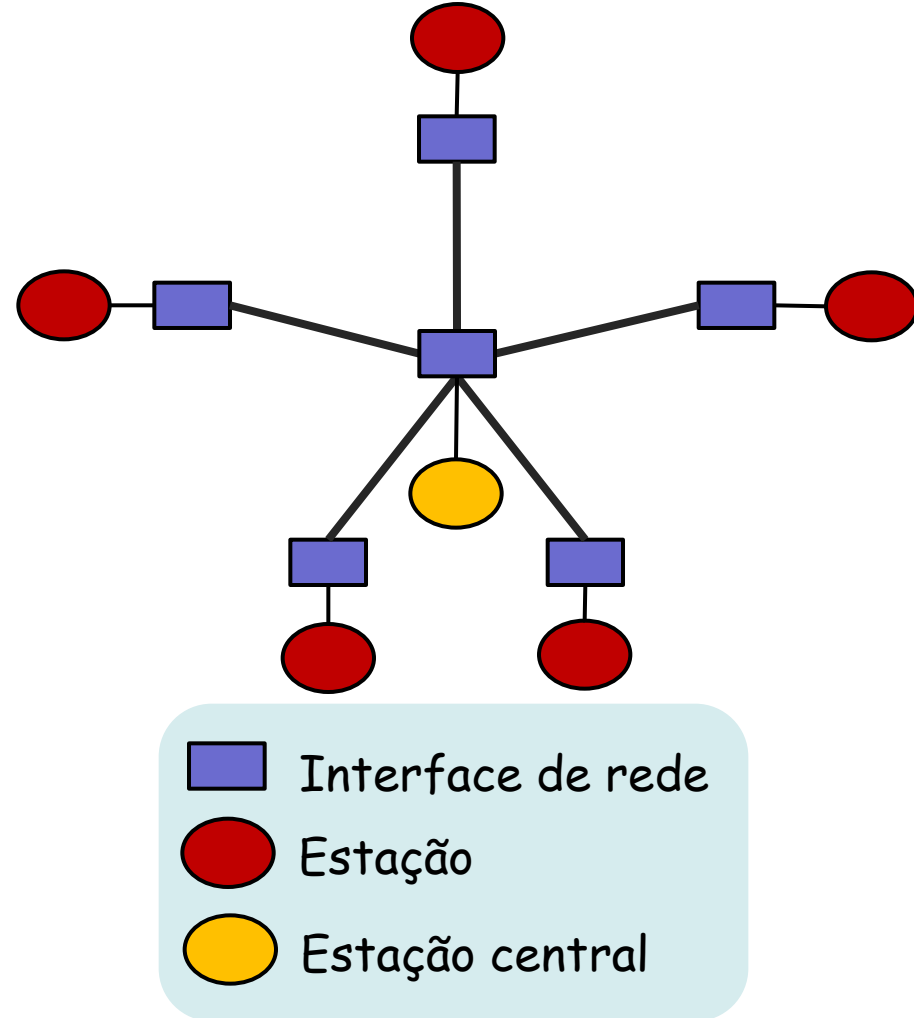
Como A fala com B se não há um enlace direto?



# Como as Redes podem ser Classificadas?

- Estrela

- Decisões de encaminhamento centralizadas em um nó
- Cada estação é conectada a esse nó central



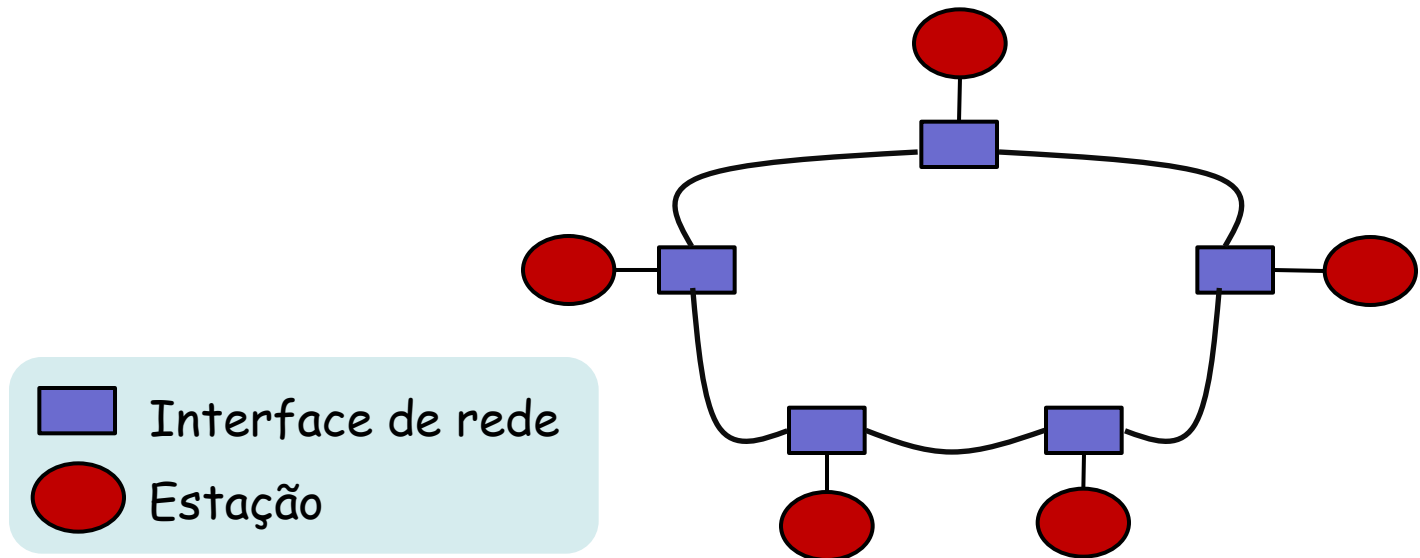


# Como as Redes podem ser Classificadas?

- Estrela
  - Vantagem
    - Boa para situações onde o fluxo de informações é centralizado
  - Desvantagens
    - Dependência de um nó centralizado pode ser uma desvantagem quando o fluxo não é centralizado
    - Problema de confiabilidade no nó central
  - Usada principalmente em redes locais

# Como as Redes podem ser Classificadas?

- Anel
  - Mensagens circulam nó-a-nó até o destino
    - Tem de reconhecer o próprio nome (endereço) nas mensagens e copiar as que lhe são destinadas



# Como as Redes podem ser Classificadas?

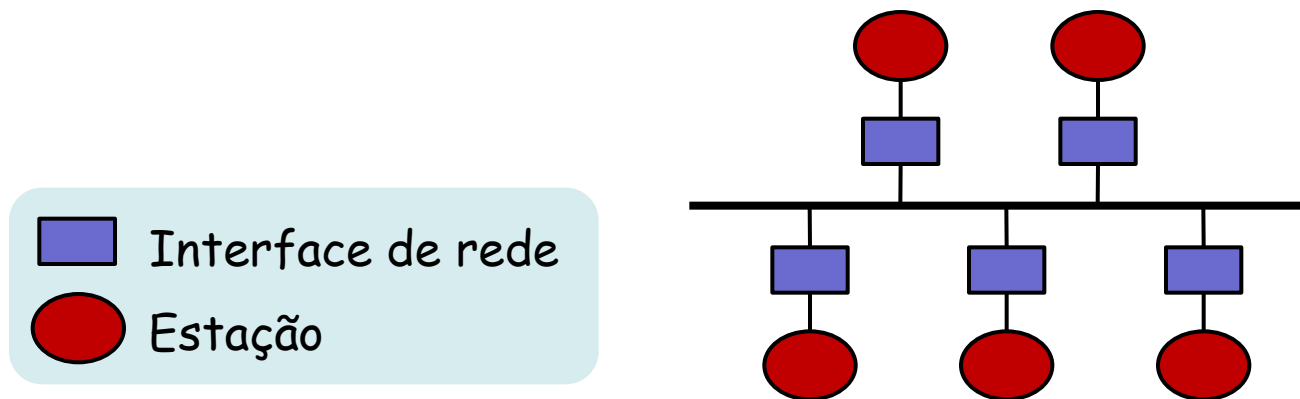
- Anel
  - Vantagens
    - Boa para situações onde o fluxo de informações não é centralizado
    - Não há necessidade de decisões de encaminhamento
    - Como não há armazenamento intermediário, pode-se obter um melhor desempenho de atraso e vazão

# Como as Redes podem ser Classificadas?

- Anel
  - Desvantagens
    - Necessita de mecanismos de acesso ao meio compartilhado
    - Confiabilidade da rede depende da confiabilidade individual dos nós intermediários
  - Usada principalmente em redes locais

# Como as Redes podem ser Classificadas?

- Barramento
  - Mensagens transferidas sem a participação dos nós intermediários
  - Todas as estações "escutam" as mensagens
    - Necessidade de reconhecer o próprio nome (endereço)



# Como as Redes podem ser Classificadas?

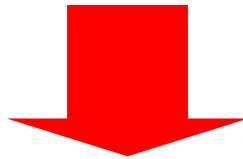
- Barramento
  - Vantagens
    - Não há necessidade de decisões de encaminhamento
    - Como não há armazenamento intermediário, pode-se obter um melhor desempenho em termos de atraso e vazão

# Como as Redes podem ser Classificadas?

- Barramento
  - Desvantagem
    - Necessita de mecanismos de acesso ao meio compartilhado
  - Usada principalmente em redes locais

# Como as Redes podem ser Classificadas?

- Topologias híbridas
  - Existem ainda as configurações híbridas
    - Anel-estrela
    - Barramento-estrela
    - Estrela-anel
    - Árvore de barramentos



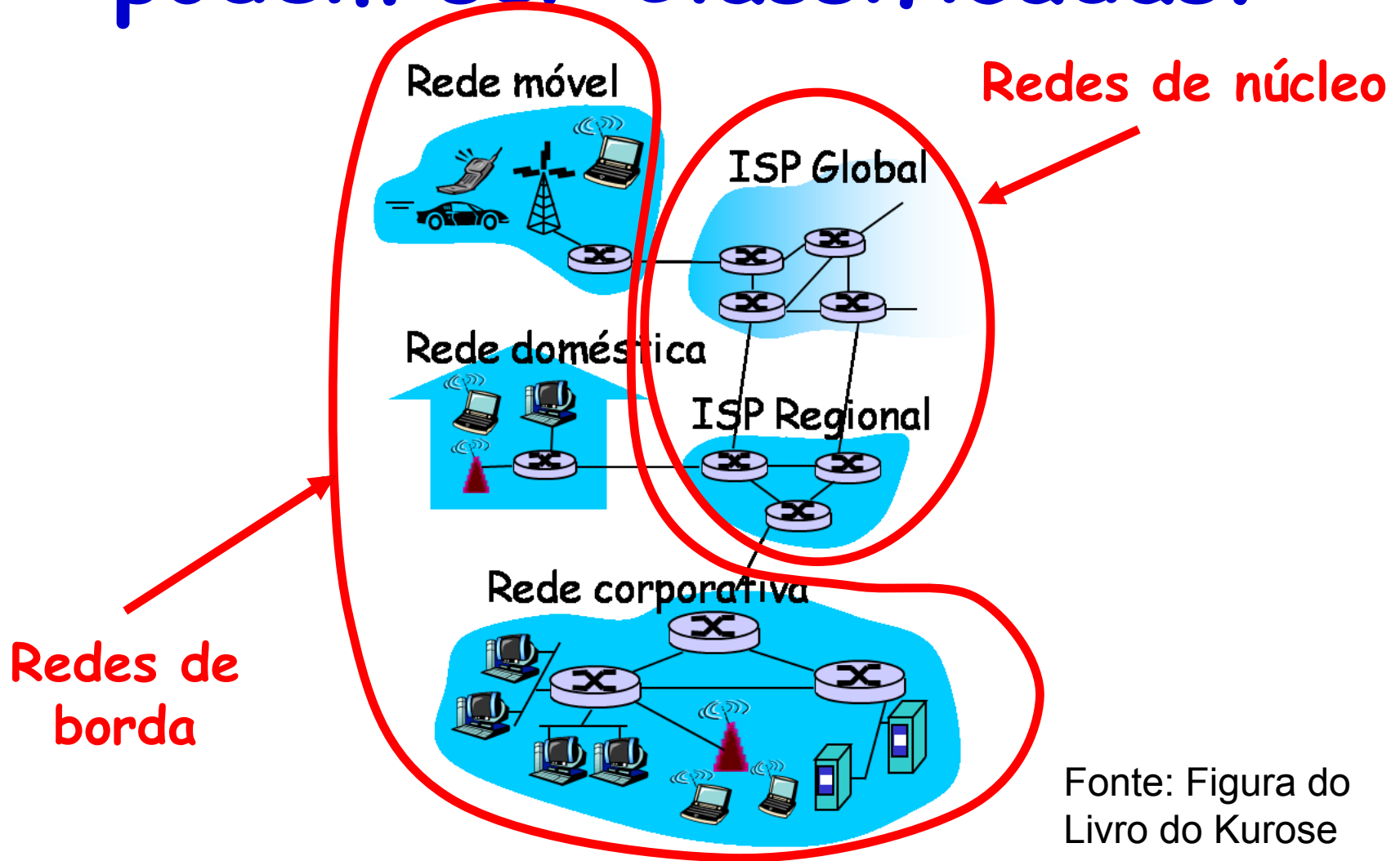
**E a Internet, como poderia ser classificada?**



# Como as Redes na Internet podem ser Classificadas?

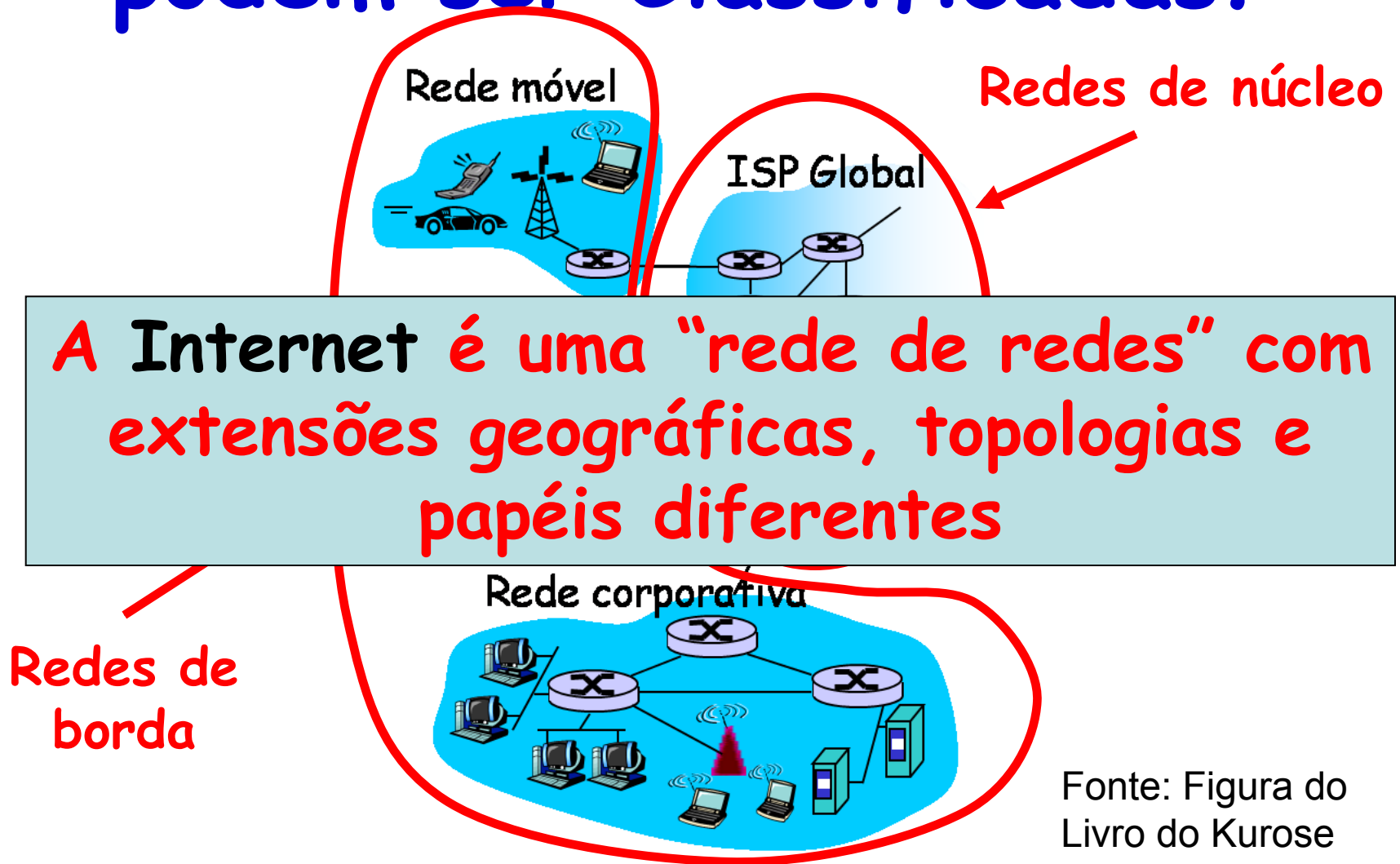
- Rede complexa que combina outras redes:
  - Com diferentes extensões geográficas
  - Com diferentes topologias
- Muitas vezes, as redes são classificadas conforme o seu papel funcional
  - Redes de borda (ou redes periféricas)
    - Sistemas finais e redes de acesso
  - Redes de núcleo (ou redes de provedores de serviço)
    - Roteadores e redes dorsais (*backbones*)

# Como as Redes na Internet podem ser Classificadas?



Fonte: Figura do Livro do Kurose

# Como as Redes na Internet podem ser Classificadas?



Fonte: Figura do Livro do Kurose

# Complexidade da Internet

- A Internet possui:
  - Muitos nós
  - Muitas aplicações com diferentes requisitos
  - Muitas tecnologias de rede
  - Muitos meios físicos
  - Etc.

# Serviços da Internet

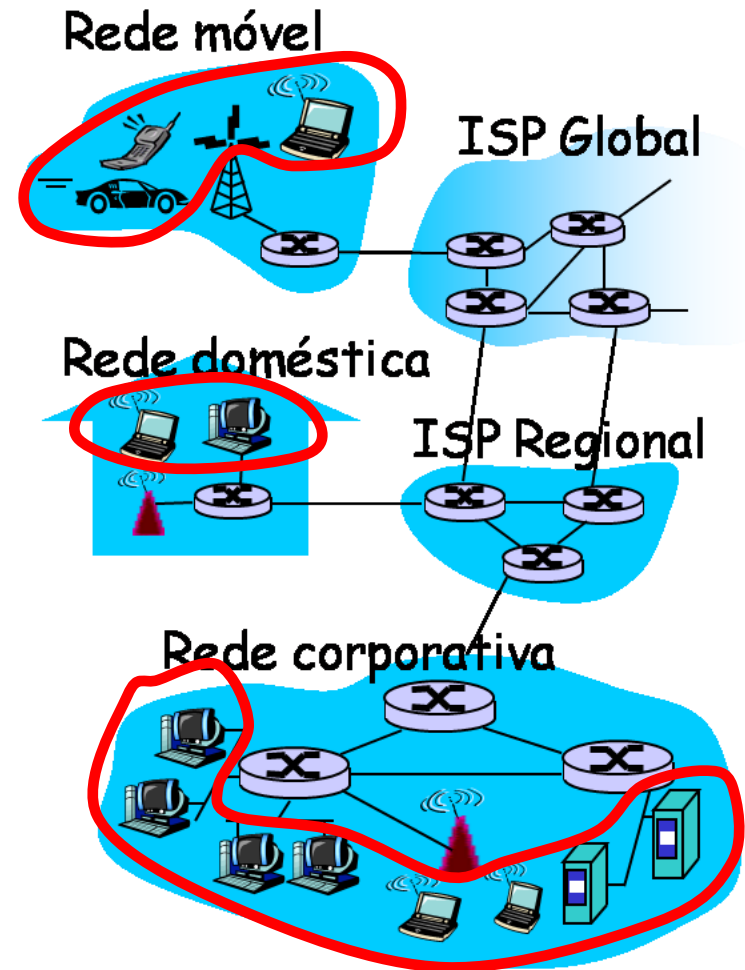
- A Internet é uma infraestrutura de comunicação que provê serviços para aplicações
  - Basta que a aplicação siga um conjunto de regras
- Aplicações distribuídas
  - Web, e-mail, jogos, mensagens instantâneas, voz sobre IP (VoIP), compartilhamento de arquivos, etc.
- Serviços de comunicação de dados disponibilizados
  - Transferência confiável da origem até o destino
  - Transferência "melhor esforço" (não confiável)

# Redes de Borda

Estações finais e redes de acesso

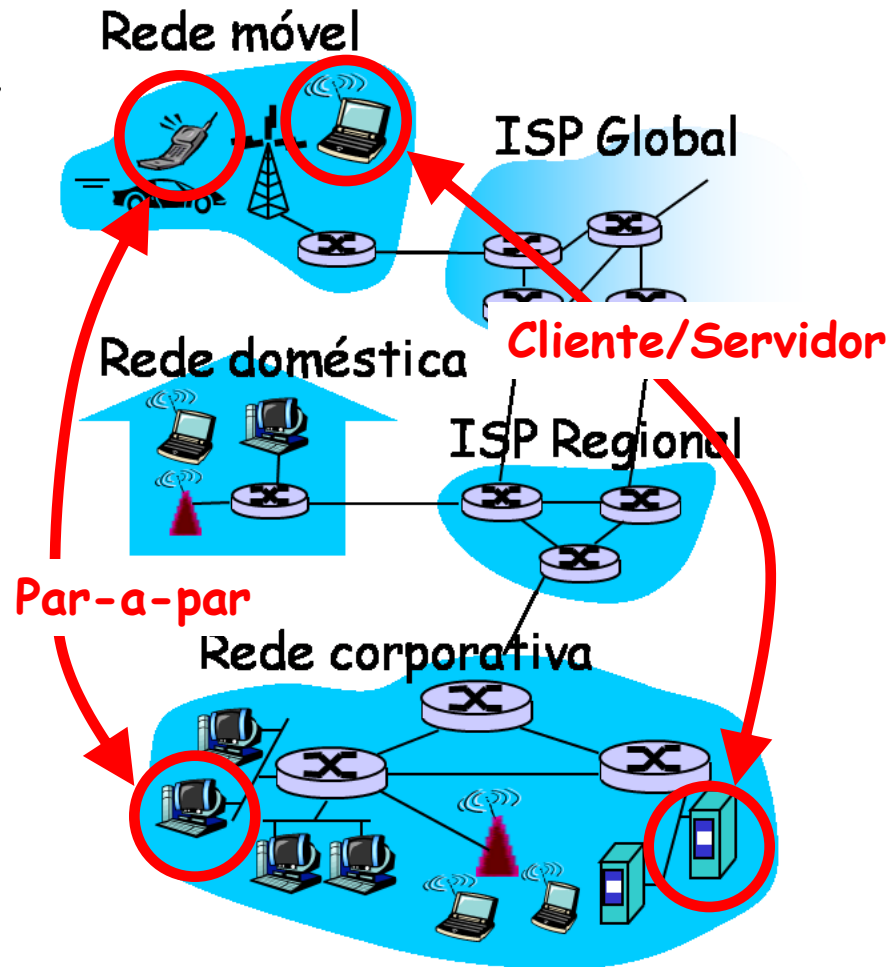
# Redes de Borda

- Estações hospedeiras (*hosts*) ou sistemas finais
  - Sistemas finais: Encontram-se na borda da rede
    - Podem ser tanto clientes quanto servidores
  - Hospedeiros: Executam os programas de aplicação
    - ex., WWW, email



# Redes de Borda

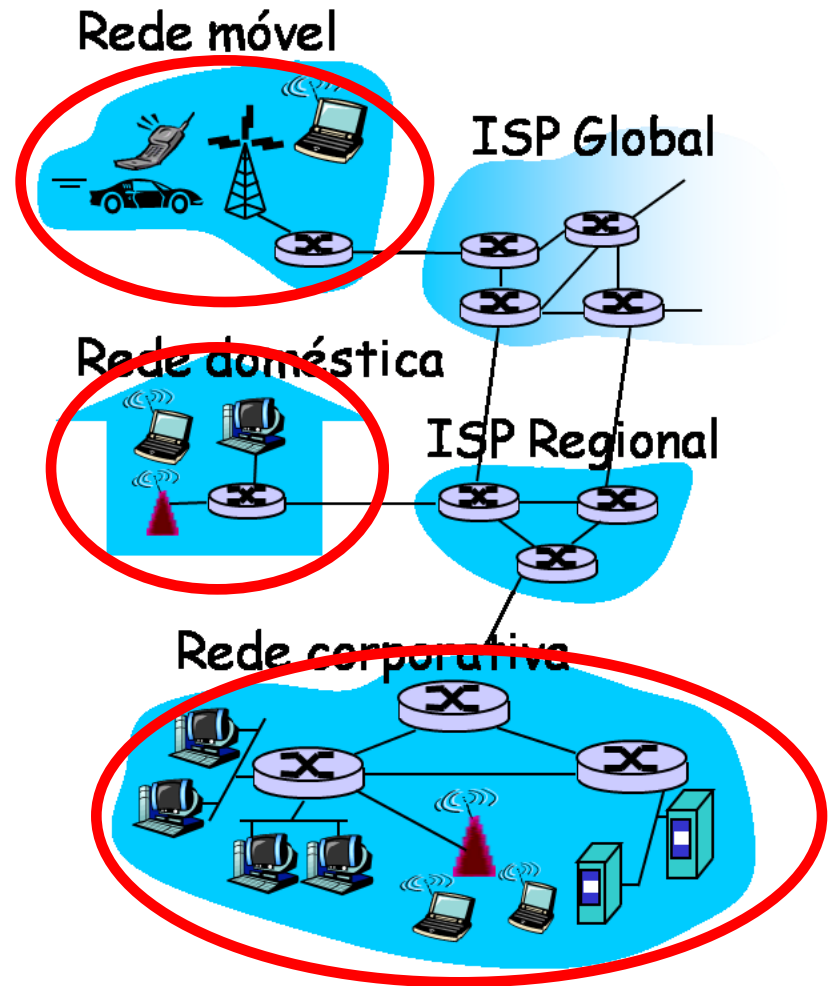
- Modelo de comunicação entre estações finais:
  - Modelo cliente/servidor
    - Cliente faz pedidos que são atendidos pelos servidores
    - Ex.: cliente Web (browser)/servidor e cliente/servidor de e-mail
  - Modelo par-a-par (P2P)
    - Uso mínimo (ou nenhum) de servidores dedicados
    - Ex.: Skype, BitTorrent





# Redes de Borda

- Redes de acesso
  - Conectam um sistema final ao primeiro roteador (roteador de borda)
  - Redes domiciliares
  - Redes de acesso corporativo
  - Redes de ensino e pesquisa
  - Redes de universidades
  - Etc.



# Acesso Ponto-a-Ponto

- Acesso discado via modem (*dialup*)
  - Acesso ao roteador do provedor de serviço em até 56 kb/s
  - Não é possível acessar a Internet e telefonar ao mesmo tempo
- DSL (*Digital Subscriber Line*)
  - Banda de até algumas dezenas de MHz
  - Algumas tecnologias possibilitam o uso da linha telefônica em paralelo
  - Taxas de até dezenas de Mb/s

# Redes Sem-Fio

- Tecnologia muito popular
  - Facilidade de instalação
  - Baixo custo
- Mobilidade
- Problema de segurança

# Redes Sem-Fio

- Propagação do sinal pelo ar
  - Atenuação significativa
  - Características do canal podem variar
    - Condições do tempo
    - Número de obstáculos entre o emissor e o receptor
  - Múltiplos caminhos
  - Ambiente hostil
    - Taxa de erro binária bem maior do que em uma rede Ethernet

# Redes Sem-Fio

- Ethernet
  - Colisões detectadas
- Redes sem-fio
  - Não usam detecção de colisão como no CSMA/CD
    - Grande diferença da potência entre o sinal transmitido e o sinal recebido
      - Difícil separação de sinal e ruído
      - Difícil separação do que é transmissão e o que é recepção no transmissor
    - Nem todas as estações escutam as outras
      - Atenuação grande e variável
      - Terminal escondido

# Redes Domiciliares

- Definição
  - “Sistema de comunicação que visa a interconexão de dispositivos encontrados em residências e que tem como objetivo a comunicação, o conforto, a economia de energia, a segurança, a assistência e o lazer”
- Duas correntes representadas por
  - Nova revolução através da automação residencial
    - Ex.: Casa inteligente (Jetsons)
      - Robôs, dispositivos ativados por comandos de voz etc.
  - Benefícios mais imediatos e práticos
    - Ex.: Compartilhamento de arquivos, recursos etc.

# Dispositivos Conectados

- Atualmente...
  - Computadores pessoais e seus periféricos
  - Televisores, vídeo-cassetes, aparelhos de DVD, telefones e outros eletrodomésticos
  - Sensores e câmeras
- No futuro
  - Inteligência embarcada para compartilhamento de dados a alta velocidade
  - **Cidades Inteligentes e Internet das Coisas**

# Aplicações de Redes Domiciliares

- Monitoramento, automação e controle
- Compartilhamento de equipamentos, recursos e **acesso à Internet**
- Comunicação
- Entretenimento



# Tecnologias de Redes Domiciliares

- Diversos produtos e tecnologias ofertados para oferecer recursos de rede e acesso à Internet
  - Diferentes requisitos de aplicações de redes domiciliares
  - Difícil prever qual solução melhor se adapta às redes domiciliares
- Três tipos de redes
  - Com fio
  - Sem fio
  - **Sem novos fios**

# Tecnologias de Redes Domiciliares

- Com fio
  - Ethernet é a solução convencional
  - Maioria das casas não possui o cabeamento necessário
  - Custo de instalação do cabeamento é alto
- Sem fio
  - Enorme sucesso comercial
  - Problemas de desempenho, cobertura, garantia de qualidade de serviço e segurança

# Tecnologias de Redes Domiciliares

- Sem novos fios
  - Uso de uma infraestrutura já existente
    - TV a cabo
      - *Home Cable Network Alliance* criada em 2001
      - Falta de previsão para a criação de um padrão para redes domiciliares
    - Telefônica
      - *Home Phoneline Alliance* criada em 1998
      - Padrão HomePNA
    - Elétrica
      - *HomePlug Powerline Alliance* criada em 2000
      - Padrão HomePlug

# Redes de Núcleo

# Sistema Autônomos (ASes)

- Conjunto de redes e roteadores administrados por um grupo ou uma instituição comum
  - Cada instituição escolhe o seu próprio protocolo de roteamento interno
    - **Protocolo intradomínio**
  - Todas as instituições executam o mesmo protocolo de roteamento externo
    - **Protocolo interdomínio**



**O uso de um protocolo interdomínio comum é um requisito para que todos os Sistemas Autônomos mantenham conectividade**

# Crescimento da Internet

- A Internet cresceu aceleradamente
  - Maior complexidade de gerenciamento e administração
  - Atualizações de topologia se tornaram mais frequentes

## Internet



**A Internet foi dividida em diferentes Sistemas Autônomos (AS - *Autonomous System*)**

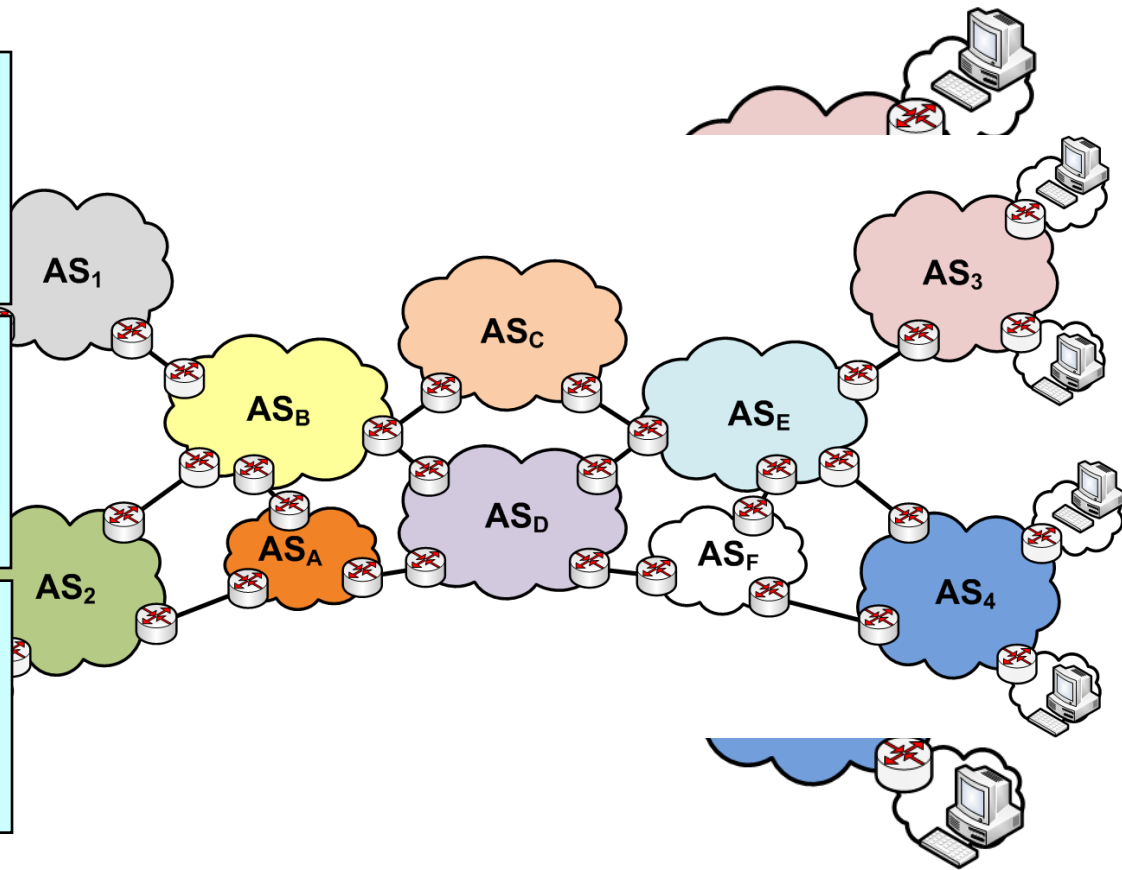
# Internet: "Rede de Redes"

- Composta por diferentes redes interconectadas
  - Protocolo de interconexão: **IP**

Redes administradas pela mesma instituição formam um AS

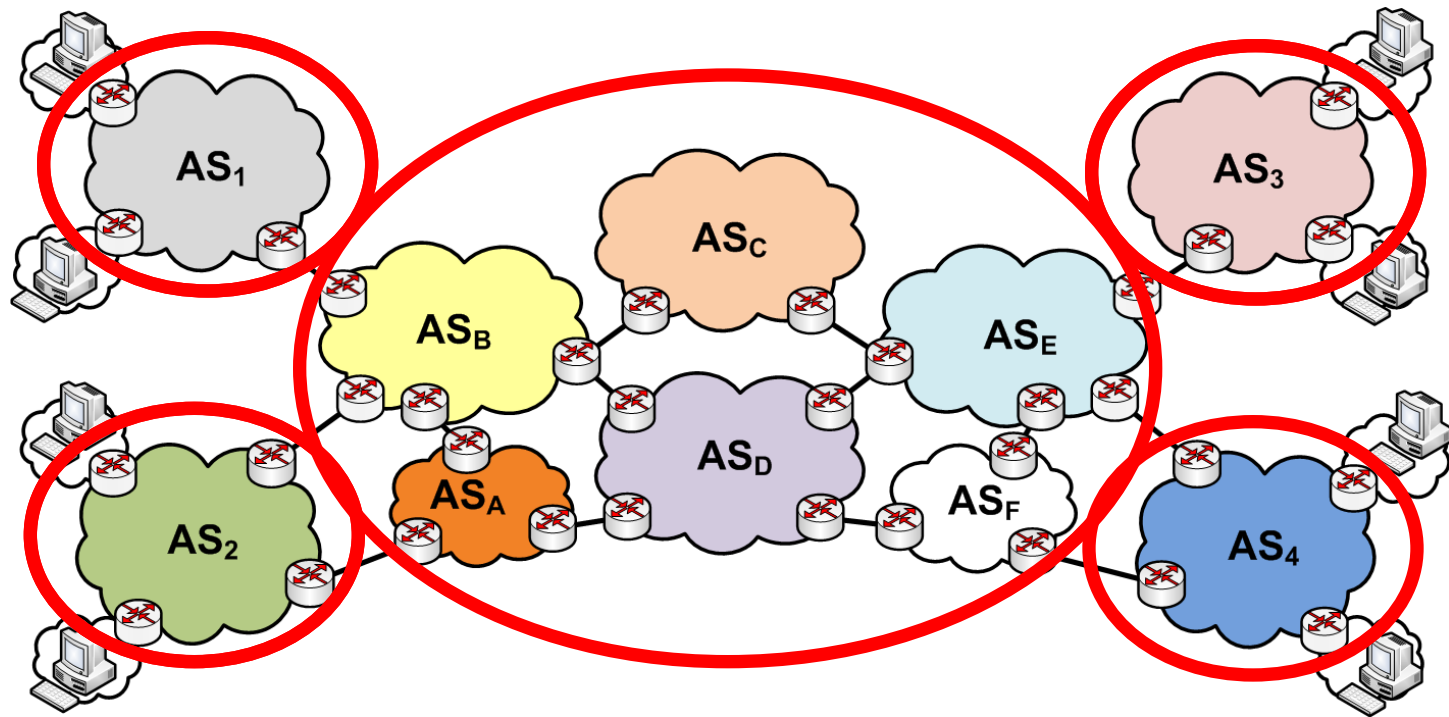
Cada AS tem o seu próprio protocolo intradomínio

Todos os ASes executam o mesmo protocolo interdomínio



# Classificação dos ASes

- Feita a partir da posição na topologia da Internet

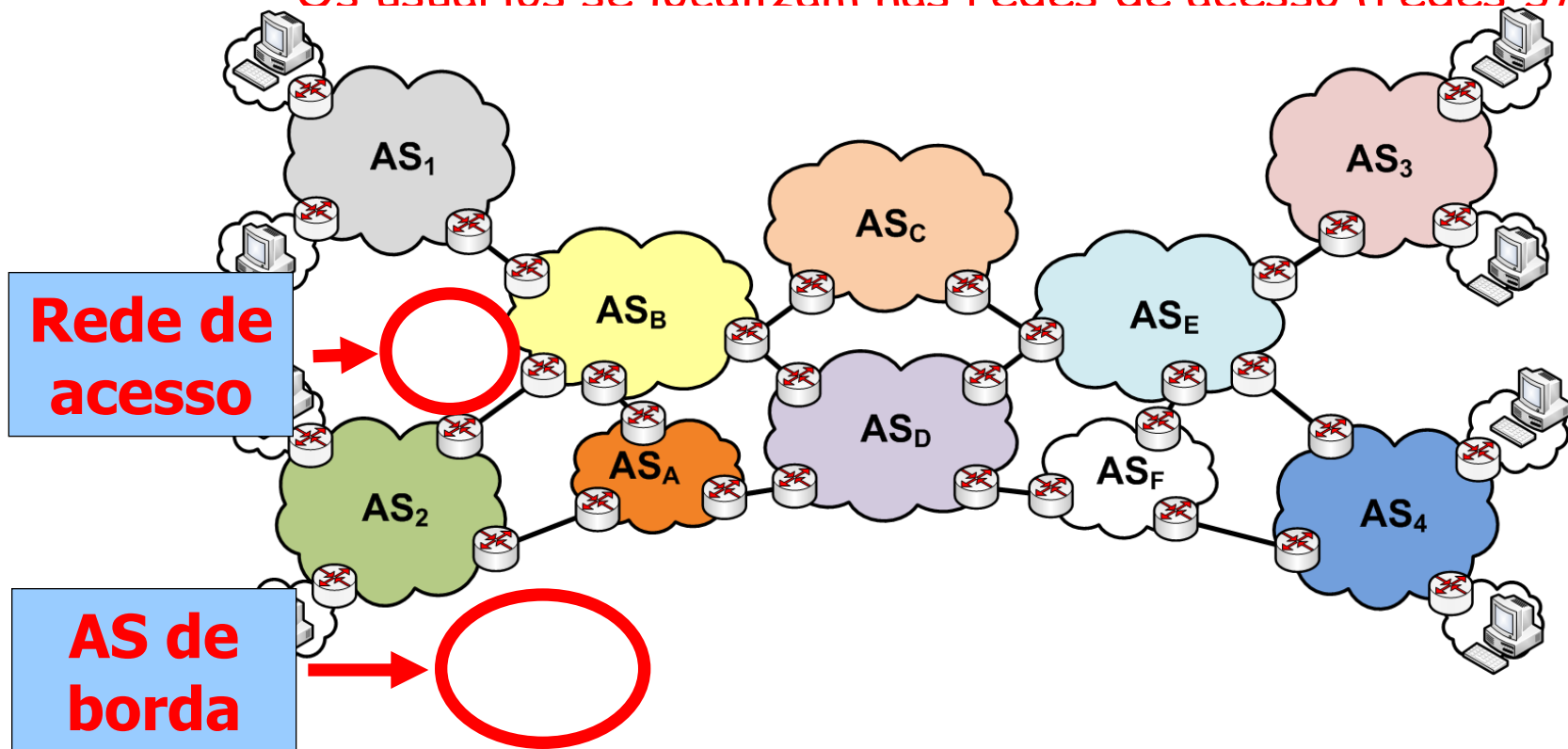


**ASes ASes que não estão conectados a usuários → ASes de trânsito**



# Classificação dos ASes

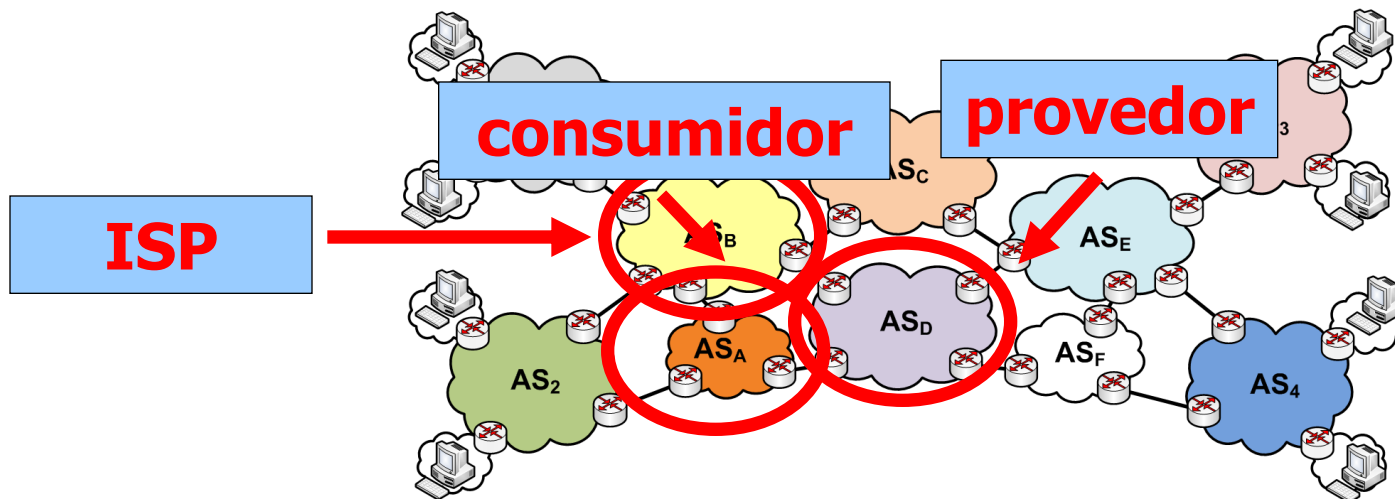
- ASes de borda ou provedores de acesso
  - Tarifam os usuários pelo acesso à Internet
  - Os usuários se localizam nas redes de acesso (*redes stub*)



# Classificação dos ASes

- ASes de trânsito
  - Não estão diretamente conectados a usuários
  - Encaminham dados entre ASes
  - Os ASes estabelecem acordos comerciais com os seus vizinhos
  - Responsáveis pelos ASes → ISP (*Internet Service Provider*)

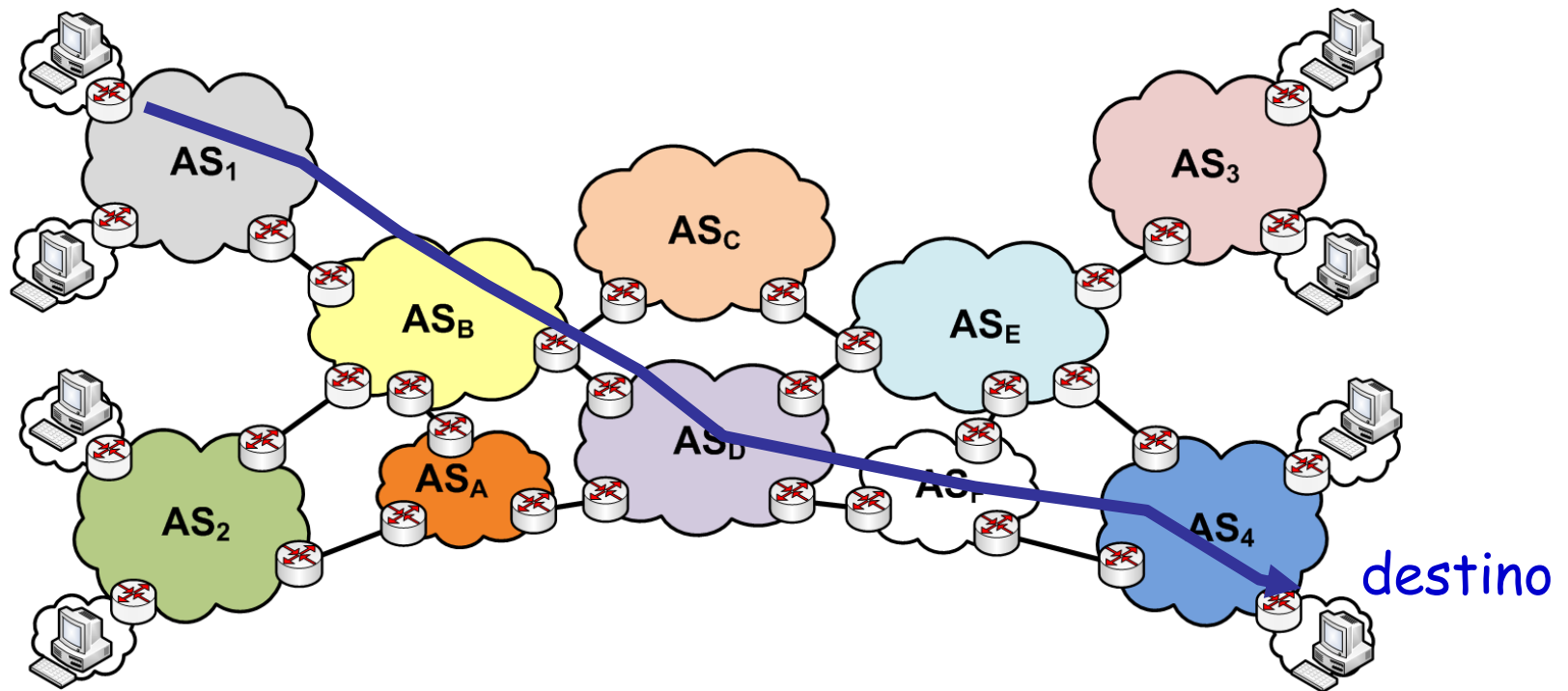
**“peering”**



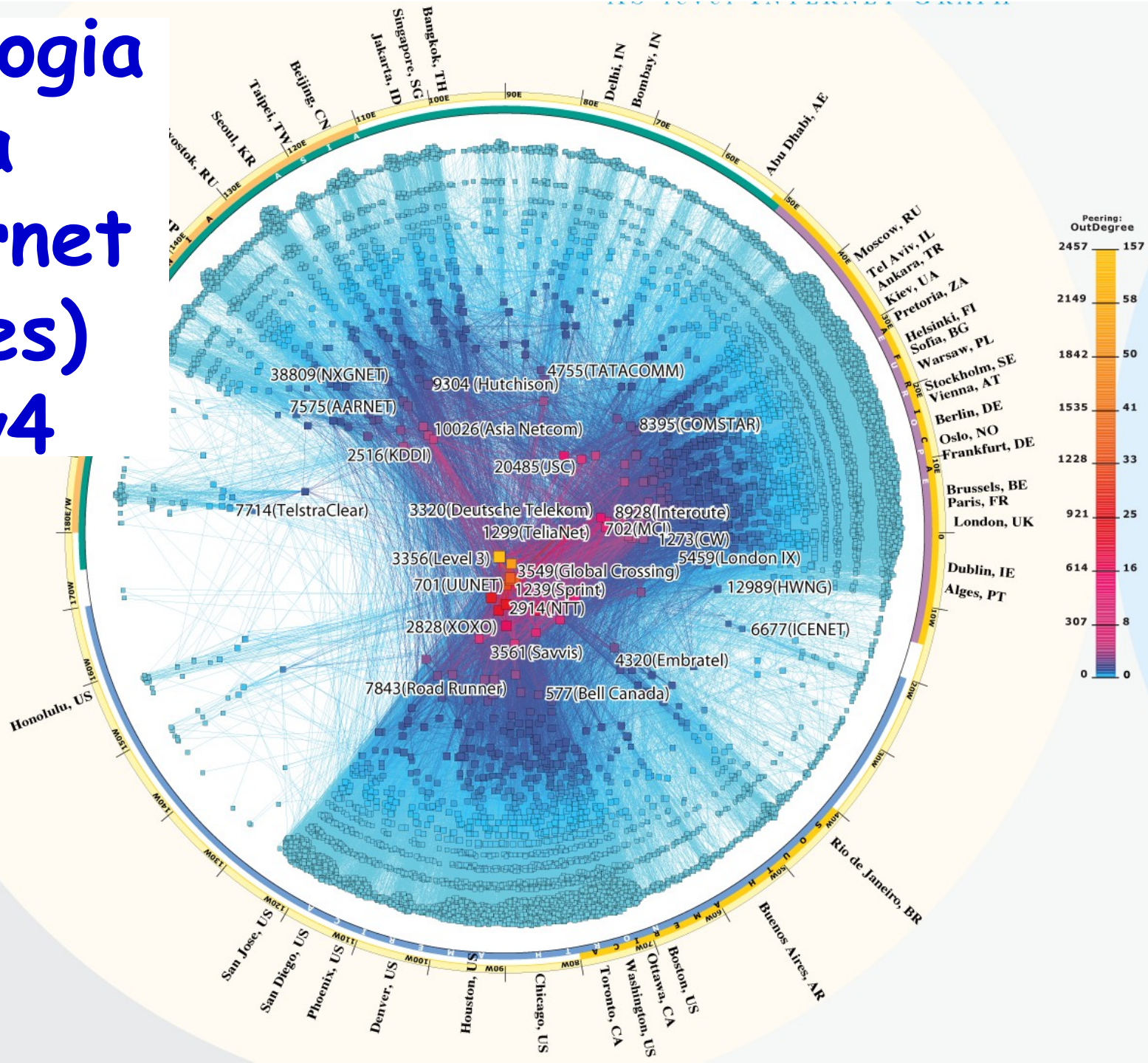
# "Rede de Redes"

**Um pacote atravessa diferentes redes**

origem

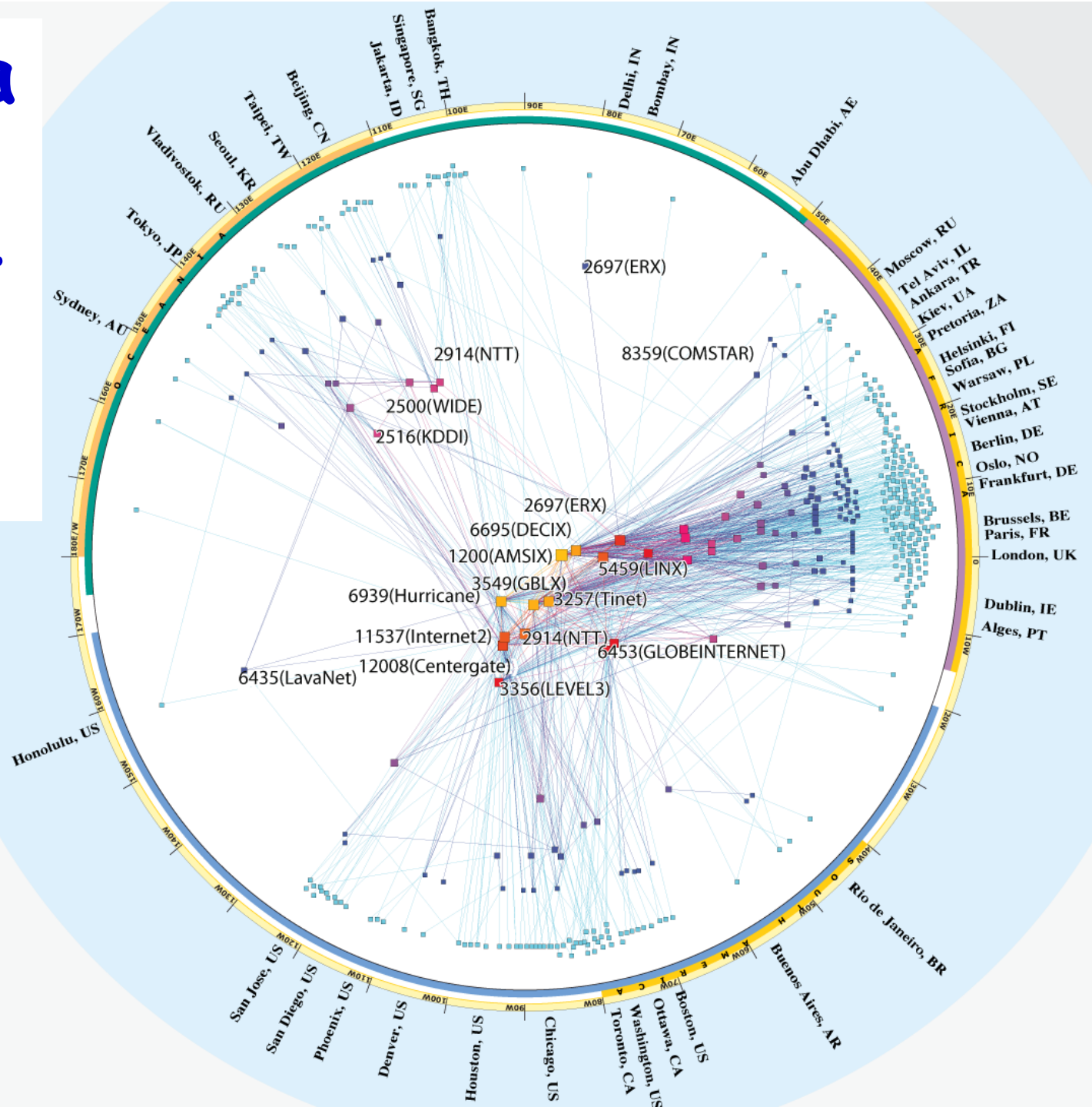
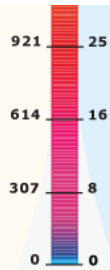


# Topologia da Internet (Ases) IPv4



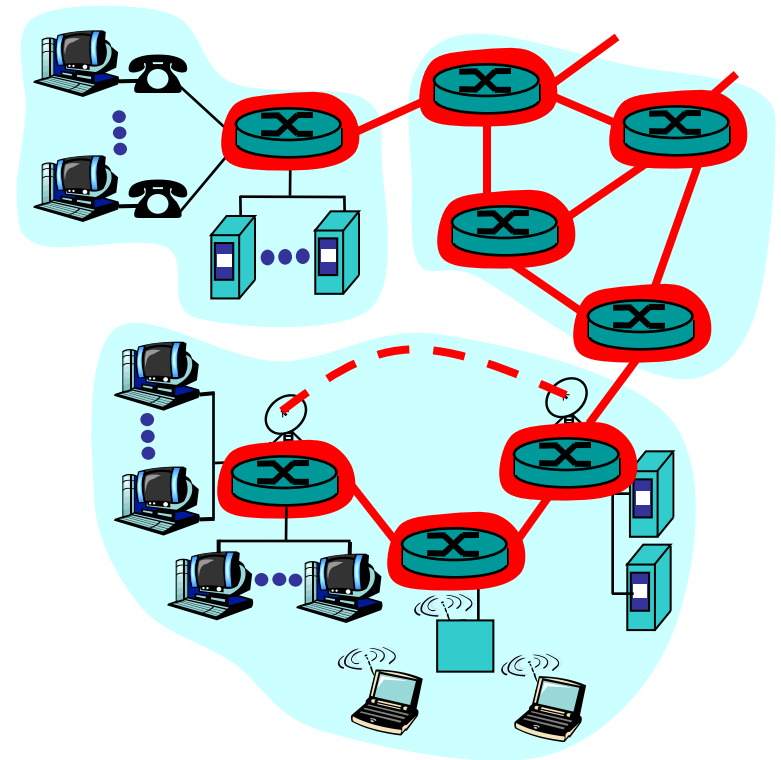


# Topologia da Internet (Ases) IPv6



# Transferência de Dados

- Núcleo da rede
  - Malha de roteadores interconectados
- Como os dados são transferidos através da rede?
  - Comutação de circuitos
    - Circuito dedicado por chamada: rede telefônica
  - Comutação de pacotes
    - Dados são enviados através da rede em pedaços discretos



# Transferência de Dados

- Núcleo da rede
  - Malha de roteadores interconectados
- Como os dados são transferidos através da rede?

- Comutação de circuitos

- Circuito dedicado
  - Conexão estabelecida antes da transmissão

- Comutação de pacotes

- Dados são enviados através da rede em pedaços discretos



**A Internet é uma rede de comutação de pacotes**

# Métricas

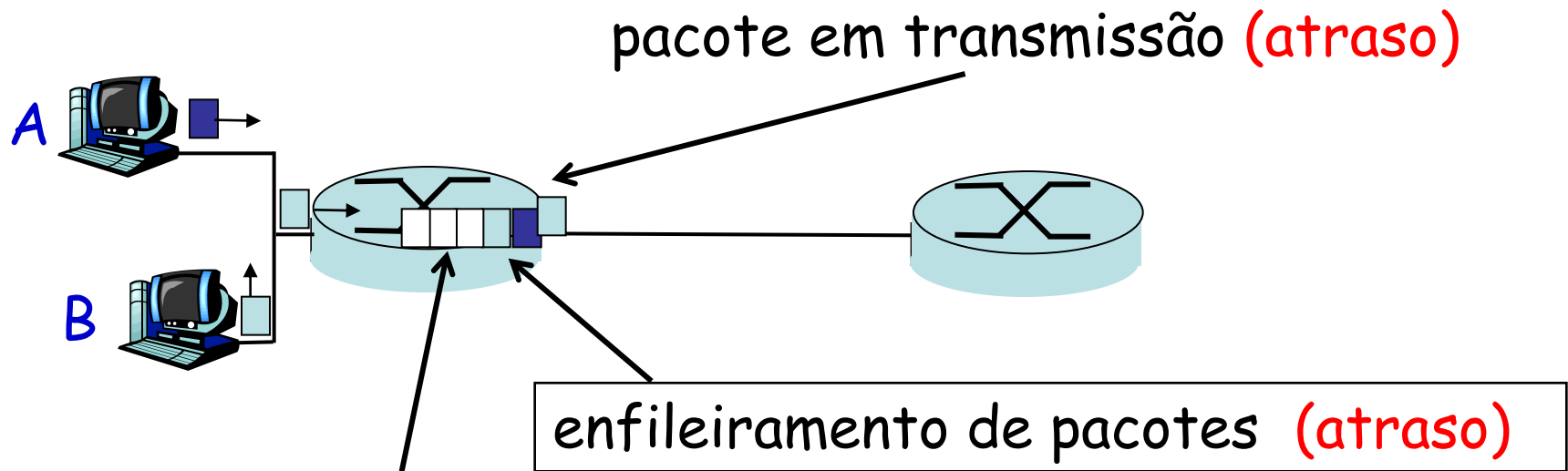
Avaliação do desempenho de uma rede



# Como Ocorrem Perdas e Atrasos?

- Pacotes são enfileirados nos *buffers* de um elemento encaminhador (ex. roteador)
  - Taxa de chegada ao elemento encaminhador é maior do que a capacidade de encaminhamento
    - Enlace de saída tem largura de banda menor que a necessária
    - Congestionamento na rede do enlace de saída
    - Problemas no hardware do encaminhador
- Caso os pacotes sejam enfileirados:
  - Eles devem esperar a vez

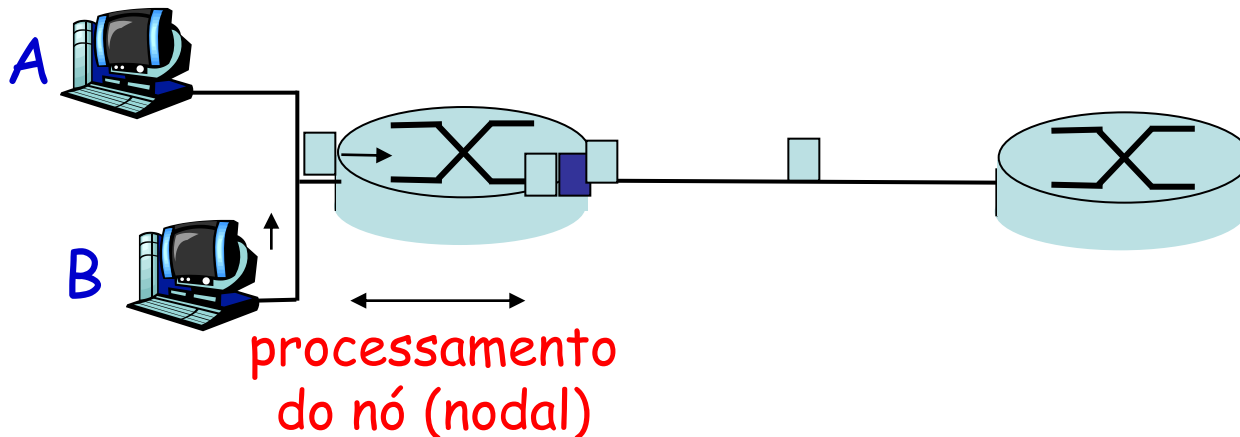
# Como Ocorrem Perdas e Atrasos?



*buffers* livres (disponíveis): pacotes que chegam são descartados (**perda**) se não houver *buffers* livres

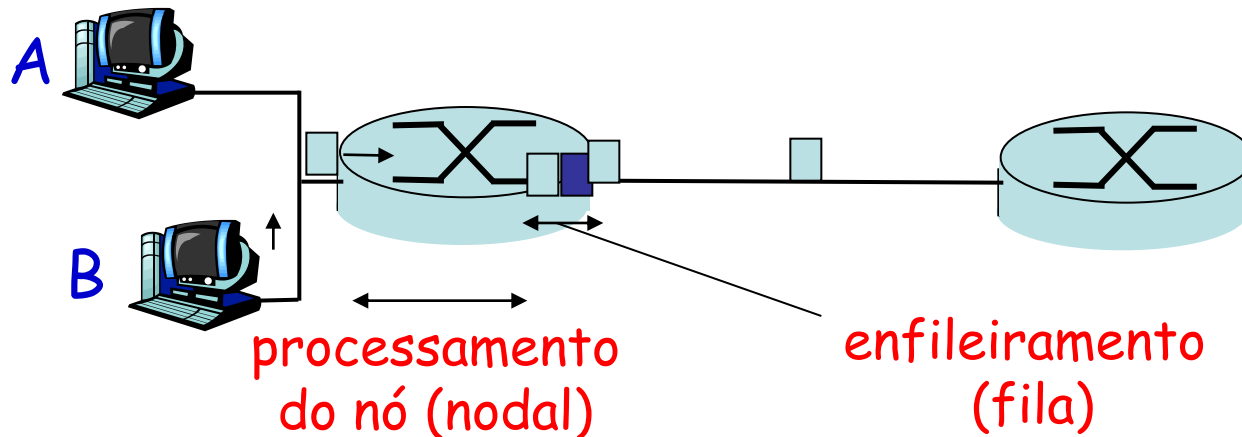
# Quatro Fontes de Atraso de Pacotes

- 1. Processamento do nó
  - Verificação de bits errados
  - Identificação do enlace de saída



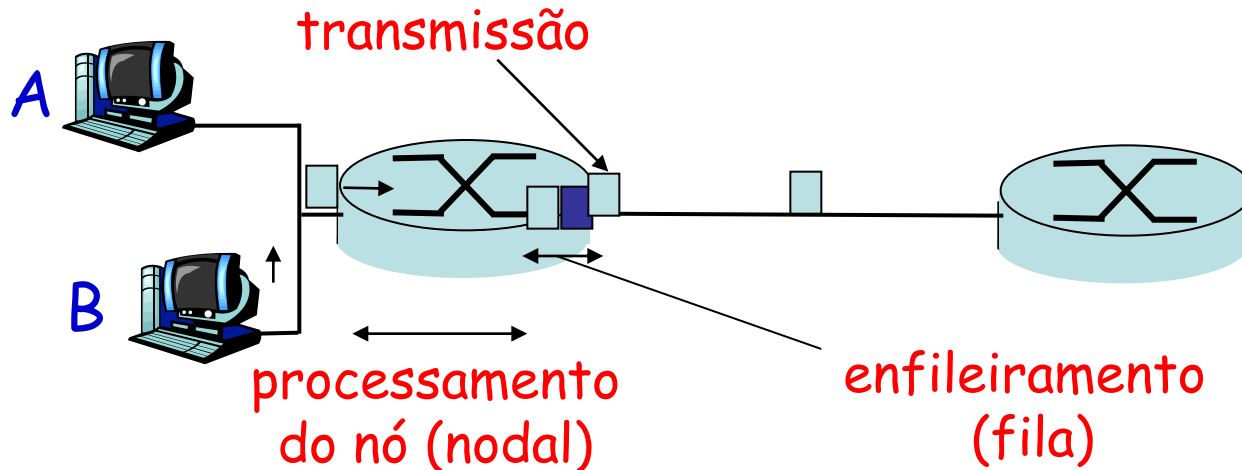
# Quatro Fontes de Atraso de Pacotes

- 2. Enfileiramento
  - Tempo de espera no enlace de saída até a transmissão
  - Depende do nível de congestionamento do roteador



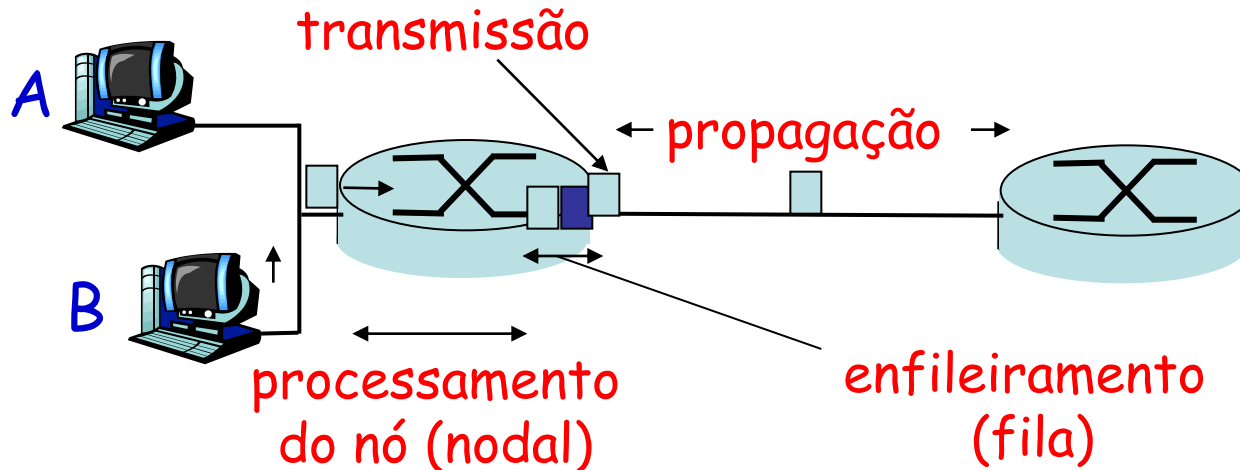
# Quatro Fontes de Atraso de Pacotes

- 3. Atraso de transmissão
  - $R$  = largura de banda do enlace (bits/s)
  - $L$  = comp. do pacote (bits)
  - tempo para enviar os bits no enlace =  $L/R$



# Quatro Fontes de Atraso de Pacotes

- 4. Atraso de propagação
  - $d$ =comprimento do enlace
  - $s$ =vel. de propagação no meio ( $\sim 2 \times 10^8$  m/s)
  - atraso de propagação= $d/s$



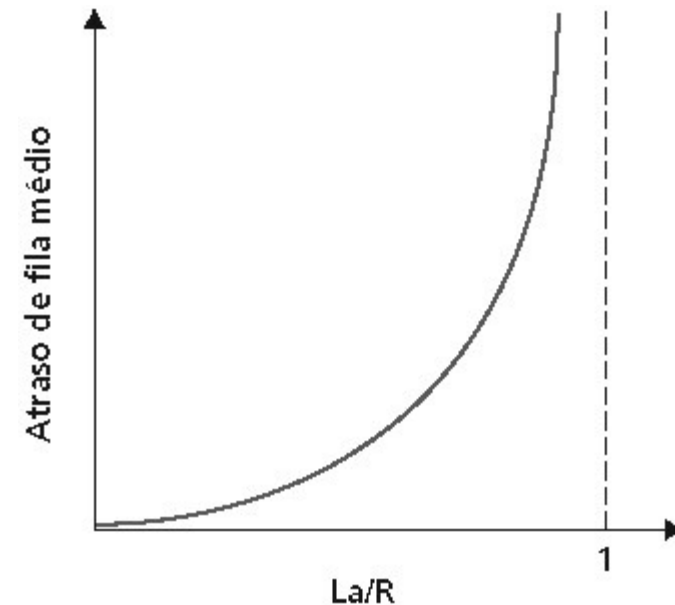
# Atraso por Nó

$$d_{\text{nó}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{fila}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

- $d_{\text{proc}}$  = atraso de processamento
  - Tipicamente de poucos microsecs ou menos
- $d_{\text{fila}}$  = atraso de enfileiramento
  - Depende do congestionamento
- $d_{\text{trans}}$  = atraso de transmissão
  - $L/R$ , significativo para canais de baixa velocidade
- $d_{\text{prop}}$  = atraso de propagação
  - Poucos microsecs a centenas de msecs

# Atraso de Enfileiramento

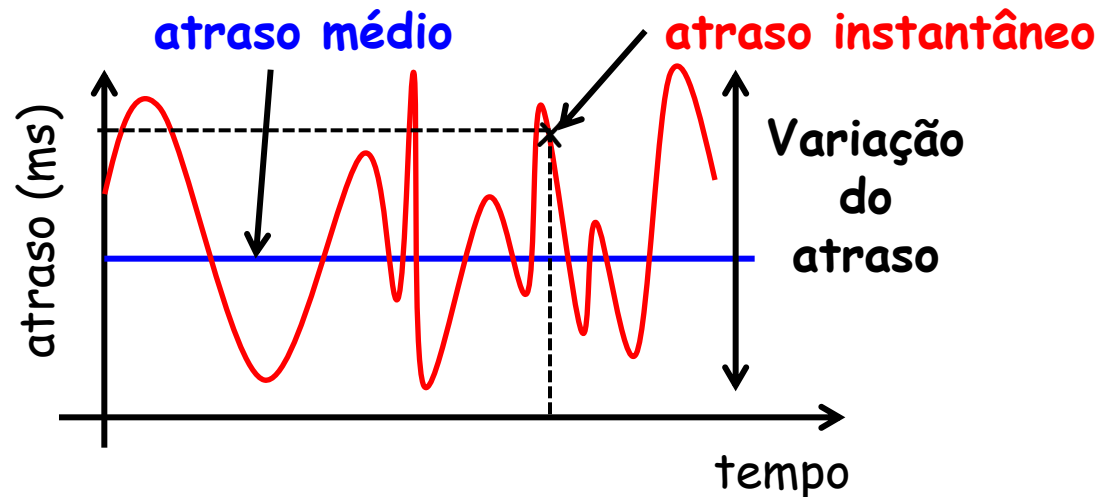
- Considerando que:
  - $R$  = larg. de banda do enlace (bits/s)
  - $L$  = compr. do pacote (bits)
  - $a$  = tx. média de chegada de pacotes
- Intensidade de tráfego =  $\lambda a / R$ 
  - $\lambda a / R \sim 0$ : Pequeno atraso de enfileiramento
  - $\lambda a / R \rightarrow 1$ : Grande atraso
  - $\lambda a / R > 1$ : Chega mais "trabalho" do que a capacidade de atendimento, atraso médio infinito!





# Jitter

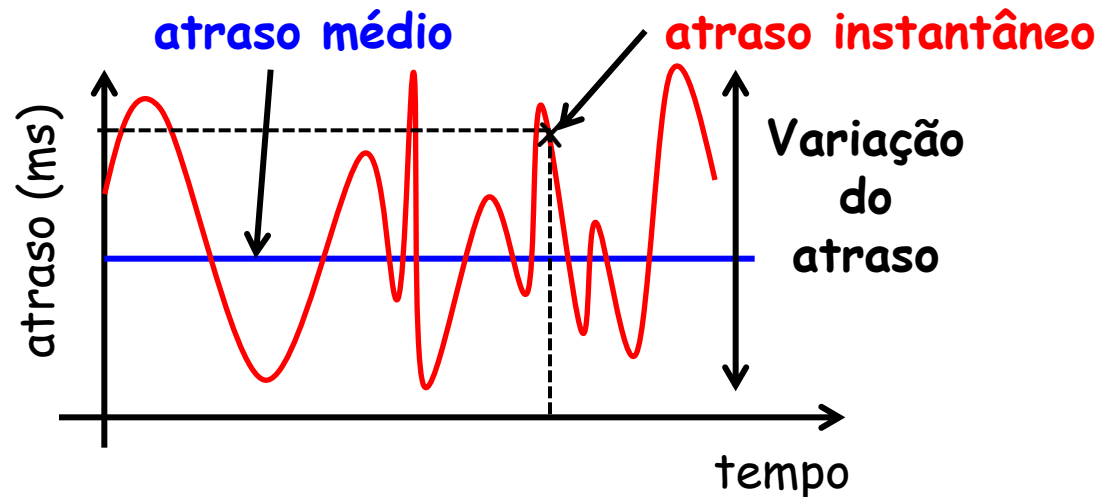
- Variação do atraso dos pacotes de um mesmo fluxo de dados
  - Prejudicial principalmente para aplicações multimídia, ex. streaming de vídeo
    - **Players: Removem jitter com armazenamento em buffer**



# Jitter

- Variação do atraso dos pacotes de um mesmo fluxo de dados
  - Pode ser calculado como desvio padrão do atraso: *jitter*

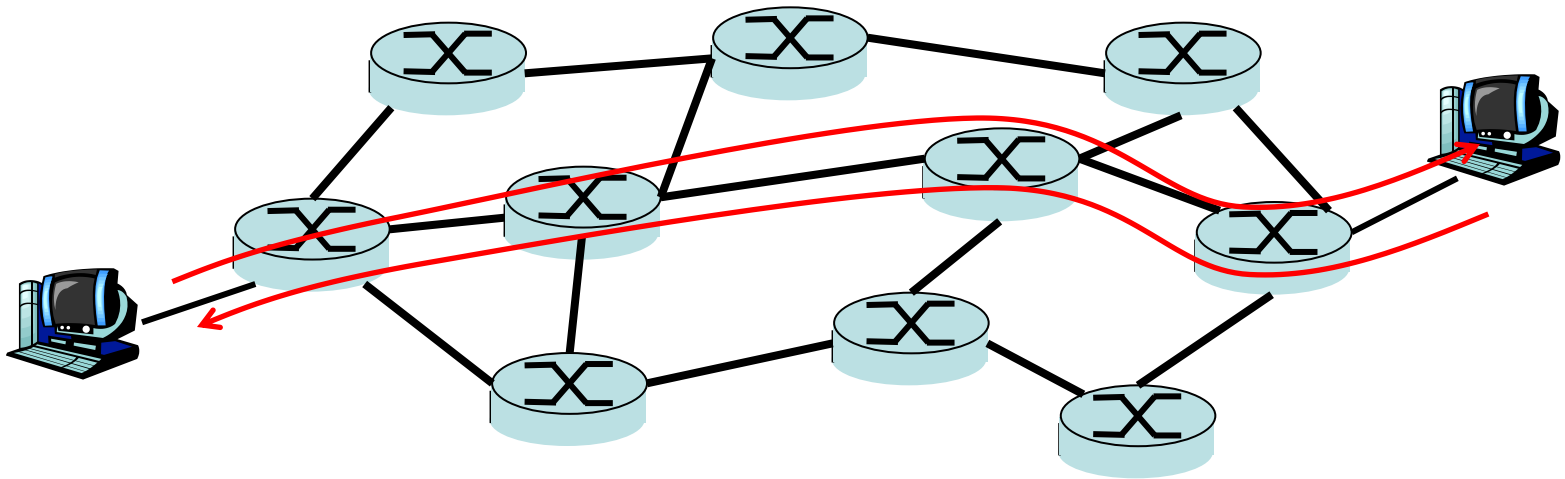
$$= \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$



# Tempo de Ida e Volta

- Calcular atraso fim-a-fim é complexo
  - Requer sincronismo de relógios entre origem e destino
- Tempo de ida e volta (RTT - *Round Trip Time*)
  - Tempo que um pacote leva para chegar no destino e voltar até a origem
    - Calculado somente pelo nó de origem
      - Problema de sincronismo é evitado

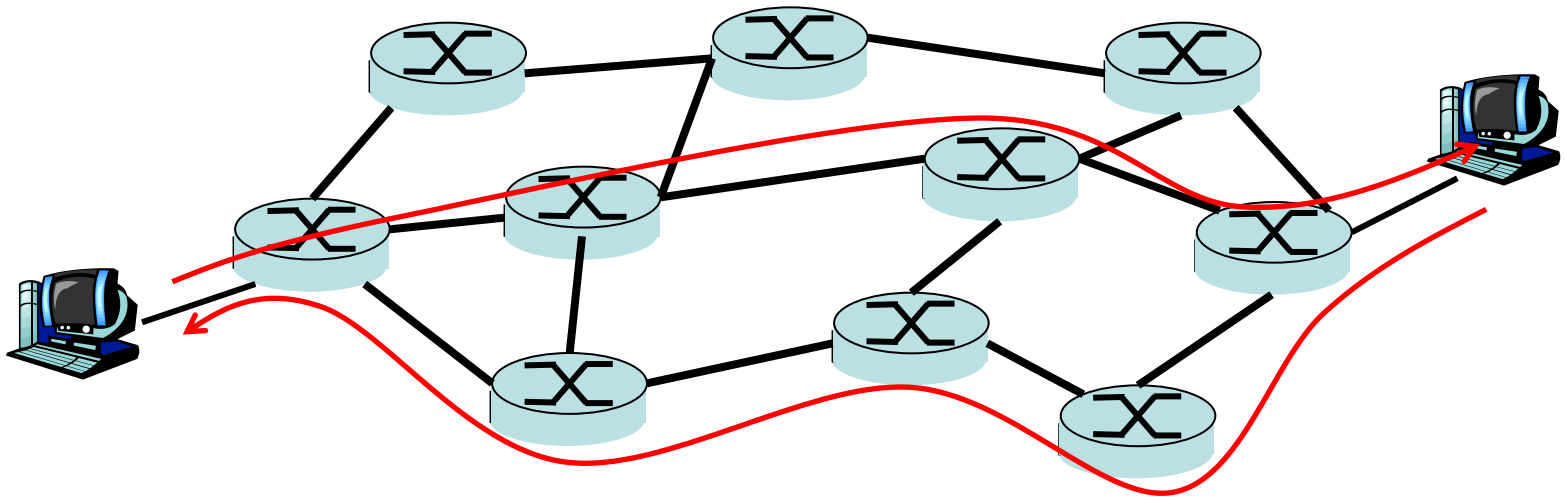
# Tempo de Ida e Volta



**RTT =** +

# Tempo de Ida e Volta

- Atraso fim-a-fim  $\cong \text{RTT}/2$ 
  - Ida e volta podem passar por caminhos diferentes



# Tempo de Ida e Volta

- Ferramenta ping:
  - Apresenta o RTT para um dado destino

```
itaqua:~> ping -c 10 www.google.com.br
PING www.google.com.br (173.194.42.143) 56(84) bytes of data.
64 bytes from rio0ls05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=1 ttl=51 time=2.05 ms
64 bytes from rio0ls05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=2 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from rio0ls05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=3 ttl=51 time=1.71 ms
64 bytes from rio0ls05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=4 ttl=51 time=2.85 ms
64 bytes from rio0ls05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=5 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from rio0ls05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=6 ttl=51 time=1.67 ms
64 bytes from rio0ls05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=7 ttl=51 time=1.73 ms
64 bytes from rio0ls05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=8 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from rio0ls05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=9 ttl=51 time=1.77 ms
64 bytes from rio0ls05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=10 ttl=51 time=1.85 ms

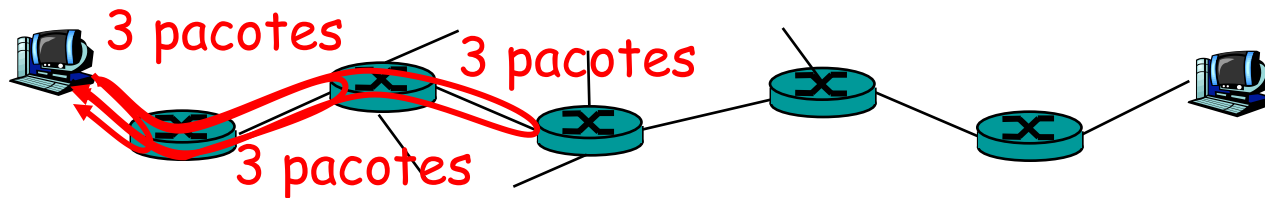
--- www.google.com.br ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 9015ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.679/1.883/2.859/0.345 ms
```

**RTT médio foi calculado baseado em 10 amostras**

# Traceroute/Tracert

- Fornece medições de RTT da fonte até cada um dos roteadores ao longo do caminho até o destino
  - Envia três pacotes que alcançarão o roteador  $i$  no caminho até o destino
  - O roteador  $i$  devolverá um pacote de erro até o transmissor
  - O transmissor calcula o intervalo de tempo decorrido entre a transmissão e a chegada da resposta

# Traceroute/Tracert





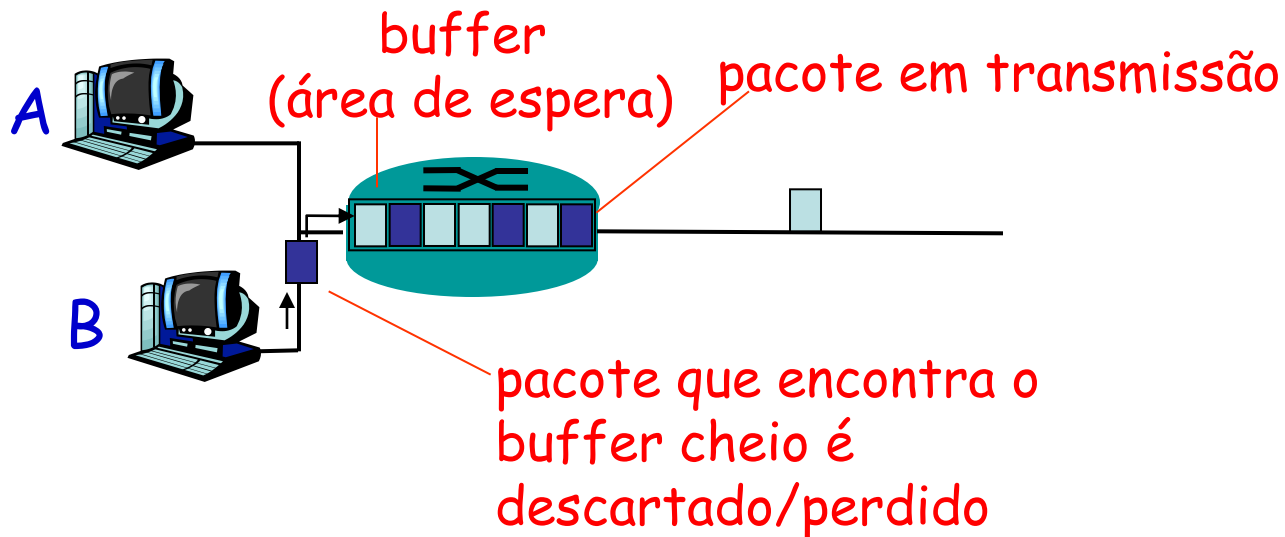
# Traceroute/Tracert

```
itagua:~> traceroute www.google.com.br
traceroute to www.google.com.br (74.125.234.55), 30 hops max, 60 byte packets
 1 192.168.1.1 (192.168.1.1) 0.362 ms 0.363 ms 0.417 ms
 2 angra.gta.ufrj.br (146.164.69.129) 0.934 ms 1.808 ms 1.812 ms
 3 146.164.6.193 (146.164.6.193) 1.809 ms 1.976 ms 1.979 ms
 4 rt-ufrj.ufrj.br (146.164.1.193) 2.028 ms 2.028 ms 2.096 ms
 5 giga-bgp-cbpf.rederio.br (200.20.94.58) 9.453 ms 9.456 ms 9.643 ms
 6 xe-0-3-1.ar2.gig1.gblx.net (64.214.61.249) 8.981 ms 7.644 ms 7.669 ms
 7 po5.asr1.GRU1.gblx.net (67.16.130.58) 16.185 ms po3.asr1.GRU1.gblx.net (67.16.139.166) 16.182 ms po5.asr1.GRU1.gblx.net (67.16.130.58) 15.969 ms
 8 google-1.ar5.gru1.gblx.net (64.208.110.102) 16.448 ms 16.922 ms 16.987 ms
 9 209.85.243.200 (209.85.243.200) 16.863 ms 16.371 ms 16.906 ms
10 209.85.251.99 (209.85.251.99) 16.603 ms 14.413 ms 13.900 ms
11 gru03s06-in-f23.1e100.net (74.125.234.55) 14.418 ms 19.263 ms 19.811 ms
itagua:~>
```

# Perda de Pacotes

- Fila (*buffer*) anterior a um enlace possui capacidade finita
- Quando um pacote chega numa fila cheia, o pacote é descartado (perdido)
- O pacote perdido pode ser retransmitido pelo nó anterior, pelo sistema origem, ou não ser retransmitido

# Perda de Pacotes



# Perda de Pacotes

- Ferramenta ping:
  - Apresenta descontinuidade nos números de sequência quando pacotes são perdidos

```
itaqua:~> ping -c 20 www.google.com.br
PING www.google.com.br (173.194.42.152) 56(84) bytes of data:
64 bytes from rio01s05-in-f24.1e100.net (173.194.42.152): icmp_req=1 ttl=51 time=1.77 ms
64 bytes from rio01s05-in-f24.1e100.net (173.194.42.152): icmp_req=2 ttl=51 time=1.68 ms
64 bytes from rio01s05-in-f24.1e100.net (173.194.42.152): icmp_req=3 ttl=51 time=2.47 ms
```

**Taxa de perda (Tp) foi calculada baseado em 20 amostras. Para encontrar a taxa de entrega (Te) basta subtrair a taxa de perda de 1, sendo assim:**

$$Te = 1 - Tp = 55\%$$

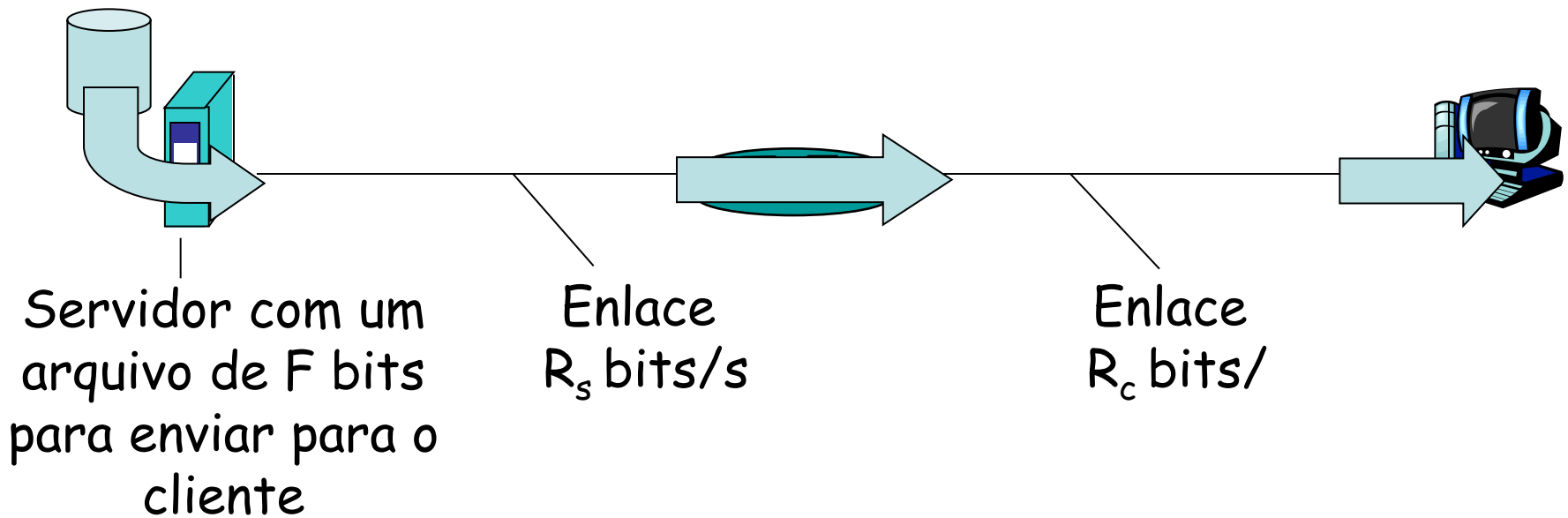
```
64 bytes from rio01s05-in-f24.1e100.net (173.194.42.152): icmp_req=17 ttl=51 time=1.77 ms
64 bytes from rio01s05-in-f24.1e100.net (173.194.42.152): icmp_req=18 ttl=51 time=1.65 ms
64 bytes from rio01s05-in-f24.1e100.net (173.194.42.152): icmp_req=19 ttl=51 time=1.74 ms
64 bytes from rio01s05-in-f24.1e100.net (173.194.42.152): icmp_req=20 ttl=51 time=1.69 ms

--- www.google.com.br ping statistics ---
20 packets transmitted, 11 received, 45% packet loss, time 19013ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.634/1.783/2.473/0.229 ms
```

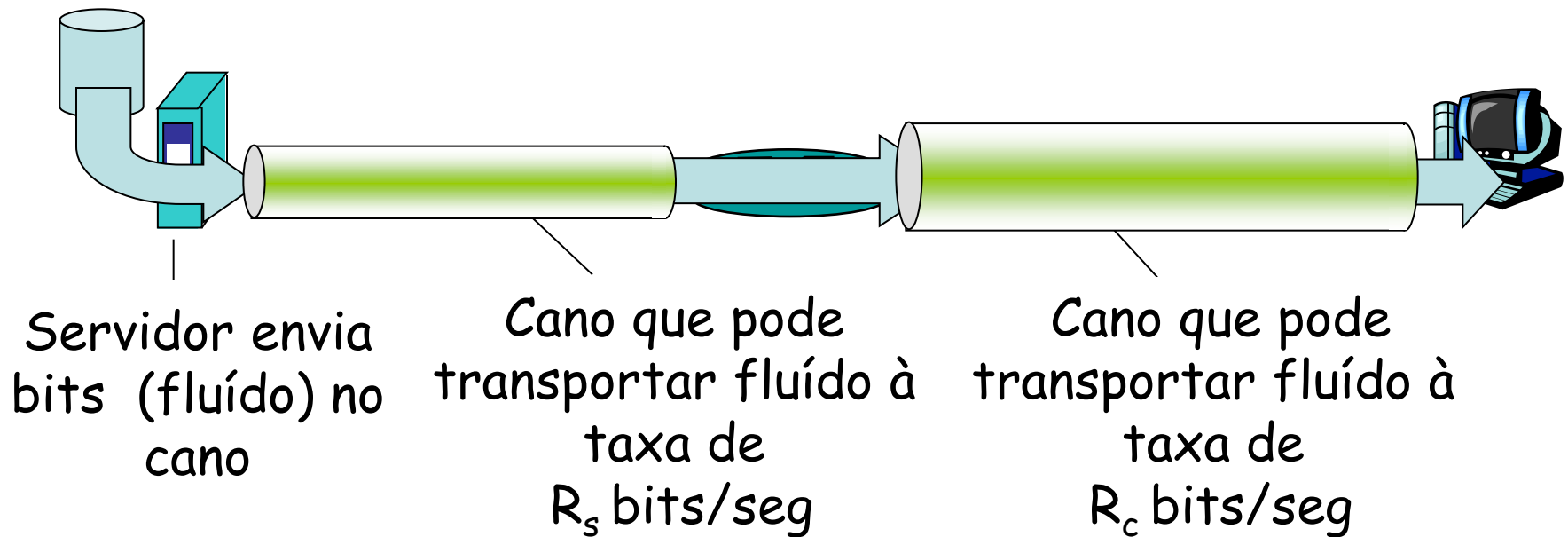
# Vazão (*Throughput*)

- Taxa na qual os bits são transferidos entre o transmissor e o receptor
  - Dada em bits/unidade de tempo
  - Instantânea: taxa num certo instante de tempo
  - Média: taxa num intervalo de tempo

# Vazão (*Throughput*)

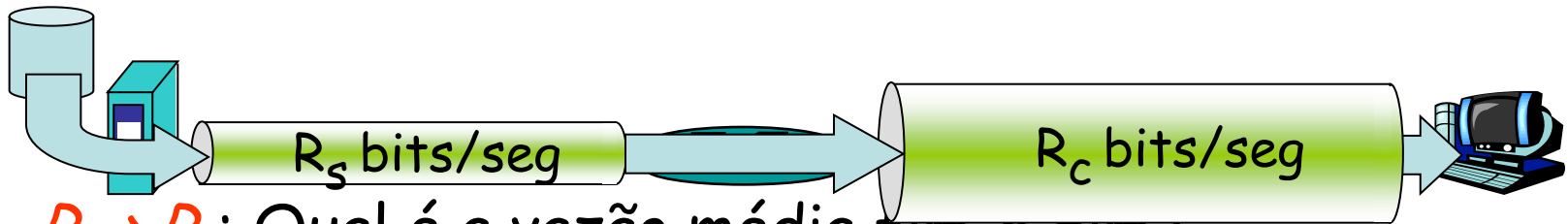


# Vazão (*Throughput*)

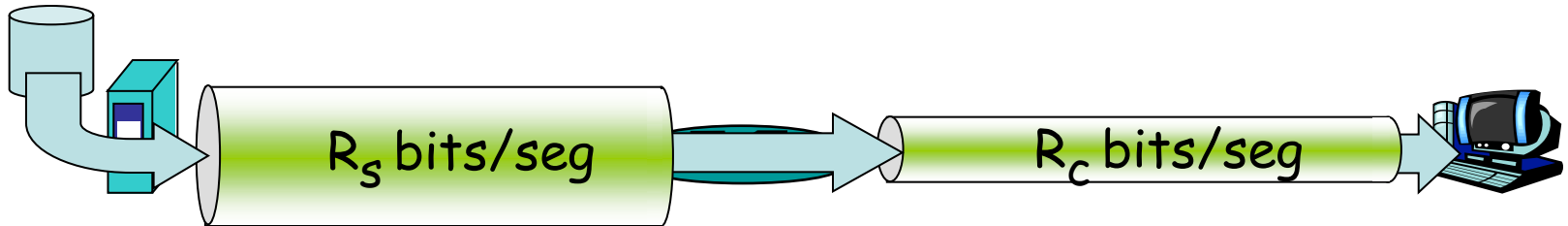


# Vazão (*Throughput*)

- $R_s < R_c$ : Qual é a vazão média fim-a-fim?



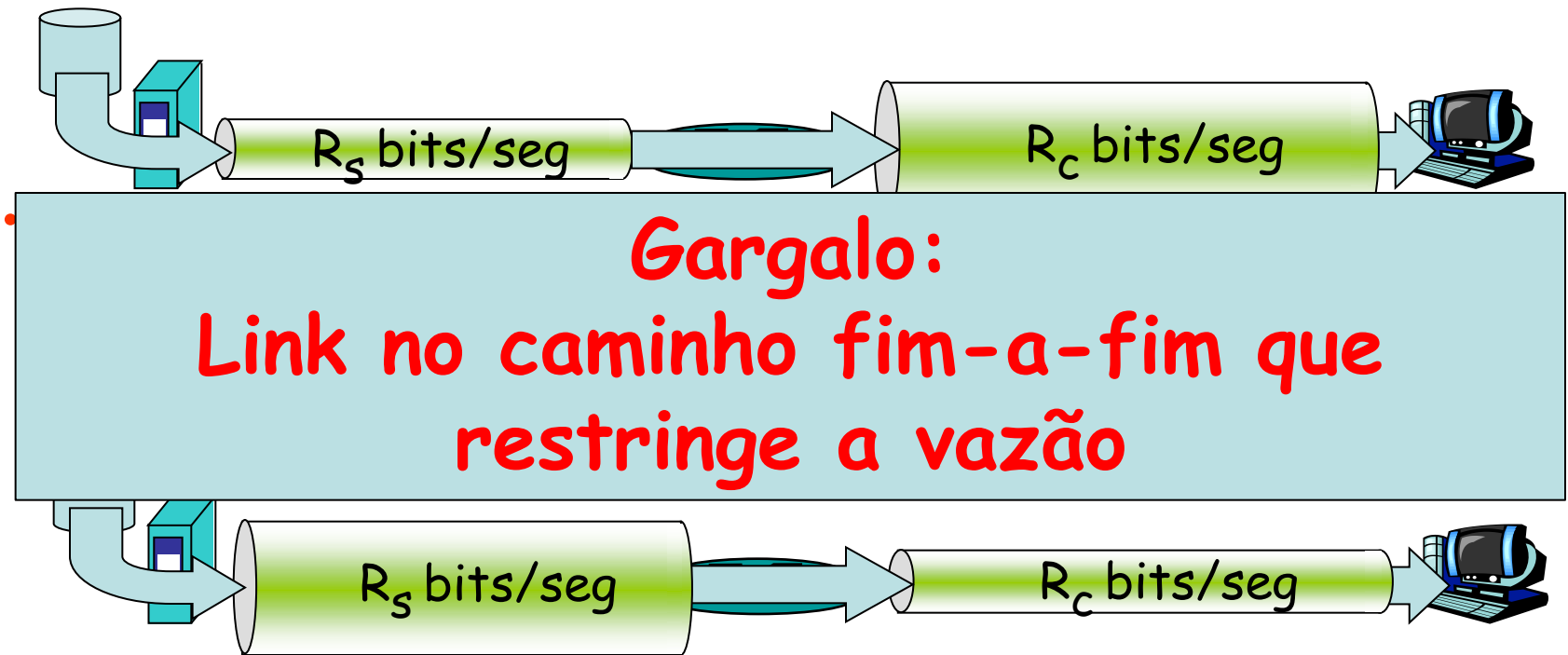
- $R_s > R_c$ : Qual é a vazão média fim-a-fim?





# Vazão (*Throughput*)

- $R_s < R_c$  : Qual é a vazão média fim-a-fim?



# Vazão (*Throughput*)

- Ferramenta `ping`:
  - Como calcular a vazão no exemplo abaixo?

```
itaqua:~> ping -c 10 www.google.com.br
PING www.google.com.br (173.194.42.143) 56(84) bytes of data.
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=1 ttl=51 time=2.05 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=2 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=3 ttl=51 time=1.71 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=4 ttl=51 time=2.85 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=5 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=6 ttl=51 time=1.67 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=7 ttl=51 time=1.73 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=8 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=9 ttl=51 time=1.77 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=10 ttl=51 time=1.85 ms

--- www.google.com.br ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 9015ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.679/1.883/2.859/0.345 ms
```

# Vazão (*Throughput*)

- Ferramenta ping:
  - Como calcular a vazão no exemplo abaixo?

```
itaqua:~> ping -c 10 www.google.com.br
PING www.google.com.br (173.194.42.143) 56(84) bytes of data:
64 bytes from rio0ls05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=1 ttl=51 time=2.05 ms
64 bytes from rio0ls05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=2 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from rio0ls05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=3 ttl=51 time=1.71 ms
64 bytes from rio0ls05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=4 ttl=51 time=2.85 ms
64 bytes from rio0ls05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=5 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from rio0ls05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=6 ttl=51 time=1.67 ms
64 bytes from rio0ls05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=7 ttl=51 time=1.73 ms
64 bytes from rio0ls05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=8 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from rio0ls05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=9 ttl=51 time=1.77 ms
64 bytes from rio0ls05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=10 ttl=51 time=1.85 ms

--- www.google.com.br ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 9015ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.679/1.883/2.859/0.345 ms
```

$$\text{Vazão} = 10 \cdot 64 \cdot 8 / 9,015 = 567,9 \text{ bits/s}$$

# Exercícios

- Execute o comando `iperf` para o endereço `127.0.0.1` e calcule a vazão
  - Comando no servidor:
    - `iperf -s`
  - Comando no cliente
    - `iperf -c 127.0.0.1`

# Exercícios

- Execute o comando `iperf` para o endereço `127.0.0.1` e calcule a vazão, *usando agora uma rajada UDP*
  - Comando no servidor:
    - `iperf -s -u`
  - Comando no cliente
    - `iperf -c 127.0.0.1 -u`

# Exercícios

- Execute o comando `iperf` para o endereço `127.0.0.1` e calcule a vazão, *usando agora uma rajada UDP e intervalo de 2 segundos entre relatórios*
  - Comando no servidor:
    - `iperf -s -u`
  - Comando no cliente
    - `iperf -c 127.0.0.1 -u -i 2`

# **Camadas de Protocolos e Modelos de Serviços**

# Arquitetura em Camadas

- Reduzir a complexidade do projeto de uma rede de comunicação
  - Cada camada
    - Provê um **serviço** para as camadas superiores
    - "Esconde" das camadas superiores como o serviço é implementado
- Criar um pilha de camadas
  - Número de camadas
  - Nome de cada camada
  - Função de cada camada

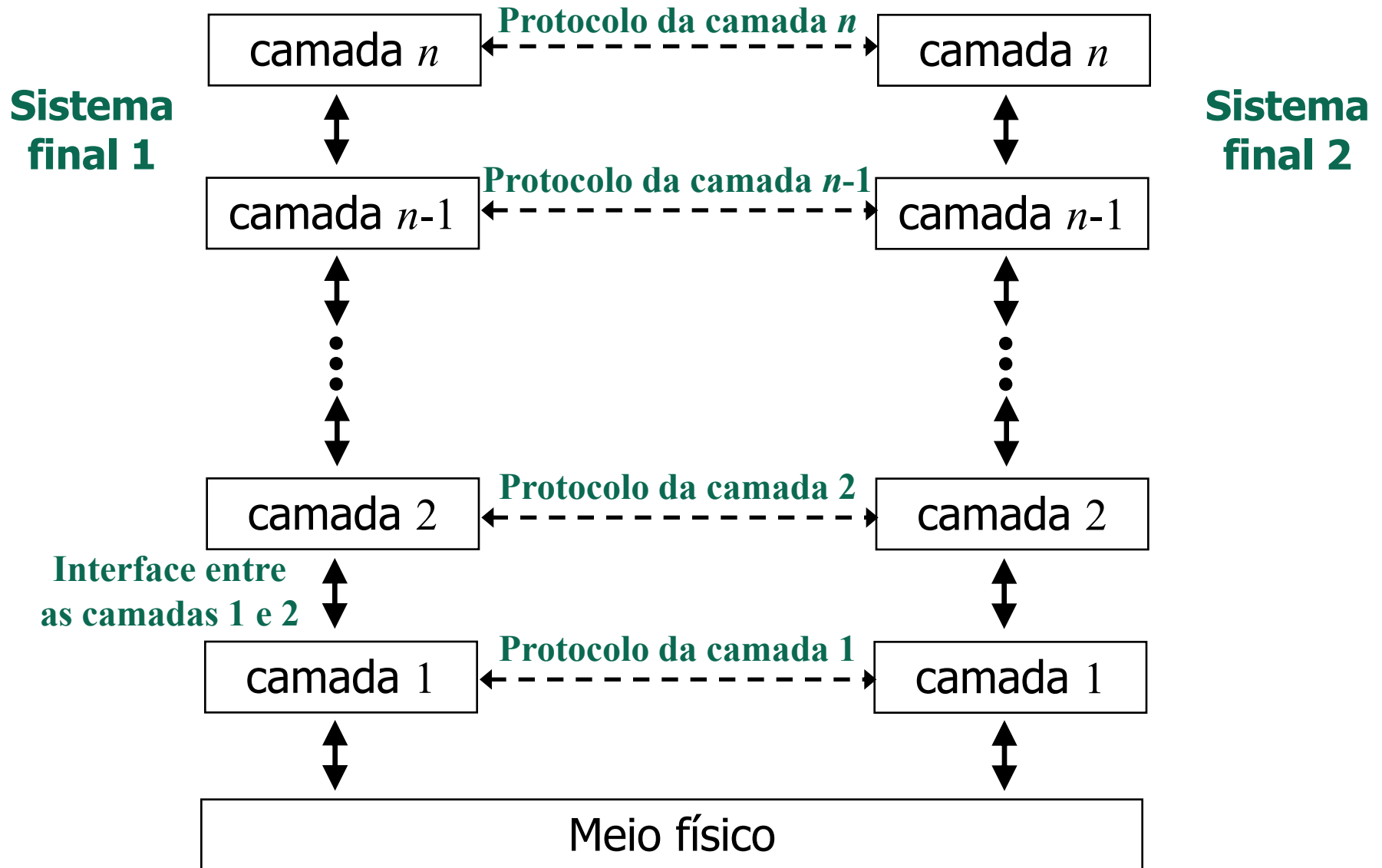
**Podem ser diferentes  
para cada rede**



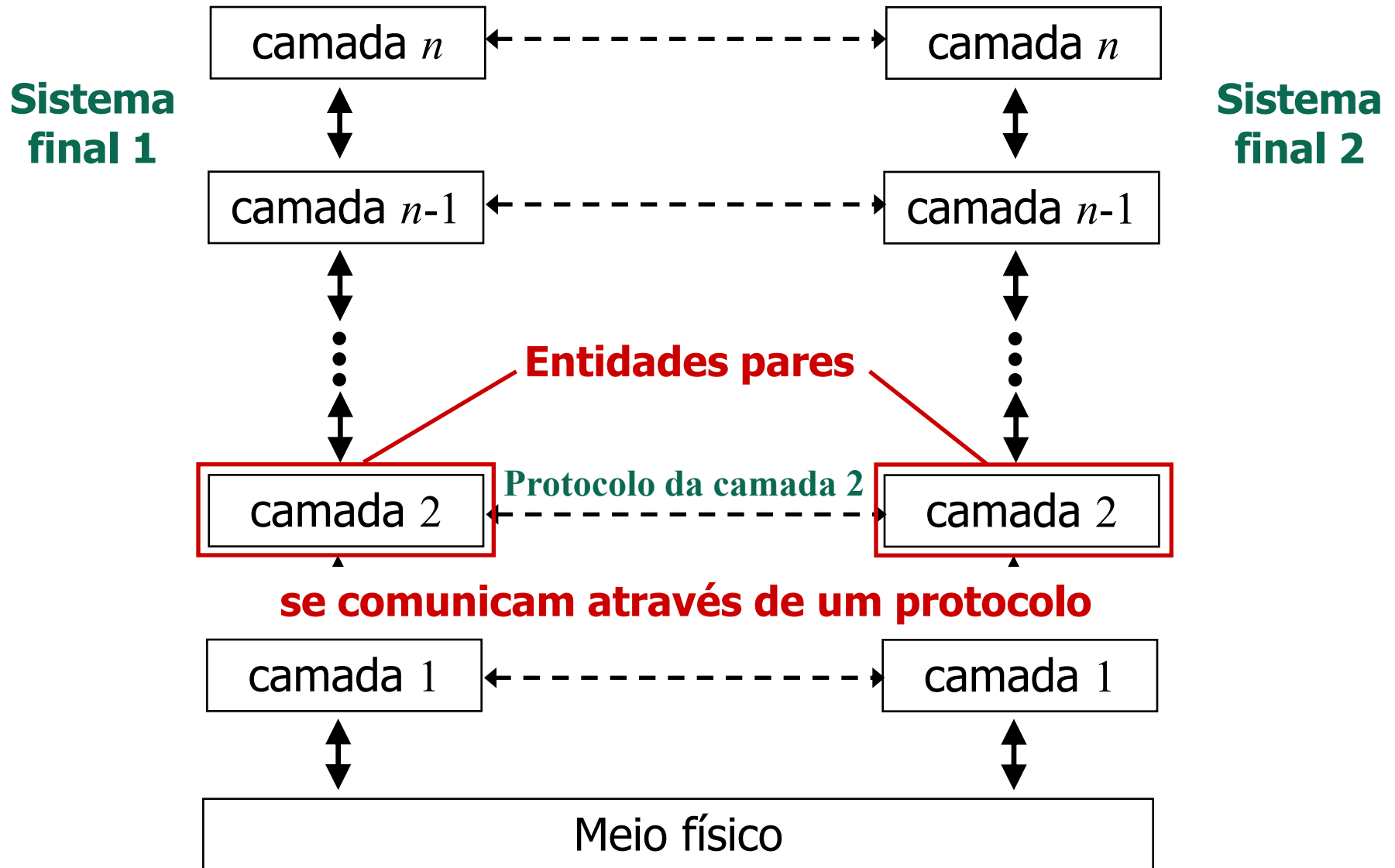
# Por Que Dividir em Camadas?

- Lidar com sistemas complexos
  - Estrutura explícita permite a identificação e relacionamento entre as partes do sistema complexo
  - Modularização facilita a manutenção e atualização do sistema
  - Mudança na implementação do serviço da camada é transparente para o resto do sistema

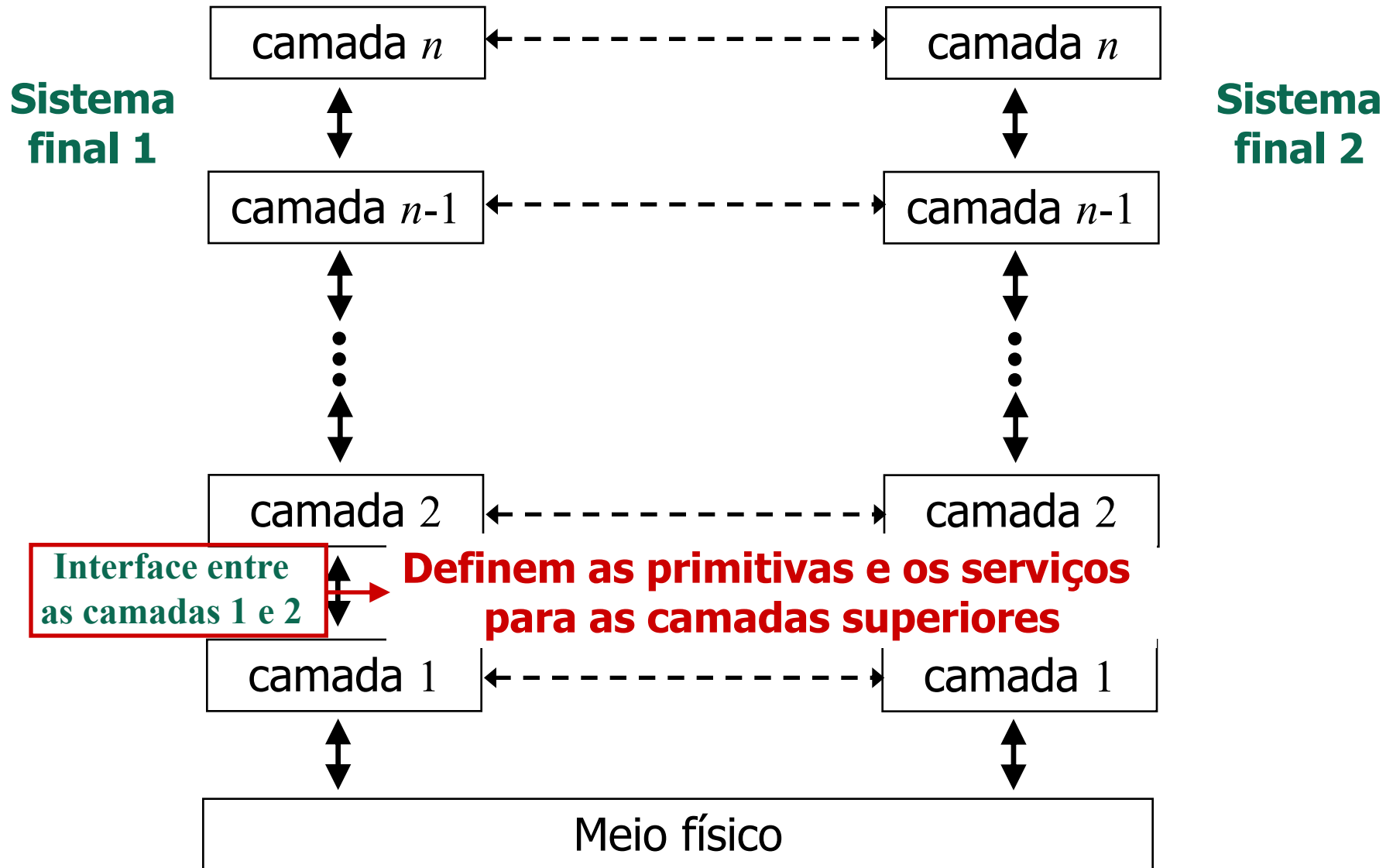
# Arquitetura em Camadas



# Arquitetura em Camadas



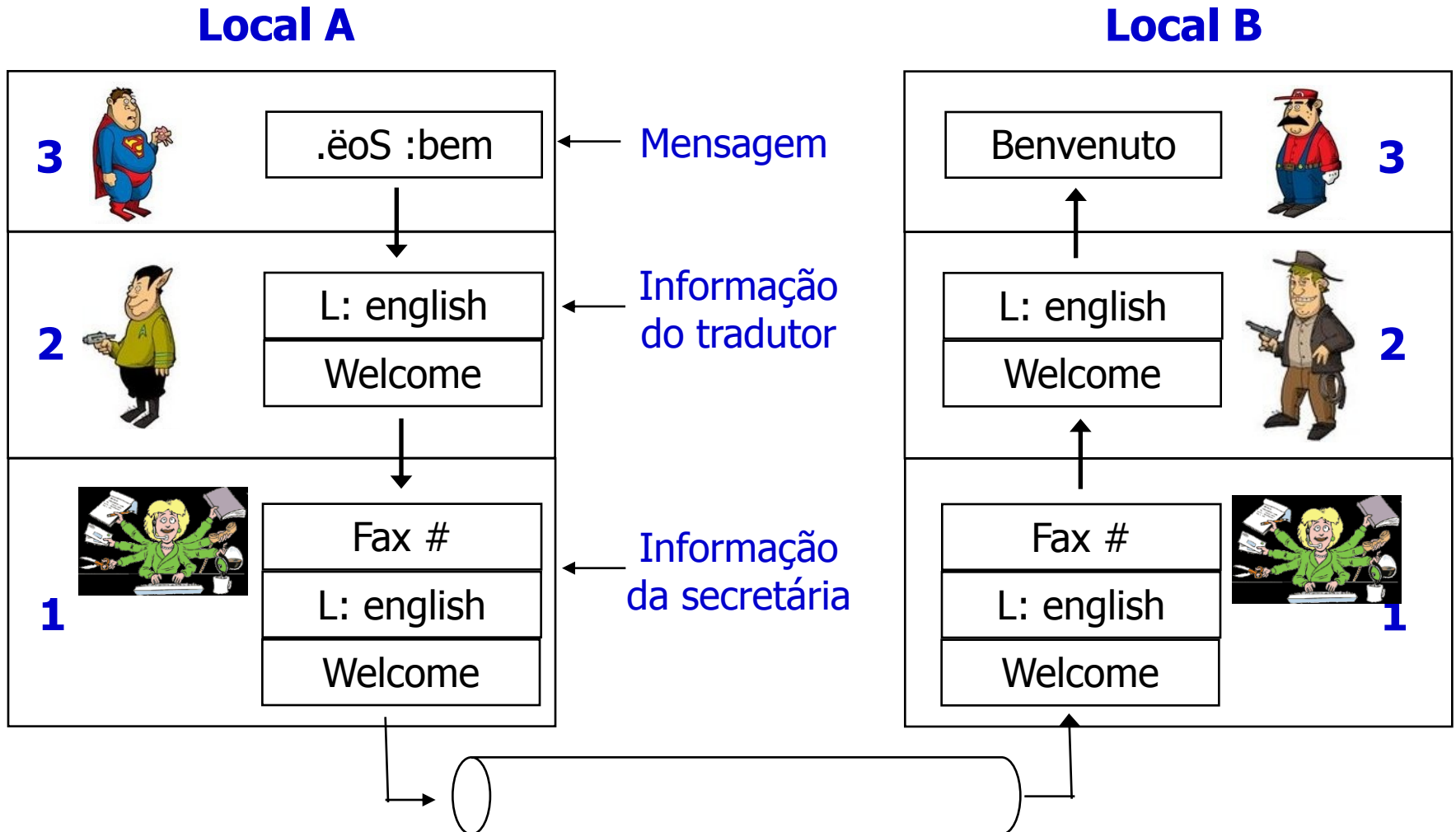
# Arquitetura em Camadas



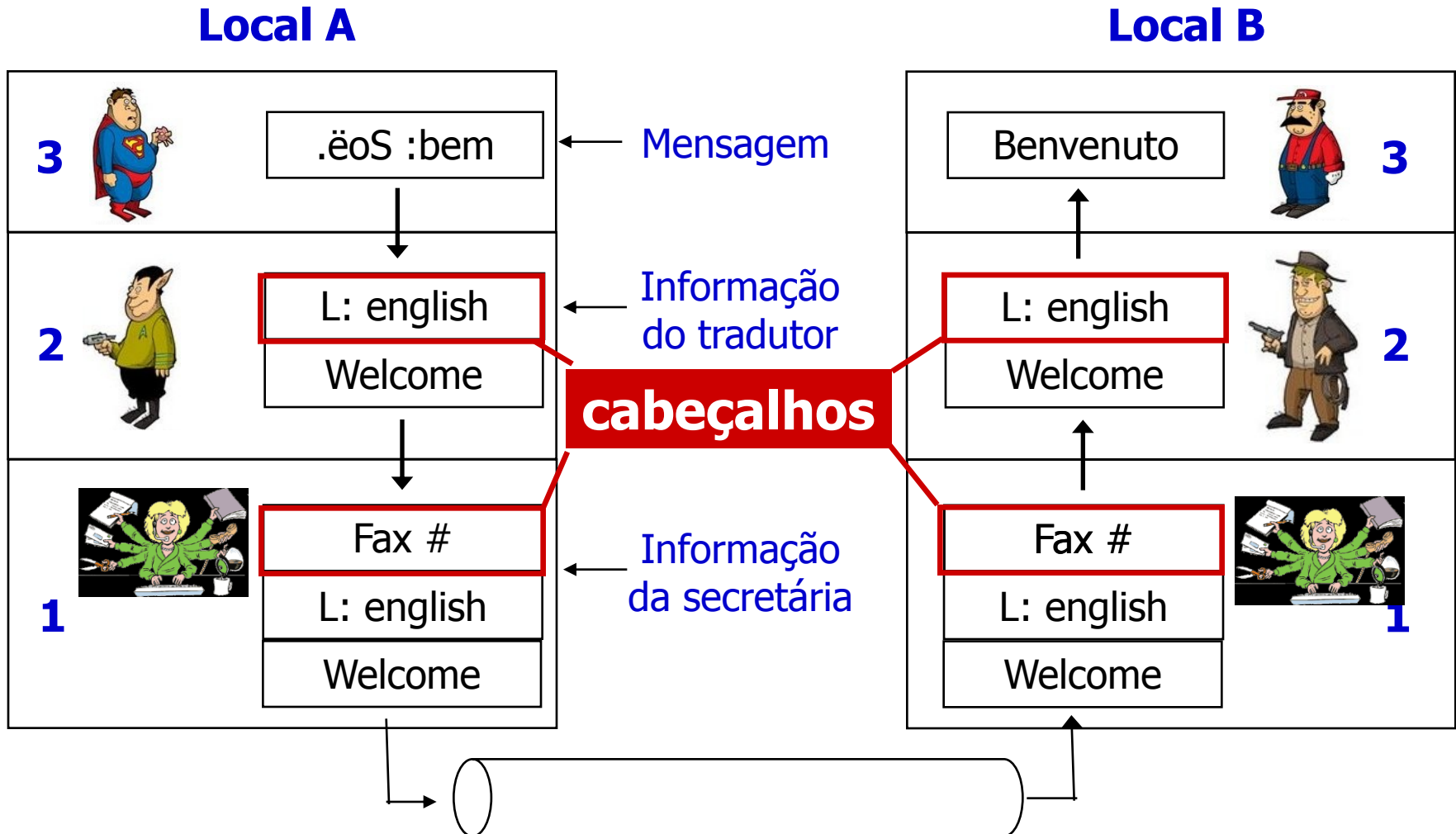
# Mais Conceitos

- **Arquitetura de rede**
  - Conjunto de protocolos e camadas
- **Pilha de protocolos**
  - Lista de protocolos usados por um sistema

# Comunicação Multicamadas



# Comunicação Multicamadas



# Arquiteturas de Rede

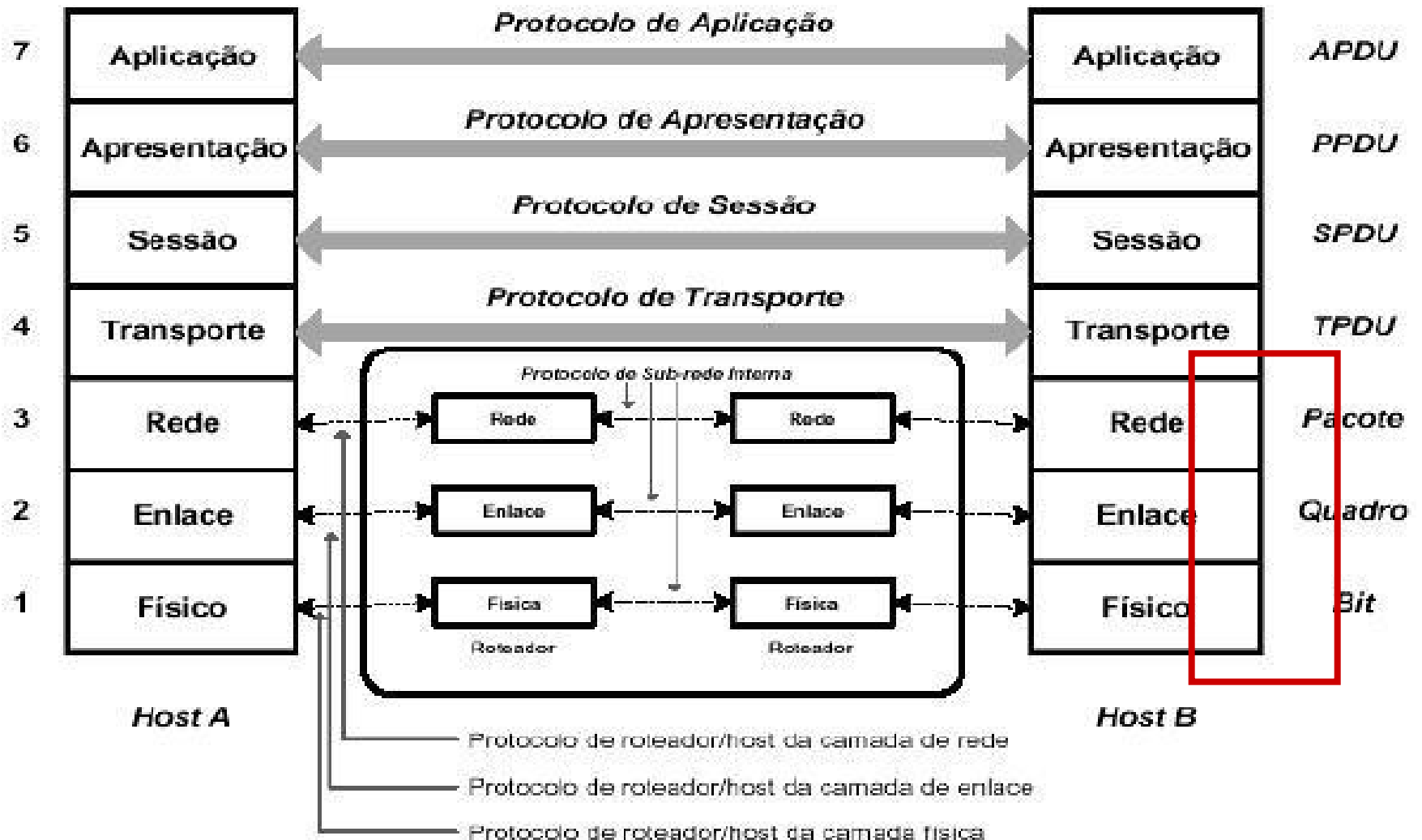
- Duas mais importantes
  - Modelo de referência OSI
  - Modelo TCP/IP



# Modelo OSI

- *OSI: Open Systems Interconnection*
- Proposto pela ISO (*International Standards Organization*)
  - Década de 70
- **Sete camadas**
  1. Física
  2. Enlace
  3. Rede
  4. Transporte
  5. Sessão
  6. Apresentação
  7. Aplicação

# Modelo OSI



# Modelo OSI

- **Prós:** bastante geral e continua válido até hoje
- **Contras:** protocolos associados ao modelo OSI são raramente usados
- **Críticas**
  - Complexidade
    - Cada camada deve desempenhar a sua função antes de encaminhar os dados para a camada seguinte
  - Rigidez de modelagem
    - Camadas diferentes não devem compartilhar informações
  - Mesmos serviços implementados por diferentes camadas
    - Ex.: correção de erros

# Modelo TCP/IP

- Década de 80
- **Cinco/Quatro camadas**

1. Física

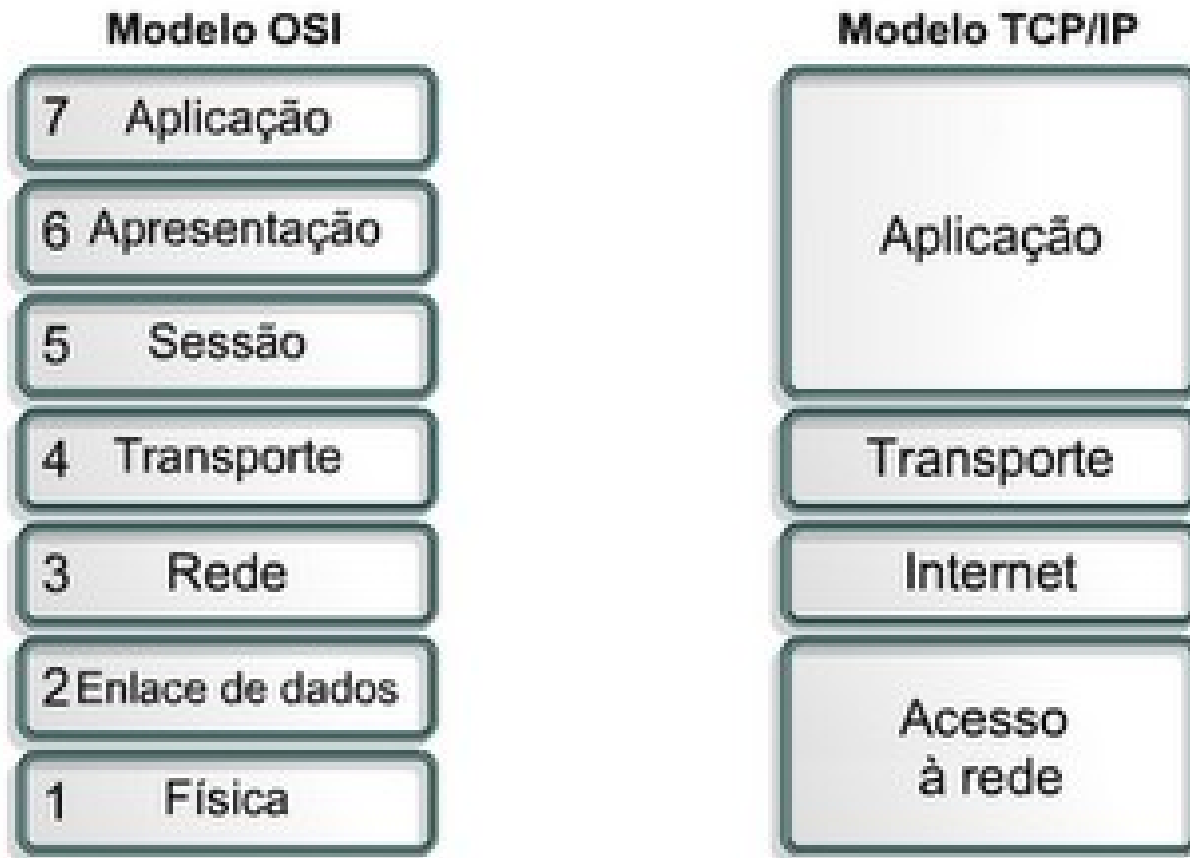
2. Enlace

3. Rede

4. Transporte

5. Aplicação

# Modelo TCP/IP



# Modelo TCP/IP

- **Prós:** protocolos associados ao modelo TCP/IP são amplamente usados
- **Contras:** camadas mais "restritas" do que no OSI
- O modelo OSI é apenas um modelo de referência
- O modelo TCP/IP define os protocolos para cada camada

# Camadas do Modelo TCP/IP

- Aplicação
  - Suporte para aplicações de rede
  - Mensagens
  - Exs.: HTTP, SMTP, FTP, etc.
- Transporte
  - Comunicação fim-a-fim
    - Transferência de dados entre sistemas finais
  - Segmentos
  - Exs.: TCP, UDP

# Camadas do Modelo TCP/IP

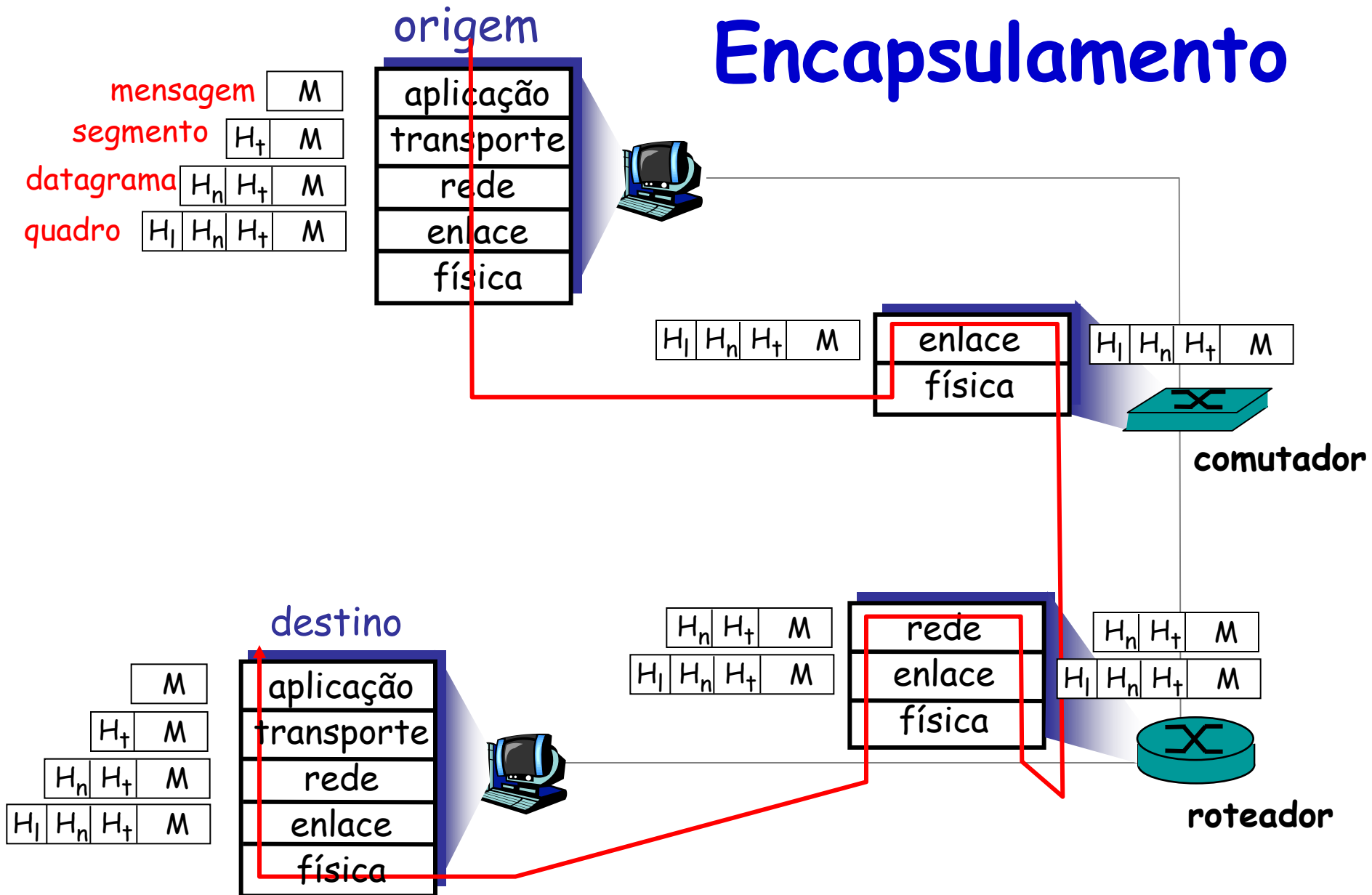
- Rede
  - Encaminhamento e roteamento\*
  - **Datagramas**
  - Ex.: IP
- Enlace
  - Comunicação **salto-a-salto**
    - **Transferência de dados entre elementos de rede vizinhos**
  - **Quadros**
  - Exs.: Ethernet, PPP, WiFi, etc.



# Camadas do Modelo TCP/IP

- Física
  - Transmissão dos bits "no fio"
  - Modulação e codificação

# Encapsulamento



# Material Utilizado

- Notas de aula do Prof. Igor Monteiro Moraes, disponíveis em <http://www2.ic.uff.br/~igor/cursos/redespg>

# Leitura Recomendada

- Capítulo 1 do Livro "*Computer Networking: A Top Down Approach*", 5a. Ed., Jim Kurose and Keith Ross, Editora Pearson, 2010
- Capítulo 1 e 2 do Livro "*Computer Networks*", Andrew S. Tanenbaum e David J. Wetherall, 5a. Edição, Editora Pearson, 2011
- Campista, M. E. M., Ferraz, L. H. G., Moraes, I. M., Lanza, M. L. D., Costa, L. H. M. K., and Duarte, O. C. M. B. - "*Interconexão de Redes na Internet do Futuro: Desafios e Soluções*", em Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC'2010, pp. 47-101, Gramado, RS, Brazil, Maio de 2010.