

Aulas 3, 4 e 5

Redes de Computadores e a Internet

Igor Monteiro Moraes
Redes de Computadores

ATENÇÃO!

- Esta apresentação contém partes baseadas nos seguintes trabalhos
 - Notas de aula do Prof. Marcelo Rubinstein, disponíveis em <http://www.lee.eng.uerj.br/~rubi>
 - Notas de aula do Prof. José Augusto Suruagy Monteiro, disponíveis em <http://www.nuperc.unifacs.br/Members/jose.suruagy/cursos>
 - Material complementar do livro Computer Networking: A Top Down Approach, 5th edition, Jim Kurose and Keith Ross, Addison-Wesley, abril de 2009
 - Computer Networks, Andrew S. Tanenbaum, 4a. Edição, Editora Prentice Hall
 - 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", in Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC'2010, pp. 47-101, Gramado, RS, Brazil, May 2010.
 - Redes e Sistemas de Comunicação de Dados, William Stallings, 1ª. Edição, Campus, 2005.

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

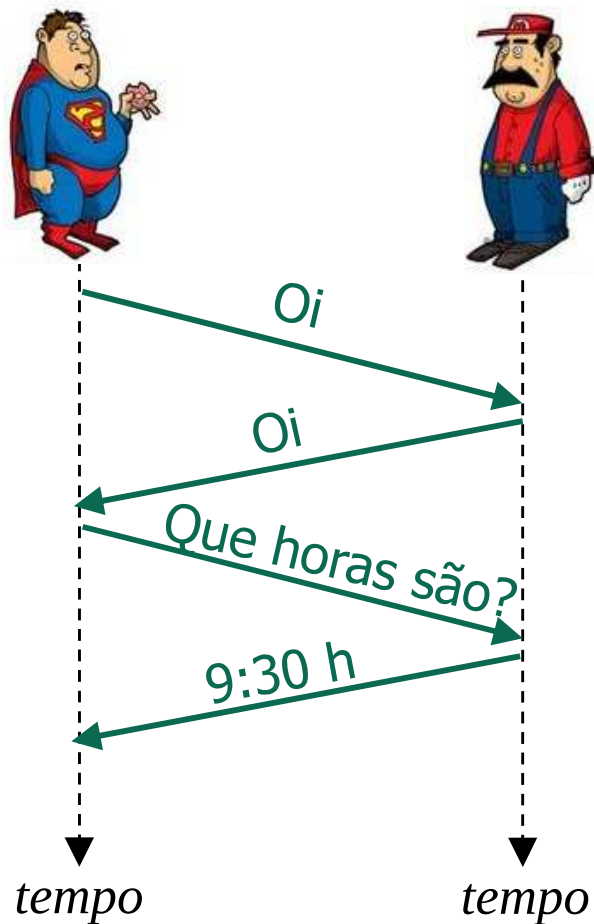
- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem e se **entenderem**?
 - Uma **linguagem comum** entre as duas partes



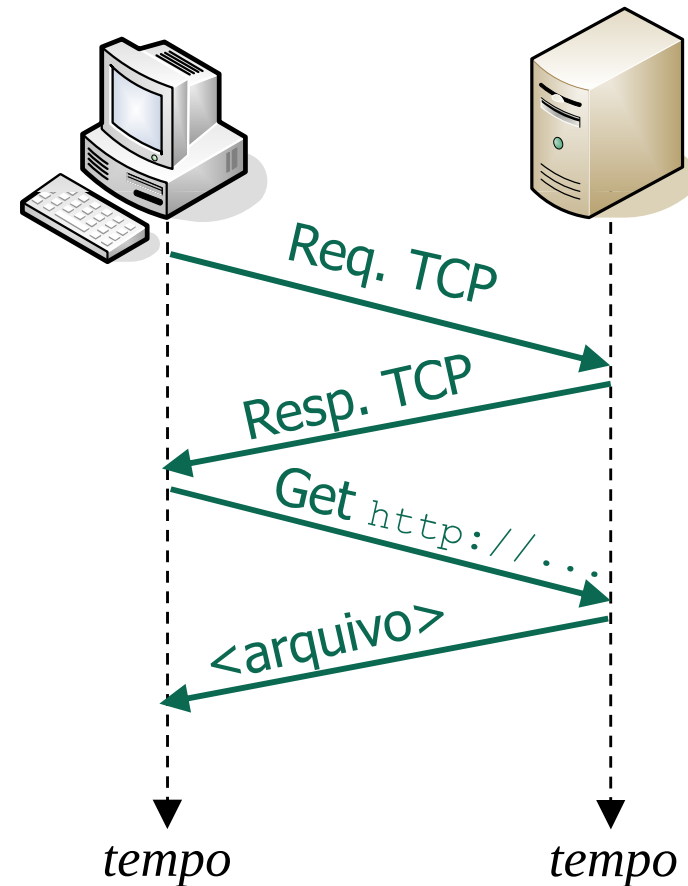
- Conjunto de regras e procedimentos que definem a comunicação entre duas ou mais entidades
- Definem
 - O formato e a ordem das mensagens trocadas entre duas ou mais entidades
 - As ações tomadas durante a recepção e/ou transmissão de mensagens
 - As ações tomadas em outros eventos

Protocolos de Comunicação

Protocolo humano



Protocolo de rede



Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem “apenas” se comunicarem

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,



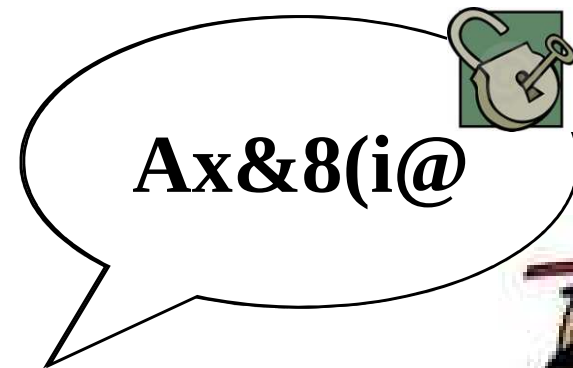
Protocolos de Comunicação

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



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.



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

Aumentam os requisitos



Aumenta a complexidade do sistema

Arquitetura em Camadas

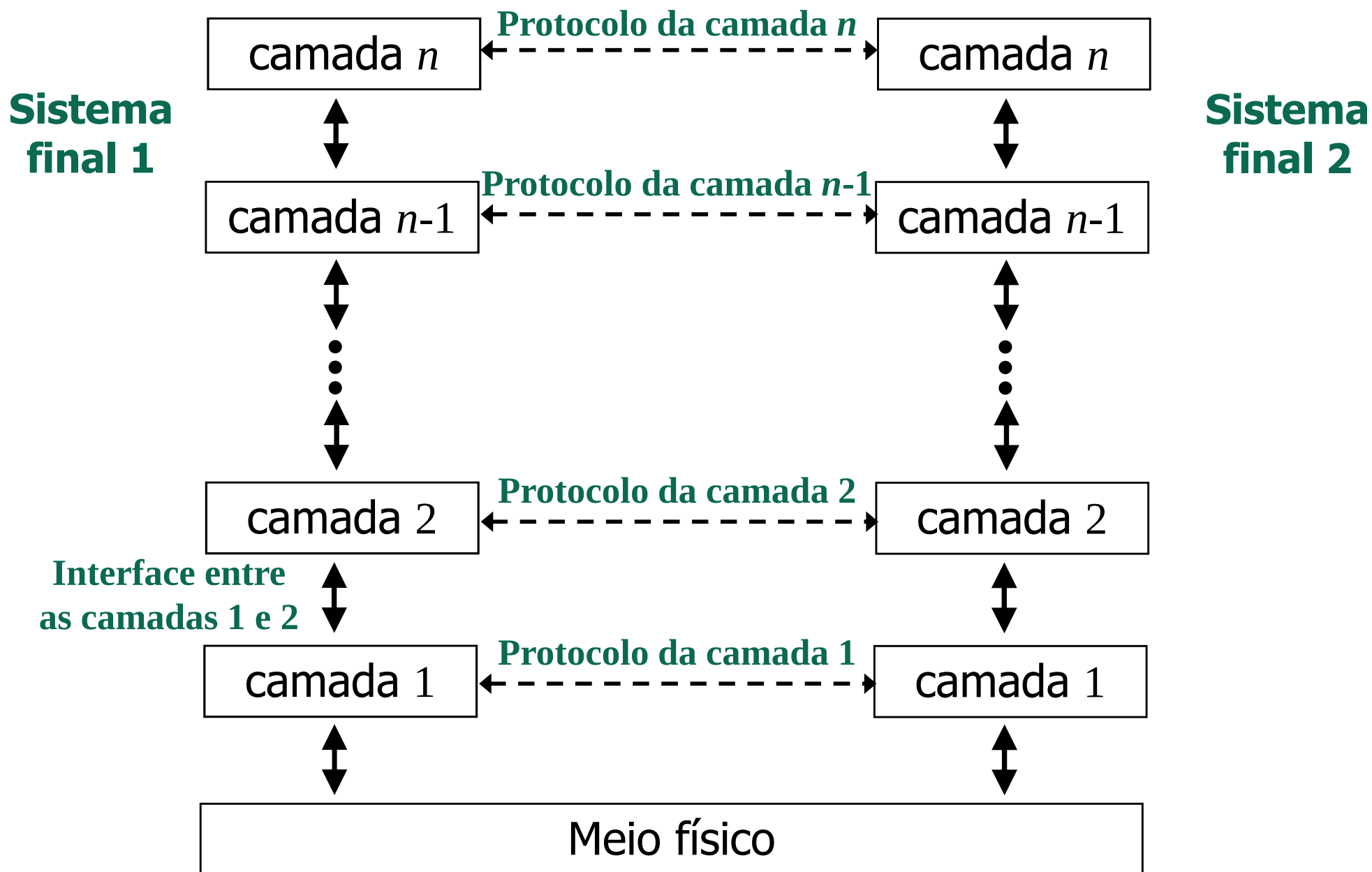
- Reduzir a complexidade do projeto de uma rede de comunicação
 - Cada camada
 - Provê um **serviço** para as camadas superiores
 - “Esconde” das camadas superiores como o serviço é implementado
- Criar um pilha de camadas
 - Número de camadas
 - Nome de cada camada
 - Função de cada camada

**Podem ser diferentes
para cada rede**

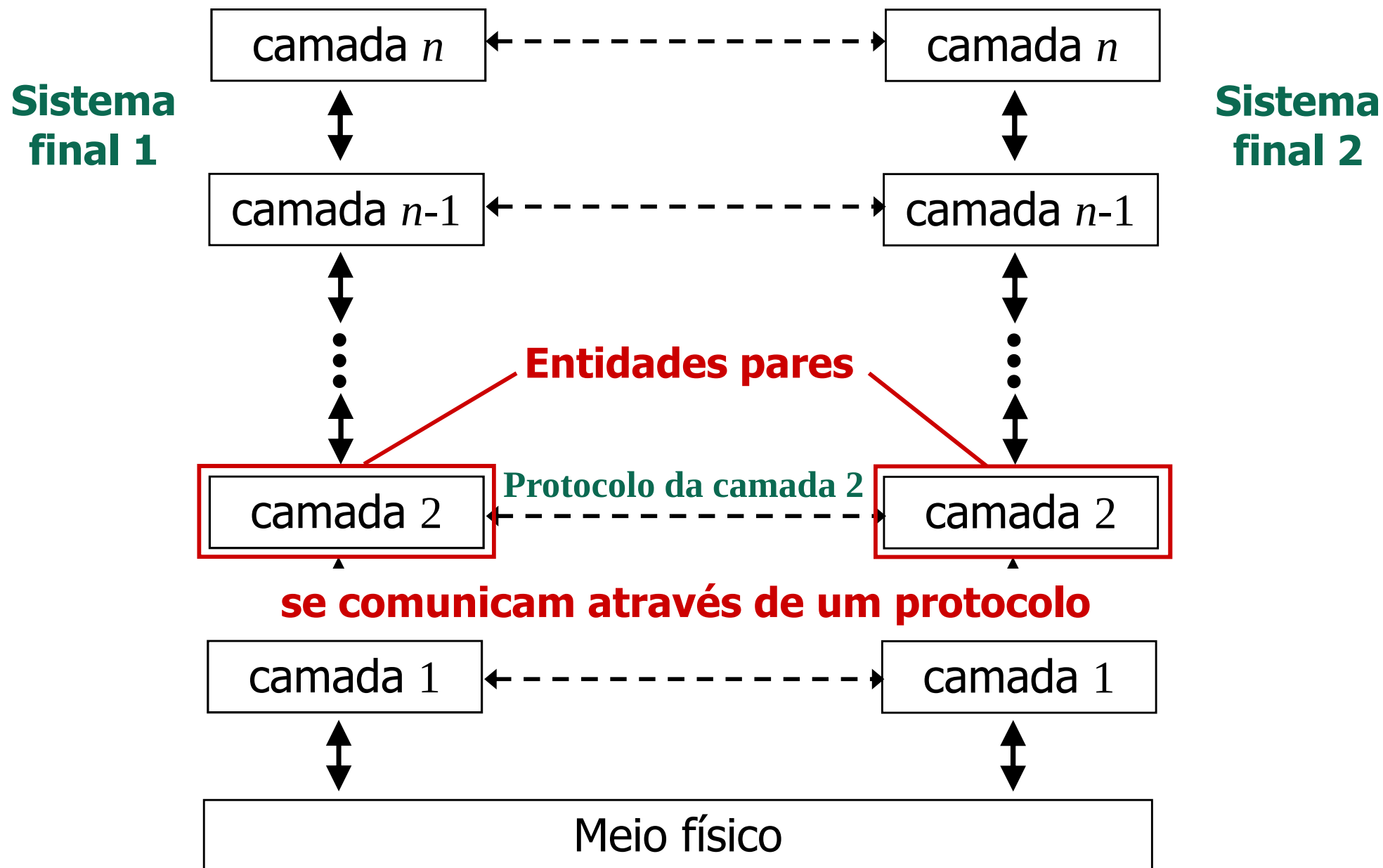
Por Que Dividir em Camadas?

- 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

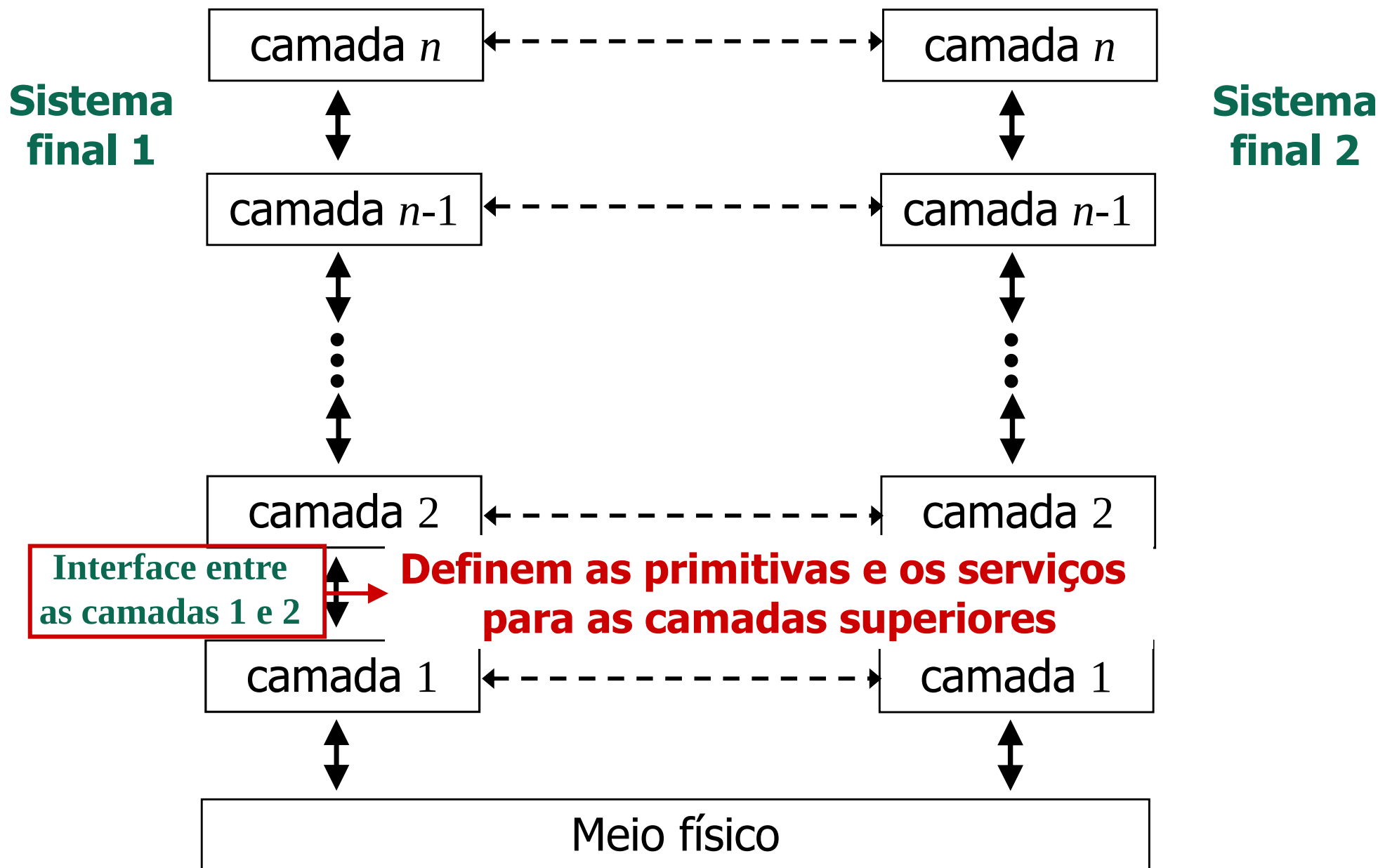
Arquitetura em Camadas



Arquitetura em Camadas



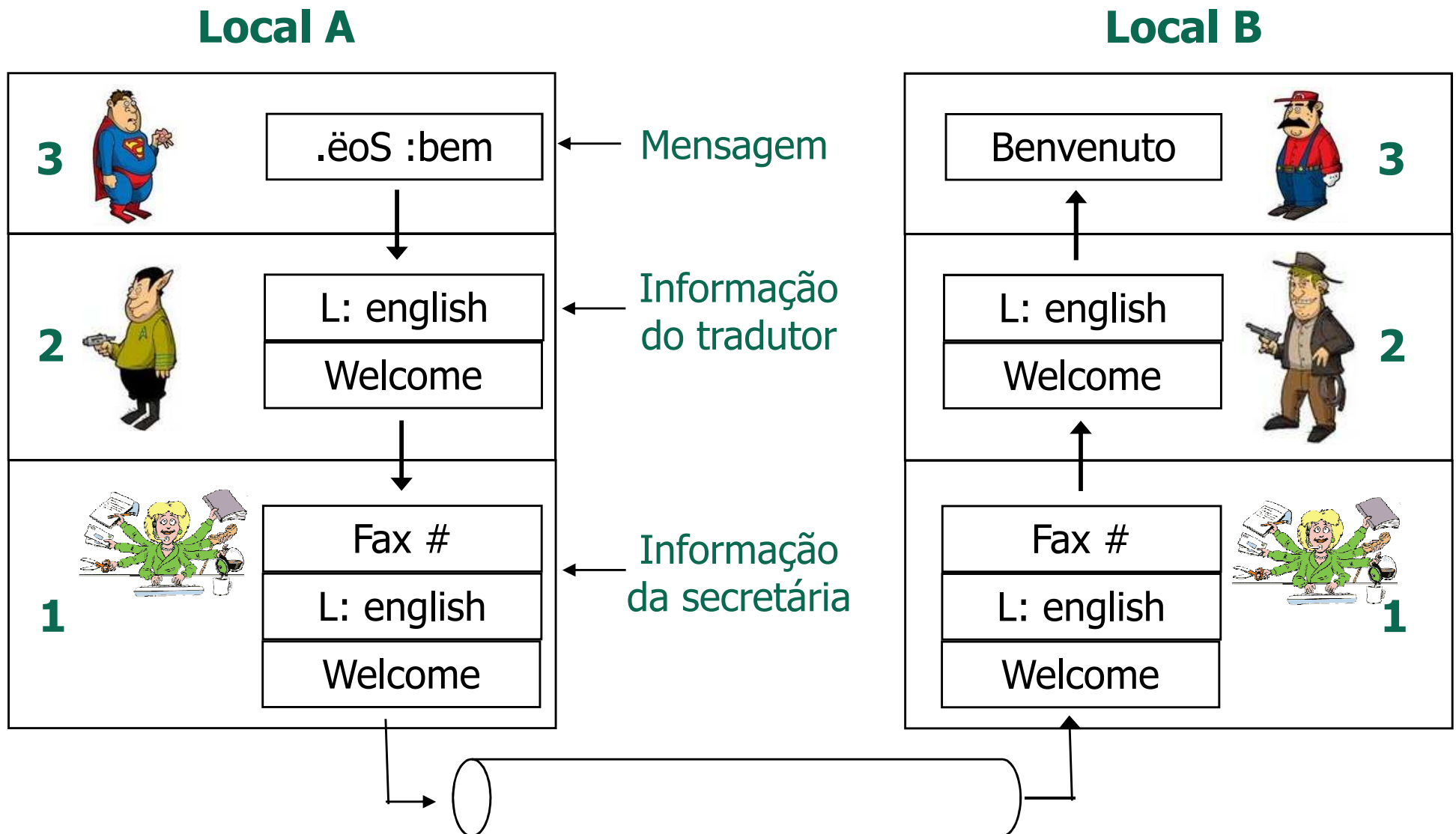
Arquitetura em Camadas



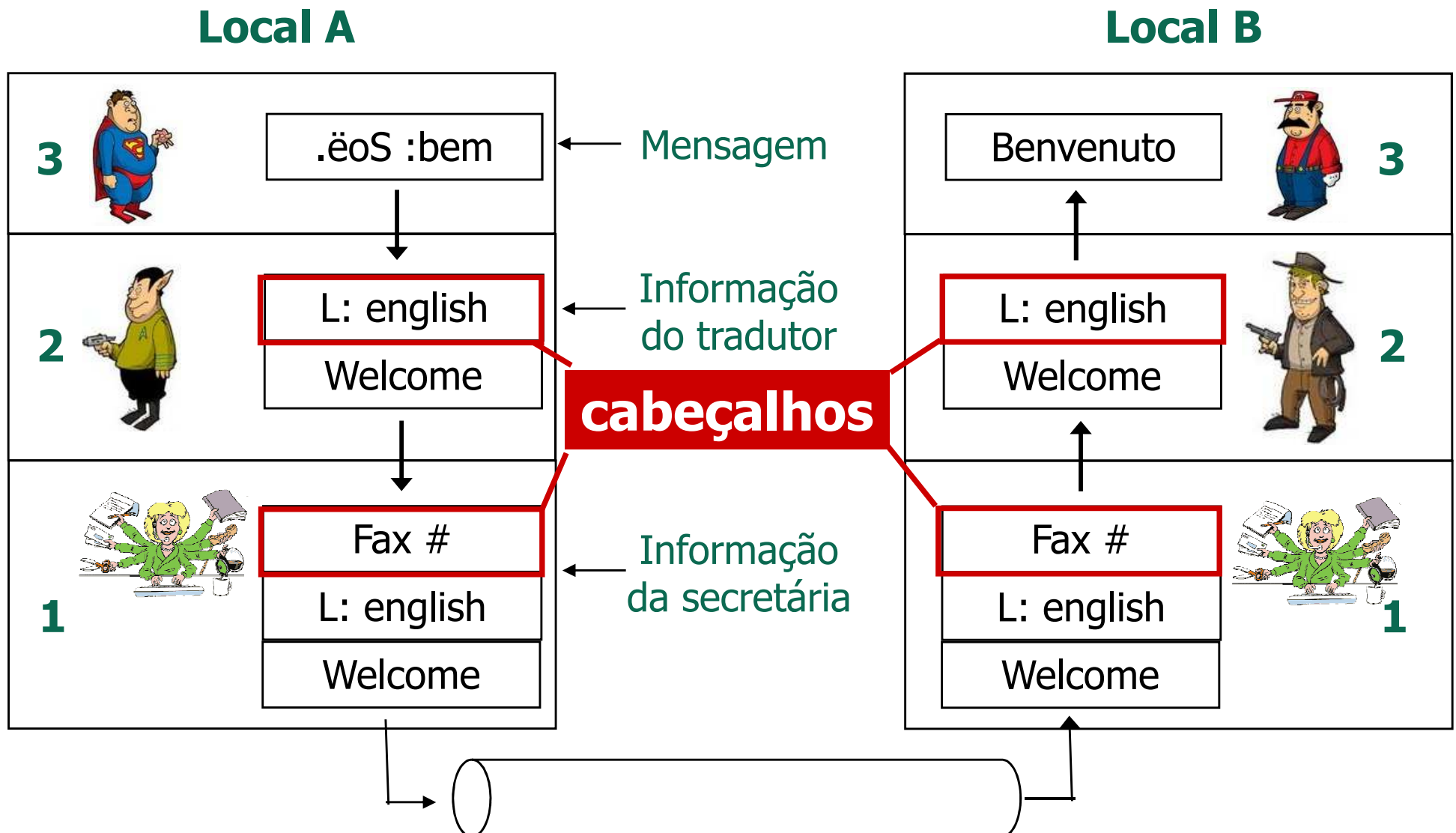
Mais Conceitos

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

Comunicação Multicamadas



Comunicação Multicamadas

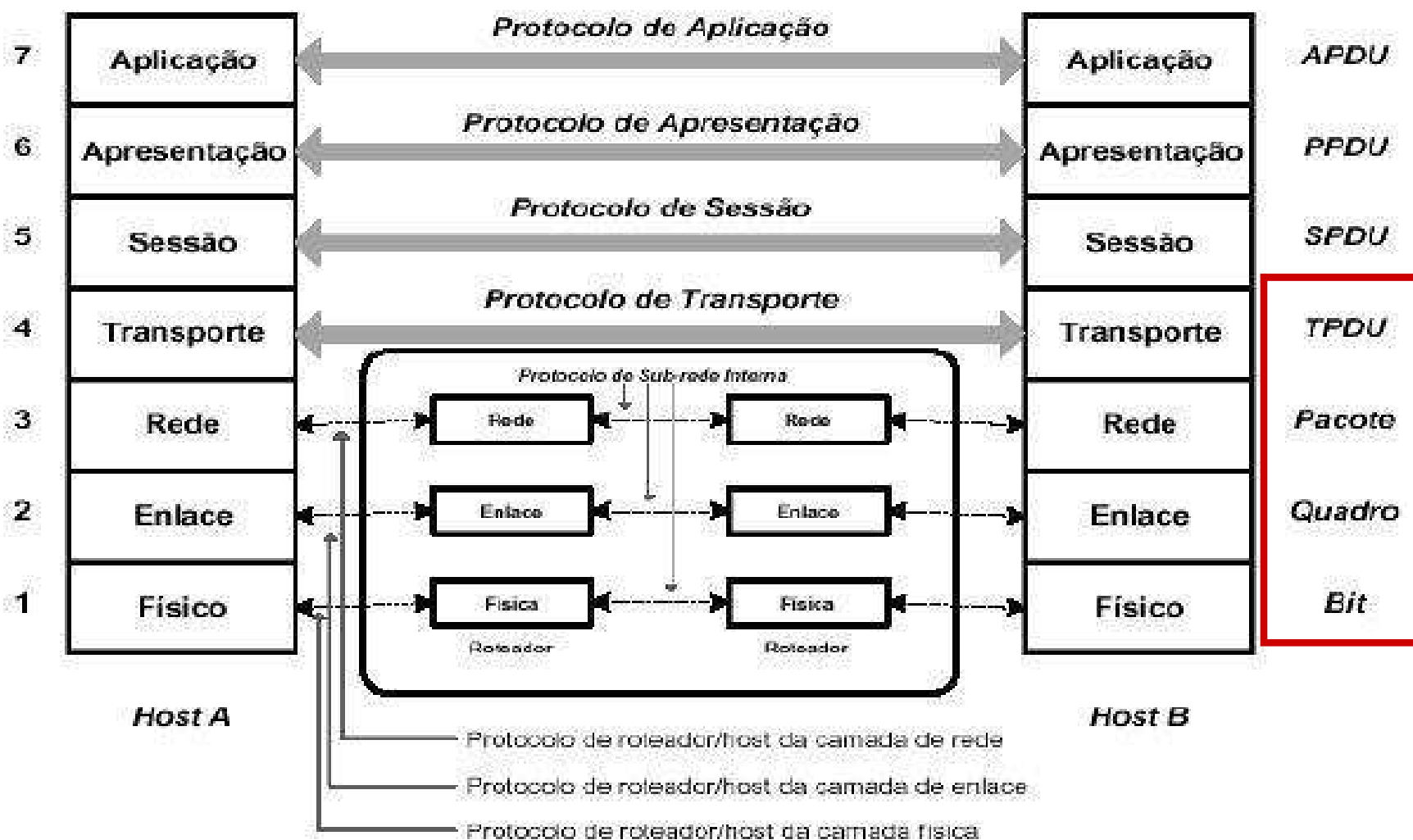


Arquiteturas de Rede

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

- 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



- **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

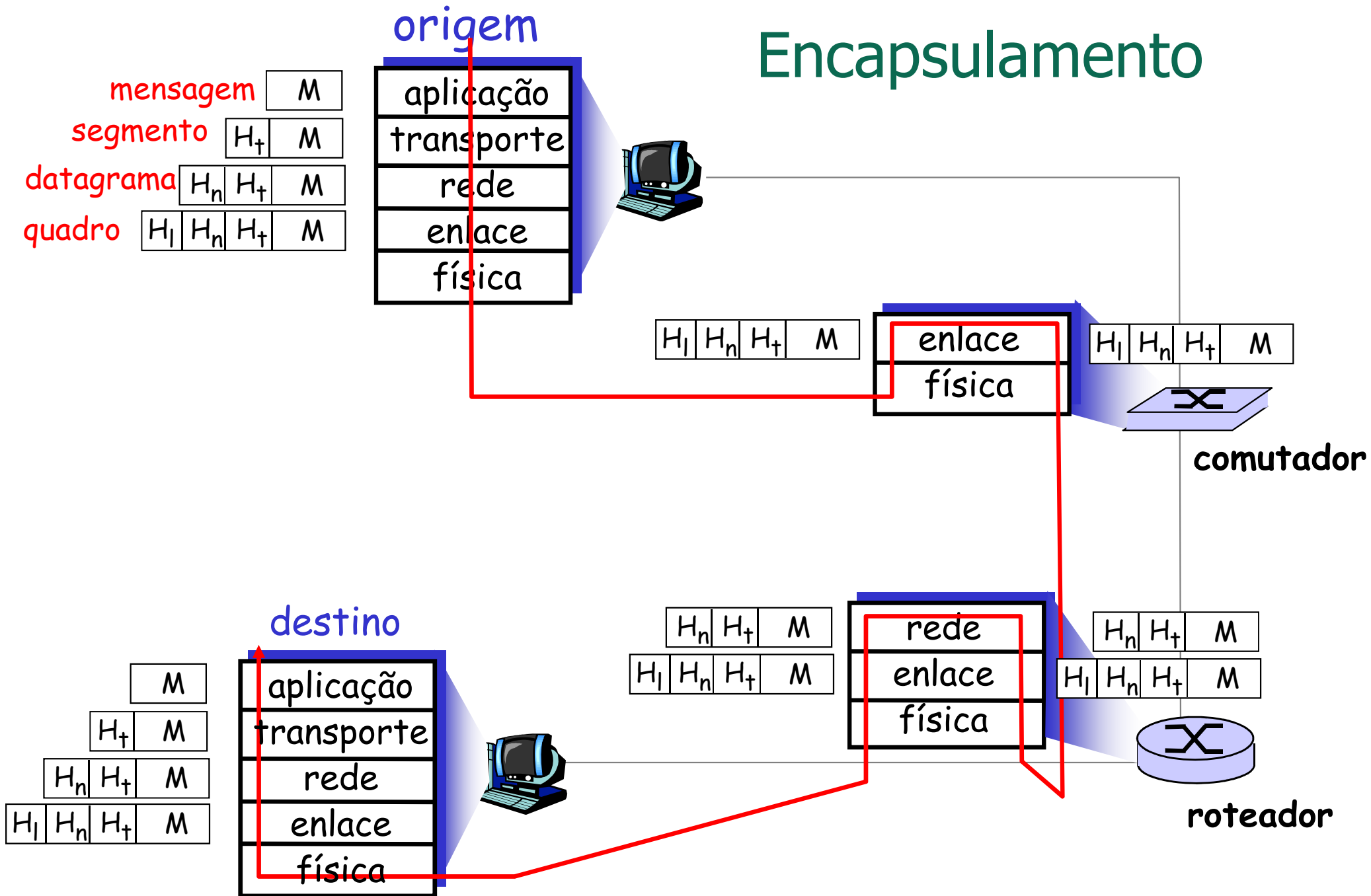
Camadas do Modelo TCP/IP

- 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.
- Física
 - Transmissão dos bits “no fio”
 - Modulação e codificação

Encapsulamento



O que é a Internet?

- É uma rede que interconecta **TUDO**
 - Computadores pessoais
 - Mainframes
 - Computadores portáteis
 - Celulares
 - Sensores
 - Eletrodomésticos (!?)
 - Etc.

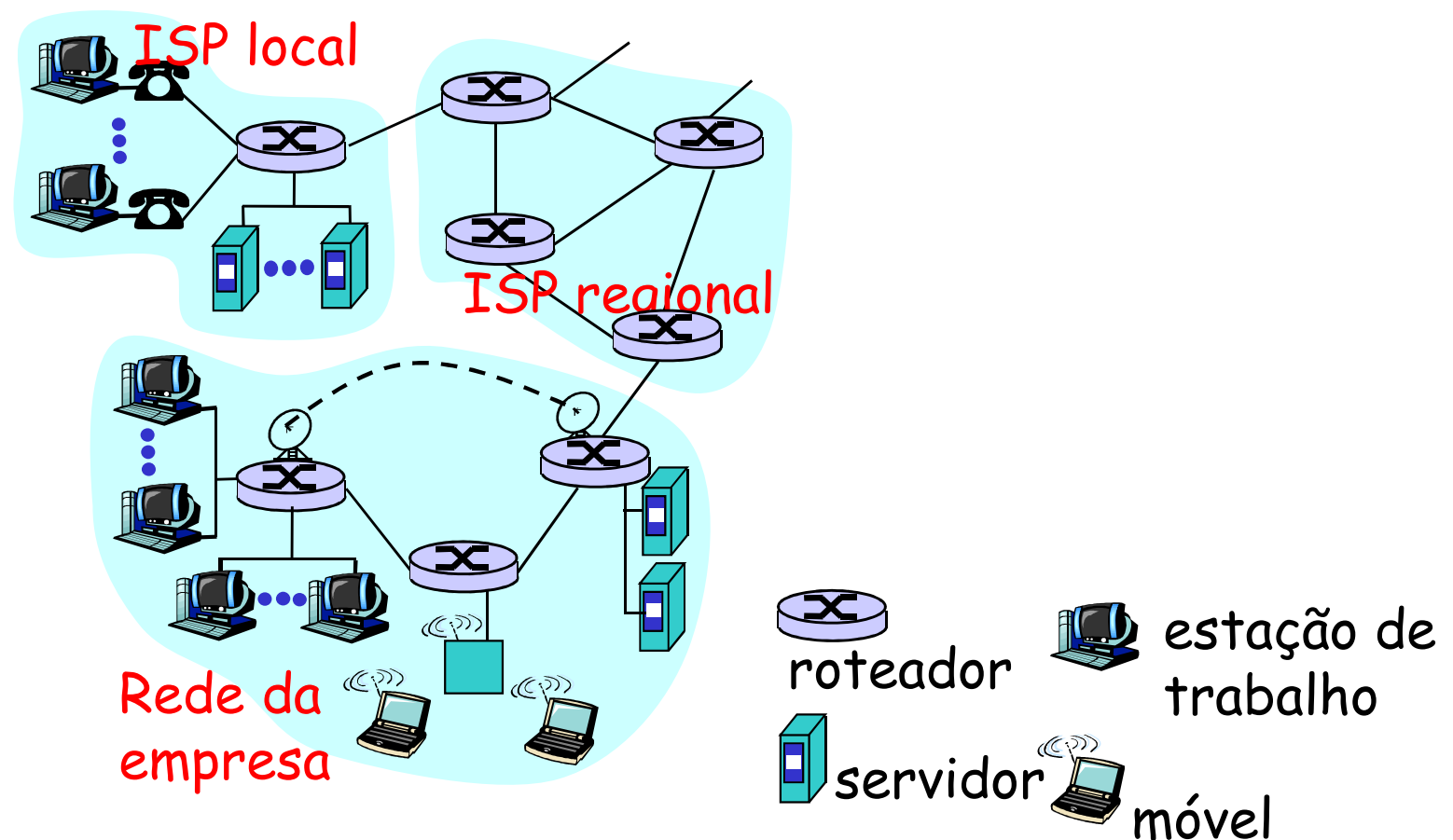
Geladeira Conectada



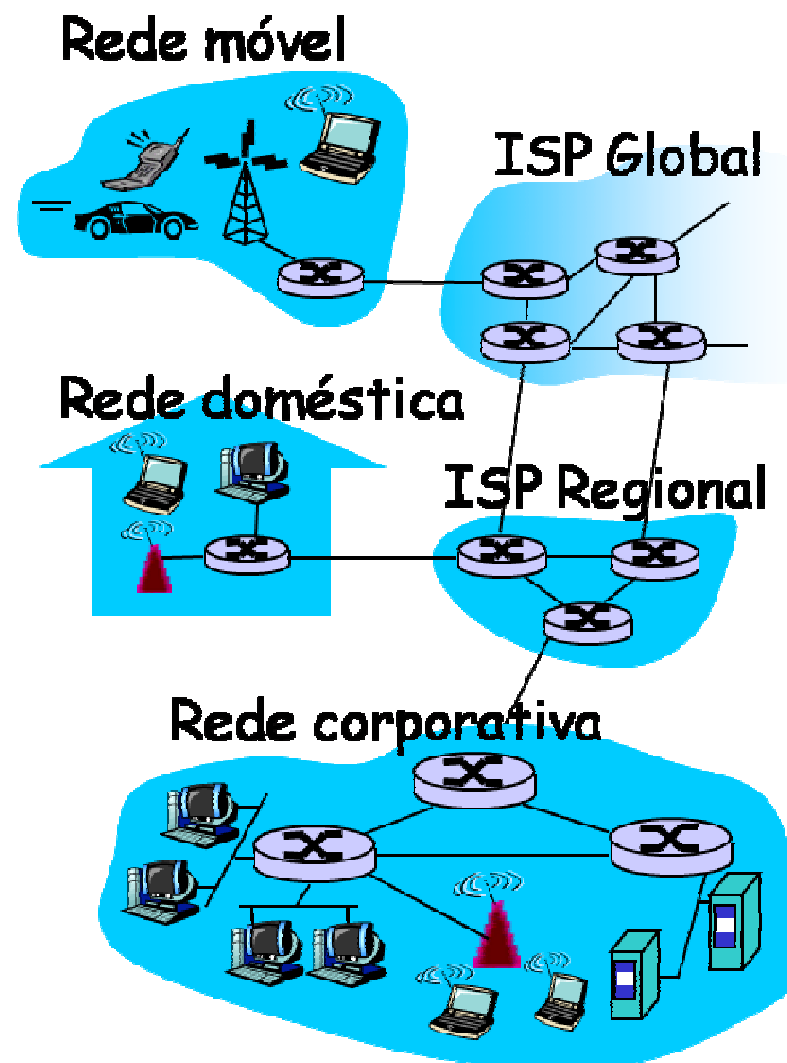
Visão dos Componentes

- Estações (*hosts*) ou sistemas finais
 - Rodam aplicações de rede
- Enlaces (*links*) de comunicação
 - Fibra, cobre, rádio, satélite
 - Taxa de transmissão ou largura de banda (*bandwidth*)
- Roteadores (comutadores de pacotes)
 - Encaminham pacotes através da rede
- Provedores de Serviço
 - ISP (*Internet Service Providers*)

Visão dos Componentes

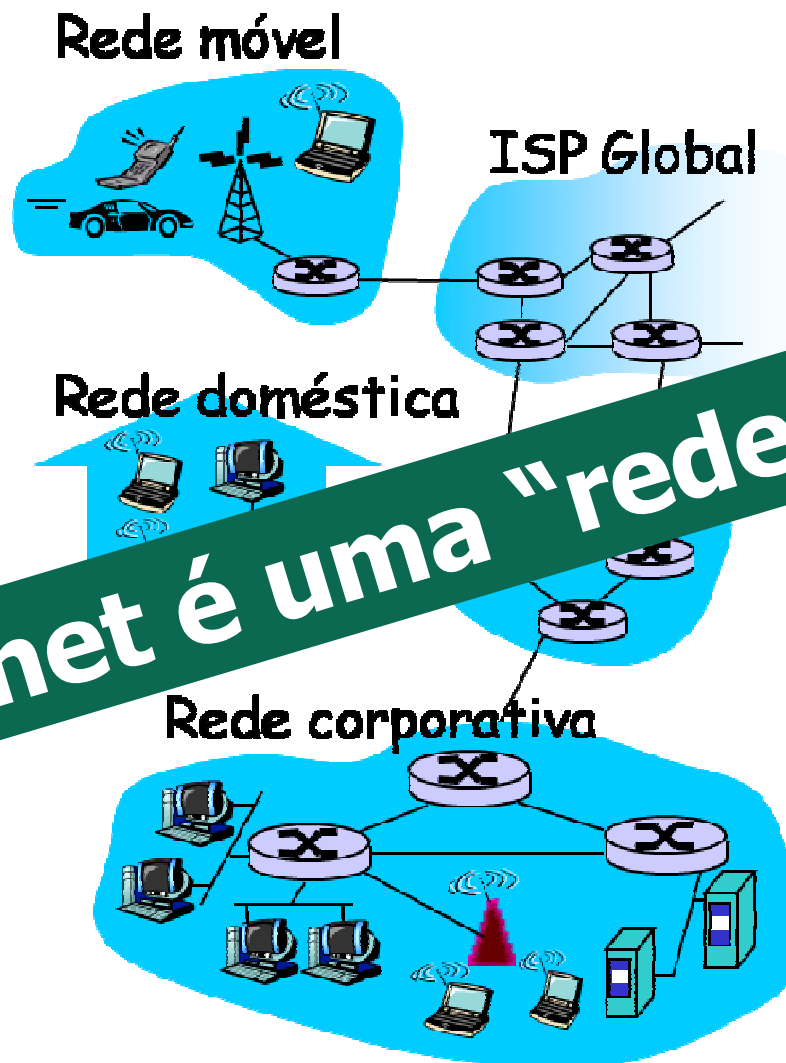


Visão dos Componentes



Visão dos Componentes

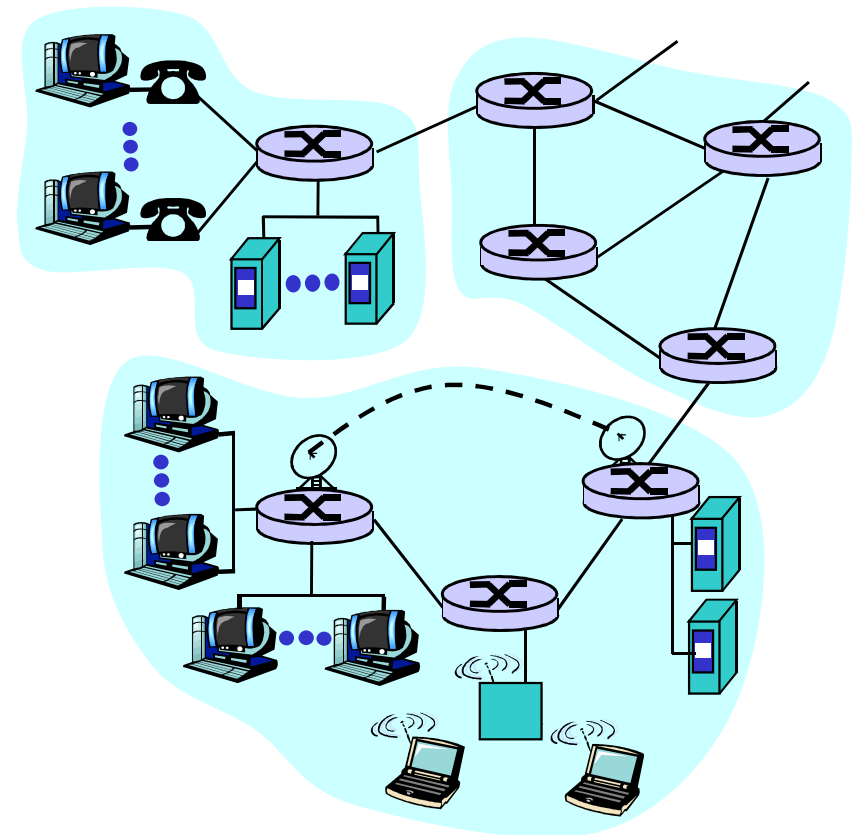
A Internet é uma "rede de redes"



- 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 disponibilizados
 - Transferência confiável de dados da origem até o destino
 - Transferência de dados “melhor esforço” (não confiável)

Estrutura da Rede

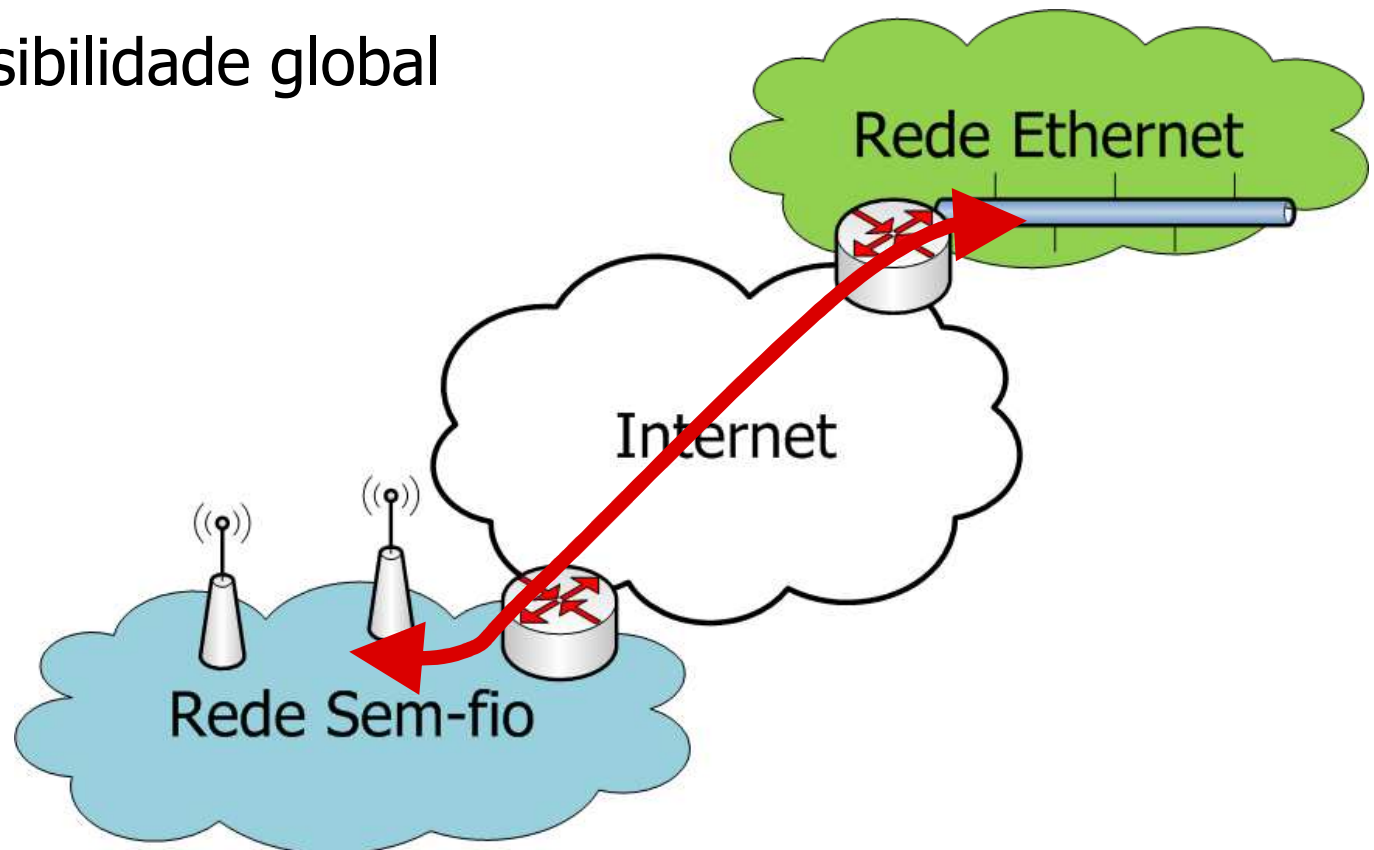
- Borda
 - Aplicações e sistemas finais
 - Redes de acesso
- Núcleo
 - Roteadores
 - Rede de redes



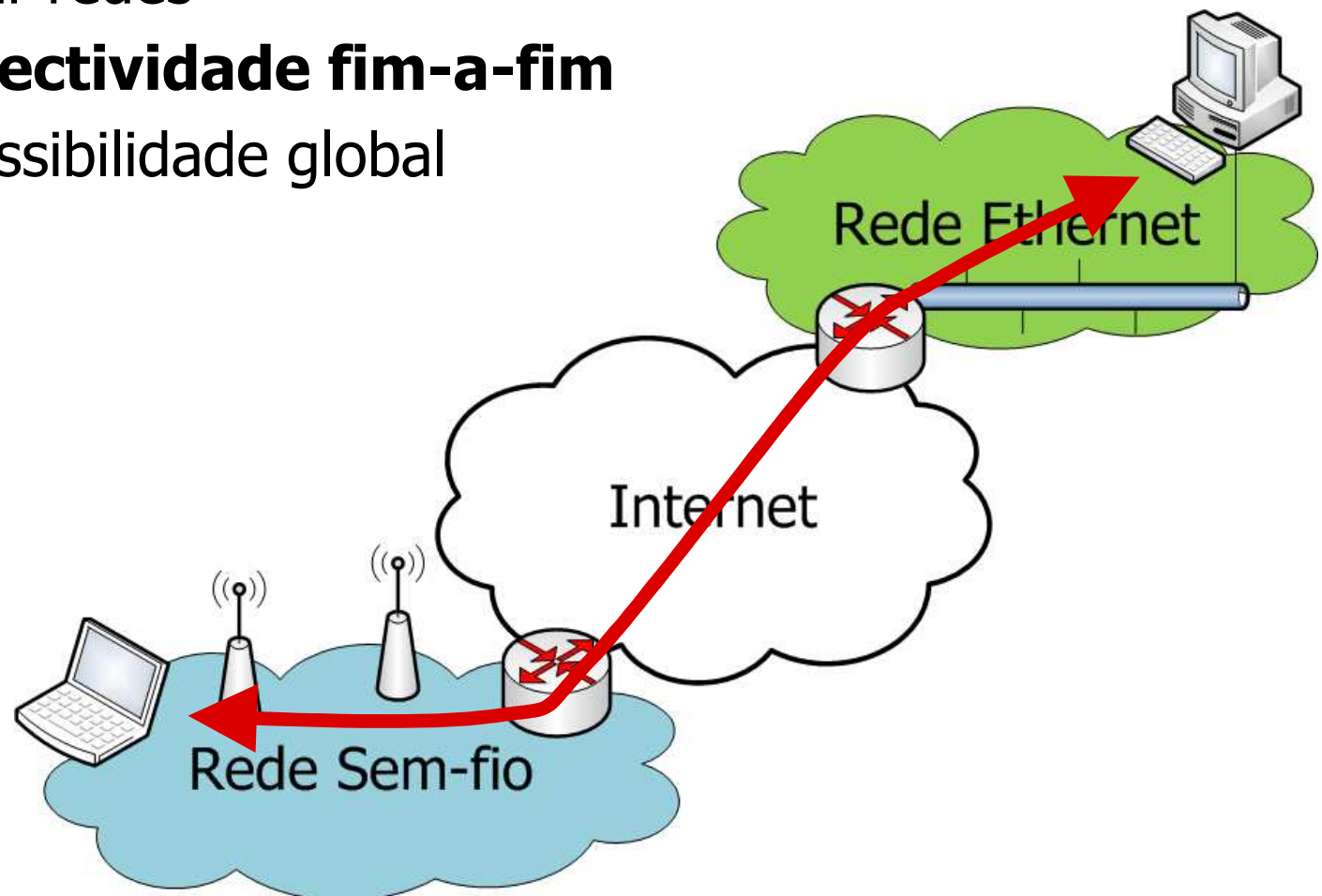
Redes de Acesso e o Núcleo da Internet

- Os objetivos originais são
 - Interconectar redes
 - Prover conectividade fim-a-fim
 - Garantir acessibilidade global

- Os objetivos originais são
 - **Interconectar redes**
 - Prover conectividade fim-a-fim
 - Garantir acessibilidade global

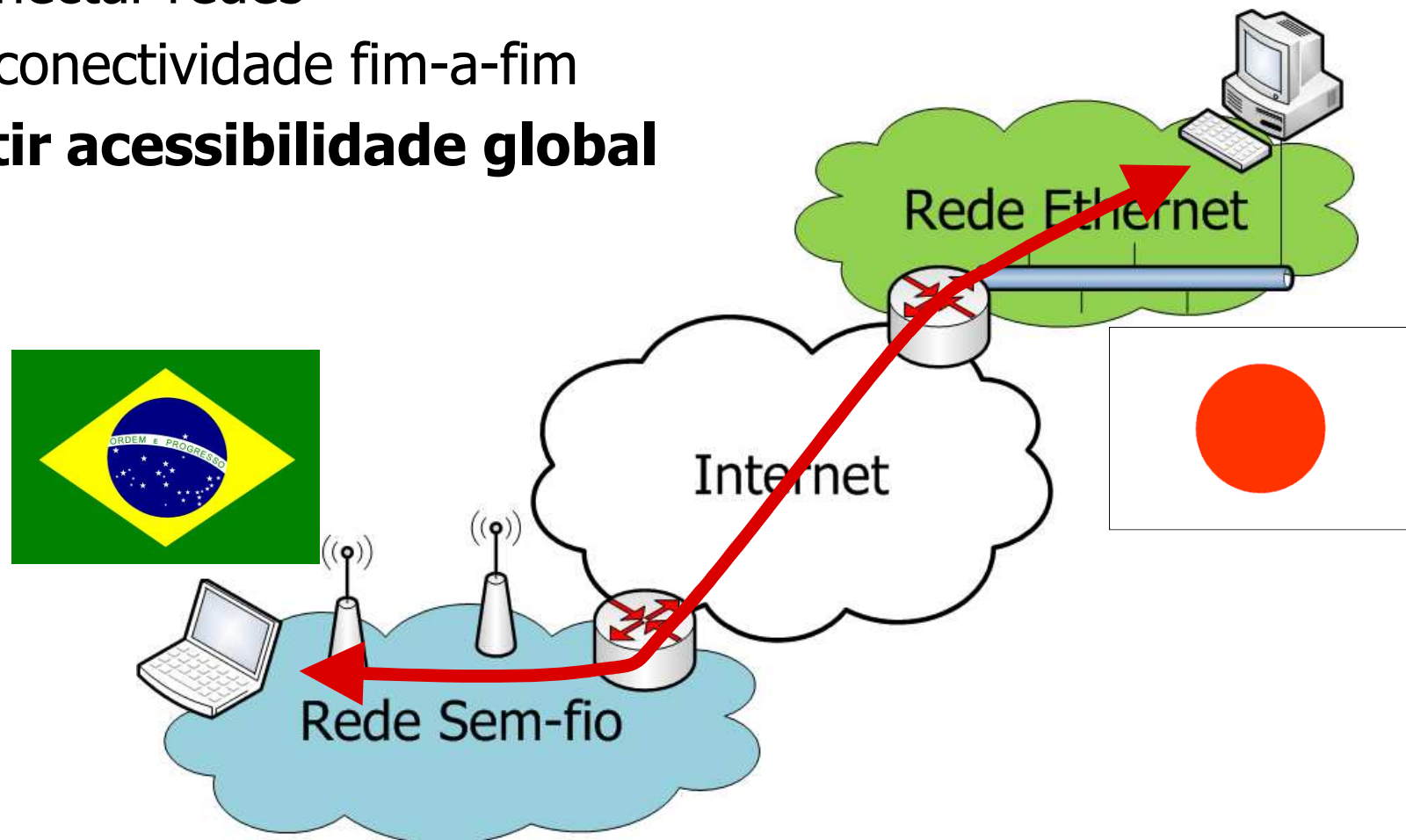


- Os objetivos originais são
 - Interconectar redes
 - **Prover conectividade fim-a-fim**
 - Garantir acessibilidade global



Internet

- Os objetivos originais são
 - Interconectar redes
 - Prover conectividade fim-a-fim
 - **Garantir acessibilidade global**



- Os objetivos originais são
 - Interconectar redes
 - Prover conectividade fim-a-fim
 - Garantir acessibilidade global

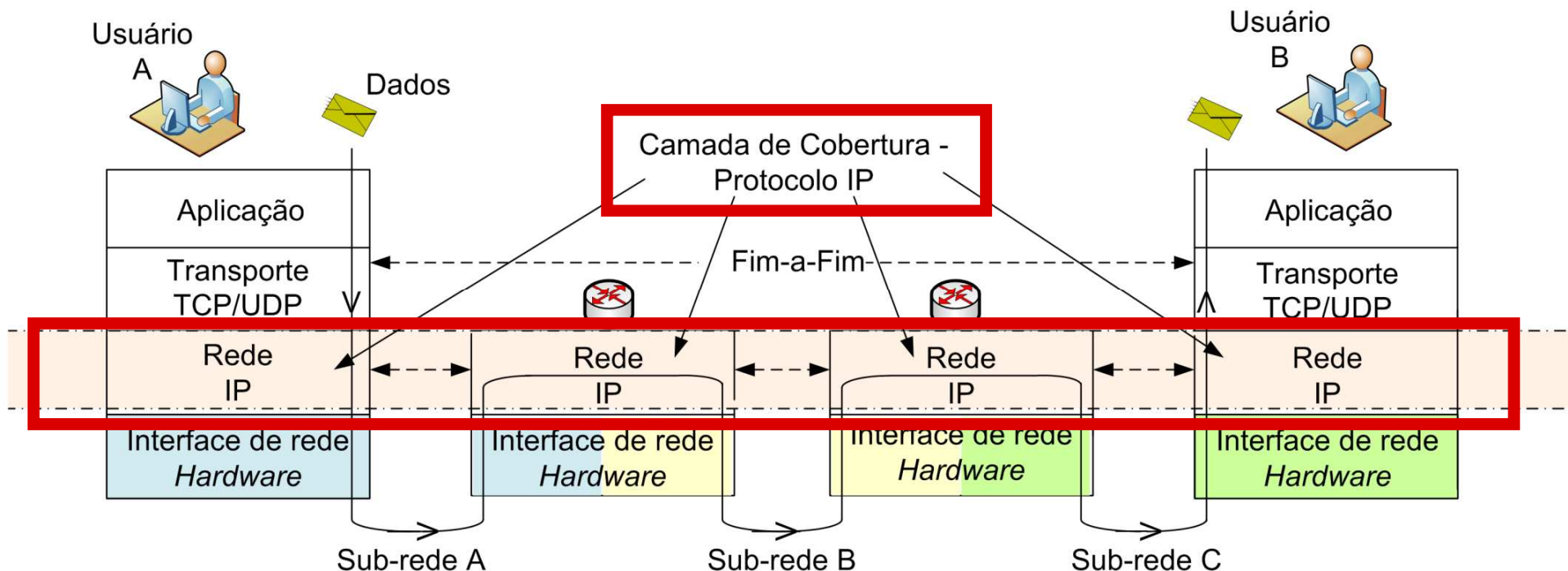


Tais requisitos deviam ser atendidos independente da aplicação e da tecnologia de acesso ao meio utilizada

- Os objetivos originais são
 - Interconectar redes
 - Prover conectividade fim-a-fim
 - Garantir acessibilidade global



**O que garante
esses objetivos?**



Crescimento da Internet

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

Internet

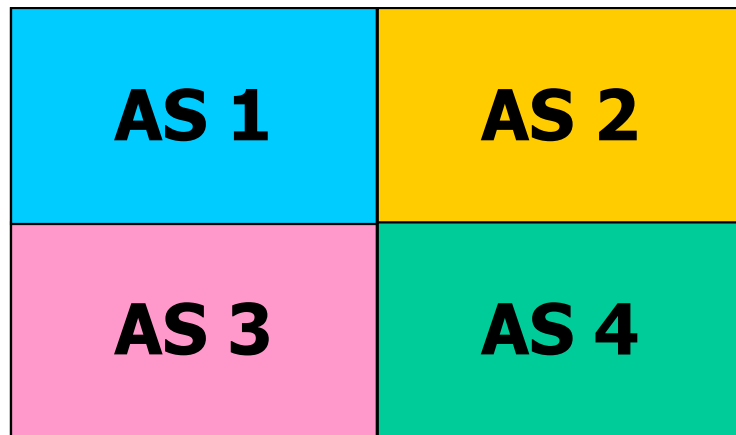


Rede única

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*)

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

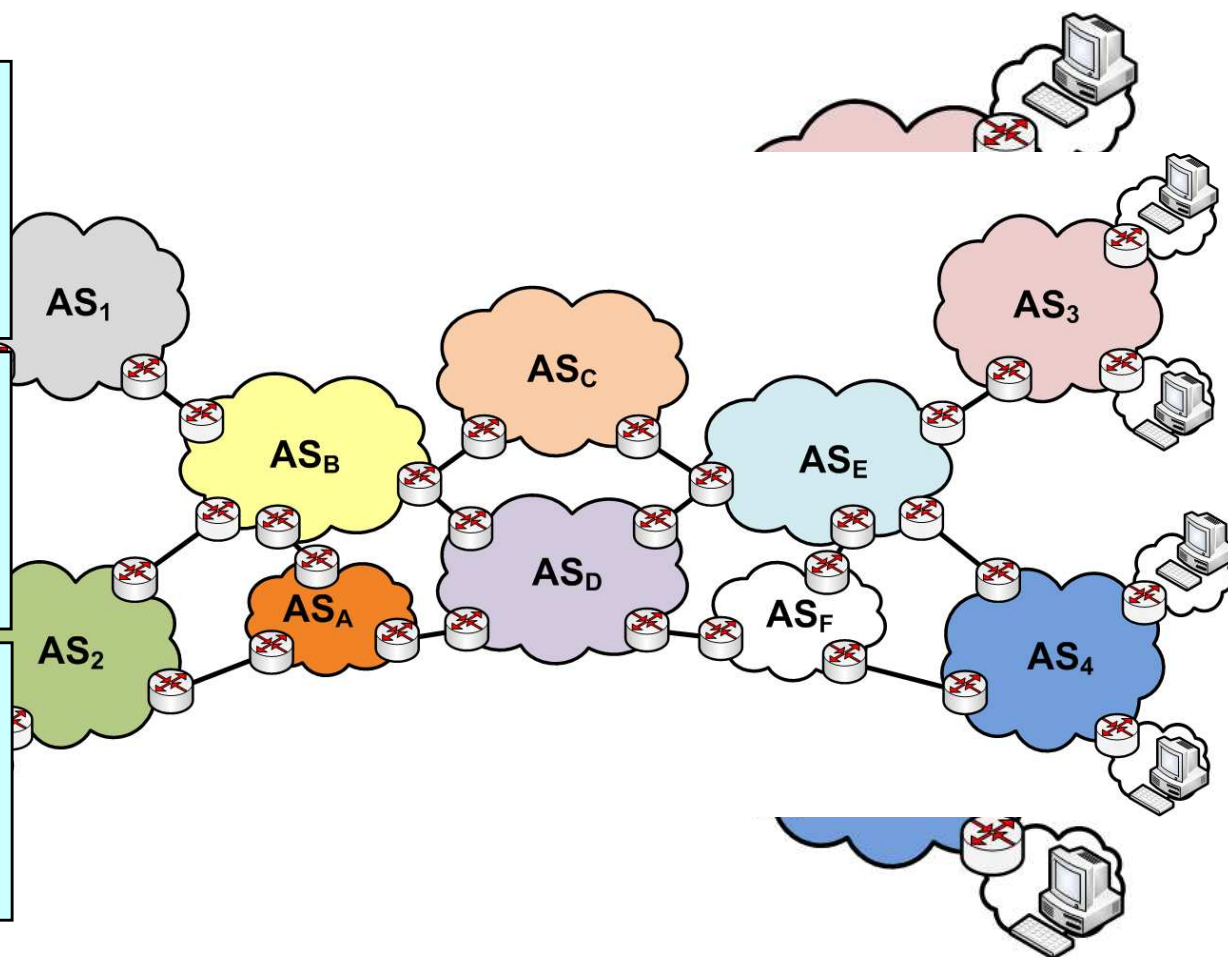
Internet: “Rede de Redes”

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

**Redes administradas
pela mesma instituição
formam um AS**

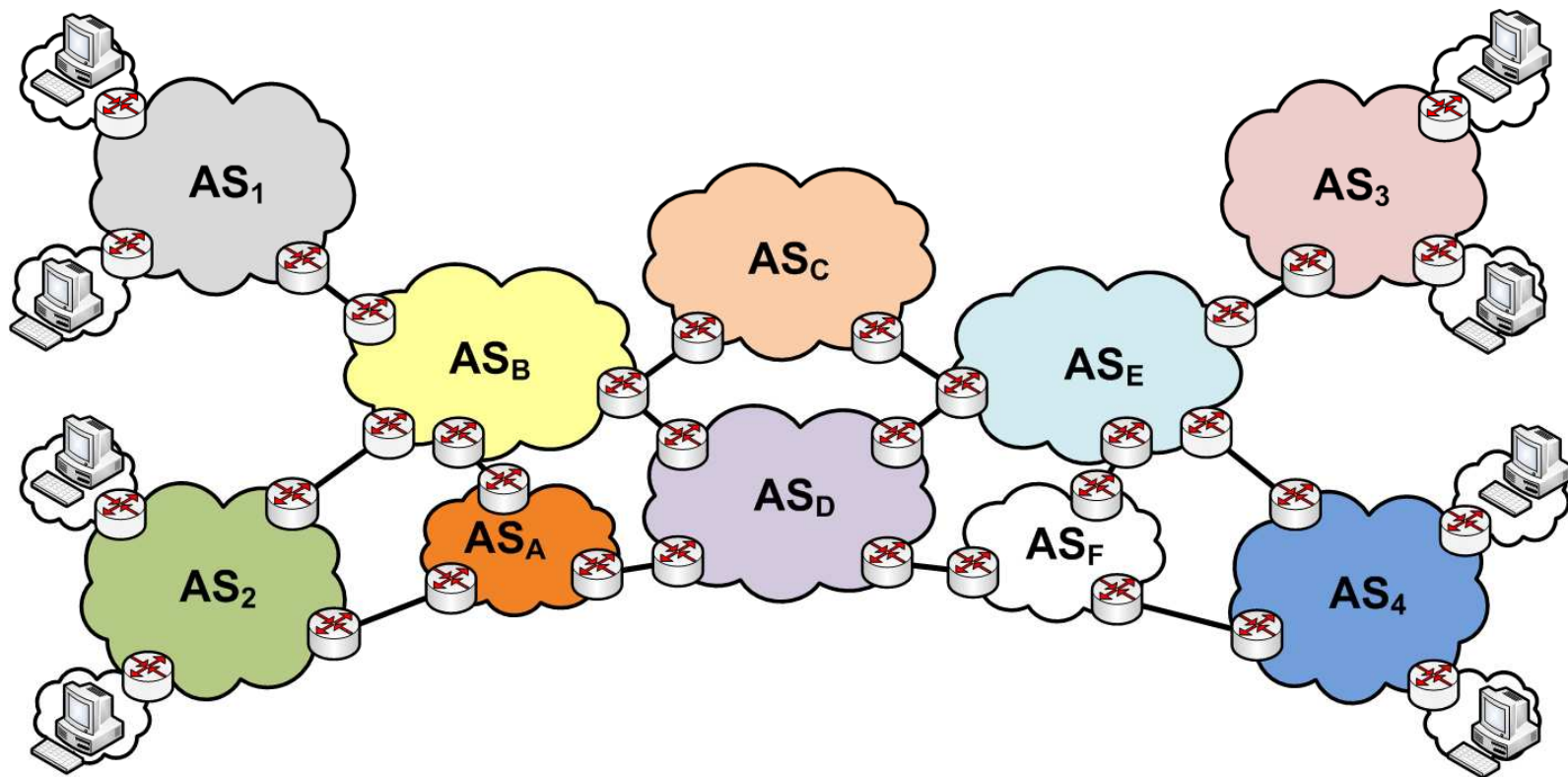
**Cada AS tem o seu
próprio protocolo
intradomínio**

**Todos os ASes
executam o mesmo
protocolo interdomínio**



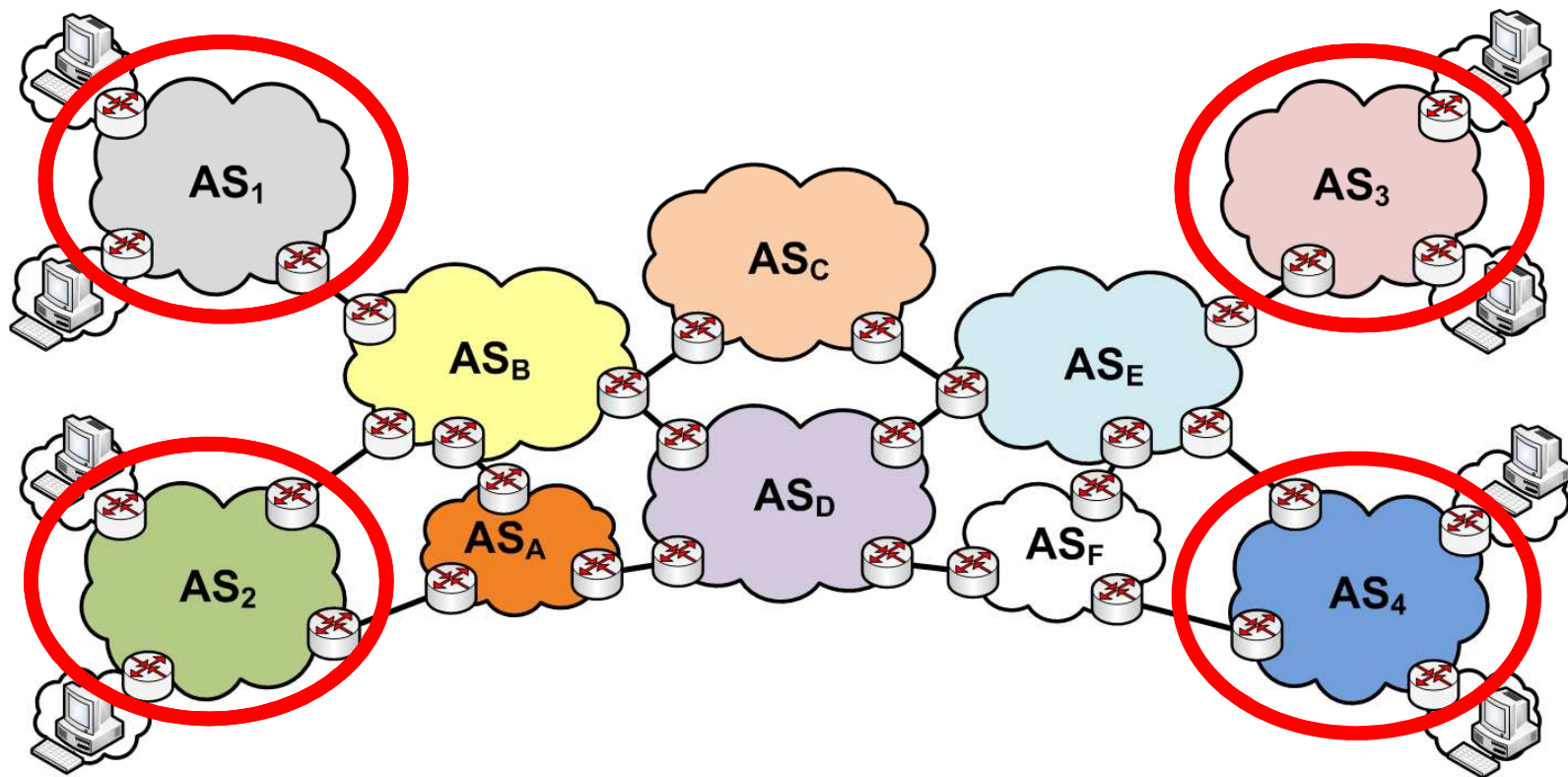
Classificação dos ASes

- Feita a partir da posição na topologia da Internet



Classificação dos ASes

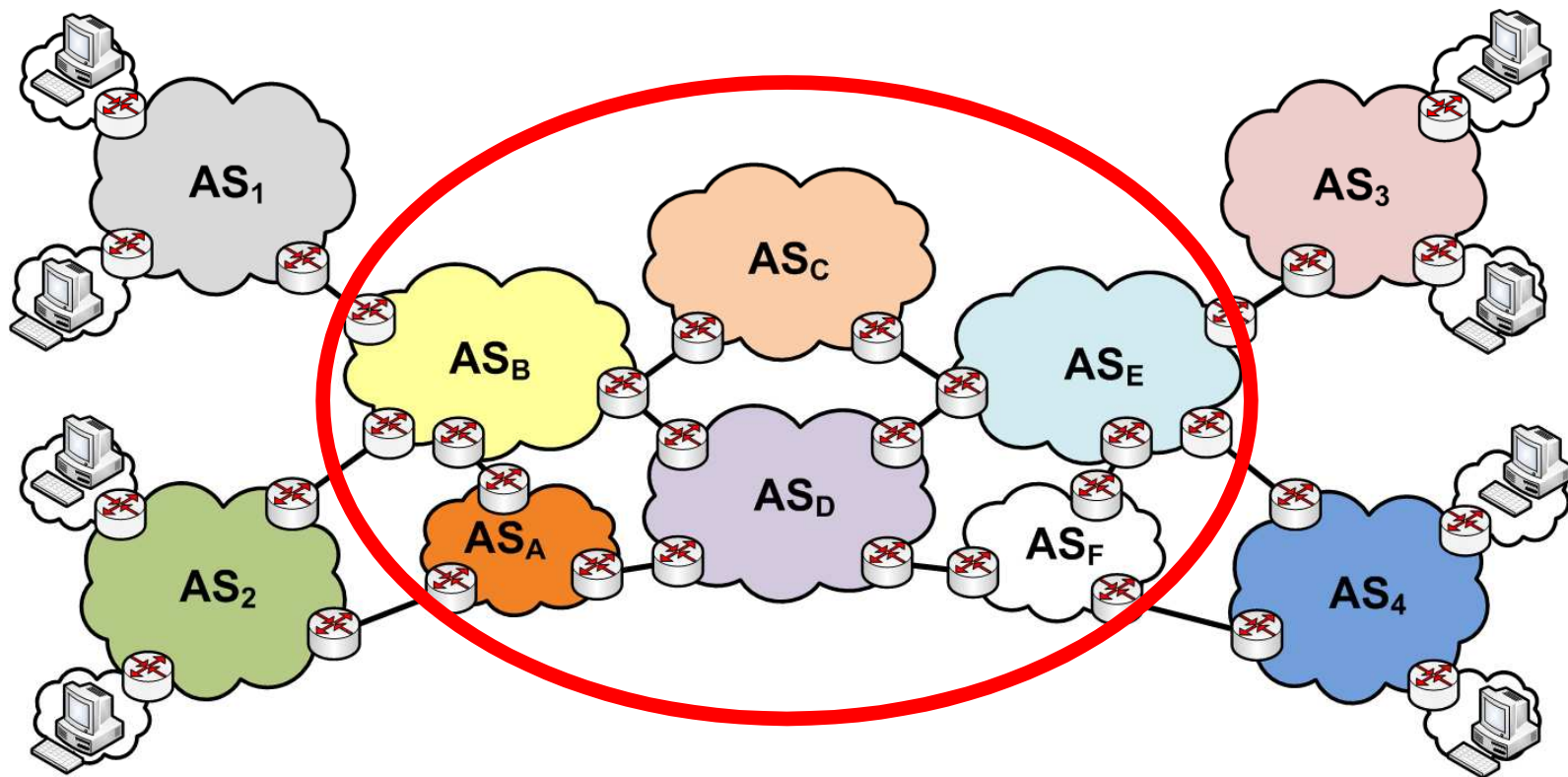
- Feita a partir da posição na topologia da Internet



ASes conectados a usuários → ASes de borda ou Provedores de acesso

Classificação dos ASes

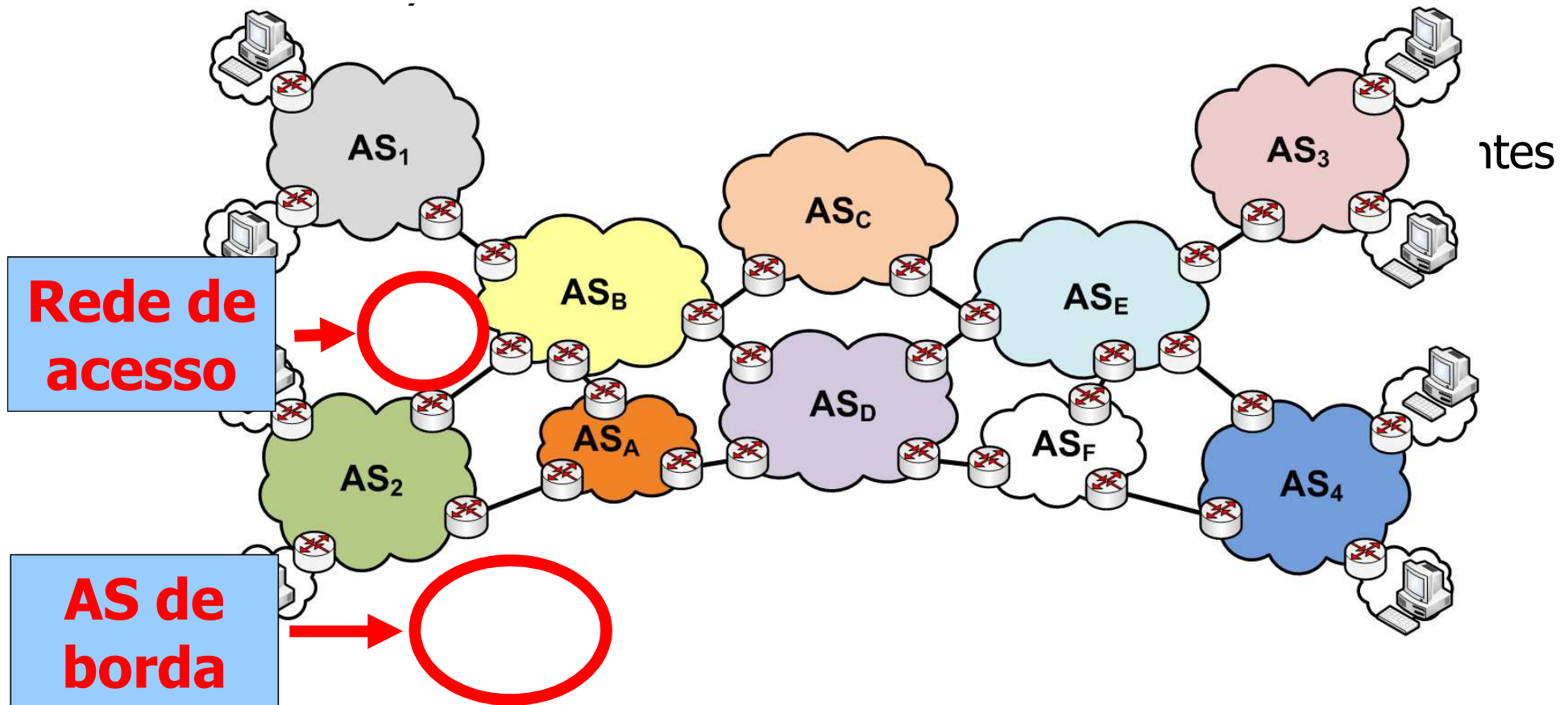
- Feita a partir da posição na topologia da Internet



ASes que não estão conectados a usuários → ASes de trânsito

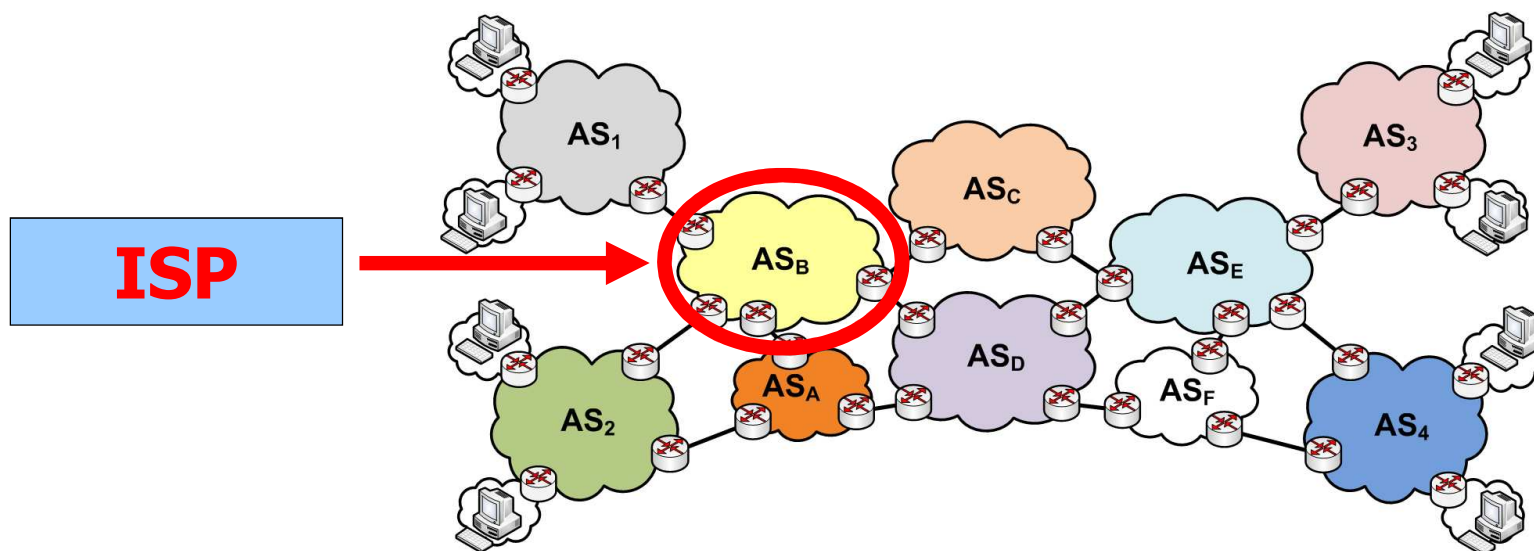
Classificação dos ASes

- ASes de borda ou provedores de acesso
 - Tarifam os usuários pelo acesso à Internet



Classificação dos ASes

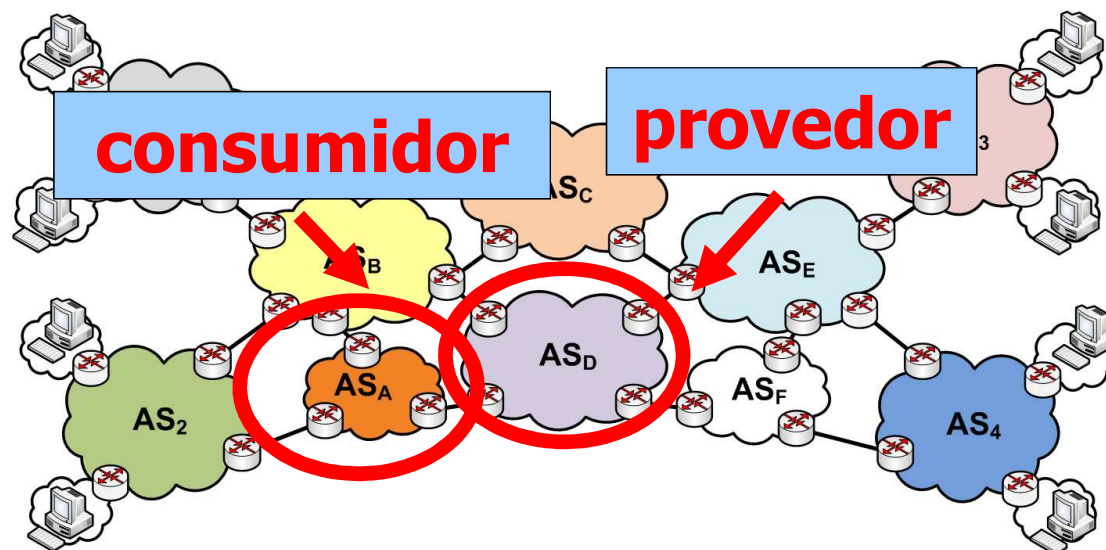
- ASes de trânsito
 - Não estão diretamente conectados a usuários
 - Encaminham dados entre ASes
 - Os ASes estabelecem acordos comerciais com os seus vizinhos
 - Responsáveis pelos ASes → ISP (*Internet Service Provider*)



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*)

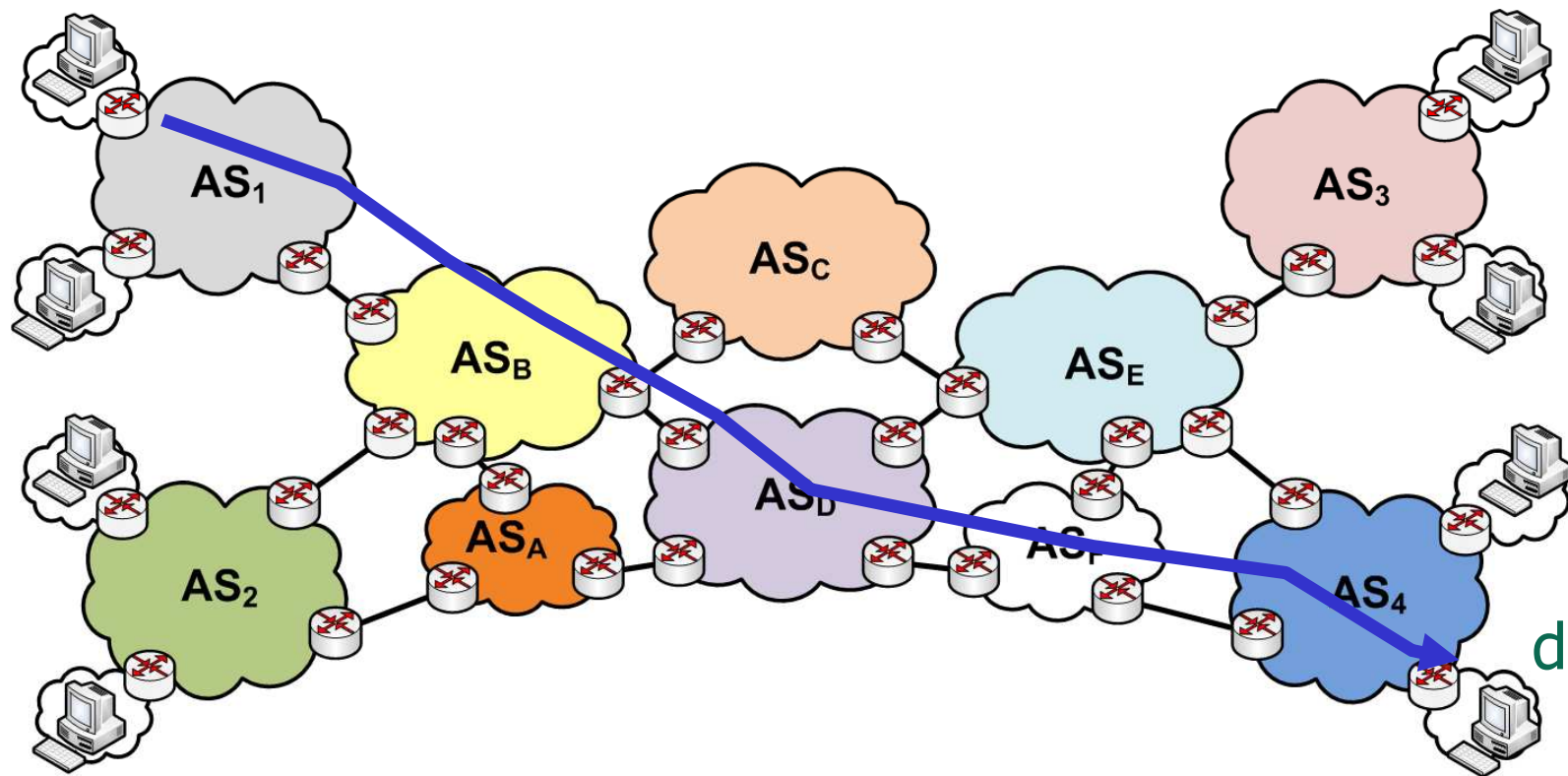
“peering”



“Rede de Redes”

Um pacote atravessa diferentes redes

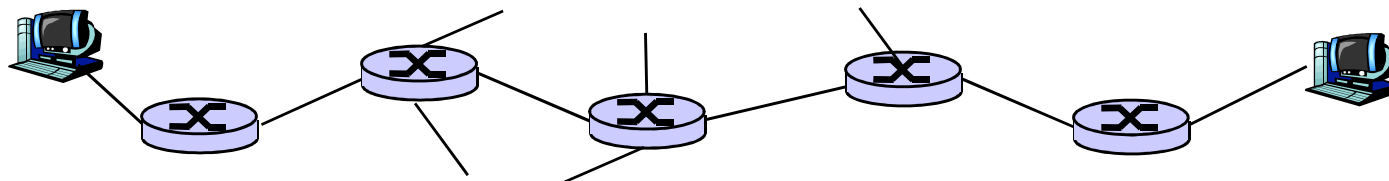
origem



destino

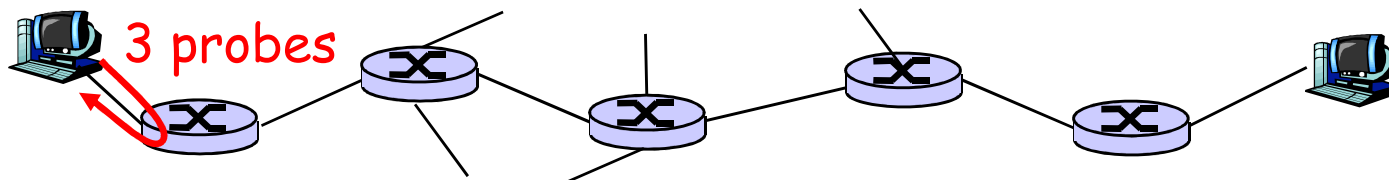
Traceroute/Tracert

- Fornece medições de atraso da fonte até os diversos roteadores ao longo do caminho fim-a-fim até o destino
 - Envia três pacotes que alcançarão o roteador i no caminho até o destino
 - O roteador i devolverá os pacotes ao transmissor
 - O transmissor calcula o intervalo de tempo decorrido entre a transmissão e a chegada da resposta



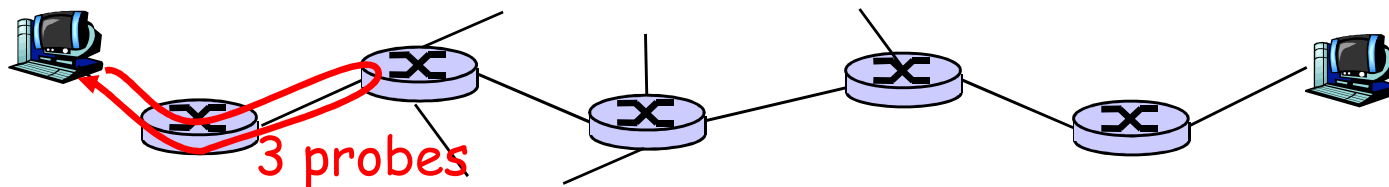
Traceroute/Tracert

- Fornece medições de atraso da fonte até os diversos roteadores ao longo do caminho fim-a-fim até o destino
 - Envia três pacotes que alcançarão o roteador i no caminho até o destino
 - O roteador i devolverá os pacotes ao transmissor
 - O transmissor calcula o intervalo de tempo decorrido entre a transmissão e a chegada da resposta



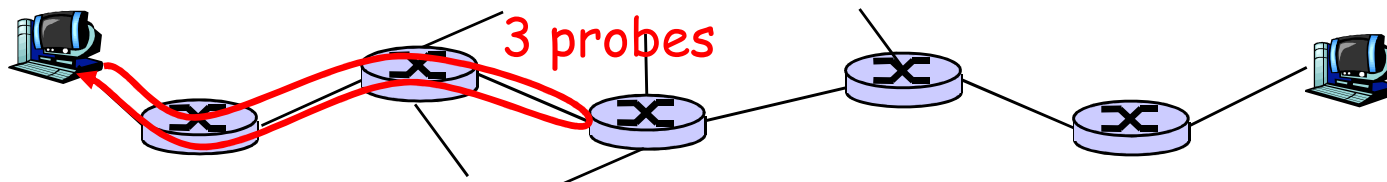
Traceroute/Tracert

- Fornece medições de atraso da fonte até os diversos roteadores ao longo do caminho fim-a-fim até o destino
 - Envia três pacotes que alcançarão o roteador i no caminho até o destino
 - O roteador i devolverá os pacotes ao transmissor
 - O transmissor calcula o intervalo de tempo decorrido entre a transmissão e a chegada da resposta



Traceroute/Tracert

- Fornece medições de atraso da fonte até os diversos roteadores ao longo do caminho fim-a-fim até o destino
 - Envia três pacotes que alcançarão o roteador i no caminho até o destino
 - O roteador i devolverá os pacotes ao transmissor
 - O transmissor calcula o intervalo de tempo decorrido entre a transmissão e a chegada da resposta



Traceroute/Tracert

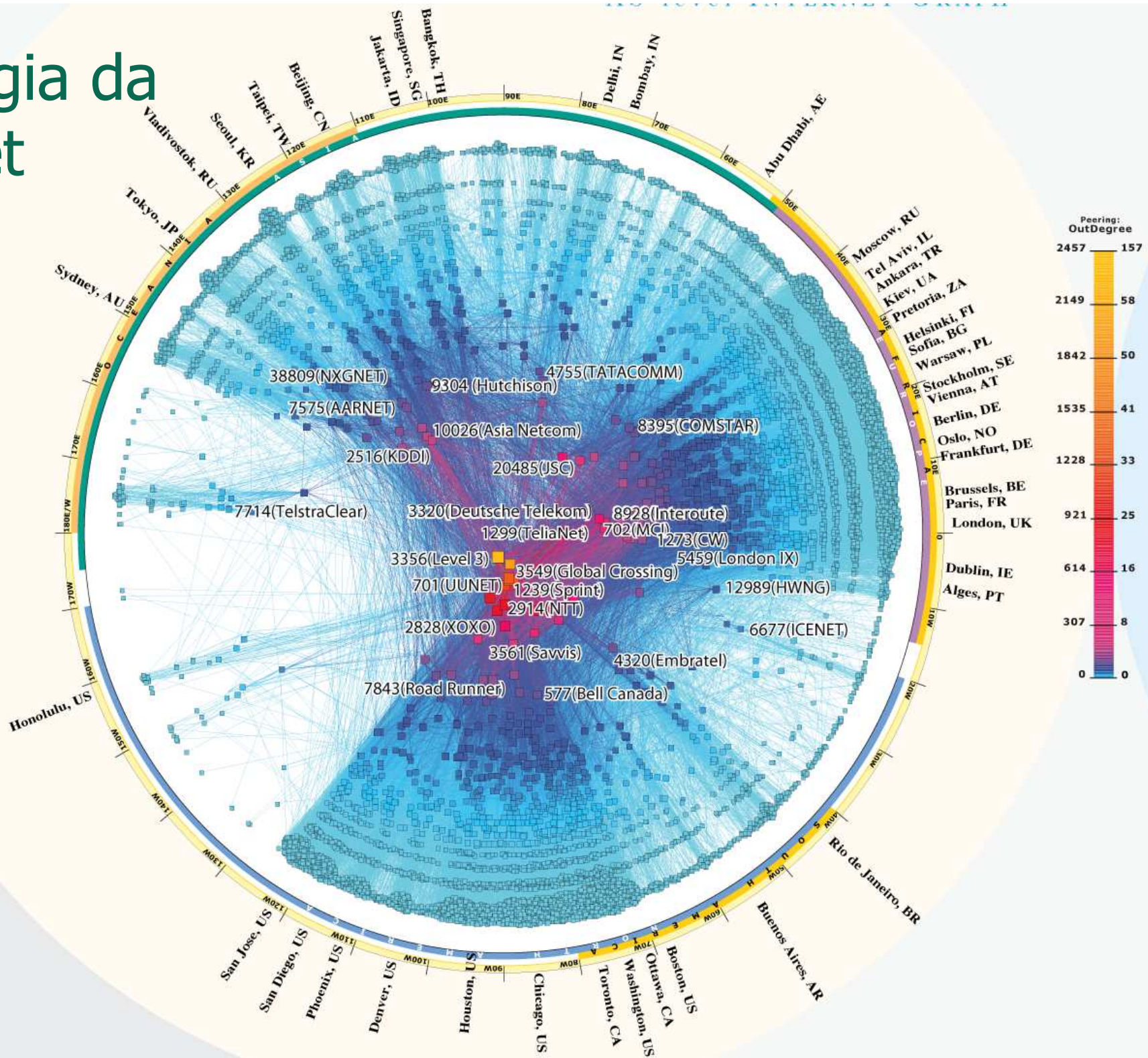
```
C:\Documents and Settings\igor>tracert ssh.ic.uff.br
```

```
Rastreando a rota para abacate.ic.uff.br [200.20.15.208]  
com no máximo 30 saltos:
```

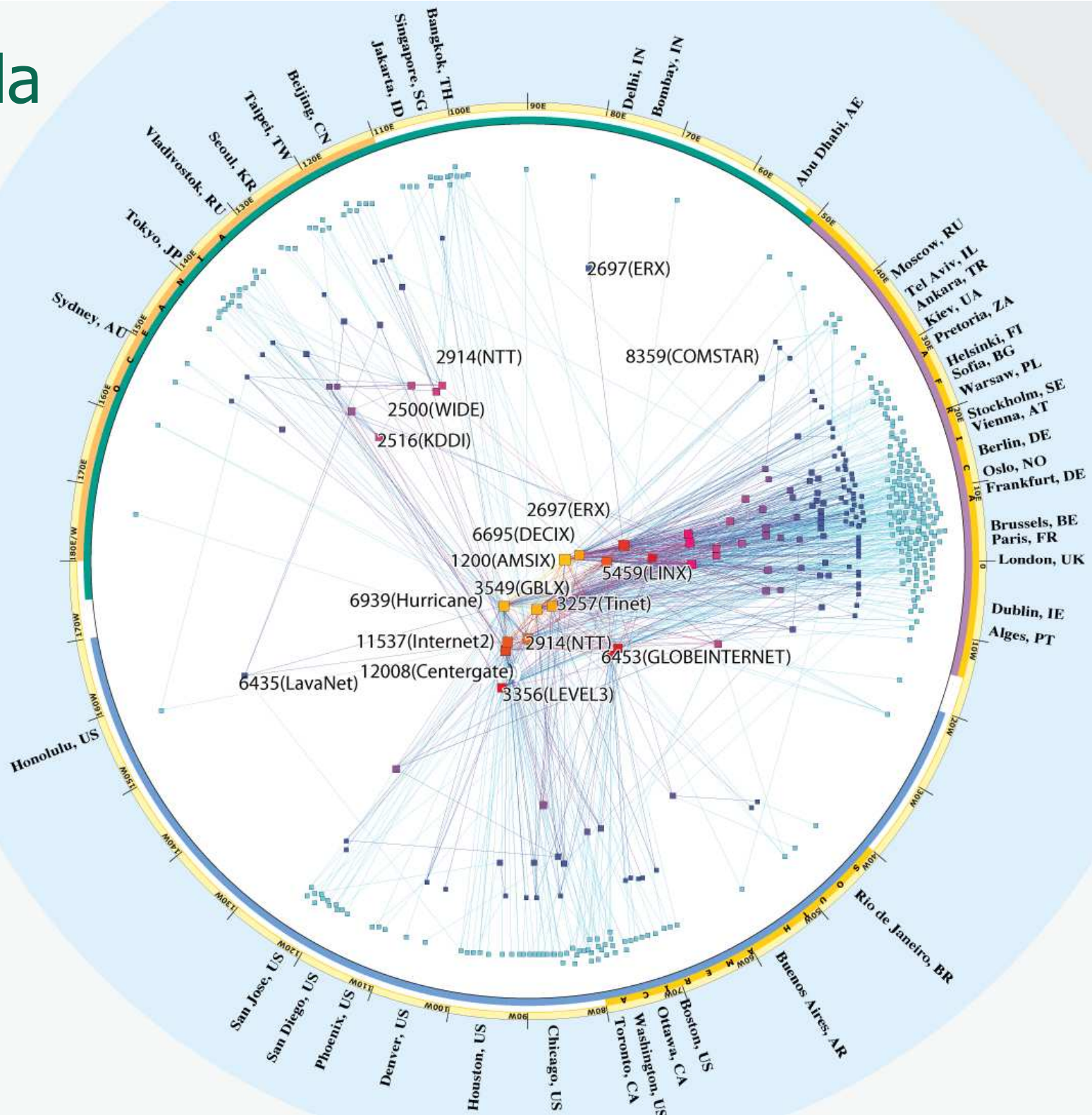
1	2 ms	4 ms	4 ms	192.168.0.1
2	*	*	*	Esgotado o tempo limite do pedido.
3	25 ms	23 ms	26 ms	xe-8-0-0-525-bot-rj-rotn- 01.telemar.net.br [200. 164.14.205]
4	22 ms	24 ms	25 ms	pos9-0-arc-rj-rotb-03.telemar.net.br [200.223.25 4.117]
5	*	36 ms	24 ms	as1916.rj.ptt.br [200.219.138.101]
6	22 ms	25 ms	24 ms	200.143.254.137
7	25 ms	24 ms	25 ms	200.20.92.146
8	26 ms	23 ms	26 ms	dlinkgiga-PV.uff.br [200.20.0.132]
9	26 ms	25 ms	45 ms	abacate.ic.uff.br [200.20.15.208]

```
Rastreamento concluído.
```

Topologia da Internet (Ases) IPv4



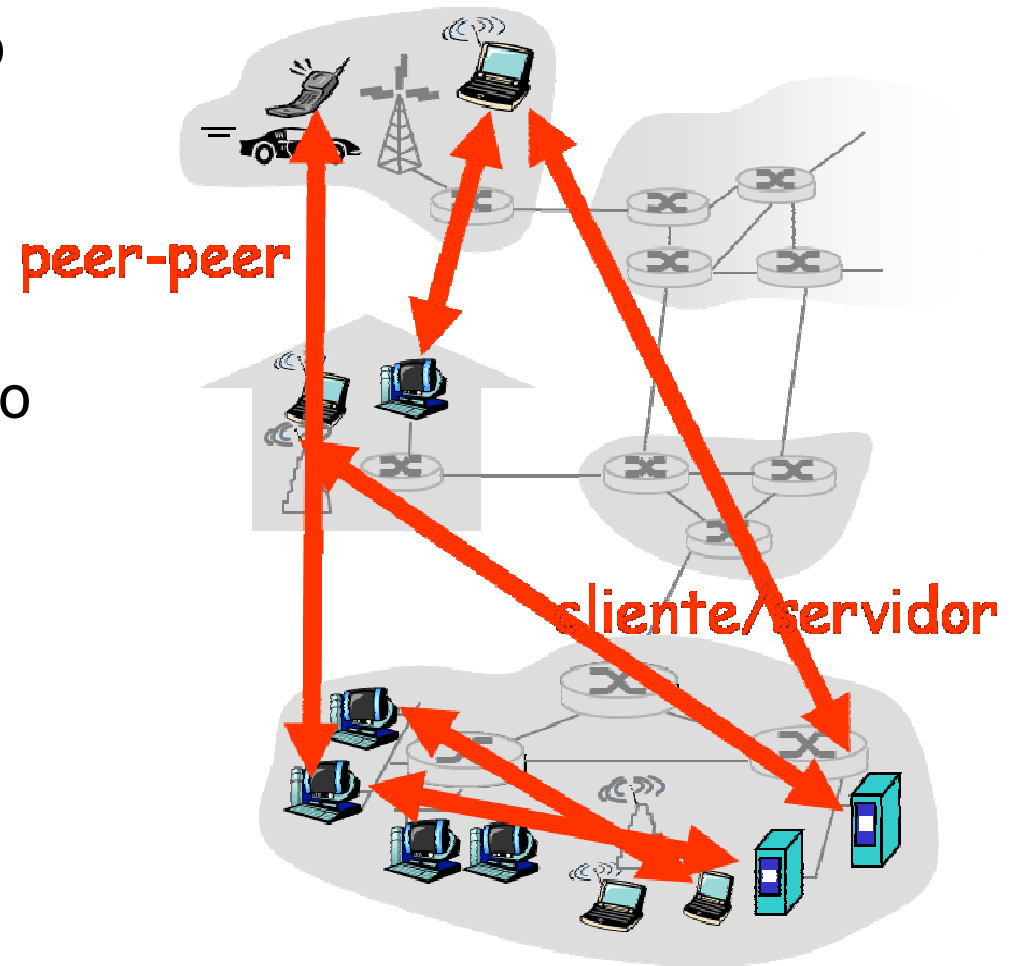
Topologia da Internet (Ases) IPv6



Redes de Acesso

A Borda da Rede

- Sistemas finais (estações):
 - Rodam programas de aplicação
 - ex., WWW, email
 - Na “borda da rede”
- Modelo cliente/servidor
 - O cliente faz os pedidos que são atendidos pelos servidores
 - Ex.: cliente Web (browser)/servidor; cliente/servidor de e-mail
- Modelo par-a-par (P2P)
 - Uso mínimo (ou nenhum) de servidores dedicados
 - Ex.: Skype, BitTorrent



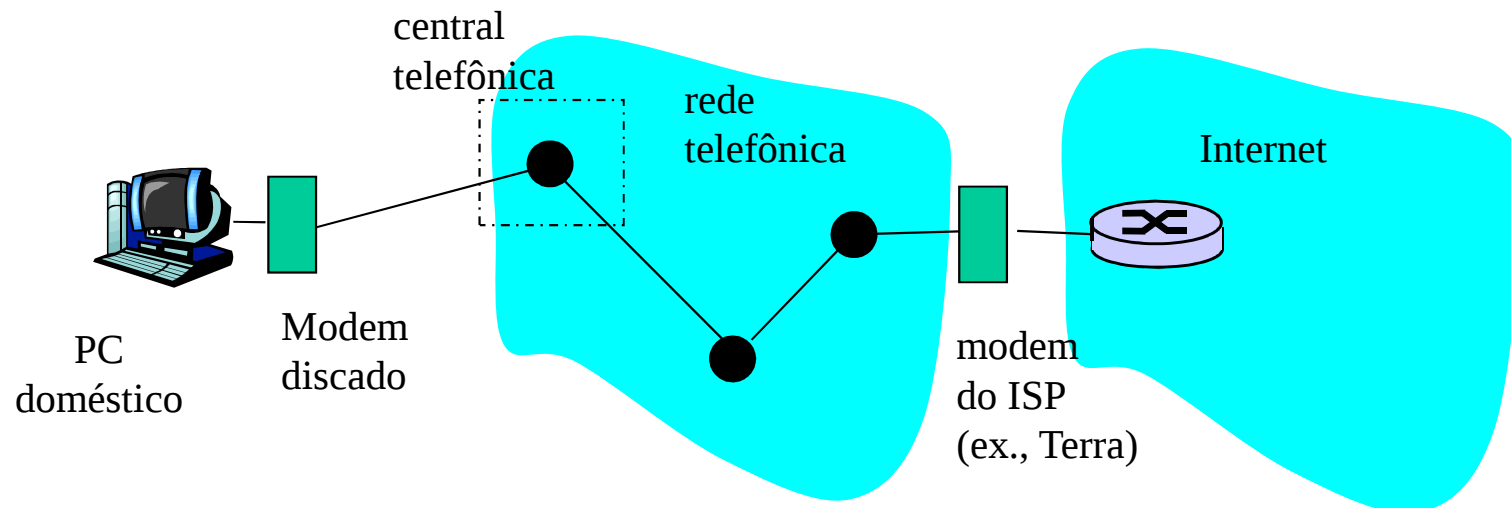
- Conectam os sistemas finais aos roteadores de borda
 - Redes domiciliares
 - Redes de acesso corporativo
 - Redes de ensino e pesquisa
 - Redes de universidades
 - Etc.

Acesso Ponto-a-Ponto

- Acesso discado via modem (*dialup*)
 - Acesso direto ao roteador de até 56 kb/s
 - Não é possível acessar a Internet e telefonar ao mesmo tempo
- DSL (*Digital Subscriber Line*)

Acesso Discado

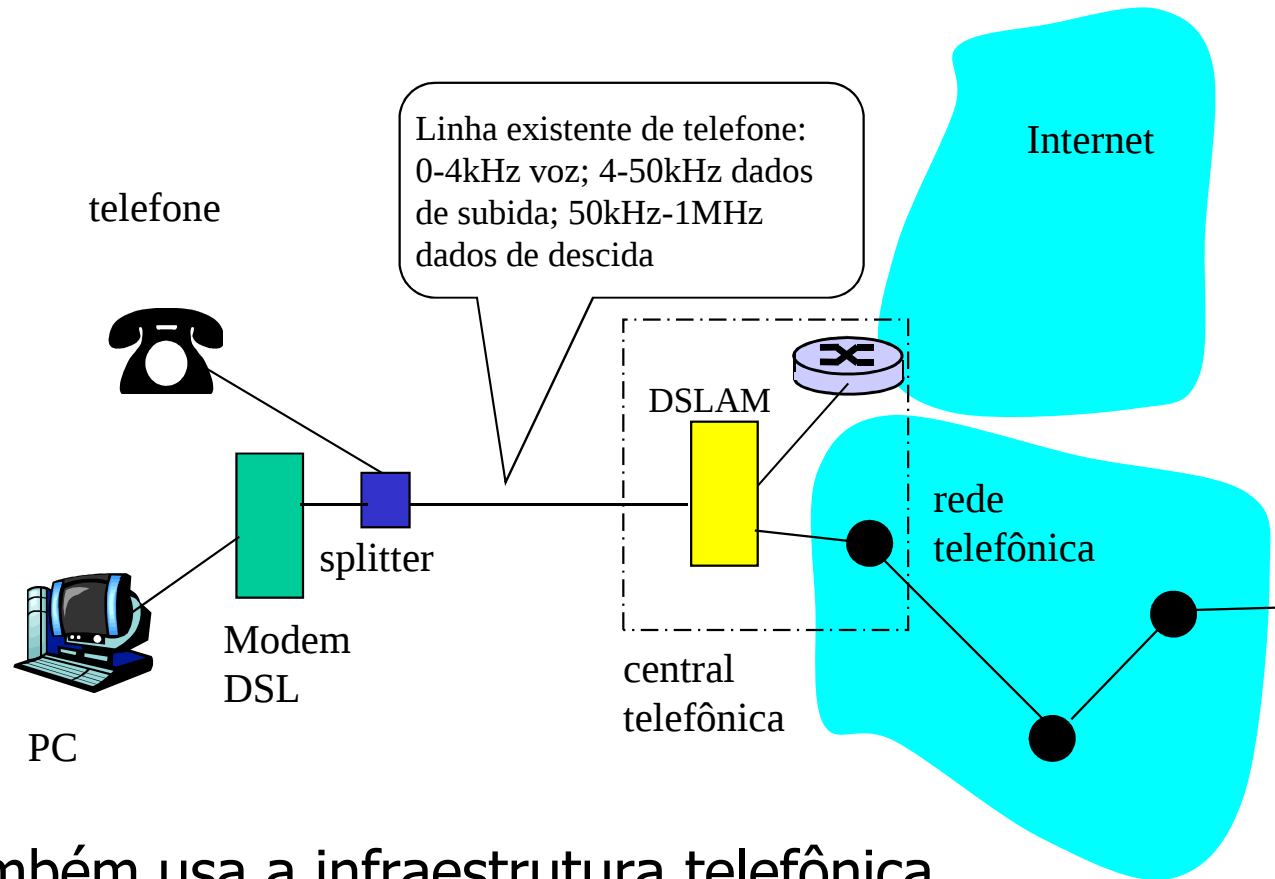
- Modems residenciais
 - Usa a infraestrutura existente de telefonia
 - Residência está conectada à **central telefônica**
 - Banda de voz (até ~ 4 kHz)
 - Ocupação da linha telefônica
 - Taxas de até 56 kb/s



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

DSL (*Digital Subscriber Line*)



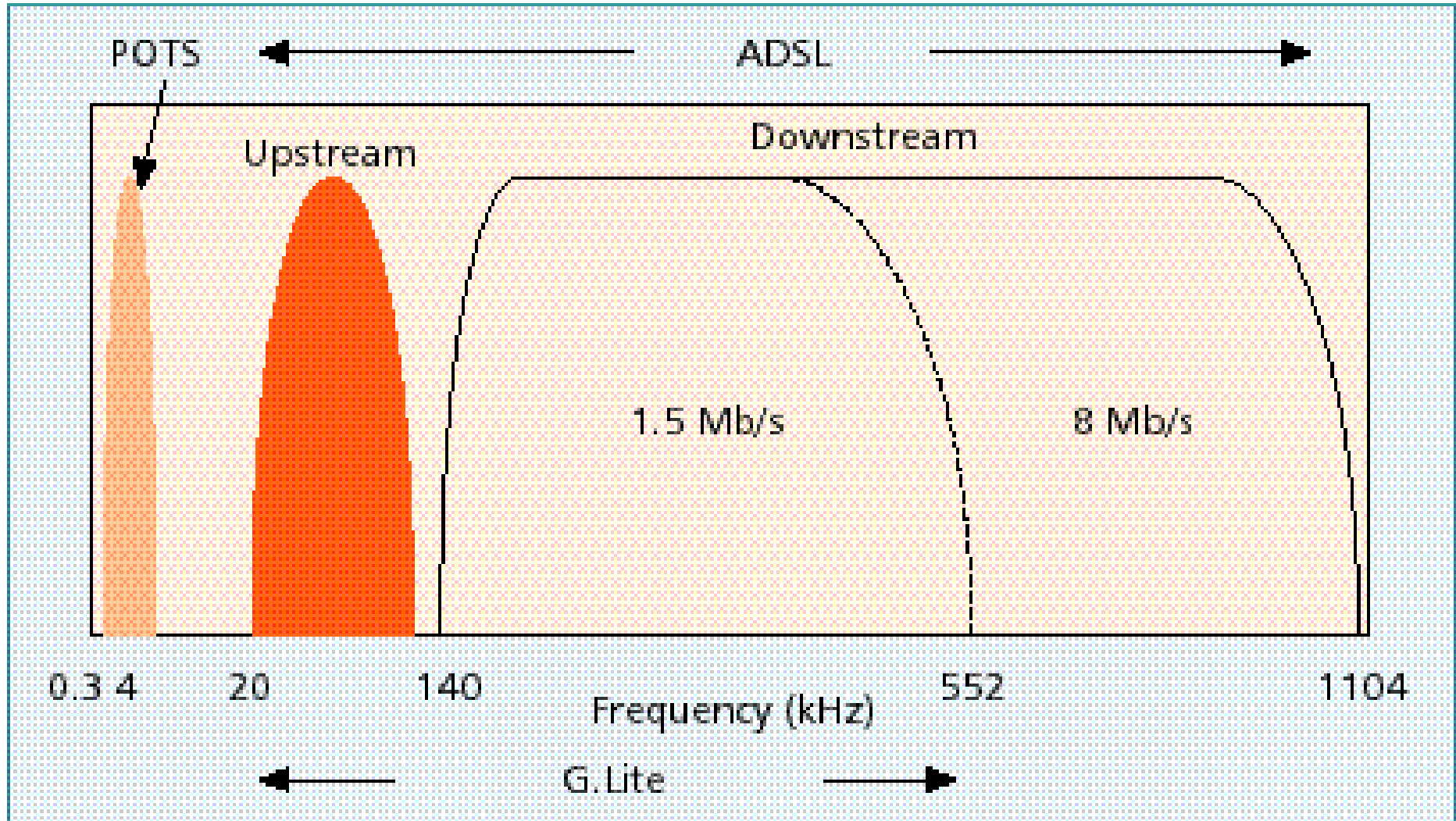
- Também usa a infraestrutura telefônica
- até 1 Mb/s de subida (tipicamente < 256 kb/s)
- até 8 Mb/s de descida (tipicamente < 1 Mb/s)
- linha física dedicada até a central telefônica

- Sistemas mais modernos consideram a assimetria do canal
 - Diafonia mais pronunciada no sentido assinante-central (*upstream*)
 - Pares agrupados perto das centrais telefônicas
 - Maior relação sinal-ruído no sentido central-assinante (*downstream*)
 - Mesmo sistema pode transmitir a maiores taxas
- *Asymmetric DSL* (ADSL)
 - Maior taxa no *downstream*
 - **Reflete o comportamento da maioria dos usuários e aplicações (!?)**
 - HTTP

Tecnologias DSL Assimétricas

- ADSL original
 - Objetivo de possibilitar a distribuição de vídeo
 - Exige em geral uma taxa constante
 - Taxa de até 8 Mb/s
 - Utilização de filtros (*splitters*)
 - Sinais ADSL podem interferir na comunicação telefônica

ADSL: Espectro de Frequências



Sistemas DSL (2004)

Acrônimo	Padrões	Taxa de Transmissão	Banda Passante
HDSL	ITU G.991.1 ETSI TS 101 135 ANSI T1.TR.28	1,544 Mbps simétrico	0-370 kHz
ADSL	ANSI T1.413 ITU G.991.2	até ~1 Mbps <i>up</i> , até ~8 Mbps <i>down</i>	25-138 kHz <i>up</i> , 25-1104 kHz <i>down</i>
RADSL	ANSI T1.TR.59	até ~1 Mbps <i>up</i> , até ~8 Mbps <i>down</i>	25-138 kHz <i>up</i> , 25-1104 kHz <i>down</i>
G.lite	ANSI T1.419 ITU G.992.2	até ~1 Mbps <i>up</i> , até ~1,5 Mbps <i>down</i>	25-138 kHz <i>up</i> , 25-552 kHz <i>down</i>
VDSL	ANSI <i>trial-use</i> <i>standard</i> T1.424 ITU G.vdsl ETSI TS 101 270	até ~13 Mbps <i>up</i> , até ~22 Mbps <i>down</i>	25 kHz - 12 MHz

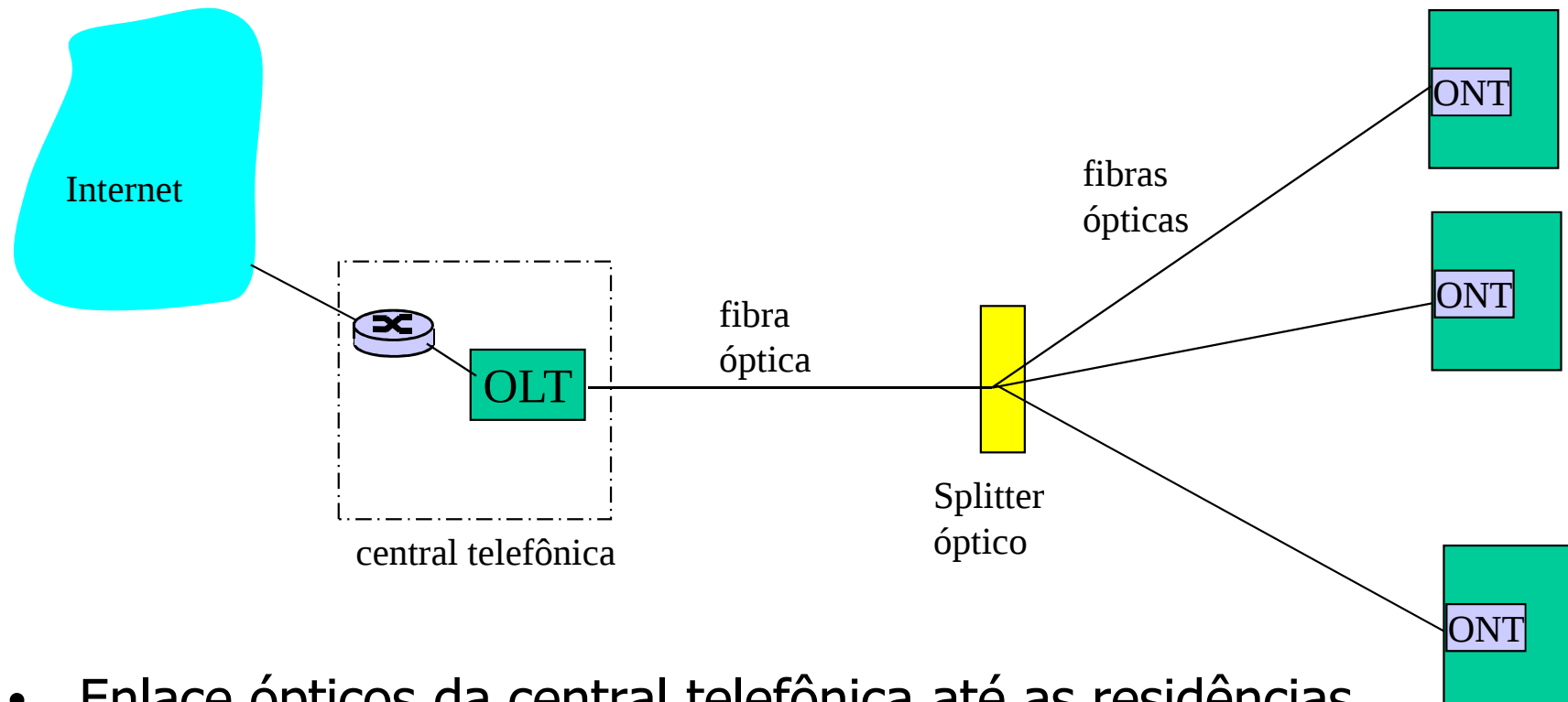
Problemas Encontrados

- Utilização de frequências mais altas agrava problemas encontrados na rede telefônica
 - Diafonia
 - Acoplamento eletromagnético entre diferentes pares metálicos num mesmo cabo
 - Trançado visa reduzir a diafonia na banda de voz
 - Menor eficiência para frequências mais altas
 - Atenuação dos sinais
 - Aumenta com a frequência
 - Sinais devem atravessar todo o *loop* do assinante
 - Pode chegar a alguns km
 - Diferente das redes domiciliares

Modens a Cabo

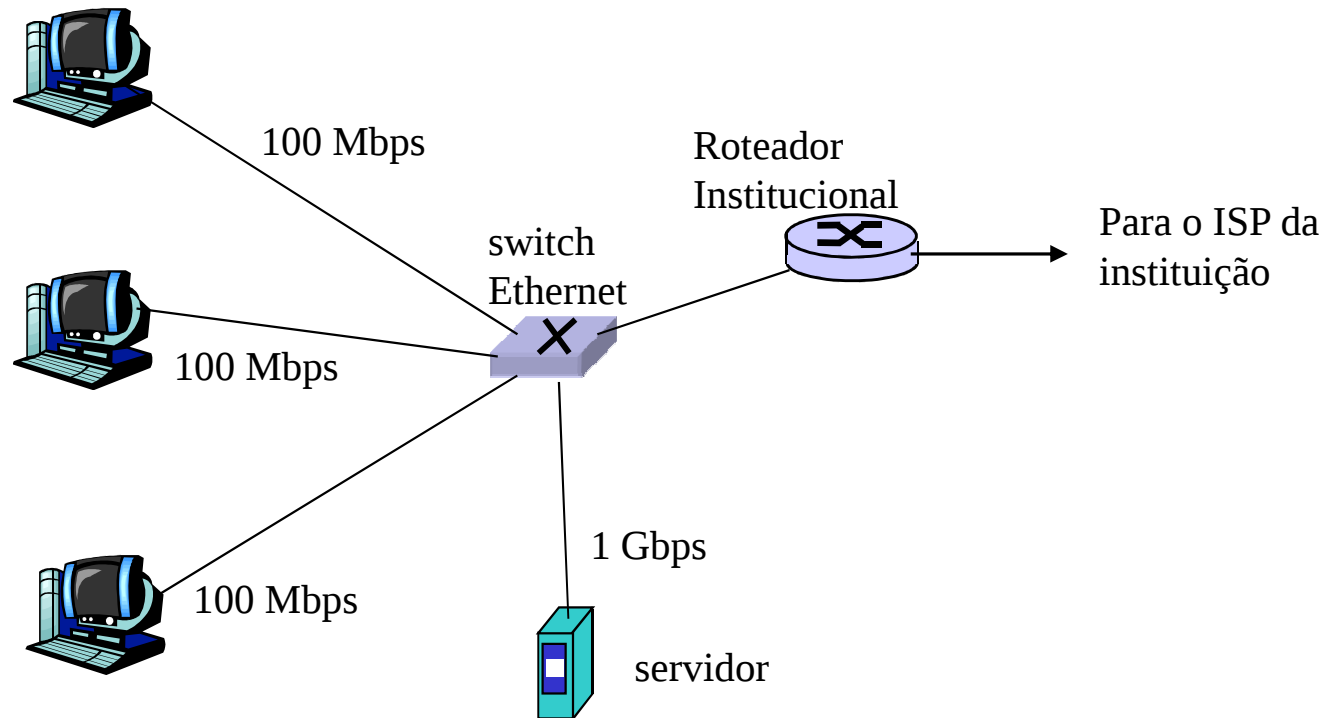
- Usa a infraestrutura da TV a cabo
 - Ao invés da infraestrutura da rede telefônica
- HFC: cabo híbrido coaxial/fibra
 - **Assimétrico**
 - Até 30Mbps descida (downstream), 2 Mbps subida (upstream)
- Rede de cabos e fibra conectam as residências ao roteador do ISP
 - **Acesso compartilhado** das residências ao roteador
 - Ao contrário do DSL que tem acesso dedicado

FTTH (*Fiber to the Home*)



- Enlace ópticos da central telefônica até as residências
- Duas tecnologias ópticas
 - Rede óptica passiva (PON)
 - Rede óptica ativa (PAN)
- Taxas de transmissão muito mais altas: fibra transporta televisão e serviços telefônicos

Ethernet



- Usado tipicamente em empresas, universidades, etc.
- Ethernet de 10 Mb/s, 100 Mb/s, 1Gb/s e 10Gb/s
- Hoje tipicamente os sistemas terminais se conectam a comutadores (*switches*) Ethernet

Rede Ethernet Computada

- Comutador
 - Processa, armazena e transmite os dados
 - Pares trançados não são compartilhados → não há colisões
 - Transmissão em *full-duplex*
 - Escalável
 - Aumento de eficiência da rede
 - Limitação passa a ser dada pela banda do meio físico ou pela capacidade de comutação

Redes Sem-Fio

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

- 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

- 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

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 hoje 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

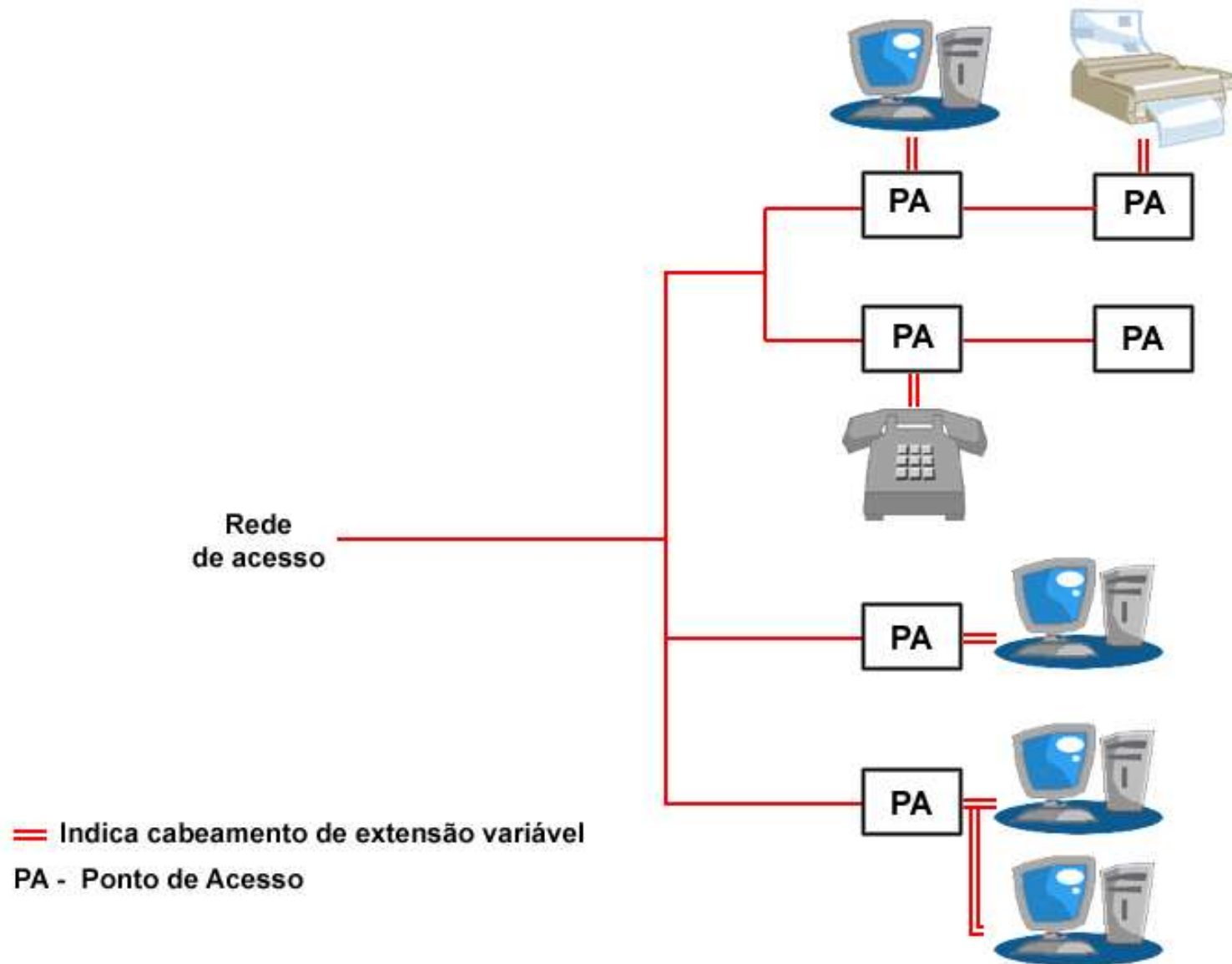
Tecnologias de Redes Domiciliares

- Sem novos fios
 - Uso de uma infra-estrutura 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 Domiciliares através da Fiação Telefônica

- Usam cabeamento telefônico já existente
 - Par metálico
- Ligação dedicada do assinante com a central
 - Privacidade
 - Impede ação de bisbilhoteiros
 - Meio individualizado
 - Isolamento das redes domiciliares de diferentes assinantes
 - Disponibilidade de toda a banda passante para o domicílio do assinante

Topologia da Rede através da Fiação Telefônica



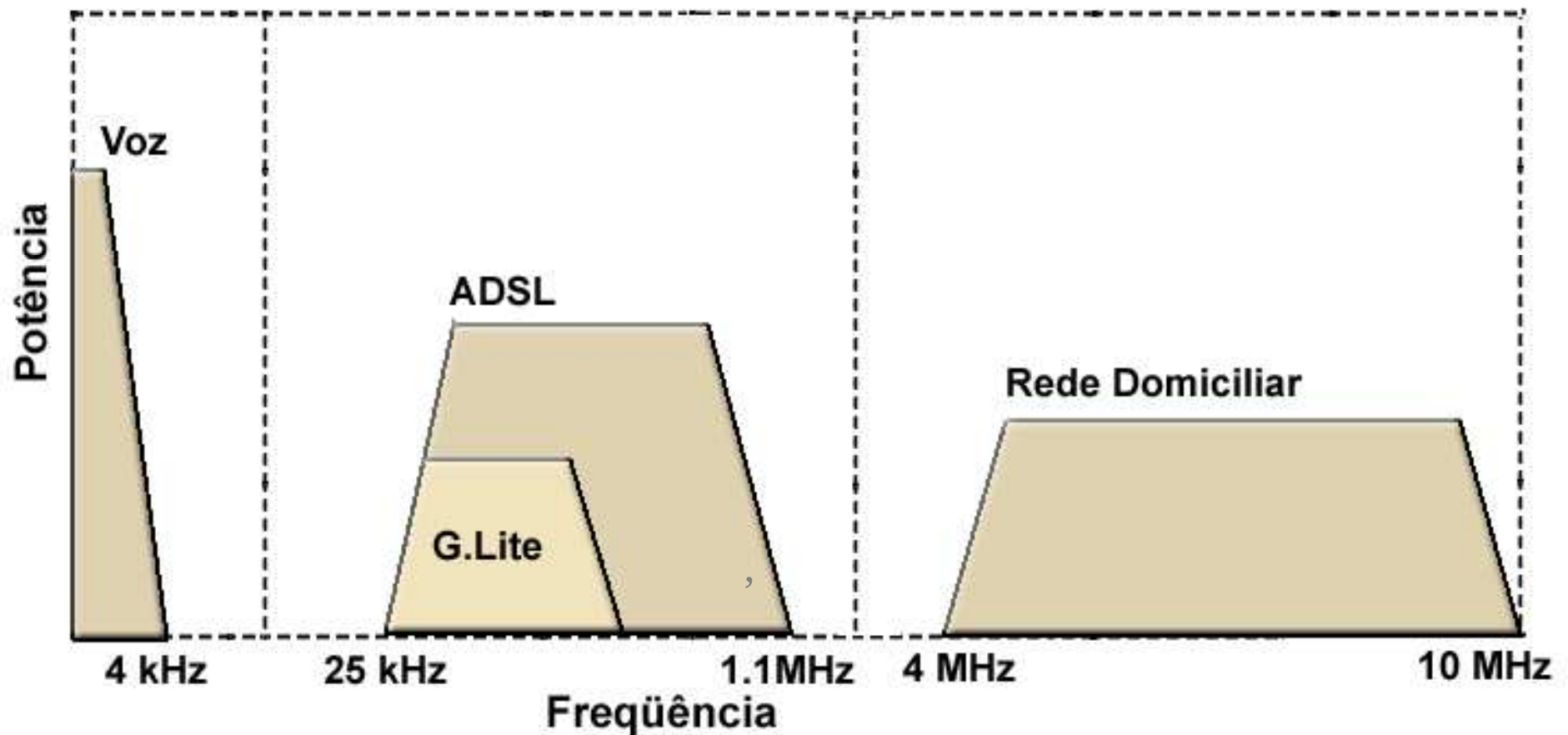
Home Phoneline Networking Alliance

- Rede domiciliar em linha telefônica proposta pela Tut System
- Aliança criada em 1998
- *3Com, Agere Systems, AMD, AT&T Wireless Services, HP, Intel* entre outras mais de 150 empresas
- Objetivo de criar um padrão único de redes domiciliares através da fiação telefônica
 - Desenvolvimento de produtos
 - Interoperabilidade

Padrão HomePNA

- HomePNA 1.0 (1999)
 - Proposta da Tut System
 - 1 Mbps
- HomePNA 2.0 (2000)
 - Proposta da Broadcom
 - Compatível com o HomePNA 1.0
 - Banda de frequências de 4 a 10 MHz
 - 10 Mbps (até 32 Mbps)
 - Base para as recomendações do ITU-T G.989.1, G.989.2 e G.989.3
- HomePNA 3.0 (2003)

Multiplexação dos Serviços



Placa de rede Homelink Phoneline 10M



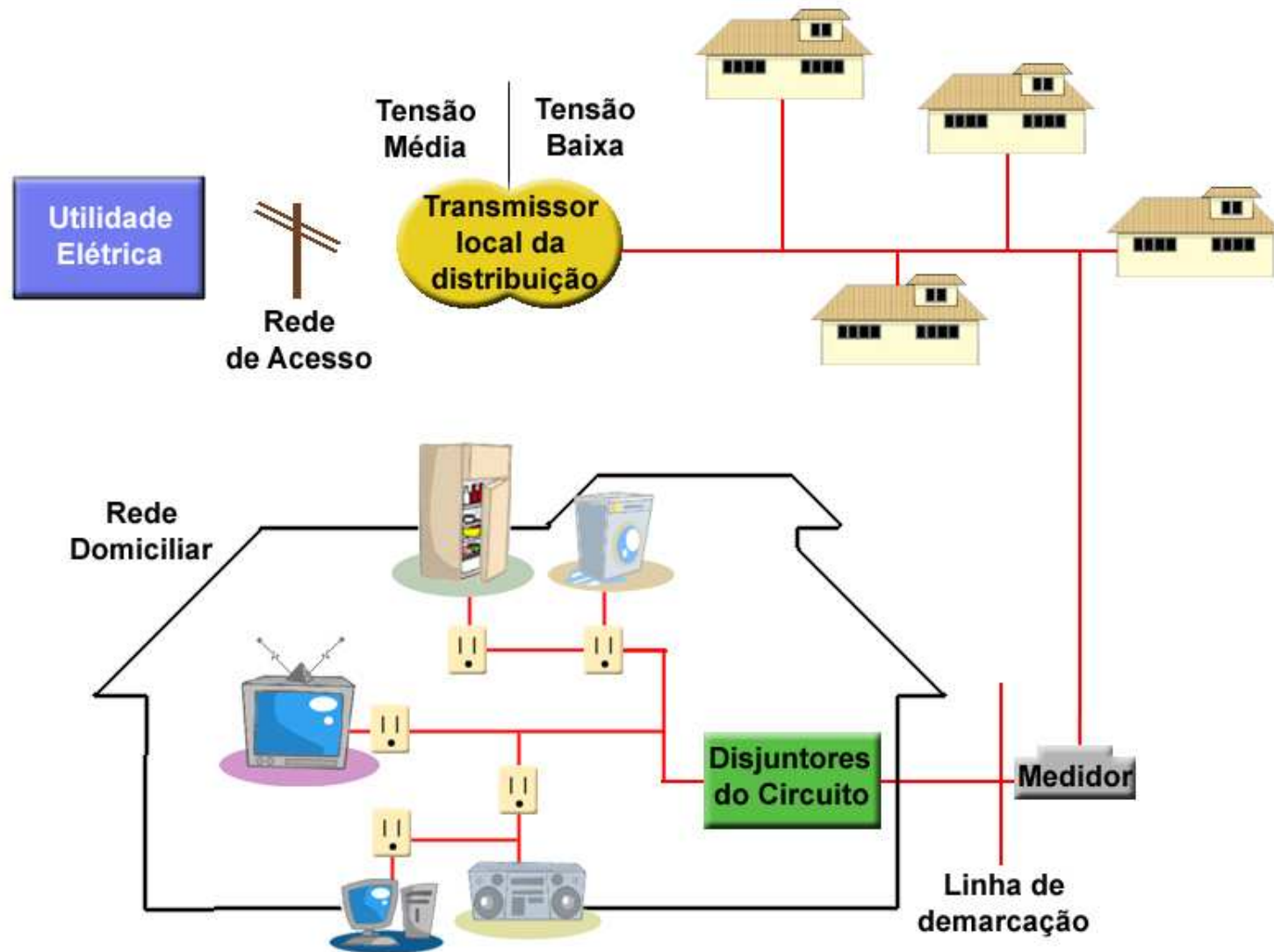
HomeLink Phoneline 10M Ethernet Bridge



Redes Domiciliares através da Fiação Elétrica

- Utilizam o cabeamento elétrico já existente na casa
- *Power Line Communications* (PLC)
 - Já existem desde os anos 30
 - Controle industrial
 - Telemetria

Redes Domiciliares através da Fiação Elétrica



HomePlug Powerline Alliance

- Aliança criada em 2000
- *3Com, AMD, Cisco, Compaq, Intel, Intellon, Motorola, Panasonic* entre outras
- Objetivo de criar um padrão de redes domiciliares através da fiação elétrica
 - Desenvolvimento de produtos
 - Interoperabilidade

Padrão HomePlug

- HomePlug 1.0 (2001)
 - 14 Mbps
- HomePlug AV
 - Até 190 Mbps

HomePlug to USB Adapter



Homeplug USB Adapter, Wall Mount
Network your computers using your home's electric power lines

HomePlug to Ethernet Bridge



HomePlug Ethernet Bridge
Network your computers using the electric power lines

Quadro Comparativo

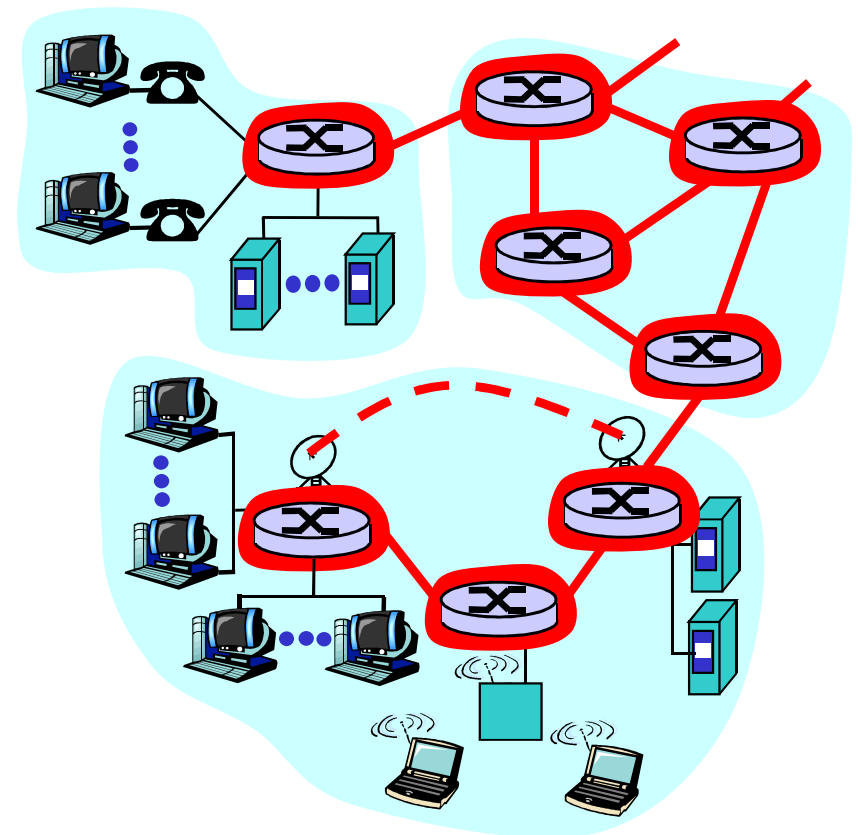
	Ethernet	HomePNA	HomePlug	802.11
Meio físico	****	***	*	**
Taxa (Mbps)	****	***	*	**
Segurança	****	****	**	*
Ubiquidade	*	**	****	***
QoS	*	***	***	*
Custo Infra-estrutura	*	****	****	****
Custo equipamentos	***	**	**	**

- Não existe um vencedor
 - Dependem das necessidades do usuário

A Internet é uma rede de comutação de pacotes

O 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
 - Pacotes



O Núcleo da Rede

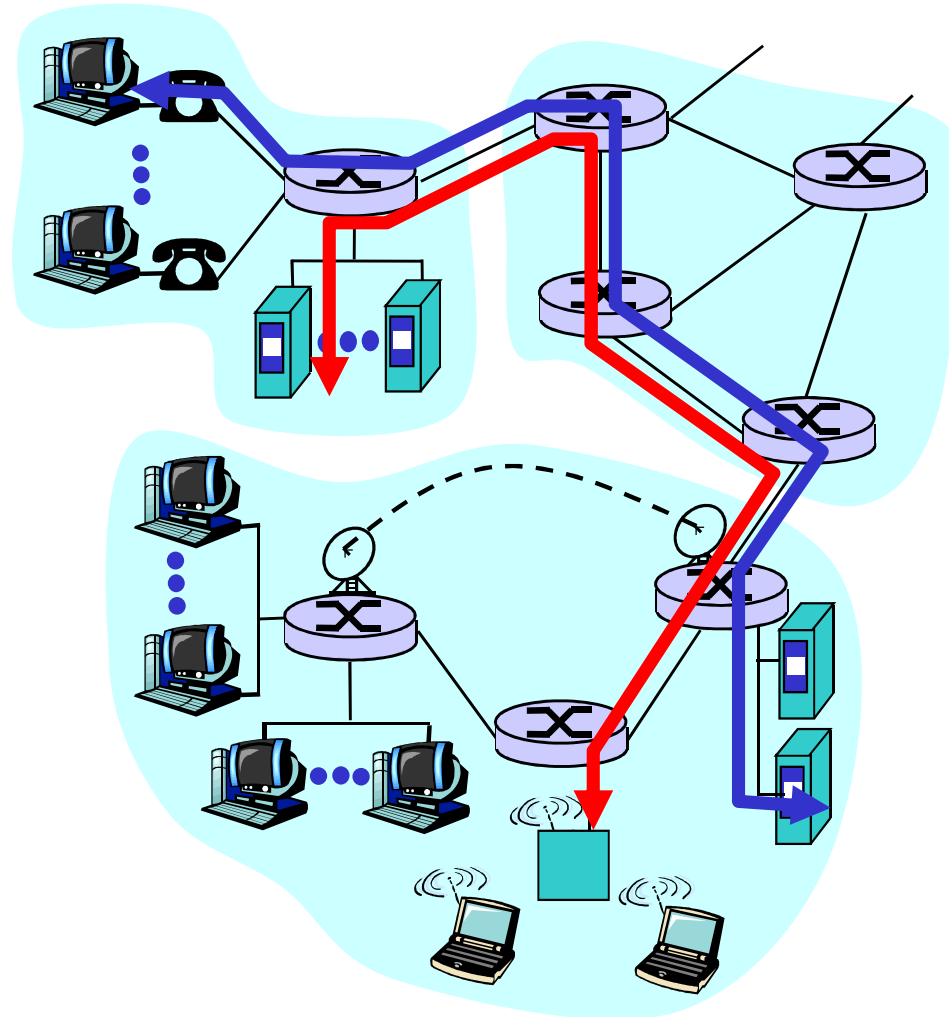
- Malha de roteadores interconectados
- Como os dados são transferidos através da rede?
 - Comutação de circuitos
 - Circuito **dedicado** por chamada: rede telefônica
 - Comutação de pacotes
 - Dados são enviados em pacotes

A Internet é uma rede de comutação de pacotes



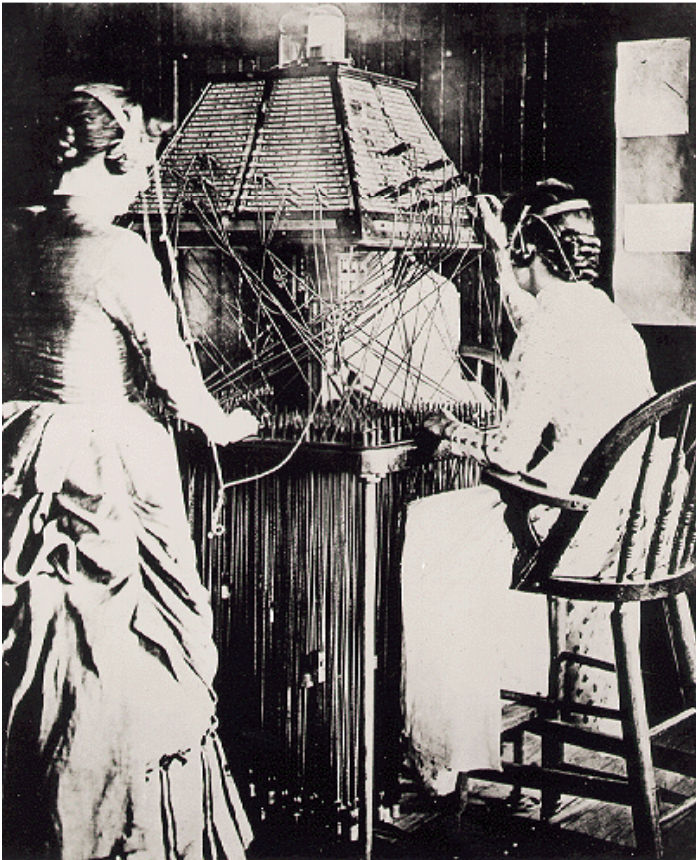
Comutação de Circuitos

- Recursos fim-a-fim são **reservados** para a chamada
 - Banda do enlace, capacidade dos comutadores
 - **Recursos dedicados**
 - Garantia de desempenho
 - Estabelecimento de conexão



Comutação de Circuitos

From Computer Desktop Encyclopedia
Reproduced with permission.
© 1996 AT&T



<http://www.telephonemuseumofgridley.org/>

Comutação de Circuitos

- Recursos da rede são **divididos em “fatias”**
 - Ex.: banda passante
- Fatias alocadas às chamadas
- A fatia do recurso fica **ociosa** se não for usado pelo seu dono
 - Não há compartilhamento
- Como é feita a divisão da banda de um canal em “fatias” (multiplexação)
 - Divisão de frequência
 - Divisão de tempo

Comutação de Pacotes

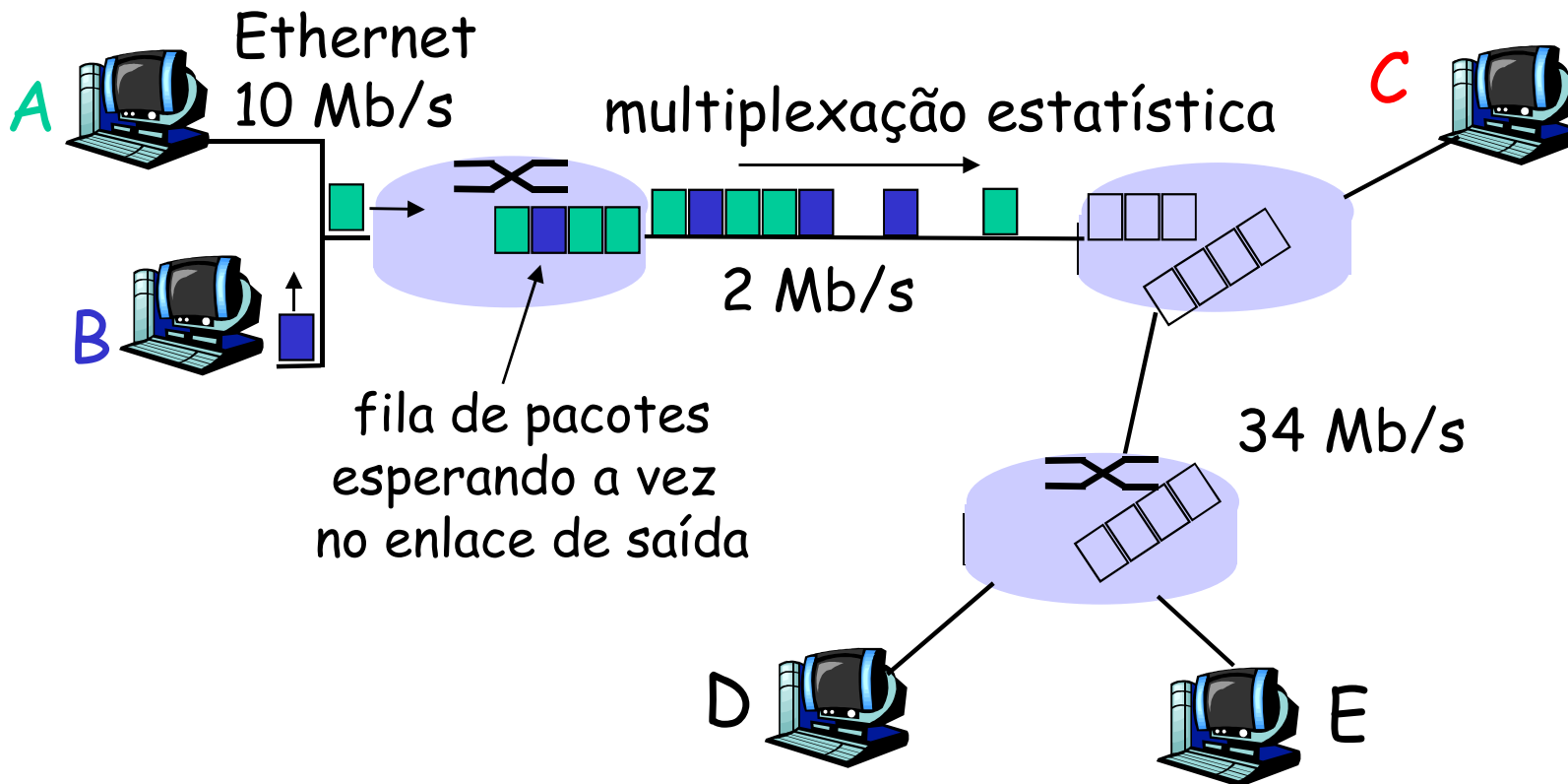
- Cada fluxo de dados fim a fim é **dividido em pacotes**
 - Pacotes de diferentes usuários **compartilham** os recursos da rede
 - Cada pacote usa toda a banda disponível do canal
 - Recursos são usados quando necessário

Divisão da banda em "fatias"
Alocação dedicada
Reserva de recursos

- **Disputa por recursos**

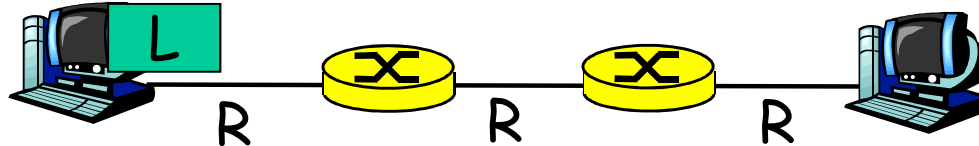
- A demanda total pelos recursos pode superar a quantidade disponível
- Possibilidade de congestionamento
 - Pacotes são enfileirados, esperam para usar o enlace
- Armazena e reenvia (*store and forward*)
 - Pacotes transmitidos salto-a-salto
 - Transmite num enlace
 - Espera a vez no próximo

Multiplexação Estatística



A seqüência de pacotes A e B não possui um padrão constante →
multiplexação estatística

Comutação de Pacotes: armazena-e-reenvia



- Leva L/R segundos para transmitir um pacote de L bits em um canal de R bits/s
- Todo o pacote deve chegar ao roteador antes que possa ser transmitido no próximo canal:
armazena e reenvia
- atraso = $3L/R$ (assumindo que o atraso de propagação seja desprezível!)

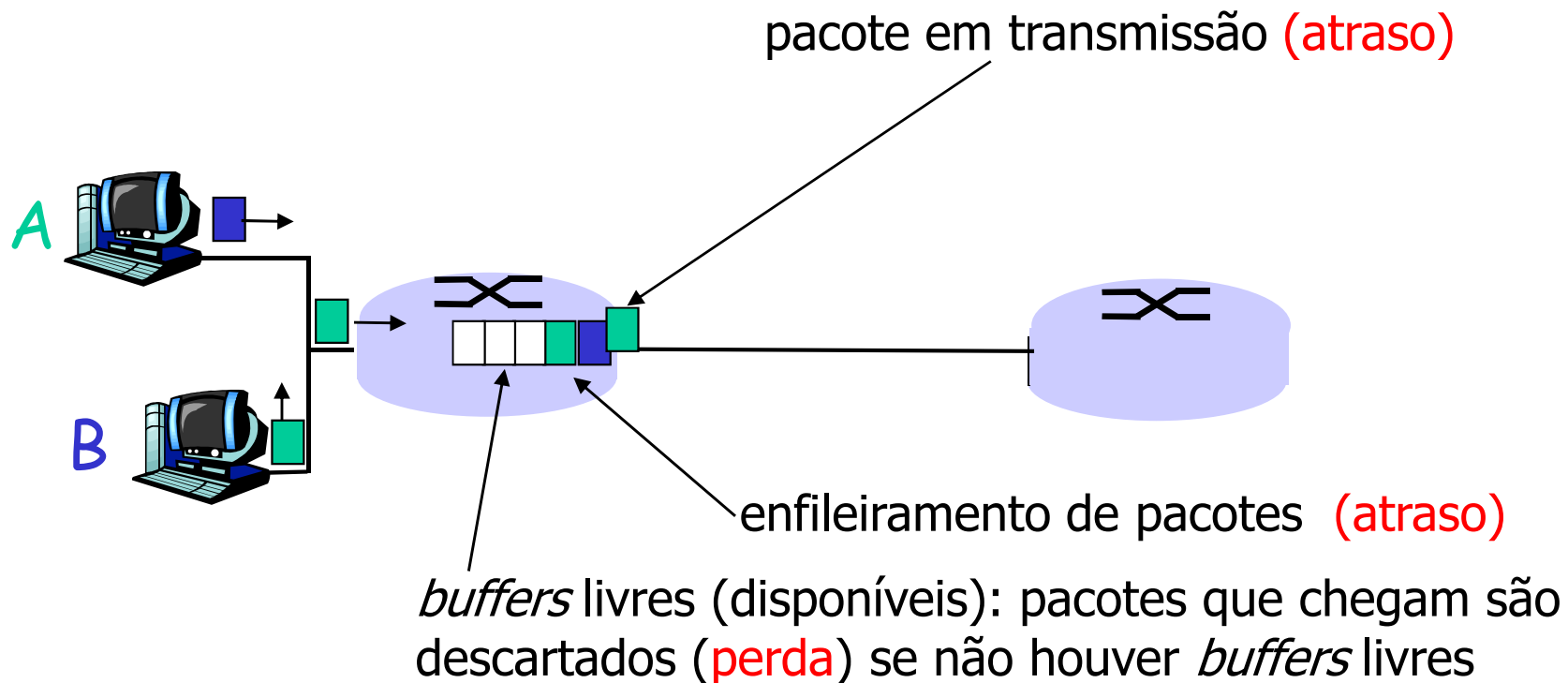
Exemplo:

- $L = 7,5$ Mbits
- $R = 1,5$ Mb/s
- atraso = 15 s

Métricas

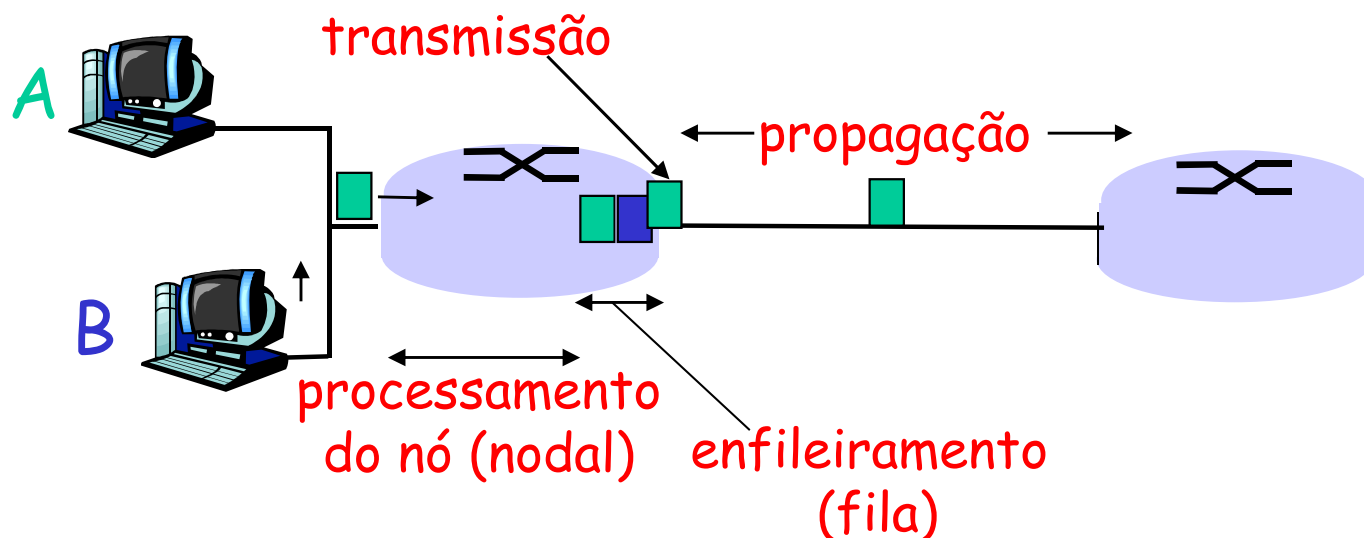
Como Ocorrem as Perdas e Atrasos?

- Pacotes são enfileirados nos *buffers* do roteador
 - Taxa de chegada de pacotes ao nó excede a capacidade do enlace de saída
 - Pacotes são enfileirados, esperam pela vez



Quatro Fontes de Atraso dos Pacotes

- 1. Processamento do nó:
 - Verificação de bits errados
 - Identificação do enlace de saída
- 2. Enfileiramento
 - Tempo de espera no enlace de saída até a transmissão
 - Depende do nível de congestionamento do roteador



Quatro Fontes de Atraso dos Pacotes

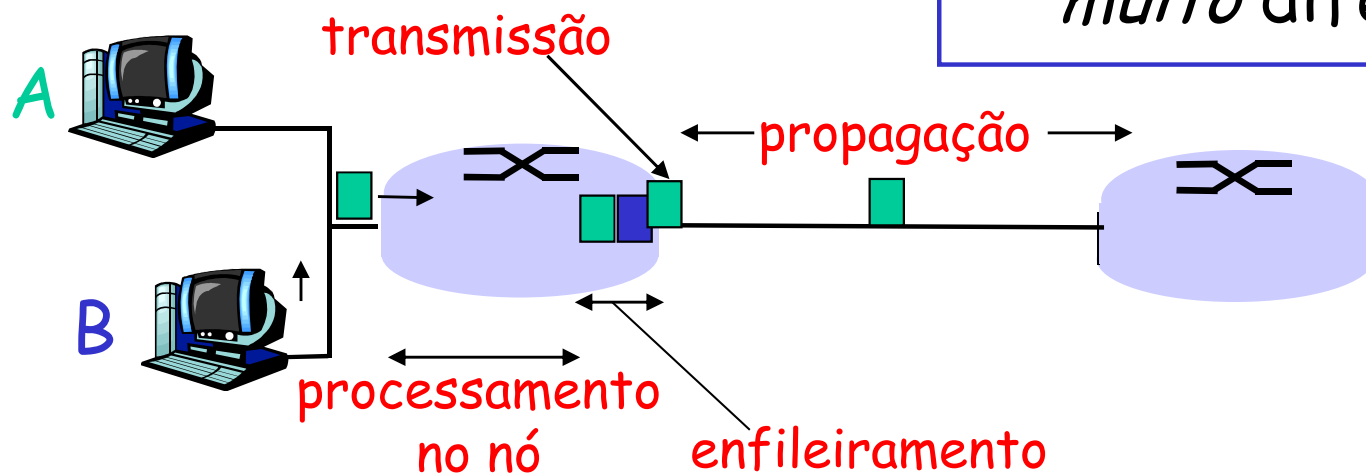
3. Atraso de transmissão

- R = largura de banda do enlace (bps)
- L = compr. do pacote (bits)
- tempo para enviar os bits no enlace = L/R

4. Atraso de propagação:

- d = compr. do enlace
- s = velocidade de propagação no meio ($\sim 2 \times 10^8$ m/seg)
- atraso de propagação = d/s

Nota: s e R são valores *muito* diferentes!



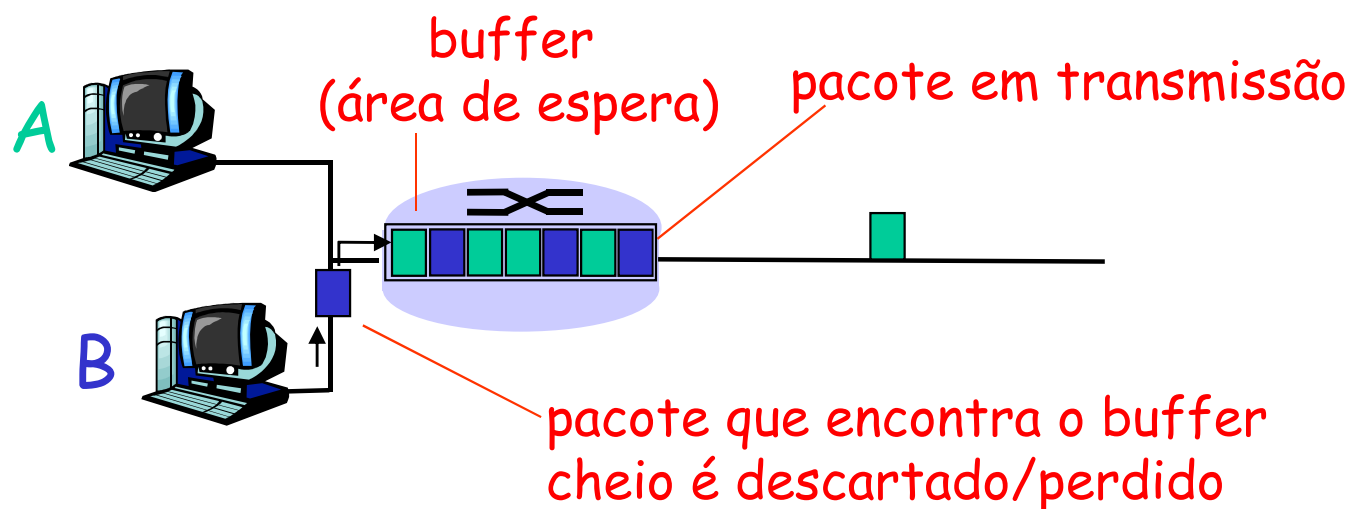
Atraso por Nó

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

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

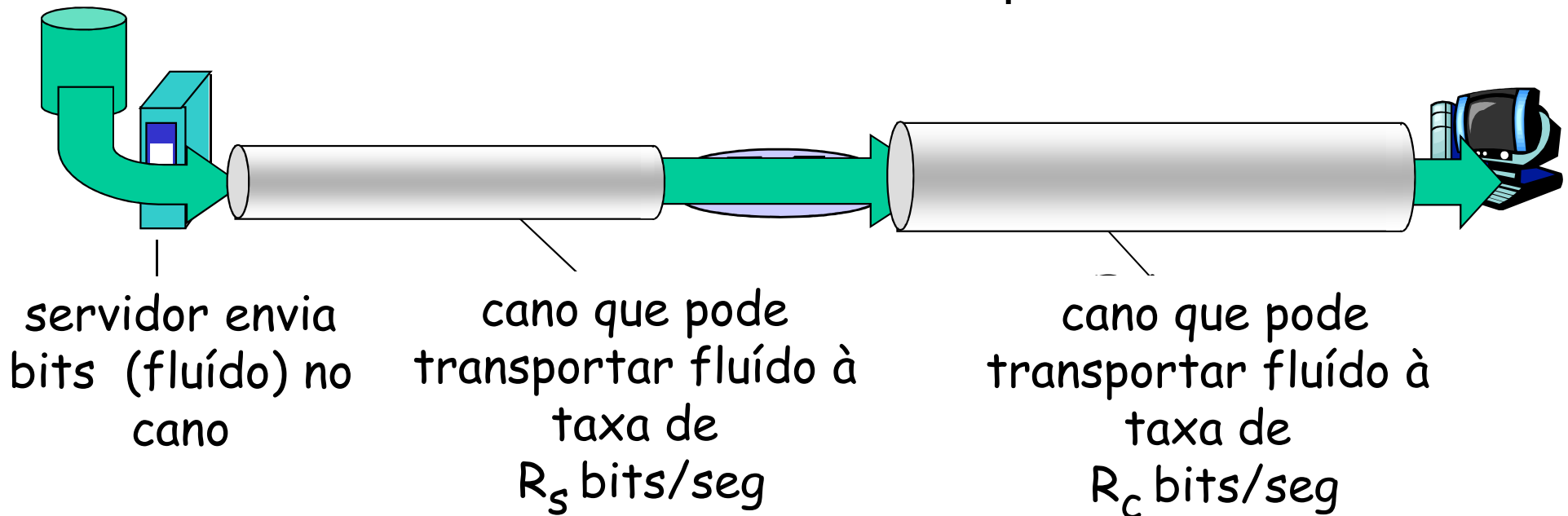
Perda de pacotes

- 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

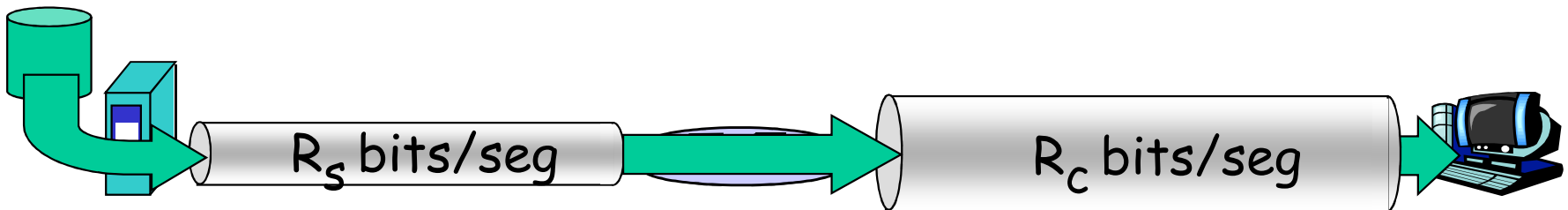


Vazão (*Throughput*)

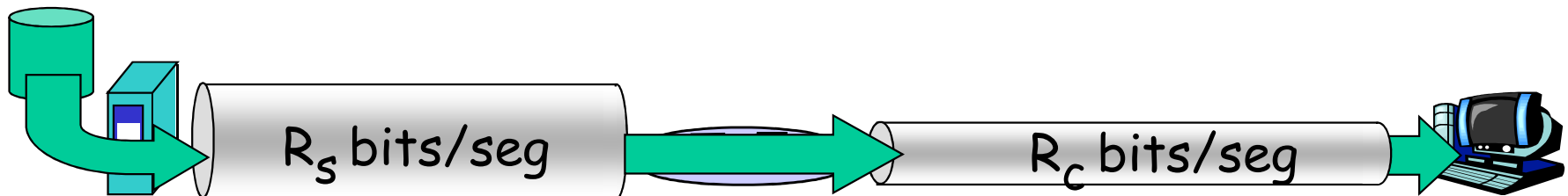
- Taxa na qual os bits são transferidos entre o transmissor e o receptor
 - Dada em bits/unidade de tempo
 - Instantânea: taxa num certo instante de tempo
 - Média: taxa num intervalo de tempo



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



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



Gargalo:
enlace no caminho fim-a-fim que
restringe a vazão fim-a-fim

Aulas 3, 4 e 5

Redes de Computadores e a Internet

Igor Monteiro Moraes
Redes de Computadores