

Redes de Computadores

Panorama Geral

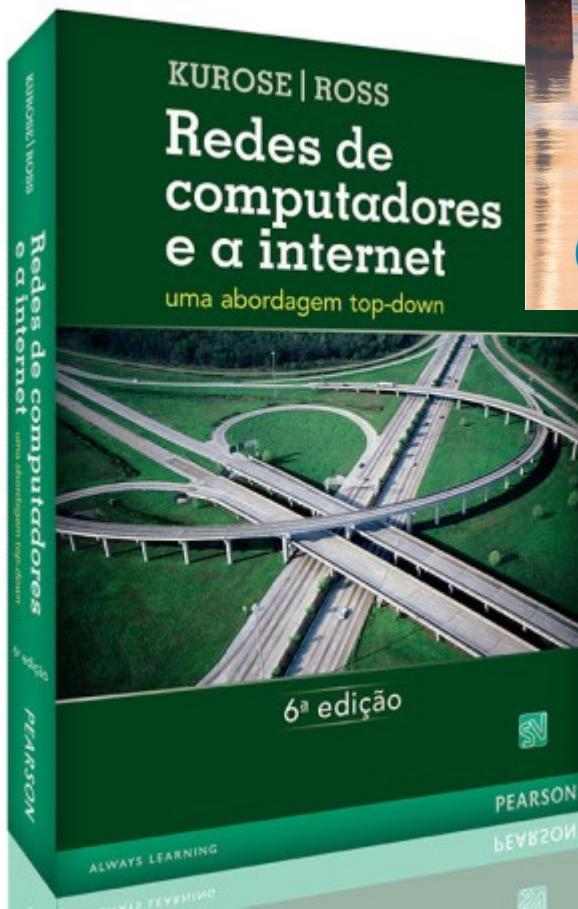
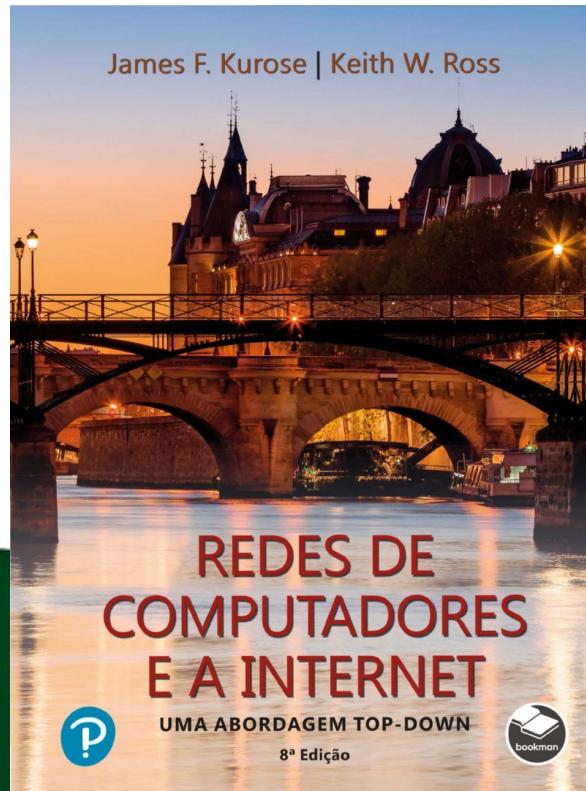
Professor: Fábio Renato de Almeida

<https://github.com/fabiorenatodealmeida>

e-mail: fabiorenatodealmeida@hotmail.com

Bibliografia

https://media.pearsoncmg.com/ph/esm/ecs_kurose_compnetwork_8/cw/
<https://www.youtube.com/@JimKurose>

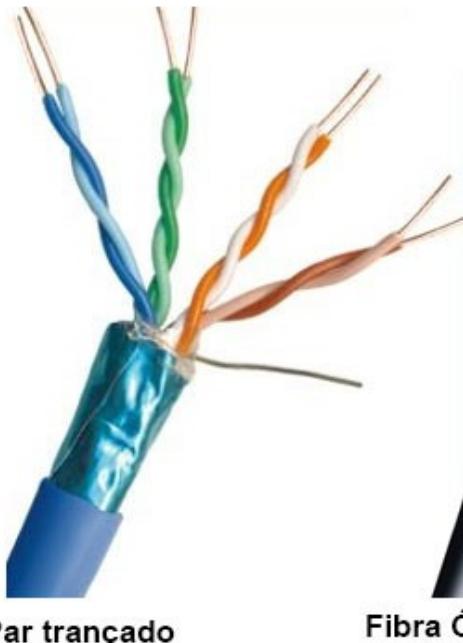
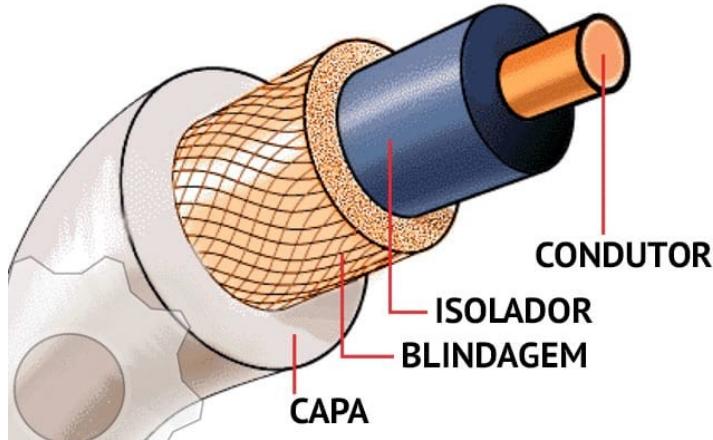


Terminologia e conceitos fundamentais

Host (Hospedeiro) - Dispositivo de computação final conectado à rede e endereçável: Servidor, PC, Notebook, Tablet, Smartphone, IoT.



Enlace de comunicação (Link) - Meio físico por onde o dado é transportado: Cabo coaxial, par trançado de fios de cobre, fibra ótica, ondas de rádio (satélite ou antena terrestre).



Par trançado

Fibra Óptica

Coaxial

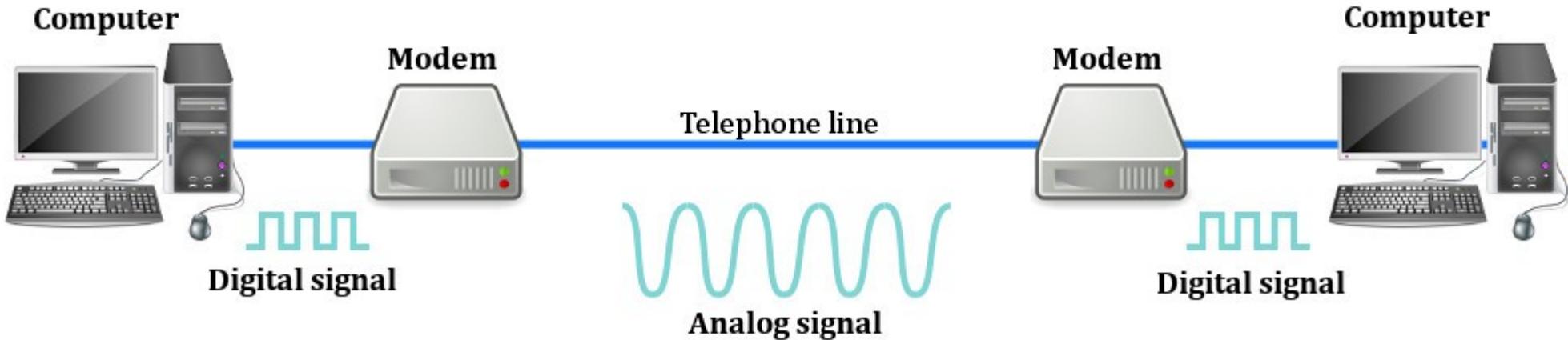
Comutador - Dispositivo que encaminha pacotes de dados de um enlace de comunicação a outro: Roteador (conecta uma rede a outra), Switch (conecta dispositivos em uma rede específica).



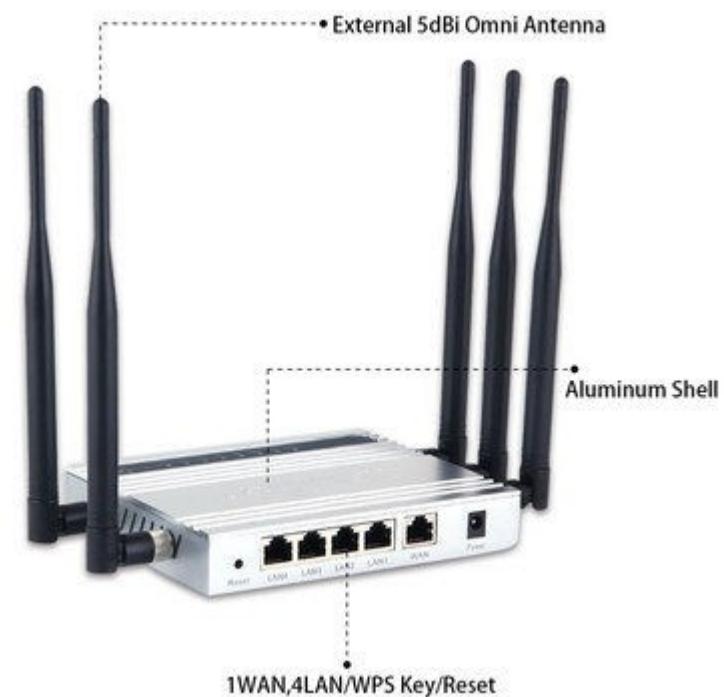
Modem - Transforma dados digitais em sinal analógico para transmissão pelo canal de comunicação e converte novamente em dados digitais do outro lado.



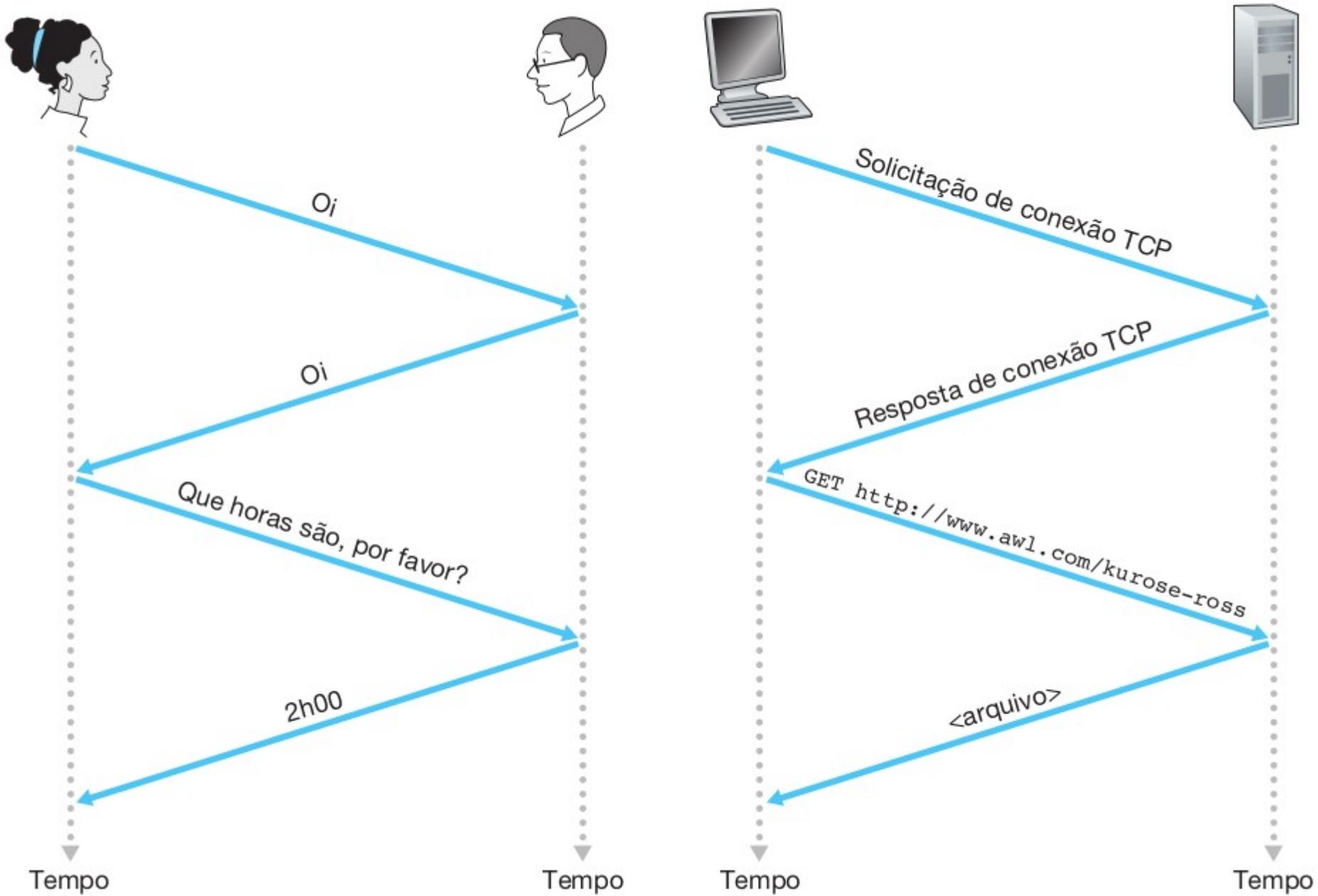
Modulation / Demodulation



Estação base (Access Point) - Comuta dados entre a Internet e a rede Wi-Fi: Roteador sem fio.



Protocolo - Conjunto de regras que devem ser seguidas pelos nós para que a comunicação seja possível.



Nó da rede - Qualquer dispositivo eletrônico conectado à rede e capaz de transmitir dados.

Pacote - Segmento de dados contendo um cabeçalho com informações de controle.

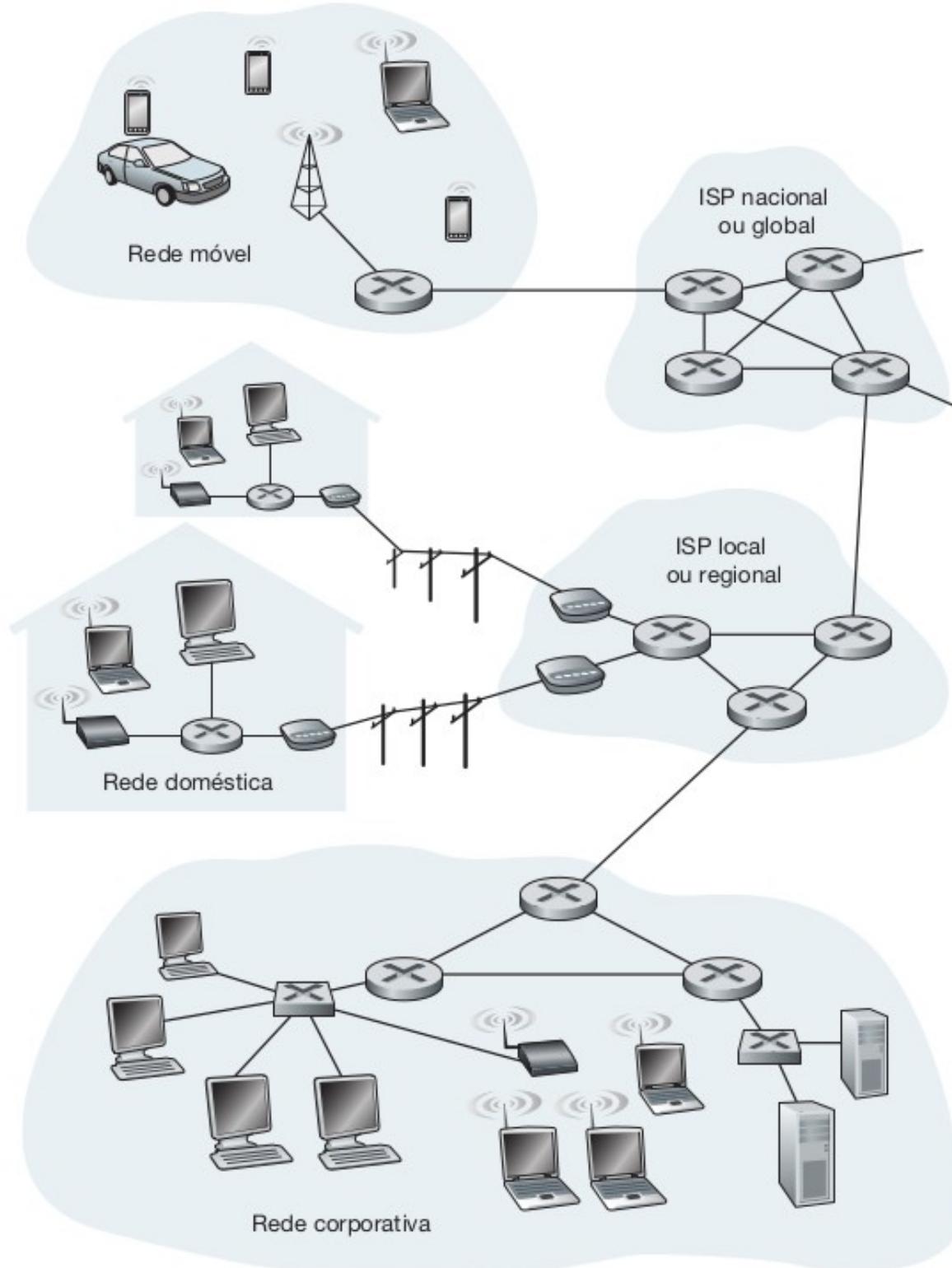
Rota (Caminho) - Sequência de links e nós percorridos por um pacote desde a origem até seu destino.

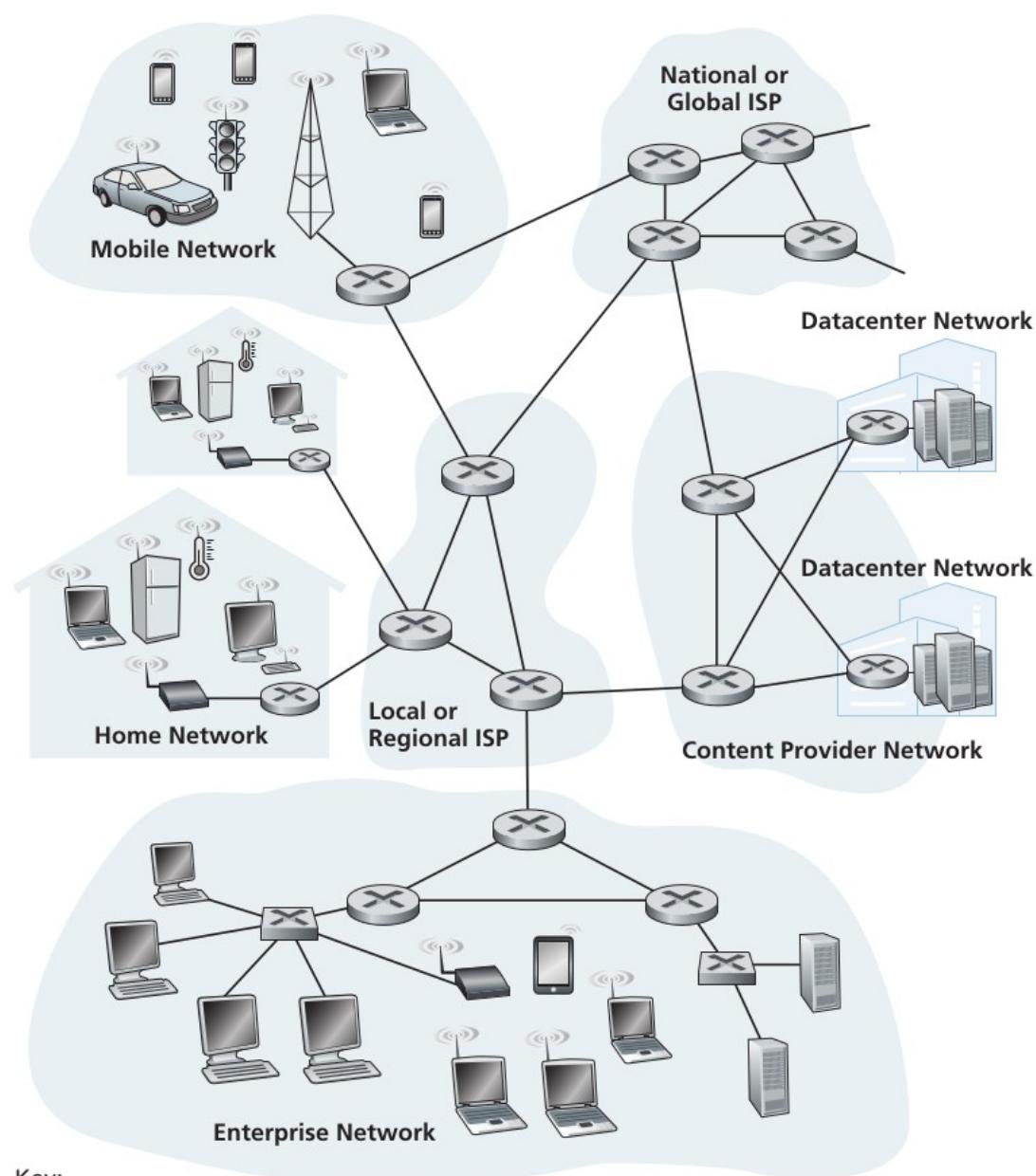
ISP (Internet Service Provider) - Entidade responsável por interligar as redes entre si e entre outros ISPs: Vivo, Claro.

Tecnologias de acesso à Internet...

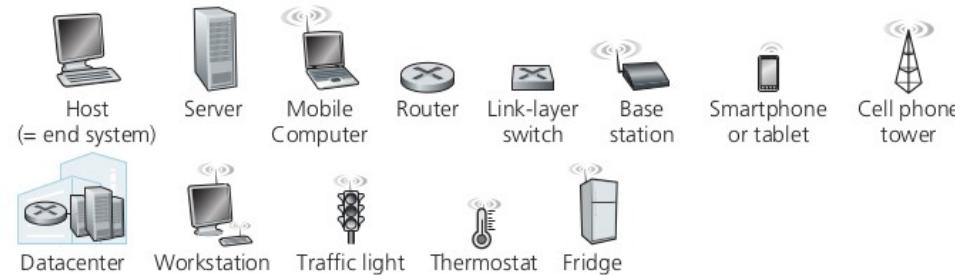
- Modem discado: Linha telefônica ocupada.
- DSL (Digital Subscriber Line): Utiliza a infraestrutura de telefonia local; Multiplexação de dados e sinal de telefone.
- Cabo: Utiliza a infraestrutura da operadora de TV a cabo; Meio compartilhado.
- FTTH (Fiber To The Home): Fibra ótica.
- Satélite/Torres: Ondas de rádio.

Gateway - Roteador de borda em uma sub-rede específica.





Key:



Analogia

“As redes comutadas por pacotes (que transportam pacotes) são semelhantes às redes de transporte de rodovias, estradas e cruzamentos (que transportam veículos). Uma **fábrica** que precisa transportar uma quantidade de carga muito grande a algum **depósito**, localizado a milhares de quilômetros, divide a carga em uma frota de **caminhões**. Cada caminhão viaja, de modo independente, pela rede de **rodovias, estradas** e **cruzamentos** ao depósito de destino. No depósito, a carga é descarregada e agrupada com o resto da carga pertencente à mesma remessa.”

Cada sistema final (hosts)	↔	Fábrica e depósito
Pacotes	↔	Caminhões
Enlaces de comunicação	↔	Rodovias e estradas
Comutadores	↔	Cruzamentos

Analogia

“O processo de roteamento fim a fim é semelhante a um motorista que não quer consultar o mapa. Suponha que **Joe** vai dirigir da Filadélfia para **156 Lakeside Drive, em Orlando, Flórida**. Primeiro, **Joe** vai ao posto de gasolina de seu bairro e pergunta como chegar a seu destino. O **frentista** do posto extrai a palavra **Flórida** do endereço e diz que **Joe** precisa pegar a interestadual I-95 South, cuja entrada fica ao lado do posto. **Joe** pega a I-95 South até chegar a Jacksonville, na **Flórida**, onde pede mais informações a outro **frentista**. Este extrai a palavra **Orlando** do endereço e diz a **Joe** para continuar na I-95 até Daytona Beach. Em Daytona Beach, outro **frentista** também extrai a palavra **Orlando** do endereço e pede para que ele pegue a I-4 diretamente para **Orlando**. **Joe** segue suas orientações e chega a uma saída para **Orlando**. Ele vai até outro posto de gasolina, e dessa vez o **frentista** extrai a palavra **Lakeside Drive** do endereço e diz a ele qual estrada seguir. Assim que **Joe** chega a **Lakeside Drive**, pergunta a uma **criança** andando de bicicleta como chegar a seu destino. A **criança** extrai o número **156** do endereço e aponta para a casa. **Joe** finalmente chega a seu destino.”

Pacote	↔ Joe
Roteadores	↔ Frentistas e a criança
Enlaces de comunicação	↔ Rodovias e estradas

Analogia

Suponha que **Alice** queira enviar uma carta para **Bob** utilizando o serviço postal.

Alice, é claro, não pode apenas escrever a carta e atirá-la pela janela. Em vez disso, o serviço postal necessita que ela:

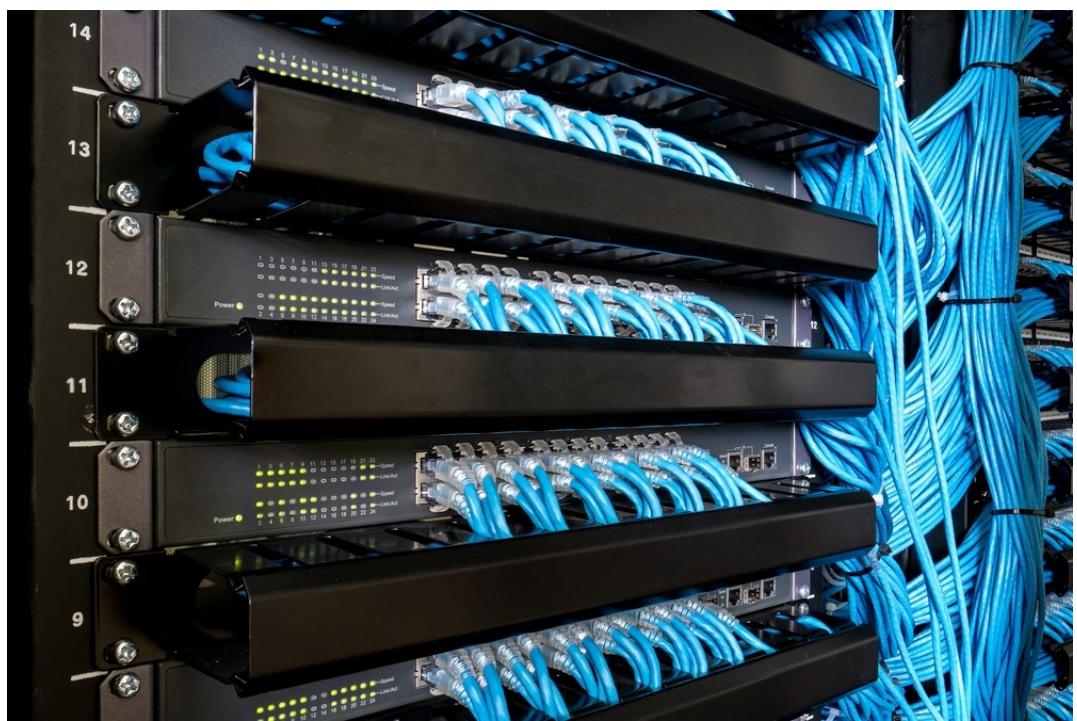
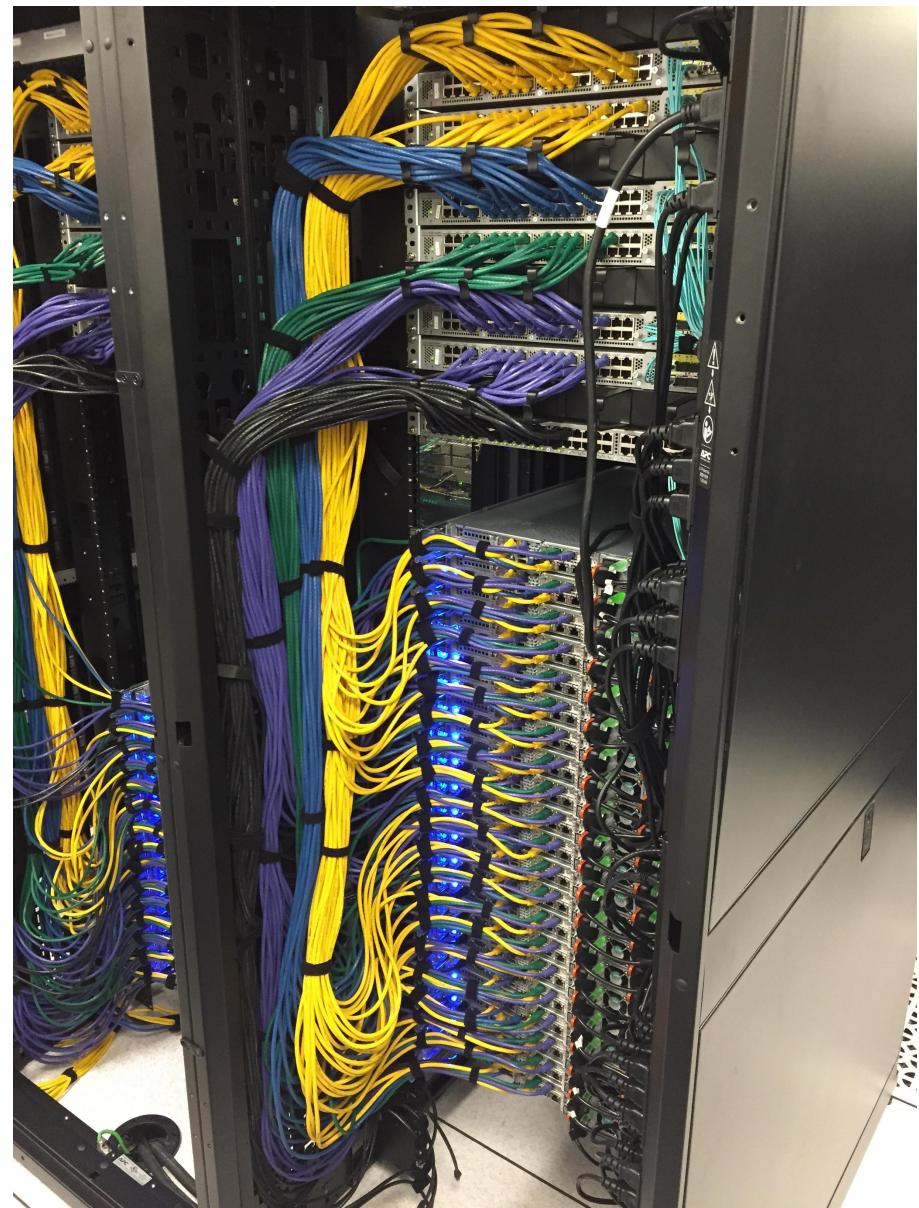
- coloque a carta em um envelope;
- escreva o nome completo de Bob, seu endereço e CEP no envelope;
- feche o envelope;
- coloque um selo no canto superior direito;
- e, por fim, leve o envelope a uma agência de correio oficial.

Dessa maneira, o serviço postal possui sua própria “**interface de serviço postal**”, ou conjunto de regras, que Alice deve cumprir para que sua carta seja entregue a Bob.

De modo semelhante, a **Internet** “possui” uma interface **socket** que o software emissor de dados deve seguir para que a **Internet** envie os dados para o software receptor.

Data center







Rede de computadores: Uma coleção de computadores autônomos interconectados por uma tecnologia, não necessariamente cabeada, que possibilita a troca de dados. Redes podem ser interligadas, formando redes maiores.

Redes de redes → **internets!**

Internet: Rede mundial de computadores que oferece serviços de comunicação para aplicações distribuídas.

Taxonomia baseada em escala...

PAN (Personal Area Network): 1m ou um pouco mais.

LAN (Local Area Network): Sala, andar, edifício, campus.

MAN (Metropolitan Area Network): Cidade.

WAN (Wide Area Network): Estado, país, continente, planeta.

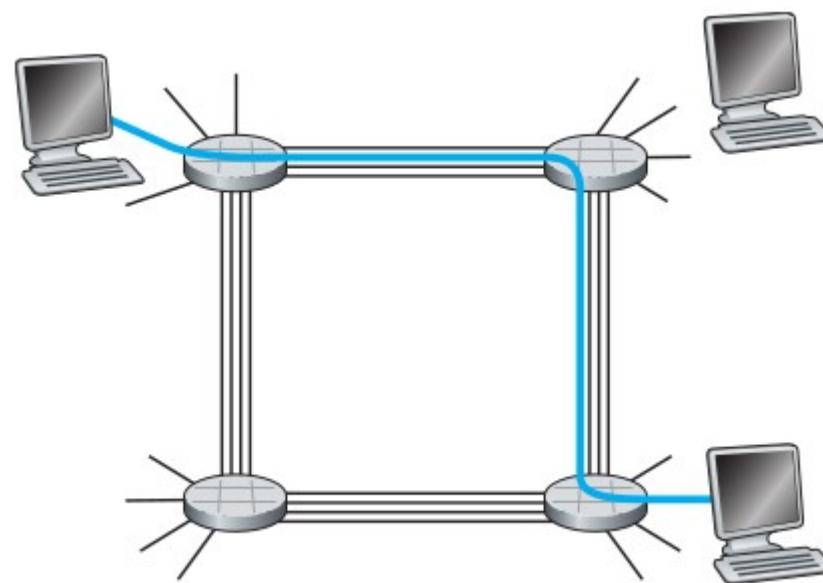
A Internet é uma WAN pública em escala planetária. No futuro, talvez tenhamos uma Internet em escala interplanetária, onde a rede cruzará as fronteiras do espaço.

Comutação de circuitos

Em uma rede comutada por circuitos, os recursos necessários ao longo de um caminho são reservados: Redes de telefonia tradicionais, onde um circuito lógico é estabelecido da origem até o destino.

Vantagem: Taxa de tráfego de dados garantida. O tempo de transmissão é independente do número de enlaces.

Desvantagem: Circuitos dedicados ficam ociosos em períodos de inatividade.

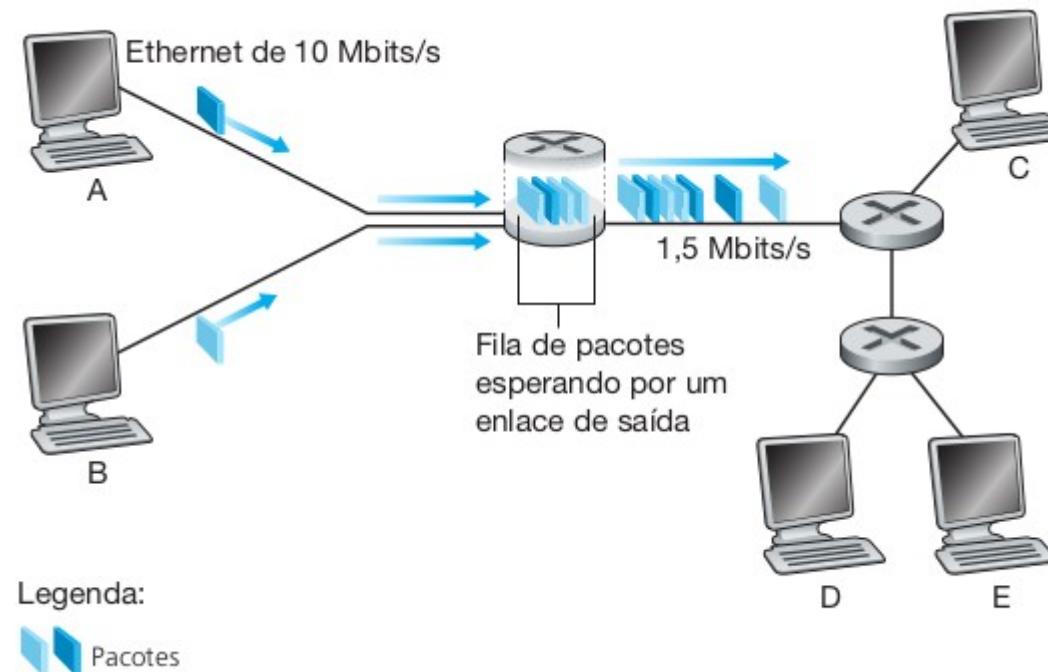


Comutação de pacotes

Não há reserva ou pré-alocação de recursos.

Vantagem: Melhor aproveitamento dos recursos.

Desvantagem: Imprevisibilidade no transporte de dados. O tempo de transmissão depende do número de enlaces.



A Internet é uma rede de comutação de pacotes.

Redes de comutação de pacotes são similares ao sistema de transporte rodoviário.

Portanto, não há garantia de qualidade (QoS) na Internet.

Store-and-Forward: Um roteador recebe um pacote inteiro antes de encaminhá-lo ao enlace de saída.

Considerando-se o primeiro enlace de comunicação:

Taxa de transmissão = R bits/s

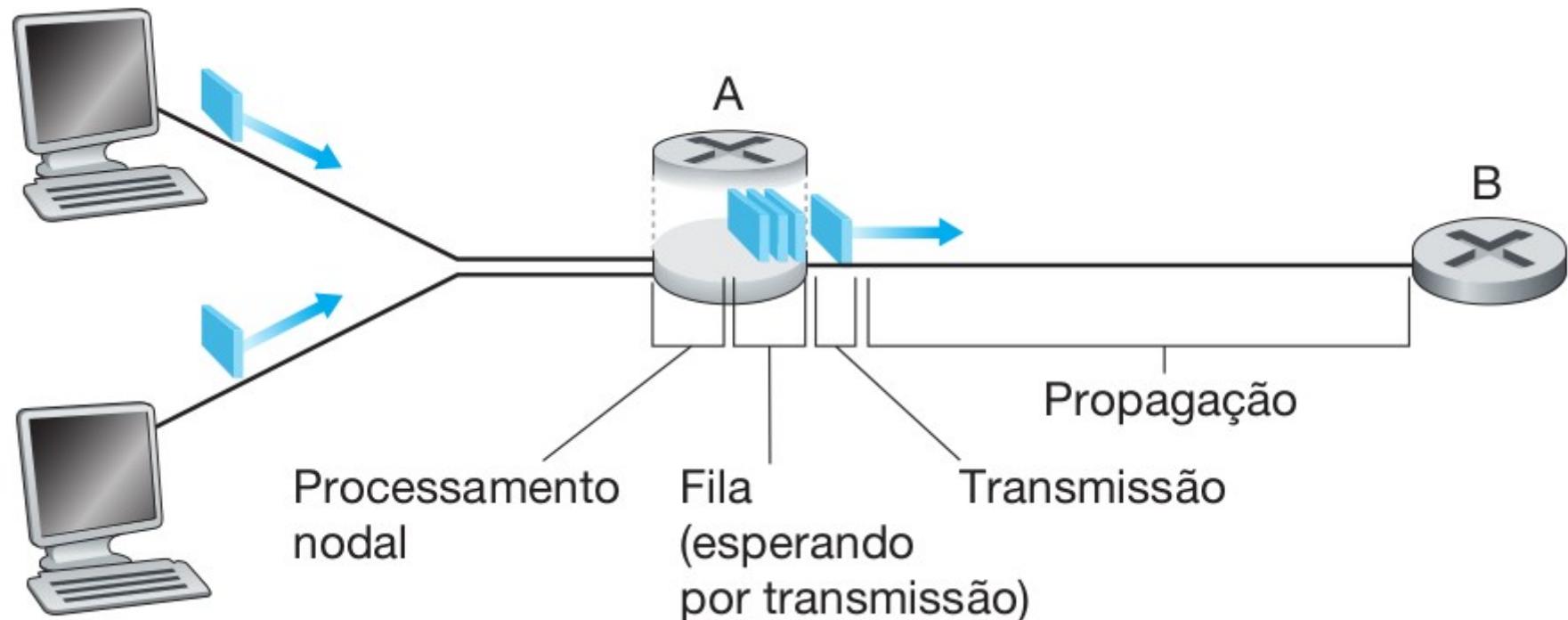
Tamanho do primeiro pacote = L bits

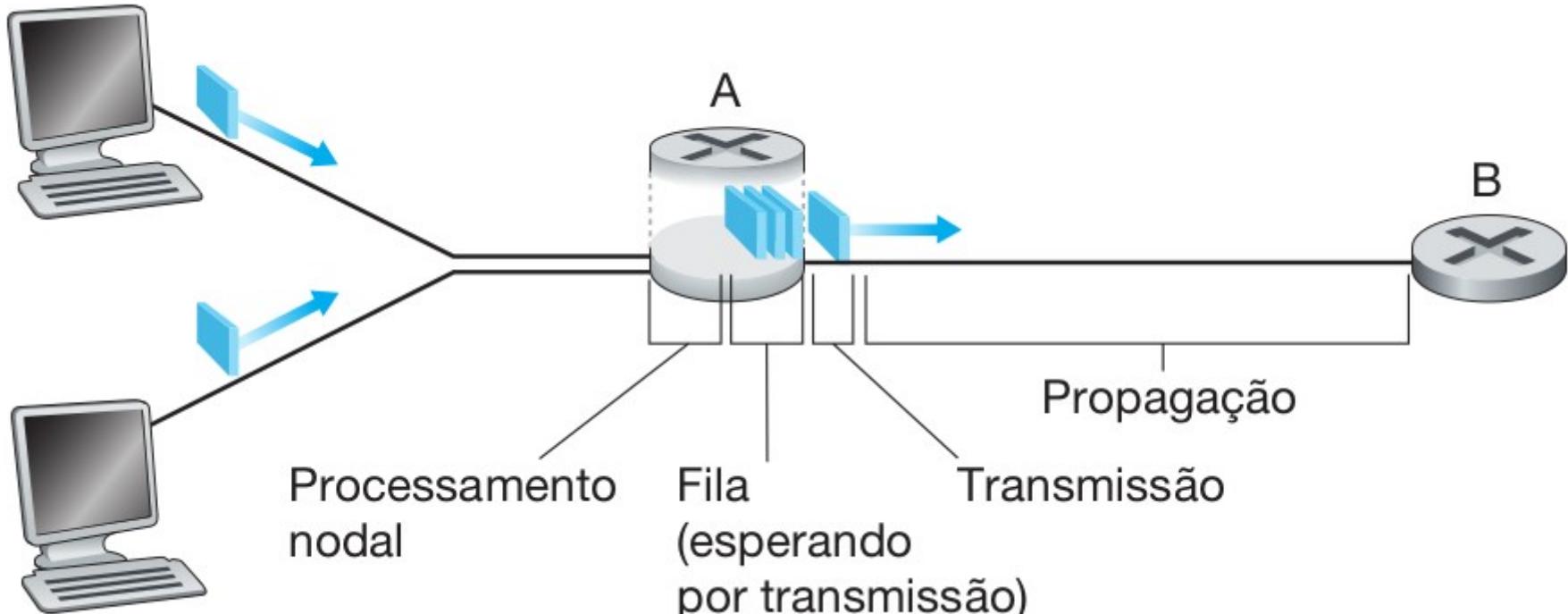
Tempo de transmissão = L/R s (*não é o tempo de propagação*)



Atrasos (delays)

Leis físicas impõem atrasos no transporte de dados, ocasionando eventuais perdas e limitando a vazão (*throughput*).



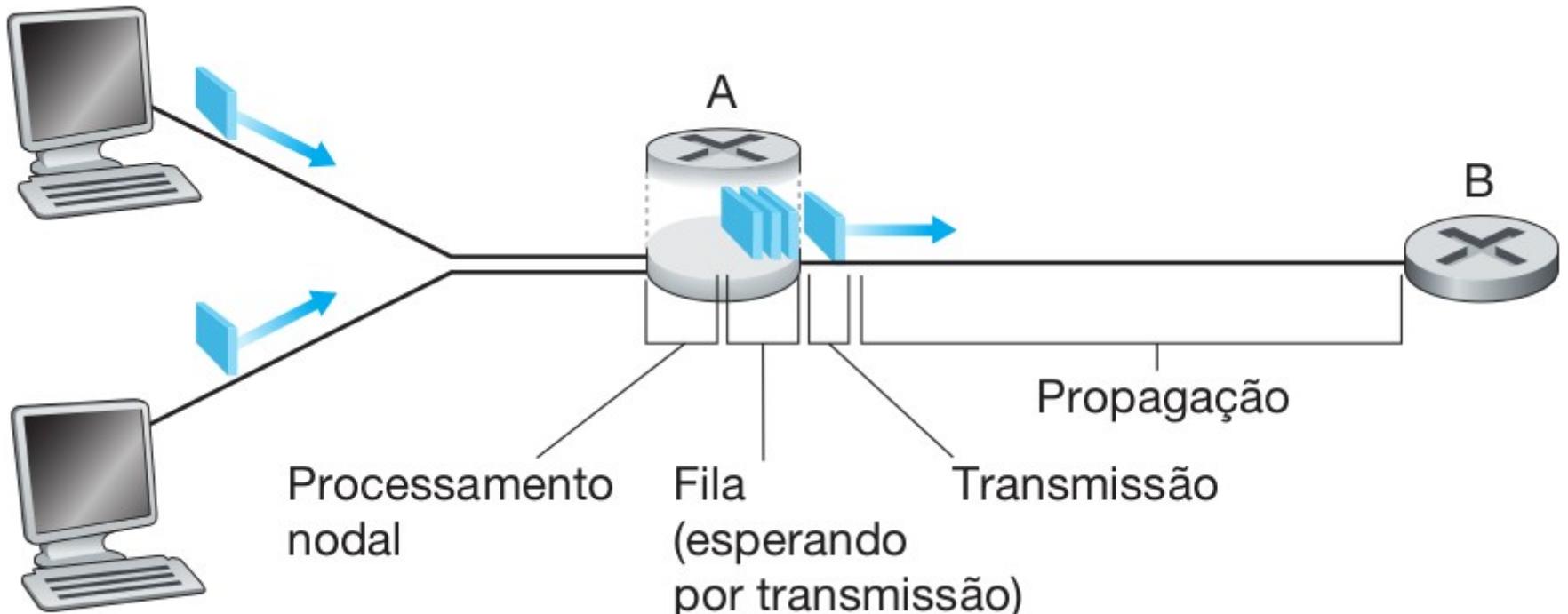


Processamento - Tempo necessário para validar o pacote, examinar o cabeçalho e selecionar o enlace de saída → rota.

Tipicamente: μs (ou menos)

Fila - Tempo que o pacote aguarda na fila para ser transmitido. Pode haver perda se houver alta intensidade de tráfego.

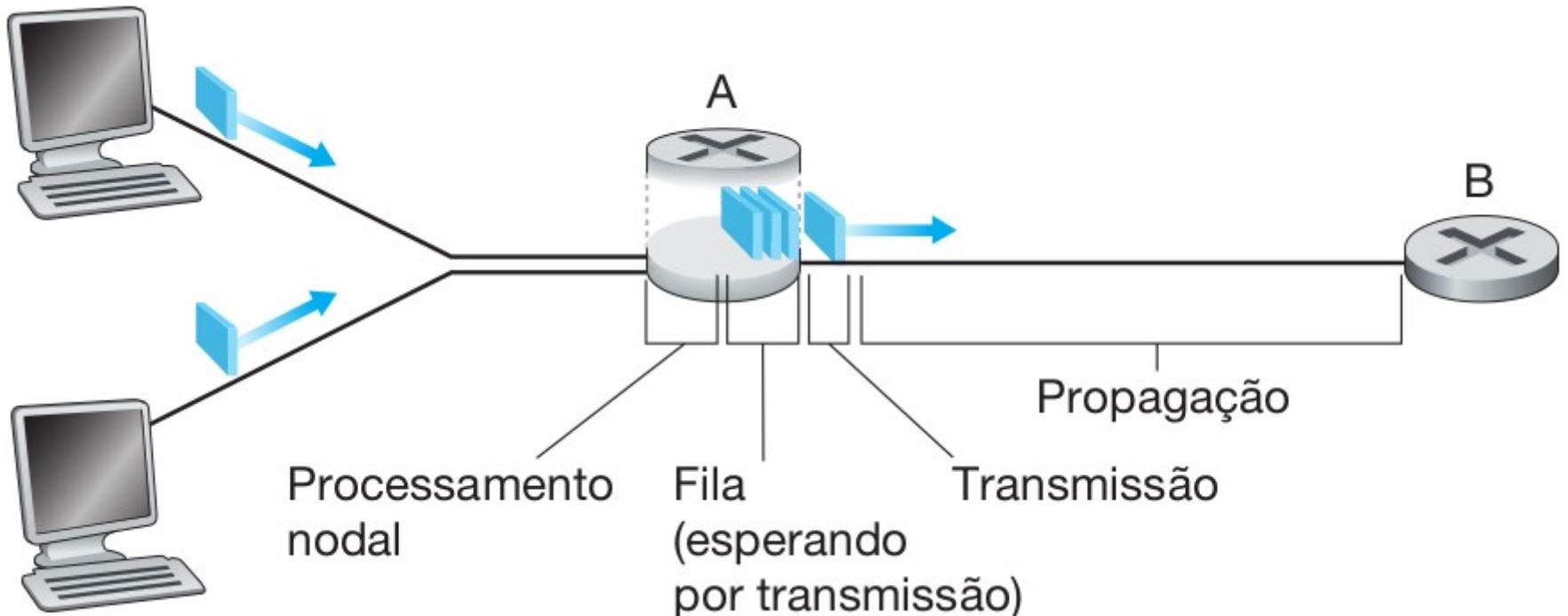
Tipicamente: μs ou ms



Transmissão - Tempo necessário para “empurrar” os bits pelo enlace de saída.

$$d_{trans} = \frac{\text{tamanho do pacote (bits)}}{\text{taxa de transmissão (bits/s)}}$$

Tipicamente: µs ou ms



Propagação - Tempo que o bit leva para ser transportado até o próximo nó. Depende do meio físico: $2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ até $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

$$d_{\text{prop}} = \frac{\text{comprimento do enlace} (\text{m})}{\text{velocidade do sinal} (\text{m/s})}$$

Tipicamente: μs ou ms

Animações

<https://www.tkn.tu-berlin.de/teaching/rn/animations/>

https://media.pearsoncmg.com/ph/esm/ecs_kurose_compnetwork_8/cw/

- Atraso de transmissão × Atraso de propagação
- Enfileiramento e perda de pacotes

Linux: traceroute

Rastreia o tempo de ida e volta (Round-Trip Time) a cada nó.

\$ traceroute host (ip ou domínio)

1	cs-gw (128.119.240.254)	1.009 ms	0.899 ms	0.993 ms
2	128.119.3.154 (128.119.3.154)	0.931 ms	0.441 ms	0.651 ms
3	border4-rt-gi-1-3.gw.umass.edu (128.119.2.194)	1.032 ms	0.484 ms	0.451 ms
4	acr1-ge-2-1-0.Boston.cw.net (208.172.51.129)	10.006 ms	8.150 ms	8.460 ms
5	agr4-loopback.NewYork.cw.net (206.24.194.104)	*	*	*
6	acr2-loopback.NewYork.cw.net (206.24.194.62)	13.225 ms	12.292 ms	12.148 ms
7	pos10-2.core2.NewYork1.Level3.net (209.244.160.133)	12.218 ms	11.823 ms	11.793 ms
8	* (64.159.17.39)	13.081 ms	11.556 ms	13.297 ms
9	p0-0.polyu.bbnplanet.net (4.25.109.122)	12.716 ms	13.052 ms	12.786 ms
10	cis.poly.edu (128.238.32.126)	14.080 ms	13.035 ms	12.802 ms

No exemplo, tem-se nove roteadores entre a origem e o destino.

traceroute envia um pacote com TTL = n para o n -ésimo roteador no caminho (TTL = Time To Live). Neste caso, o roteador devolve, às vezes, seu nome e endereço.

Windows: tracert

Pilha de protocolos TCP/IP

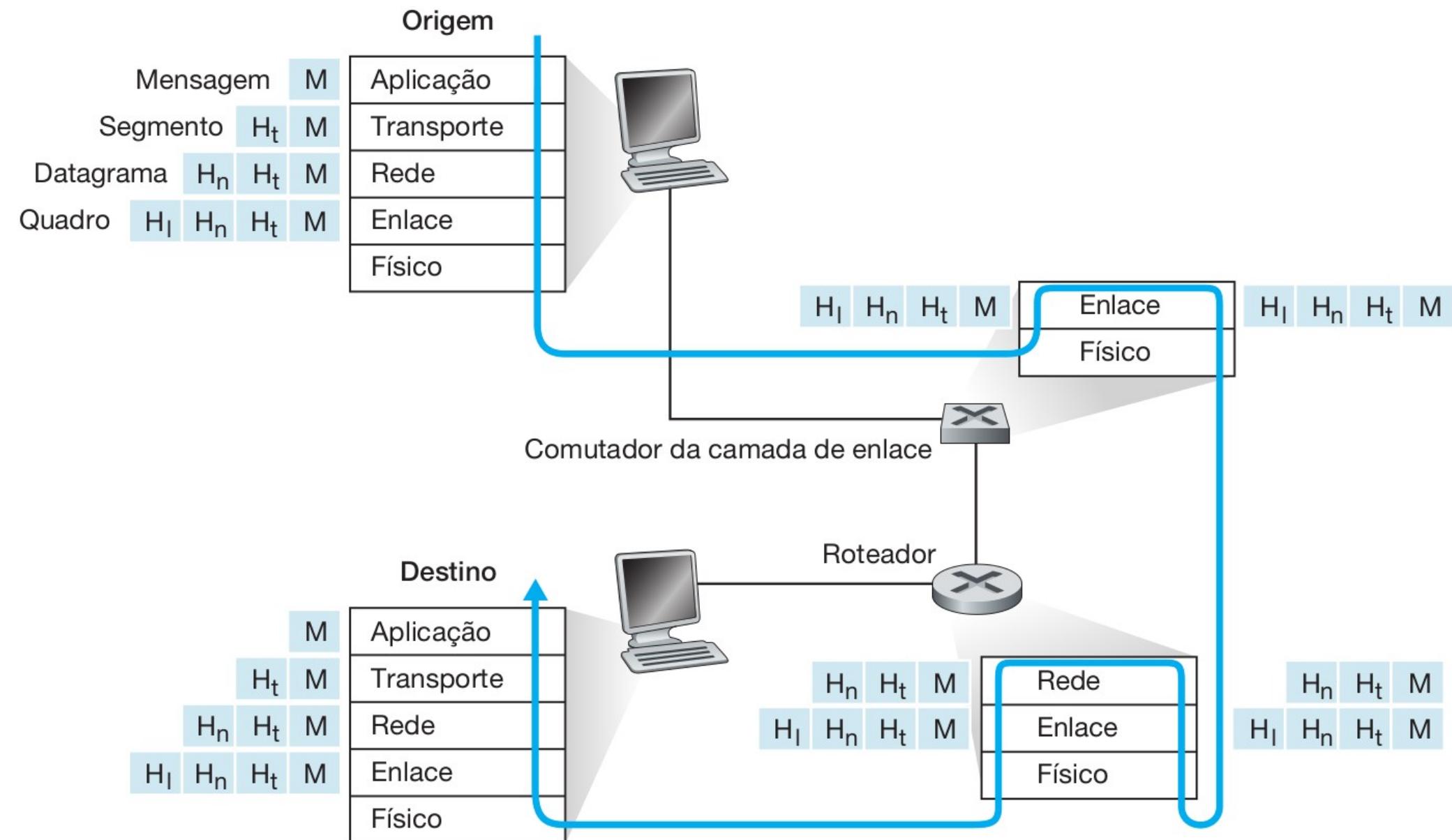
Aplicação	mensagem	HTTP, SMTP, FTP	Software
Transporte	segmento	TCP, UDP	
Rede	datagrama	IP (Roteamento)	→ Software + Hardware
Enlace	quadro	Ethernet, Wi-Fi	Ligados ao meio físico de comunicação (Hardware)
Física	bits	Par trançado, cabo	

TCP: Orientado à conexão

- Garantia de entrega de mensagens.
- Fragmentação automática de mensagens longas → segmentos mais curtos.
- Controle de fluxo: compatibilização das taxas de emissão e recepção.
- Controle de congestionamento (Para o bem-estar geral da rede).

UDP: Não orientado à conexão

Encapsulamento

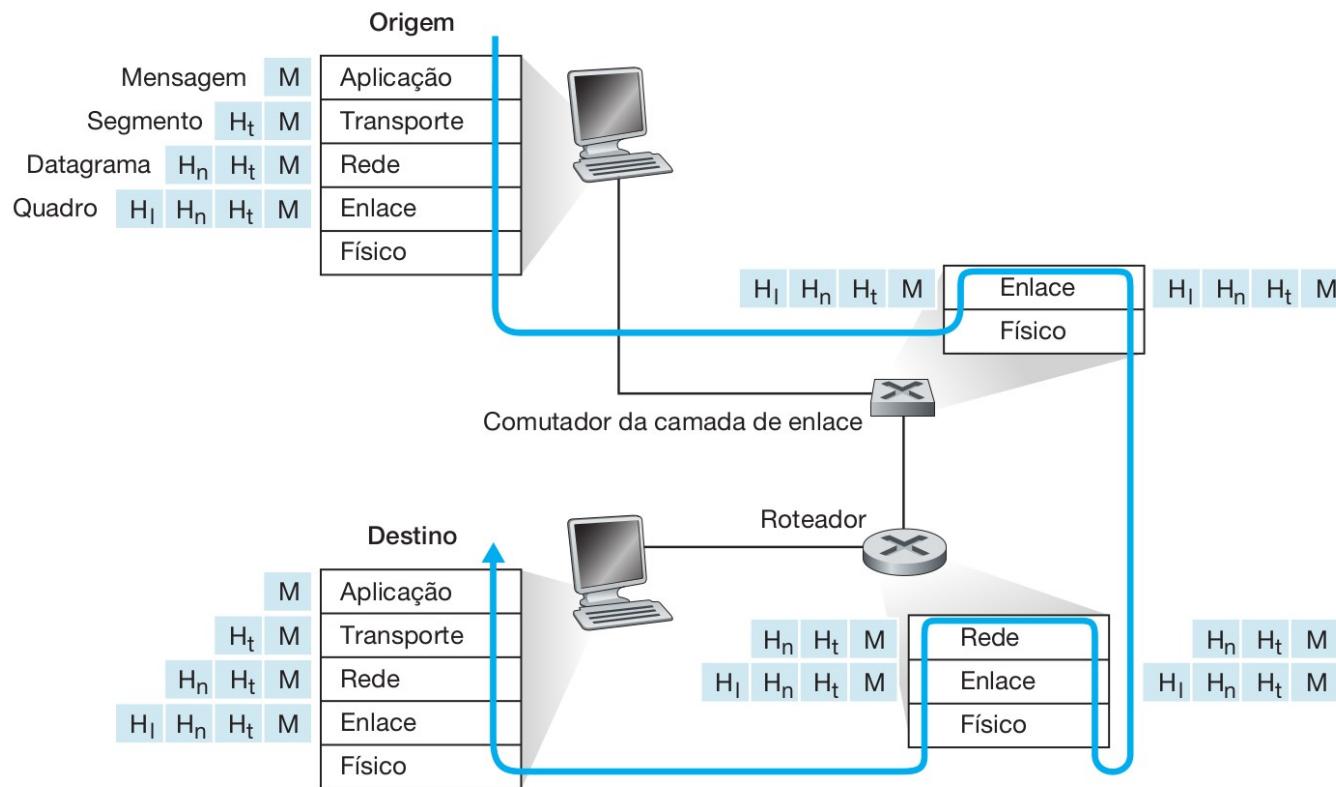


Analogia: Alice, que está em uma filial de uma empresa, quer enviar um memorando a Bob, que está em outra filial. O memorando representa a **mensagem** da camada de aplicação.

Alice coloca o memorando em um envelope de correspondência interna em cuja face são escritos o nome e o departamento de Bob. O envelope de correspondência interna representa o **segmento** da camada de transporte.

Quando a central de correspondência do escritório emissor recebe o envelope, ele é colocado dentro de outro, adequado para envio pelo correio. A central emissora escreve o endereço postal do remetente e do destinatário no envelope postal. Nesse ponto, o envelope postal é análogo ao **datagrama**.

O correio entra em ação e entrega o envelope postal (**datagrama**) à central de correspondência do escritório destinatário. Nesse local, o envelope postal é aberto e o envelope de correspondência interna (**segmento**) é encaminhado a Bob. Este, por fim, abre o envelope e retira o memorando (**mensagem**).



Funcionalidade resumida das camadas

Aplicação - Reconhece as **mensagens** trocadas entre os hosts na rede.

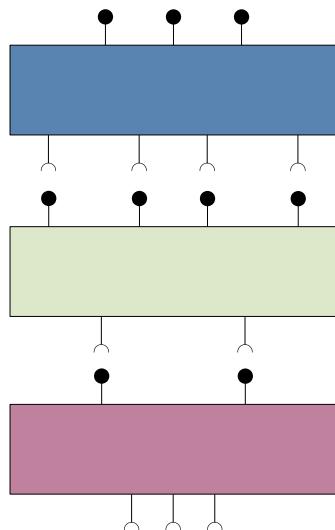
Transporte - **Segmenta** as mensagens e oferece serviços de comunicação entre aplicações distribuídas: **Porta origem e destino**, **número de sequência**.

Rede - Gera **datagramas** e oferece serviços de entrega **host a host**: Endereços IP de origem e destino, TTL.

Enlace - Lida com **quadros** de dados adequados ao meio físico onde os dados são transportados. **Ethernet**: Endereços MAC de origem e destino.

Física - Cuida do envio/recebimento de **bits** pelo canal de transmissão, o qual pode ser feito por meio de um sinal elétrico, óptico ou eletromagnético.

Camada de protocolos / Modelo de serviços



A modularização permite que o funcionamento interno de uma camada seja alterado sem impactar camadas adjacentes, desde que os serviços oferecidos e requisitados sejam os mesmos.

Na arquitetura em camadas, um serviço é oferecido **sempre** a camada imediatamente superior e requisitado **sempre** de uma camada imediatamente inferior.

Malware

Software projetado intencionalmente para causar a interrupção de um serviço, vazar informações pessoais ou danificar os arquivos do usuário.

Basicamente, um malware pode se espalhar de duas formas:

- **Vírus** - requer ação do usuário (anexo de e-mail).
- **Worm** - se alastra sem a intervenção do usuário (explora uma vulnerabilidade de um serviço).

Um atacante pode também efetuar um ataque de inundação (DDoS - Recusa de Serviço) por meio de uma rede **botnet**, onde os computadores infectados são denominados **zumbis**.

Packet Sniffer (Farejador de Pacotes): Receptor passivo que monitora os pacotes que trafegam na rede → **Wireshark**.

Questões de revisão

1. Por que os padrões são importantes para os protocolos?
2. Suponha que exista exatamente um comutador de pacotes entre um computador de origem e um de destino. As taxas de transmissão entre a máquina de origem e o comutador e entre este e a máquina de destino são R_1 e R_2 , respectivamente. Admitindo que o roteador use comutação de pacotes do tipo armazena-e-reenvia, qual é o atraso total fim a fim para enviar um pacote de comprimento L ? (Desconsidere formação de fila, atraso de propagação e atraso de processamento.)
3. Qual é a vantagem de uma rede de comutação de circuitos em relação a uma de comutação de pacotes?
4. Suponha que usuários compartilhem um enlace de 2 Mbits/s e que cada usuário transmita continuamente a 1 Mbit/s, mas cada um deles transmite apenas 20% do tempo. (Uso intermitente da rede, ou em rajadas)
 - a) Quando a comutação de circuitos é utilizada, quantos usuários podem ser admitidos?
 - b) Supondo o uso de comutação de pacotes, por que não haverá atraso de fila antes de um enlace se dois ou menos usuários transmitirem ao mesmo tempo? Por que haverá atraso de fila se três usuários transmitirem ao mesmo tempo?

Questões de revisão

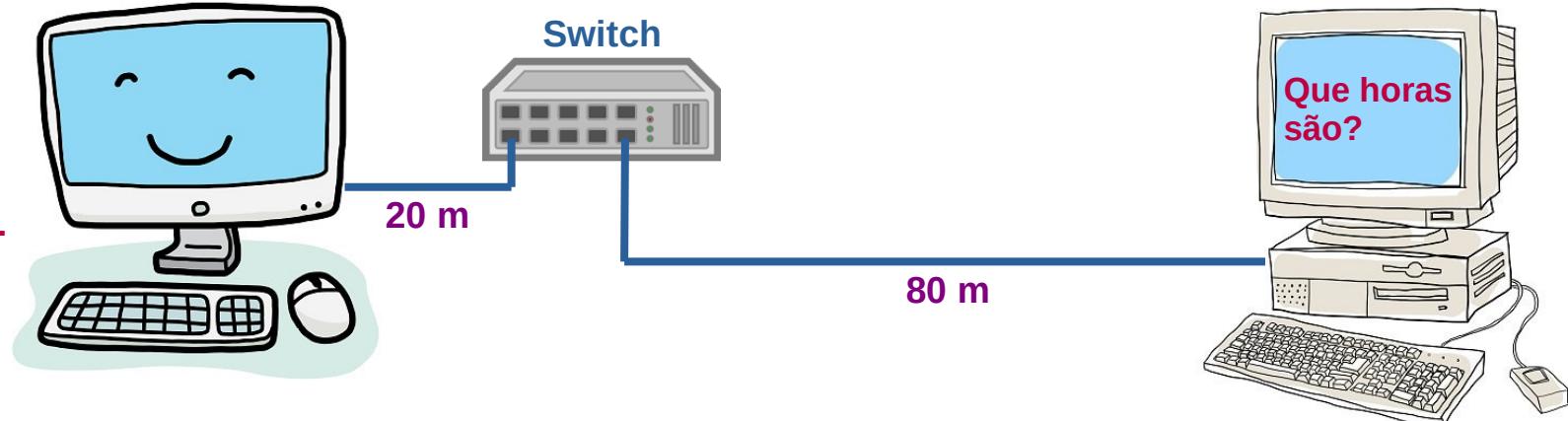
5. Quanto tempo um pacote de 1.000 bytes leva para se propagar através de um enlace de 2.500 km de distância, com uma velocidade de propagação de $2,5 \cdot 10^8$ m/s e uma taxa de transmissão de 2 Mbits/s? Em geral, quanto tempo um pacote de comprimento L leva para se propagar através de um enlace de distância d, velocidade de propagação s, e taxa de transmissão de R bits/s? Esse atraso depende do comprimento do pacote? Depende da taxa de transmissão?
6. Suponha que o hospedeiro A queira enviar um arquivo grande para o hospedeiro B. O percurso de A para B possui três enlaces, de taxas $R_1 = 500$ kbytes/s, $R_2 = 2$ Mbytes/s, e $R_3 = 1$ Mbit/s.
- Considerando que não haja nenhum outro tráfego na rede, qual é a vazão para a transferência de arquivo?
 - Suponha que o arquivo tenha 4 milhões de bytes. Dividindo o tamanho do arquivo pela vazão, quanto tempo levará a transferência para o hospedeiro B?
7. Suponha que o sistema final A queira enviar um arquivo grande para o sistema B. Em um nível alto, descreva como o sistema A cria pacotes a partir do arquivo. Quando um desses arquivos chega ao comutador de pacote, quais informações no pacote o comutador utiliza para determinar o enlace através do qual o pacote é encaminhado?

Questões de revisão

8. Quais são as cinco camadas da pilha de protocolo da Internet? Quais as principais responsabilidades de cada uma dessas camadas?
9. Que camadas da pilha do protocolo da Internet um roteador processa? Que camadas um comutador de camada de enlace processa? Que camadas um sistema final processa?

Problema

09:10:15.187322401
nanosegundos



O que você faria para sincronizar o relógio dos dois hosts?

Atrasos a serem desconsiderados:

- Tempo de comutação de pacotes no Switch
- Tempo de processamento nos dois hosts

Dados:

- Velocidade de propagação do sinal = $2,5 \cdot 10^8$ m/s
- Ethernet 100 Mbits/s (taxa de transmissão)
- Rede não congestionada (não há formação de fila)
- Tamanho do pacote de dados que contém a hora atual = 100 bytes

