





Redes de Computadores

História da Internet

O início da telecomunicação (1875)



Comutação por circuitos.

O que é comutar?

**Trocar uma coisa por outra;
realizar uma permuta; permutar, substituir**

Atualmente, a internet é uma rede de comutação de pacotes.

ARPANET

Agência de Projetos de Pesquisa Avançada (ARPA, atual DARPA) do Departamento de Defesa dos Estados Unidos (Pentágono)

- Início das pesquisas da década de 1960.
- Em 1969 surgiu a primeira rede de computadores por comutação de pacotes e uma ancestral da internet pública atual.
- Transmissão de dados militares sigilosos e interligação de departamentos de pesquisa nos Estados Unidos.
- Primeira rede por comutação de pacotes.

ARPANET



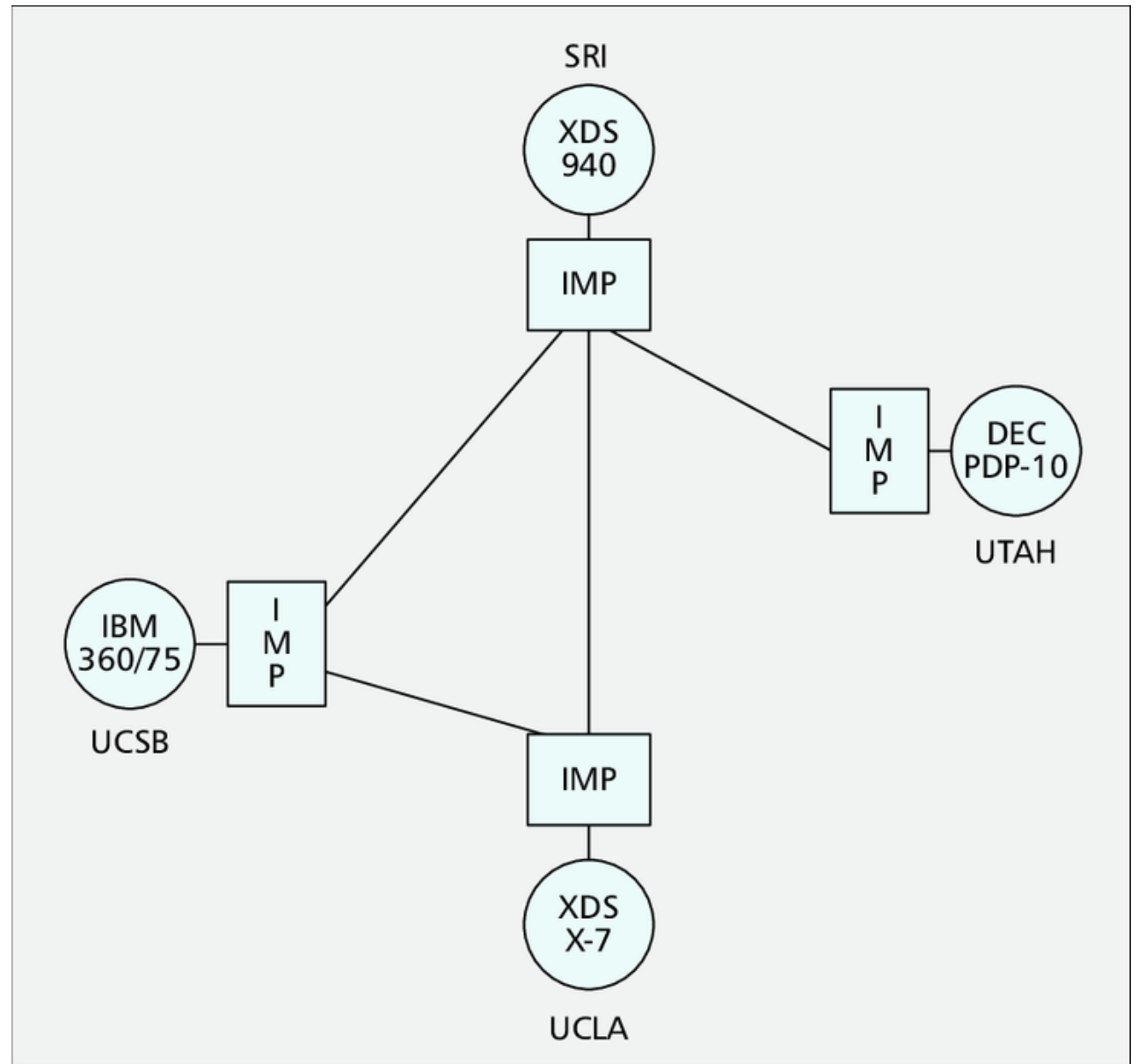
Figure 5: The ARPANET in December 1969

ARPANET

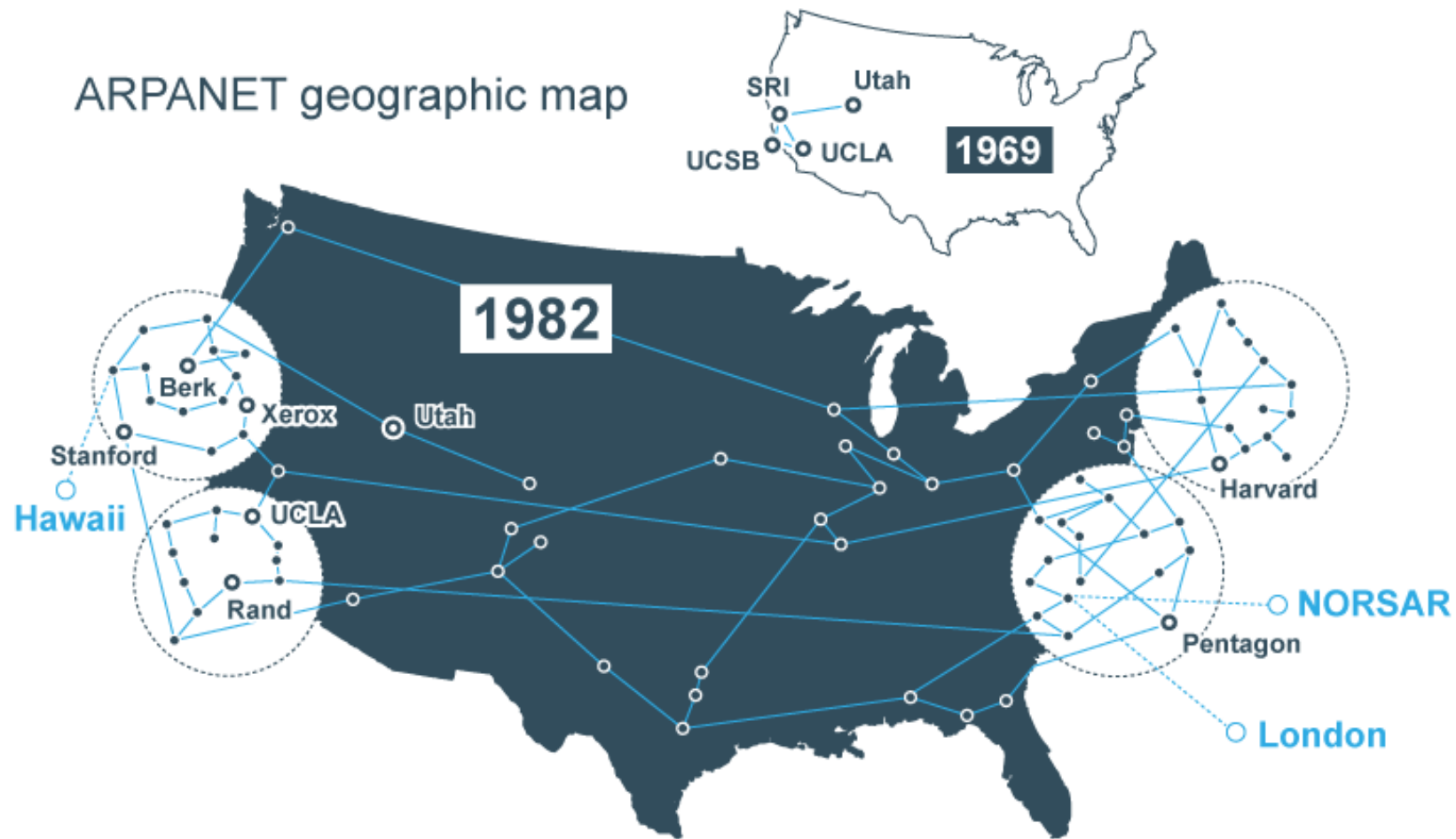
1. UCLA - Universidade da Califórnia em Los Angeles.
2. SRI - Instituto de Pesquisa de Stanford.
3. UCSB - (Universidade da Califórnia em Santa Bárbara.
4. UTAH - Universidade de Utah.

Utilizava a rede de telefonia.

Primeiro Protocolo de comunicação:
Network Control Protocol.

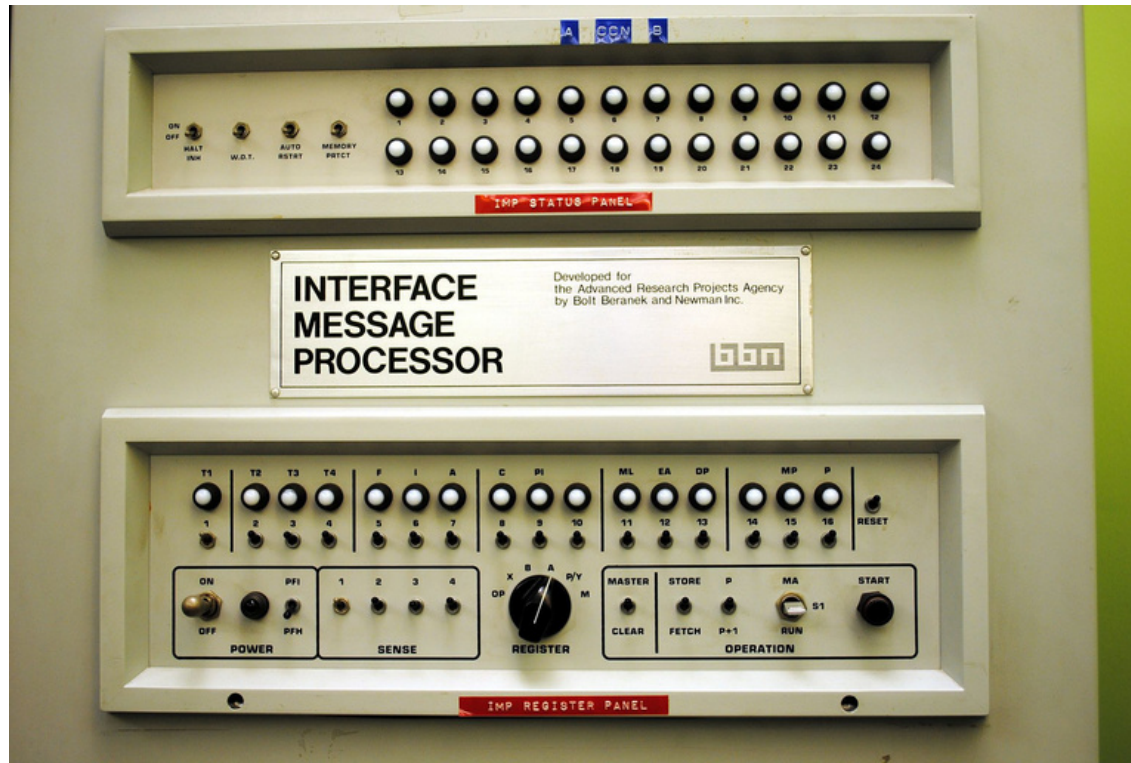


ARPANET



Foi usada até 1990 e serviu como a base da Internet moderna

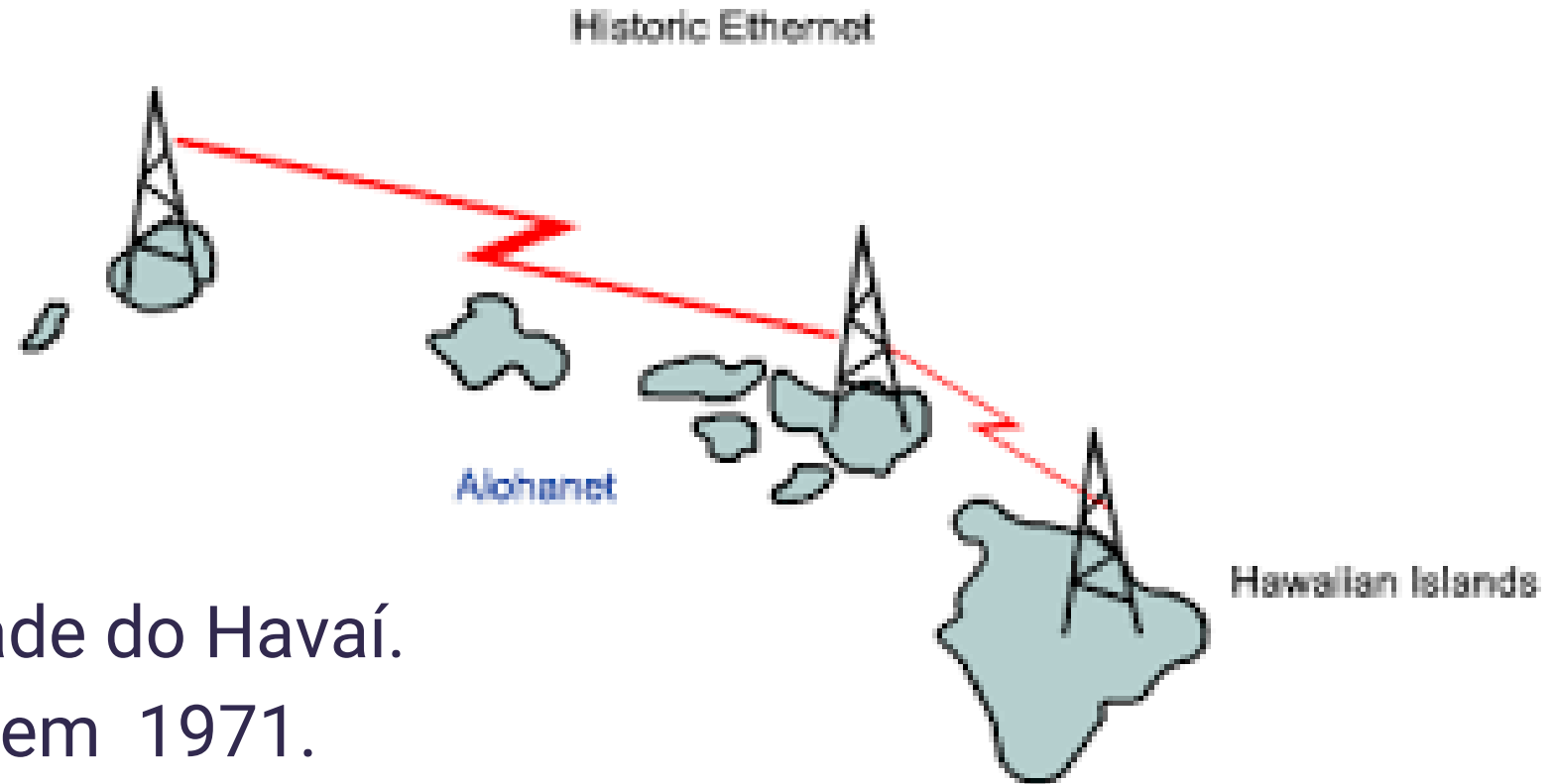
IMP - *Interface Message Processor*



Primeiro comutador de pacotes



ALOHAnet



- Universidade do Havaí.
- Operação em 1971.
- Primeira rede pública sem fio.

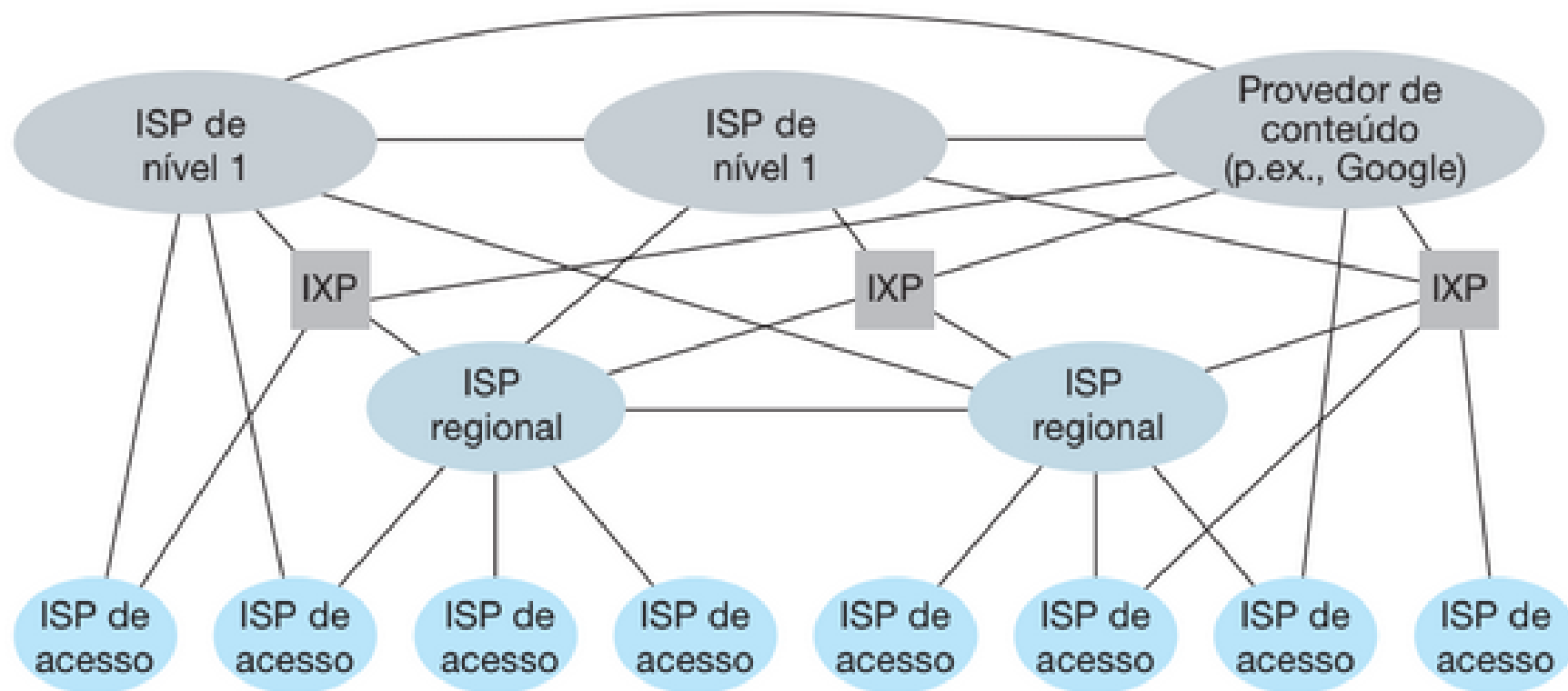
Internet Pública

- ISP - Internet Service Provider.
- Na década de 70 surgem outras redes como: Telenet, AHOnet, Cyclades e Tymnet.
- Na década de 70 já haviam cerca de 200 máquinas conectadas na ARPAnet.
- Na década de 80 haviam cerca de 100 mil máquinas conectadas a rede pública.
- Velocidade da NSFNET: 56Kbits/s > 1,5Mbits/s.
- 1983 - O protocolo TCP/IP se torna padrão.
- Na França, em 1984 surgiu a internet pública Minitel, disponibilizada pelo governo Francês.
- 1995 entra em operação o primeiro ISP no Brasil

Internet no Brasil

- A FAPESP (Fundações de Pesquisa do Estado de São Paulo) e o LNCC conectaram-se a instituições nos EUA.
- A primeira rede acadêmica brasileira, de 1992, tinha capacidade de 64 Kb/s. Era possível receber mensagens de texto, e-mails, transferir arquivo se acessar websites não muito complexos.
- Internet comercial: 1995
- Conexões a até 2 Mbps

ISP's - Provedores de Acesso



ISP's - Provedores de Acesso



AT&T



CenturyLink®



Google Fiber

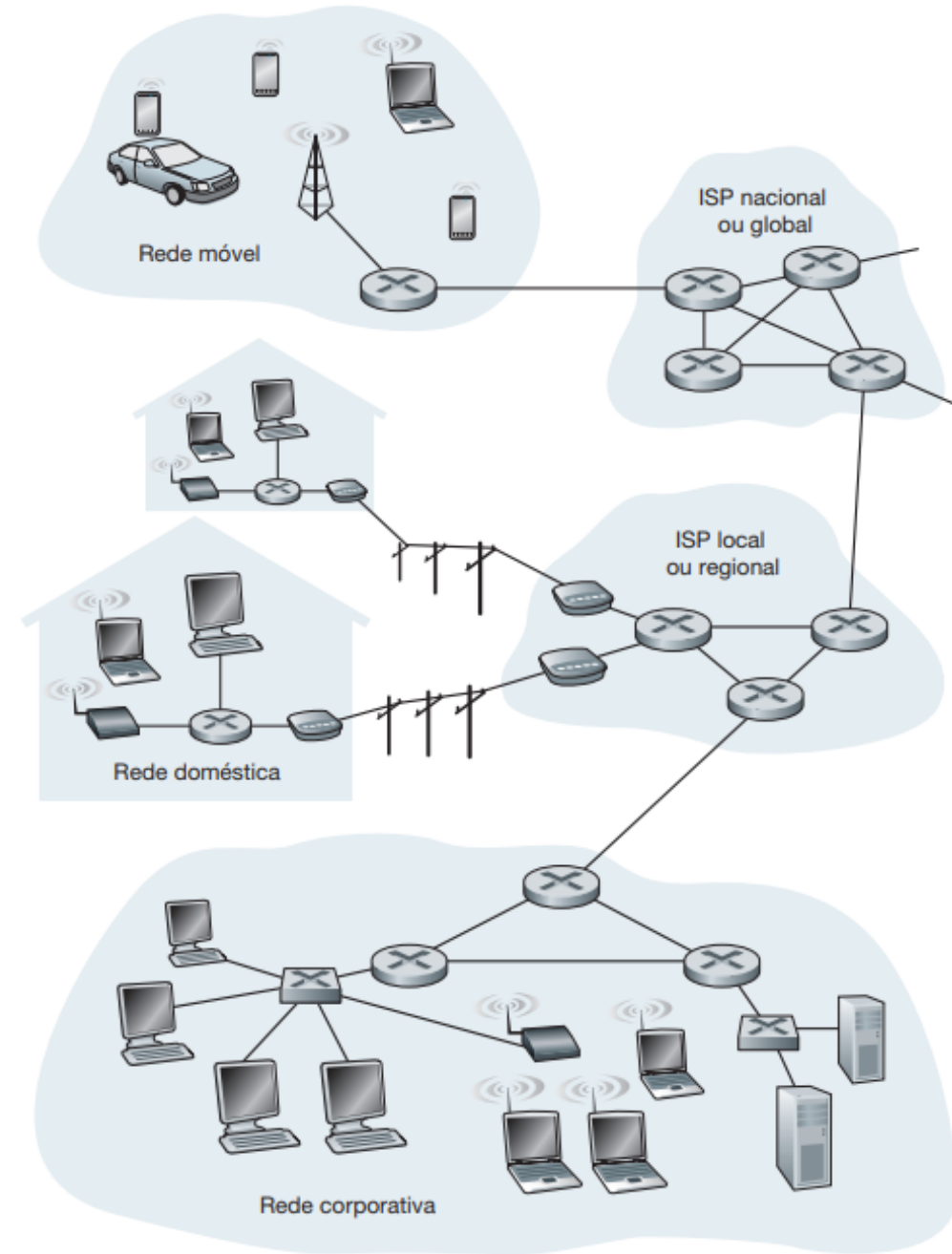
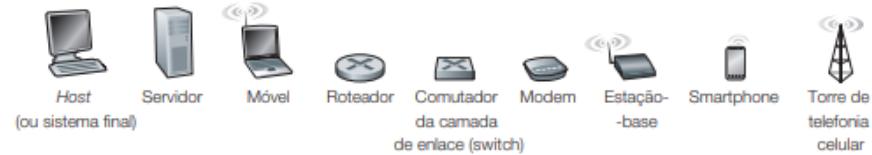


Componentes de uma rede

O que é a Internet?

Uma rede de redes!

Legenda:



Componentes da Rede

- Sistemas finais (hospedeiros, **hosts**) e comutadores(**switch**) conectados entre si através de enlaces(**links**)
- Sistemas finais usam provedores (**ISPs**) para se conectar a rede.
- Sistemas finais e comutadores seguem **protocolos** de comunicação.

O que é sistema final (*host*)?

- Dispositivo de acesso do usuário ou servidores.



E não somente ...



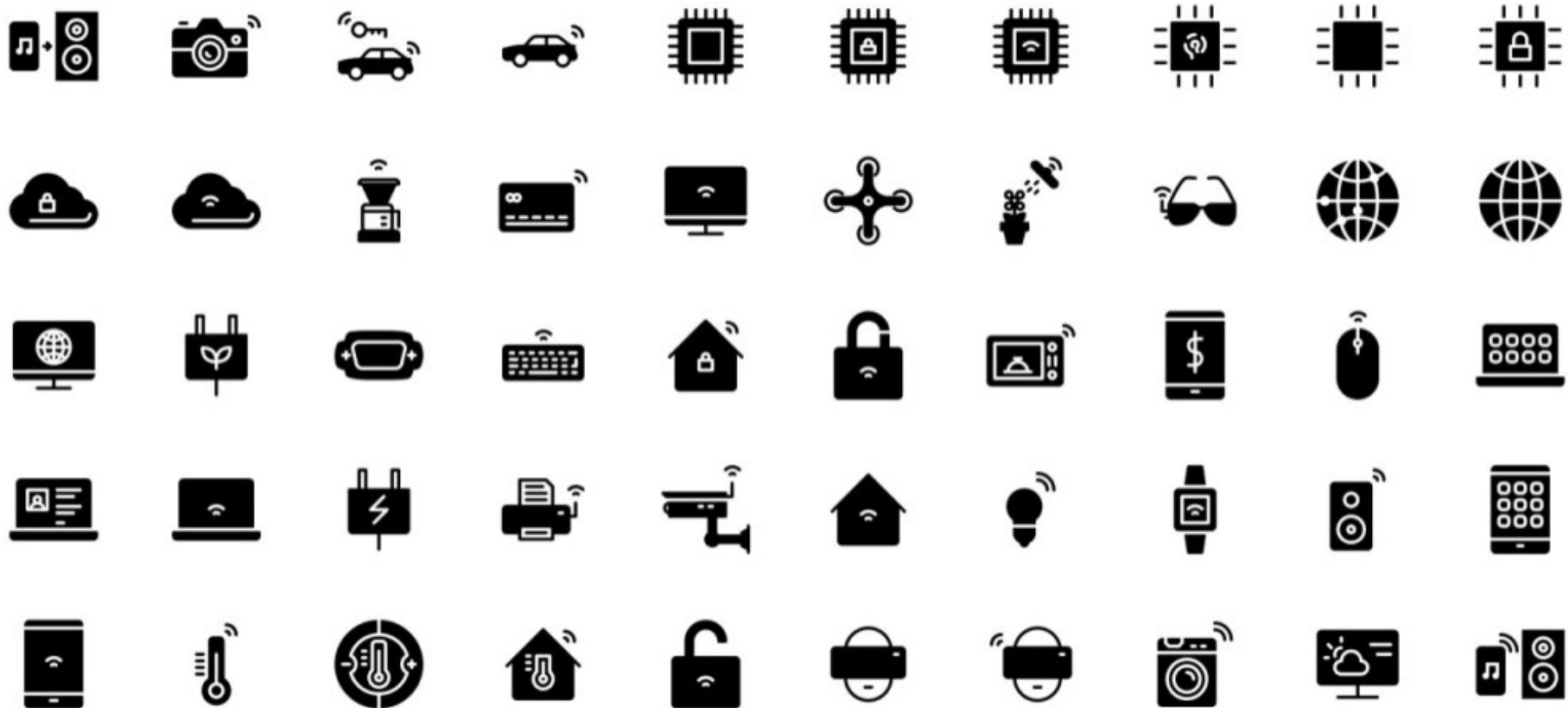
O que é sistema final (*host*)?

Atualmente:



O que é sistema final (*host*)?

Atualmente:



O que é roteador?

- Computador de pacotes:
 - Atua na camada de rede.
 - Utilizado no núcleo da rede.



O que temos em nossas casas?

Switch + Access Point + Roteador



O que é *switch*?

- Comutador de pacotes:
 - Atua na camada de enlace (pode ser de camada de rede).
 - Utilizado dentro de redes de acesso.



O que temos em nossas casas?

Switch + **Access Point** + **Roteador**



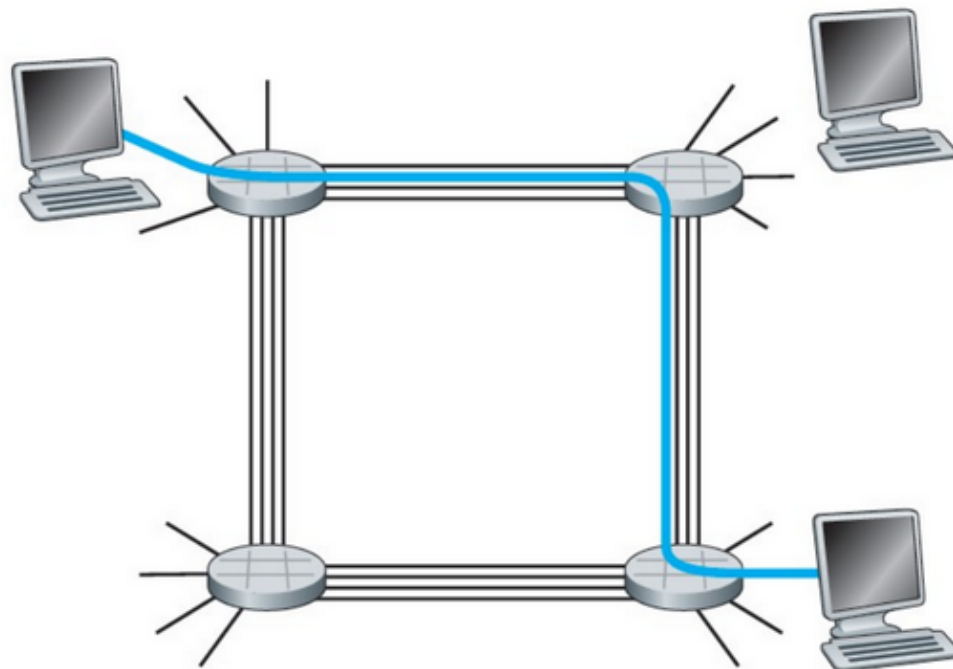
O que é um enlace (*link*)

- É o meio de **conexão** entre sistemas finais, roteadores e *switch*.
- **Com fio:**
 - Fibra óptica, par trançado, cabo coaxial.
- **Sem fio:**
 - WiFi.
 - Canais de comunicação via ondas de rádio:
 - Antenas telefonia móvel.
 - Satélites.

Classificação

Tipos de Redes

Comutação por circuitos



- Telefonia era exemplo.
- Mas atualmente a telefonia usa comutação por pacotes (VoIP).
- **A reserva de recursos tem alto custo!**

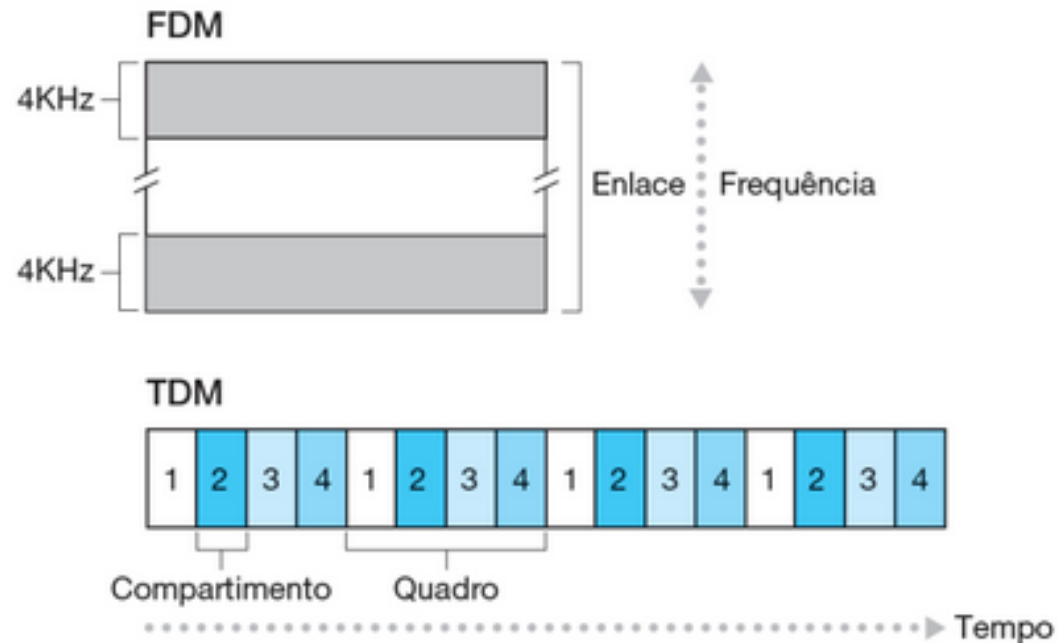
Comutação por pacotes



Multiplexação

FDM - Frequency Division Multiplexing (Multiplexação por Canais de Frequência)

TDM - Time-Division Multiplexing (Multiplexação por divisão de tempo)



Legenda:

2

Todos os compartimentos de número "2" são dedicados a um par transmissor/receptor específico.

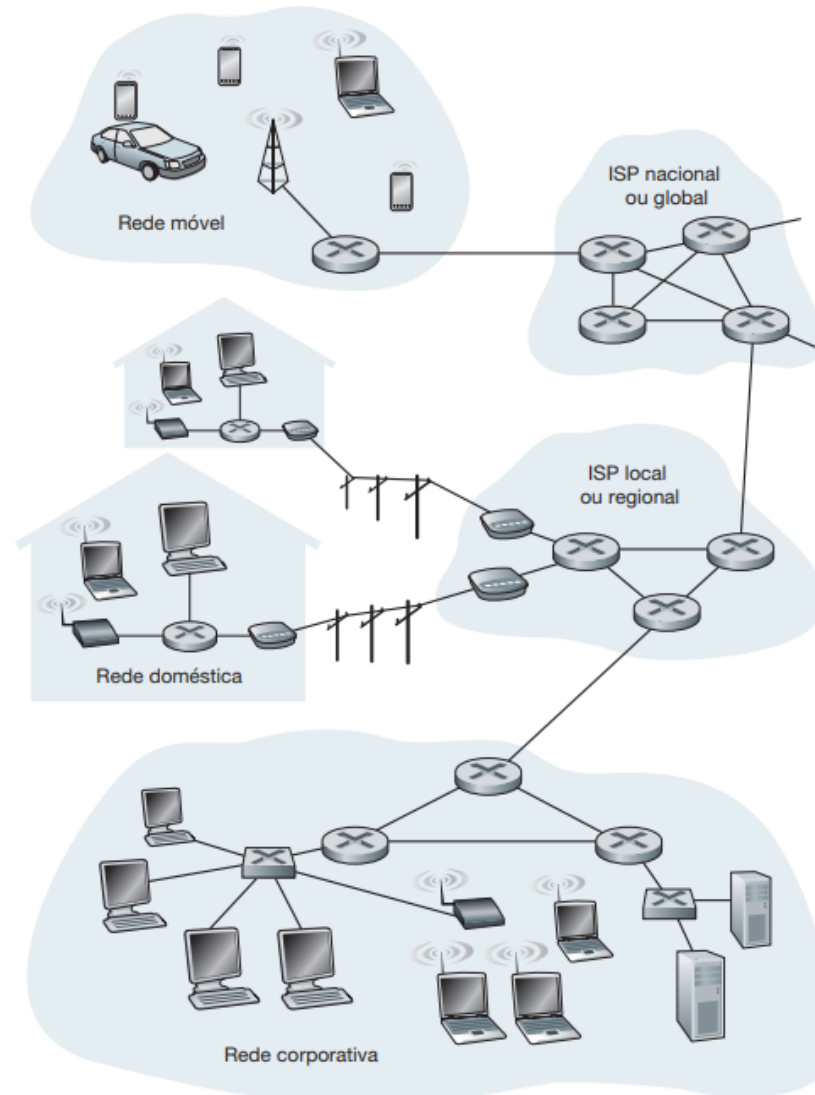
Comutação por pacotes vs Comutação por circuitos

Item	Comutação de circuitos	Comutação de pacotes
Configuração de chamadas	Obrigatória	Não necessária
Caminho físico dedicado	Sim	Não
Cada pacote segue a mesma rota	Sim	Não
Os pacotes chegam em ordem	Sim	Não
A falha de um <i>switch</i> é fatal	Sim	Não
Largura de banda disponível	Fixa	Dinâmica
Momento de possível congestionamento	Durante a configuração	Em todos os pacotes
Largura de banda potencialmente desperdiçada	Sim	Não
Transmissão <i>store-and-forward</i>	Não	Sim
Transparência	Sim	Não
Tarifação	Por minuto	Por pacote

Tamanho e Localização

Redes de Acesso

Rede física que conecta um sistema final ao primeiro roteador de um caminho partindo de um sistema final até outro qualquer.

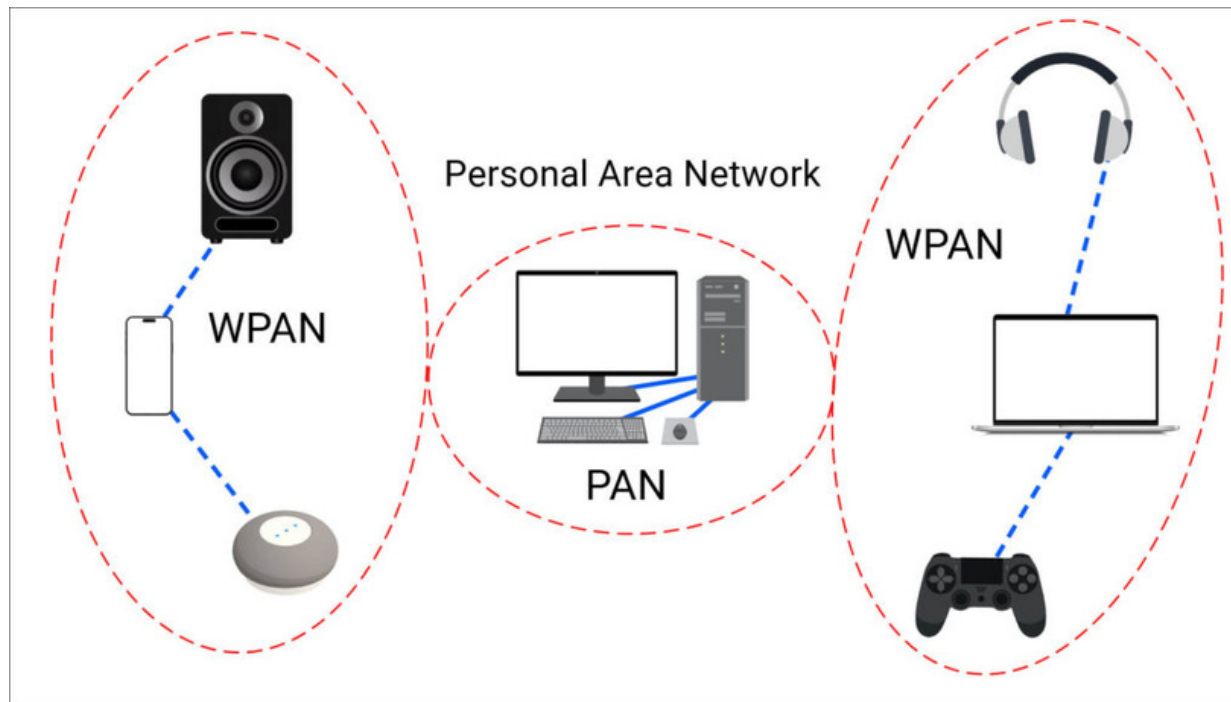


Classificação das Redes

- Redes Pessoais - PAN
- Redes Locais - LAN
- Rede Metropolitana - MAN
- Redes Geograficamente distribuídas - WAN

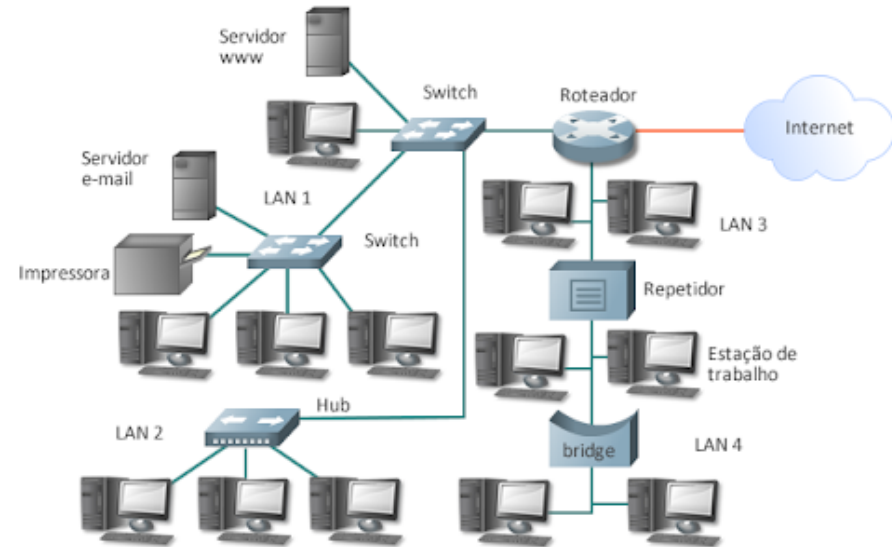
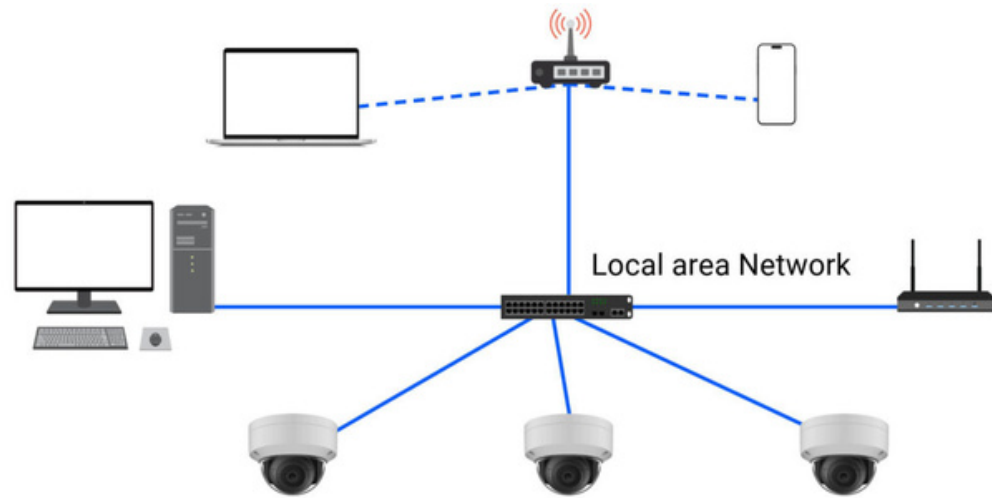
Classificação das Redes

PAN: é uma rede de curto alcance usada para conectar dispositivos pessoais, como *smartphones*, *notebooks* e fones de ouvido, geralmente via Bluetooth, USB ou Wi-Fi..



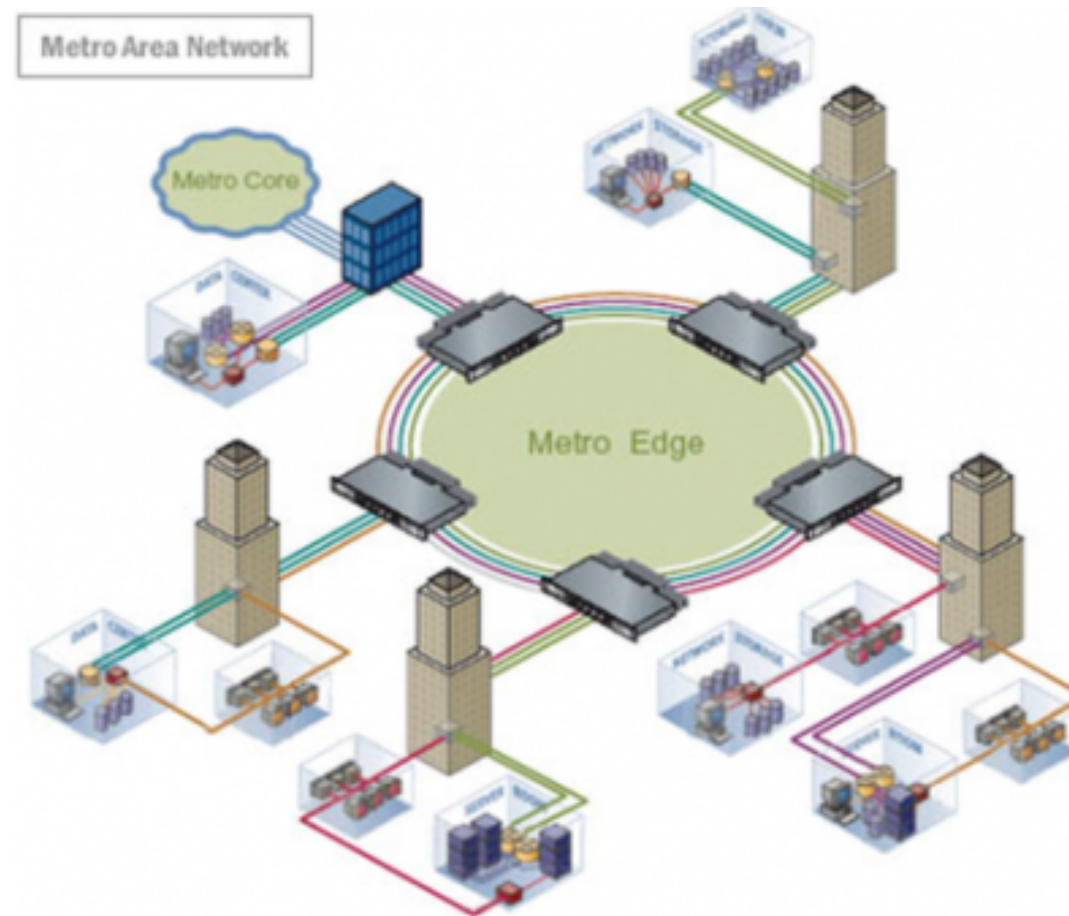
Classificação das Redes

LAN: rede local com alcance restrito a um prédio ou um campus. Pode ser doméstica ou corporativa.



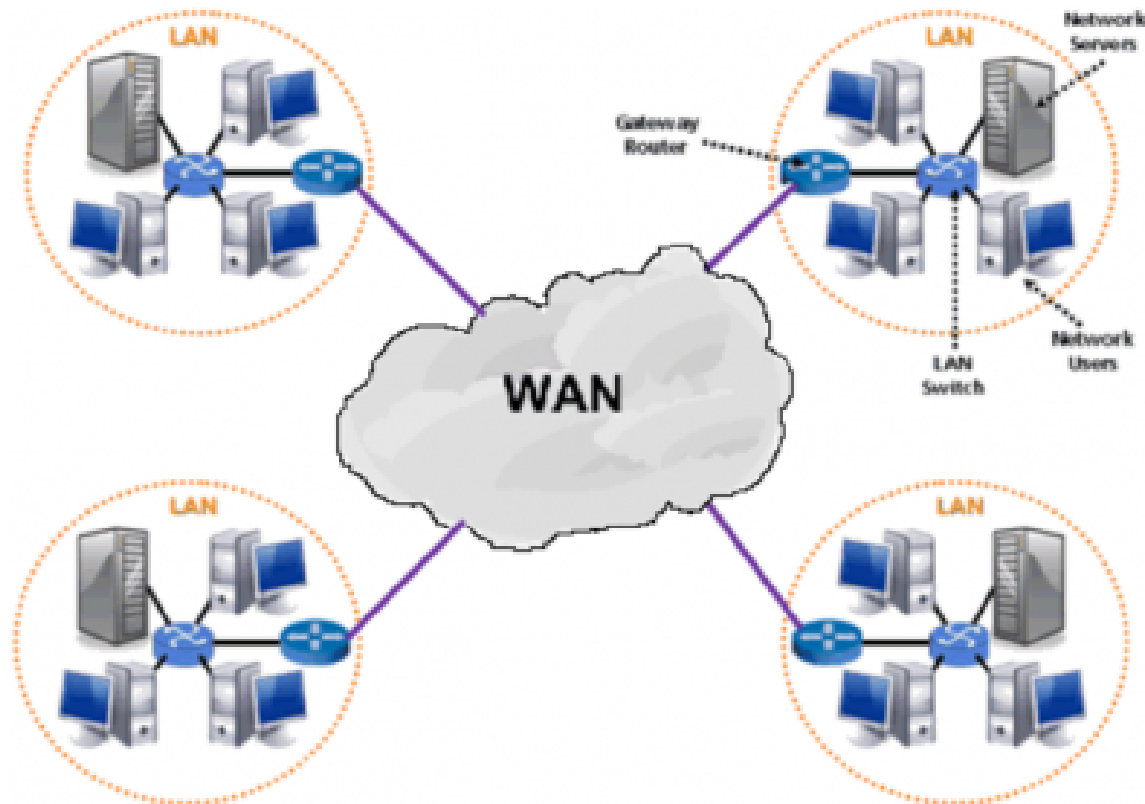
Classificação das Redes

MAN: rede metropolitana com alcance de uma cidade ou estado;

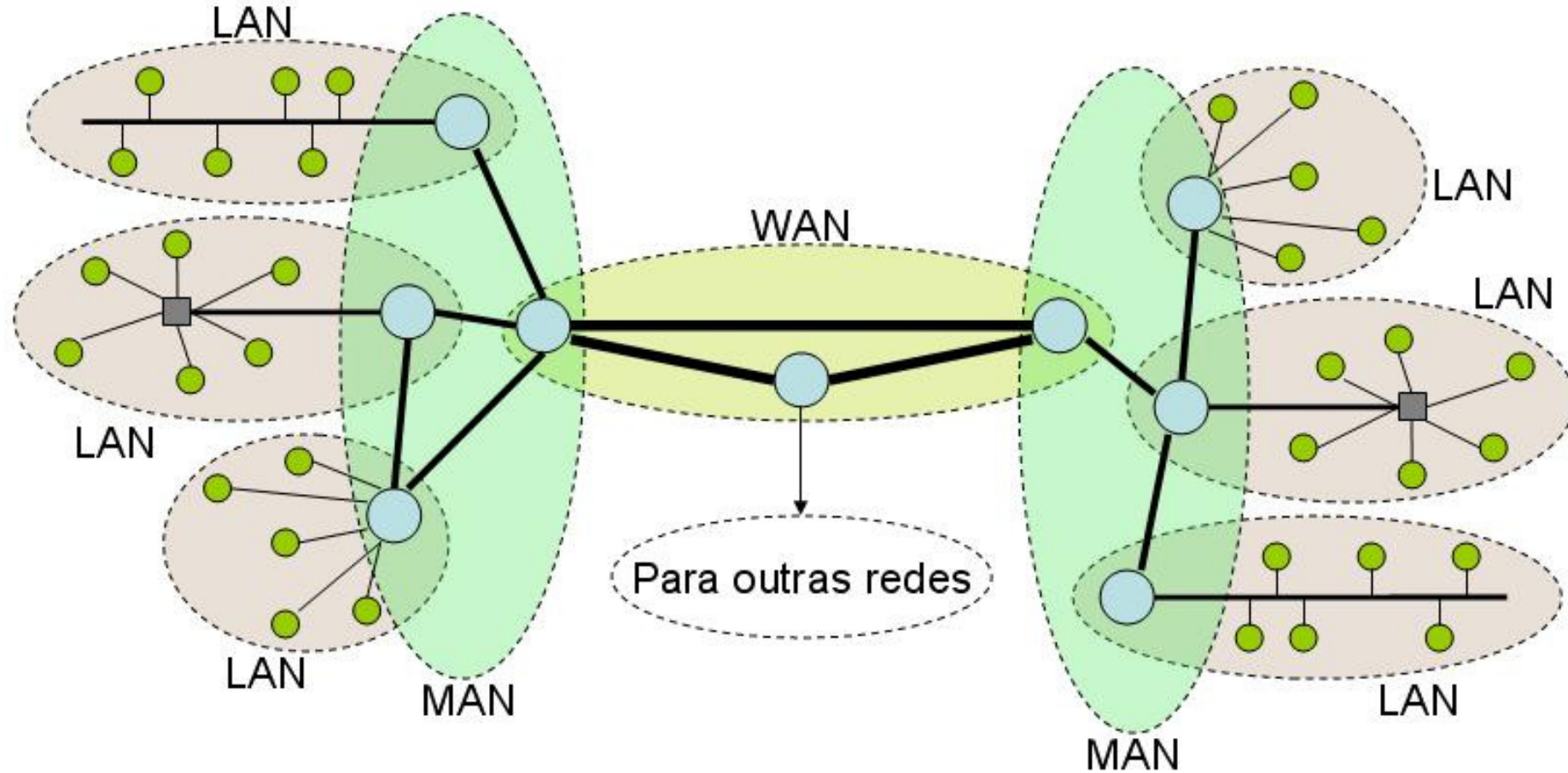


Classificação das Redes

WAN: rede de longa distância de alcance continental, como a Internet e a rede de telefonia 5G.



Classificação das Redes



Classificação das Redes

	Exemplo	Alcance	Largura de banda (Mbps)	Latência (ms)
Redes guiadas:				
LAN	Ethernet	1–2 km	10–10.000	1–10
WAN	Roteamento IP	mundial	0,010–600	100–500
MAN	ATM	2–50 km	1–600	10
Obsoleta				
Interligação em rede	Internet	mundial	0,5–600	100–500
Redes sem fio:				
WPAN	Bluetooth (IEEE 802.15.1)	10–30 m	0,5–2	5–20
WLAN	WiFi (IEEE 802.11)	0,15–1,5 km	11–108	5–20
WMAN	WiMAX (IEEE 802.16)	5–50 km	1,5–20	5–20
Obsoleta				
WWAN	Redes telefônicas 3G	celular: 1–5 km	348–14,4	100–500

Topologias

Topologia das Redes

Topologias de rede referem-se à estrutura física ou lógica na qual os dispositivos de uma rede estão interconectados.

Topologia das Redes

Física: Descreve a disposição e conexões dos dispositivos físicos, como enlaces, hosts, roteadores e *switches*

Lógica: Descreve a forma como os dados fluem através da rede.

Topologia das Redes

- Uma topologia em barramento (bus) usa um único cabo que é terminado em ambas as extremidades. Todos os hosts são diretamente conectados a este cabo.
- Uma topologia em anel (ring) conecta um host ao próximo e o último host ao primeiro. Isto cria um anel físico utilizando o cabo.
- Uma topologia em estrela (star) conecta todos os cabos a um ponto central de concentração.
- Uma topologia em estrela estendida (*extended star*) une estrelas individuais ao conectar os *hubs* ou *switches*. Esta topologia pode estender o escopo e a cobertura da rede.
- Uma topologia hierárquica é semelhante a uma estrela estendida. Porém, ao invés de unir os hubs ou *switches*, o sistema é vinculado a um computador que controla o tráfego na topologia.
- Uma topologia em malha (*mesh*) é implementada para prover a **maior proteção** possível contra interrupções de serviço.

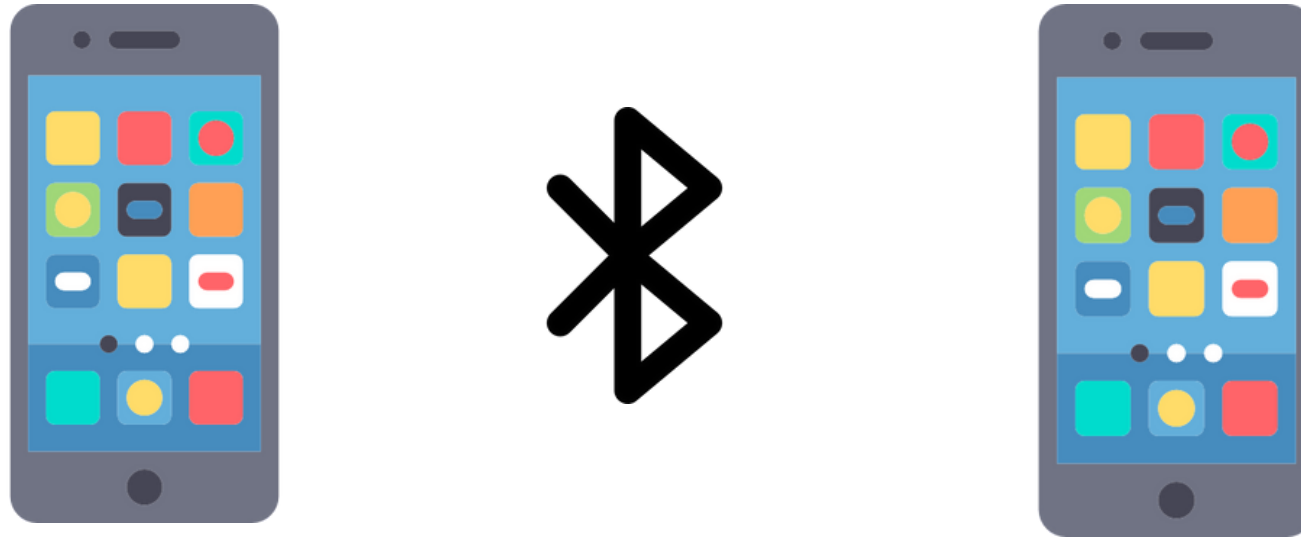
P2P - PONTO A PONTO (*Peer-to-Peer*)

A topologia ponto a ponto é uma configuração de rede na qual dois dispositivos estão conectados diretamente um ao outro, permitindo **comunicação direta** entre eles sem a necessidade de um ponto central intermediário.



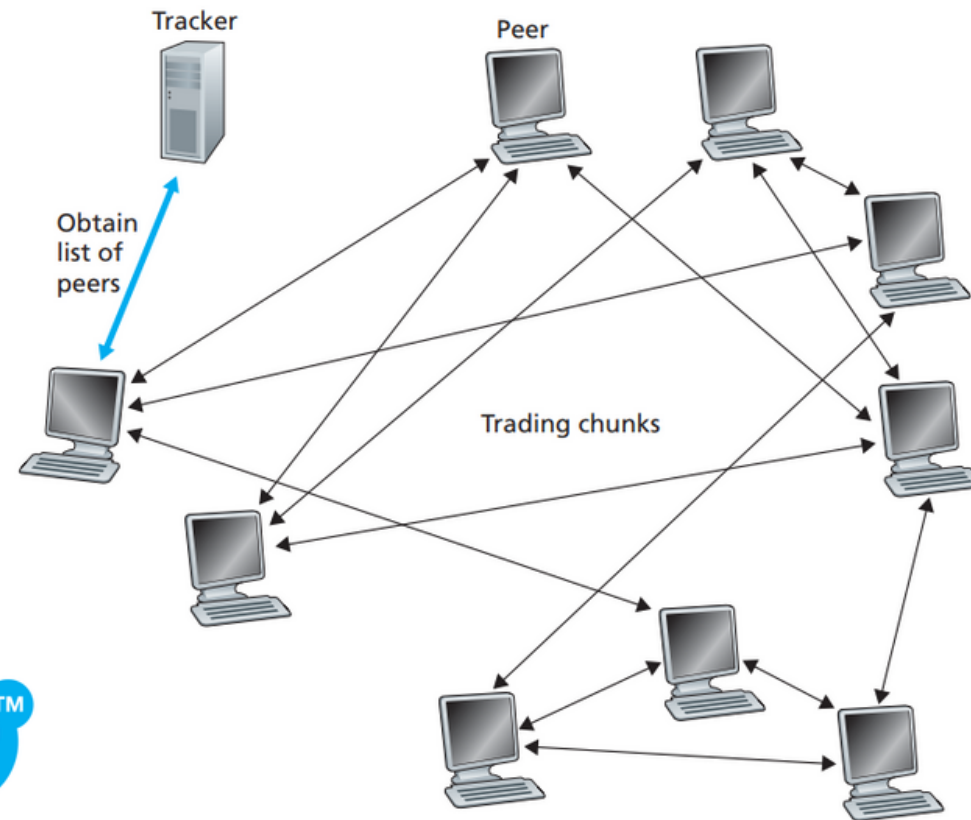
PONTO A PONTO

Exemplo Físico: Conexão Bluetooth



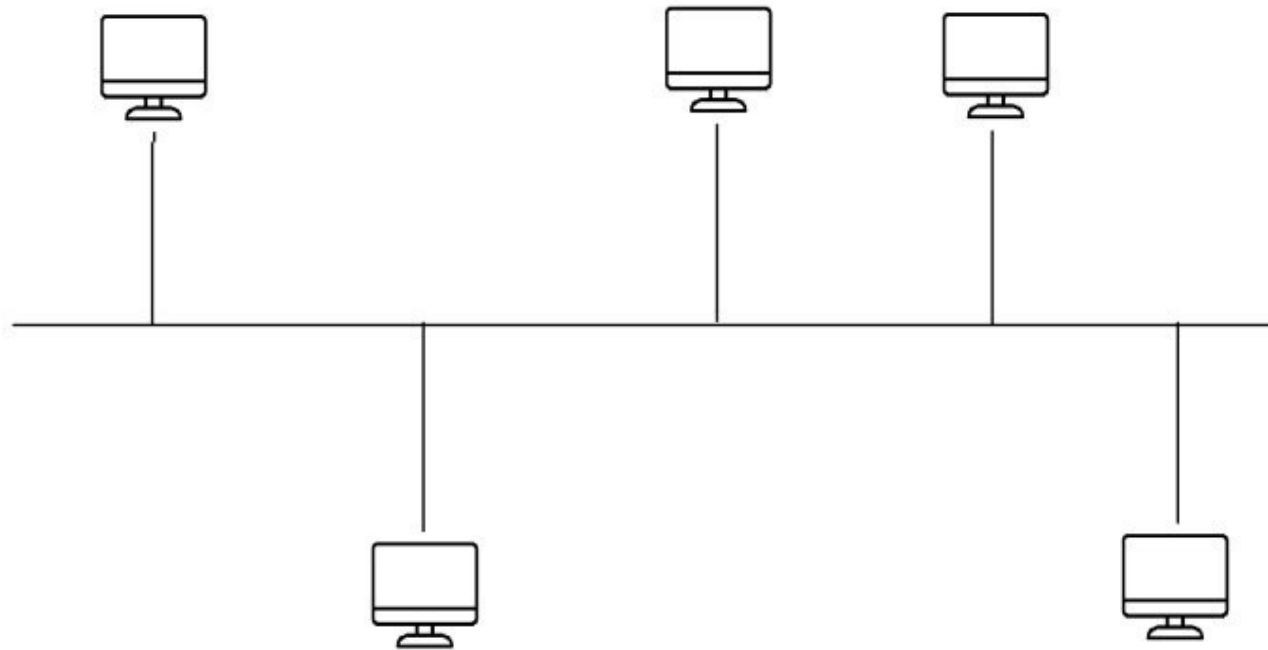
PONTO A PONTO

Exemplo Lógica: Distribuição de Arquivos P2P



BARRAMENTO

A topologia de barramento é um tipo de configuração de rede na qual todos os dispositivos compartilham um **único meio** de comunicação.



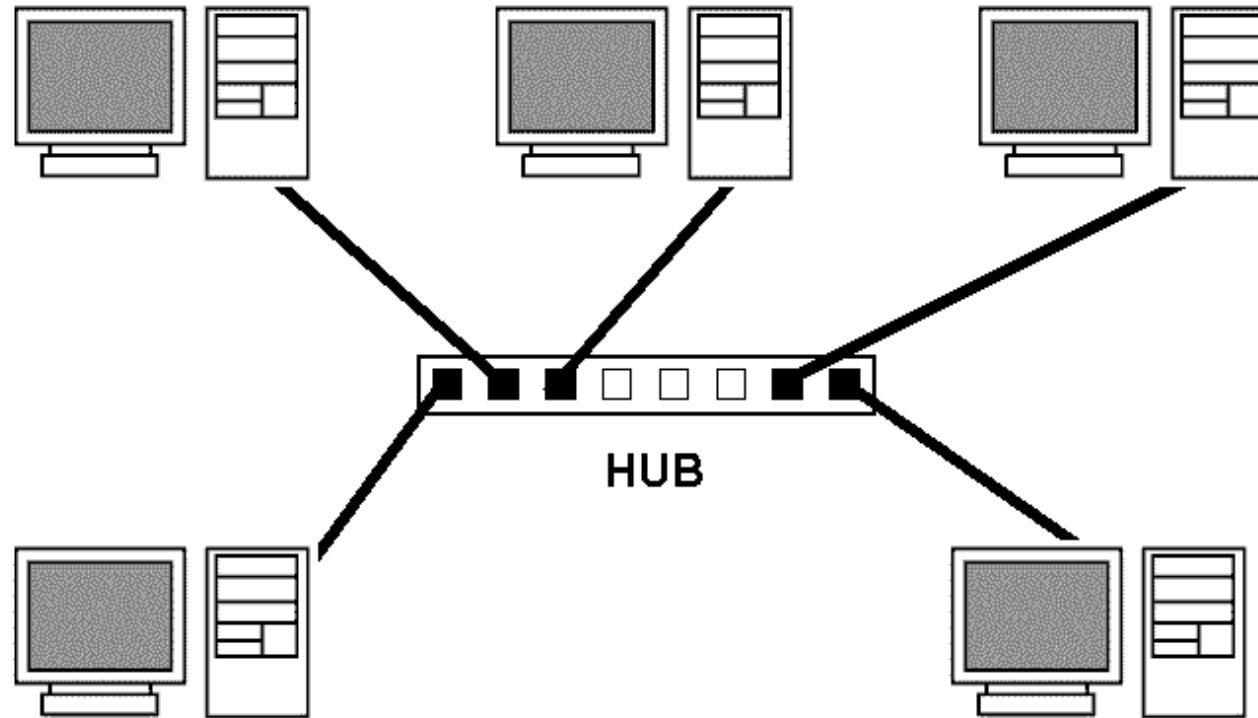
BARRAMENTO

Exemplo Físico: Rede Coaxial com conector T (Obsoleto).



BARRAMENTO

Exemplo Lógico: Dispositivos conectados ao *hub*.

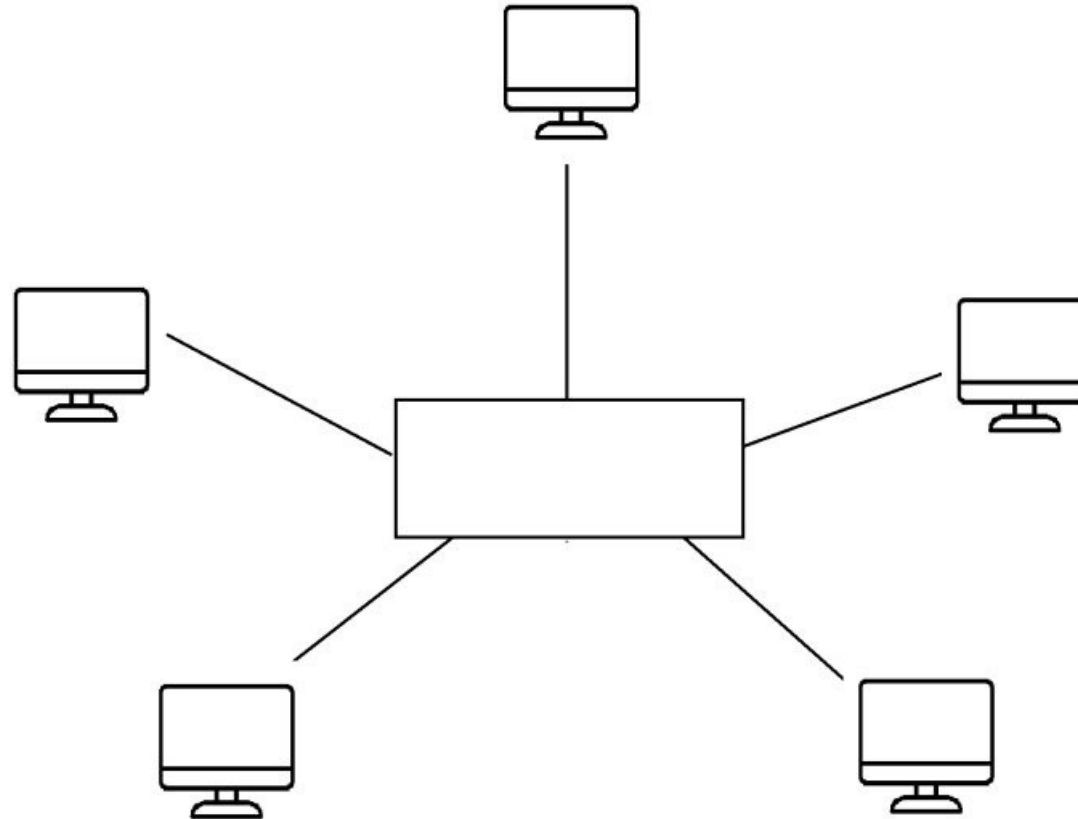


HUB ?

- O hub é uma tecnologia considerada obsoleta!
- O hub conecta todos os dispositivos a um ponto central, formando fisicamente uma topologia estrela, pois cada cabo vai diretamente ao hub.
- No entanto, os dados transmitidos por ele circulam para todos os dispositivos da rede, funcionando logicamente como um barramento.

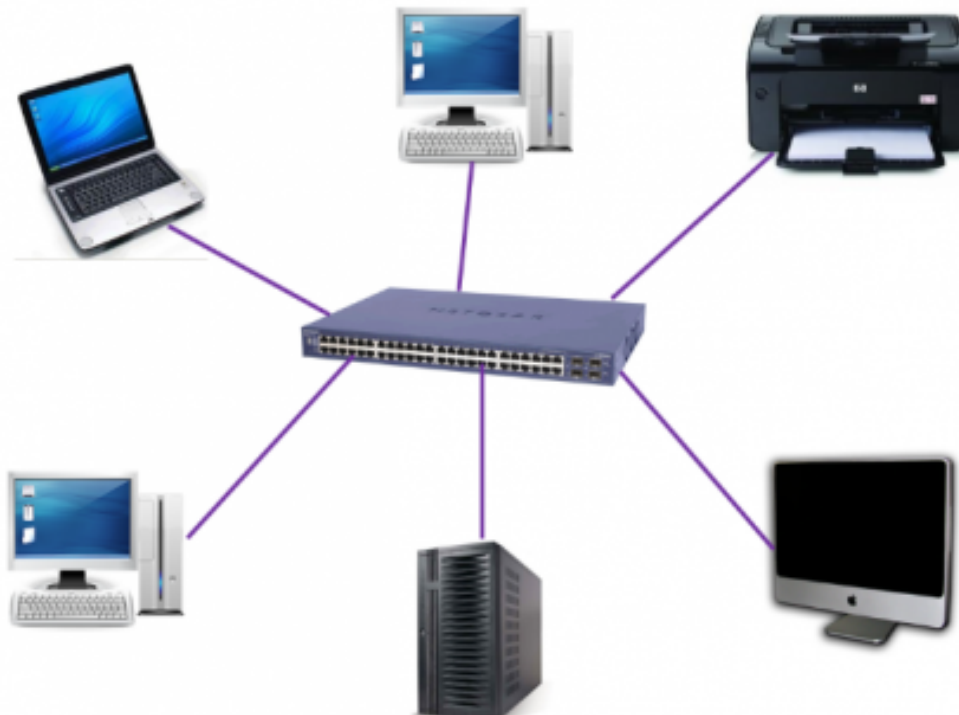
ESTRELA

A topologia estrela é caracterizada pela conexão de todos os dispositivos a um ponto central.



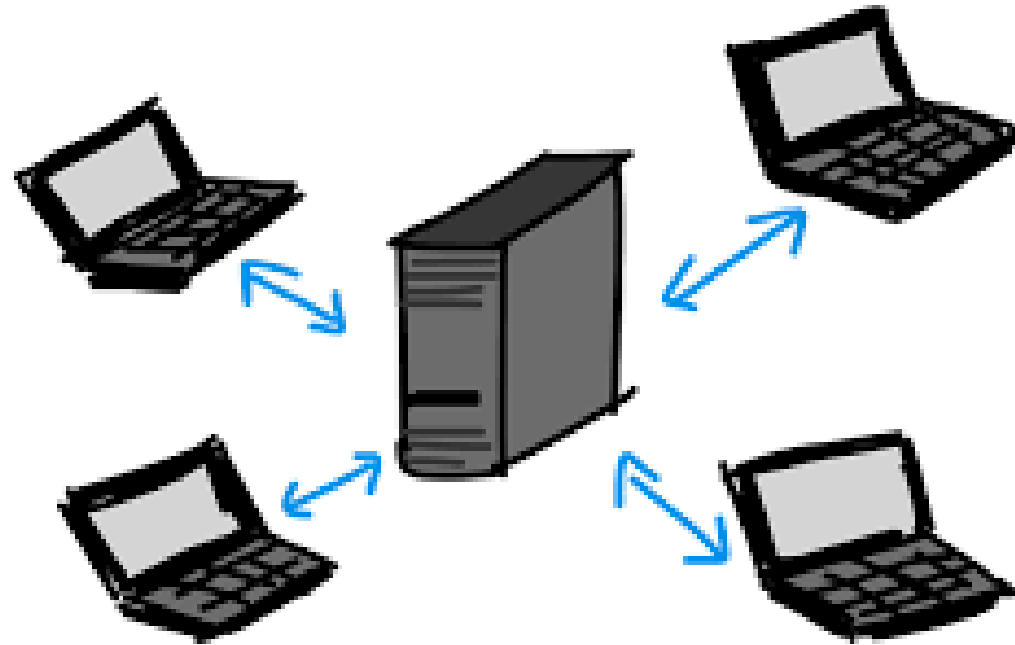
ESTRELA

Exemplo Físico: Dispositivos conectados ao *switch*.



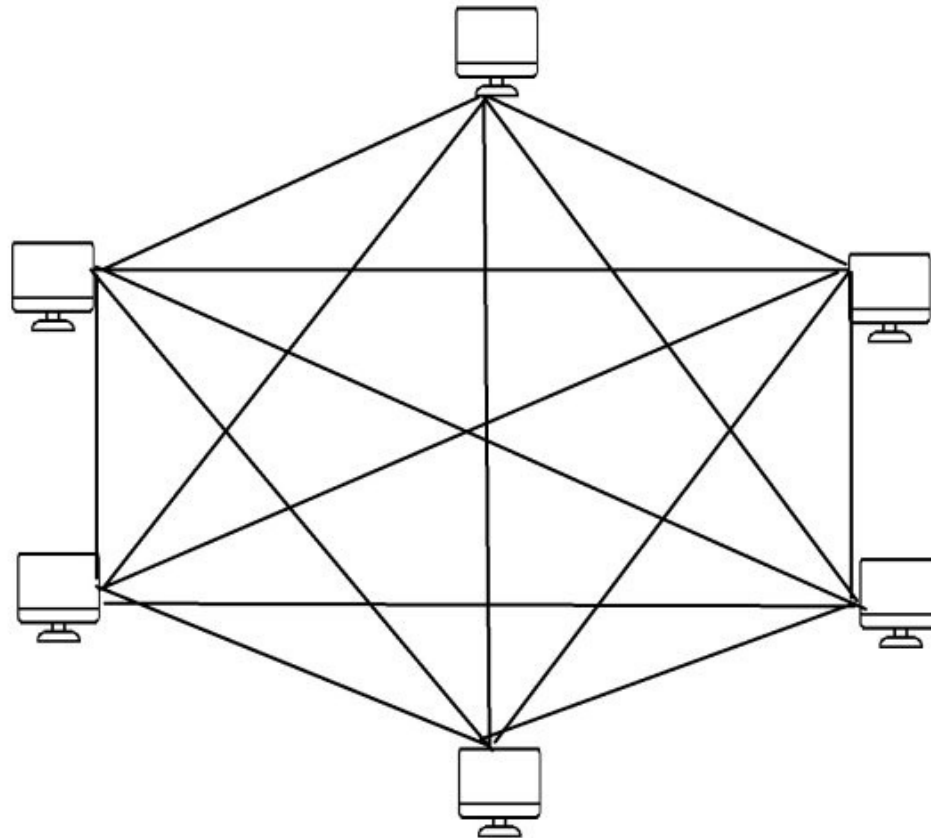
ESTRELA

Exemplo Lógico: Arquitetura Cliente Servidor



Malha (Mesh)

A topologia de malha é caracterizada pela interconexão de **todos** os dispositivos da rede, proporcionando redundância e múltiplos caminhos de comunicação.



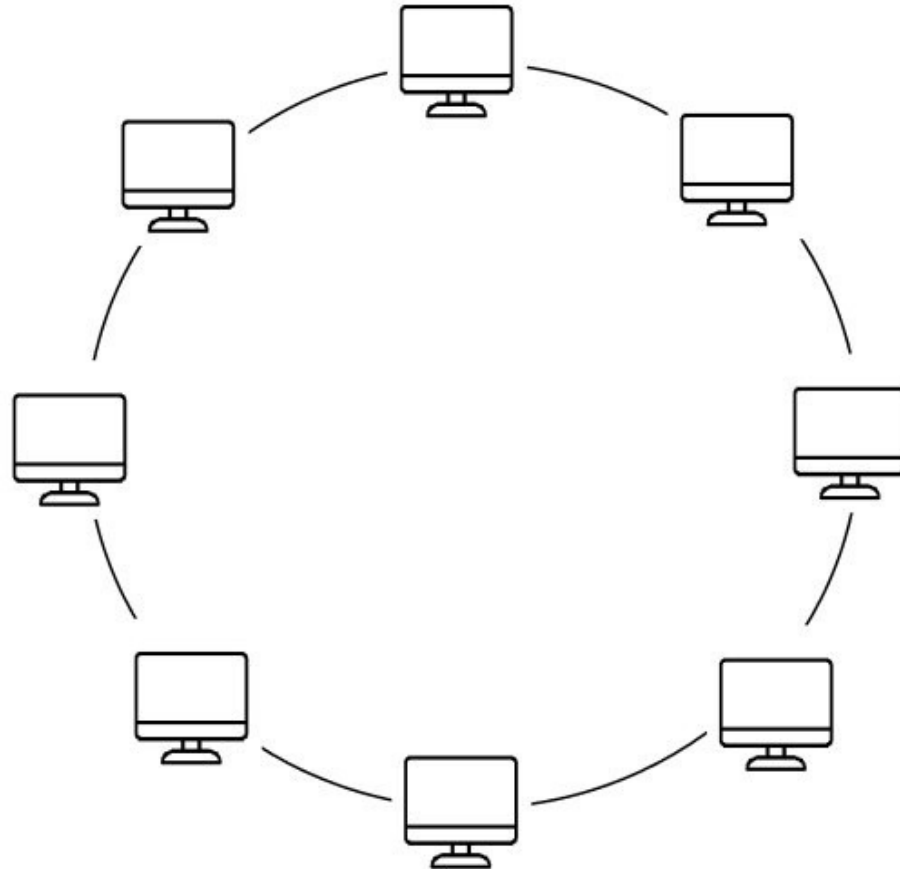
Malha (Mesh)

Exemplo Físico: Redes de *Access Point*



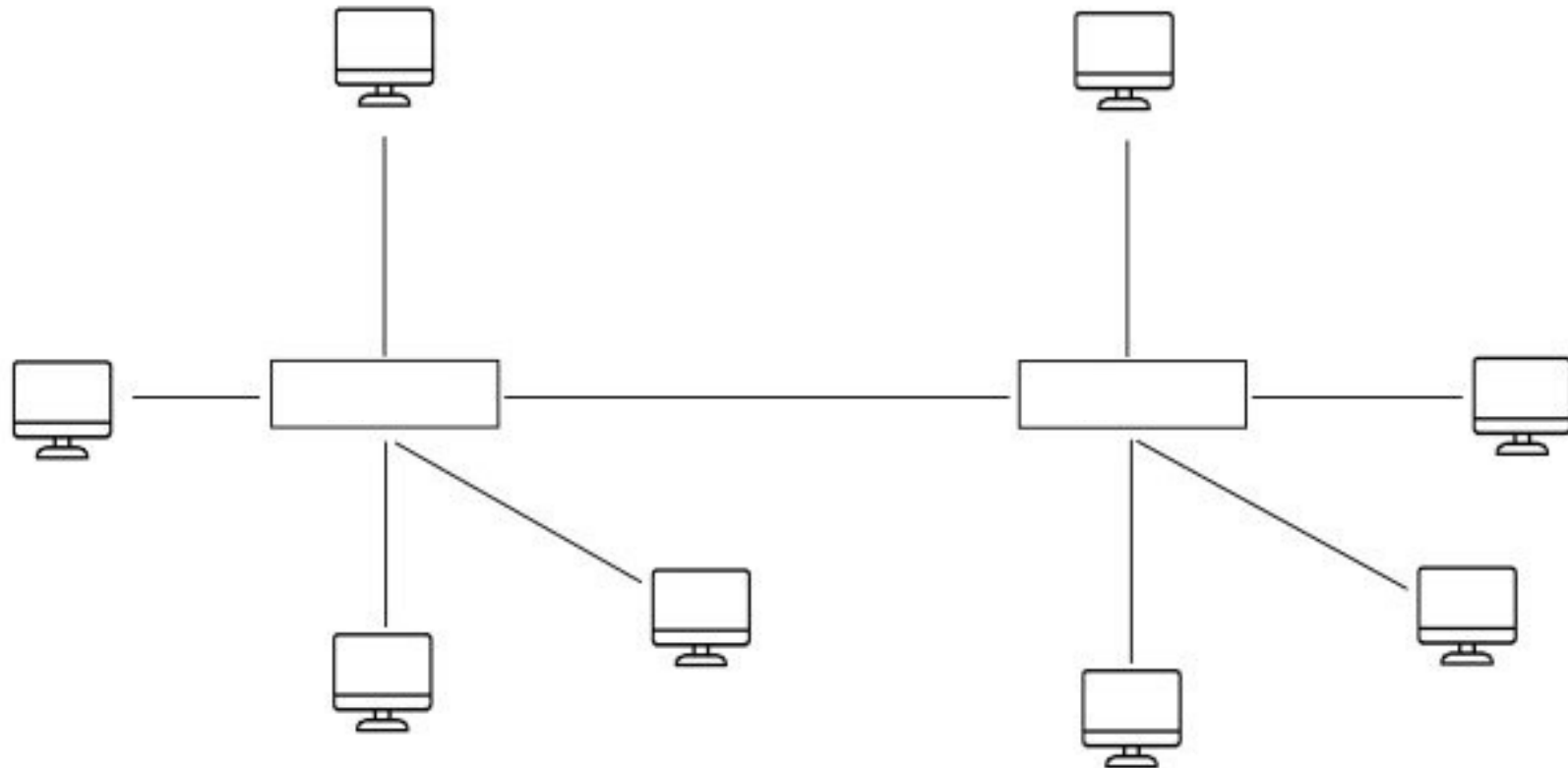
ANEL

A topologia de anel é caracterizada pela conexão dos dispositivos em uma configuração de anel fechado, onde os dados **circulam** de dispositivo para dispositivo em uma única direção até alcançar o destino desejado.



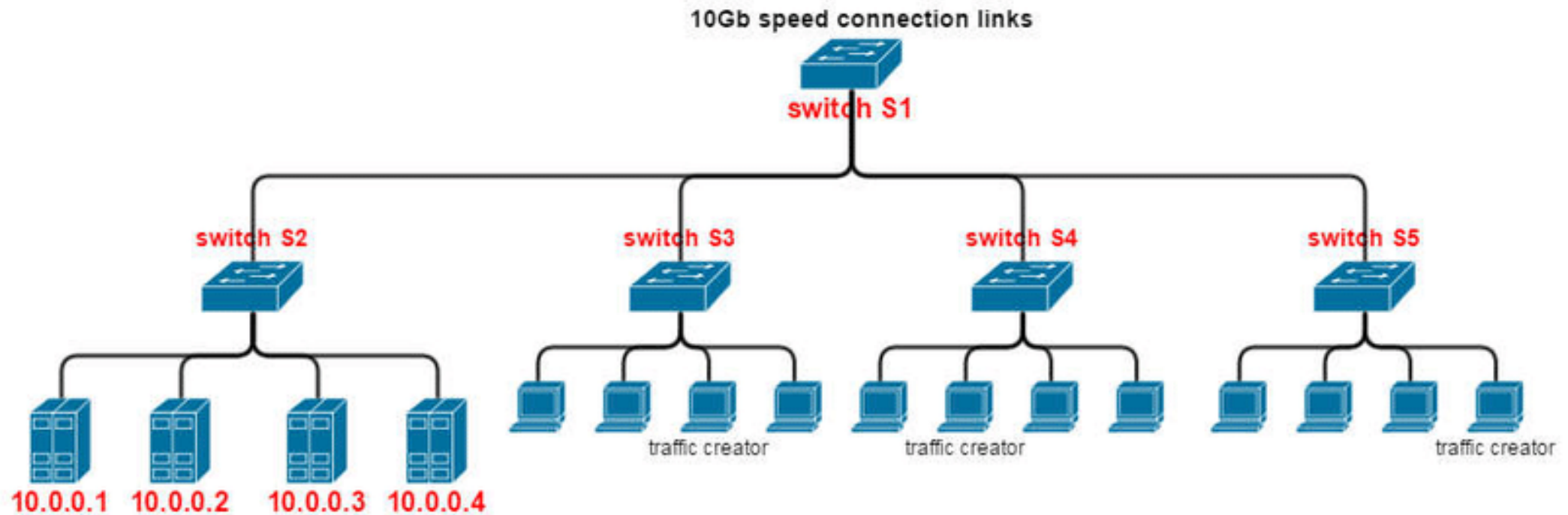
ÁRVORE

A topologia em árvore é caracterizada pela organização **hierárquica** dos dispositivos, onde um nó raiz se ramifica em nós secundários, formando uma estrutura em camadas para a rede.



ÁRVORE

Exemplo Físico: Hierarquia ou subdivisão de setores em uma rede corporativa.



Métricas

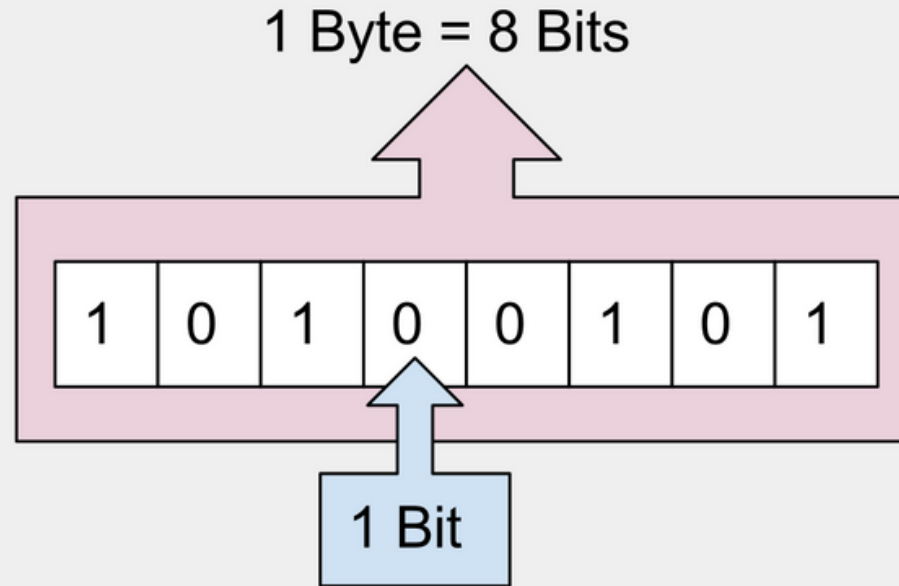
O que é um bit?

O **bit** é a menor unidade de informação que pode ser armazenada ou transmitida.

- Um bit pode assumir somente 2 valores:
- 0 ou 1, corte ou passagem de energia.

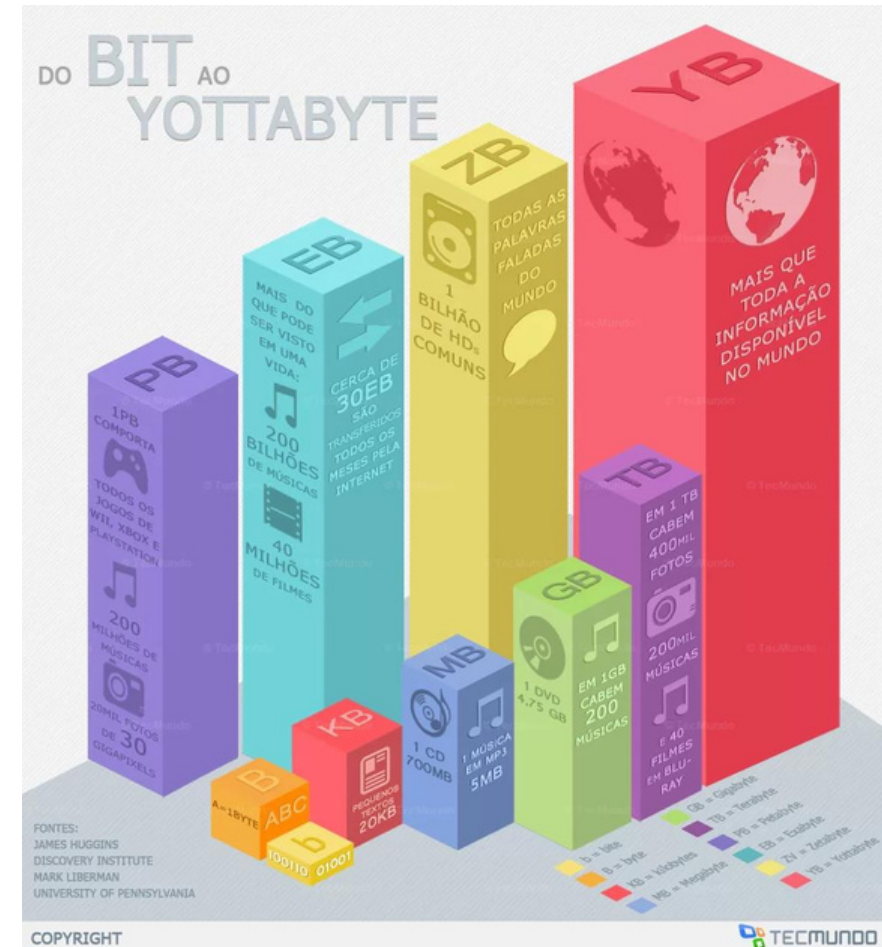
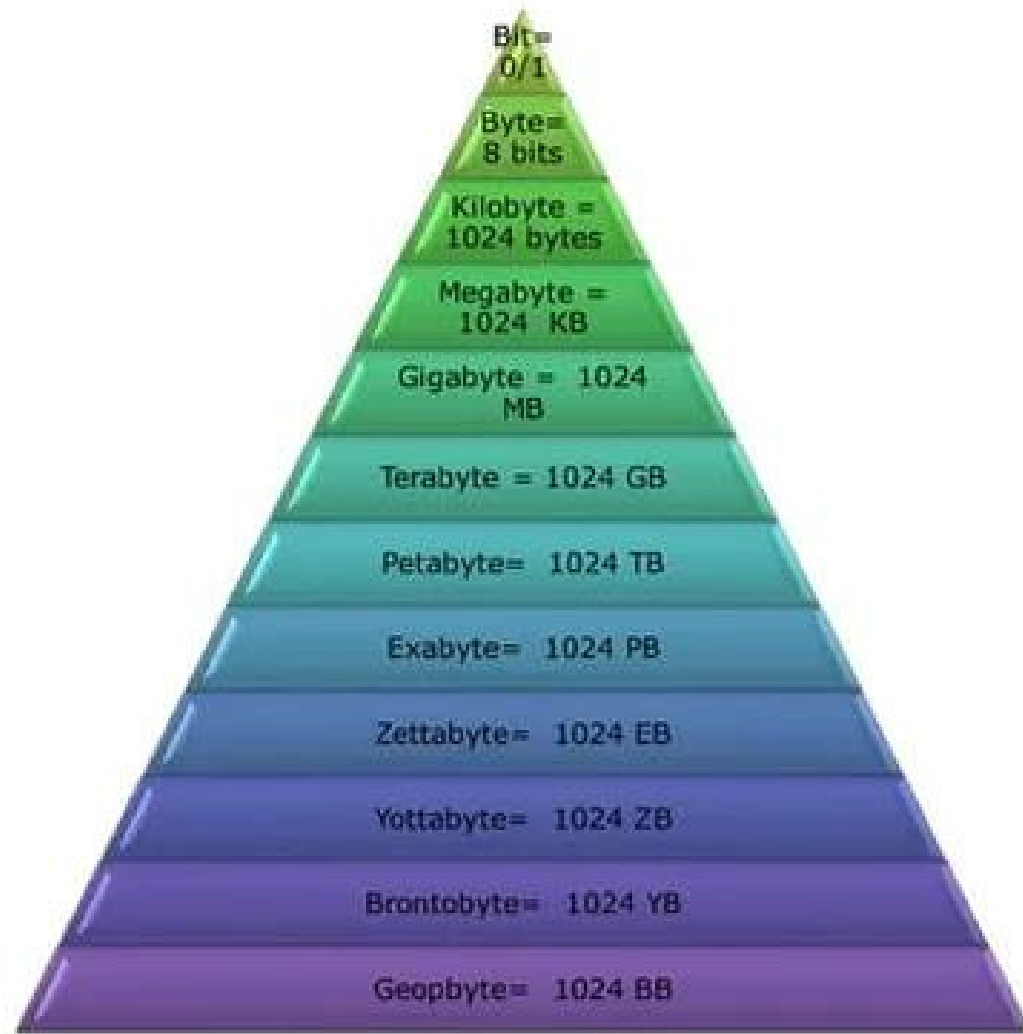
1= VERDADEIRO 0=FALSO

Unidade de Medida



1 byte	= 8 bits
1 kilobyte	= 1024 bytes
1 megabyte	= 1024 kilobyte
1 gigabyte	= 1024 megabyte
1 terabyte	= 1024 gigabyte

Unidade de Medida

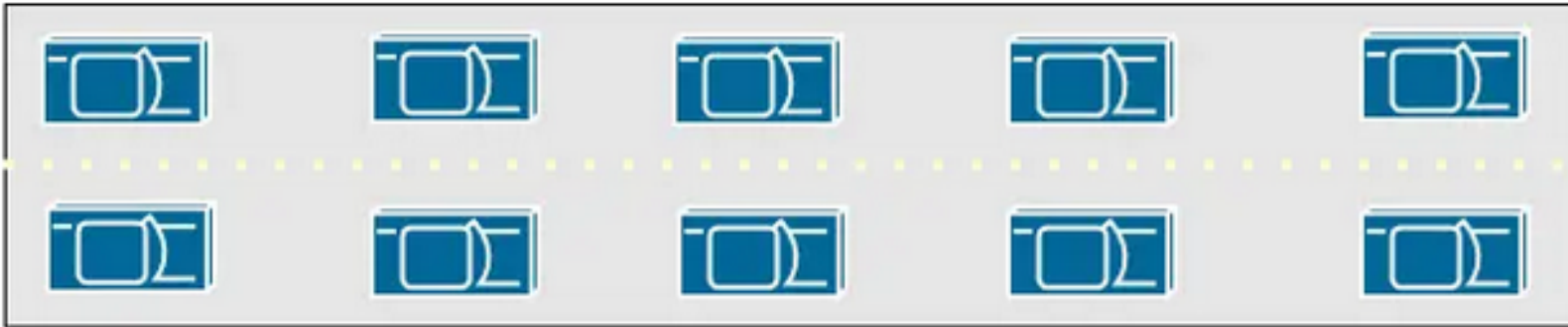


Unidade de Medida

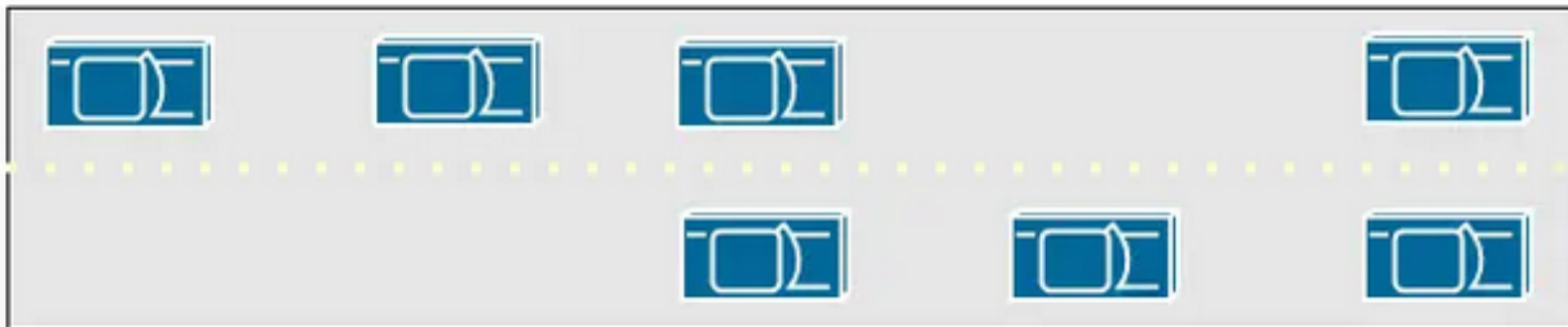
Múltiplos do byte					
Prefixo binário (IEC)			Prefixo do SI		
Nome	Símbolo	Múltiplo	Nome	Símbolo	Múltiplo
byte	B	2^0	byte	B	10^0
kibibyte	KiB	2^{10}	Kilobyte	kB	10^3
mebibyte	MiB	2^{20}	megabyte	MB	10^6
gibibyte	GiB	2^{30}	gigabyte	GB	10^9
tebibyte	TiB	2^{40}	terabyte	TB	10^{12}
pebibyte	PiB	2^{50}	petabyte	PB	10^{15}
exbibyte	EiB	2^{60}	exabyte	EB	10^{18}
zebibyte	ZiB	2^{70}	zettabyte	ZB	10^{21}
yobibyte	YiB	2^{80}	yottabyte	YB	10^{24}
Unidade de Medida utilizada pelo BFW 3.x					

Vazão de um enlace (*Throughput*) e Largura de Banda (*Bandwidth*)

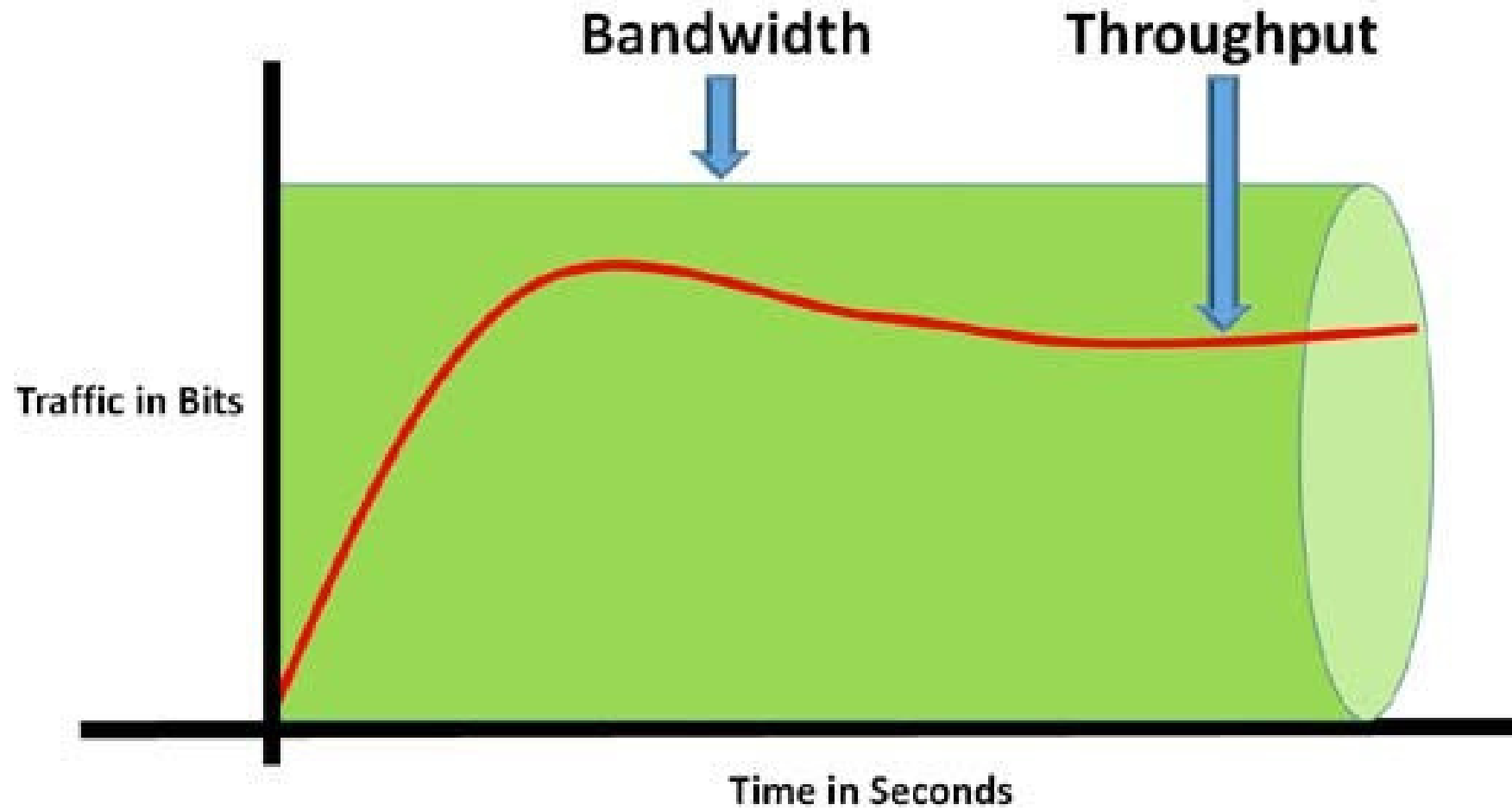
Bandwidth = 10 Cars per second



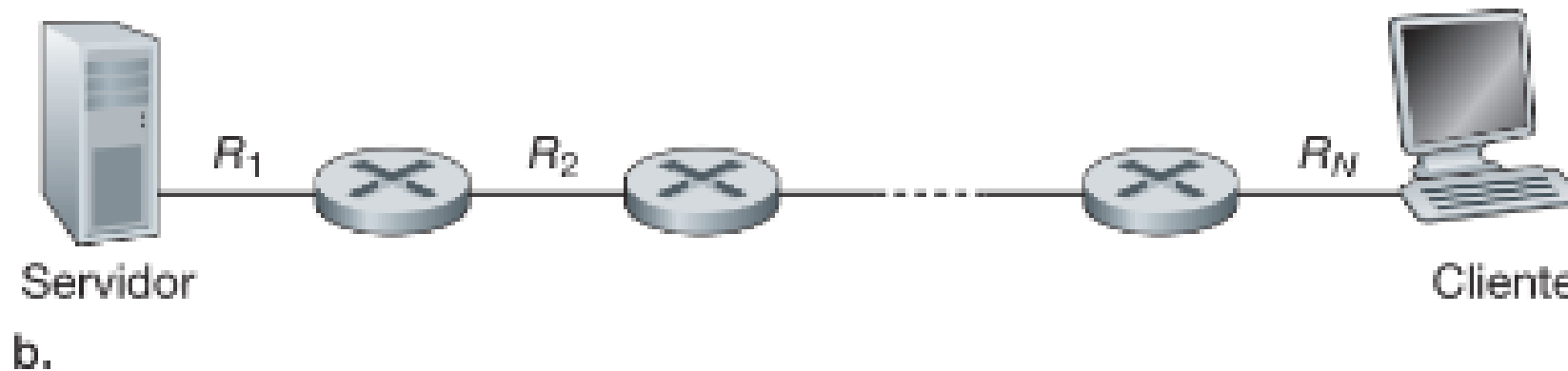
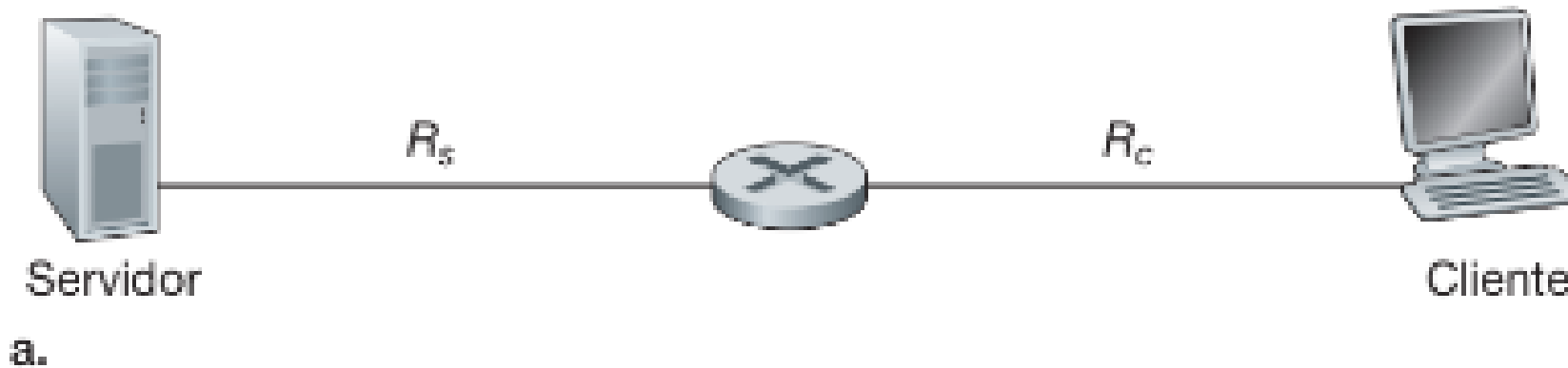
Throughput = 7 Cars per second



Métricas

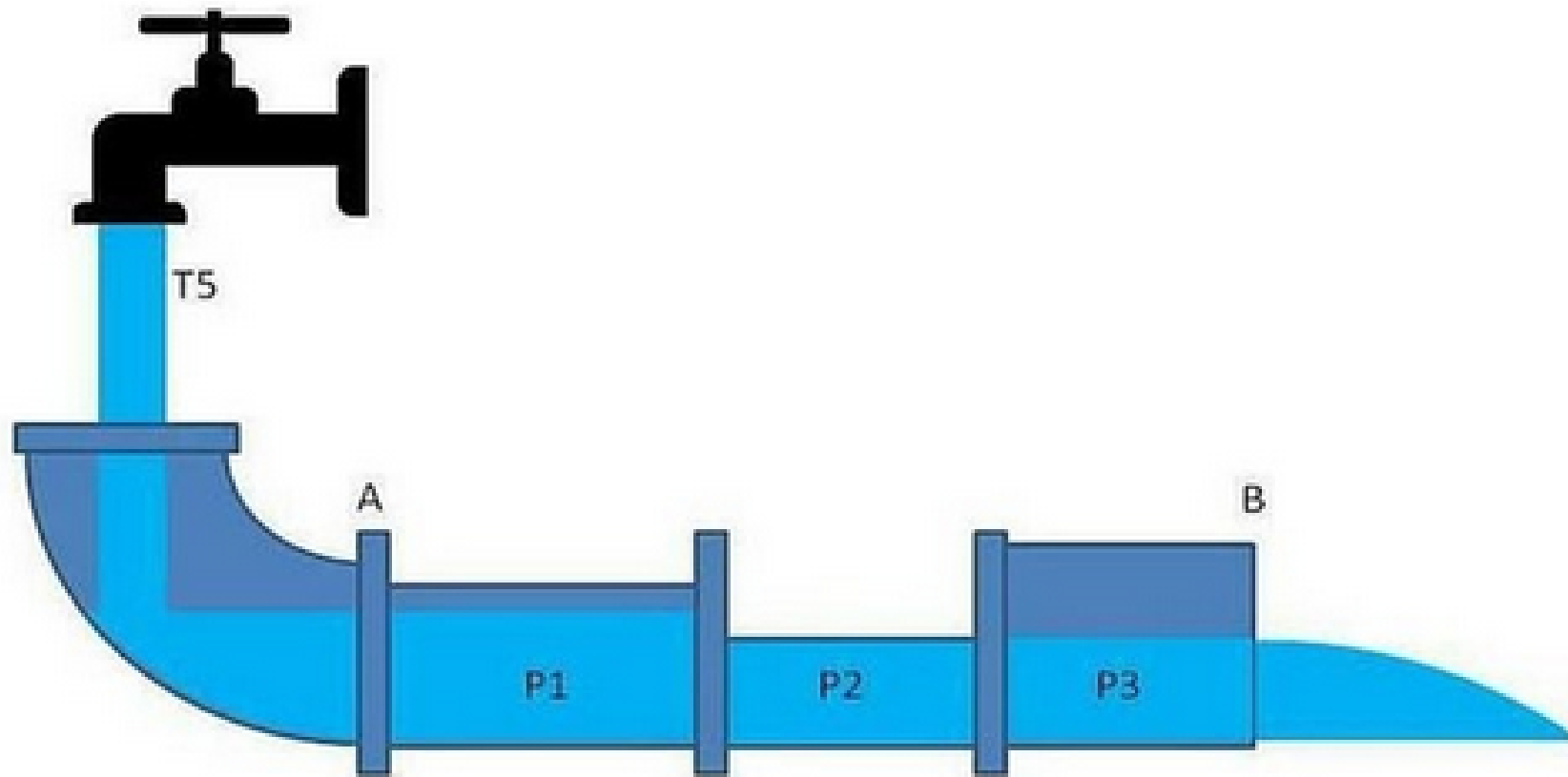


Vazão de um enlace

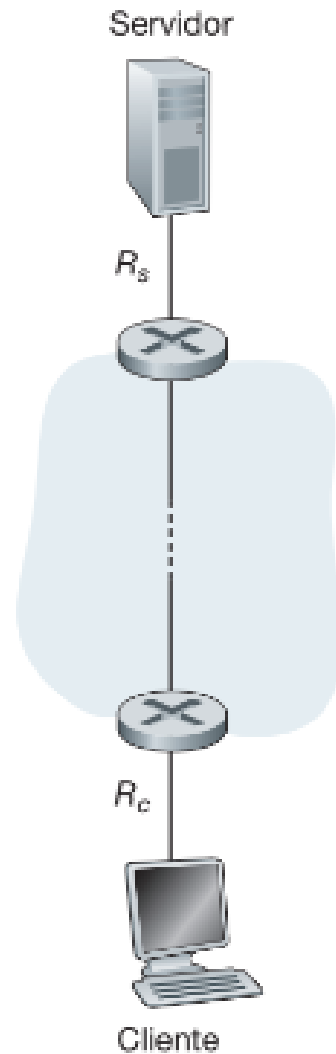


Medida em função da menor vazão fim-a-fim.

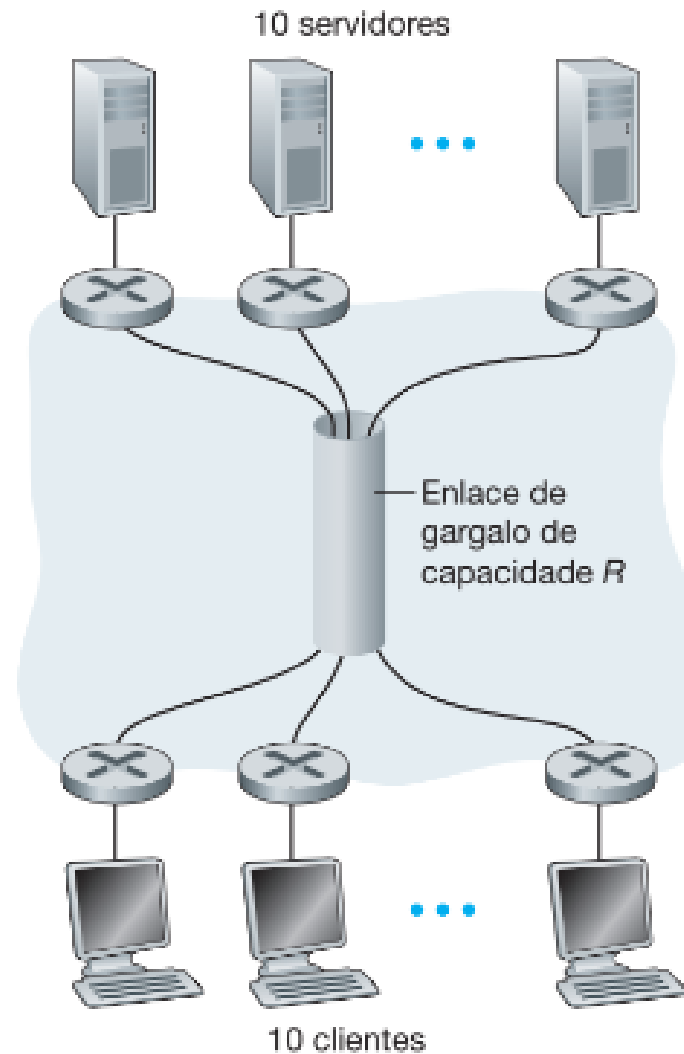
Vazão de um enlace



Vazão de um enlace

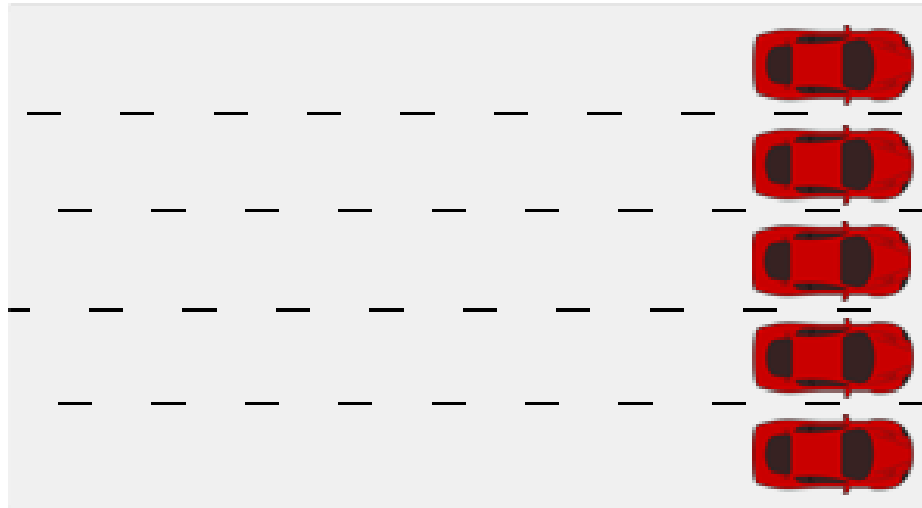


a.



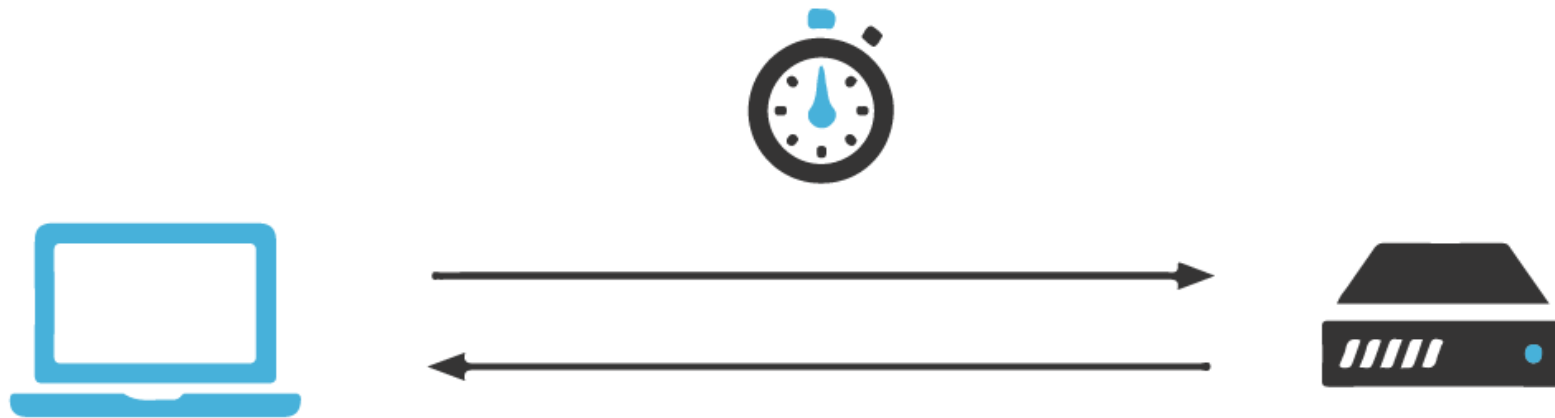
b.

Largura de Banda e Vazão

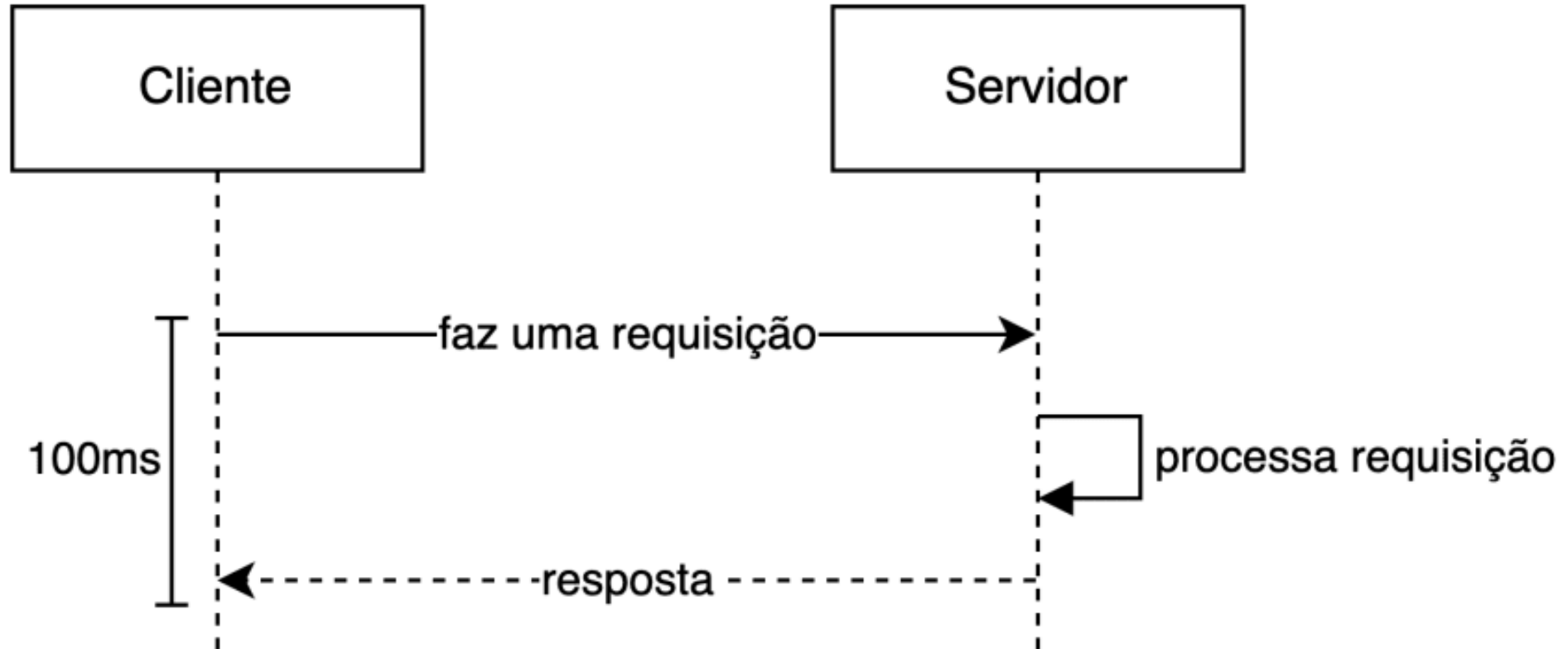


Latência (*delay*/atraso)

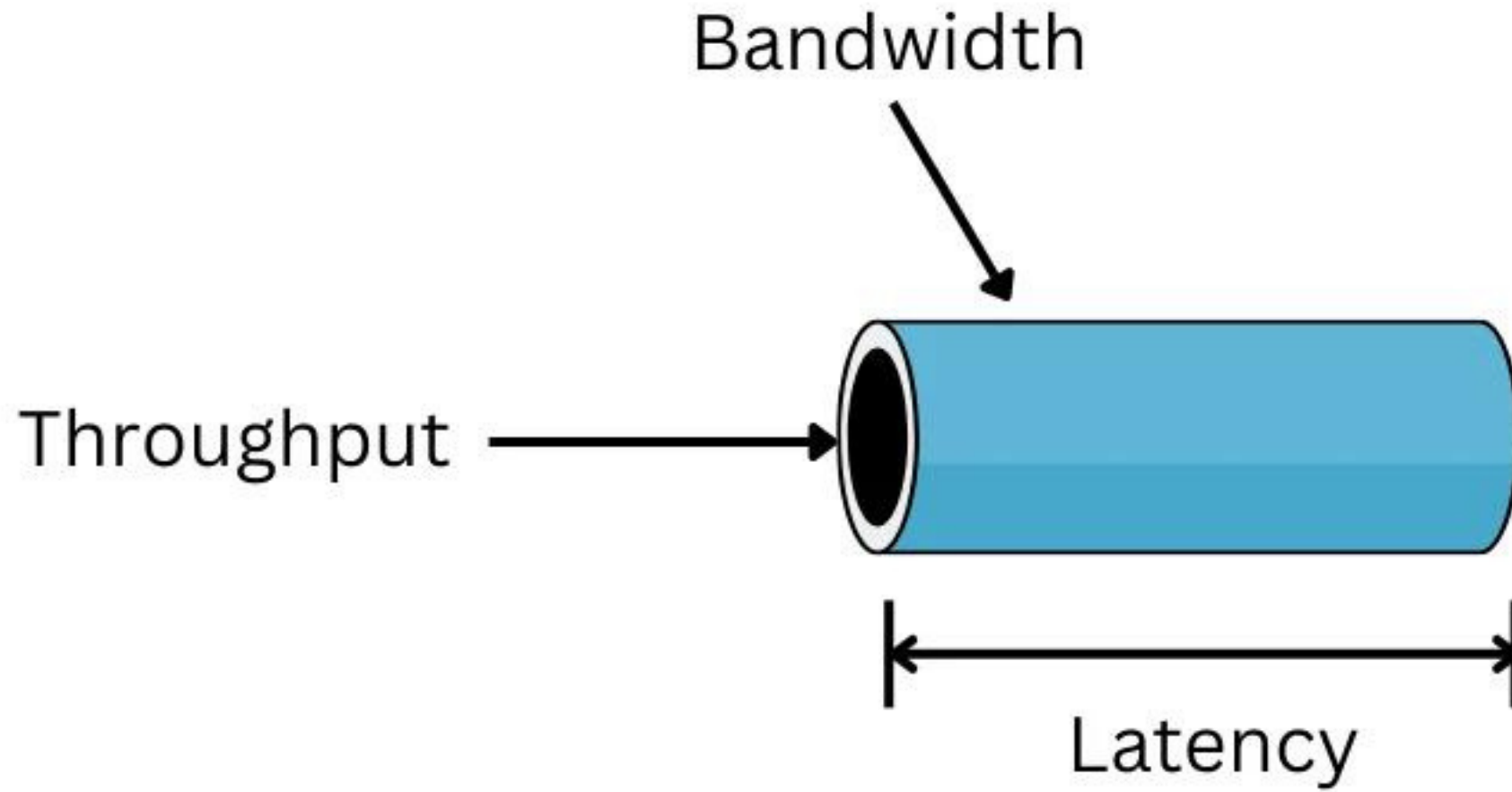
Em redes, a latência é o tempo entre a saída de um pacote de dados da sua máquina e o início da resposta no servidor de destino.



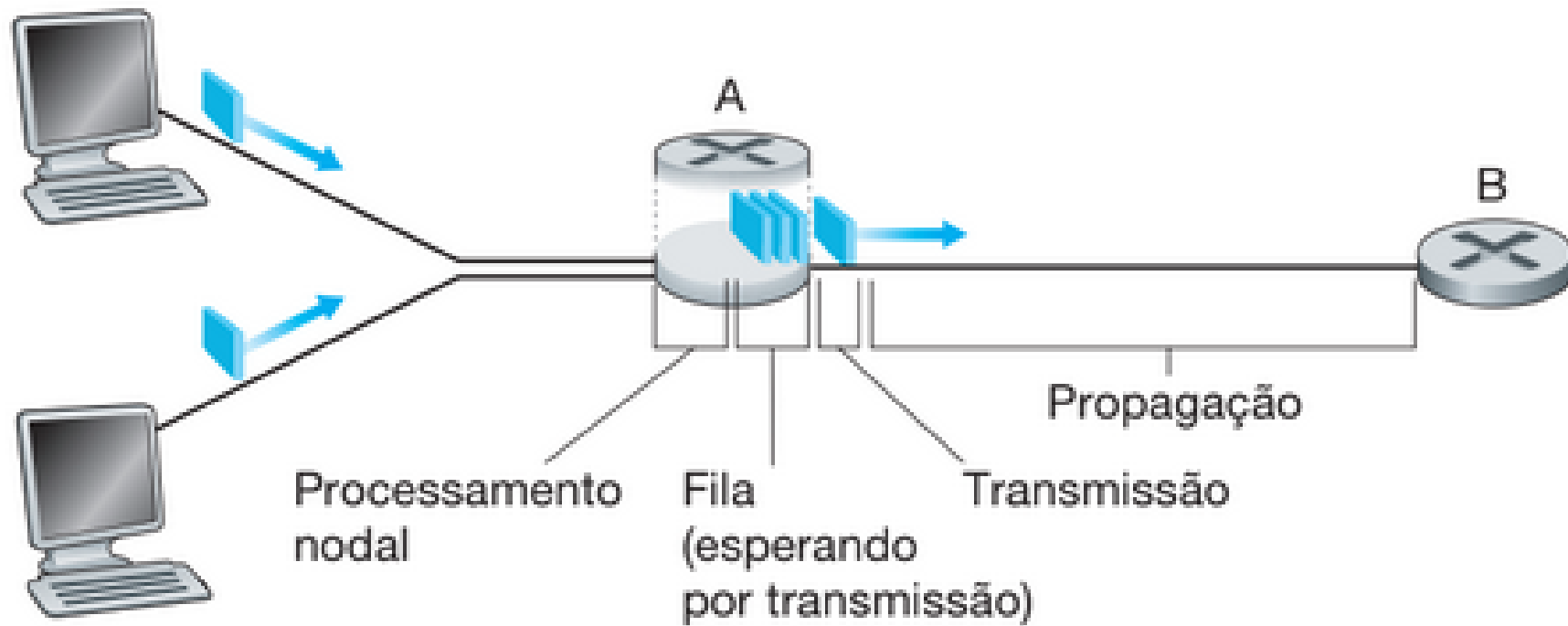
Latência



Métricas



Tipos de Atraso



Atraso de processamento

- Verificação de bits
- Atraso de microsegundos em roteadores de maior velocidade

Atraso de fila

- Tempo de **espera** para transmissão de um pacote.
- Quantidade de pacotes.

Atraso de transmissão

É o tempo para **transmitir** todos os **bits** do pacote para o **enlace**.

Considere um pacote de tamanho L bits

Velocidade de transmissão entre dois roteadores R bits

$R = 1\text{Mbits/s}$

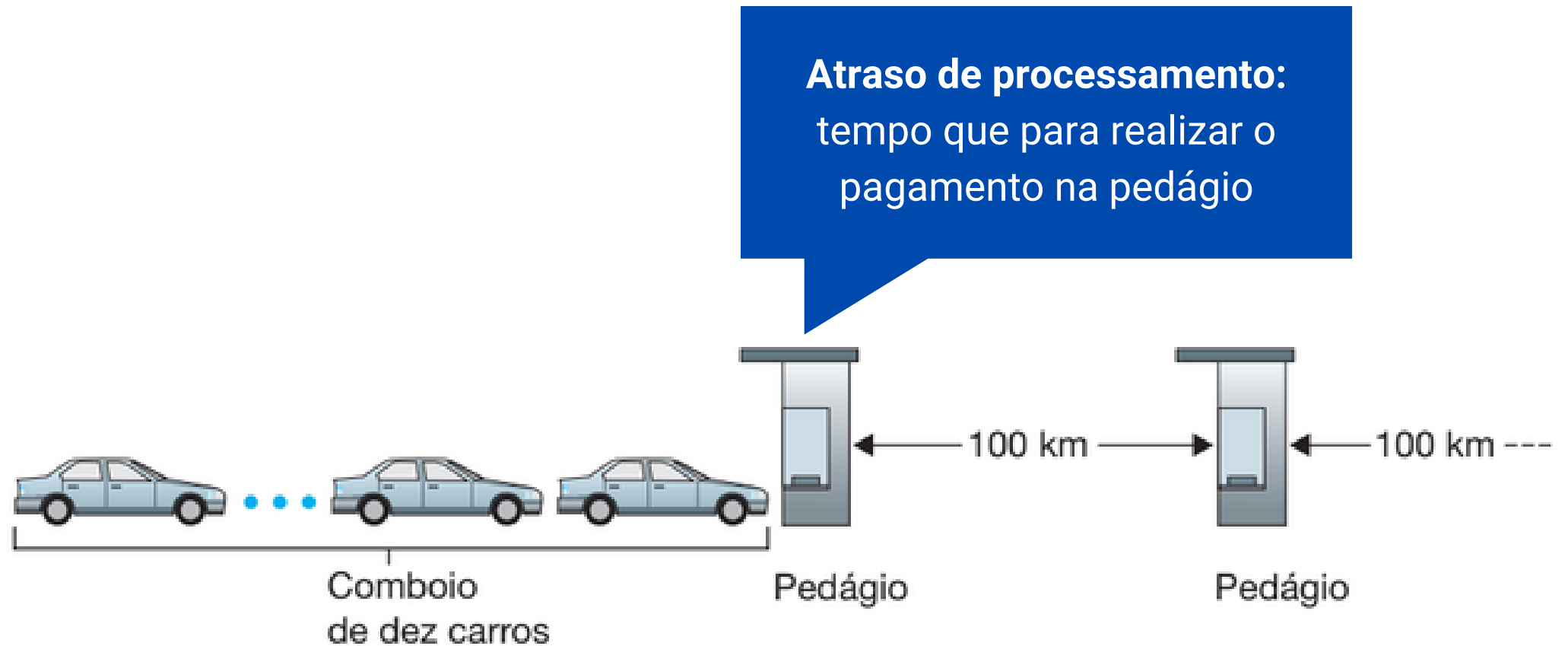
$L = 12\text{kbits}$

Atraso de transmissão = L/R

Atraso de propagação

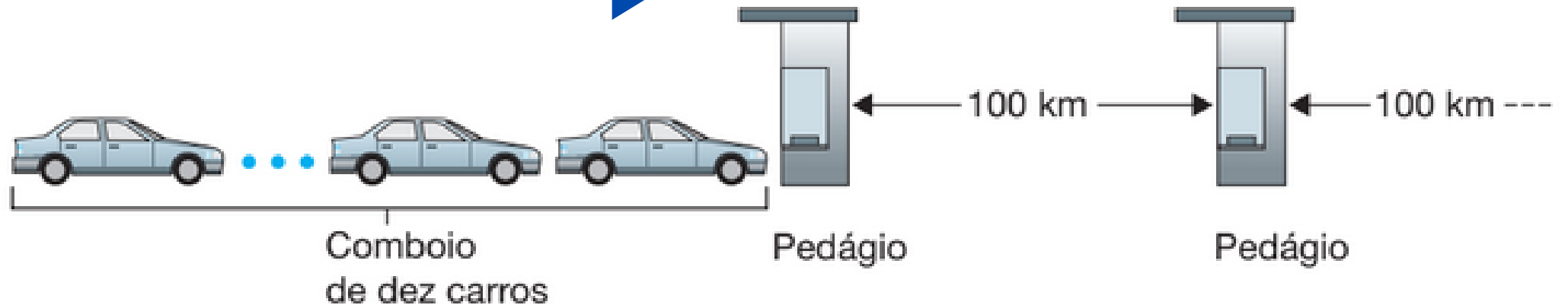
- Tempo de propagação de um bit entre roteadores.
- A distância entre dois roteadores dividido pela velocidade do meio físico.
- A velocidade normalmente é a velocidade da luz.

Analogia do Comboio



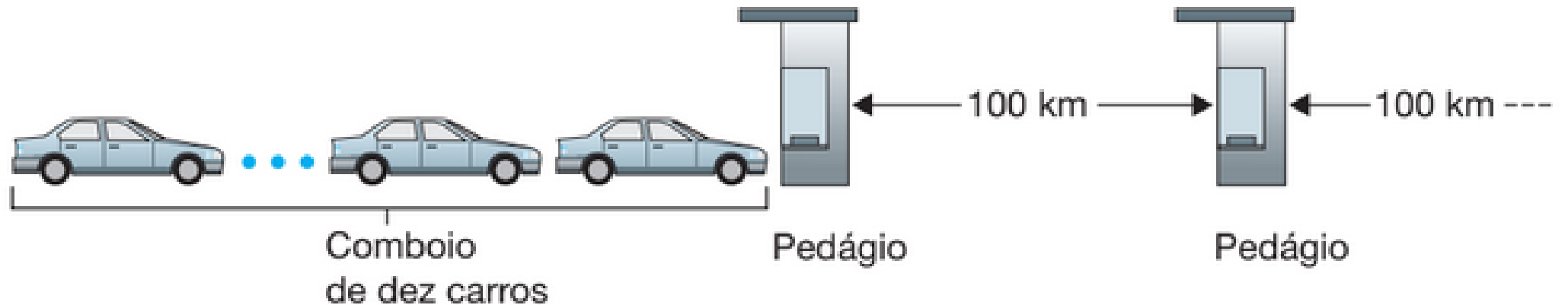
Analogia do Comboio

Atraso de transmissão: vários carros chegam ao mesmo tempo, mas o pedágio tem capacidade para atender apenas um carro por vez.



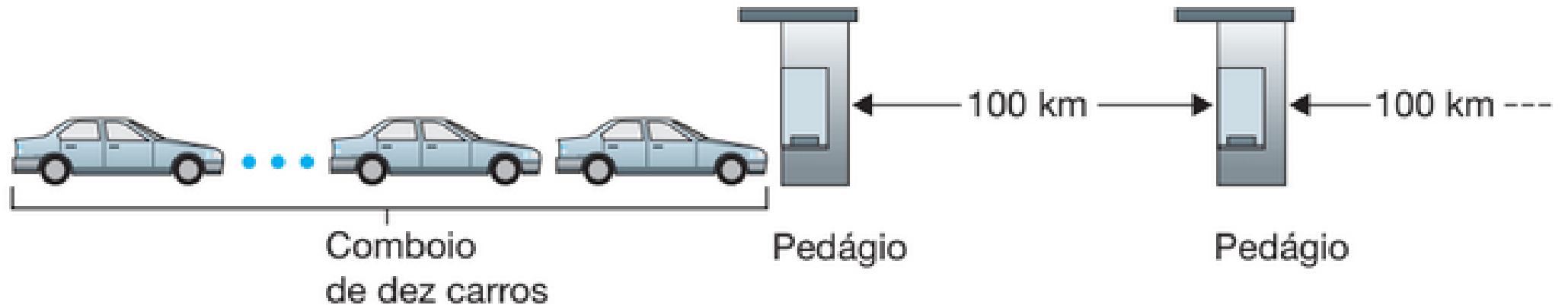
Analogia do Comboio

Atraso de fila: tempo que um carro espera para ser atendido no pedágio.



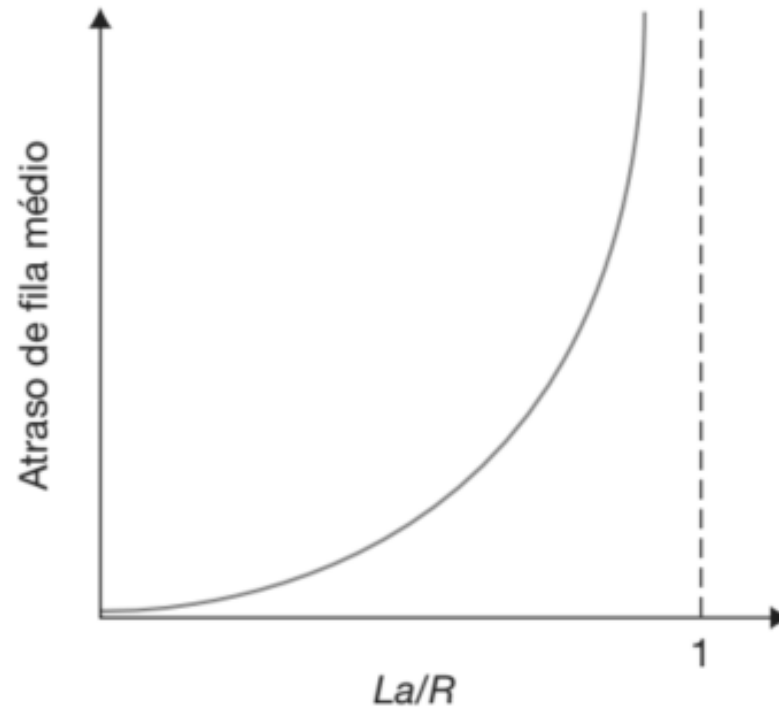
Analogia do Comboio

Atraso de propagação: tempo que um carro leva para percorrer a distância entre dois pedágios.

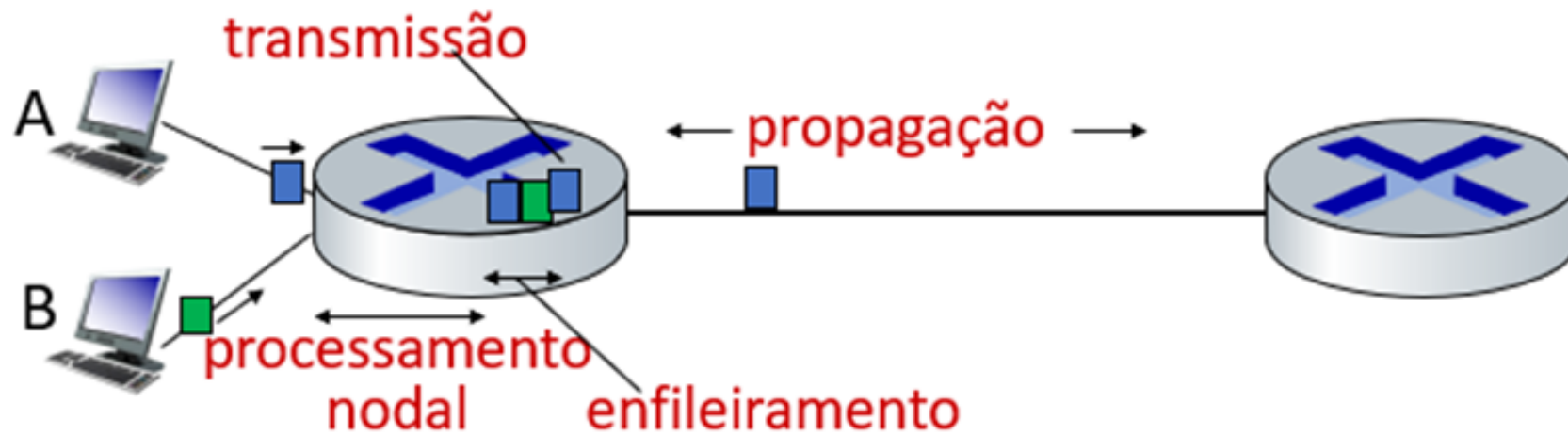


Atraso de fila e transmissão

Se a taxa de chegada excede a capacidade de transmissão, o tempo na fila tende a infinito!

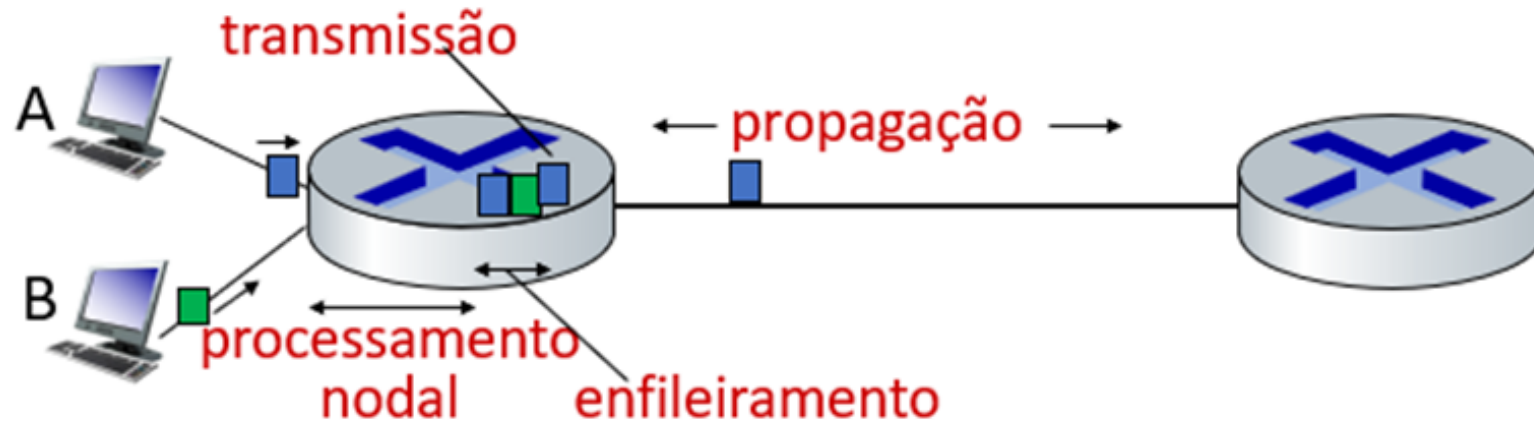


Atraso nodal



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

Atraso fim a fim



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

$$d_{\text{fim a fim}} = N (d_{\text{proc}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}})$$

Atraso Fim a Fim

- Quando há múltiplos roteadores no caminho.
 - **Soma**-se todos os atrasos de todos os roteadores.
- Perda de pacotes.
 - O roteador pode **descartar** pacotes.
 - Os pacotes são **retransmitidos**.

Padrões e Organizações

Padronização e organizações



I E T F[®]



Padronização e organizações

- Internet Society (ISOC)
- Promove o desenvolvimento da internet, tecnologias e padrões abertos
- IAB (Internet Architecture Board)
- Gerenciamento e desenvolvimento dos padrões, manutenção das Request for Comments (RFCs)
- IETF (Internet Engineering Task Force)
- Desenvolve, atualiza e mantém tecnologias da Internet e TCP/IP
- IRTF (Internet Research Task Force)
- Realiza pesquisa de longo prazo relacionadas à Internet e protocolos TCP/IP

Padronização e organizações

- IEEE 802 LAN Standards Committee
 - Define padrões para Ethernet e WiFi
- ITU (International Telecommunication Union)
- ISO (International Standards Organization)
- NIST (National Institute of Standards and Technology)
- IANA (Internet Assigned Numbers Authority)
 - Coordenação da atribuição dos parâmetros dos protocolos, gerenciamento de endereços e parâmetros de roteamento das áreas dos domínios de primeiro nível (Top-Level Domain).
 - Administração das responsabilidades associadas ao arquivo de zona raiz do DNS, aos domínios de primeiro nível genérico (gTLD) e de código de país (ccTLD)
 - Atribuição dos sistemas de numeração dos protocolos



Padronização e organizações

- ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers):
 - Auxilia a coordenação das funções da IANA.
 - Define políticas para nomes e números.
- Public Technical Identifiers (PTI):
 - Realiza as funções da IANA sob contratos com o ICANN.
 - Mantém o registro dos blocos de endereço IP e os números dos Autonomous System Numbers (ASNs) alocados aos Regional Internet Registries (RIRs).

Padronização e organizações

Registry

Refere-se ao registro oficial de nome de domínio ou ao operador de registro

Regional Internet Registry (RIR), Local Internet Registry (LIR), National Internet Registry (NIR)

- Operador de registro responsável pela alocação de recursos de uma determinada região
- Em cada região ISPs solicitam ao RIR/LIR/NIR alocação de blocos de endereços IP
- Atribuição de blocos de endereços IP é feita ao ISPs pelo RIR (ou NIR, ou LIR)
- ISPs atribuem aos usuários
- São cinco RIRs no mundo



Padronização e organizações no Brasil

Comitê Gestor da Internet no Brasil (cgi.br)

- Definição de diretrizes estratégicas relacionadas ao uso e desenvolvimento da Internet
- Definição de diretrizes para execução do registro de Nomes de Domínio, alocação de endereço IP e administração do domínio .br
- Pesquisa e recomendação de procedimentos para segurança
- Pesquisa e desenvolvimento visando qualidade técnica e inovação



Padronização e organizações no Brasil

nic.br

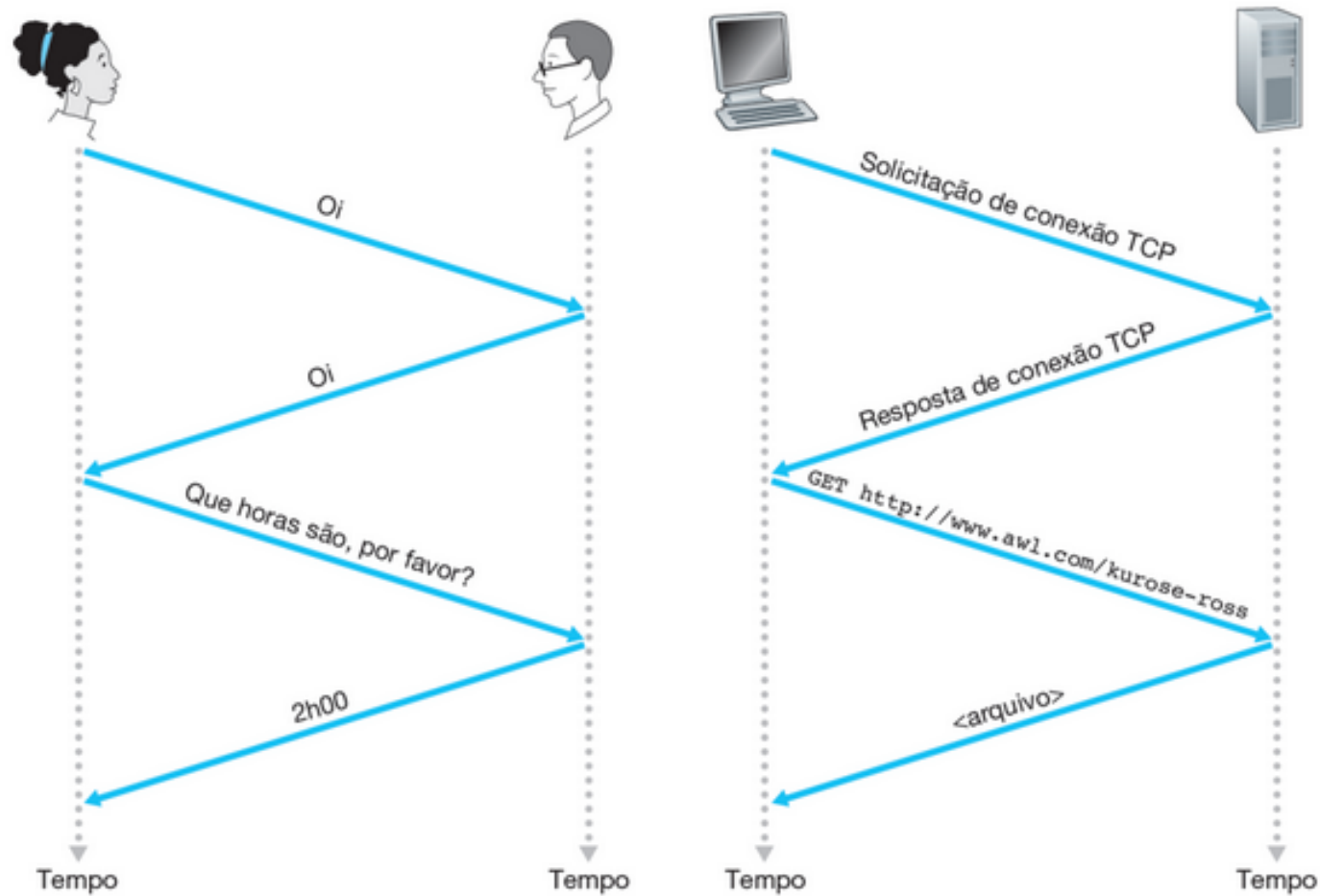
- Registro e manutenção dos nomes de domínios .br, distribuição de números de Sistema Autônomo (ASN) e endereços IPv4 e IPv6 no País (atividades do registro.br);
- Tratamento e resposta a incidentes de segurança (atividades do cert.br);
- Projetos que apoiem ou aperfeiçoem infraestrutura de redes, como interconexão direta entre redes (IX.br) e a distribuição da Hora Legal brasileira (NTP.br) (atividades do ceptro.br);
- Pesquisa e recomendação procedimentos, normas e padrões técnicos e operacionais para segurança das redes e serviços de Internet;
- Suporte técnico e operacional ao RIR LACNIC



Protocolos

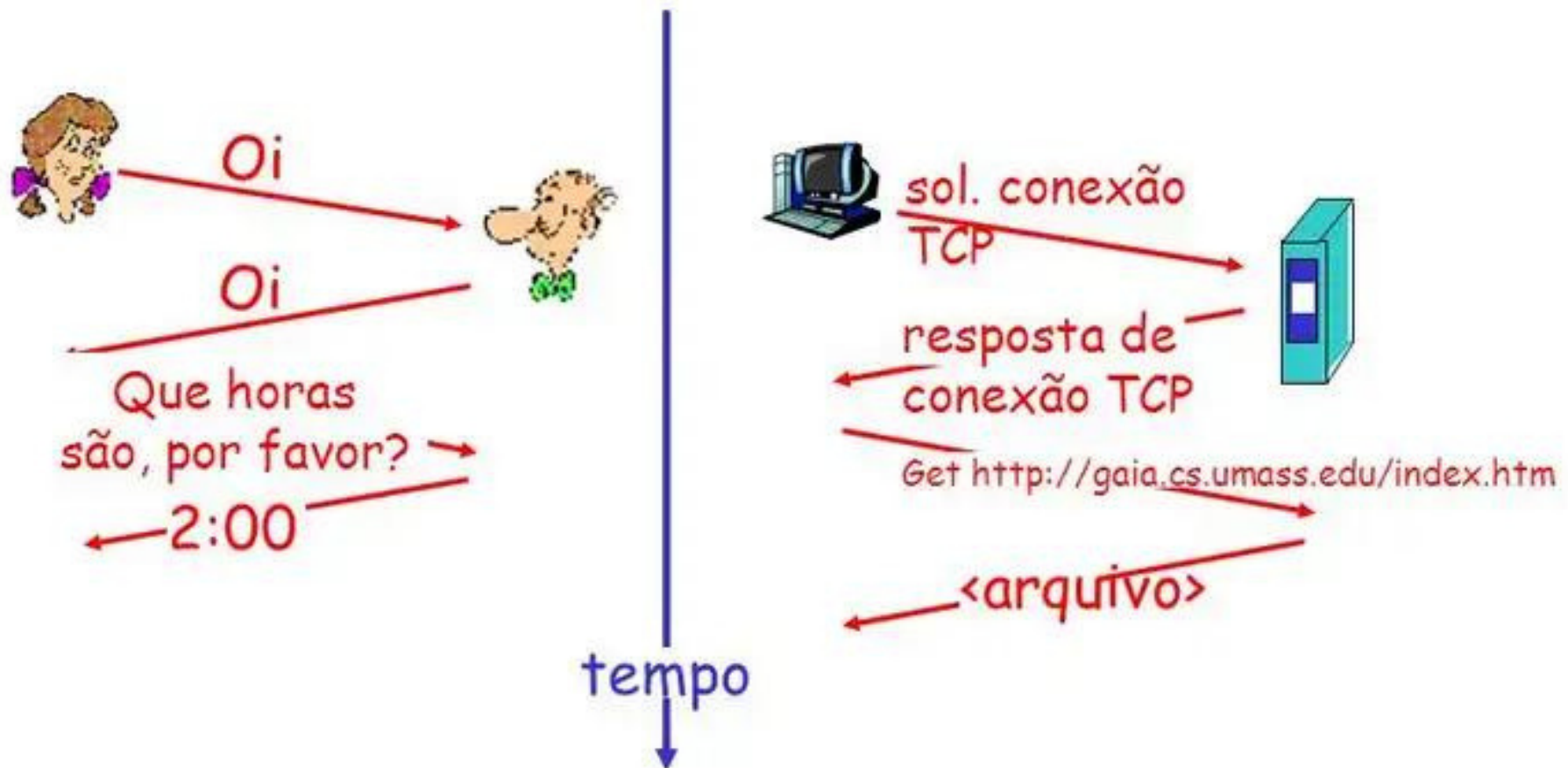
Protocolos

São regras que definem como dois sistemas finais devem se comunicar.

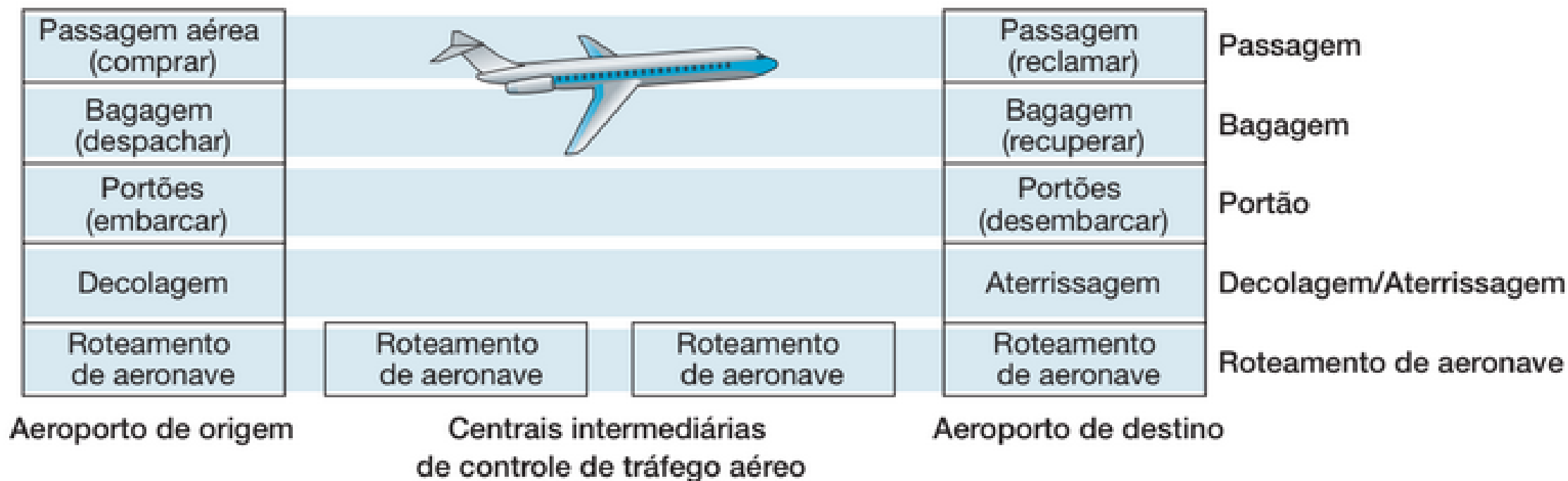


Protocolos

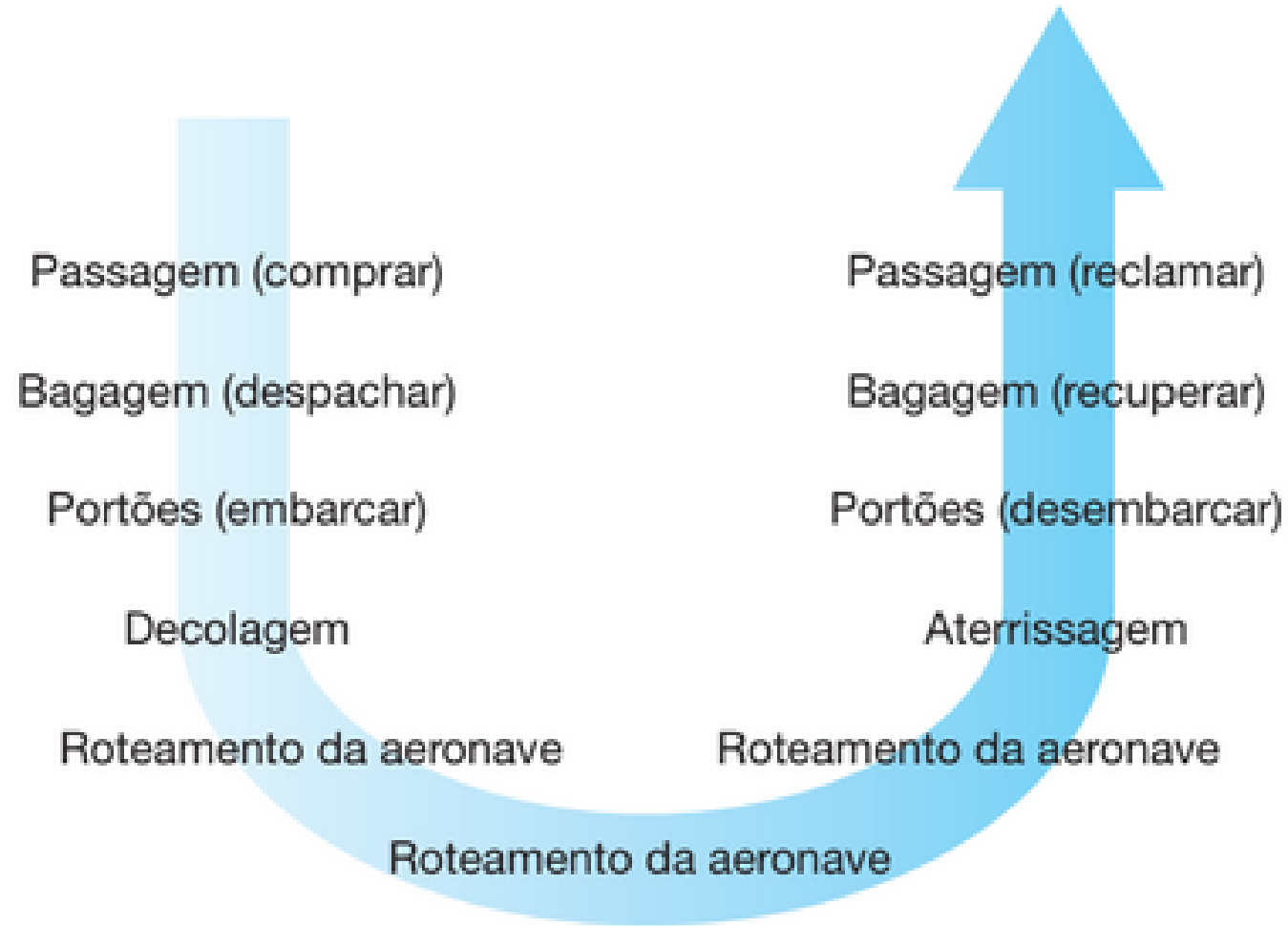
um protocolo humano e um protocolo de rede:



Arquitetura de Camadas



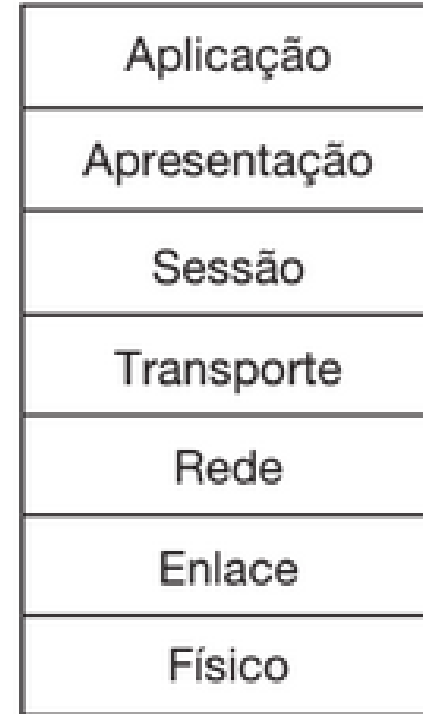
Arquitetura de Camadas



Arquitetura de Camadas

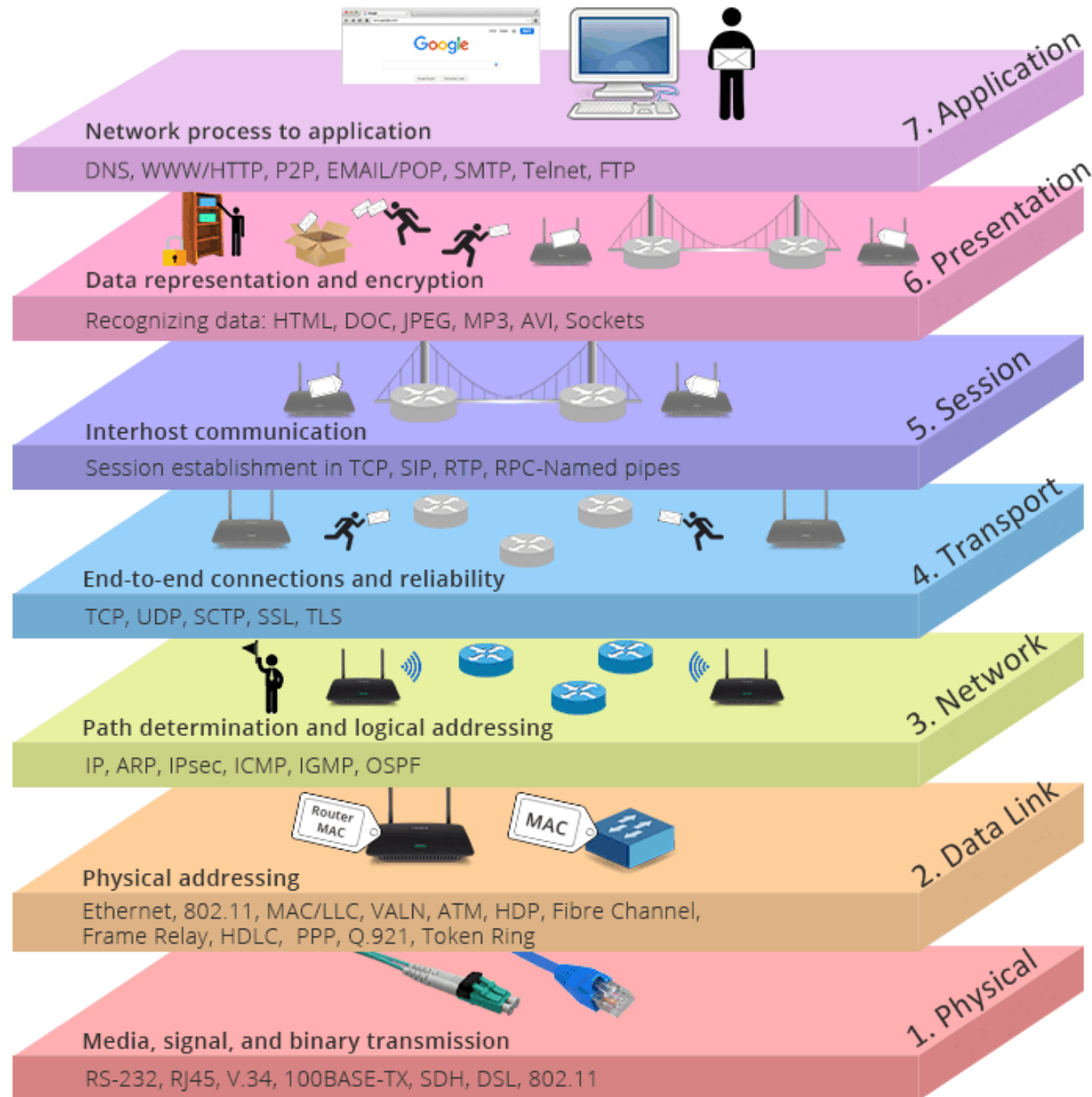


a. Pilha de protocolos da Internet de cinco camadas

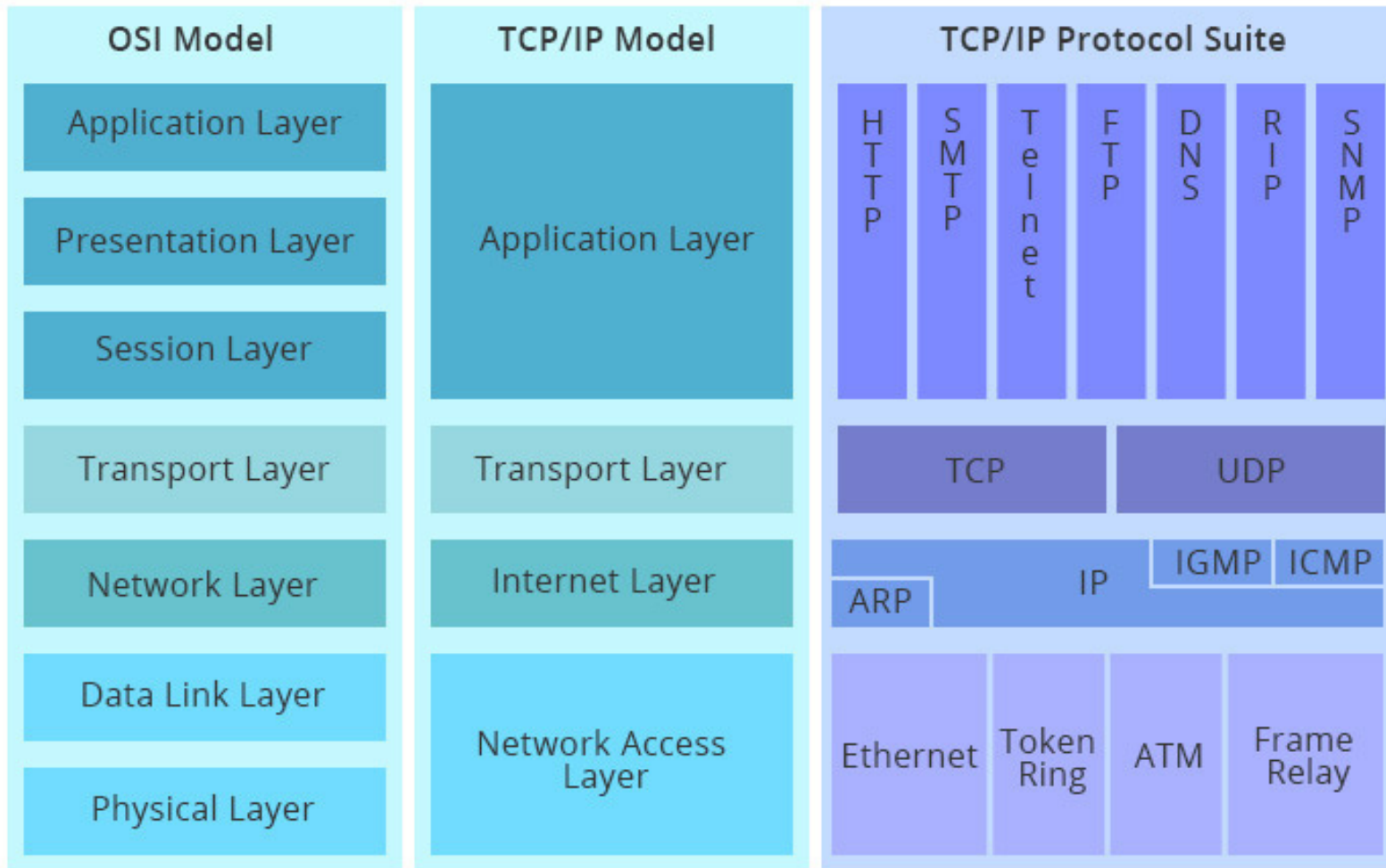


b. Modelo de referência ISO de sete camadas

Arquitetura de Camadas



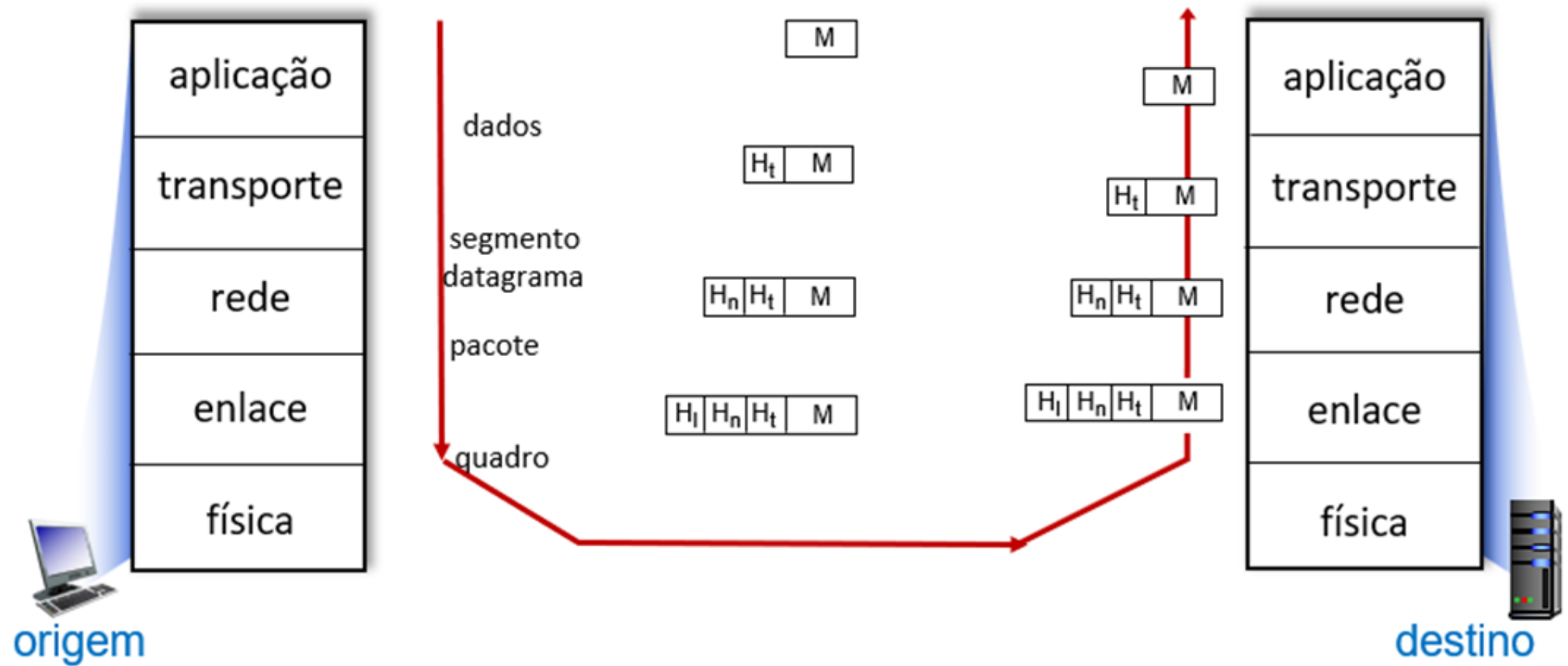
Arquitetura de Camadas



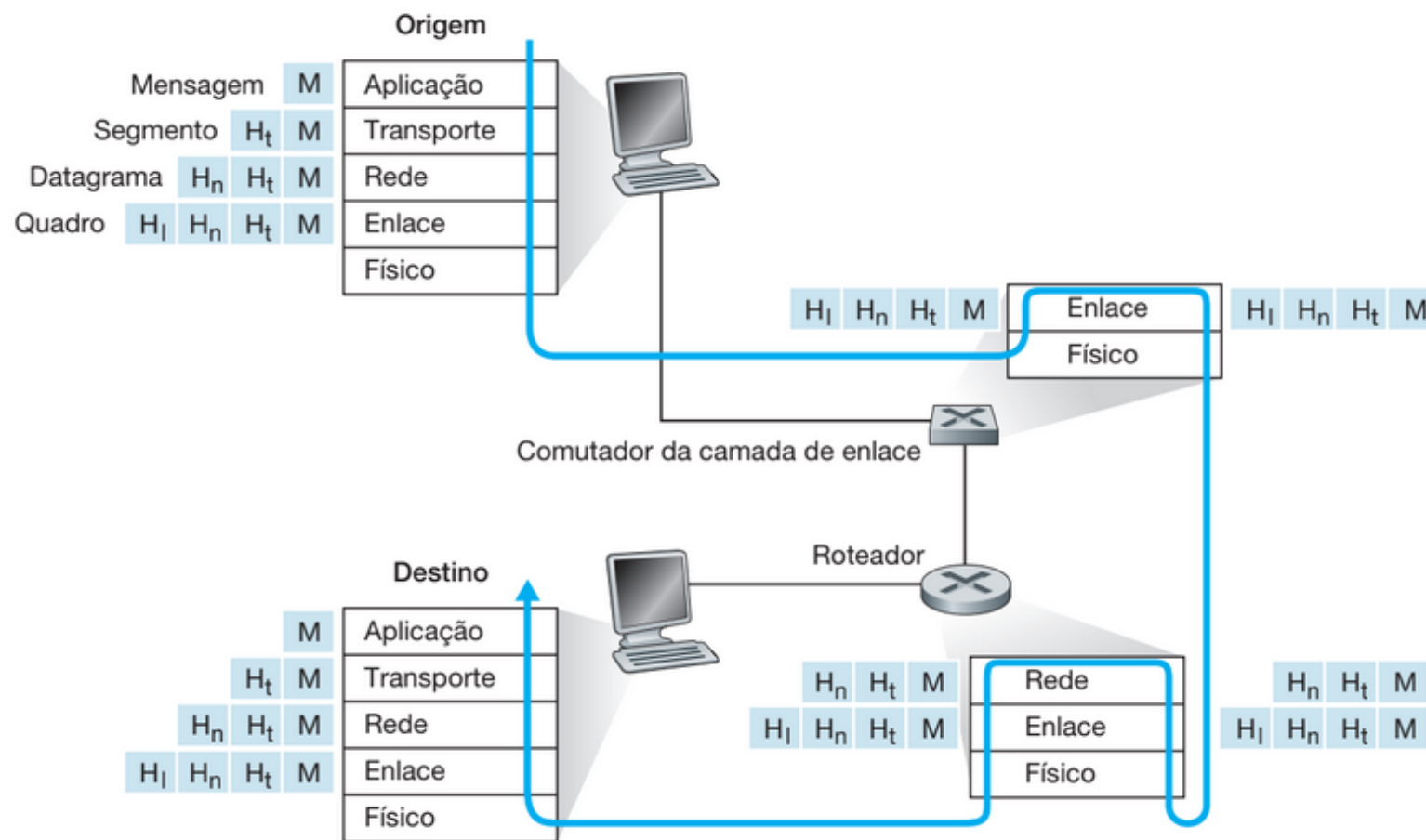
Arquitetura de Camadas

- Camada de Aplicação.
- Camada de Transporte.
- Camada de Rede.
- Camada de Enlace.
- Camada Física.

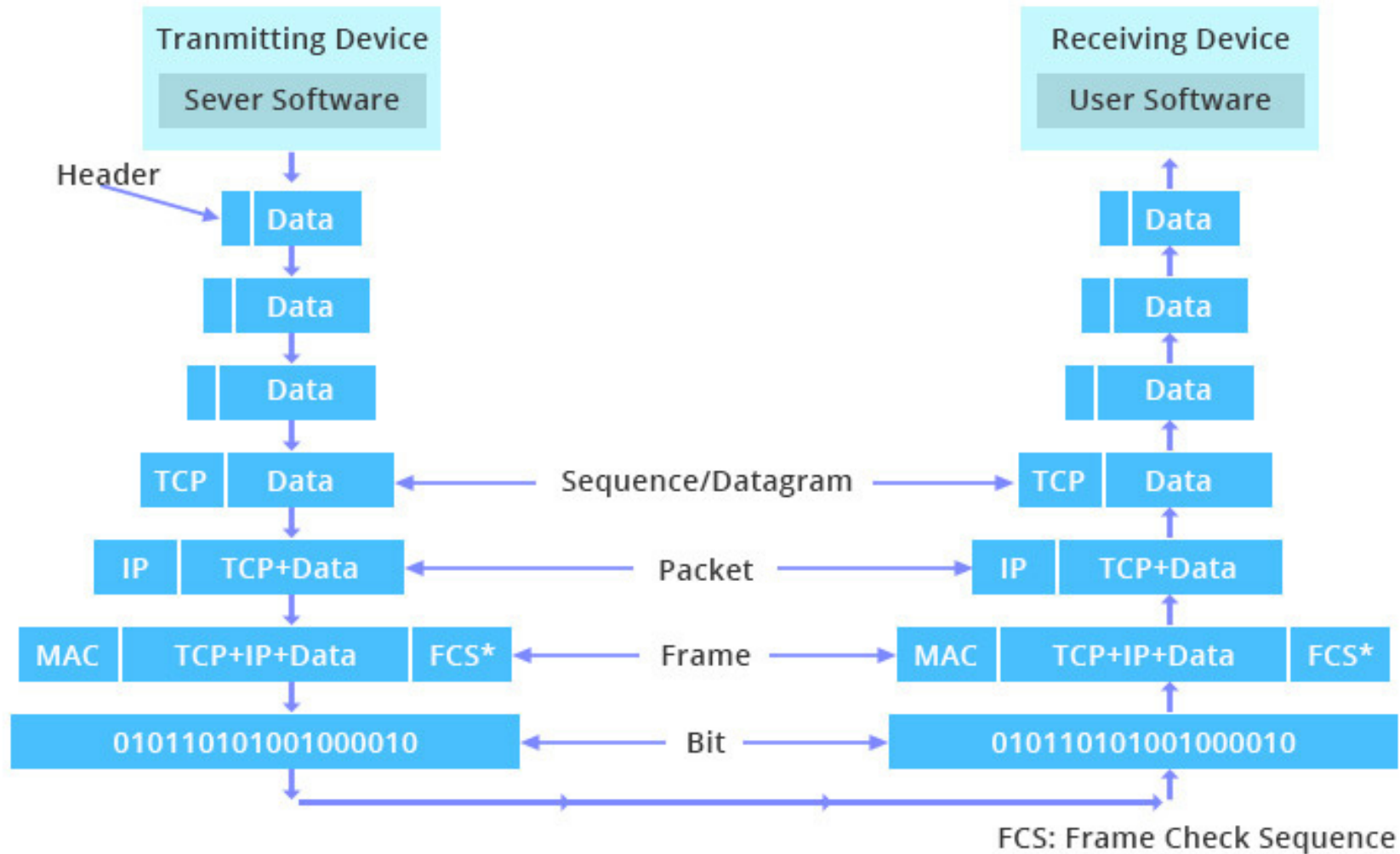
Arquitetura de Camadas TCP/IP



Arquitetura de Camadas



TCP/IP



TCP/IP

- Camada de Aplicação
 - Onde estão as aplicações trocam mensagens usando serviços da camada de transporte
 - HTTP, SMTP, FTP, DNS
- Camada de Transporte
 - Carrega mensagens da camada de aplicação trocadas entre lados cliente e servidor da app
 - Transfere segmentos ou datagramas entre processo de um host para outro
 - TCP, UDP

TCP/IP

- Camada de Rede
 - Faz roteamento pacotes da origem para destino
 - Protocolos de roteamento para escolher caminho e controle de fluxo de tráfego
 - IPv4, IPv6, ICMP, OSPF
- Camada de Enlace
 - Descreve como enlaces (linhas seriais, Ethernet) atendem necessidades da camada de rede
 - Conforme o protocolo da camada de enlace, a camada de rede receberá um serviço diferente
 - Transfere quadros
 - Ethernet, WiFi, PPP

Leitura Recomendada

Capítulo 1 do livro:
Redes de Computadores



Capítulo 1 do livro:
Redes de Computadores e a Internet



Referências

KUROSE, James F.; ROSS, Keith W. Redes de Computadores e a Internet. São Paulo: Person, v. 28, 2006.

(TANENBAUM, 2021) TANENBAUM, Andrew.; FEAMSTER, Nick; WETHERALL, David. Redes de Computadores. 6.ed. São Paulo: Pearson. Porto Alegre: Bookman, 2021. Tradução de Daniel Vieira.

(FOROUZAN, 2010) FOROUZAN, Behrouz A. Comunicação de dados e redes de computadores. 4.ed. Porto alegre: AMGH. Tradução de Ariovaldo Griesi. Revisão técnica de Jonas Santigado de Oliveira.

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais. História da Internet no Brasil. Disponível em: <https://homepages.dcc.ufmg.br/~mlbc/cursos/internet/historia/Brasil.html>. Acesso em: 27 ago. 2025.