

Redes de Computadores

Professor: Fábio Renato de Almeida

Bibliografia

Redes de computadores e a Internet

Uma abordagem top-down

Kurose / Ross

Pearson, 2013, 6^a ed.



Computer Networking

A Top-Down Approach

Estratégia de ensino...

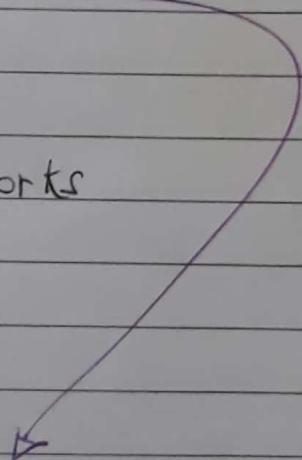
1º Panorama geral (Redes + Internet)

2º Aprofundamento sobre os tópicos partindo do nível mais alto até a camada mais baixa

Redes de Computadores

Tanenbaum / Wetherall ↗ Computer Networks

Pearson, 2011, 5^a ed.



Fundamentos, projeto,
organização e aspectos técnicos
de redes de computadores.

Trabalho

Capítulo 1 - Redes de computadores e a Internet

→ Ler e estudar 1 página /dia

→ Fazer anotações

- O que é importante (difícil de lembrar)

- Dúvidas

Após, e somente após, o estudo do capítulo...

→ Fazer exercícios de revisão RL-28

Prova

- 5 questões do Capítulo 1 (RL-28)
- 5 questões das aulas

Auxílio: Fdha individual de consulta (anotações)

Manuscrito



Fdha do caderno frente e verso

Atenção: Proibido Xerox

Terminologia e conceitos fundamentais

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

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

Comutador - Dispositivo que encaminha pacotes de dados de um enlace de comunicação a outro. Ex.: Roteador, Switch.

Modem - Transforma dados digitais em sinal analógico para transmissão pela linha telefônica e converte novamente em dados digitais do outro lado.

Estação base (Access Point) / Roteador sem fio - Comuta dados entre a Internet e a rede WiFi.

Nó da rede - Qualquer dispositivo conectado à rede.

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

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

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.
Ex: Net, Telefônica, etc.

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

~~tecnologias~~
ISPs e ~~rotas~~ de acesso à Internet...

- Modem dedicado : Linha ^{telefônica} ocupada
- DSL (Digital Subscriber Line) : Utiliza a infraestrutura de telefonia local ; Compartilhamento de dador 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

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

Rede de redes → internets.

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

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

"Analogia" ↳ A Internet não é o Browser
Sistema Postal"

Infraestrutura de rede que possibilita a comunicação entre aplicações globalmente distribuídas.

A Internet é uma rede de redes.

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.

A Internet é apenas uma de muitas internets existentes.

Comutação de circuitos

Em uma rede comutada por circuitos, os recursos necessários ao longo de um caminho são reservados. Ex.: Redes de telefonia tradicionais → Um circuito (conexão física) é estabelecido da origem até o destino.

Desvantagem: Circuitos dedicados ficam ociosos em períodos de inatividade.

Vantagem: Taxa de tráfego de dados garantida

Comutação de pacotes

Não há reserva ou pré-alocação de recursos.

Desvantagem: Imprevisibilidade no transporte de dados

Vantagem: Melhor aproveitamento dos recursos

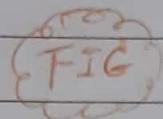
A Internet é uma rede de comutação de pacotes.

Redes de comutação de pacotes são similares ao sistema de transporte rodoviário. Vamos comparar!!!

Por que não há garantia de qualidade na Internet?

Res

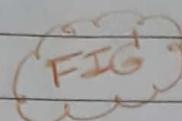
Store-and-Forward → Recebe o pacote inteiro antes de encaminhá-lo ao enlace de saída
"Utilizado na maioria dos comutadores"



S T Q Q S S D

Ex.: Taxa de download/upload
atualmente...

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



Atrasos

↳ Volume de dados em um determinado tempo.

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

Fila - Tempo que o pacote aguarda na fila para ser transmitido. Pode haver perda se a rede estiver muito congestionada.

Transmissão - Tempo necessário para "empurrar" os bits pelo enlace de saída. $\rightarrow d_{trans} = \frac{\text{tamanho do pacote (bits)}}{\text{taxa de transmissão (bits/s)}}$

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 $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

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

Applets → Atraso de transmissão x Atraso de propagação
↳ Enfileiramento e perda de pacotes

BETTER \rightarrow Cálculo ERRADO

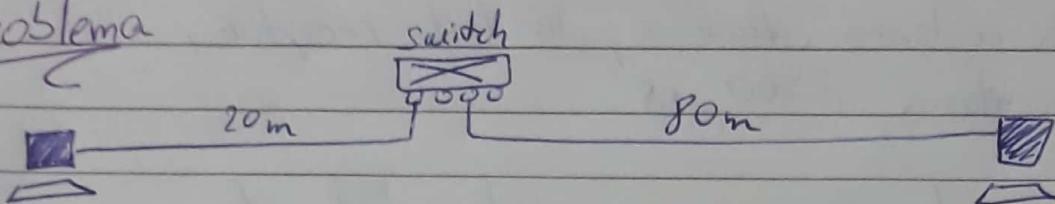
~~Simplificadamente~~

$$d_{host-a-host} = \text{nº enlaces} \cdot (d_{proc} + d_{fila} + d_{trans} + d_{prop})$$

o (zero) g de rede
não congestionada

① → www.ccs-labs.org/teaching/rn/animations/propagation

"Transmission vs Propagation Delay Animation"

Problema

09:10:15.187722401

nanosegundo

Que horas são?

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:

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

$$d_{trans} = \frac{\text{tamanho pacote (bit)}}{\text{tx. transmissão (bit/s)}} = \frac{100 \cdot 8}{100.000.000} = 0,000008\text{s} = 0,008\text{ms}$$

$$d_{prop} = \frac{\text{distância enlace (m)}}{\text{vel. prop. sinal (m/s)}} = \frac{20+80}{2 \cdot 10^8} = 0,0000005\text{s} = 0,0005\text{ms}$$

$$d_{total} = d_{trans} + d_{prop} = 0,008\text{ms} + 0,0005\text{ms} = 0,0085\text{ms} =$$

$$= 8,5\text{μs} = 8500\text{ns}$$

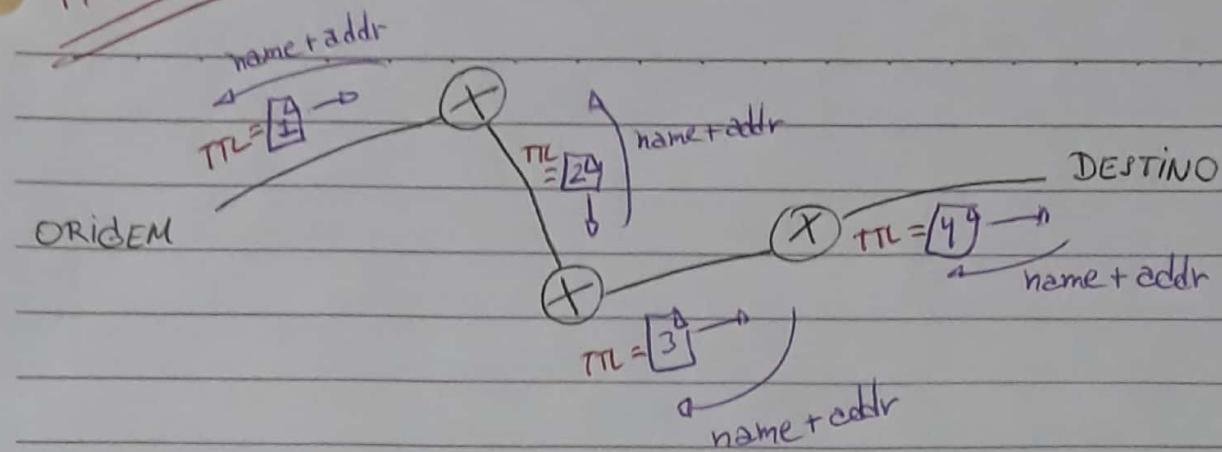
S T Q Q S S D

____ / ____

Resp. Enviaria a hora atual e, no lado receptor,
acrescentaria 8500 ms.

Pense em uma solução que seja independente do
enlace de comunicação!!!

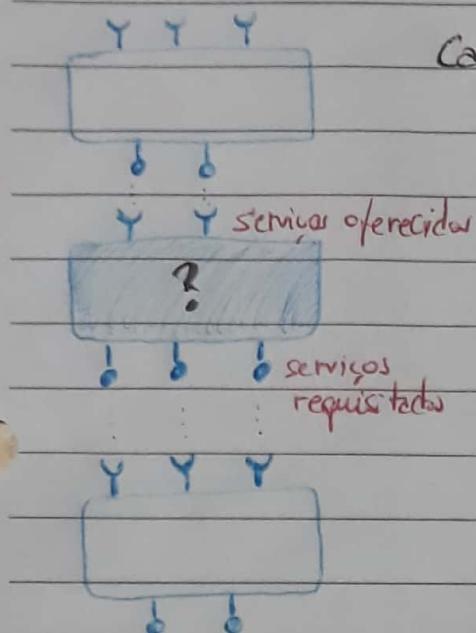
S T Q - RONTE



{ traceroute (Linux)
tracert (Windows)

→ Rastreia o tempo de
ida e volta (Round-Trip)
a cada roteador no
caminho.

Arquitetura de redes



camadas de protocolos / Modelo de serviços

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

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

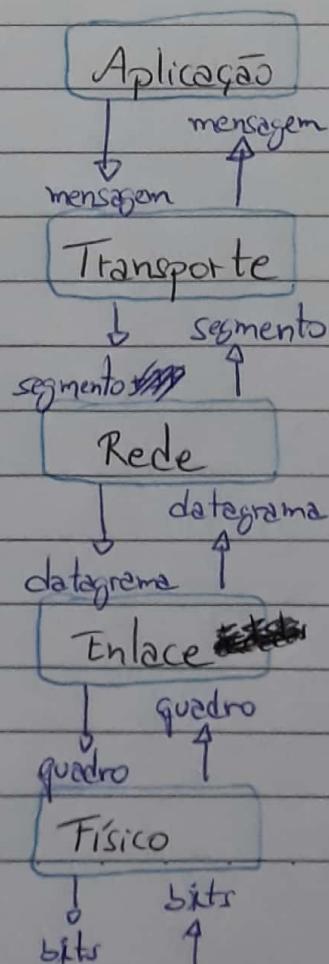
Pilha de protocolos TCP/IP

5	Aplicação	mensagem	HTTP, SMTP, FTP	Software
4	Transporte	segmento	TCP, UDP	
3	Rede	datagrama	IP → Roteamento	(Software + Hardware)
2	Enlace	quadro	Ethernet, WiFi	Ligados ao meio físico de comunicação
1	Física	bits	Par trançado, cabo	(Hardware)

TCP : Orientado à conexão

- Garantia de entrega de mensagens
- Fragmentação automática de mensagens longas → segmentos
- Controle de fluxo → sincronização das taxas de emissão e recepção
- Controle de congestionamento (Para o ~~bem-estar~~ bem-estar da Internet) (REDE)

UDP : NÃO orientado à conexão



FIG

Funcionalidade resumida das camadas

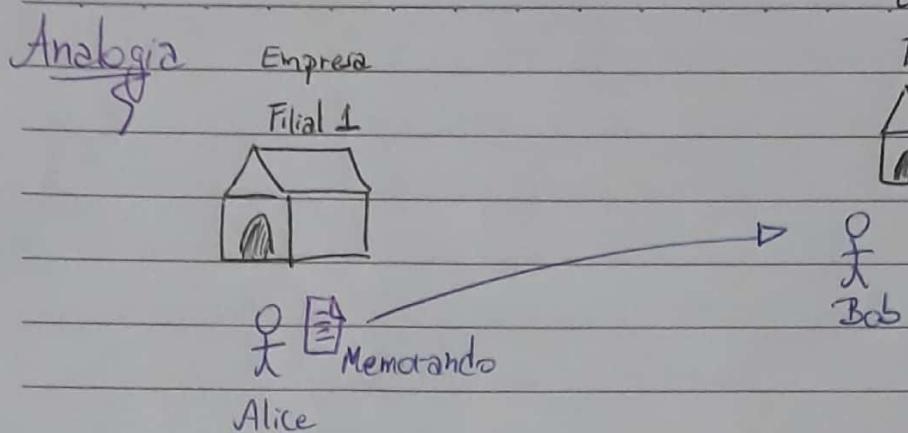
Aplicação - Reconhece as mensagens trocadas entre os hosts na rede.

Transporte - Segmenta as mensagens e oferece serviços de comunicação entre aplicações distribuídas.

Rede - Gera datagramas e oferece serviços de entrega host-a-host.

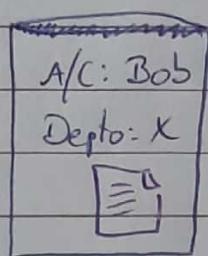
Enlace ~~L~~ Lida com quadros de dados adequados ao meio físico onde os dados são transportados.

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



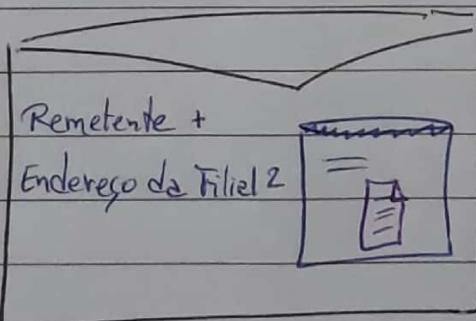
- O memorando representa a mensagem M

- Alice :



Envelope de correspondência interna
(segmento)

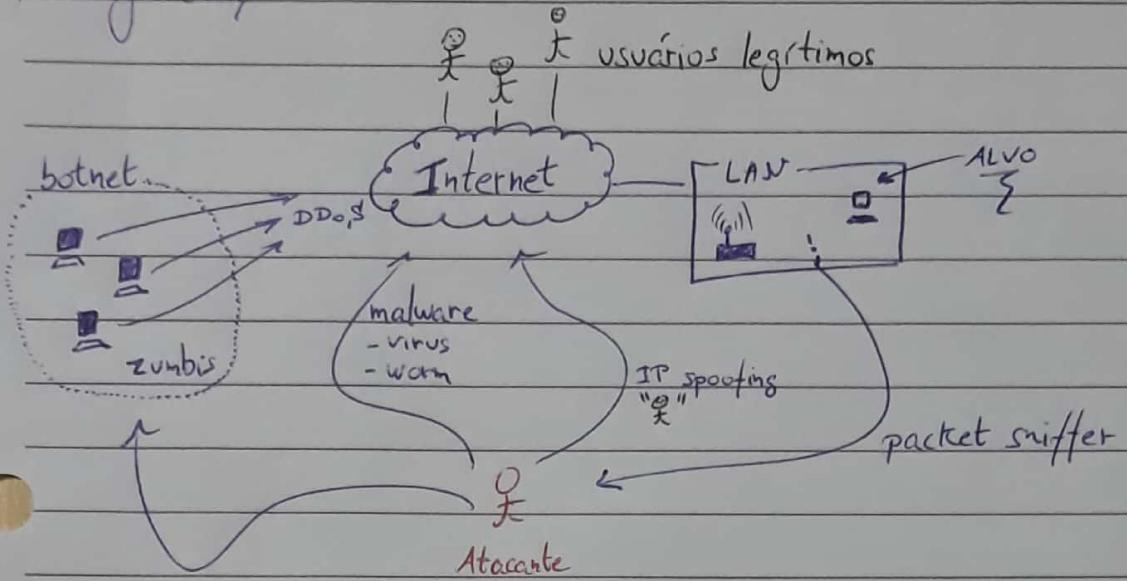
- Central de correspondência da Filial 1 :



Envelope postal
(datagrama)

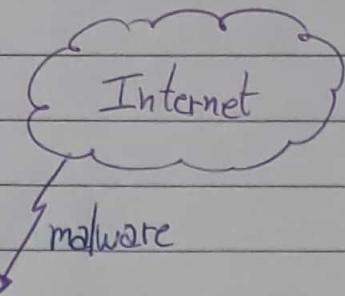
- Fotreios

Segurança



- Autenticação
- Criptografia
- Integridade

Ameaça



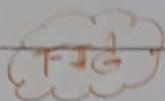
- virus : requer ação do usuário
- worm : se alastrá sem o conhecimento do usuário
- spyware
- botnet → DDoS Attack
 - Computadores infectados (inundação)
 - | são denominados ZUMBIS

packet sniffer → Receptor "passivo" que "monitorea" "fazedor de pacotes" os pacotes que trafegam na rede

Importante É fácil transmitir um pacote pela rede como se tivesse sido enviado por outro usuário

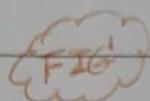
→ IP spoofing

Camada de Aplicação



Do ponto de vista do desenvolvimento de aplicações de rede, a camada de Aplicação e os serviços oferecidos pela camada de Transporte são os "mais importantes".

Arquitetura Cliente-Servidor



Um host, denominado servidor, é responsável por atender requisições de outro host, denominado cliente. Ex.:

- Web
- FTP
- e-mail

Notar que na arquitetura Cliente-Servidor não há comunicação direta entre os clientes.

Arquitetura Peer-to-Peer (P2P)

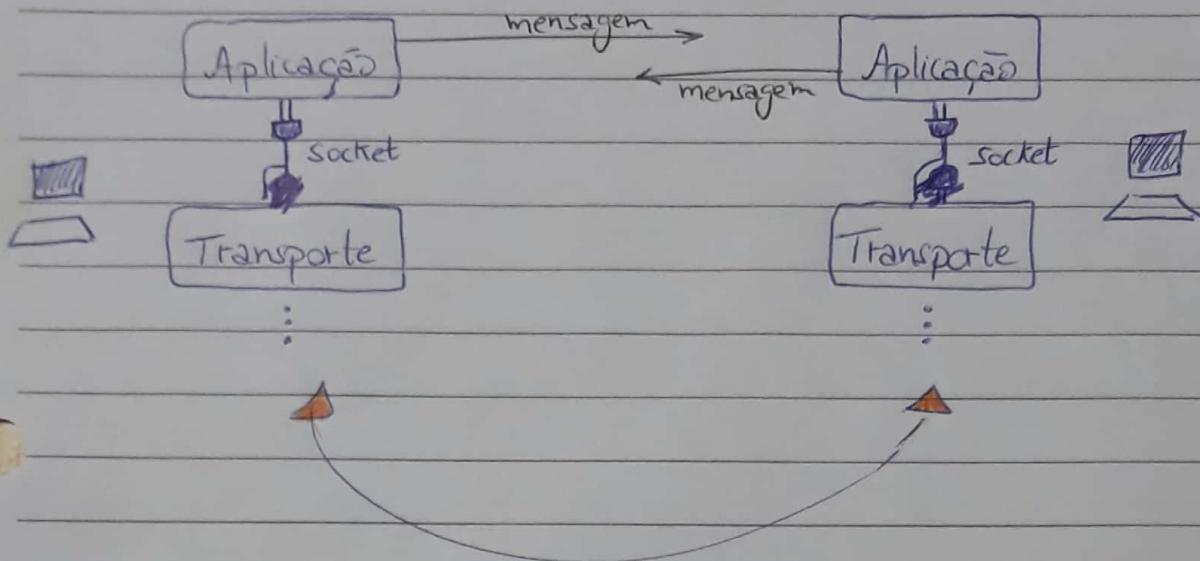
Os hosts em uma rede P2P comunicam-se diretamente, contudo algumas vezes ainda há a figura de um servidor central: arquitetura híbrida (Ex.: Skype).

- BitTorrent
- Serviços de mensagem instantânea

Vantagem: Escalabilidade

Desvantagem: O sucesso depende da participação dos usuários (nº de pares).

Comunicação entre processos

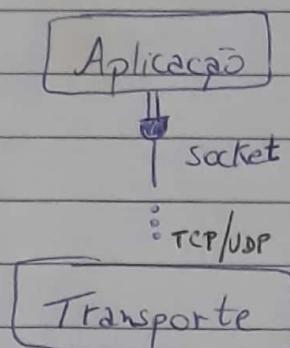


A comunicação ocorre por meio da troca (envio/recebimento) de mensagens.

Socket → Interface de software utilizada para enviar e
receber mensagens pela rede.

Endereçamento

- IP: identifica o host na rede.
- Porta: identifica o processo (socket) que receberá a mensagem.

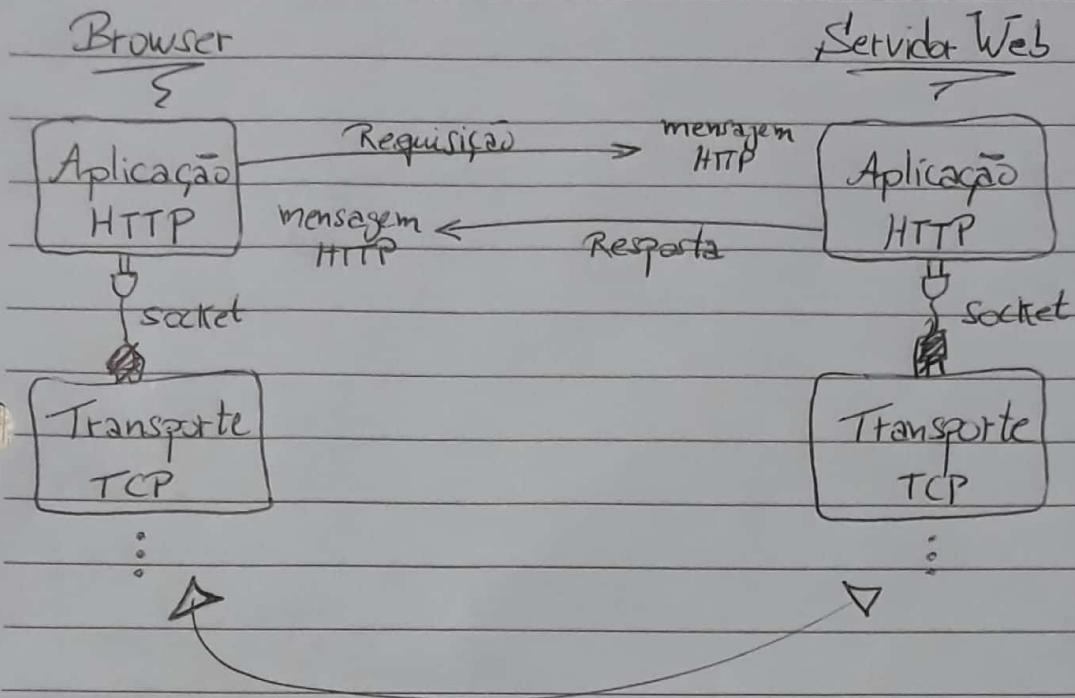


} garantia de entrega: SIM / NÃO
Vazão mínima
Atraso máximo de entrega
Segurança ↗

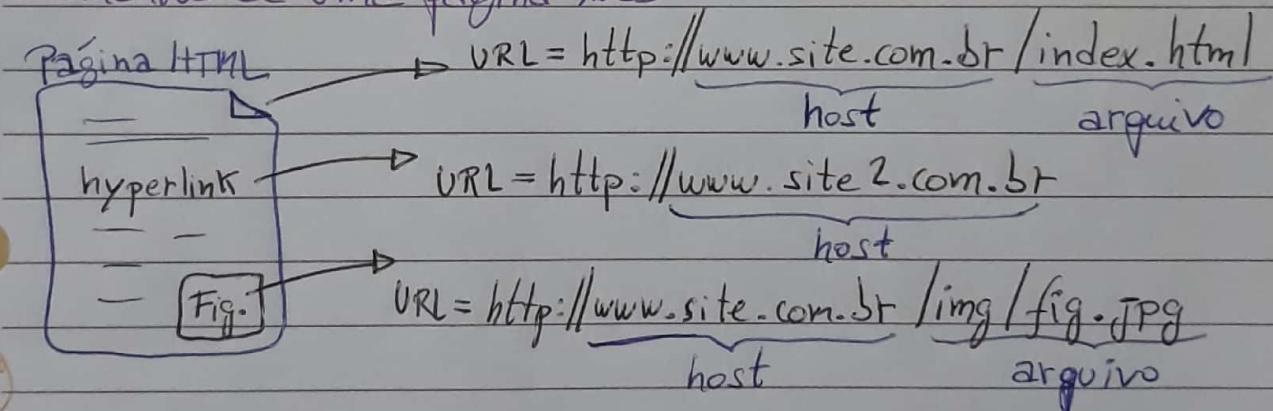
TCP
↓
UDP

somente com o uso do
protocolo SSL (Secure
Socket Layer) na
camada de aplicação.

HTTP - HyperText Transfer Protocol

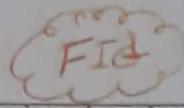


Elementos de uma página Web



Conexão não persistente: Utiliza uma conexão TCP para cada requisição.

Conexão persistente (modo padrão): Requisições em série (e reponses) são compartilhadas em uma única conexão.



Requisição HTTP

→ GET, POST, HEAD, PUT, DELETE

Formato método ≠ URL ≠ versão → Linha de requisição
 { campo1: ≠ valor1 }
 campo2: ≠ valor2 } Linhas de cabeçalho
 :
 → Linha em branco

parâmetros de entrada do usuário

Ex.
 { GET /dir/arquivo HTTP/1.1
 Host: www.site.com
 Connection: close
 User-agent: Mozilla/5.0
 Accept-language: pt

Resposta HTTP

Formato versão ≠ estado ≠ mensagem → Linha de estado
 { campo1: ≠ valor1 } Linhas de cabeçalho
 :
 → Linha em branco

DADOS

Ex. HTTP/1.1 200 OK

{ Connection: close

Date: Tue, 09 Aug 2011 15:44:04 GMT

Server: Apache/2.2.3 (CentOS)

Last-Modified: ...

Content-Length: ...

Content-Type: text/html

→ Linha em branco

DADOS —

— —

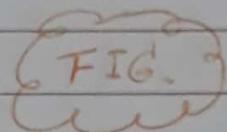
— —

— —

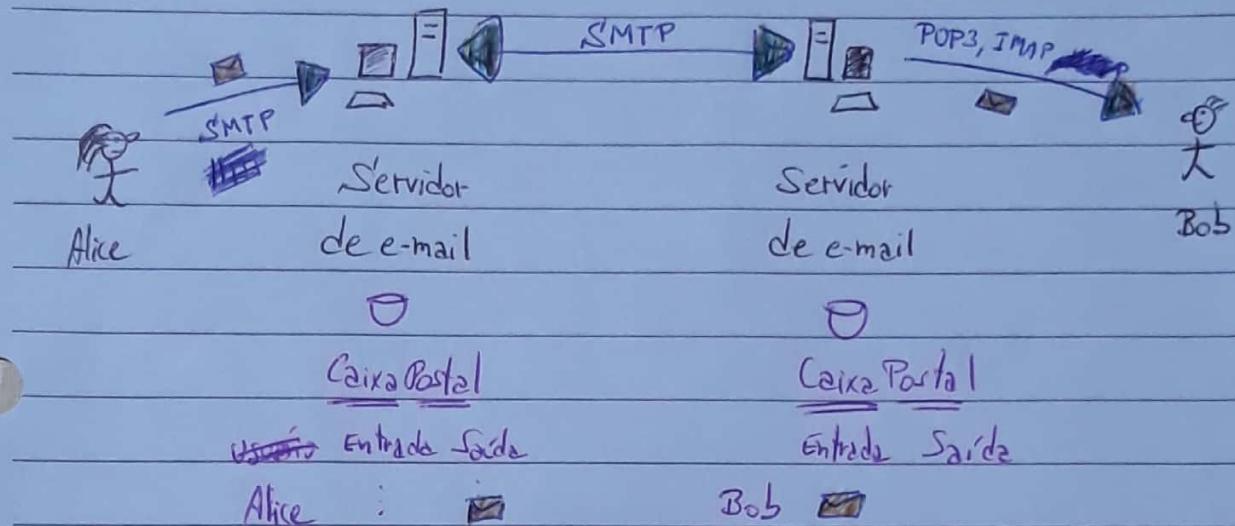
— —

HTTP é um protocolo sem estado (stateless): o protocolo não "lembra" requisições / respostas anteriores. Contudo, o protocolo permite o envio de cookies em suas linhas de cabeçalho.

Cookie → Código de identificação exclusivo enviado durante
uma requisição HTTP para que o servidor Web possa recuperar o estado necessário para atender a solicitação.



e-mail



SMTP - Simple Mail Transfer Protocol

Características → Mensagem no padrão ASCII (7 bits). Dados binários são codificados em ASCII antes da transmissão por SMTP. SMTP é um protocolo de envio apenas.

Protocolos de acesso ...

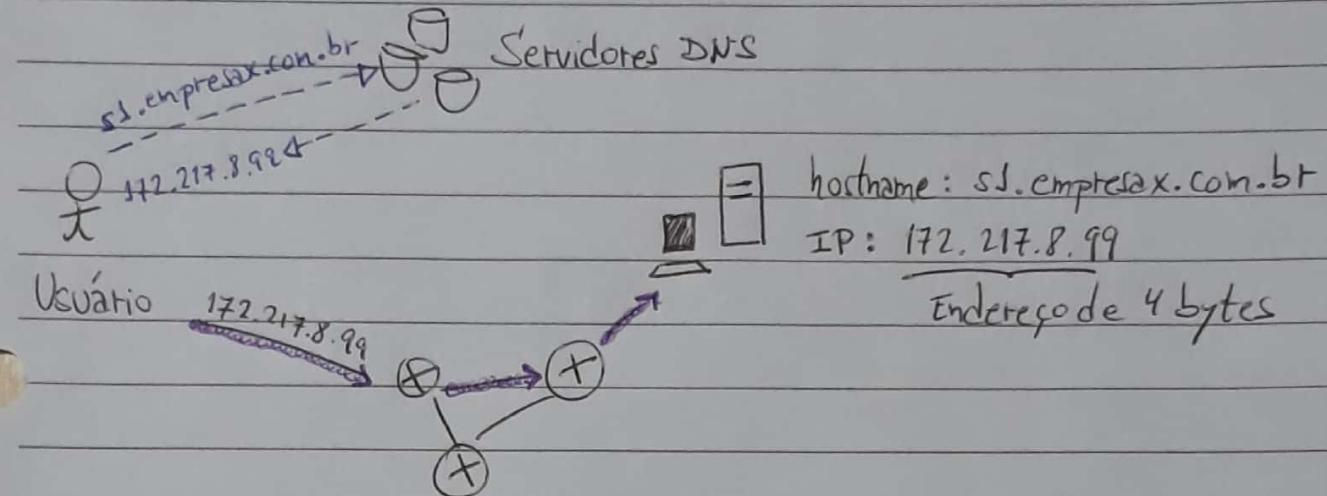
- POP3 (Post Office Protocol v.3) : mais simples

- IMAP (Internet Mail Access Protocol) : permite o gerenciamento de

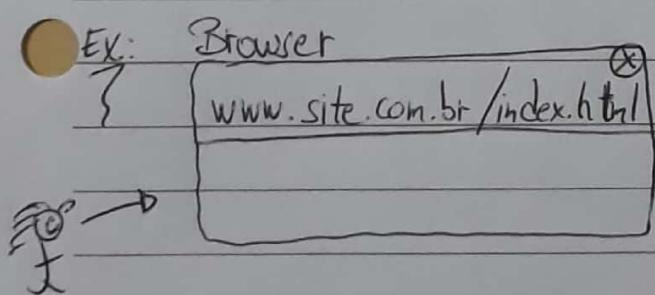
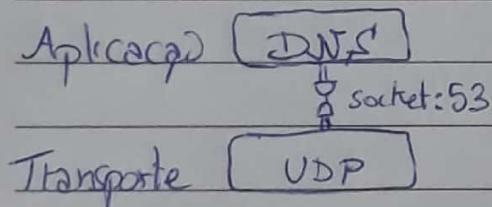
* HTTP (HyperText Transfer Protocol) : ~~acesso~~ ^{gastar}
 ↑
 Servidor Web
 envio e recebimento
 de mensagens pela Web

Questão → Você enviou um e-mail. Significa que o destinatário já tem a mensagem em sua caixa de entrada?

DNS - Domain Name System "Sistema de nomes de domínio"



Sistema distribuído que traduz nomes de hosts em endereços IP.
A consulta aos servidores DNS se dá por meio do protocolo DNS.



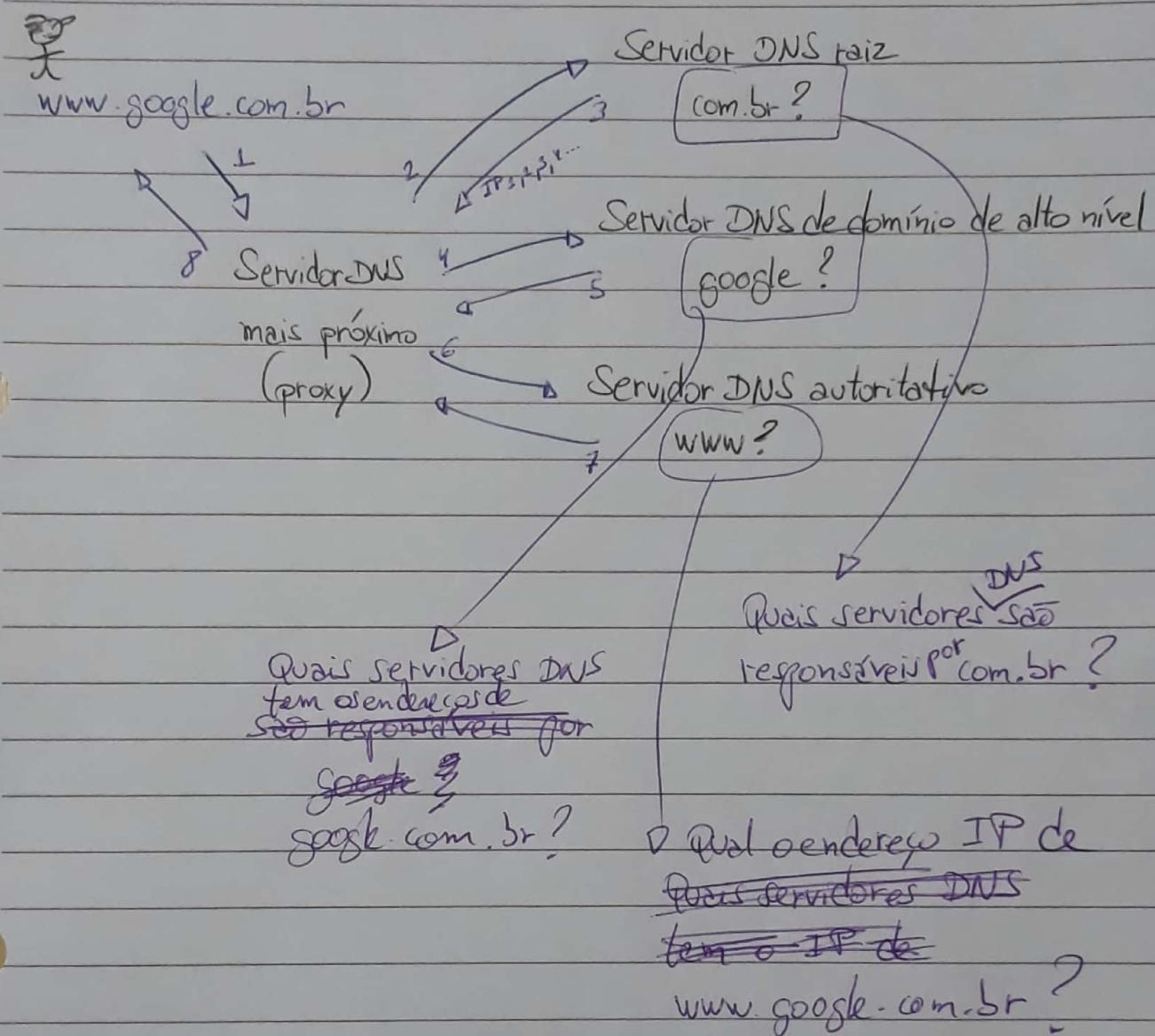
1. Browser solicita ao servidor DNS
mais próximo o endereço IP
de www.site.com.br: gethostbyname()

2. Uma conexão TCP na porta 80 e endereço IP obtido
é aberta com o processo servidor.

3. Browser envia requisição HTTP e aguarda resposta HTTP

4. O conteúdo obtido é renderizado.

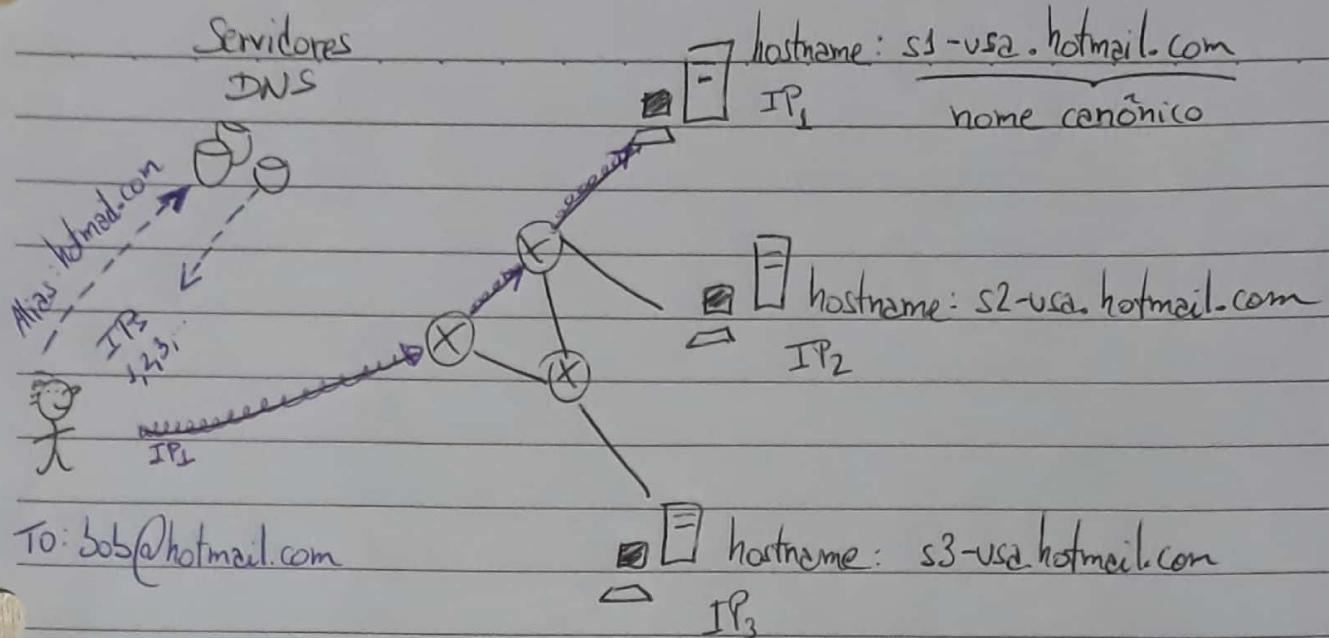
Como se dá a identificação de um endereço IP de um ~~domínio~~^{host}?



Cache de mapeamento ~~hostname~~^{host} ~~domínio~~ → IP ocorre sempre que um servidor DNS recebe uma resposta de outro servidor DNS. Tipicamente o cache é válido por 2 dias!!

Mesmo que não tenha autoridade, um servidor DNS pode responder a uma consulta se o ~~domínio~~ endereço requisitado estiver em seu cache.

S T Q Q S S D



Tipos básicos de registros DNS:

hostname → IP

Ex.: s1.empresax.com.br → 200.100.20.12

domínio → servidor DNS

Ex.: empresax.com.br → dns.empresax.com.br
hostname

Desafio!

Sugira uma aplicação de rede e descreva o protocolo da camada de aplicação necessário para atender as funcionalidades a serem implementadas. Que protocolo da camada de transporte é mais adequado para essa aplicação?

_____ X _____

TDP - To Do Protocol (Afazeres)

Cliente (Requisição)

PUT # descrição da tarefa

Servidor (Resposta)

OK

GET # número.m

descrição da tarefa

ou

NOT-FOUND

LIST

{
1. # tarefa 1
2. # tarefa 2
:
}

ou

EMPTY

qualquer requisição inválida

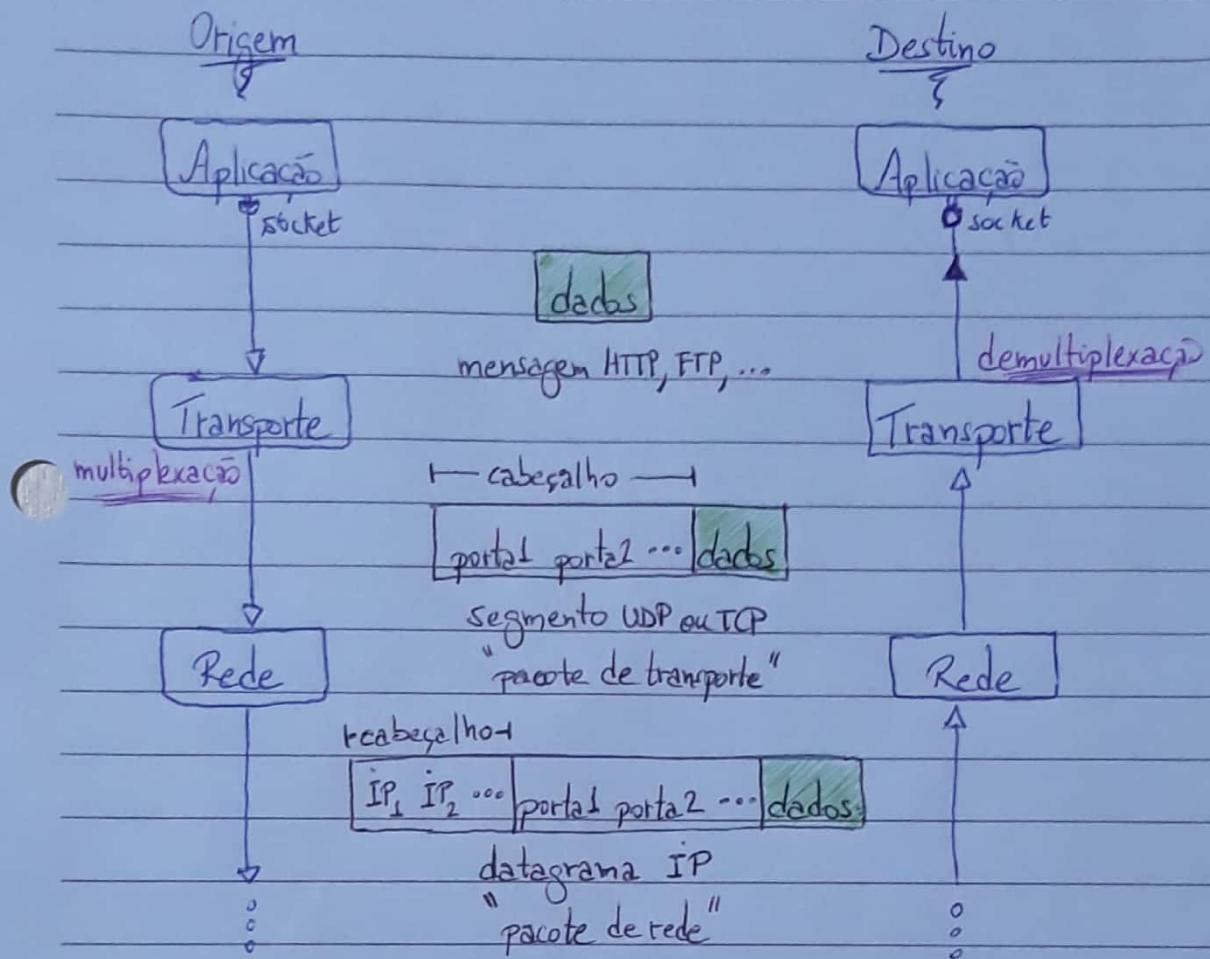
ERR

EXIT

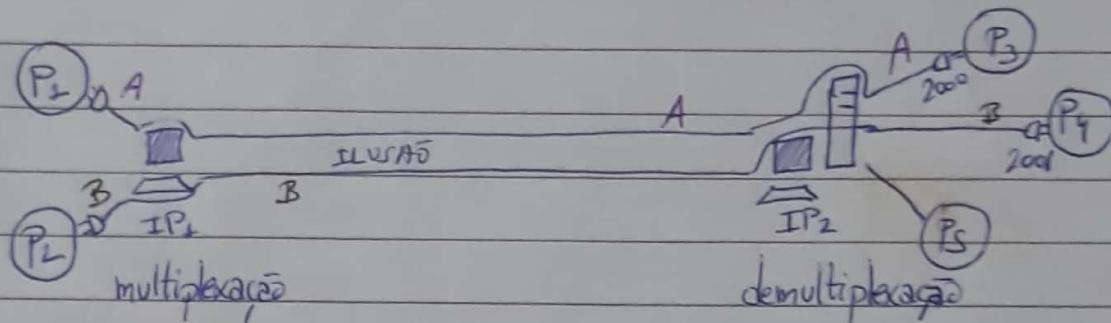
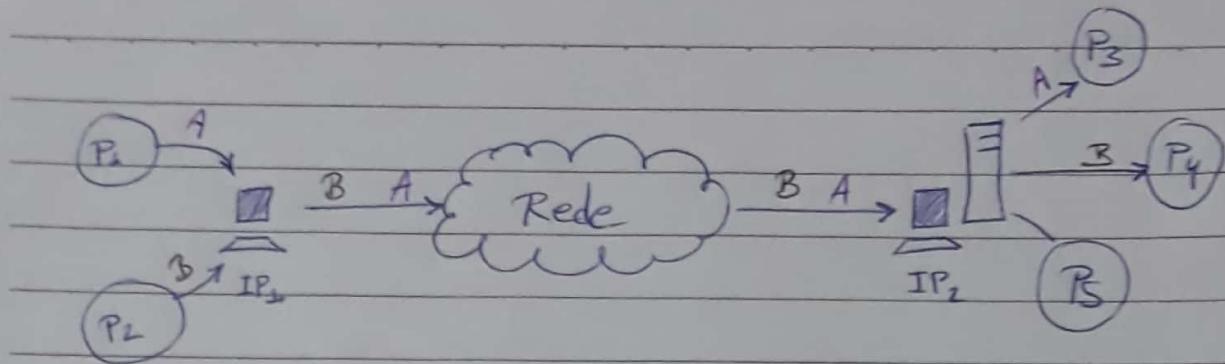
BYE



Camada de Transporte



A camada de transporte extende o serviço de comunicação host-a-host oferecido pela camada de rede multiplexando (na origem) e demultiplexando (no destino) segmentos de dados com base em portas que são associadas aos sockets dos processos, permitindo que mensagens pacote ser endereçadas a seus devidos processos.

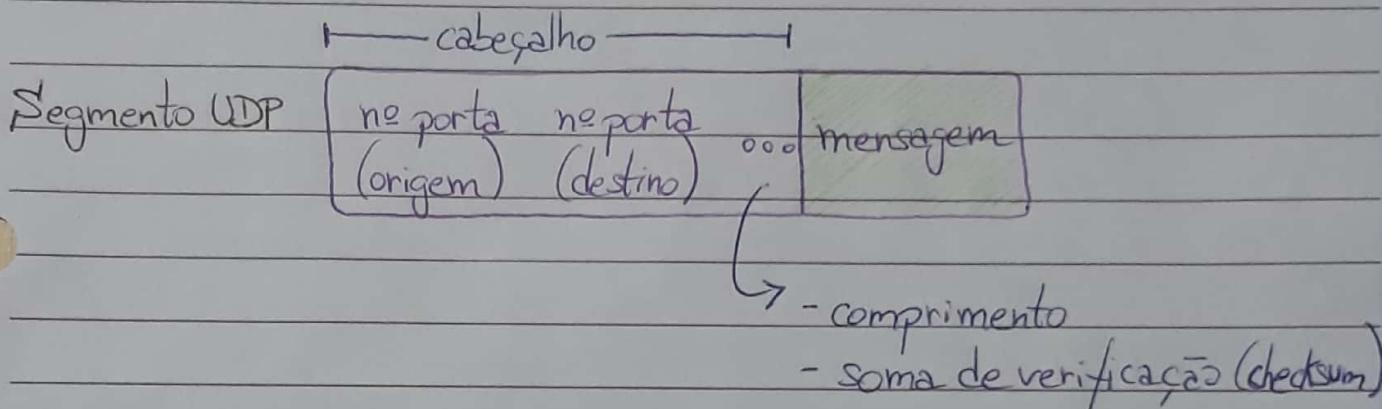


Destino do pacote A = (IP₂, 2000)

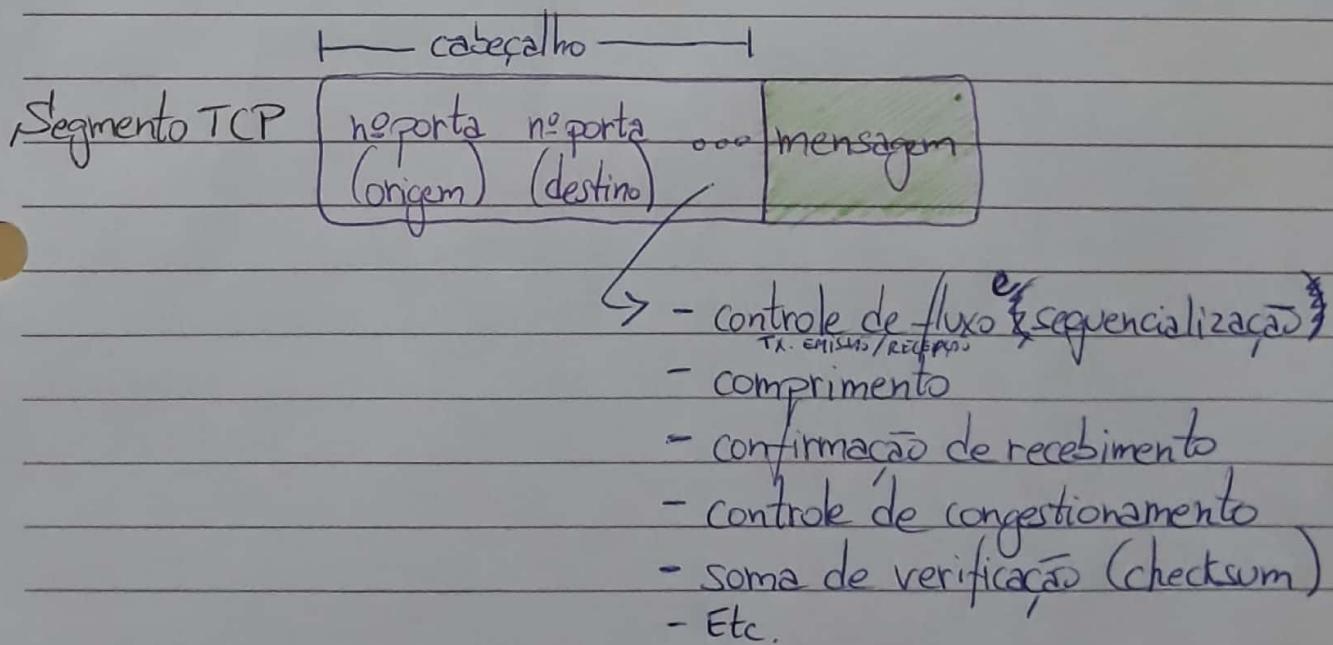
Destino do pacote B = (IP₂, 2001)

Protocolos da camada de transporte

UDP - User Datagram Protocol : Serviço não orientado à conexão e sem garantias.



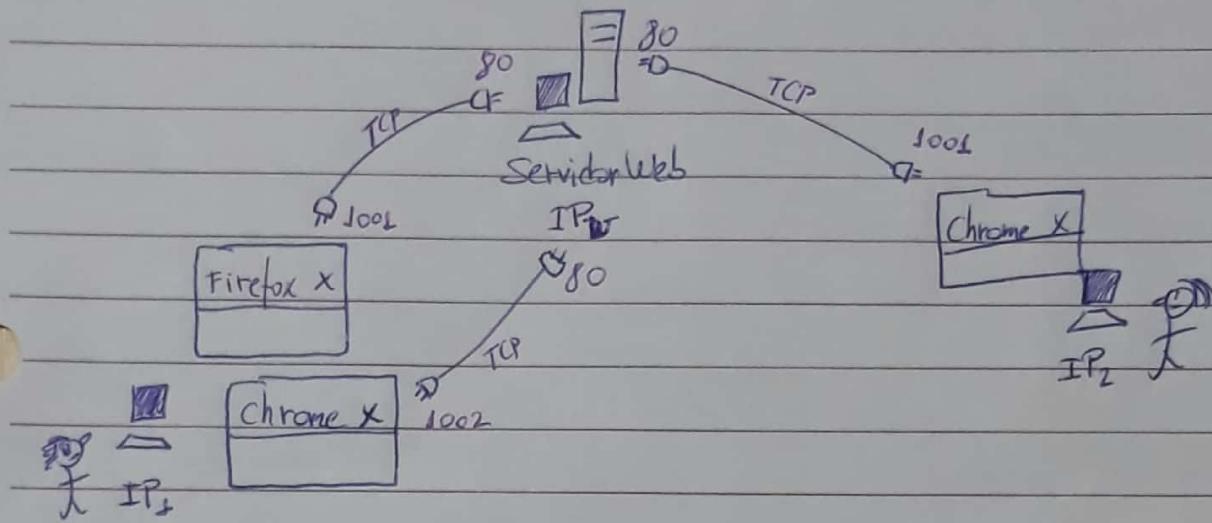
TCP - Transmission Control Protocol : Serviço orientado à conexão e com garantias.



nº porta → 16 bits (0..65535)

Portas de 0..1023 são ~~reservadas~~ normalmente associadas a serviços conhecidos

Ex.: Um servidor Web

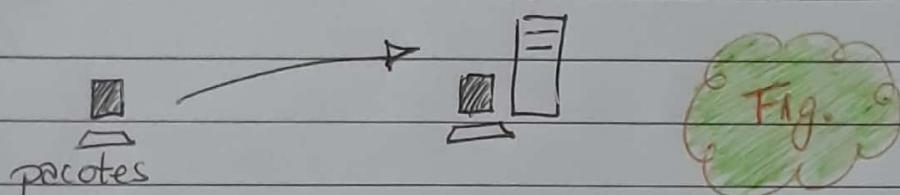


Sockets TCP são identificados por:
(IP_{origem}, porta_{origem}, IP_{destino}, porta_{destino})

Transferência confiável de dados

Garantias a serem oferecidas...

- pacotes não corrompidos (livres de erros de transmissão / propagação).
- pacotes não perdidos (descartados durante o roteamento).
- pacotes não reordenados (entrega na ordem de envio).
- pacotes não duplicados (enviados duas ou mais vezes).



~~Protocolo~~ 0 1 0

~~Enes de~~
sequência

Problemas ainda em aberto :

- (R. 7) Na temporização prematura (FIG), o segundo ACK1 pode chegar no remetente muito depois, qdo por ex. um novo ACK1 é enviado porém perdido, neste caso o segundo ACK1 confirmaria o pacote errado.
- (R. 10) Envio e recebimento em série um por vez

0 0
m

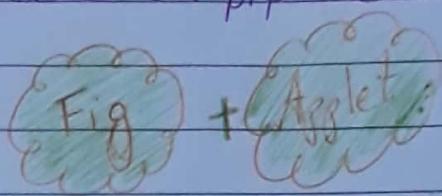
Sei consegue ver um problema com a temporização no protocolo proposto?

- (P) O protocolo requer que o canal de comunicação subjacente entregue os pacotes na ordem em que forem enviados

- (P) Má utilização da largura de banda

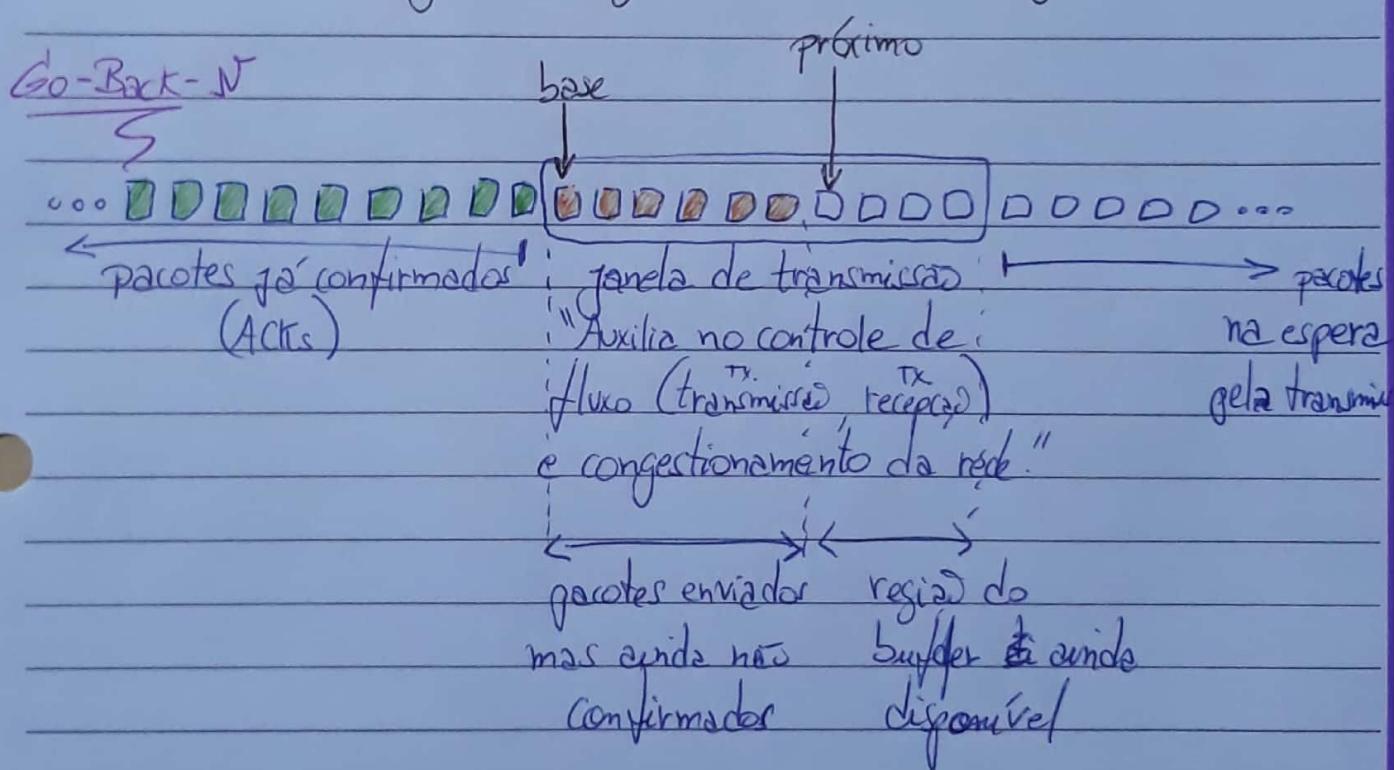
Como obter transferência confiável de dados em pipeline?

- Protocolo Go-Back-N
- Protocolo de repetição seletiva



Em ambas os casos, até N pacotes podem ser enviados sem que tenham sido confirmados, mas é o protocolo de repetição seletiva que retransmite apenas pacotes suspeitos de não terem sido entregues.

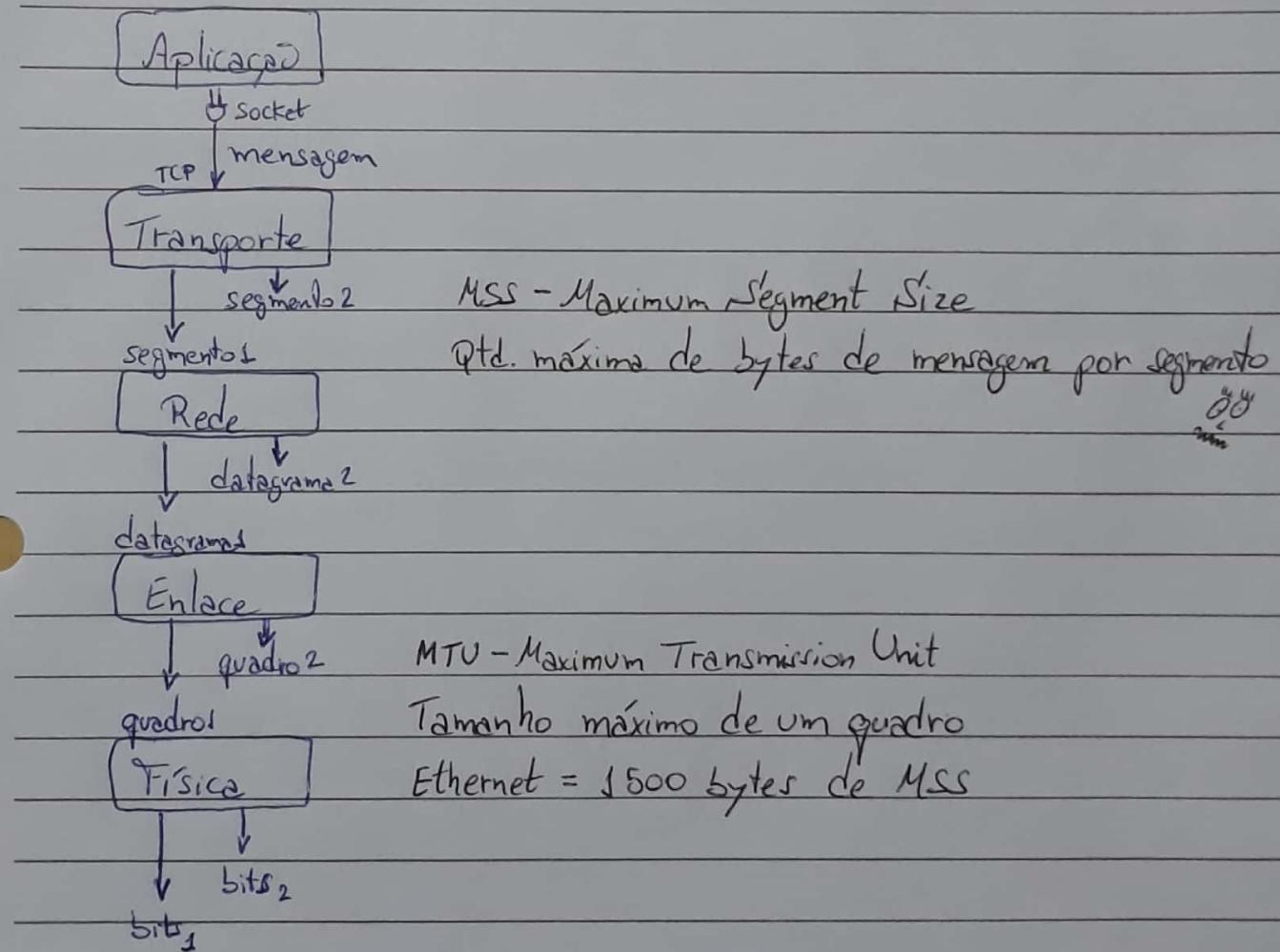
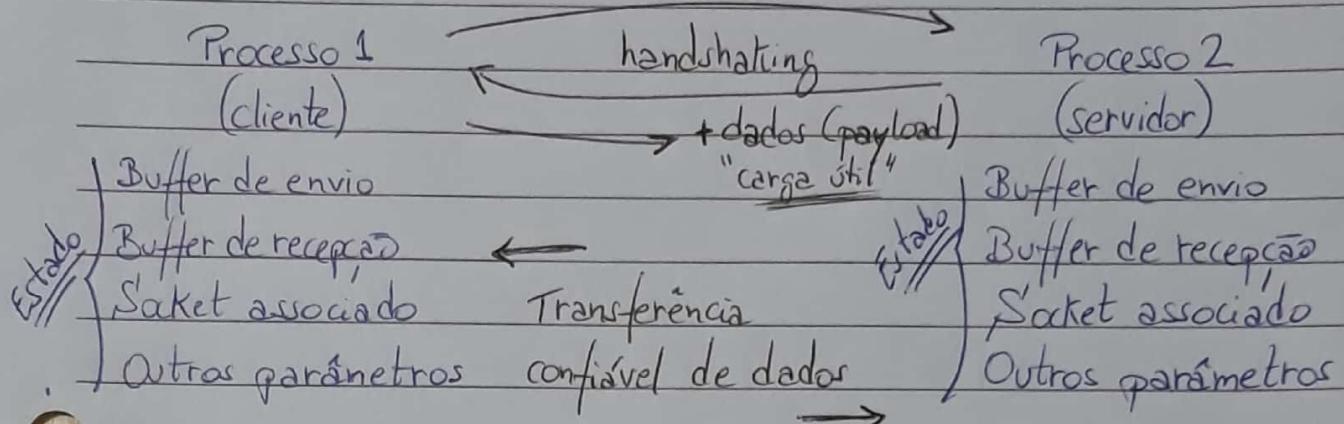
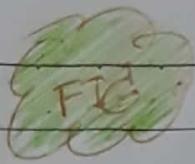
~~wps. pearsoned.com / ecs - Kurose - compnetw - 6 (BETTER)~~
www.ccs-labs.org/teaching/rn/animations/gbn-sl



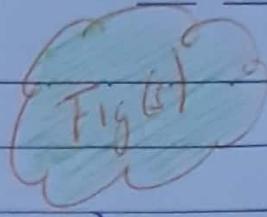
Repetição seletiva

Análoga a Go-Back-N, mas com uma janela de recepção no lado destinatário.

TCP → Orientado à conexão



TCP e a transferência confiável de dados



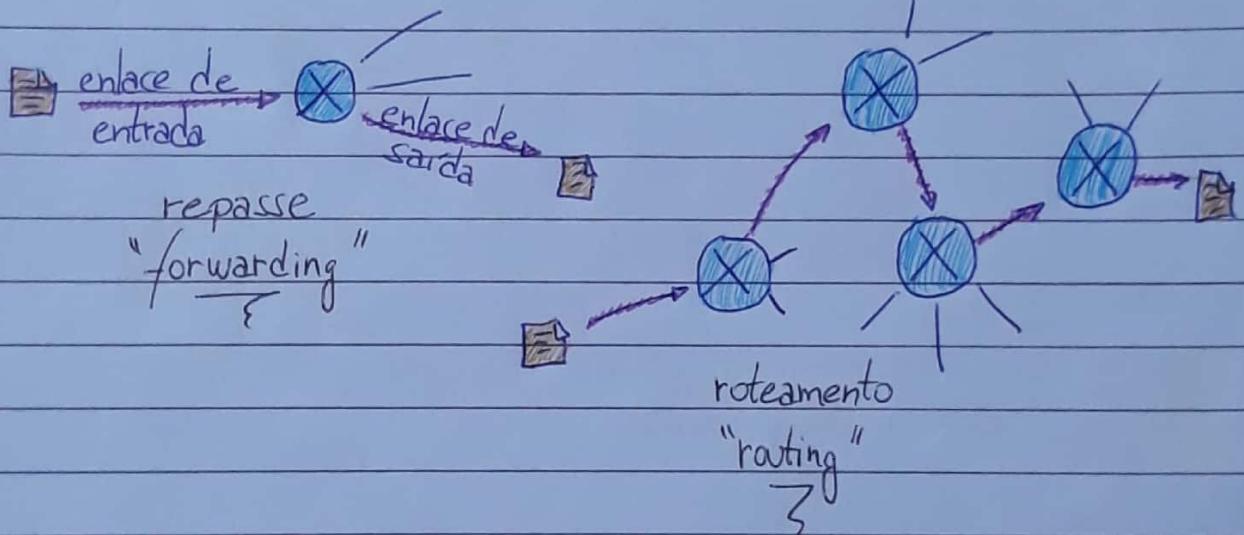
No TCP, ACKs são cumulativos (Go-Back-N), contudo o protocolo também apresenta alguns benefícios do protocolo de repetição seletiva

TCP → Go-Back-N + Repetição seletiva

Camada de Rede

Aplicação

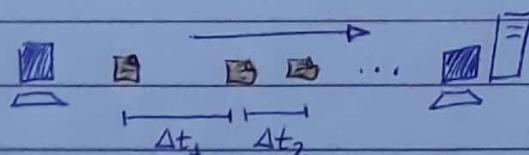
Transporte serviço de comunicação entre processos: segmentos UDP/TCP
 Rede serviço de comunicação entre hosts: datagramas IP



Roteamento de pacotes...

- por estab do enlace
- por vetor de distância
- hierárquico

Algoritmos e protocolos de roteamento alimentam as tabelas de repasses nos roteadores.



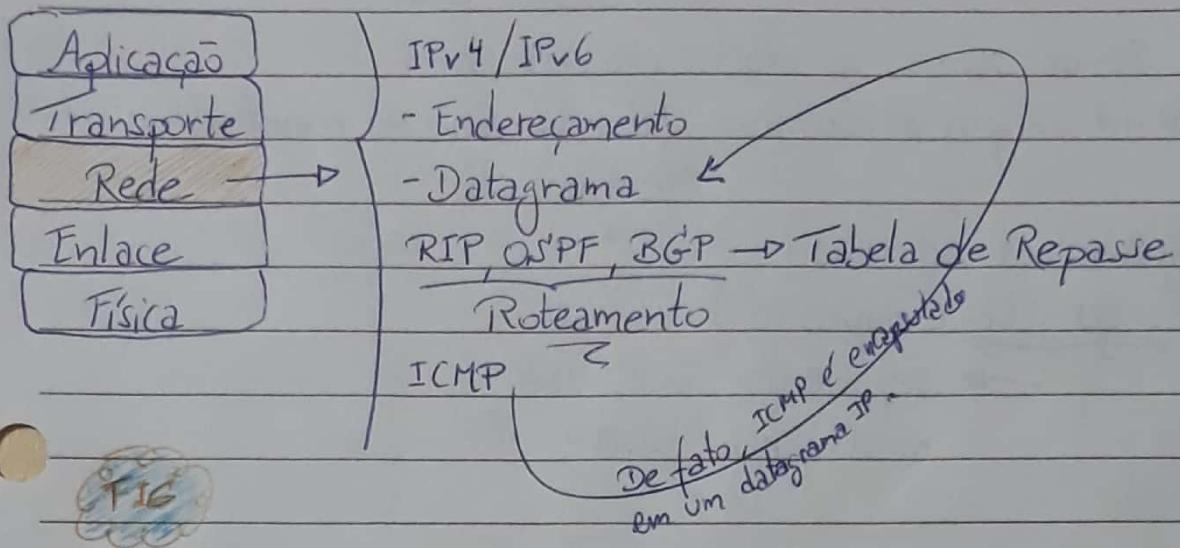
$$\text{jitter} = \max \{ \Delta t_1, \Delta t_2 \}$$

Intervalo máximo entre a recepção de dois pacotes consecutivos.

- Redes de circuitos virtuais: Comutação de circuitos (ATM, Frame Relay)
- Redes de datagramas: Comutação de pacotes (Internet)

↳ A tabela de repasse nos roteadores é atualizada em média a cada 1-5 minutos.

IP - Internet Protocol



Versão: IPv4 ou IPv6

Comprimento do cabeçalho: Tamanho do cabeçalho em 4 bits.

Tipo de serviço: Datagramas com prioridade, de tempo real, etc.
Política configurável no roteador.

Comprimento do datagrama: 0..65535 bytes

Raramente ultrapassam 1500 bytes.

Identificador, Flags, Deslocamento de fragmentação: Relacionados a fragmentações de datagramas. IPv6 não permite fragmentos.



quadros Ethernet
= 1500 bytes
de dados

quadros em alguns
enlaces de longa
distância = 576
bytes de dados

Tempo de vida: Time To Live - TTL

Impede que datagramas circulem na rede para sempre

Protocolo da camada superior: 6 = Dados TCP

17 = Dados UDP

Checksum: Soma sobre os dados do cabeçalho.

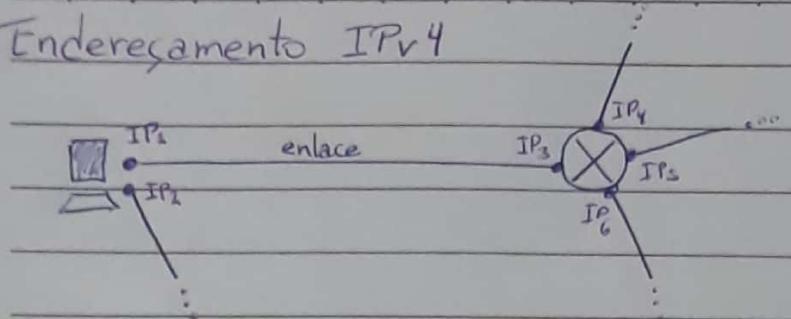
Endereço IP de origem e destino: Identificação do remetente e do destinatário.

Opcões: Parâmetros adicionais

Dados: Carga útil (payload)

↳ segmento TCP, UDP

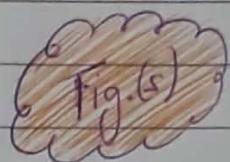
mensagem ICMP

Endereçamento IPv4

O endereço IP está associado com cada interface de rede (■)

Endereço IP: a.b.c.d (32 bits) → Aproximadamente 4 bilhões
4 bytes = 0..255 de endereços

Ex.: IP = 193.32.206.9



Identificação de sub-redes: a.b.c.d /x

00000000. 00000000. 00000000. 00000000

↑ x bits ↑ 32-x bits
(sub-rede) identificação da
prefixo ou máscara de interface na
sub-rede sub-rede

Ex.: sub-rede 223.1.1.0 /24

11011111. 00000001. 00000001. 00000000

↑ 24 bits

↓ endereçamento de
interfaces

bits 0 = reservado para a
própria sub-rede

bits 255 = endereço de
broadcast

De fato, todos os bits
configurados como 1

Classes de endereçamento...

A = /8

B = /16

C = /24

NAT - Network Address Translation

Normalmente NAT é configurado em roteadores de borda (gateways).

NAT com UPnP habilitado



↳ Universal Plug and Play

Protocolo que permite ao hospedeiro
descobrir e configurar uma NAT próxima.

(IP_{público} + porta_{pública}) → (IP_{privado} + porta_{privada})
mapeamento

Endereçamento IP reservado para uso privado...

10.0.0.0 - 10.255.255.255

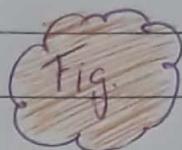
172.16.0.0 - 172.31.255.255

192.168.0.0 - 192.168.255.255

127.0.0.1 → Endereço de loopback

DHCP - Dynamic Host Configuration Protocol

A configuração de endereços IP de hosts pode ser feita de forma manual (IP estático) ou automática (IP dinâmico via DHCP).



Quando um usuário móvel se desloca por sub-redes, reconectando-se automaticamente em cada uma por DHCP, um novo endereço IP é adquirido e, portanto, conexões TCP anteriores são perdidas.

IP móvel → Uma extensão para a infraestrutura IP que permite a manutenção da conexão TCP.

ICMP - Internet Control Message Protocol

Utilizado por hospedeiros e roteadores para trocar informações de controle:

- notificações de erros
- solicitação e resposta de eco para ping
- expiração TTL (traceroute)

IPv6



Motivação - Escassez de endereços IPv4

- 3' - De fato, o último conjunto de endereços IP de 32 bits foi disponibilizado para distribuição regional em 2011.

Versão: 6 = IPv6

Classe de tráfego: Datagramas com prioridade, de tempo real, etc
Política configurável no roteador.

Rótulo de fluxo: Controle de fluxo (sequência) de datagramas

Comprimento de carga útil: Tamanho dos dados no datagrama.

Próximo cabeçalho: Identifica o protocolo encapsulado (dados)
6 = TCP, 17 = UDP

Límite de salto: TTL

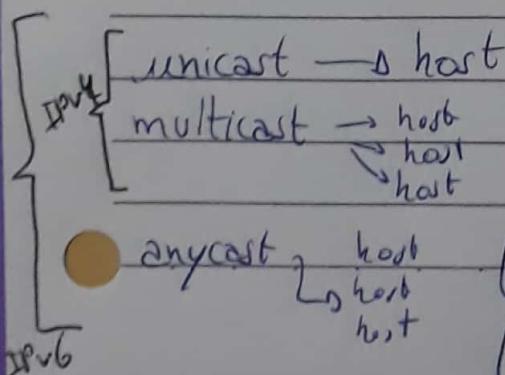
Endereços de origem e de destino: Identificação do remetente e do destinatário.

Dados: Carga útil (payload)

↳ segmento TCP, UDP

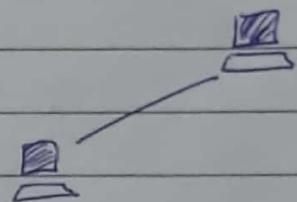
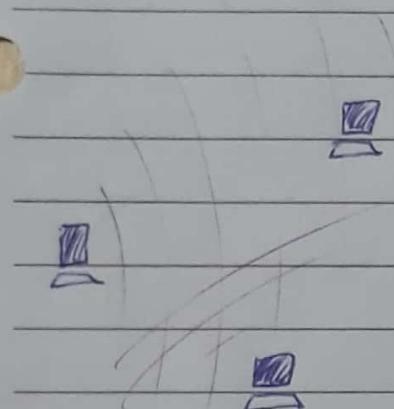
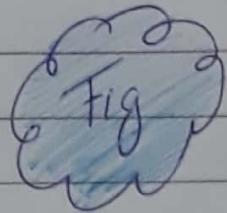
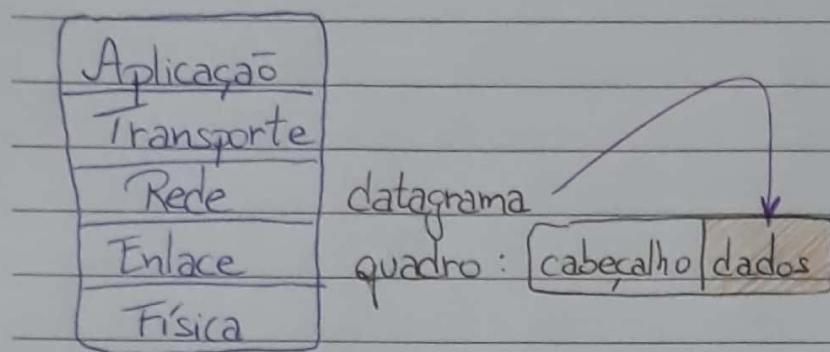
mensagem ICMP

Se uma fragmentação for necessária, o hospedeiro enviando o pacote deve providenciar (carga sobre as extremidades da rede).



A requisição é feita ao host mais próximo

Camada de Enlace

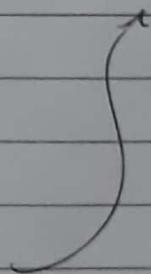


canal de comunicação
por difusão
(broadcast)

enlace de comunicação
ponto a ponto
"meio dedicado"

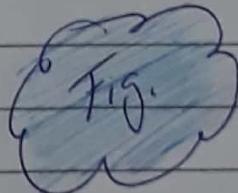
"meio compartilhado"

MAC - Medium Access Control
Protocolo de controle de acesso ao meio



Detectar e correção de erros

Entrega confiável (Wi-Fi)
ACKs + retransmissão de
datagramas



Protocolos de controle de acesso ao meio

"De quem é a vez de falar?"

colisão (Largura de banda desperdiçada)



- Estratégias
 - Protocolos de divisão de canal
 - Protocolos de acesso aleatório
 - Protocolos de reenvio
 - Multiplexação por divisão de tempo
 - Multiplexação por divisão de frequência
 - Multiplexação por divisão de código

- Polling (seleção)

requer nó mestre que envia permissão para transmitir

- Passagem de token

- CDMA (Code Division Multiple Access)
Permite transmissão simultânea mesmo com interferências

"Línguas diferentes"

- Utiliza largura de banda total do canal nas transmissões

- Espera de tempo aleatória após uma colisão

Slotted Aloha

Aloha

CSMA

CSMA/CD - Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection

"Respeito ao portador atual do sinal"

"Se houver colisão, pare e espere -"

Comutação de pacotes em LANs

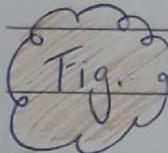
Switches...

- Operam na camada de enlace
- Comutam quadros (não datagramas)
- Não reconhecem endereços IP → Utilizam endereços da camada de enlace:
Endereço MAC

Fig.(s)

Endereços MAC - Media Access Control

↳ Endereço "físico"



Notar que o switch não possui endereços associados.

Address Resolution Protocol - ARP

IP

MAC

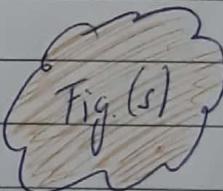
:

:

→ mapeamento →

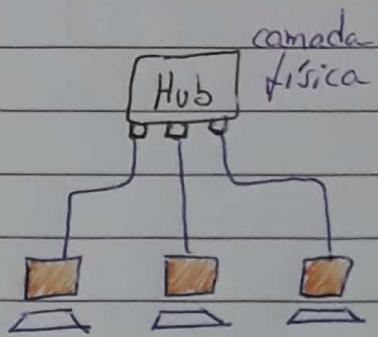
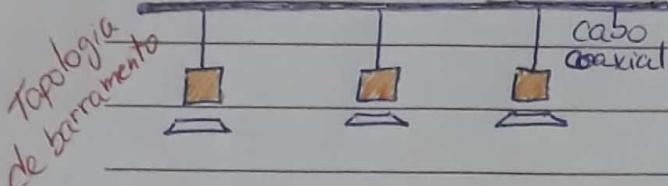
:

:



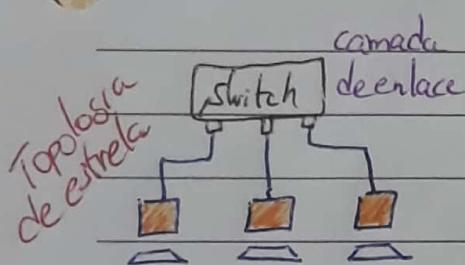
Enviando um datagrama de uma sub-rede a outra...



LANsSBarramento compartilhado

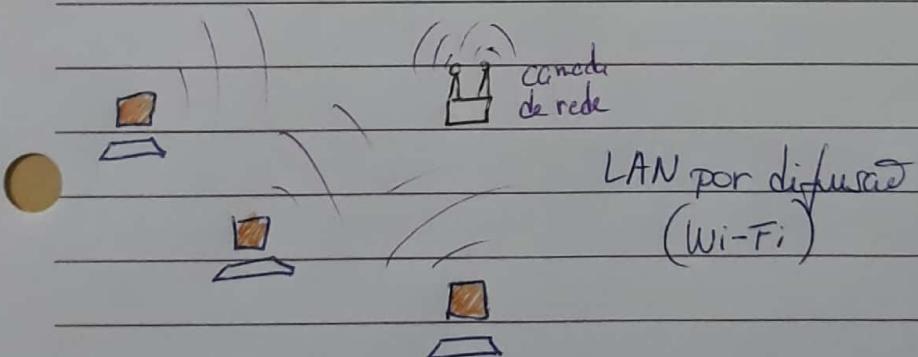
LAN por difusão
(Ethernet)

CSMA/CD



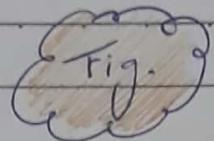
LAN comutada
(Ethernet)

Topologia de estrela



LAN por difusão
(Wi-Fi)

Quadro Ethernet

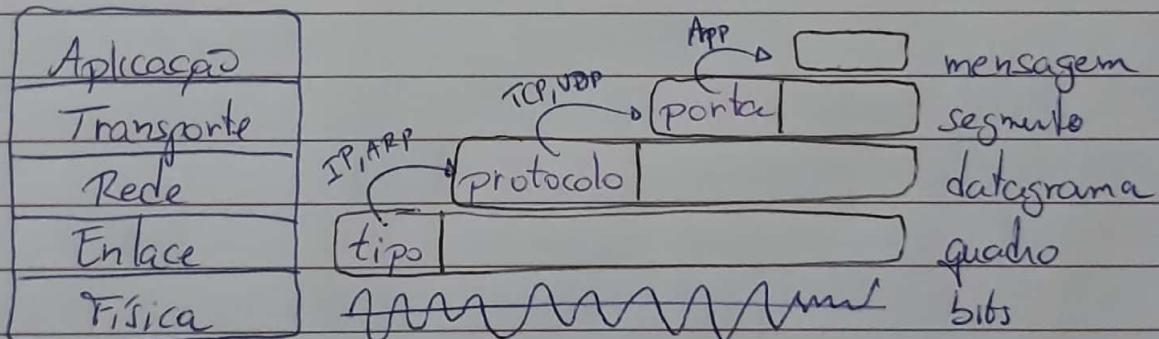


Preambulo - 8 bytes; $\underbrace{10101010}_{\text{Bytes 1..7}}$ $\underbrace{10101011}_{\text{Byte 8}}$

Utilizados para sincronização
emissor/receptor

Endereços de destino e origem - Endereços MAC

Tipo - 2 bytes; IP, $\underbrace{\text{ARP}, \text{etc.}}_{\text{0x0806}}$



Dados - $\underbrace{46 \dots 1500 \text{ bytes}}_{\text{MTU}}$ (Ethernet)

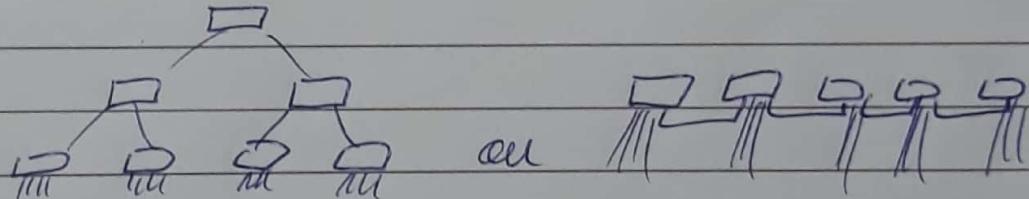
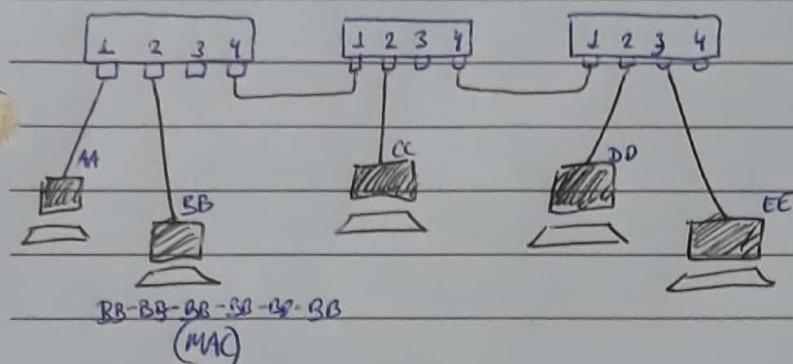
CRC - Utilizado na detecção de erro de transmissão

Switches Comutação na camada de enlace

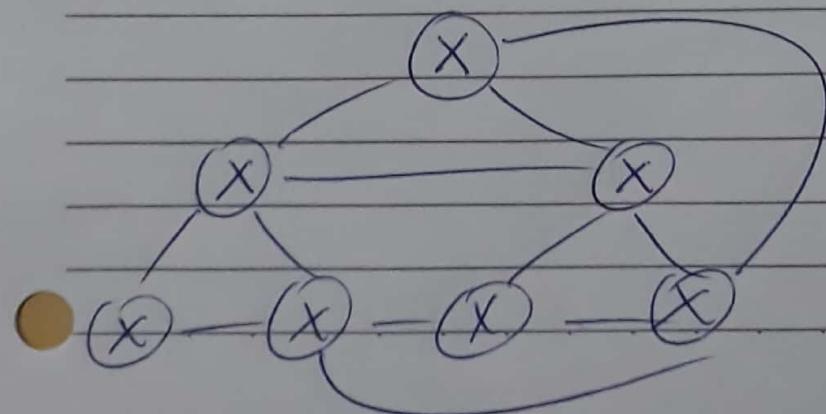
~~AD~~ Interface

AA - 1	AA - 1	AA - 1
BB - 2	BB - 1	BB - 1
CC - 4	CC - 2	CC - 1
DD - 4	DD - 4	DD - 2
EE - 4	EE - 4	EE - 3

Tabelas de
comutação



- Propriedades
- Autoaprendizagem
 - Sem colisão
 - Enlaces heterogêneos



Roteadores possibilitam rotas alternativas

