PTC 3360

2. Introdução às camadas superiores
2.1 A camada de aplicação

(Kurose, Seções 2.1 e 2.2)

Agosto 2023

2. Introdução às camadas superiores

- Neste capítulo do curso, será feita uma introdução a aspectos das 3 camadas superiores da pilha de protocolos Internet (Aplicação, Transporte e Rede).

- A abordagem utilizada é a *top-down*, começando da camada de aplicação, mais próxima dos usuários, em direção à camada física.

- Esses assuntos são detalhados em cursos posteriores das ênfases de Telecomunicações e Computação.

Conteúdo

2.1 A camada de aplicação

2.2 Princípios da transferência confiável de dados (recorte da camada de transporte)

2.3 Camada de rede

Alguns *aplicativos* de rede

- *E-mail*
- *World Wide Web (WWW)*
- Whatsapp
- *Waze, Google Maps, Apple Plans*
- BitTorrent
- Jogos em rede multiusuários
- *Streaming* de vídeo armazenado (YouTube, Disney+, Netflix)
- Voz-sobre-IP (e.g., Skype)
- Videoconferência em tempo real (Zoom, Google Meet)
- Redes sociais
- Busca
- …

Tráfego Global - 2023

APP CATEGORY TOTAL VOLUME

	2022 Categories	Total Volume
1	Video	65.93%
2	Marketplace	5.83%
3	Gaming	5.58%
4	Social Networking	5.26%
5	Cloud	4.98%
6	Web Browsing	4.63%
7	File Sharing	3.39%
8	Messaging	2.30%
9	VPN	1.13%
10	Audio	0.95%

TOP APPS 2022

DOWNSTREAM TRAFFIC

	Application	Total Volume
1	Netflix	14.93%
2	YouTube	11.62%
3	Generic QUIC	5.88%
4	Disney+	4.49%
5	TikTok	3.93%
6	HTTP Media Stream	3.72%
7	Playstation Downloads	2.95%
8	Xbox Live	2.91%
9	Facebook	2.87%
10	Amazon Prime	2.83%

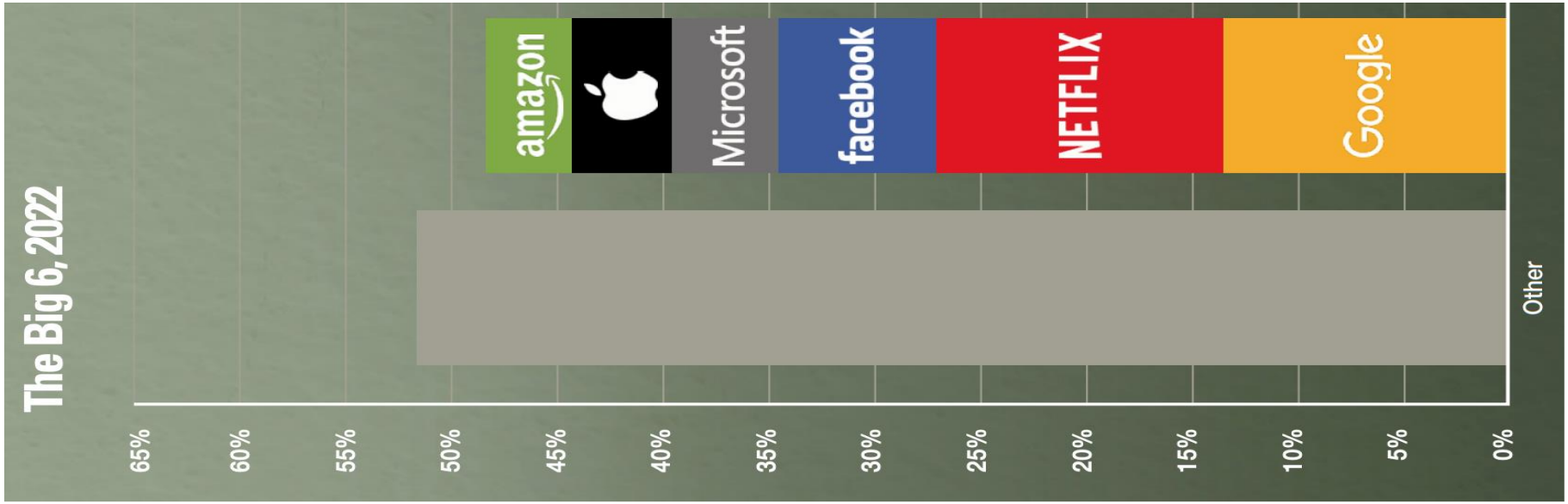
TOP APPS 2022

UPSTREAM TRAFFIC

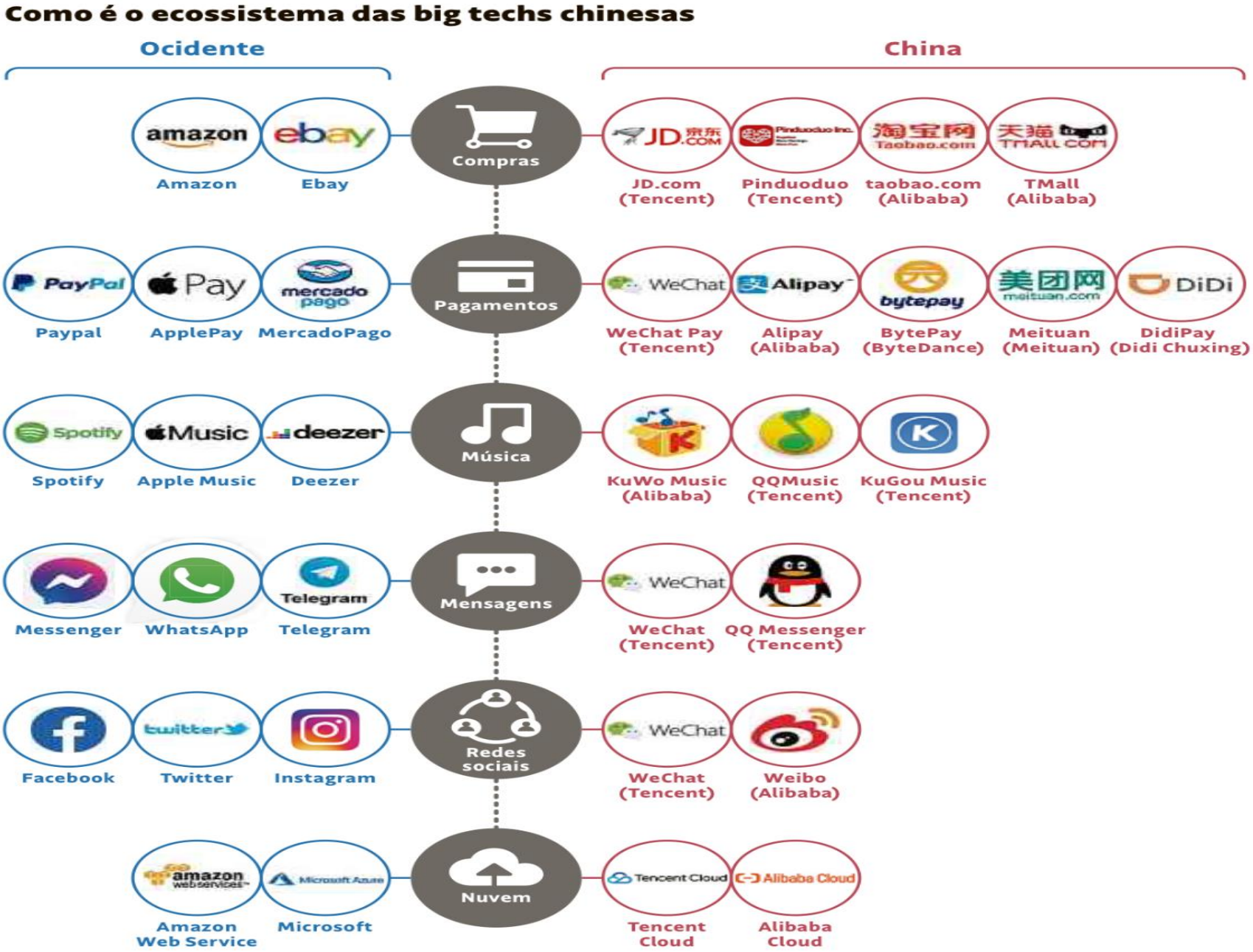
	Application	Total Volume
1	Netflix	8.78%
2	HTTP Media Stream	6.89%
3	YouTube	5.90%
4	Generic Web Browsing	3.85%
5	HTTP download	3.70%
6	Generic QUIC	3.43%
7	Generic Messaging	3.17%
8	Disney+	2.98%
9	Hulu	2.79%
10	Facebook	2.67%

Tráfego Global - 2023

	Video	Games	Social	Messaging
1	Netflix	Playstation Downloads	Facebook	Generic Messaging
2	YouTube	Steam	Twitch	WhatsApp
3	Generic QUIC	ROBLOX	Instagram	Facebook
4	HTTP Media Stream	Epic Games Launcher	Snapchat	Discord Voice
5	Disney+	Nintendo Online	Reddit	Wattpad
6	Tik Tok	Xbox Live TLS	Wordpress	Telegram
7	Amazon Prime	Steam Client	Pinterest	Discord
8	Hulu	Kayo Sports	Twitter	Microsoft Teams
9	Facebook Video	Generic Gaming	VK	WeChat
10	Operator Content	League of Legends	LinkedIn	LINE



Enquanto isso, na China...

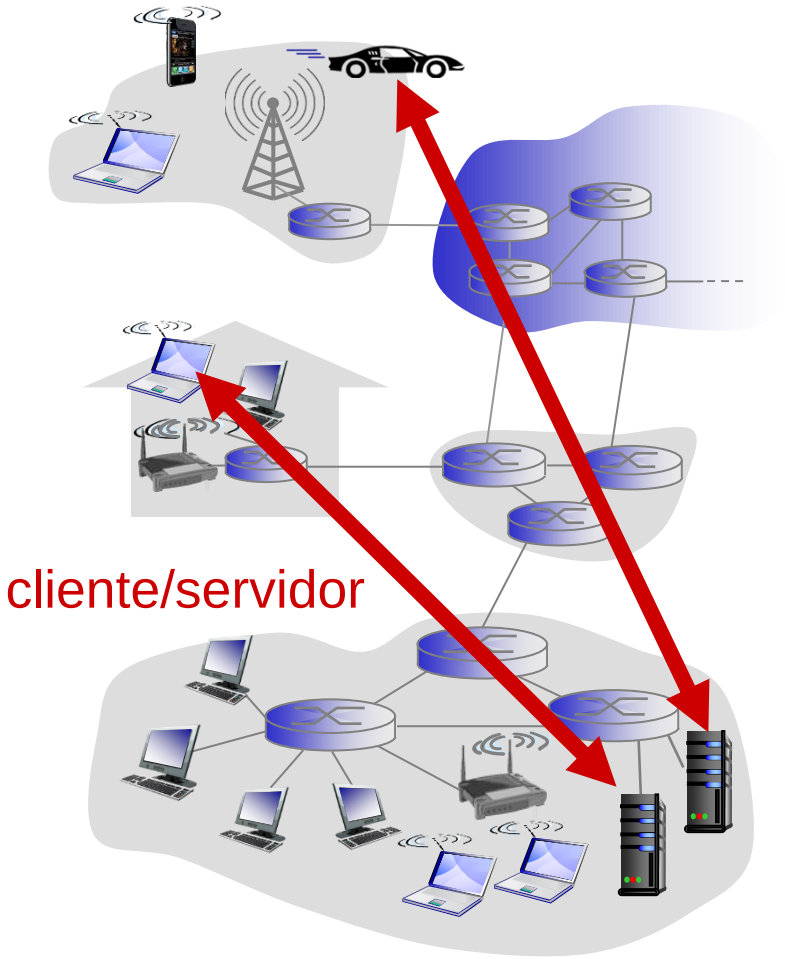


Arquiteturas de aplicativos

Possíveis estruturas de aplicativos:

- A. Cliente-servidor
- *B. Peer-to-peer* (P2P)

A. Arquitetura cliente-servidor



Servidor:

- em *host* sempre ligado
- endereço IP permanente
- *data centers* pensando em escala (servidor virtual)

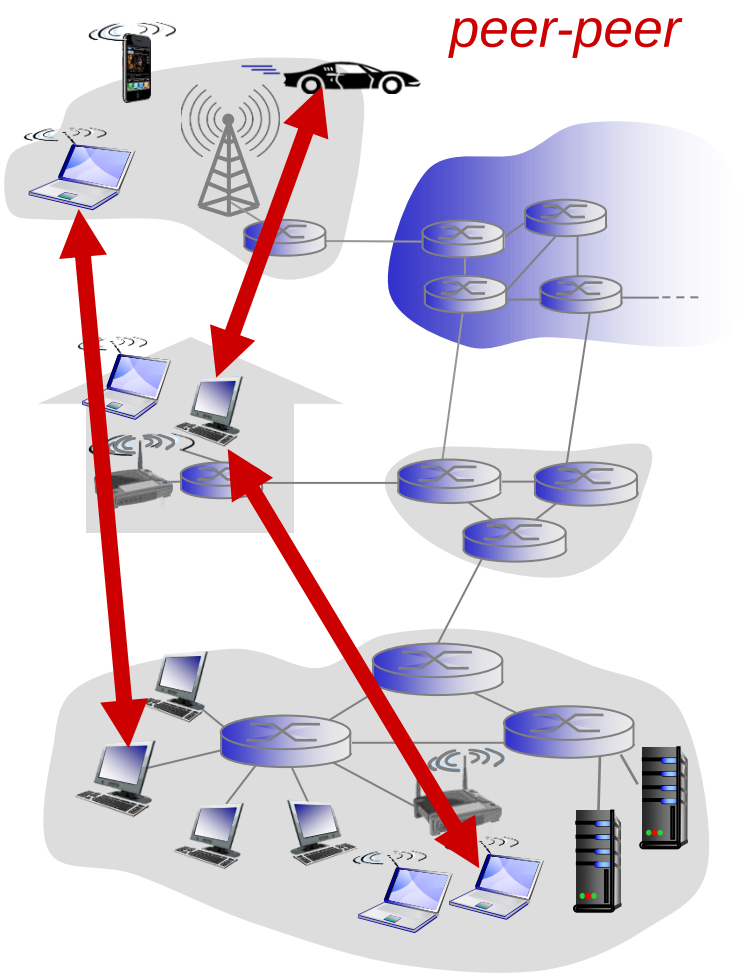
Clientes:

- comunicam-se com servidor e não diretamente entre si
- podem se conectar de forma intermitente
- podem ter endereços IP dinâmicos

Web, E-mail, *Streaming* de vídeo, ...

B. Arquitetura P2P

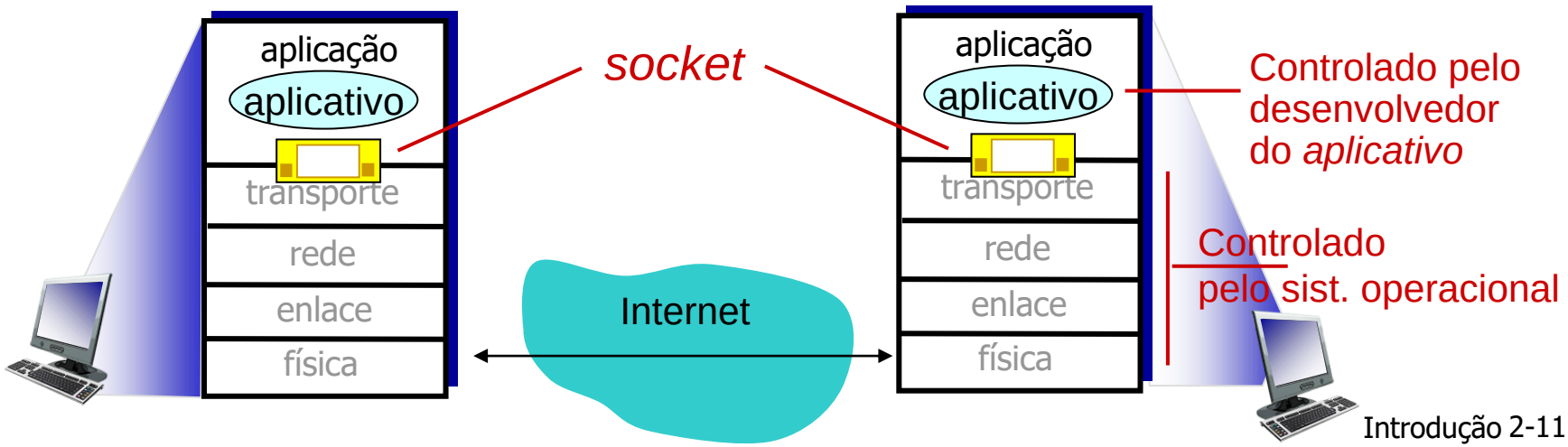
- Dependência mínima de servidores dedicados
- Comunicação direta ente sistemas finais (*peers*)
- *Peers* requerem serviço de outros *peers* – provêm serviço para outros *peers* em retorno
  - *Autoescalável* – novos *peers* trazem novas demandas de serviço, mas também fornecem serviço
- *Peers* conectam-se intermitente-mente e mudam endereço IP
  - gerenciamento mais complexo
- Exemplo: BitTorrent, Bitcoin.



Discussão:
Whatsapp é cliente-servidor ou P2P? O que motiva essa escolha de arquitetura?

Sockets

- Aplicativo envia/recebe mensagens de/para uma interface de *software* (API -*Application Programming Interface*) : *socket*
- Aplicativo transmissor envia mensagem pela porta
- Ele confia na infraestrutura de transporte do outro lado da porta para entregar mensagem ao *socket* no aplicativo receptor
- Aplicativo receptor lê dados do *socket*



Endereçamento de processos

- Para receber mensagens, processo precisa ter *identificador*
- Dispositivo *host tem endereço* IP *de* 32 bits único (IPv4)
- Endereço IP do *host* em que o processo roda é suficiente para identificar o processo?
  - *Resposta:* Não! *Muitos* processos podem estar rodando no mesmo *host*!

- *Identificador* inclui tanto endereço IP (32 bits) quanto número da porta associado com processo no *host*.
- Exemplos de números de porta:
  - Servidor *web* (HTTP): 80
  - Servidor *web* (HTTPS): 443
  - Servidor de *e-mail (SMTP)*: 25
  - Gerenciados pela *Internet Assigned Numbers Authority* (IANA)
  - http://www.iana.org
- Para enviar mensagem HTTP para servidor *web* www.usp.br:
  - Endereço IP: 200.144.248.41
  - Número de porta: 80
- Mais em breve…

Protocolo da camada de aplicação define

- Tipos de mensagens trocadas
  - Por exemplo, requisição, resposta
- Sintaxe da mensagem
  - Campos da mensagem e como eles são delineados
- Semântica das mensagens
  - Significado das informações dos campos
- Regras para quando e como aplicativos enviam e respondem mensagens

Protocolos abertos:

- Definidos em RFCs
- Permitem interoperabilidade
- Exemplos:
  - HTTP [RFC 9110]
  - SMTP [RFC 5321]

Protocolos proprietários:

- Por exemplo, Skype

Exemplo de Aplicação: Web e HTTP 1.1

Primeiro, alguns conceitos básicos…

- Uma *página web* consiste de *objetos (arquivos).*
- Um objeto pode ser um arquivo HTML, uma imagem JPEG, um arquivo de áudio, um vídeo, etc.
- Uma página *web* consiste de *"programa" HTML base* que inclui *diversos objetos referenciados.*
- Cada objeto é endereçável por uma *URL (Uniform Resource Locator)*, por exemplo,

`www.lcs.poli.usp.br/~marcio/index_arquivos/image002.jpg`

nome do *host* | local do objeto

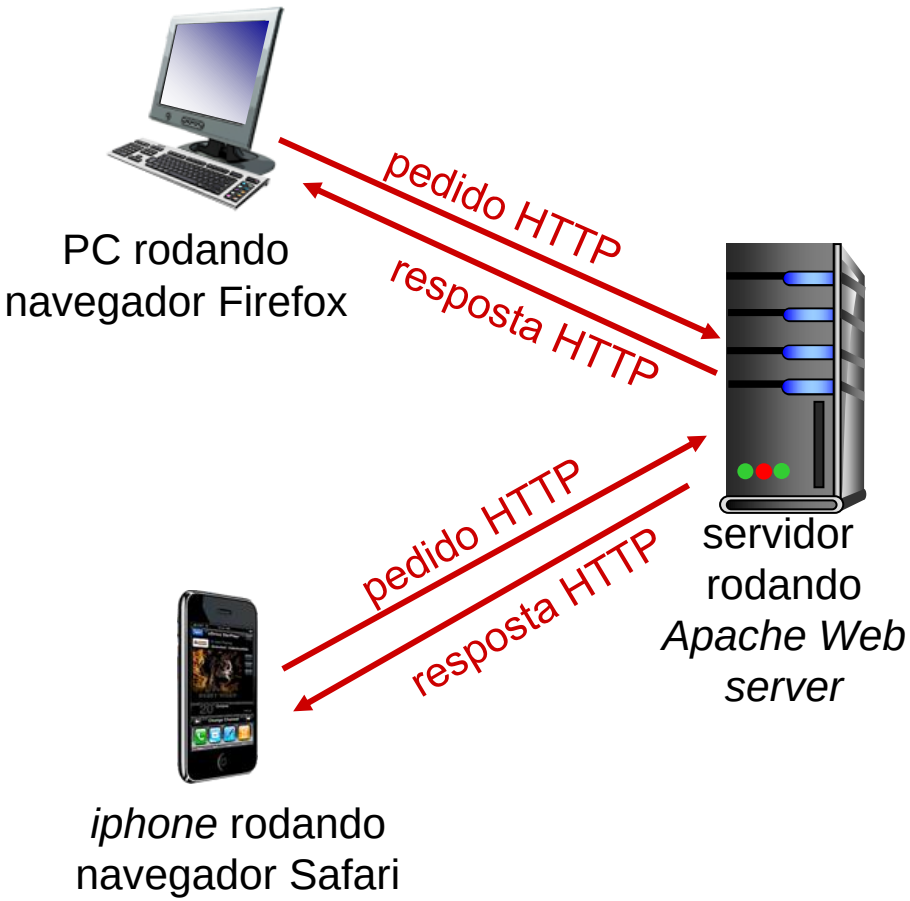
Visão geral do HTTP

HTTP: *HyperText Transfer Protocol*

- HTTP 1.0 (RFC 1945 - 1996)
- HTTP 1.1 (RFC 2068 –1997)
- HTTP/2 (RFC 7540 - 2015)
- HTTP/3 (RFC 9114 – junho/2022)

- Protocolo associado à aplicação *World Wide Web*

- Modelo cliente/servidor
  - *Cliente:* navegador que pede, recebe e apresenta objetos *Web* (Microsoft Edge, Firefox, Chrome)
  - *Servidor:* servidor *Web* envia objetos em resposta a requisições (Apache, Microsoft Internet Information Server)



Visão geral do HTTP 1.1 (continuação)

Usa TCP como protocolo da camada de transporte:

- Cliente inicia conexão TCP (cria *socket*) para o servidor, porta 80
- Servidor aceita conexão TCP do cliente
- Mensagens HTTP trocadas entre navegador (cliente HTTP) e servidor *Web* (servidor HTTP)
- Conexão TCP fechada

HTTP é "sem memória"

- Servidor não mantém informação sobre pedidos anteriores do cliente

nota

Protocolos que mantêm "memória" são complexos!

- História passada (estado) precisa ser mantido
- Se cliente/servidor cai, suas visões do "estado" podem ser inconsistentes e precisam ser reconciliadas

Tipos de Conexões HTTP 1.1

A. HTTP não persistente

- No máximo um objeto enviado sobre uma conexão TCP
  - conexão então fechada
- Fazer *download* de múltiplos objetos requer múltiplas conexões

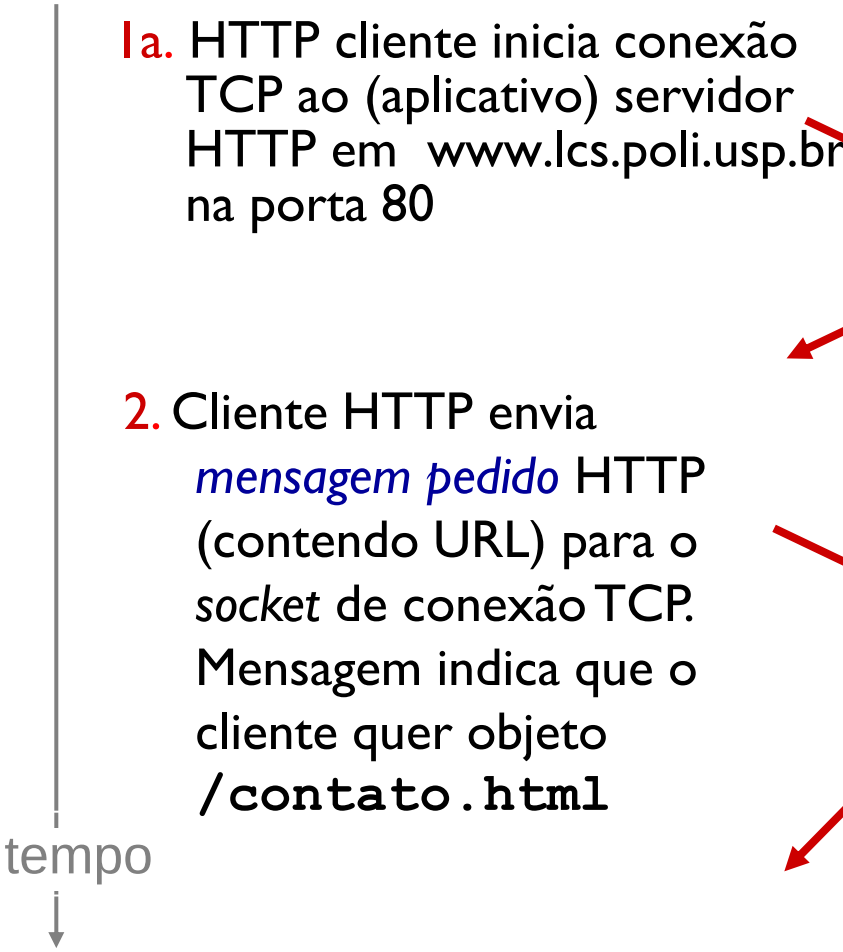
B. HTTP persistente

- Múltiplos objetos podem ser enviados sobre única conexão TCP entre cliente, servidor
- Padrão para HTTP/1.1

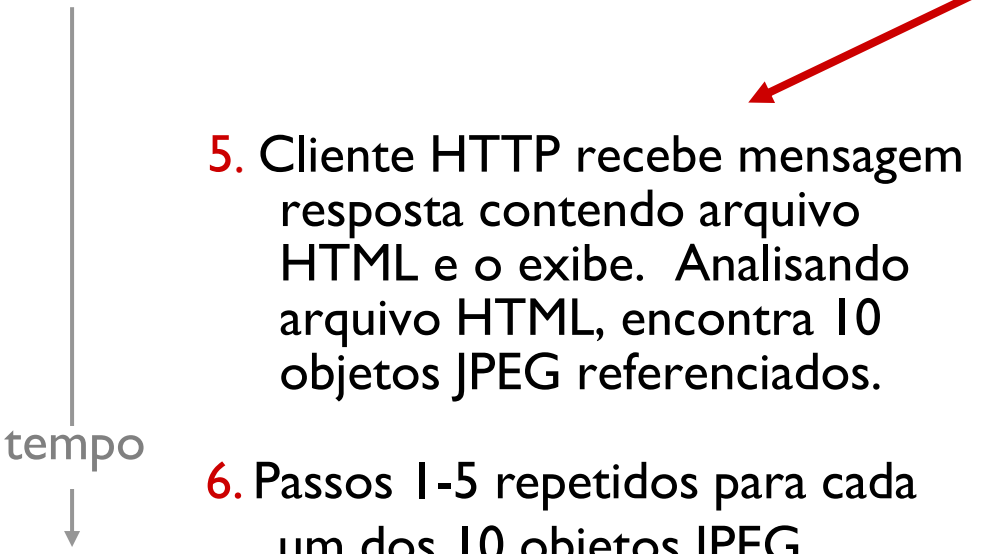
A. HTTP não persistente

Suponha que usuário digita URL:
http://www.lcs.poli.usp.br/contato.html

(contém texto e referências a 10 imagens jpeg)



A. HTTP não persistente (cont.)



4. Servidor HTTP fecha conexão TCP.

5. Cliente HTTP recebe mensagem resposta contendo arquivo HTML e o exibe. Analisando arquivo HTML, encontra 10 objetos JPEG referenciados.

6. Passos 1-5 repetidos para cada um dos 10 objetos JPEG

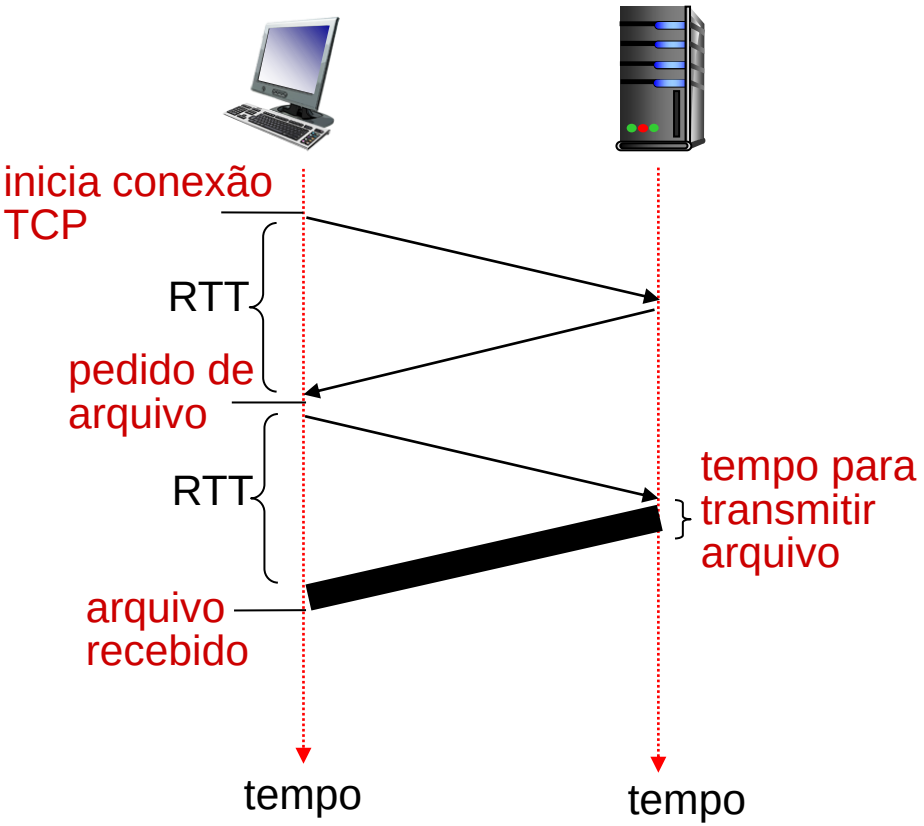
A. HTTP não persistente: tempo de resposta

RTT (*Round-Trip Time*) : tempo para pequeno pacote viajar do cliente ao servidor e voltar

tempo de resposta HTTP:

- 1 RTT para iniciar conexão TCP
- 1 RTT para pedido HTTP e primeiros bytes da resposta HTTP retornar
- Tempo de transmissão do arquivo
- Tempo de resposta para HTTP não persistente =

  2RTT+ tempo de transmissão do arquivo



B. HTTP Persistente

Problemas do HTTP não persistente :

- Requer 2 RTTs por objeto, aumentando a latência do sistema

HTTP persistente:

- Servidor deixa conexão aberta depois de enviar resposta
- Mensagens HTTP subsequentes entre mesmo cliente/servidor enviadas sobre a conexão aberta
- Cliente envia pedido assim que encontra objeto referenciado
- Perto de 1 RTT para todos os objetos referenciados

Mensagem pedido HTTP 1.1

- 2 tipos de mensagens HTTP: *pedido (request), resposta*
- Mensagem pedido HTTP:
  - ASCII (formato que permite leitura por humanos)

caractere *carriage return ASCII 13*

caractere *line-feed ASCII 10*

linha de requisição (comandos GET, POST, HEAD,…)

linhas de cabeçalho (opcionais)

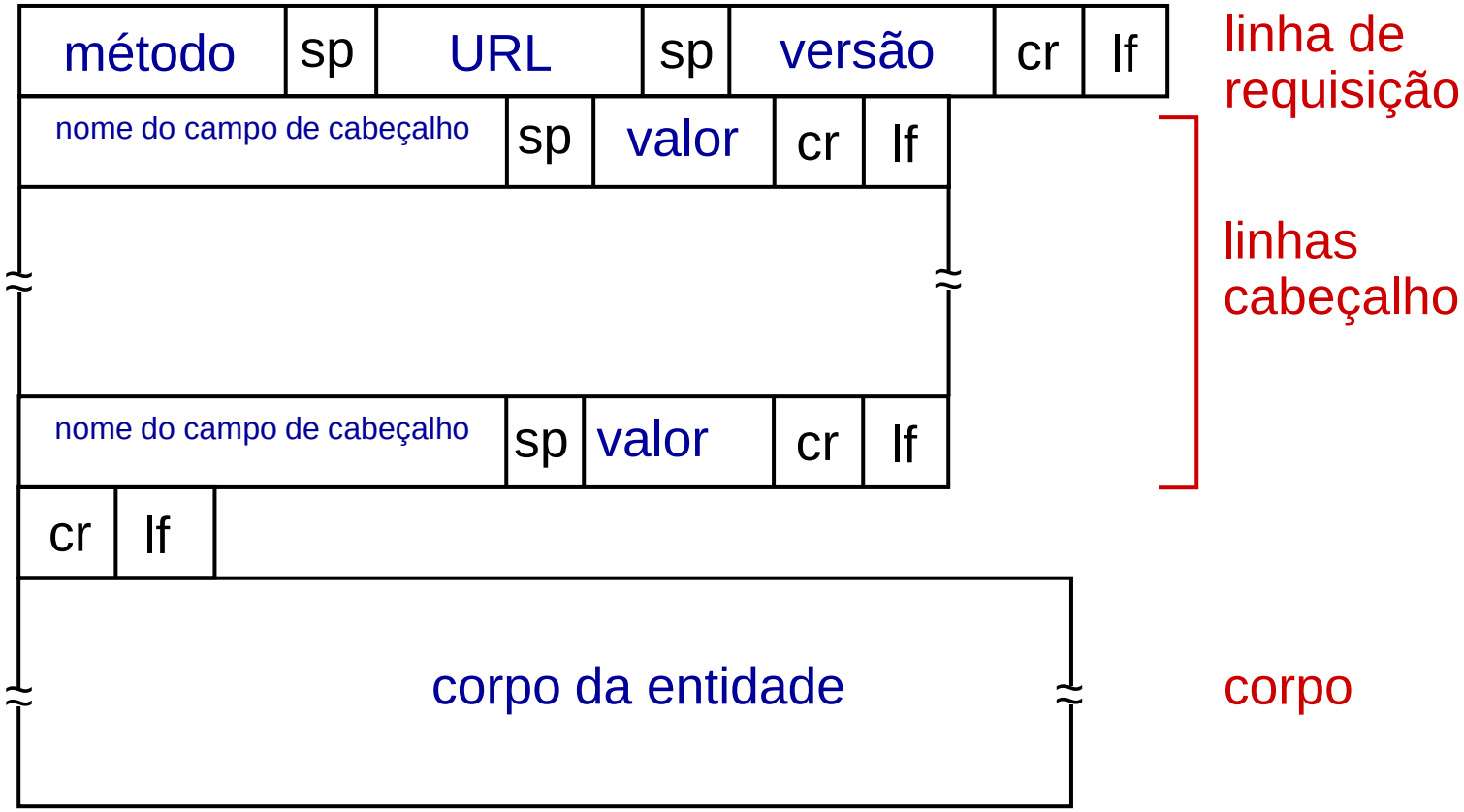
http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_HTTP_header_fields

carriage return, *line feed* no início de linha indica fim de linhas de cabeçalho

```
GET /~marcio/index.htm HTTP/1.1\r\n
Host: www.lcs.poli.usp.br\r\n
User-Agent: Firefox/3.6.10\r\n
Accept: text/html,application/xhtml+xml\r\n
Accept-Language: pt-br,en-us;q=0.5\r\n
Accept-Encoding: gzip,deflate\r\n
Accept-Charset: ISO-8859-1,utf-8;q=0.7\r\n
Keep-Alive: 115\r\n
Connection: keep-alive\r\n
\r\n
```

`close` para conexão não persistente

Mensagem pedido HTTP 1.1: formato geral



Obs.: sp=caracter de espaço; cr=carriage return; lf=line feed

Mensagem resposta HTTP 1.1

linha de estado (código e frase de estado do protocolo)

linhas de cabeçalho

dados, e.g., arquivo HTML requisitado

```
HTTP/1.1 200 OK\r\n
Date: Tue, 25 Feb 2014 18:24:20 GMT\r\n
Server: Apache/2.0.52 (CentOS)\r\n
Last-Modified: Tue, 18 Feb 2014 17:00:02
   GMT\r\n
ETag: "17dc6-a5c-bf716880"\r\n
Accept-Ranges: bytes\r\n
Content-Length: 2652\r\n
Keep-Alive: timeout=10, max=100\r\n
Connection: Keep-Alive\r\n
Content-Type: text/html; charset=ISO-8859-
   1\r\n
\r\n
data data data data data ...
```

Códigos de estado da resposta HTTP

- Código de estado aparece na 1a linha da mensagem resposta servidor-cliente
- Alguns códigos exemplos:

200 OK

- Atendido com sucesso, objeto pedido mais para frente na msg

301 Moved Permanently

- Objeto pedido foi movido, nova localização especificada mais a frente nessa msg (Location:)

400 Bad Request

- Mensagem pedido não entendida pelo servidor

404 Not Found

- Documento pedido não encontrado nesse servidor

505 HTTP Version Not Supported

Experimentando o HTTP 1.1 (lado cliente)

Usando o Wireshark

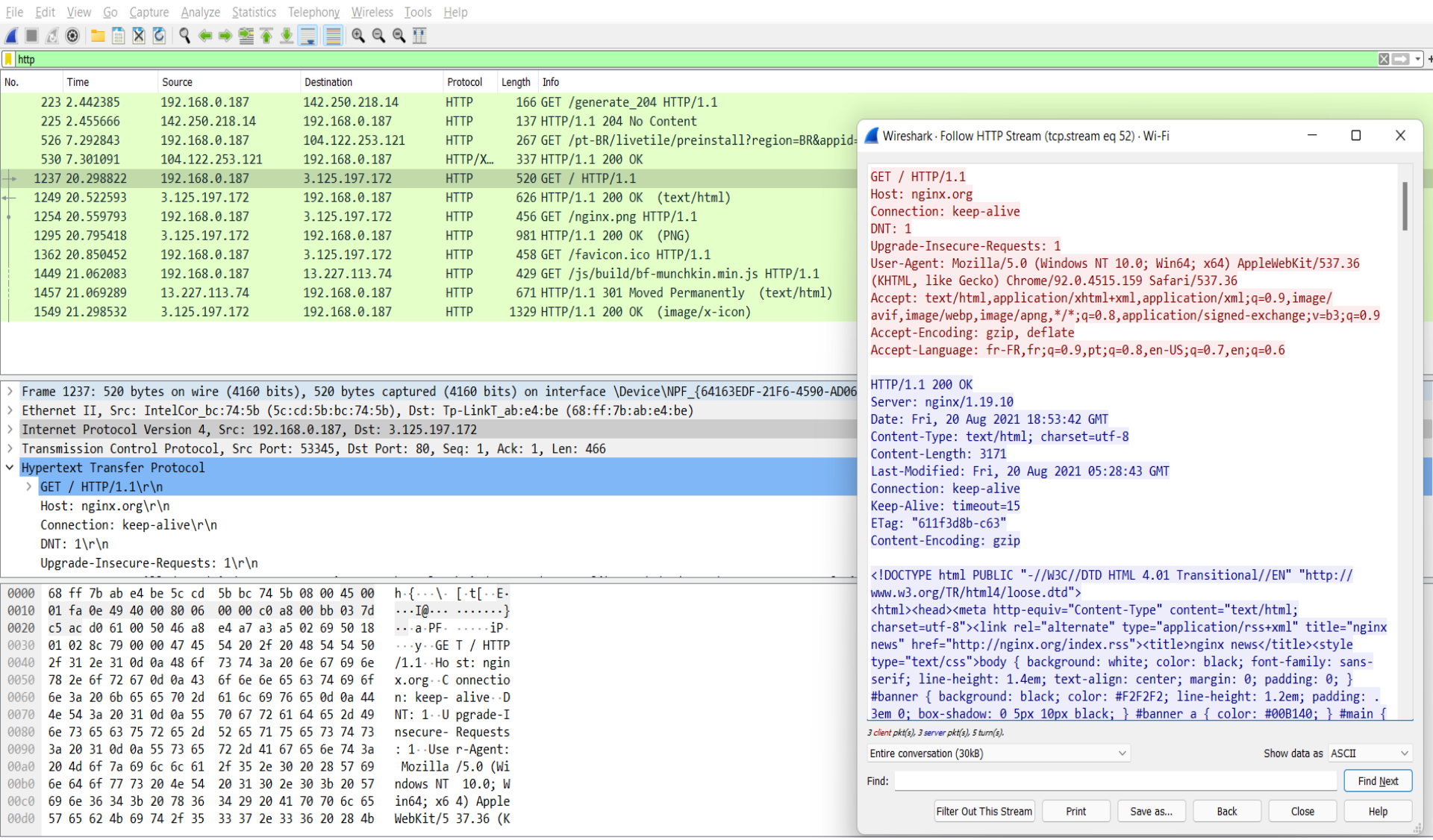
1. Abra o navegador

2. Abra o Wireshark e inicialize a varredura de pacotes no enlace usado para acesso à rede (e.g., WiFi)

3. Acesse pelo navegador o endereço http://nginx.org/

4. Siga (‘*follow*’ no Wireshark) a troca HTTP para este pedido

Experimentando o HTTP 1.1 (lado cliente)



Observações - HTTPS

- O HTTPS (*Hyper Text Transfer Protocol Secure* - protocolo de transferência de hipertexto seguro) é uma implementação do protocolo HTTP que tem se tornado o padrão na *web*.
- Possui uma camada adicional de segurança que utiliza o protocolo SSL/TLS.
- Essa camada adicional permite que os dados sejam transmitidos por meio de uma conexão criptografada e que se verifique a autenticidade do servidor e do cliente por meio de certificados digitais. Passou a ser o padrão a partir do HTTP/2.
- A porta usada para o protocolo HTTPS é a 443.

Observações - HTTP/3 e QUIC

- Diferentemente das versões anteriores, o HTTP/3 não é baseado no TCP mas sim no QUIC (RFC 9000), desenvolvido inicialmente pelo Google.
- Em 2022, cerca de 25% do tráfego HTTP já é realizado sobre o QUIC. A principal vantagem é a diminuição significativa do tempo de resposta.
- Nesta disciplina, tomamos por base a versão 1.1 do HTTP por questões didáticas. Dessa forma, fica mais fácil se concentrar nos princípios da camada de aplicação, deixando o problema da comunicação confiável para a camada de transporte que será vista a partir da próxima aula.
- Um vídeo inicial sobre as diferenças do HTTP/3 em relação às versões anteriores pode ser visto aqui.
- Mais detalhes sobre o HTTP/3 e o QUIC são deixados para cursos mais avançados.

(Kurose, p. 125) Considere o seguinte *string* de caracteres ASCII que foram capturados pelo *Wireshark* quando o navegador enviou uma mensagem HTTP GET. Os caracteres <*cr*><*lf*> são caracteres *carriage return* e *line-feed* . Responda as seguintes questões, indicando onde na mensagem HTTP GET abaixo você encontra a sua resposta.

```
GET /cs453/index.html HTTP/1.1<cr><lf>Host: gai
a.cs.umass.edu<cr><lf>User-Agent: Mozilla/5.0 (
Windows;U; Windows NT 5.1; en-US; rv:1.7.2) Gec
ko/20040804 Netscape/7.2 (ax) <cr><lf>Accept:ex
t/xml, application/xml, application/xhtml+xml, text
/html;q=0.9, text/plain;q=0.8,image/png,*/*;q=0.5
<cr><lf>Accept-Language: en-us,en;q=0.5<cr><lf>Accept-
Encoding: zip,deflate<cr><lf>Accept-Charset: ISO
-8859-1,utf-8;q=0.7,*;q=0.7<cr><lf>Keep-Alive: 300<cr>
<lf>Connection:keep-alive<cr><lf><cr><lf>
```

(a) Qual o URL do documento requisitado pelo navegador?

(b) Qual a versão de HTTP o navegador está rodando?

(c) O navegador requisitou uma conexão persistente ou não persistente?

(d) Qual é o endereço IP do *host* no qual o navegador está rodando?

(e) Que tipo de navegador iniciou a mensagem? Por que é necessário o tipo de navegador numa mensagem de pedido HTTP?