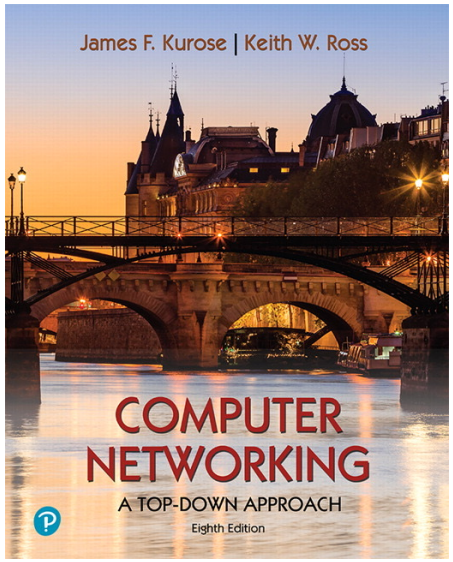
HTTP

Comunicações por Computador

Mestrado Integrado em Engenharia Informática

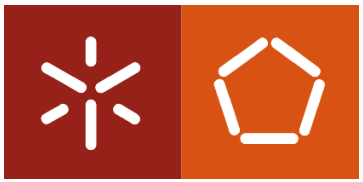
3º ano/2º semestre



***Computer Networking: A Top Down Approach*, Capítulo 2**

Jim Kurose, Keith Ross, Addison-Wesley ©2021 .

HTTP
Hypertext Transfer Protocol



Conceitos básicos, bem conhecidos:

- Uma página *web* consiste numa coleção de objetos incluída num ficheiro base HTML que pode incluir várias referências a outros objetos/páginas *web*
- Um objeto pode ser um outro ficheiro HTML, uma imagem JPEG, um *applet* Java, um ficheiro áudio, etc.,
- Cada objeto é endereçado/referido por um *Uniform Resource Locator* (URL).

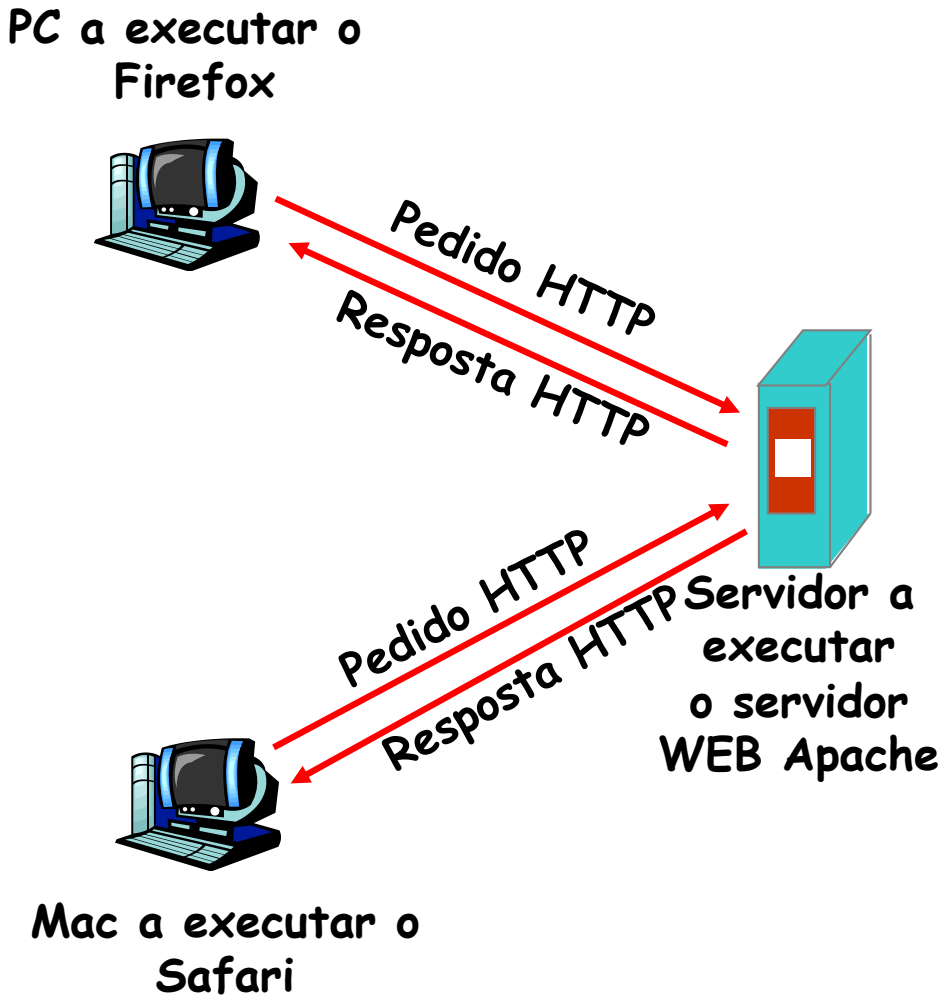
Exemplo de URL:

HTTP

Como funciona?

HTTP: hypertext transfer protocol

- **Protocolo do nível da aplicação**
- **Modelo cliente/servidor**
  - *cliente:* browser pede, recebe e mostra objetos Web
  - *servidor:* servidor envia objetos como resposta a pedidos



HTTP 0.9: versão inicial (não oficial)

HTTP/1.0: RFC 1945 (maio 1996)

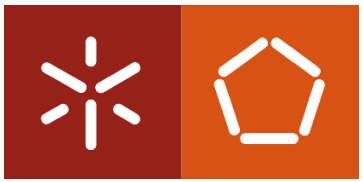
HTTP/1.1: RFC 2068 (janeiro 1997)

HTTP/2: RFC 7540 (maio 2015)

HTTP/3: RFC 9114 (junho 2022)

HTTP

Como funciona?



Utiliza o TCP:

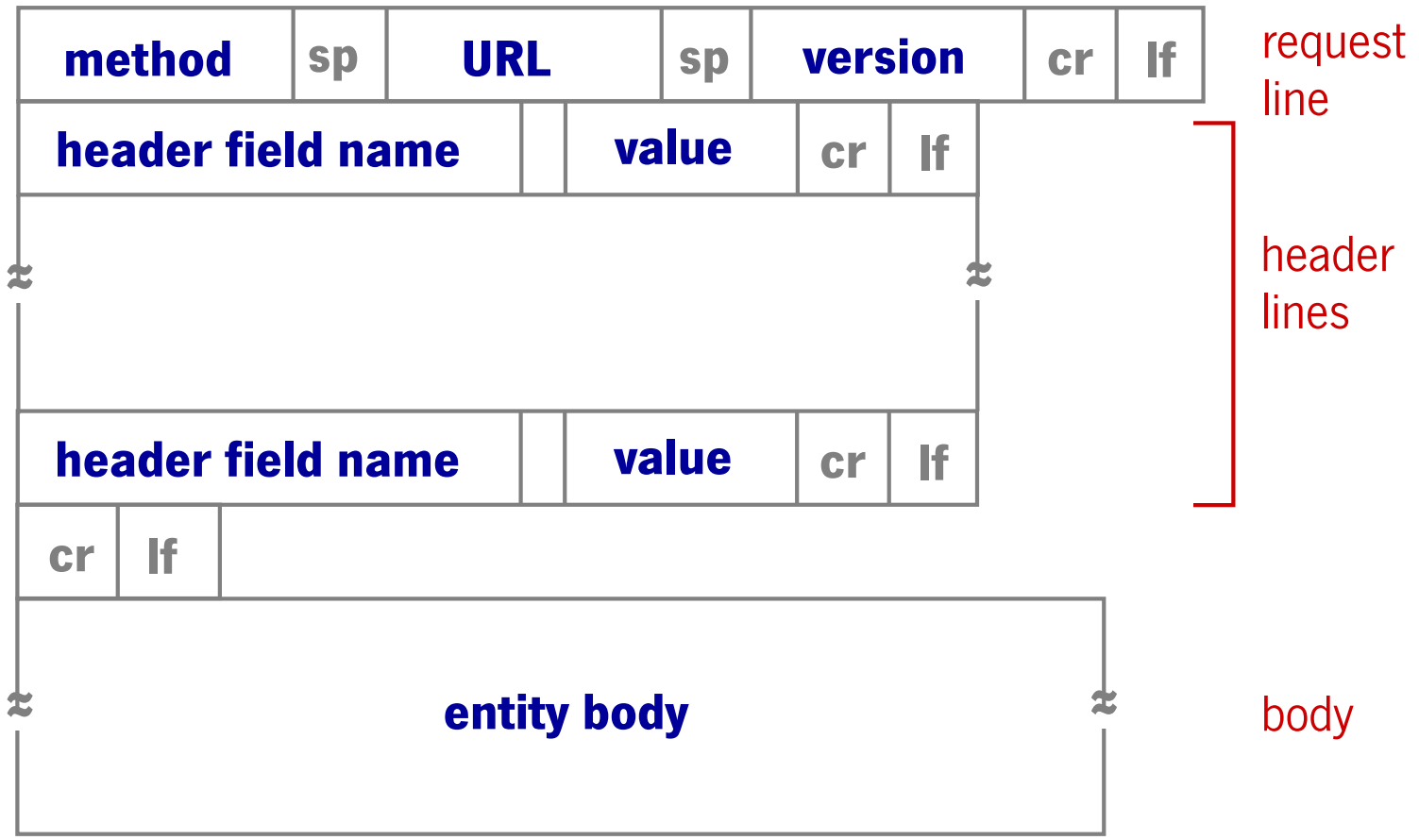
- O cliente cria um *socket e* inicia uma conexão TCP com um servidor HTTP (por defeito, à escuta na porta 80);
- O servidor TCP aceita o pedido de conexão do cliente;
- São trocadas mensagens HTTP (mensagens de protocolo de nível aplicacional) entre o *browser* (cliente HTTP) e o servidor web/HTTP;
- A ligação TCP é terminada.

O HTTP não tem estado:

- O servidor não mantém estado acerca dos pedidos anteriores dos clientes.
- Os protocolos orientados ao estado são mais complexos pois os estados passados têm que ser armazenados. Se o servidor/cliente falha a sua visão do estado pode ficar inconsistente e terá que ser sincronizada.

HTTP

Formato das mensagens: pedido HTTP



HTTP

Exemplo da sintaxe duma mensagem...

HTTP Request Message

GET	/directoria/pagina.html	HTTP/1.1
Host: www.sitio.pt		
Connection: close		
User-Agent: Mozilla/4.0		
Accept-Language: PT		

<new line>

Corpo da mensagem (*vazio no caso do GET*)

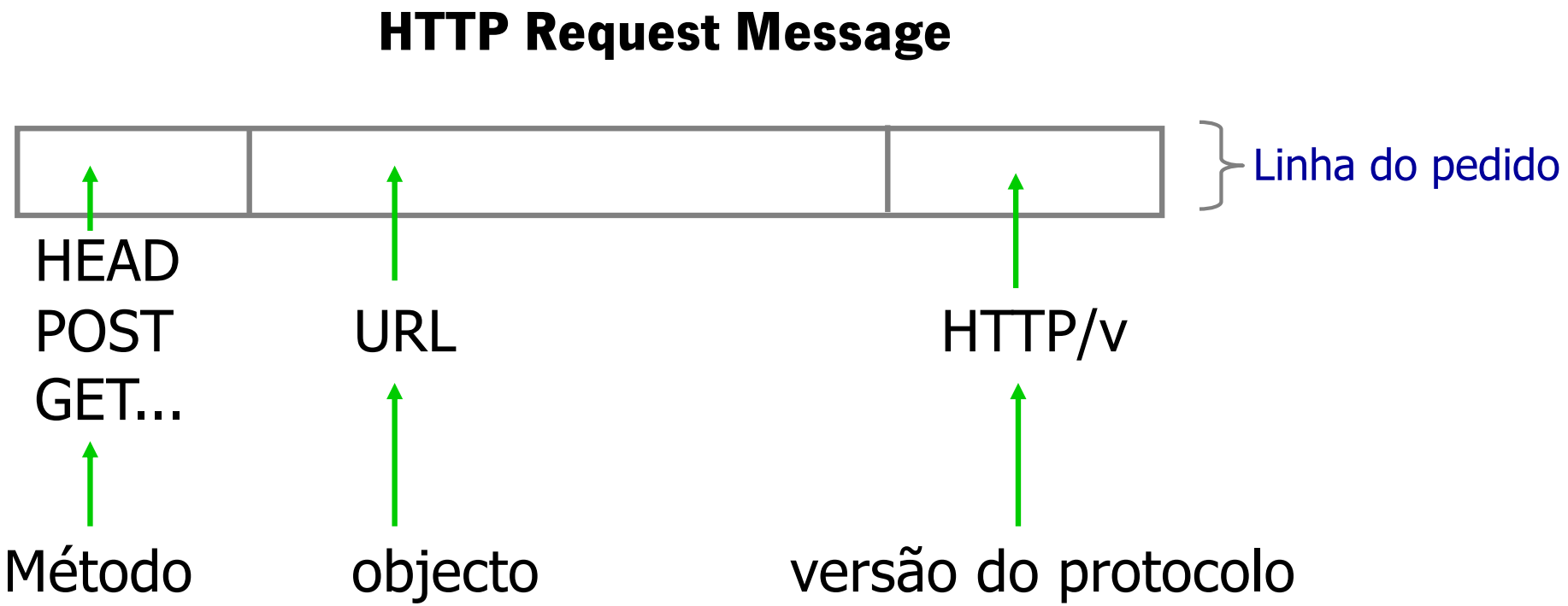
Linha do pedido

Linhas do cabeçalho

Dados da mensagem

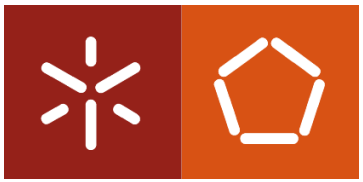
HTTP

Exemplo da sintaxe duma mensagem...



HTTP

Input dados num formulário...

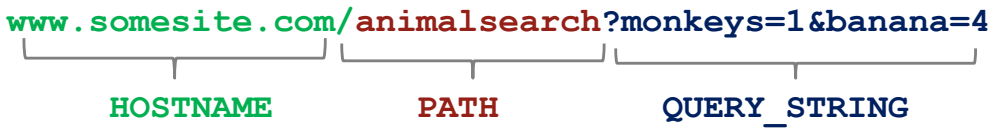


Método POST:

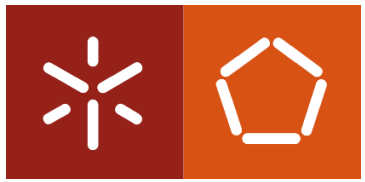
- É frequente as páginas *web* incluírem um formulário para introdução de dados.
- Nesse caso pode utilizar-se o método POST em vez do método GET.
- O método POST é muito semelhante ao método GET, mas o objeto requerido depende do *input* introduzido pelo utilizador através de um formulário.
- O *input* introduzido pelo utilizador é enviado para o servidor HTTP no corpo da *HTTP Request Message*, utilizando o método POST.

Método URL:

- Utiliza o método GET.
- O input é enviado para o servidor HTTP utilizando o campo URL da *HTTP Request Message*, com o método GET.



HTTP
Métodos



HTTP/1.0

- **GET**
- **POST**
- **HEAD**
  (pede ao servidor para não incluir o objeto requerido na resposta, apenas o cabeçalho do objeto)

HTTP/1.1

- **GET, POST, HEAD**
- **PUT**
  (faz o *upload* do objeto para a localização especificada no campo URL)
- **DELETE**
  (apaga o ficheiro especificado no URL)

HTTP

Formato das mensagens: resposta HTTP

HTTP Response Message

HTTP/1.1	200	OK
Connection: close		
Date: 07 Mai 2003 11:35:15 UTC+1		
Server: Apache/1.3.0 (Unix)		
Last-Modified: 05 Mai 2003 09:23:45 UTC+1		
Content-Length: 6825		
Content-Type: text/html		

<new line>

Corpo da mensagem (objecto)

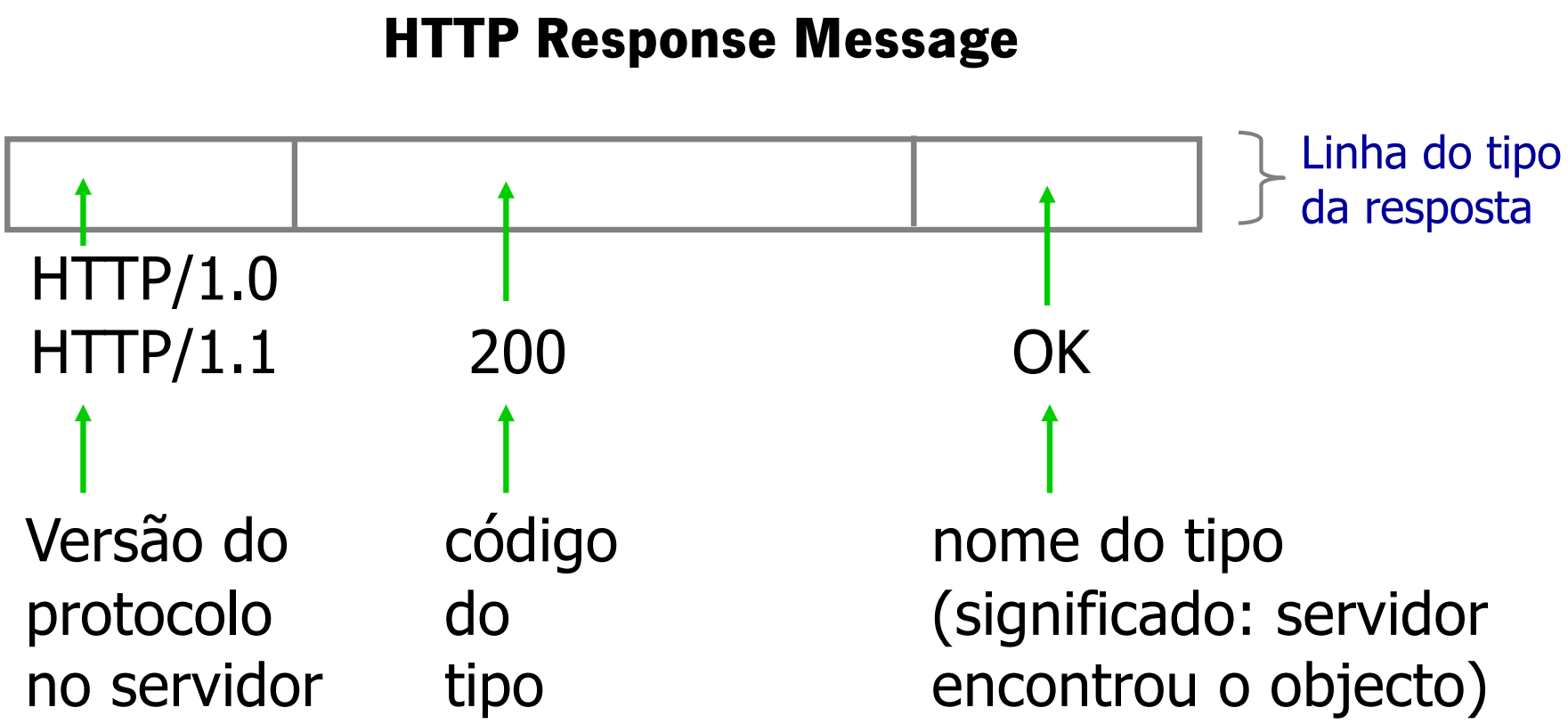
Linha do tipo da resposta

Linhas do cabeçalho

Dados da mensagem

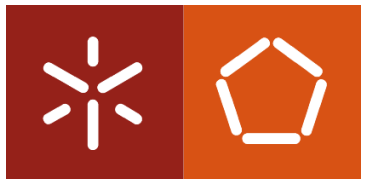
HTTP

Formato das mensagens: resposta HTTP



HTTP

Códigos – tipo e significado



Alguns códigos de tipo e seu significado

200 OK

301 Moved permanently, location: xyz

304 Not modified

400 Bad request (pedido não entendido)

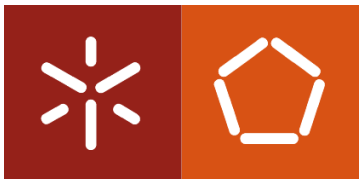
401 Authorization required

404 Not found (objecto não encontrado)

505 HTTP version not supported

HTTP

Aplicação cliente de linha (browser)



$ http -v GET www.di.uminho.pt

$ https -v –verify=no GET https://marco.uminho.pt/

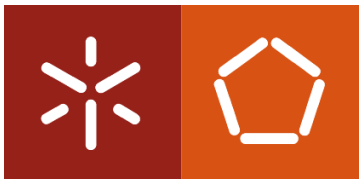
```
GET / HTTP/1.1
Accept: */*
Accept-Encoding: gzip, deflate
Connection: keep-alive
Host: www.di.uminho.pt
User-Agent: HTTPie/2.0.0

....
```

→ ver os últimos 4 slides, para mais exemplos com API REST

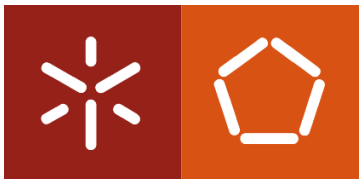
→ e o site do **HTTPie** https://httpie.org/ (ou alternativas)

HTTP
API REST



- **REST**
  - ***resource-oriented***: usar substantivos e não verbos (coisas!)
    - Bons exemplos: /users, /books, /sensors ...
    - Péssimos exemplos: /delete_user, /list_books
  - **Interface uniforme**: métodos HTTP e códigos de estado
    - GET /book/id | POST /books | PUT /book/id | DELETE /book/id
    - 200 OK | 401 Unauthorized
  - **Stateless:** sem estado, cada pedido vale só por si (autocontido)
  - **Representação**: JSON (default), mas pode ser negociado com cabeçalhos *Accept:* (cliente) e *Content-Type:* (servidor)

HTTP
API REST



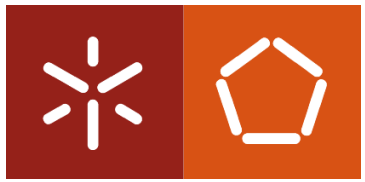
Lista de operações sobre um Recurso (ex: livros) é definida aproveitando a semântica dos métodos do protocolo HTTP:

Recurso	POST (Create)	GET (Read)	PUT (Update)	DELETE (Delete)
/livros	Cria um novo livro; Pedido: objeto "livro" no corpo do HTTP Request!	Lista todos os livros; Pedido: vazio; Resposta: listagem de livros;	Atualiza um conjunto de livros passados no corpo do pedido HTTP	Apaga todos os livros; Pedido: vazio; Resposta: sucesso ou insucesso;
/livros/01	Normalmente não é usado! Erro!	Devolve o objeto que representa o livro com id 01	Se existe livro 01 então atualiza-o; Senão dá erro!	Se existe livro 01 apaga-o;

CRUD (Create / Read / Update / Delete)

HTTP

Utilização da camada de transporte TCP



HTTP não persistente:

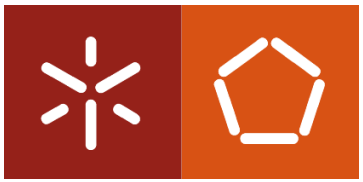
- Só pode ser enviado no máximo um objeto *web* por cada conexão estabelecida.
- O HTTP/1.0 utiliza HTTP não persistente.
- Mínimo de 2 RTT/objeto.
- Exige mais recursos do S.O.
- Alguns browsers abrem várias conexões TCP em paralelo para pedirem vários objetos referidos no mesmo objeto.

HTTP persistente:

- Podem ser enviados múltiplos objetos *web* por cada ligação estabelecida entre o cliente e o servidor.
- O HTTP/1.1 usa, por defeito, conexões persistentes.
- Servidor mantém conexão TCP aberta.
- Com ou sem estratégia de *pipelining*.

HTTP

Persistente



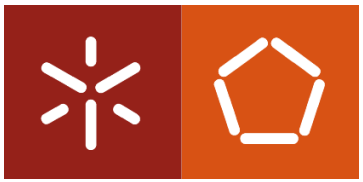
Sem pipelining:

- O cliente envia um novo pedido apenas quando recebe a resposta ao anterior.
- No cenário mais otimista consome-se um RTT por cada objeto referido.

Com pipelining:

- Modo por defeito no HTTP/1.1.
- O cliente envia os pedido assim que os encontra no objeto referenciador.
- No cenário mais otimista é consumido um RTT para o conjunto de todos os objetos referenciados.

HTTP – Modelo de conexão

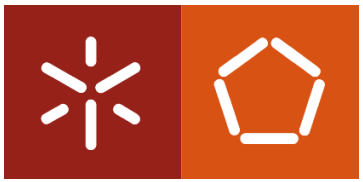


Protocolo	Modelo	Ajustes
HTTP/1.0	Um pedido, uma conexão TCP Modelo: fechar conexão é o default	Nada
HTTP/1.1	Persistente (múltiplos pedidos por conexão) Com ou sem pipelining Modelo: reutilizar conexões é o default	Connection: close Connection: keep-alive Keep-Alive: timeout=5, max=100
HTTP/2	Persistente, com multiplexagem de pedidos	Nada
HTTP/3	Persistente, com multiplexagem de pedidos	Nada

O cabeçalho "keep-alive" permite ajustar o modelo de conexão com um temporizador de inatividade após o qual o servidor fecha a conexão e também o número máximo de pedidos nessa conexão.

HTTP

Exemplo não persistente...



URL: **`www.uminho.pt/DI/index.html`**
(contém texto e referências para imagens)

1a. O cliente HTTP inicia uma conexão TCP com o servidor que está a ser executado no sistema **`www.uminho.pt`** e está à escuta na porta 80

1b. O servidor HTTP aceita o pedido de conexão e avisa o cliente.

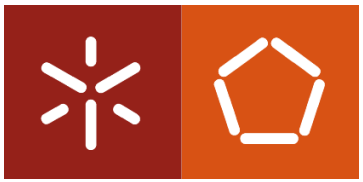
2. O cliente HTTP envia uma mensagem do tipo *request message* (contendo a URL) através de um novo *socket* TCP. A mensagem indica que o cliente deseja o objeto web **`DI/index.html`**.

3. O servidor HTTP recebe a *request message* e constrói uma *response message* que contém o objeto web requerido, enviando depois essa mensagem através do *socket* TCP estabelecido.

tempo

HTTP

Exemplo não persistente...



4. O servidor HTTP pede para terminar a conexão, mas a ligação só é terminada quando o cliente receber a *response message*.

5. O cliente HTTP recebe a *response message* que contem o ficheiro html, "mostra" o ficheiro e faz o *parsing* do seu conteúdo encontrando a referência a vários objetos que são imagens. Fecha a conexão TCP.

[...] Repete os passos 1-5 para cada objeto referenciado.

tempo

HTTP

Tempo de Resposta

$$\boldsymbol{RTT} = 2 * TP + N * TEQ + N * PR$$

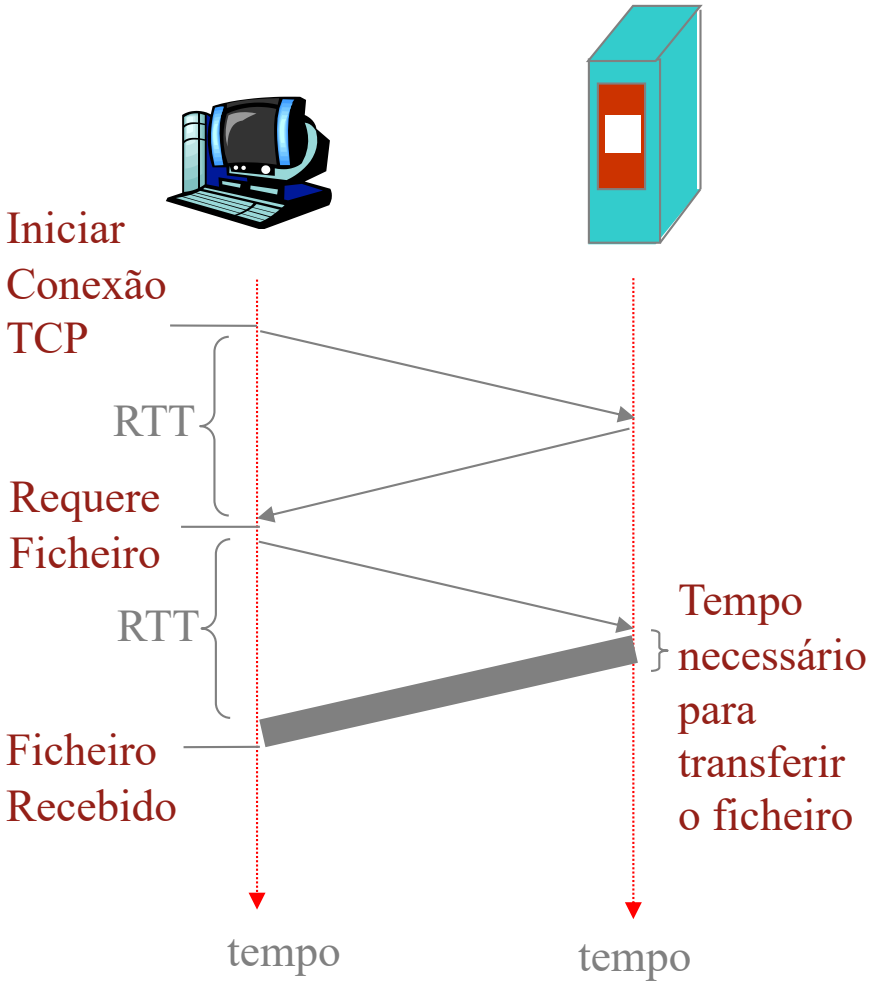
TP: Tempo de Propagação

TEQ: Tempo de Espera nas filas de todos os sistemas (origem, destino e intermédios)

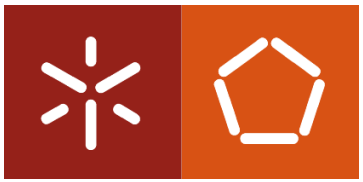
PR: Tempo de Processamento em todos os sistemas (origem, destino e intermédios)

Tempo de Resposta $= 2 * RTT + TT$

- um RTT para iniciar uma conexão TCP
- um RTT para enviar a *request message* e começar a receber o primeiro bit do ficheiro na *response message*
- e o TT, que é o tempo de transmissão do ficheiro

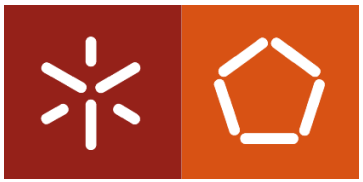


Exercício



- Pretende-se estimar o atraso na receção de um documento Web usando o protocolo HTTP. Sabemos que o atraso de ida-e-volta entre cliente e servidor é **4 ms**, que o débito do caminho que une o cliente ao servidor é **1024 Kbps** e que cada segmento TCP contém no máximo **128 *bytes*** de dados. Desprezam-se os tempos de transmissão dos cabeçalhos; em particular, despreza-se o tempo de transmissão dos segmentos que não contêm dados pertencentes ao documento Web. As respostas às alíneas seguintes devem ser ilustradas com diagramas espaço-tempo
  - Se o documento consistir num único objeto base com 2048 *bytes*, a memória de receção TCP for ilimitada e o TCP utilizar o mecanismo de arranque lento ("slow-start"), mudando para a fase de "*congestion avoidance*" quando a janela atinge os 4 segmentos, determine o atraso na recepção do documento, desde o instante em que o cliente estabelece contacto com o servidor até que o documento é recebido na totalidade.
  - Assuma, agora, que o documento Web contém 4 imagens que são referenciadas no objecto base. Cada imagem contém 1024 *bytes* e a versão de HTTP usada é não-persistente (1.0) suportando um máximo de 2 sessões paralelas. Determine o atraso até à recepção do documento, considerando que a largura de banda disponível é repartida equitativamente entre sessões paralelas.
  - Considere agora que usa a versão 1.1 do protocolo HTTP primeiro sem possibilidade de pedidos em sequência (“pipelining”) e depois com pipelining.

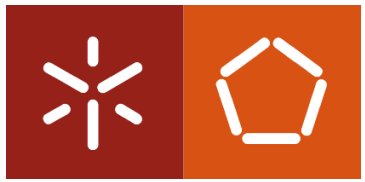
Exercício



- Pretende-se estimar o tempo mínimo necessário para obter um documento da Web. O documento é constituído por 6 objectos: o objecto base HTML e cinco imagens referenciadas no objecto base. O *browser* está ligado ao servidor HTTP por uma única linha com RTT de 20 ms. O tempo mínimo de transmissão na linha do objecto base HTML é de 8 ms e o tempo mínimo de transmissão na linha de cada imagem é de 80 ms. Admita que o *browser* só pode pedir as imagens quando receber completamente o objecto base. Admita que o utilizador o utilizador sabe o endereço IP do servidor, indicando-o no *browser*. A dimensão dos pacotes de estabelecimento de ligação, de confirmação de estabelecimento de ligação e de envio dos pedidos HTTP é desprezável. Os tempos de processamento dos pacotes são também desprezáveis. Não há mais tráfego nenhum na rede.

  a) Ilustrando a situação com um diagrama temporal, qual o tempo necessário para obter o documento (todos os objectos) se utilizar HTTP não persistente com um máximo de 4 ligações paralelas?
  b) Ilustrando a situação com um diagrama temporal, qual o tempo necessário para obter o documento (todos os objectos) se utilizar HTTP/1.1 com *pipelining* em todos os pedidos?

HTTP
Informação de estado – *Cookies*



Quatro componentes:

1) Linha com *cookie* no cabeçalho da mensagem *HTTP response*
2) Linha com *cookie* no cabeçalho da mensagem HTTP *request*
3) Ficheiro com *cookies* mantido na máquina do utilizador, gerido pelo seu *browser*
4) Uma base de dados de suporte do lado servidor *Web*

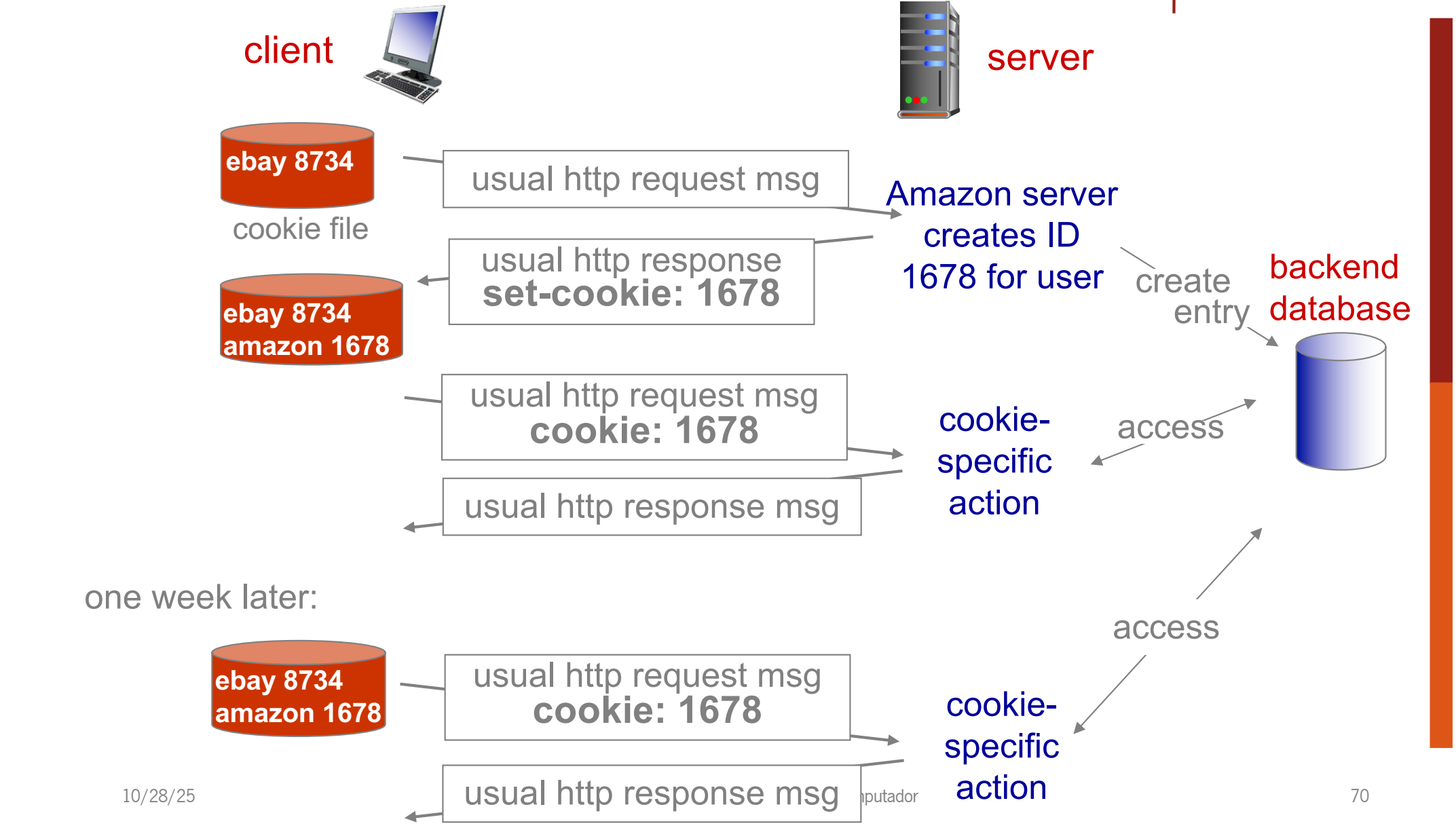
Exemplo:

Um utilizador acede sempre à Internet a partir do seu PC e visita um site de comércio eletrónico pela primeira vez. Quando o primeiro pedido chega ao servidor *Web,* este gera:

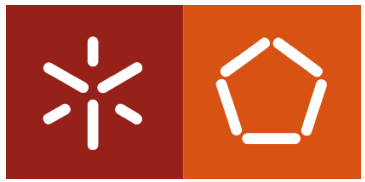
- Um Identificador único, e
- Uma entrada na base de dados de suporte para esse Identificador.

HTTP

Informação de estado – *Cookies*



HTTP
Informação de estado – *Cookies*



O que os cookies permitem:

- autorizar
- implementar cabaz de compras
- fazer sugestões ao utilizador
- manter informação da sessão por cada utilizador (ex: *Web e-mail*)
- etc...

efeitos colaterais

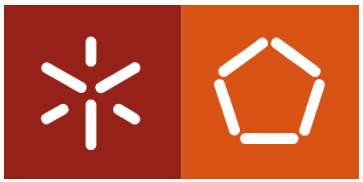
Os Cookies e a privacidade:

- os cookies ensinam muito aos servidores a respeito dos utilizadores e seus hábitos
- o utilizador pode estar a fornecer dados ao servidor sem saber...

Como manter informação do "estado":

- entidades protocolares guardam estado por emissor/recetor entre transações distintas
- cookies: forma como as mensagens http transportam a informação de estado

HTTP
Servidores *Proxy – Cache*



Porquê?

- reduz o tempo de resposta para os pedidos dos clientes
- reduz o tráfego nos *links* de acesso ao exterior (os mais problemáticos para a instituição).
- a Internet está povoada de *caches* e que permitem que fornecedores de conteúdos mais "pobres" disponibilizem efetivamente os seus conteúdos (um pouco como as redes de partilha de ficheiros P2P...)

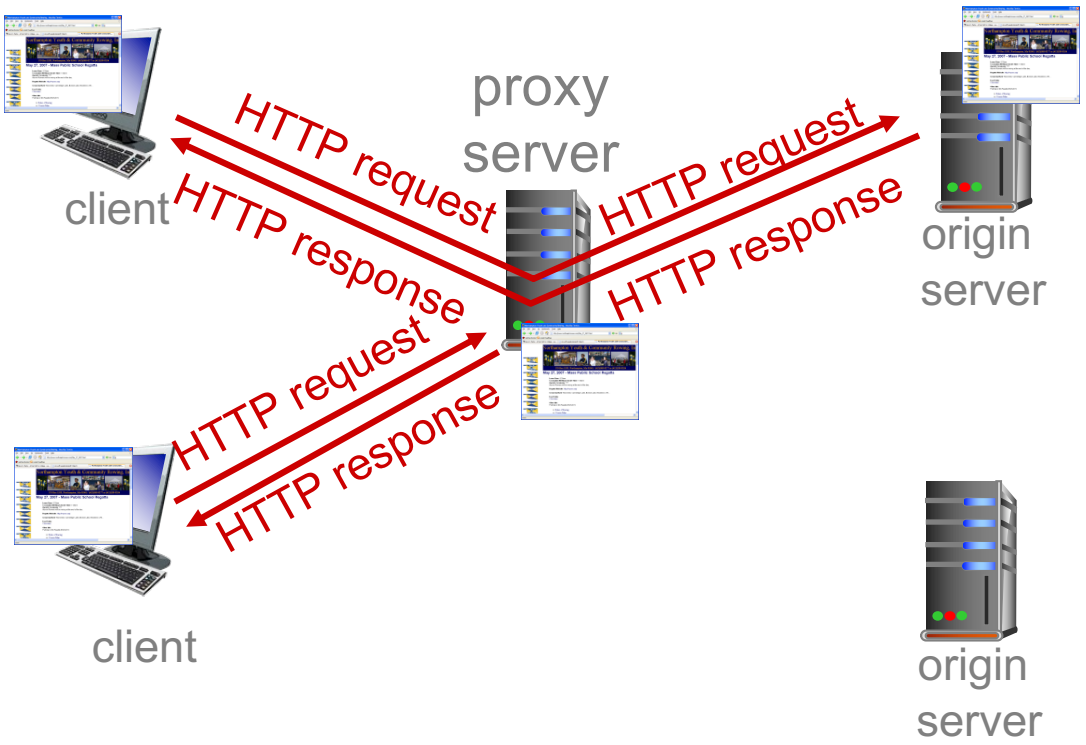
Como?

- o servidor proxy que implementa a *cache* tem de atuar simultaneamente como cliente e como servidor
- são tipicamente instalados pelos ISP ou pelas próprias instituições (universidades, empresas, ISP residenciais, etc.)

HTTP
Servidores *Proxy* – *Cache*

Objetivo: satisfazer o pedido do cliente sem envolver o servidor HTTP alvo (que está longe)

- O utilizador configura o cliente HTTP (*browser*) para aceder à *Web* através de um servidor proxy;
- O *browser* enviar todas as *HTTP request messages* para o servidor proxy:
  - Se uma cópia do objeto requerido está na *cache* do proxy o servidor proxy retorna essa cópia;
  - Senão, o servidor proxy contacta o servidor HTTP alvo, envia-lhe a *HTTP request message*, aguarda a resposta que guarda em cache e retorna ao cliente.



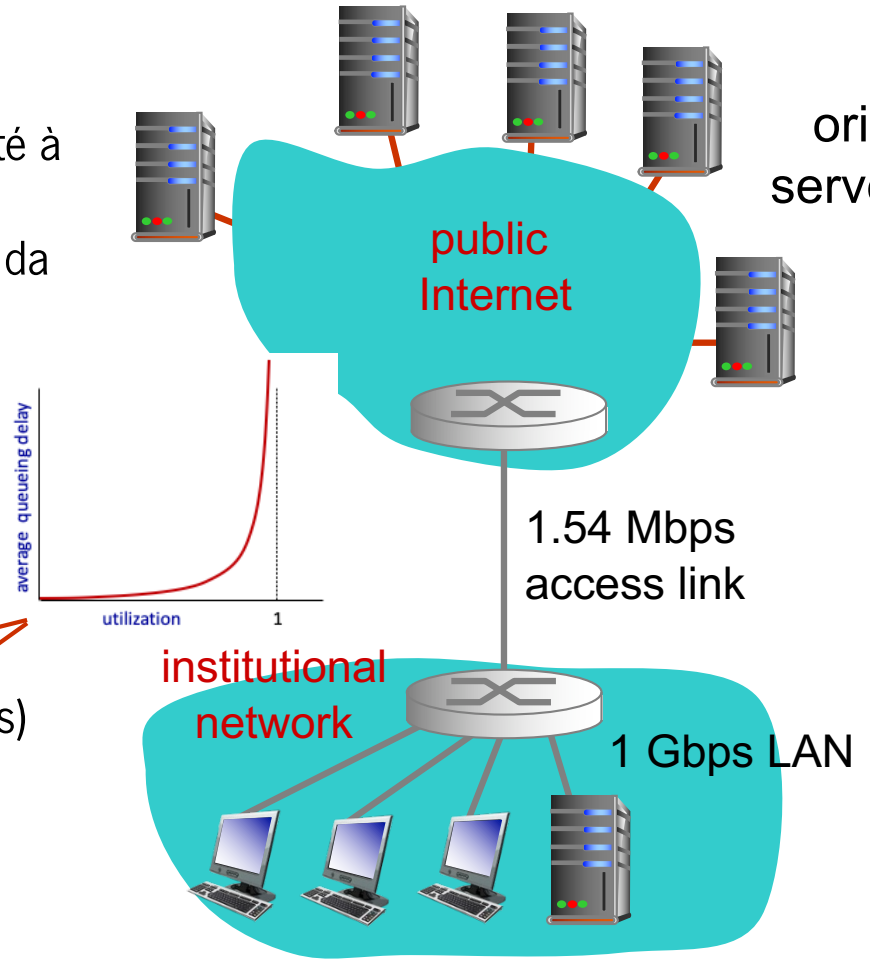
HTTP
Exemplo *Web Proxy - Caching*

Pressupostos:

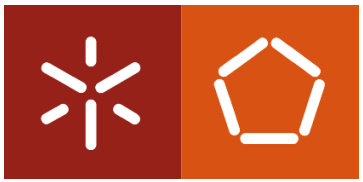
- Tamanho médio dos objetos = 100Kbits
- Tempo médio de atraso desde o pedido HTTP até à chegada da resposta = 2 seg
- Taxa média de pedidos efetuados pelos clientes da instituição para servidores HTTP = 15/seg
  - Taxa de transmissão média = 1.50 Mbps

Consequências:

- Utilização da LAN = **15%**
  (15 pedidos/seg)*(100Kbits/pedido)/(10Mbps)
- Utilização do *Link* de acesso = **97%**
  (15 pedidos/seg)*(100Kbits/pedido)/(1.54Mbps)
- Total do atraso (*delay*) =
  = atraso Internet + atraso acesso + atraso LAN
  = 2 segundos + **minutos** + milissegundos



HTTP
Exemplo *Web Proxy - Caching*



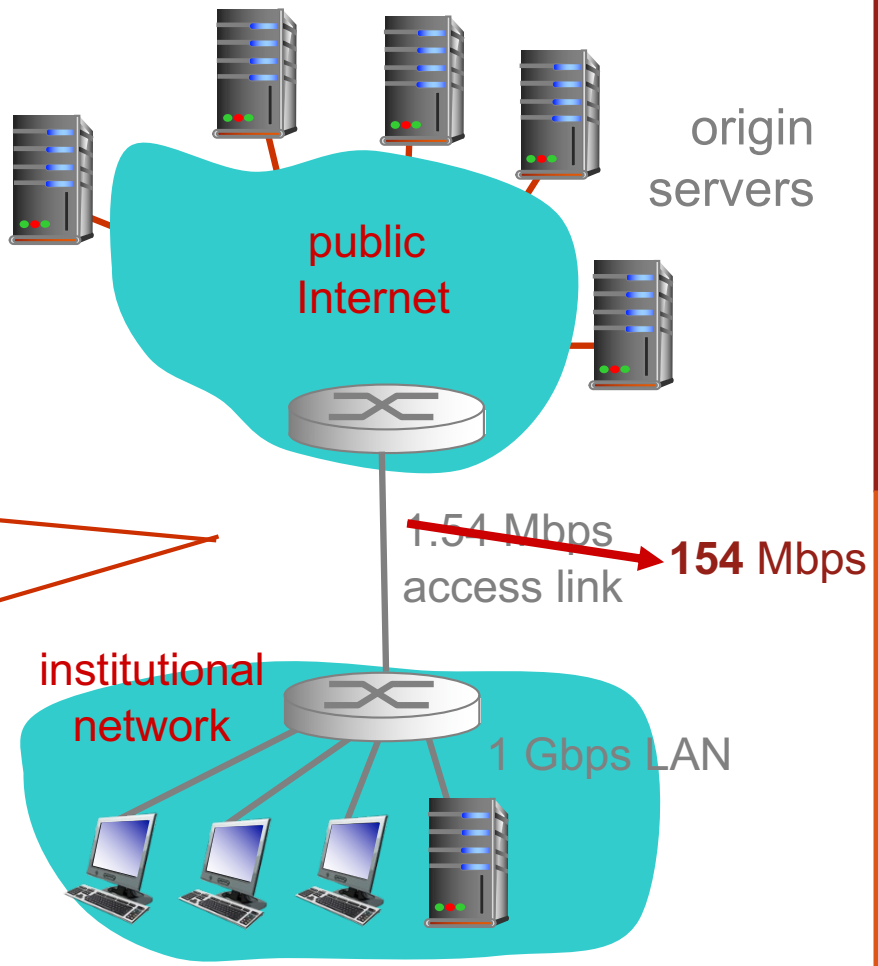
Solução possível

- **Aumentar a largura de banda do link de acesso para 154 Mbps**

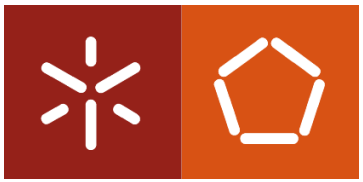
Consequência

- Utilização da LAN = 15%
- Utilização do Link de Acesso = **9,7%**
- Total delay = Internet delay + access delay + LAN delay
  = 2 segundos + **msegundos** + msegundos

- **É habitualmente muito dispendioso fazer o upgrade do link de acesso de uma instituição**



HTTP
Exemplo *Web Proxy - Caching*



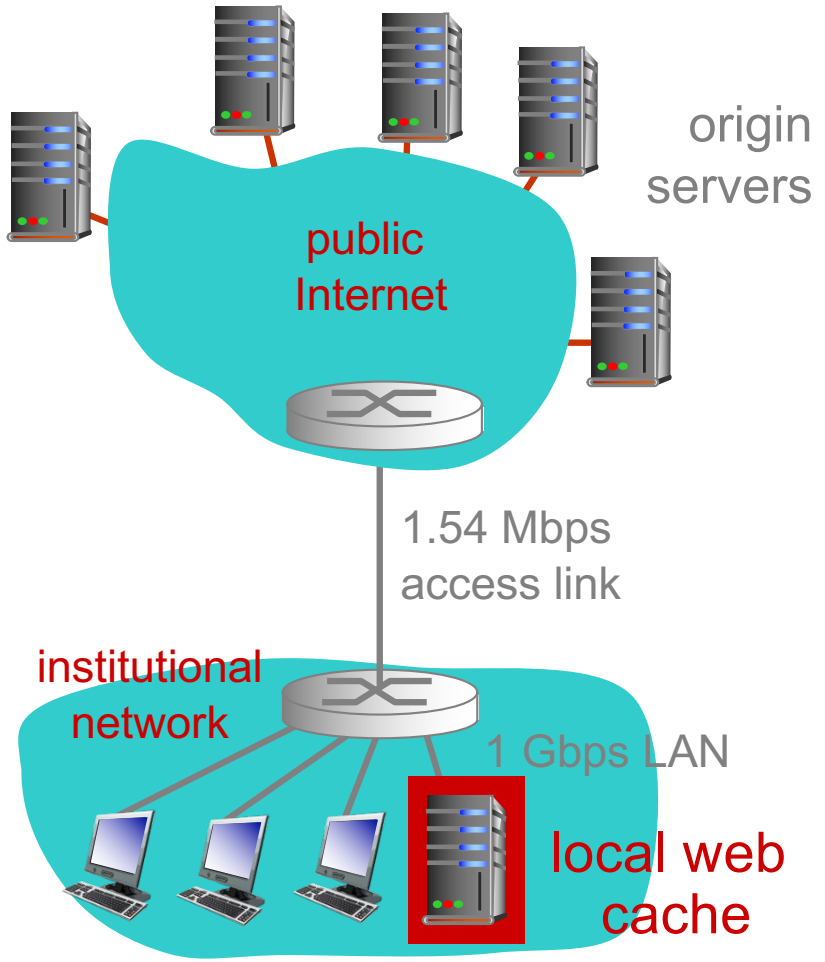
Outra solução é instalar o Web Proxy

- **Se a taxa de acerto for de 40% ...**

Consequências:

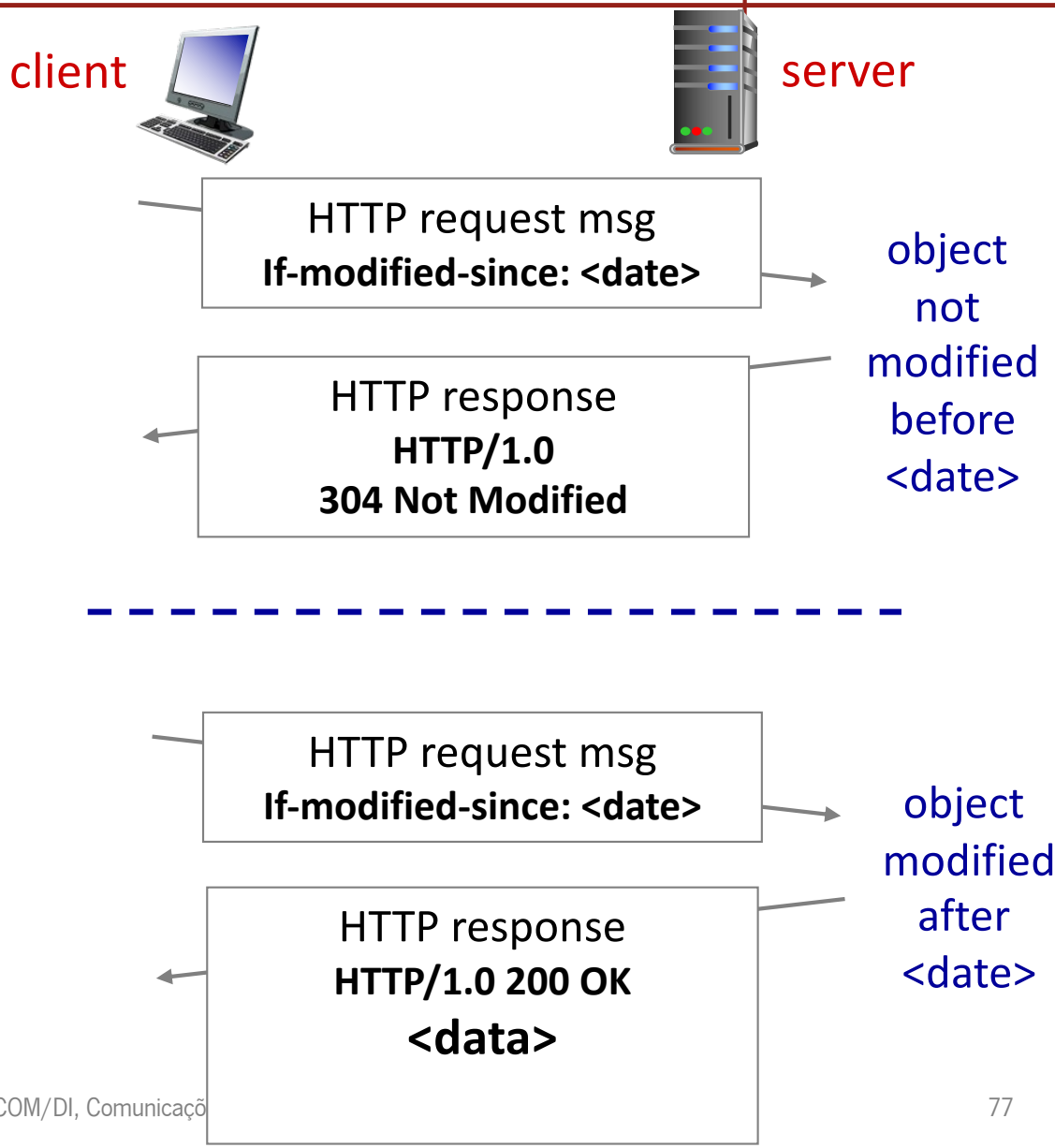
- 40% dos pedidos satisfeitos localmente na *cache*
- 60% dos pedidos terão que ser redirecionados para o servidor HTTP respetivo
  - Taxa de transmissão no link de acesso =
    = 0.6 * 1.50 Mbps = 0.9Mbps
  - Utilização do link de acesso =
    = 0.9/1.54 = 0.58 (**58%**)
  - Resulta em atrasos negligenciáveis (milisegundos)

- **total avg delay =**
  = Internet delay + access delay + LAN delay
  = .6*(2.01) seg + 0.4 *10 mseg < 1.2 segundos



GET Condicional

- **Objetivo:** não enviar o objeto se a cópia mantida em cache está atualizada
- Cabeçalho do pedido HTTP inclui data da cópia guardada na cache:
  If-modified-since: <date>
- A resposta do servidor não contém nenhum objeto se a cópia mantida em cache estiver atualizada
  HTTP/1.0 304 Not Modified

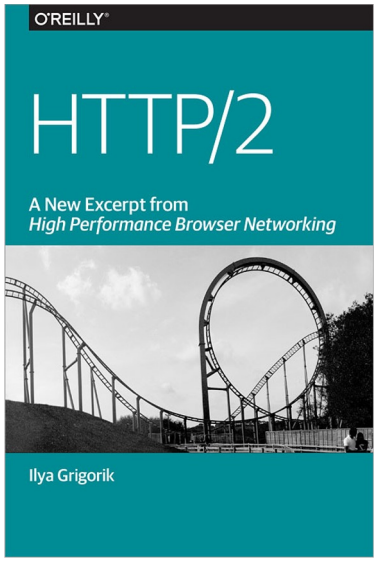


HTTP2, HTTP3 +QUIC

Comunicações por Computador

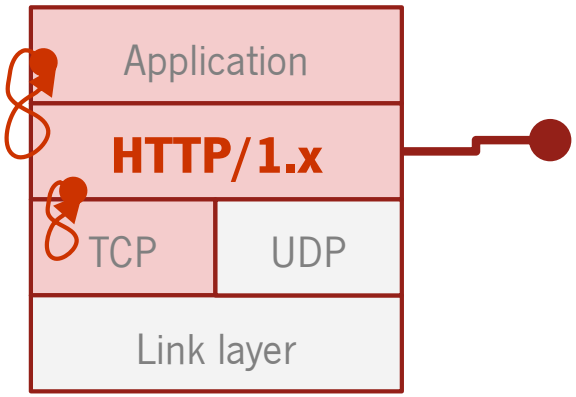
Mestrado Integrado em Engenharia Informática

3º ano/2º semestre



Disponível online (grátis):hpbn.co/http2
Slides: bit.ly/http2-opt

Problemas de desempenho do HTTP/1.*



Paralelismo limitado

- O paralelismo está limitado ao número de conexões
- Na prática, mais ou menos 6 conexões por origem

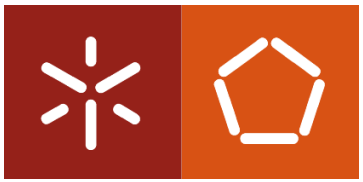
Head-of-line blocking

- Bloqueio do cabeça de fila, acumula pedidos em queue e atrasa a solicitação por parte do cliente
- Servidor obrigado a responder pela ordem (ordem restrita)

Overhead protocolar é elevado

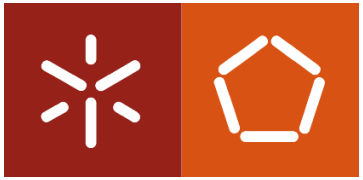
- Metadados do cabeçalho não são compactados
- Aproximadamente 800 bytes de metadados por pedido, mais os cookies

Desempenho HTTP/1.*

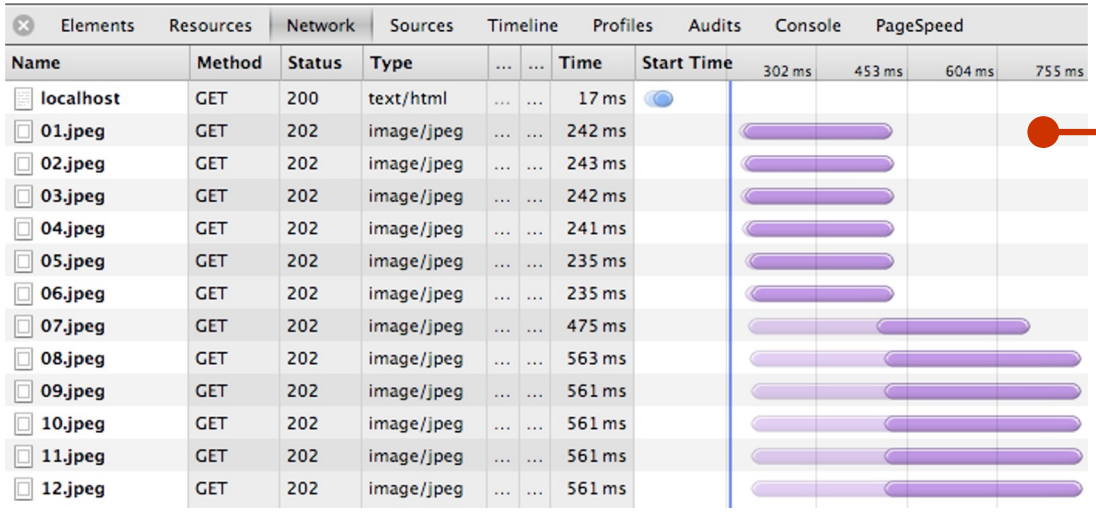


- **Como melhorar o desempenho do HTTP/1.*?**
- **Quais as melhores práticas, simples e eficazes, que têm sido usadas com regularidade?**
  - Reduzir o número de consultas ao DNS (*DNS Lookups*)
  - Reutilizar conexões TCP
  - Utilizar CDNs (*Content Delivery Network*)
  - Minimizar o número de redireccionamentos HTTP (*HTTP Redirects*)
  - Eliminar bytes desnecessários nos pedidos HTTP (cabeçalhos)
  - Comprimir os artefactos na transmissão (compressão corpo)
  - Cache dos recursos do lado do cliente
  - Eliminar o envio de recursos desnecessários

Problemas de desempenho do HTTP/1.*



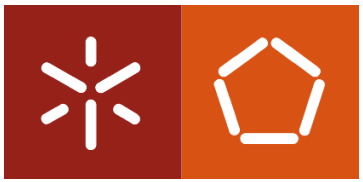
- **Paralelismo é limitado pelo número de conexões...**



~6 parallel downloads per origin

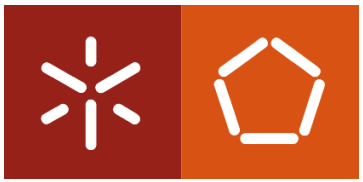
- Cada conexão implica overhead de handshake inicial
- Se for HTTPS, ainda tem mais um overhead do handshake TLS
- Cada conexão gasta recursos do lado do servidor
- As conexões competem umas com as outras

HTTP/1.* - Truques do lado do servidor



- **Porque não subdividir em N sub-domínios, em vez de um único domínio por servidor? (*domain sharding*)**
  - Aumenta o paralelismos — passamos a ter 6 conexões por subdomínio
  - Aumenta as consultas ao DNS...
  - Mais servidores, competição nas conexões, complexidade nas aplicações
- **Reduzir pedidos → concatenar objetos (*concatenated assets*)**
  - Vários CSS ou vários JS num único objeto! Resulta...
  - Atrasa o processamento no cliente, pode dificultar o uso da cache
- **Incluir recursos em linha no HTML (*inline objects*)**
  - Os mesmos objetivos do anterior: reduzir pedidos, antecipar conteúdos...
  - Os mesmos problemas: atrasa processamento no cliente, dificulta o uso da cache

HTTP/2



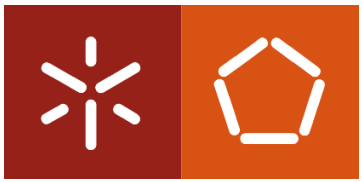
- **Em meados de 2009, a Google inicia o seu projeto SPDY!**
  - Objetivo nº1: reduzir em 50% o tempo de carregamento de página (***PLT Page Load Time***)
  - Outros objetivos:
    - Evitar que os autores Web tenham de mexer nos conteúdos
    - Minimizar o tempo de implantação e as alterações na infraestrutura
    - Desenvolver em parceria com a comunidade Open Source
    - Teste com dados reais que validem ou invalidem o protocolo
- **Clientes: Firefox, Opera e Chrome aderiram rapidamente…**
- **Servidores: Twitter, Facebook, e Google, claro!…**
- **E o IETF (Internet Engineering Task Force)?**
  - Teve de ir atrás, a reboque, e formar um grupo de trabalho HTTP/2

HTTP/2

- **Normalizado em menos de 3 anos!! Muita pressão...**

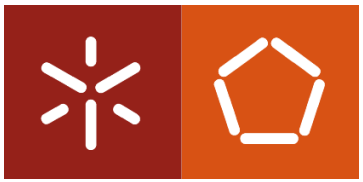
Mid 2009: SPDY introduced as an experiment by google
Mar, 2012: Firefox 11 had support, turned on by default in version 13
Mar, 2012: Call for proposals for HTTP/2 – resulted in 3 proposals but SPDY was chosen as the basis for H/2
Nov, 2012: First draft of HTTP/2 (based on SPDY)
Aug, 2014: HTTP/2 draft-17 and HPACK draft-12 are published
Aug, 2014: Working Group last call for HTTP/2
Feb, 2015: (IESG) Internet Engineering Steering Group approved HTTP/2

HTTP/2



- **HTTP2 é uma extensão e não uma substituição do HTTP/1.1**
  - Não se mexe nos métodos, URLs, *headers*, códigos de resposta, etc.
  - Semântica – para a aplicação – deve ser a mesma!
  - Não há alterações na API aplicacional...
- **Alvo → as limitações de desempenho das versões anteriores**
  - Primeiras versões do HTTP foram desenhadas para serem de fácil implementação!
  - Clientes HTTP/1.* obrigados a lançar várias conexões em paralelo para baixar a latência.
  - Não há compressão nem prioridades
  - **Mau uso** da conexão TCP de suporte!...

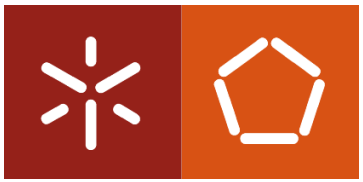
HTTP/2



- **<u>Objetivo</u>: diminuir o atraso em pedidos HTTP de múltiplos objectos!**

  - HTTP1.1: permite vários GETs em pipeline numa única ligação TCP
    - o servidor responde aos pedidos GET por ordem FCFS (*First-come, First -Served)* agendamento por ordem de chegada
    - Os objetos pequenos podem ter de esperar pela transmissão atrás dos objetos grandes! **Head-Of-line Lock (HOL)**
    - Recuperação de perda (retransmissão de segmentos TCP perdidos) paralisa a transmissão do objeto! (conexão única)

HTTP/2

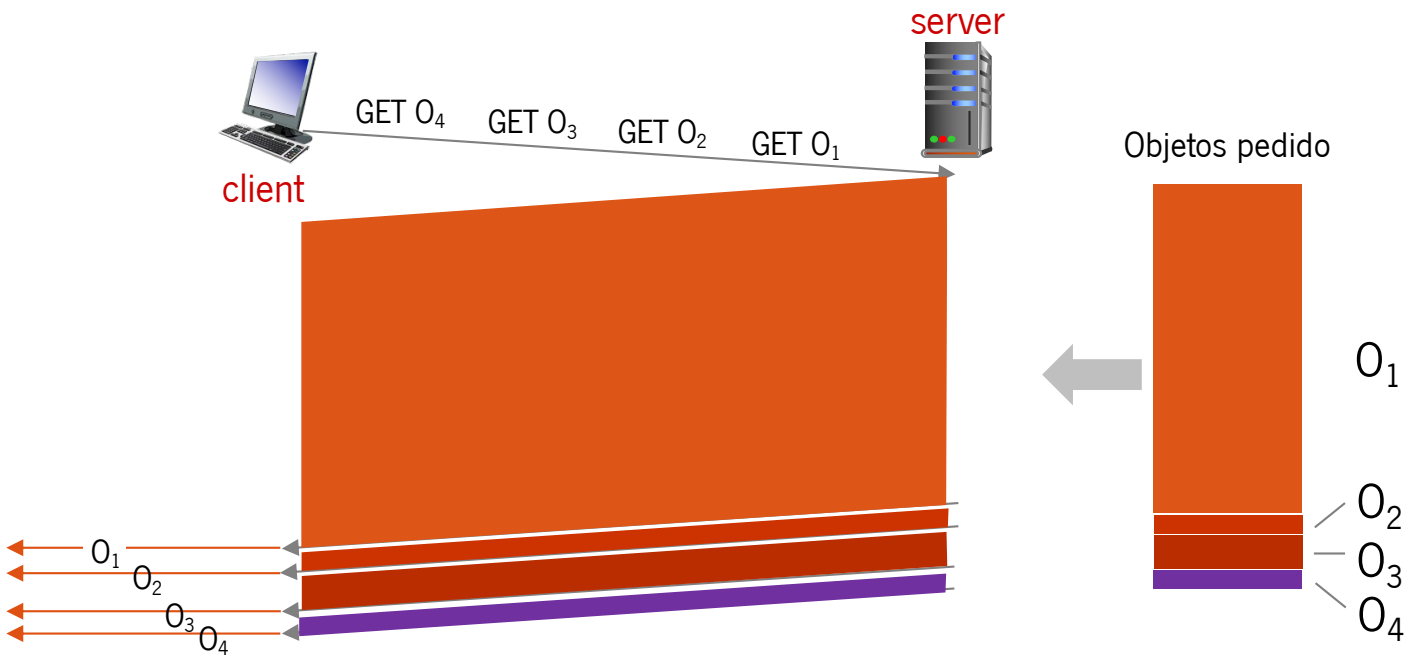


- **<u>Objetivo</u>: diminuir o atraso em pedidos HTTP de múltiplos objectos!**

  - HTTP/2: melhor flexibilidade na forma como o servidor envia os objetos aos clientes
    - **Prioridades**: Ordem de transmissão dos objetos solicitados com base na **prioridade** do objeto especificada pelo cliente (não necessariamente FCFS)
    - **Push**: enviar objetos não solicitados ao cliente!
    - **Framing**: Dividir os objetos em **frames**, e agendar as frames de modo a mitigar o bloqueio de HOL

HTTP/2: atenuar HOL blocking

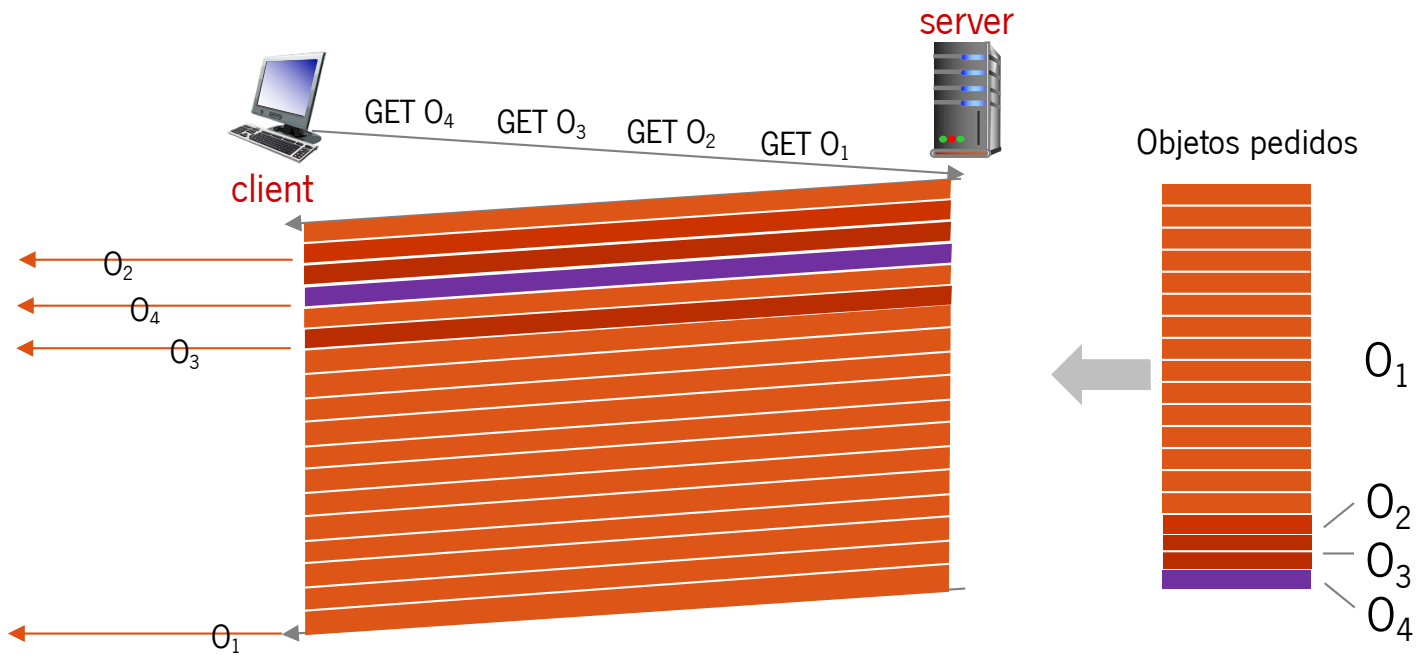
HTTP/1.1: o cliente solicita 1 objeto grande (por exemplo, ficheiro de vídeo) e 3 objetos mais pequenos



objetos entregues pela ordem solicitada: O2, O3, O4 esperam atrás de O1

HTTP/2: atenuar HOL blocking

HTTP/2: objetos divididos em frames e transmissão intercalada de frames



O_2, O_3, O_4 recebidos rapidamente, O_1 receção ligeiramente atrasada

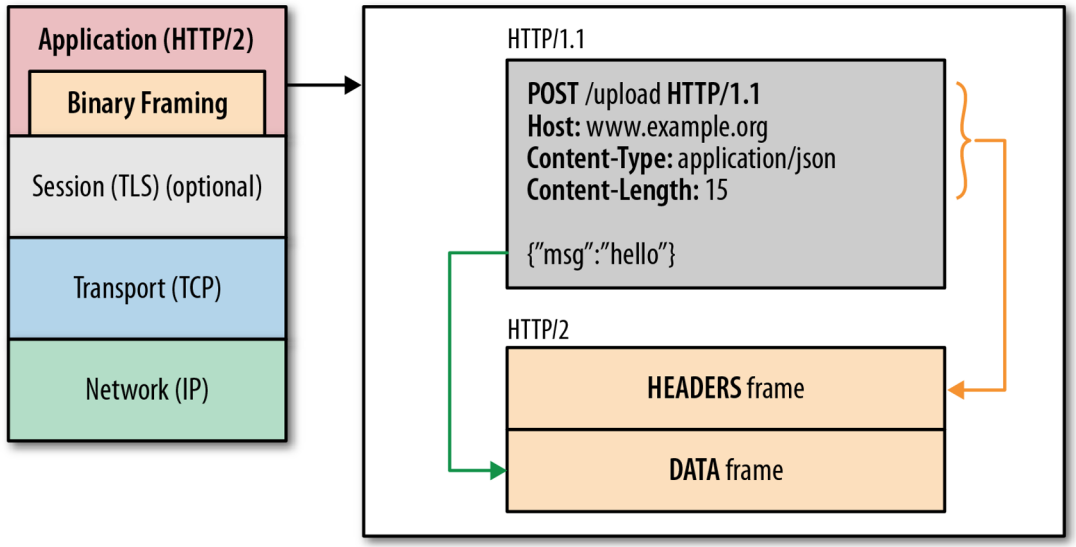
HTTP2 – Tudo num único slide!

1. **Uma única conexão TCP!**

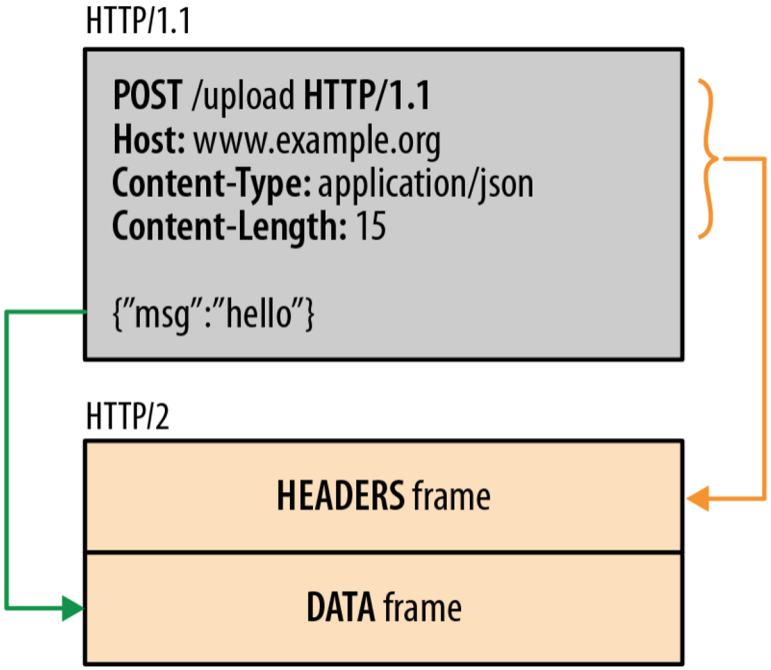
2. **Request → Stream**
   - Streams são multiplexadas!
   - Streams são priorizadas!

3. **Camada de "framing" binário**
   - Priorização
   - Controlo de Fluxo
   - Server push

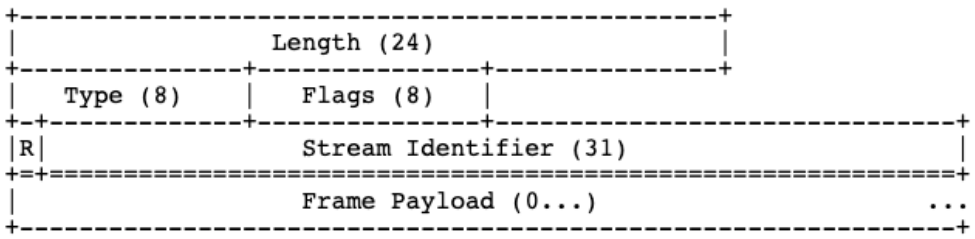
4. **Compressão do cabeçalho (HPACK)**
   - No HTTP/3: compressão QPACK



HTTP2 – "Framing" binário

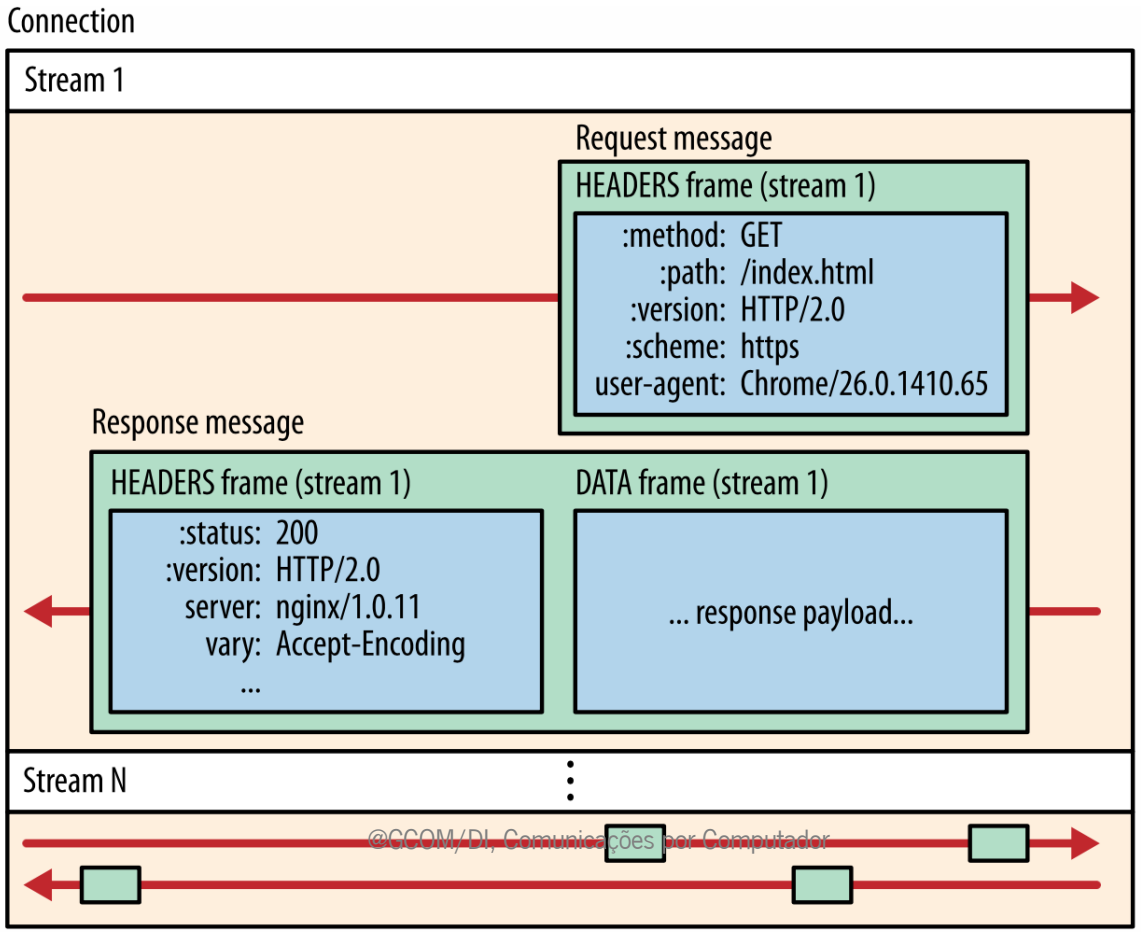


- **Mensagens HTTP são divididas em uma ou mais frames**
  - HEADERS para metadados
  - DATA para dados (payload)
  - RST_STREAM para cancelar
  - ...
- **Cada frame tem um cabeçalho comum**
  - 9-byte, com tamanho à cabeça
  - De parsing fácil e eficiente



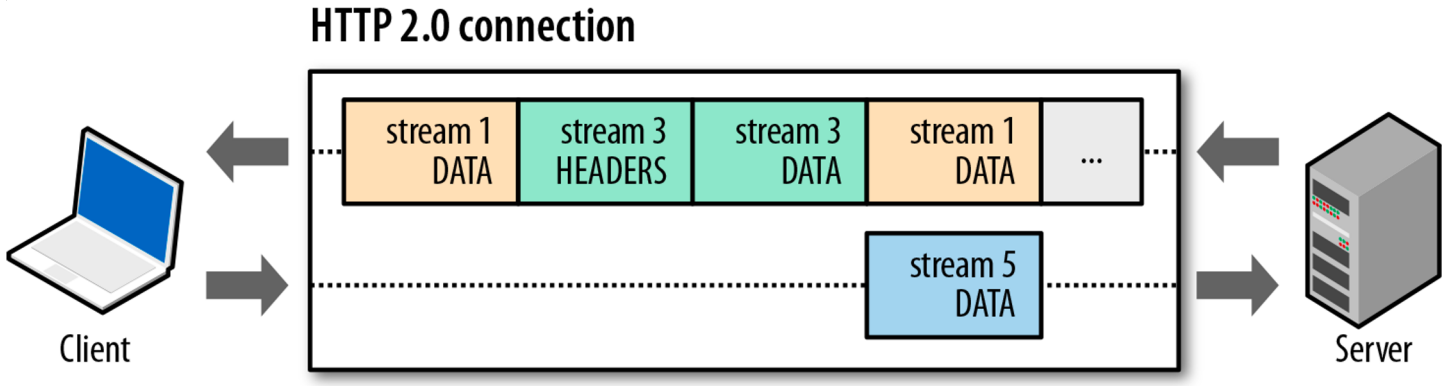
HTTP2 – "Framing" binário

- **Terminologia HTTP2**
  - ***Stream*** – um fluxo bidirecional de dados, dentro de uma conexão, que pode carregar uma ou mais mensagens
  - ***Mensagem*** - Uma sequência completa de *frames* que mapeiam num pedido ou numa resposta HTTP
  - ***Frame*** – A unidade de comunicação mais pequena no HTTP2, contendo um cabeçalho que no mínimo identifica a *Stream* a que pertence



HTTP2 – fluxo de dados

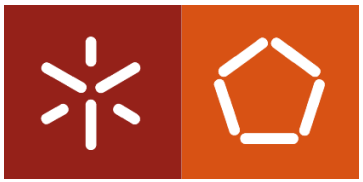
- **Fluxo de dados numa conexão HTTP2**



As streams são multiplexadas porque as frames pode ser intercaladas umas com as outras!

- Todas as frames (ex: HEADERS, DATA, etc.) são enviadas numa única conexão TCP
- A frames são entregues por prioridades, tendo em conta os pesos das streams e as dependências entre elas!
- As frames DATA estão sujeitas a um controlo de fluxo por stream e por conexão

HTTP2 – Tipos de frames

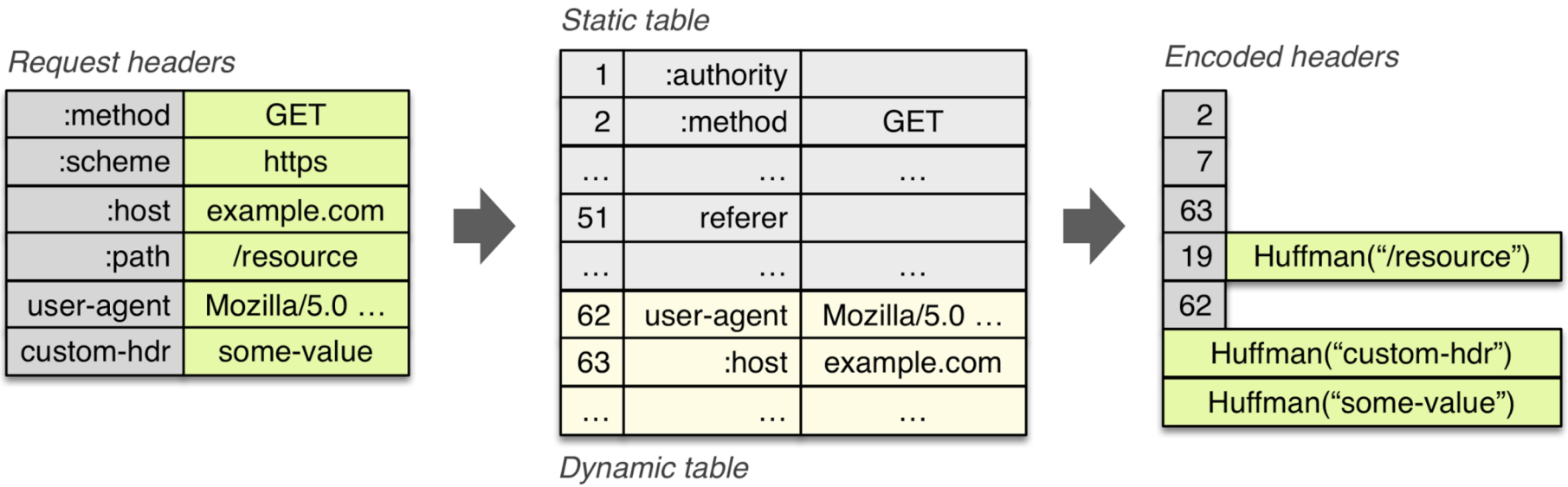


- **As *frames* definidas no RFC7540 são:**
  - HEADERS – *headers* de um pedido ou de uma resposta
  - DATA – corpo dos objetos (dados)
  - PRIORITY – define a prioridade da *stream* para o originador
  - RST_STREAM – permite o término imediato da *stream*
  - SETTINGS – para definir parâmetros de configuração

    SETTINGS_HEADER_TABLE_SIZE, SETTINGS_ENABLE_PUSH, SETTINGS_MAX_CONCURRENT_STREAMS, SETTINGS_INITIAL_WINDOW_SIZE, SETTINGS_MAX_FRAME_SIZE, SETTINGS_MAX_HEADER_LIST
  - PUSH_PROMISE – permite o *push* de conteúdos
  - WINDOW_UPDATE – permite reajuste da janela de fluxo da *stream*
  - CONTINUATION – para prolongar *frames* como HEADERS ou outros
  - PING, GOAWAY...

HTTP2 – Compressão do cabeçalho

- **HPACK**



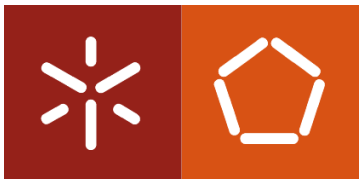
- Valores literais (texto) são codificados com código de Huffman estático
- Tabela indexação estática → por ex: "2" corresponde a "method: GET"
- Tabela indexação dinâmica → Valores enviados anteriormente pode ser indexados!

HTTP2 – Server "push"

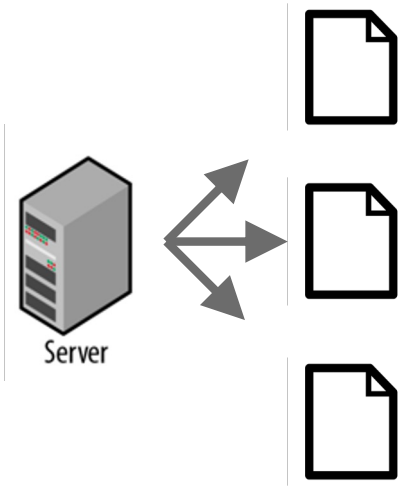
Server: "You asked for /product/123, but you'll need app.js, product-photo-1.jpg, as well… I promise to deliver these to you. That is, unless you decline or cancel."

- Maior granularidade no envio de recursos
  - Evita o *inlining* e permite *caching* eficiente dos recursos
  - Permite multiplexar e definir prioridades no envio dos recursos
  - Precisa de controlo de fluxo, para o cliente dizer basta ou quero mais

HTTP2 – Server “push”



- Há espaço para estratégias de “Server push” inteligente
- Ex: implementação Jetty



1. Servidor observa o tráfego de entrada
   a. Constrói um modelo de dependências baseado no campo **Referer** do cabeçalho (ou outras):
      i. e.g. index.html ⟶ {style.css, app.js}

2. Servidor inicia um push inteligente de acordo com as dependências que aprendeu
   a. client ⟶ GET index.html
   b. server ⟶ push style.css, app.js, index.html

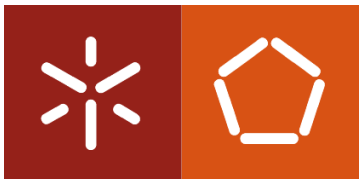
HTTP2 – Controlo de fluxo

I want image geometry and preview, and I'll fetch the rest later...

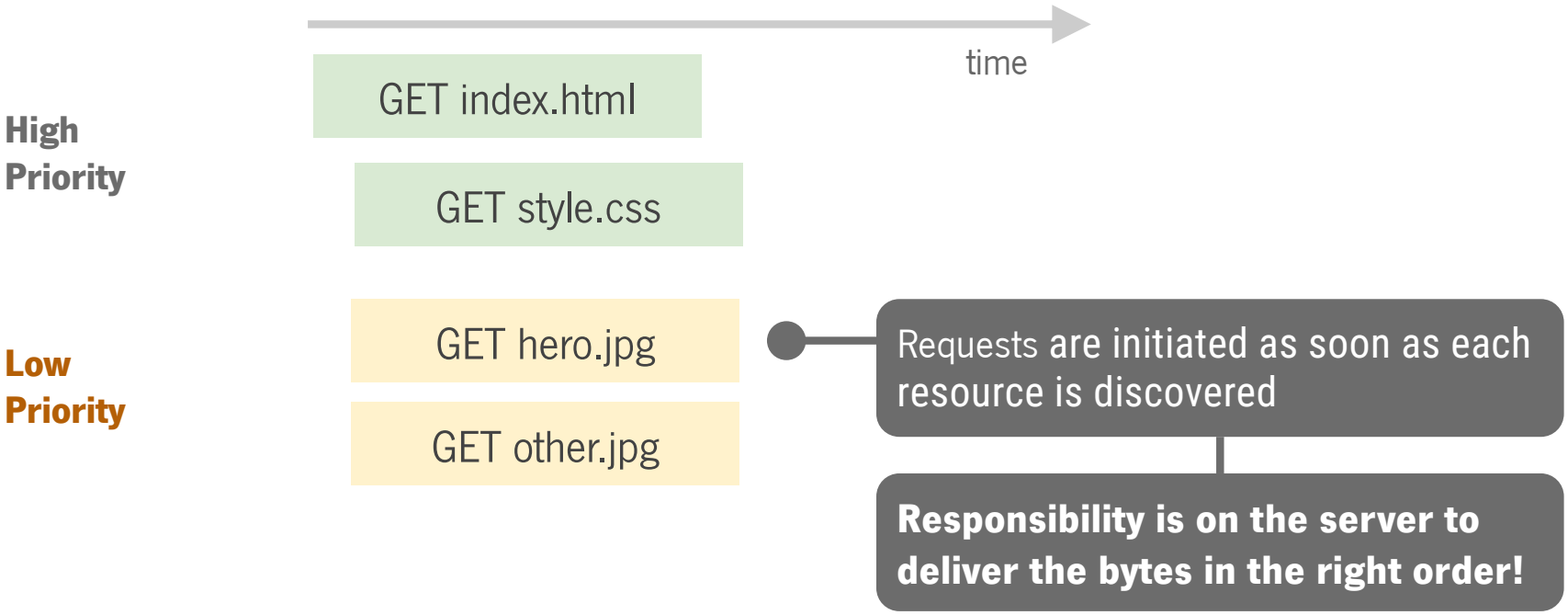
➔ **Client:** "I want first 20KB of photo.jpg"
➔ **Server:** "Ok, 20KB... pausing stream until you tell me to send more."
➔ **Client:** "Send me the rest now."

- Permite ao cliente fazer uma pausa na *stream* e retomar o envio mais tarde
- Controlo de fluxo baseado num sistema de créditos (janela):
  - Cada frame do tipo **DATA** decrementa o valor
  - Cada frame do tipo **WINDOW_UPDATE** atualiza o valor

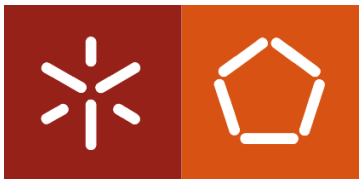
HTTP2 – priorização



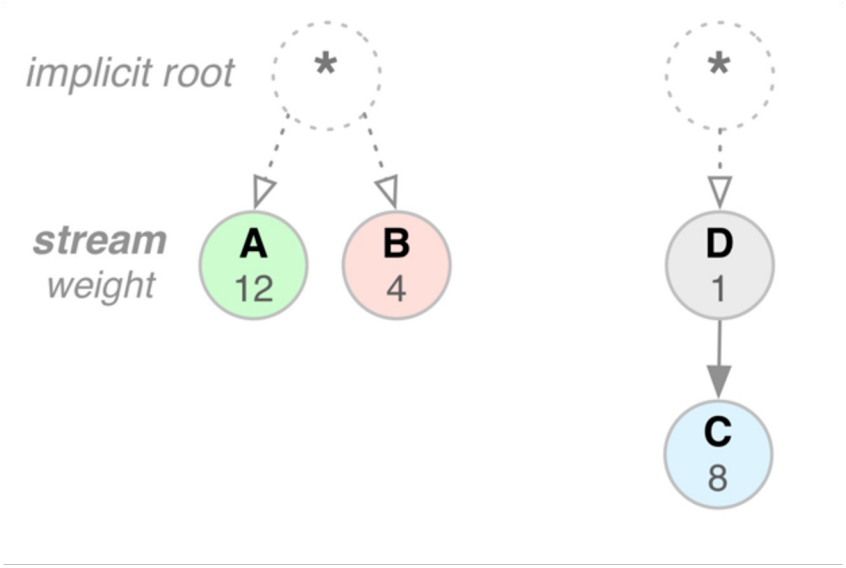
- Priorização é fundamental para um *rendering* eficiente!
- Com HTTP2, o cliente define as prioridade e faz logo os pedidos; cabe ao servidor entregar os conteúdos com a prioridade certa



HTTP2 – pesos e dependências



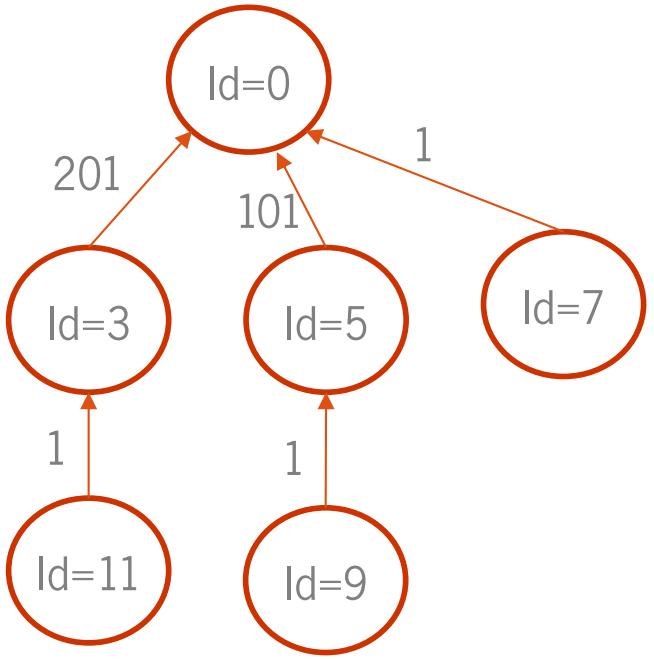
- Exemplo: stream A deve ter 12/16 e a B 4/16 dos recursos totais
- Exemplo: stream D deve ser entregue antes da stream C



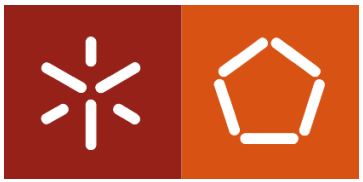
- **Cada stream pode ter um peso**
  - [1-256] integer value
- **Cada stream pode ter uma dependência**
  - … uma outra stream ID

HTTP2 – pesos e dependências

- **Ex: Pesos e dependências definidos na biblioteca "nghttp2"**
  - 5 PRIORITY *frames* para criar
    5 *streams* adormecidas 3, 5, 7, 9 e 11
    e respetivas dependências
  - A *stream* 0 não existe (apenas raíz)
  - O HTML base → *stream* 11
  - CSS, JS referenciados no
    <*head*> → *stream* 3, peso 2
  - CSS,JS referenciados no
    <*body*> → *stream* 5, peso 2
  - *Images* → *stream* 11, peso 12
  - Outros → *stream* 11, peso 2



HTTP2 – Negociação protocolar

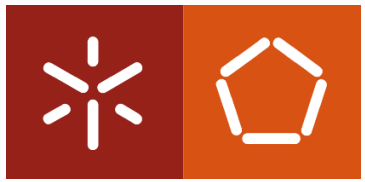


- **Três formas que o cliente tem para usar HTTP2 (não podendo assumir que todos os servidores são HTTP2):**

1. Começando em HTTP/1.* e pedido ”upgrade” da conexão
   - Semelhante ao mecanismo usado para os WebSockets
2. Usando HTTPS e negociando o protocolo HTTP2 durante o *handshake* TLS inicial
3. Sabendo que o servidor é HTTP2 – envia sequencia inicial HTTP2

NOTA: A Google e outros defendiam que destes três mecanismos só se deveria usar sempre o 2 (HTTPS). Foi o IETF que impôs os restantes...

HTTP2 – Negociação protocolar



- **http://** pode ser servido tanto em HTTP/1.* como em HTTP2
- Mecanismo de Upgrade de uma conexão HTTP/1.*:

```
GET /page HTTP/1.1
Host: server.example.com
Connection: Upgrade, HTTP2-Settings
Upgrade: h2c 1
HTTP2-Settings: (SETTINGS payload) 2

HTTP/1.1 200 OK 3
Content-length: 243
Content-type: text/html

(... HTTP/1.1 response ...)

          (or)

HTTP/1.1 101 Switching Protocols 4
Connection: Upgrade
Upgrade: h2c

(... HTTP/2 response ...)
```

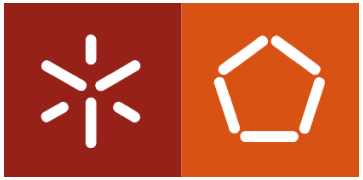
1. Cliente começa em HTTP1.1 e pede upgrade para HTTP2

2. Settings codificados em BASE64

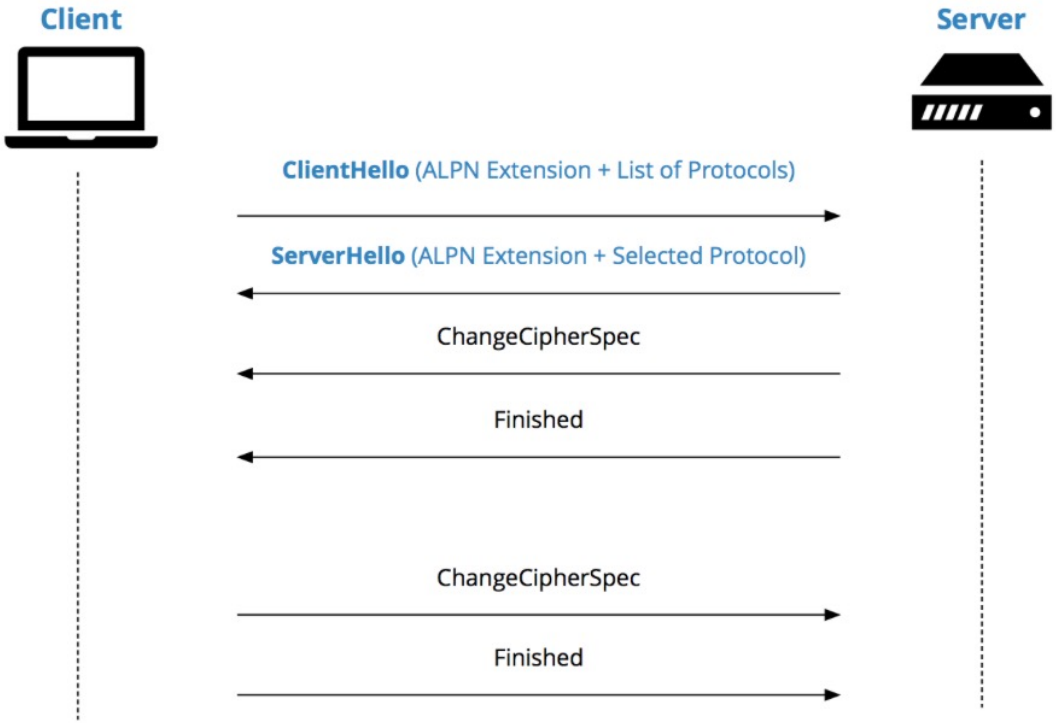
3. Servidor declina pedido, respondendo em HTTP/1.1

4. Servidor aceita pedido para HTTP2 e começa Framing binário

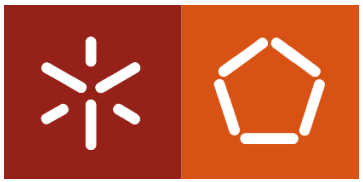
HTTP2 – Negociação protocolar



- **https://** pode ser servido quer em HTTP/1.* ou HTTP2
- Com HTTPS, negoceia-se o protocolo na fase de *Handshake* do TLS, ao mesmo tempo que se migra para conexão segura:

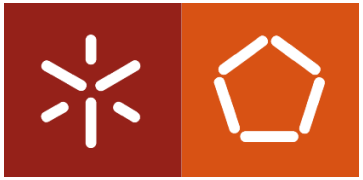


HTTP2 – Negociação protocolar



- **É possível começar logo em HTTP2 se e só se o cliente souber que o servidor fala HTTP2:**
  - Enviar a sequência de 24 octetos:
    0x505249202a20485454502f322e300d0a0d0a534d0d0a0d0a
  - Que corresponde a “"PRI * HTTP/2.0\r\n\r\nSM\r\n\r\n")”, logo seguido de uma frame de SETTINGS para definir os parâmetros da conexão HTTP2

HTTP2 – Testes



- **Fazer demo!**

- **Experimentar URLs:**
  - https://http2.akamai.com/demo
  - http://www.http2demo.io/
  - https://http2.golang.org/serverpush

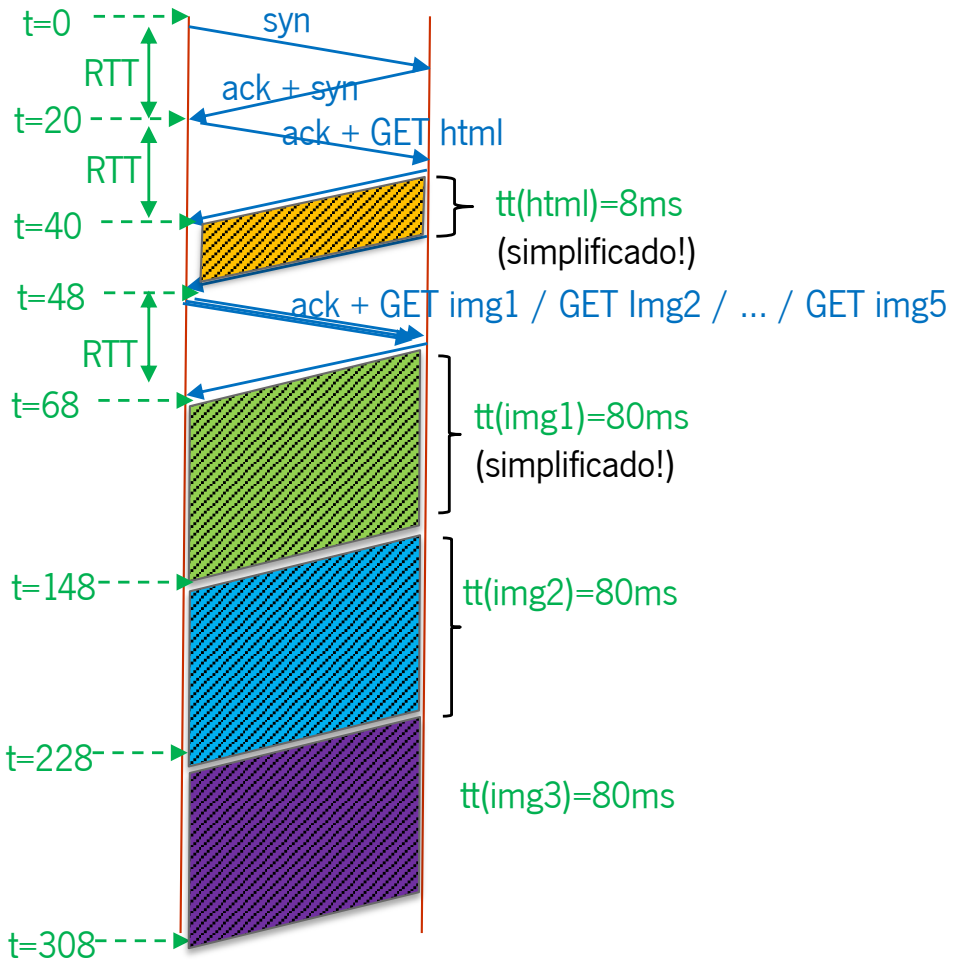
- **Usar o magnífico nghttp2 (http://nghttp2.org/)**

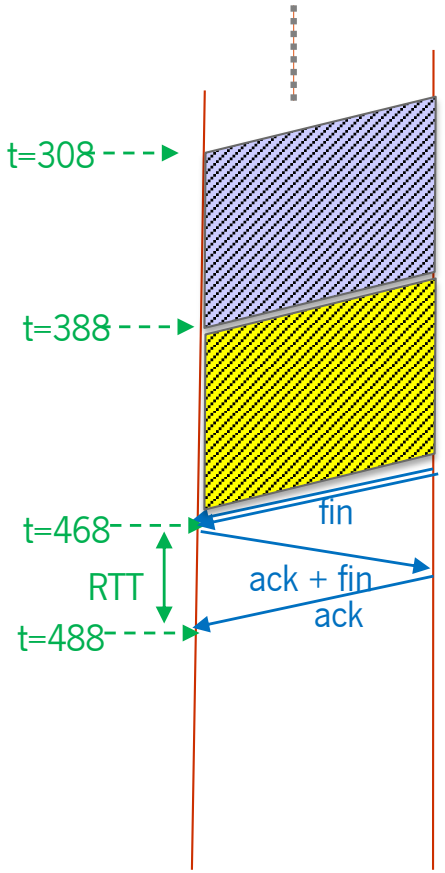
  Exemplo:

```
$ nghttp  -vv -a -n -y -s https://http2.golang.org/serverpush
```

Relembrar o exercício HTTP

c) HTTP/1.1 persistente, com pipeline, sem conexões em paralelo

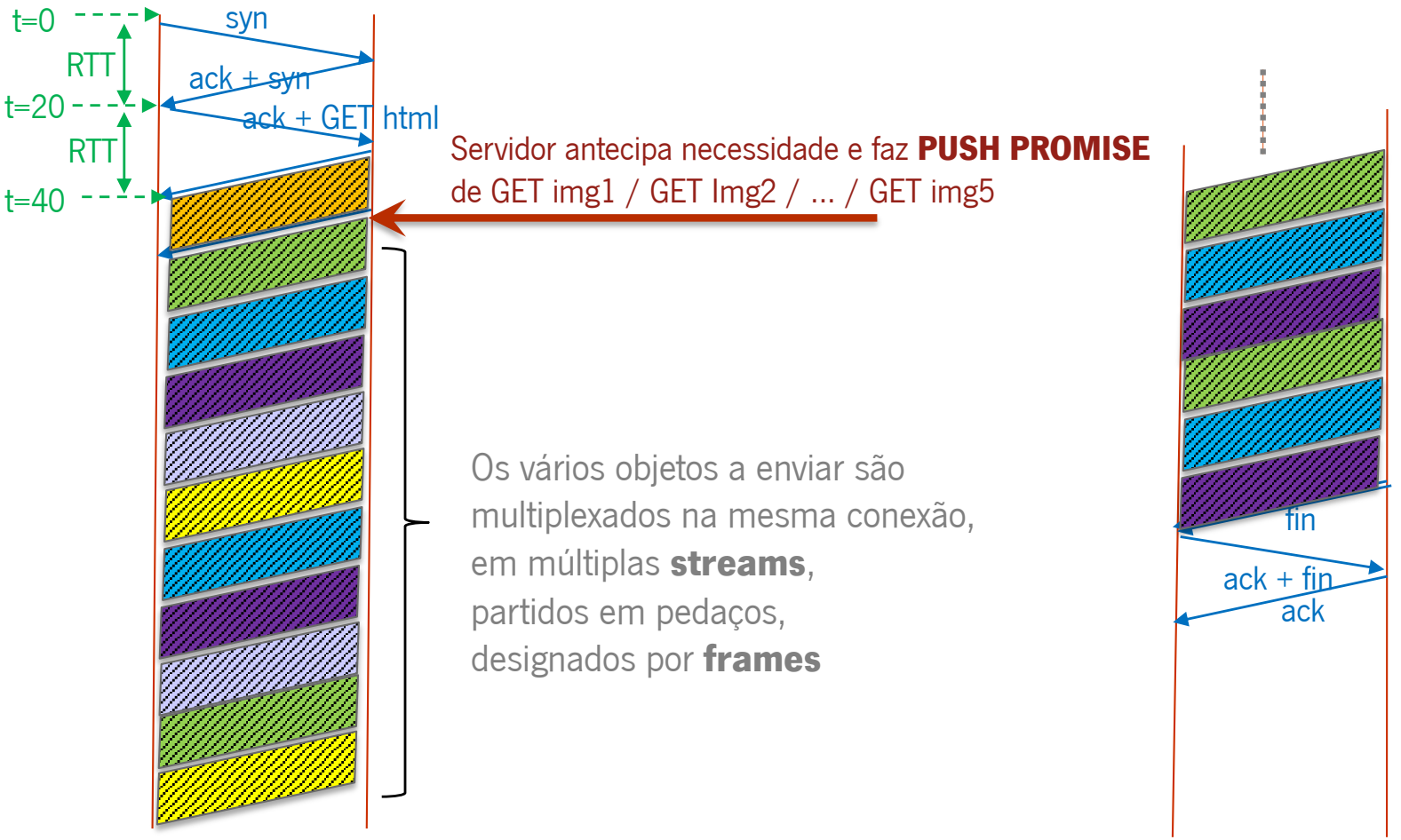




T.c.total = 468 ms (ou 488 ms contando com fecho conexão)

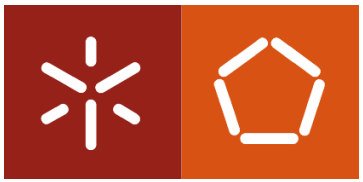
Relembrar o exercício HTTP

d) HTTP2 múltiplas streams numa mesma conexão com Server Push



T.c.total = 448 ms (ou 468 ms contando com fecho conexão)

HTTP 3 + QUIC



- **Razões para a evolução de HTTP/2 para HTTP/3**
  - a recuperação da perda de pacotes ainda paralisa todas as transmissões de objetos
    - tal como no HTTP 1.1, os browsers têm incentivo para abrir múltiplas ligações TCP paralelas para reduzir a paragem e aumentar o rendimento global
  - sem segurança na ligação TCP base (TLS opcional)
  - HTTP/3: adiciona segurança, controlo de erros e congestionamento por objeto (mais pipeline) sobre UDP

HTTP3 + QUIC

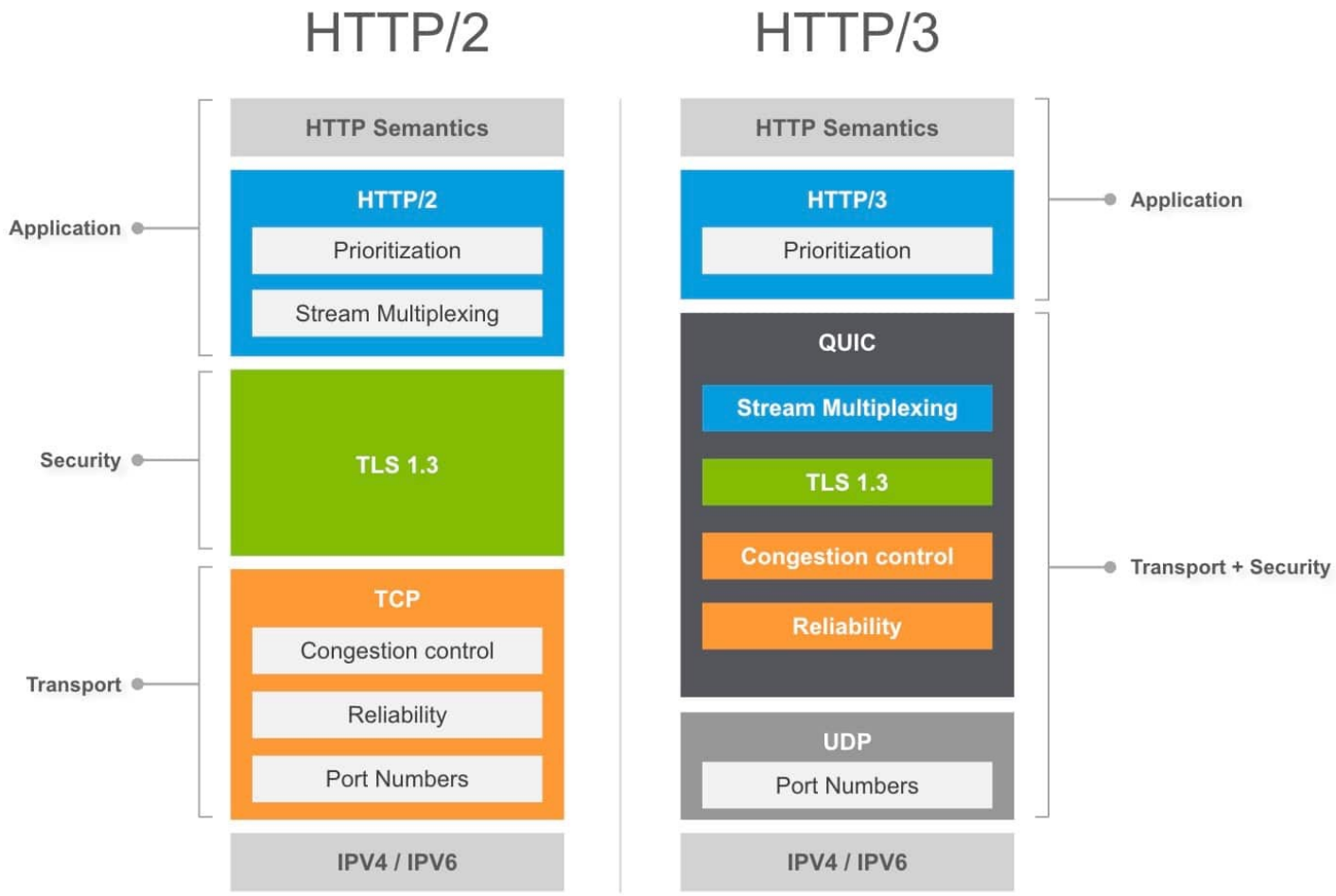
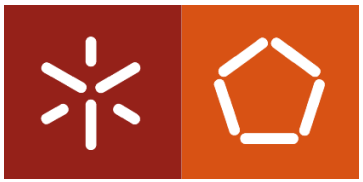


Imagem https://www.akamai.com/blog/performance/deliver-fast-reliable-secure-web-experiences-http3

HTTP3 + QUIC



- **O que muda:**
  - Protocolo HTTP/3 lida apenas com as prioridades
  - Multiplexagem de frames passa para um protocolo próprio: QUIC
  - Camada TLS de segurança (que abordaremos mais tarde) integrada no QUIC
  - QUIC corre sobre protocolo não fiável UDP
    - Incluir controlo de erros e controlo de congestão no QUIC

- **QUIC**
  - Em que camada está realmente?
  - Orientado à conexão, garante entrega ordenada dentro de uma *stream* (não entre *streams*), recuperação de erros com retransmissão, com cigrafem, usa de Stream ID para multiplexagem de *streams*

HTTP3 + QUIC

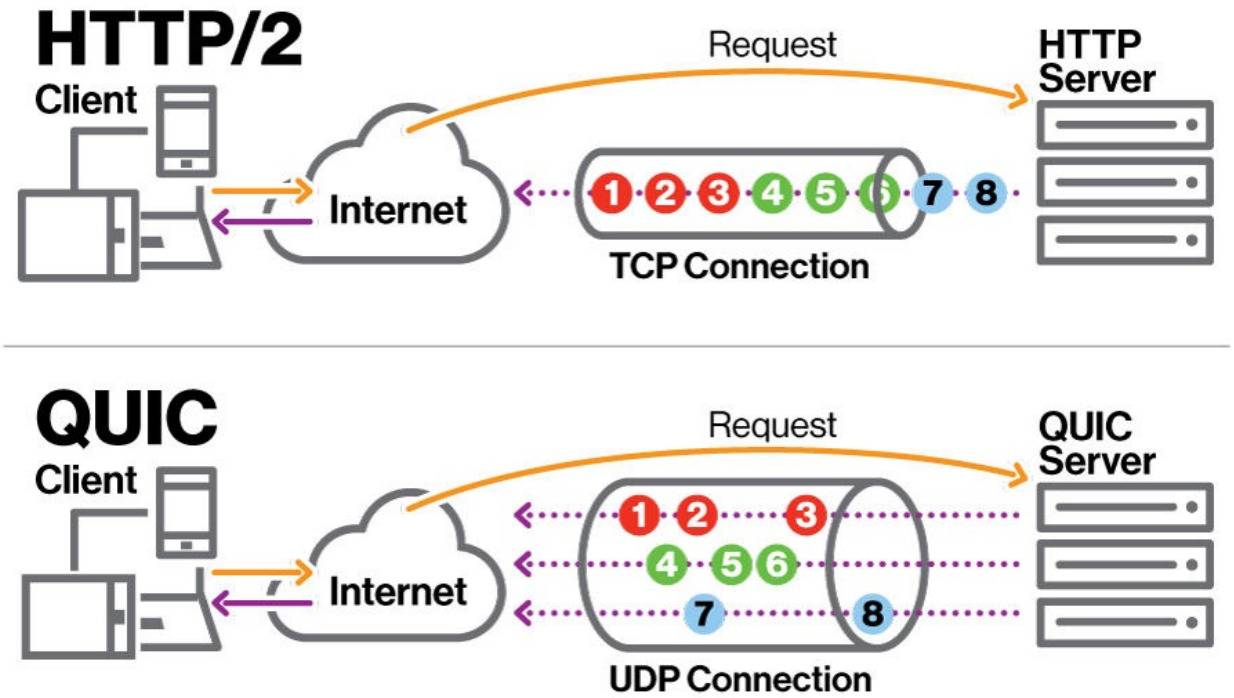
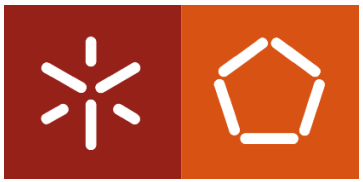


Imagem Devopedia. 2021. "QUIC." Version 5, March 8 (CC BY-SA 4.0)

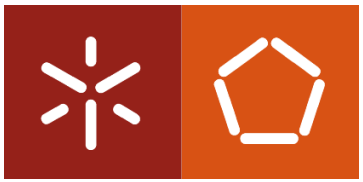
HTTP3 + QUIC



- **HTTP/3 aproveita as alterações já feitas no HTTP/2**
- **Usa QUIC sobre UDP em vez de TCP na camada de transporte**
- **Fundamentalmente, mapeia a semântica no QUIC**

- **Questões:**
  - Como é que os clientes sabem se os servidores suportam HTTP3?
  - Qual a estrutura das mensagens em HTTP3?
  - Como se mapeiam as mensagens em *streams* QUIC?

HTTP3 + QUIC

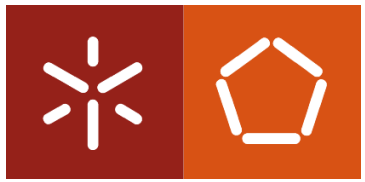


- **Conexões HTTP/3**
  - Não se pode assumir que o servidor suporta HTTP/3 pois isso pode causar muitos problemas de desempenho aos servidor HTTP/2 e HTTP/1.1
  - QUIC usa TLS, por isso, os URLs começam sempre com https://
  - O mecanismo de "*upgrade*" não faz sentido, pois o QUIC funciona sobre UDP
  - **Método 1**: Alternate services
    - Novo *header* a anunciar serviço alternativo que o cliente pode usar

```
Alt-Svc: h3=www3.uminho.pt:8003;ma=3600 , h2=:8002;ma=3600
```

  - **Método 2**: Anunciar o suporte no serviço de nomes DNS
    - Método é semelhante ao anterior, mas recorre ao serviço de nomes DNS e a registos próprios como o SVCB e HTTPS para anunciar disponibilidade prévia de HTTP/3
  - Inicia-se depois uma conexão QUIC, com uma *stream* de controlo onde se trocam *frames* com os SETTINGS

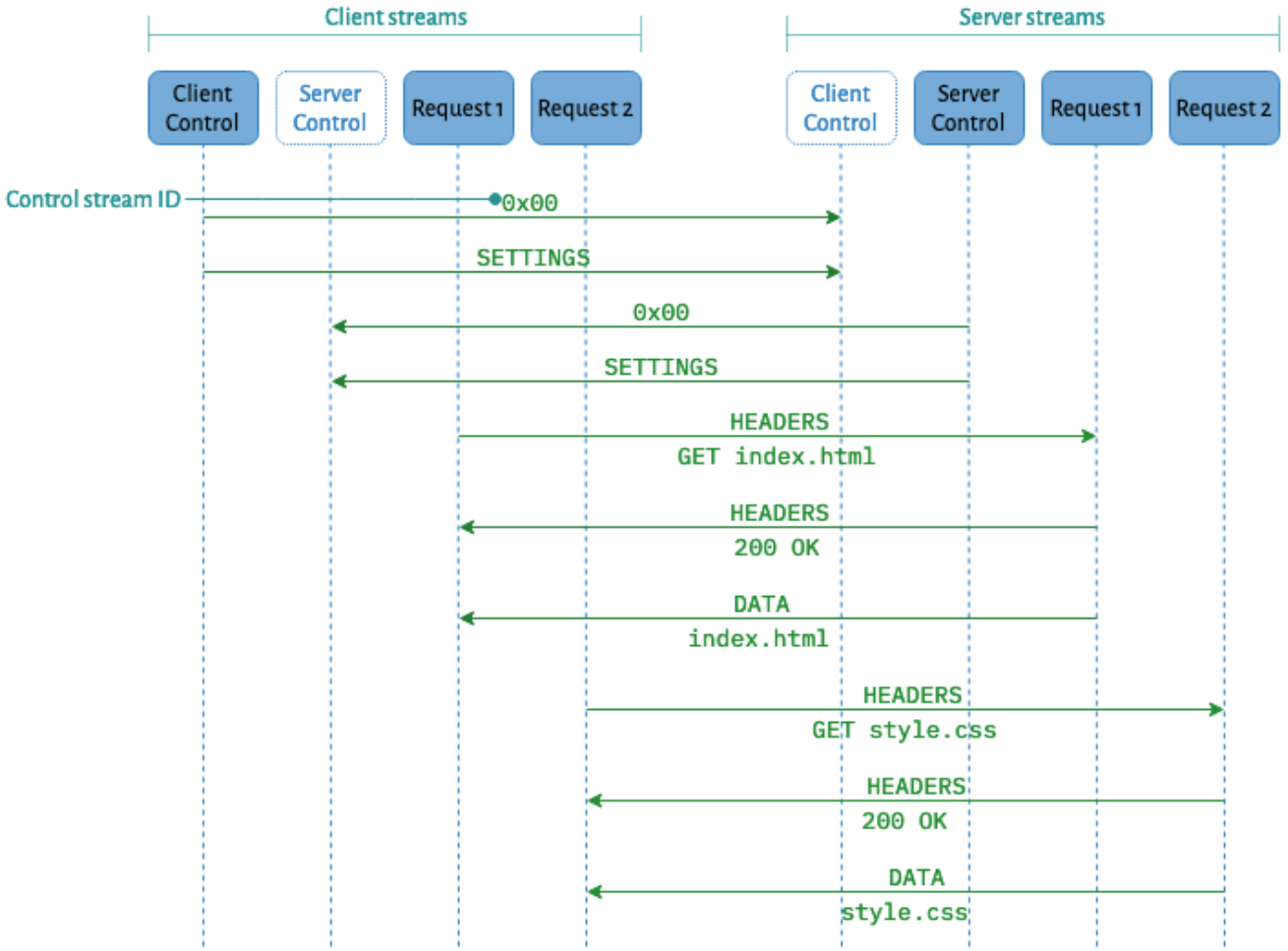
HTTP3 + QUIC



- **Formato das mensagens HTTP/3**
  - Depois da conexão QUIC iniciada criam-se múltiplas *streams*
  - **Streams bidirecionais** para pedidos e respostas
    - Uma mensagem HTTP é formada por uma *frame* HEADERS e opcionalmente uma ou mais *frames* DATA
  - **Streams unidireccionais**, em cada sentido:
    - 4 streams iniciais:
      - *0x00 Control* – para mensagens de controlo de toda a conexão, onde são transferidas por exemplo as frames de SETTINGS e GOAWAY
      - *0x01 Push* – criadas pelo servidor para permitir "*Server push*"
      - *0x02 Encoder* – para uso do controlo de compressão QPACK
      - *0x03 Decoder* — para uso do protocolo de compressão QPACK

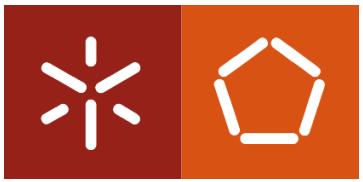
HTTP3 + QUIC

- Exemplo



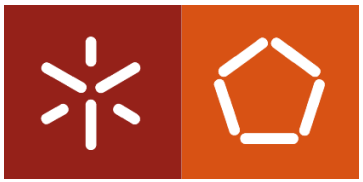
https://www.andy-pearce.com/blog/posts/2023/Apr/http3-in-practice-http3/

QPACK Header compression



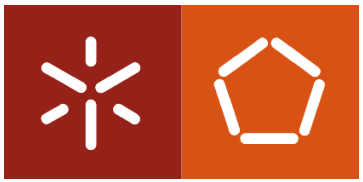
- Objetivo:
  - adaptar a compressão dos cabeçalhos HTTP ao protocolo QUIC
- Diferente porquê?
  - No HTTP/2 todas as frames vão na mesma conexão TCP que garante a entrega ordenada
  - Não há preocupação com a tabela de compressão dinâmica: estará sempre no mesmo estado do lado do cliente e do lado do servidor
  - Isso não acontece no QUIC que apenas garante a entrega ordenada numa stream, e não nas várias streams, pois corre sobre UDP!
- Solução:
  - QPACK requere uma *stream* unidireccional para sincronização do estado das tabelas dinâmicas de compressão
  - Emissor inicia uma ***Encoder Stream*** unidirecional para envio
  - Recetor inicia uma ***Decoder Stream*** unidirecional para receção
  - RFC define *enconder instructions* e *decoder instructions* para modificar o estado

QPACK Header compression



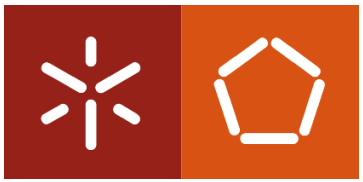
- **Não há grandes diferenças na forma como as tabelas dinâmicas são mantidas**
  - Continua a ser uma lista FIFO com capacidade máxima (definida zero, mas pode-se anunciar uma capacidade máxima
  - Campos referidos nas frames HEADER são marcados e não podem ser removidos da tabela, as restantes podem ser removidas se faltar espaço
- ***Encoder instructions:***
  - *Set Dynamic Table capacity*
  - *Insert with Name Reference, Insert with Literal Name, Duplicate*
- ***Decoder instructions:***
  - *Section Acknoledgement*
  - *Insert Count Increment*
  - *Stream cancelation*

QPACK Header compression



- ***Encoder instructions:***
  - *Set Dynamic Table capacity* – pede ao *decoder* para alterar a capacidade da tabela
  - *Insert with Name Reference, Insert with Literal Name, Duplicate* – enviadas depois do emissor alterar a sua tabela, para levar o recetor a alterar a sua tabela
    - Escolhe-se a instrução de acordo com o estado anterior da tabela
    - Se existe o par `name:value`, usa-se *Duplicate*
    - Se existe apenas o `name`, usa-se *Insert with Name reference*
    - Se não existe nada, usa-se *Insert with Literal Name*
- ***Decoder instructions:***
  - Instruções informam o encoder sobre o processamento das cabeçalhos e atualizações da tabela dinâmica, garantindo a coerência das tabelas entre emissor e recetor
    - *Section Acknowledgement*: enviada assim que o decoder descodifica os campos do header
    - *Insert Count Increment*: confirmação semelhante à anterior, confirma que novas entradas foram recebidas e inseridas corretamente na tabela dinâmica
    - *Stream Cancellation*: receptor decide cancelar a stream por razões que não um encerramento normal (ex: sequência errada de frames) e apagar a tabela dinâmica

QUIC – Visão geral

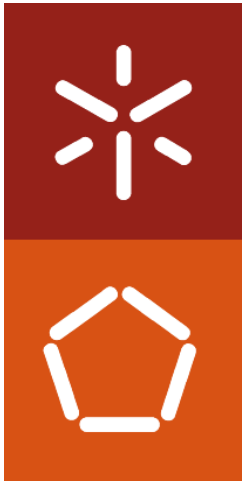


- **Datagramas, pacotes e frames**
  - Cada *datagrama* UDP pode conter ou ou mais *pacotes*
  - Cada *pacote* pode conter uma ou mais *frames*, conforme o tipo
  - A inclusão de múltiplos pacotes num datagrama ocorre normalmente no *handshake* inicial
- **Numeração e confirmação dos pacotes**
  - A fiabilidade aplica-se ao nível do *pacote* e não da *frame*
  - A numeração dos pacotes começa sempre em 0 (zero)
  - As confirmações seguem em *frames* próprias ACK
  - A *frame* de ACK é mais complexa porque não é apenas um ACK cumulativo, mas o pacote com número mais alto recebido e uma lista de buracos para indicar os que faltam!
- **Controlo de fluxo**
- **Controlo de congestão**

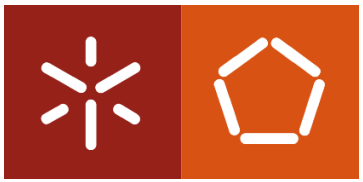
HTTP

Suporte HTTP para Web Services REST

Conceitos práticos



Aplicações Web: REST API Design

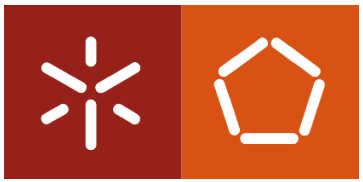


- **Lista de operações sobre um RECURSO (ex: livros) é definida aproveitando a semântica dos métodos do protocolo HTTP:**

Recurso	POST (Create)	GET (Read)	PUT (Update)	DELETE (Delete)
/livros	Cria um novo livro; Pedido: objeto "livro" no corpo do HTTP Request!	Lista todos os livros; Pedido: vazio; Resposta: listagem de livros;	Atualiza um conjunto de livros passados no corpo do pedido HTTP	Apaga todos os livros; Pedido: vazio; Resposta: sucesso ou insucesso;
/livros/01	Normalmente não é usado! Erro!	Devolve o objeto que representa o livro com id 01	Se existe livro 01 então atualiza-o; Senão dá erro!	Se existe livro 01 apaga-o;

CRUD (Create / Read / Update / Delete)

Ferramentas úteis



$ curl ...

(command line)

$ http ...

(command line)

POSTMAN

Google Chrome PlugIn

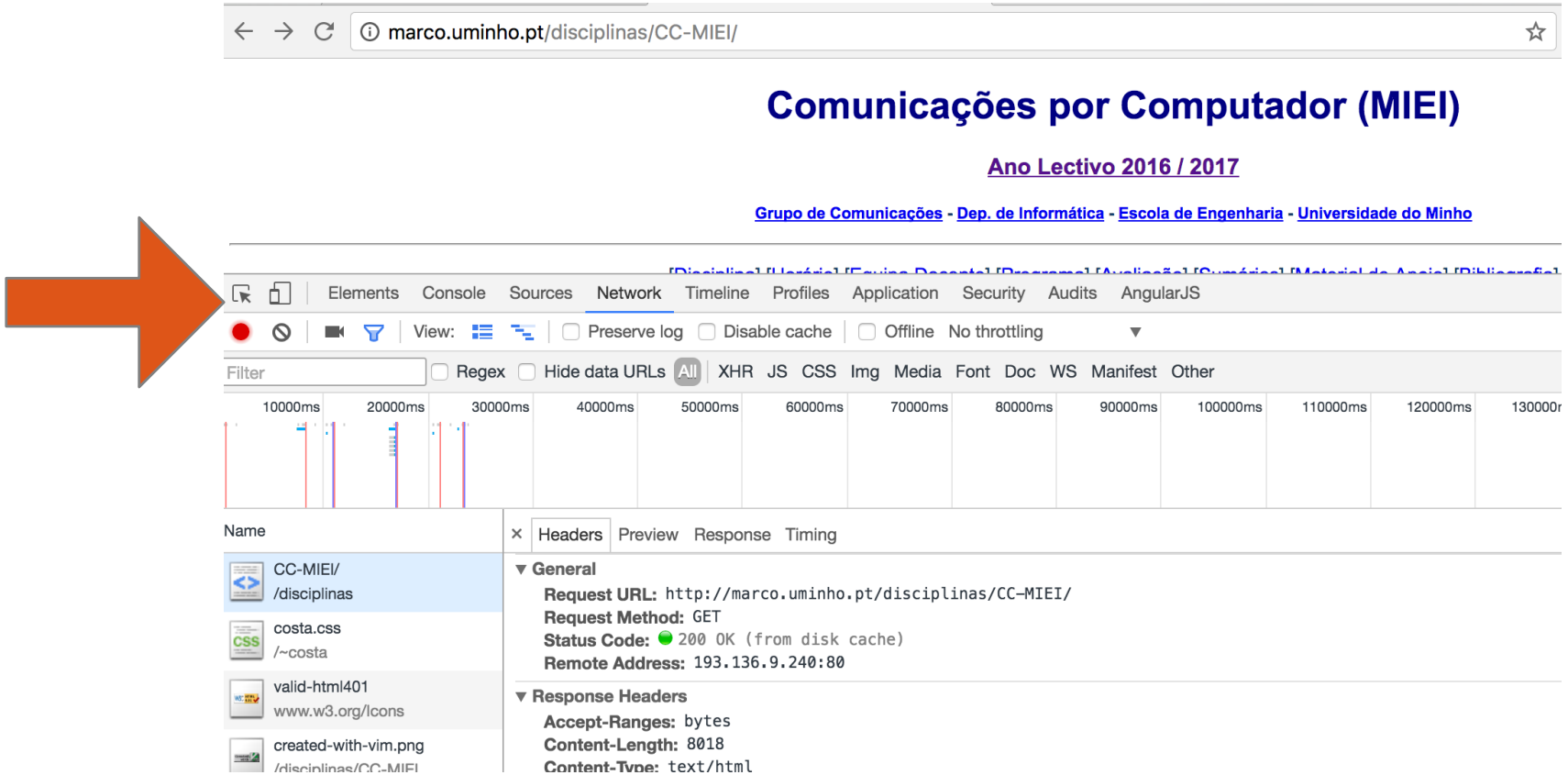
WireShark

Packet Sniffer (just in case)

https://curl.haxx.se
https://httpie.org
https://www.getpostman.com/docs/introduction
https://www.wireshark.org

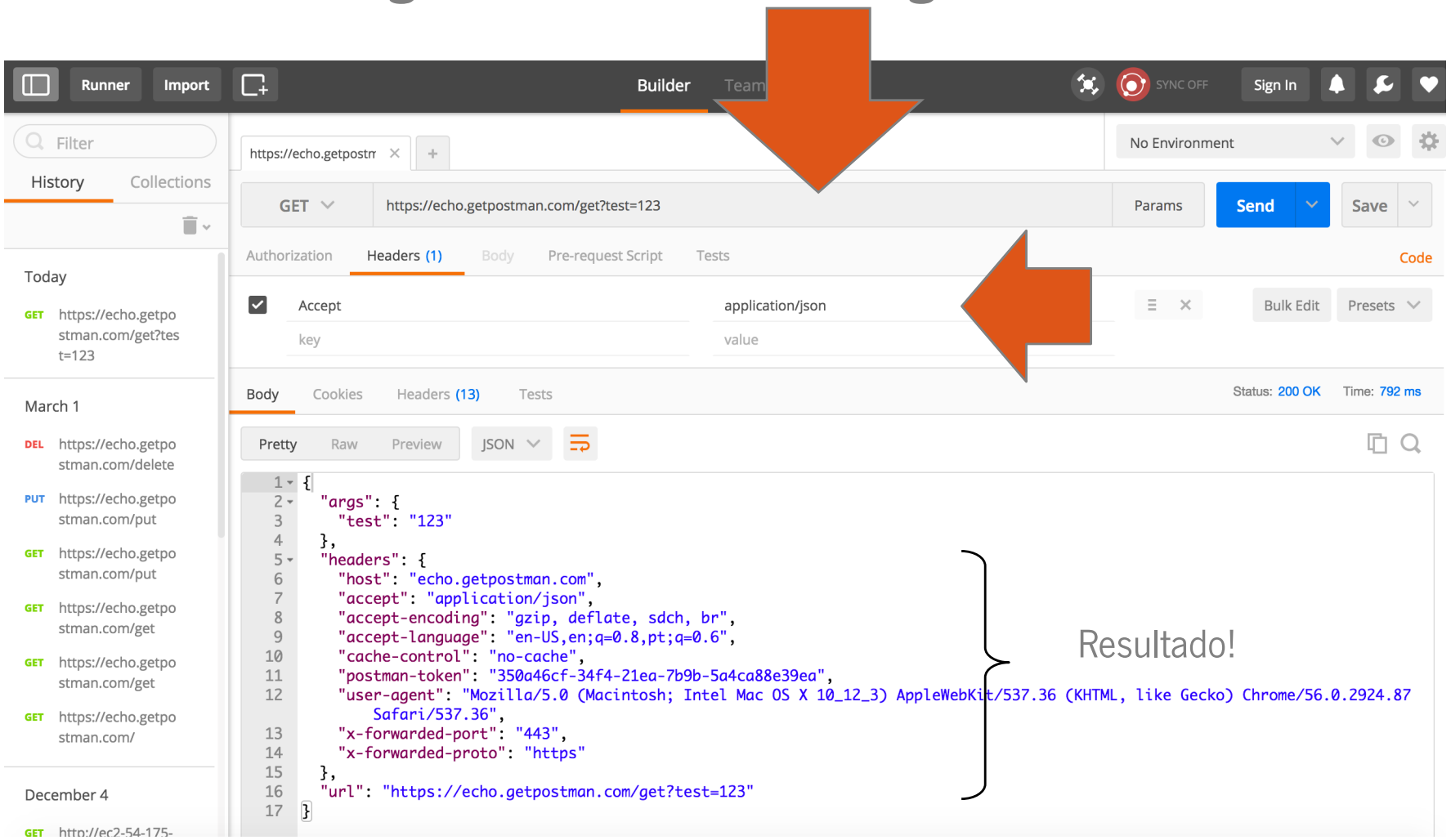
Teste

- Teste com “Developer Tools” do browser

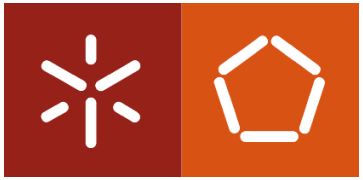


Teste

- Teste com o Plug In *POSTMAN* do Google Chrome!



REST API: GET (read all)

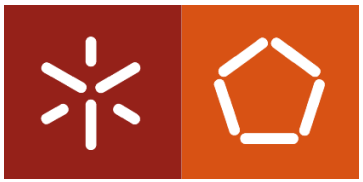


```
$ http GET http://ec2-54-175-51-193.compute-1.amazonaws.com/PHPWebServices/biblioteca.php/livros -v
GET /PHPWebServices/biblioteca.php/livros HTTP/1.1
Accept: */*
Accept-Encoding: gzip, deflate
Connection: keep-alive
Host: ec2-54-175-51-193.compute-1.amazonaws.com
User-Agent: HTTPie/0.9.4
```

```
HTTP/1.1 200 OK
Connection: Keep-Alive
Content-Length: 53
Content-Type: application/json
Date: Mon, 28 Nov 2016 13:34:09 GMT
Keep-Alive: timeout=5, max=100
Server: Apache/2.4.23 (Amazon) OpenSSL/1.0.1k-fips PHP/5.6.28
X-Powered-By: PHP/5.6.28

[
    {
        "autor": "Camoes",
        "id": "01",
        "titulo": "Os Lusiadas"
    }
]
```

API REST: GET (read one)

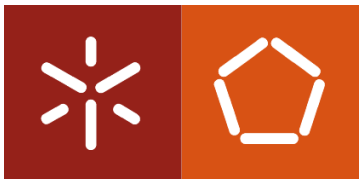


```
$ http GET http://ec2-54-175-51-193.compute-1.amazonaws.com/PHPWebServices/biblioteca.php/livros/01 -v
GET /PHPWebServices/biblioteca.php/livros/01 HTTP/1.1
Accept: */*
Accept-Encoding: gzip, deflate
Connection: keep-alive
Host: ec2-54-175-51-193.compute-1.amazonaws.com
User-Agent: HTTPie/0.9.4
```

```
HTTP/1.1 200 OK
Connection: Keep-Alive
Content-Length: 51
Content-Type: application/json
Date: Mon, 28 Nov 2016 13:39:20 GMT
Keep-Alive: timeout=5, max=100
Server: Apache/2.4.23 (Amazon) OpenSSL/1.0.1k-fips PHP/5.6.28
X-Powered-By: PHP/5.6.28

{
    "autor": "Camoes",
    "id": "01",
     "titulo": "Os Lusiadas"
}
```

API REST: POST (create new)

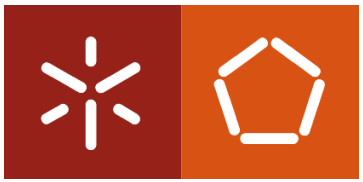


```
$ http POST http://ec2-54-175-51-193.compute-1.amazonaws.com/PHPWebServices/biblioteca.php/livros id=02
autor="Eça de Queirós" titulo="Os Maias" -v
POST /PHPWebServices/biblioteca.php/livros HTTP/1.1
Accept: application/json
Accept-Encoding: gzip, deflate
Connection: keep-alive
Content-Length: 71
Content-Type: application/json
Host: ec2-54-175-51-193.compute-1.amazonaws.com
User-Agent: HTTPie/0.9.4

{
    "autor": "Eça de Queirós",
    "id": "02",
    "titulo": "Os Maias"
}
```

```
HTTP/1.1 201 Created
Connection: Keep-Alive
Content-Length: 0
Content-Type: text/html; charset=UTF-8
Date: Mon, 28 Nov 2016 13:42:23 GMT
Keep-Alive: timeout=5, max=100
Location:
Server: Apache/2.4.23 (Amazon) OpenSSL/1.0.1k-fips PHP/5.6.28
X-Powered-By: PHP/5.6.28
```

API REST: PUT (modify one)



```
$ http PUT http://ec2-54-175-51-193.compute-1.amazonaws.com/PHPWebServices/biblioteca.php/livros/02
id=02 autor="Eca de Queiros" titulo="Os Maias" -v
PUT /PHPWebServices/biblioteca.php/livros/02 HTTP/1.1
Accept: application/json
Accept-Encoding: gzip, deflate
Connection: keep-alive
Content-Length: 61
Content-Type: application/json
Host: ec2-54-175-51-193.compute-1.amazonaws.com
User-Agent: HTTPie/0.9.4

{
    "autor": "Eca de Queiros",
    "id": "02",
    "titulo": "Os Maias"
}
```

```
HTTP/1.0 500 Internal Server Error
Connection: close
Content-Length: 0
Content-Type: text/html; charset=UTF-8
Date: Mon, 28 Nov 2016 13:50:27 GMT
Server: Apache/2.4.23 (Amazon) OpenSSL/1.0.1k-fips PHP/5.6.28
X-Powered-By: PHP/5.6.28
```