



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO  
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

**REVISITANDO A OTIMIZAÇÃO DE DESEMPENHO DE**  
***Front-end* EM Websites PARA HTTP/2**

**PEDRO COLEN CARDOSO**

Orientador: Prof. M.Sc. Flávio Roberto dos Santos Coutinho  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG

BELO HORIZONTE  
NOVEMBRO DE 2015

PEDRO COLEN CARDOSO

REVISITANDO A OTIMIZAÇÃO DE DESEMPENHO DE  
*Front-end* EM *Websites* PARA HTTP/2

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso  
de Engenharia da Computação do Centro Federal de  
Educação Tecnológica de Minas Gerais.

Orientador: M.Sc. Flávio Roberto dos Santos Couti-  
nho  
Centro Federal de Educação Tecnológica  
de Minas Gerais – CEFET-MG

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO  
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO  
BELO HORIZONTE  
NOVEMBRO DE 2015

**PEDRO COLEN CARDOSO**

**REVISITANDO A OTIMIZAÇÃO DE DESEMPENHO DE  
*Front-end* EM Websites PARA HTTP/2**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso  
de Engenharia da Computação do Centro Federal de  
Educação Tecnológica de Minas Gerais.

Trabalho aprovado. Belo Horizonte, 24 de novembro de 2014

---

**M.Sc. Flávio Roberto dos Santos  
Coutinho**  
Orientador

---

Co-Orientador

---

**Professor**  
Convidado 1

---

**Professor**  
Convidado 2

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO  
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO  
BELO HORIZONTE  
NOVEMBRO DE 2015

Dedico este trabalho a todas as pessoas que me deram a chance de crescer com elas, viver aventuras e me tornar mais forte. Se ainda estão me minha vida, espero aprender muito mais com vocês. Se não, sou grato pelas marcas de deixaram em mim. Sem cada um de vocês não seria possível chegar onde estou e ir para onde estou indo.

## **Agradecimentos**

Gostaria de dedicar um agradecimento especial ao meu professor orientador, Flávio Roberto dos Santos Coutinho produzir esse trabalho não foi fácil e ele esteve comigo durante toda a jornada. Também gostaria de agradecer a todos os professores do CEFET-MG que durante esse tempo me ensinaram a importância de se dedicar ao que amamos e que, apesar de todas as diversidades, sempre existe uma maneira de fazer as coisas acontecerem. Por fim, quero agradecer minha família e meus amigos, pois sem eles nada disso faria sentido.

*"You can't connect the dots looking forward you can only connect them looking backwards. So you have to trust that the dots will somehow connect in your future. You have to trust in something: your gut, destiny, life, karma, whatever. Because believing that the dots will connect down the road will give you the confidence to follow your heart, even when it leads you off the well worn path."(Steve Jobs)*

## Resumo

Desde a década de 1990, a *Web* não pára de se expandir e de adquirir novas funcionalidades. Nos dias atuais, a parte mais popular da Internet já não é mais composta de páginas estáticas que serviam apenas para leitura, mas de conteúdo gráfico e dinâmico, que interage com os usuários. Juntamente com a evolução da *Web*, a quantidade de dados que trafega entre servidores e usuários finais aumentou consideravelmente, isso graças à complexidade das páginas *web*. Um aumento do tempo de carregamento das páginas resulta em usuários insatisfeitos e prejuízos para empresas. Para diminuir esse tempo de carregamento, Steve Souders dedicou sua carreira em encontrar técnicas para otimização de desempenho de *front-end* de *websites*. Suas técnicas se provaram eficientes para o HTTP/1.1, que foi a versão vigente do protocolo HTTP por muitos anos. Com a iminência da liberação do HTTP/2, não se sabe se as técnicas de Souders continuarão funcionando para a nova versão do protocolo. Este trabalho analisou as técnicas propostas por Steve Souders, encontrou quais poderiam ser afetadas pelas mudanças do protocolo HTTP e as testou na nova versão. Como o protocolo HTTP/2 é muito novo, encontrar um servidor que suportasse a versão antiga e a mais recente do HTTP foi um desafio. Após algumas tentativas ficou definido que o Nginx, versão 1.9.5, seria usado como servidor de teste, apesar de ainda não ser uma versão oficial estável. Contudo, os testes com o HTTP/2 não comprovaram as hipóteses levantadas. O novo protocolo acabou obtendo resultados de desempenho piores do que sua versão prévia. Acredita-se que esse resultado negativo é consequência de falhas no suporte ao paralelismo no Nginx ou mesmo no computador de teste, ou ainda a falta de adaptação dos navegadores *web* para atender todas as funcionalidades do HTTP/2.

## Abstract

Since the 90s the Web has not stopped expanding and acquiring new features. Nowadays the most popular part of the Internet is not made of static pages used just for reading, it is made of graphical and dynamic content that interacts with the final user.. Along with the evolution of the Web, the amount of data exchanged between servers and final users has increased considerably, and that is because of the complexity of the web pages. An increase in pages' load time results in dissatisfied users and financial losses for companies. To reduce this wait time, Steve Souders dedicated his career to find techniques to optimize the performance of the front-end of websites. His techniques have been proved efficient for HTTP/1.1, that was the ruling version of the protocol for a long day. With the imminent release of HTTP/2, the techniques created by Souders might not work in the new protocol. This work analyzed the techniques proposed by Steve Souders, found the ones that could be affected by the changes in the HTTP protocol and tested them in the new version. Because the HTTP/2 protocol is new, finding a server that supports both versions of HTTP was a challenge. After some tries it was defined that the Nninx, version 1.9.5, would be used as the test serve, even though it is not a offical version. However, that tests with the HTTP/2 did not prove the hypotheses. The new protocol had results worse than its previouos versions. It is believed that this negative results is a consequence of the lack of support for parallelism on the Nginx implementation or even in the test computer, or yet it might be lack of development of the web browsers to support all HTTP/2 features.



## Lista de Figuras

Figura 1 – Média de Bytes por Página por Tipo de Conteúdo em 2011 . . . . .	1
Figura 2 – Média de Bytes por Página por Tipo de Conteúdo em 2015 . . . . .	1
Figura 3 – Exemplo de requisição HTTP . . . . .	6
Figura 4 – Exemplo de resposta HTTP . . . . .	6
Figura 5 – Visão Geral do Protocolo HTTP . . . . .	7
Figura 6 – HTTP com (a) múltiplas conexões e requisições sequenciais. (b) Uma conexão persistente e requisições sequenciais. (c) Uma conexão persistente e requisições em <i>pipeline</i> . . . . .	12
Figura 7 – Multiplexação de fluxos no HTTP/2 (a) dois fluxos separados (b) fluxos multiplexados . . . . .	17
Figura 8 – Comparação entre modelo de <i>web</i> original e modelo utilizando AJAX	21
Figura 9 – Diagrama de funcionamento de proxy HTTP/2. . . . .	42
Figura 10 – Ferramentas do desenvolvedor do Google Chrome mostrando protocolo usado na requisição. . . . .	45
Figura 11 – Ferramentas do desenvolvedor do Mozilla Firefox mostrando protocolo usado na requisição. . . . .	45
Figura 12 – Cascata representando <i>download</i> de componentes da página no HTTP/1.1.	52
Figura 13 – Cascata representando <i>download</i> de componentes da página no HTTP/2.	53
Figura 14 – Cascata "Reduza requisições HTTP" - Arquivos separados - HTTP/1.1.	87
Figura 15 – Cascata "Faça menos requisições HTTP" - Arquivos separados - HTTP/2. . . . .	88
Figura 16 – Cascata "Faça menos requisições HTTP" - Arquivos concatenados - HTTP/1.1. . . . .	89
Figura 17 – Cascata "Faça menos requisições HTTP" - Arquivos concatenados - HTTP/2. . . . .	90
Figura 18 – Cascata "Reduza o número de pesquisas DNS" - Única CDN - HTTP/1.1.	91
Figura 19 – Cascata "Reduza o número de pesquisas DNS" - Única CDN - HTTP/2.	92
Figura 20 – Cascata "Reduza o número de pesquisas DNS" - Múltiplas CDN - HTTP/1.1. . . . .	93
Figura 21 – Cascata "Reduza o número de pesquisas DNS" - Múltiplas CDNs - HTTP/2. . . . .	94
Figura 22 – Cascata "Quebrando domínios dominantes" - 2 CDNs - HTTP/1.1. .	95
Figura 23 – Cascata "Quebrando domínios dominantes" - 2 CDNs - HTTP/2. . .	96
Figura 24 – Cascata "Quebrando domínios dominantes" - 3 CDNs - HTTP/1.1. .	97
Figura 25 – Cascata "Quebrando domínios dominantes" - 3 CDNs - HTTP/2. . .	98
Figura 26 – Cascata "Template" - HTTP/1.1. . . . .	99

Figura 27 – Cascata "Template" - HTTP/2. . . . .	100
--	-----

## Lista de Tabelas

Tabela 1 – Impacto do desempenho de <i>website</i> na receita. . . . .	2
Tabela 2 – My caption . . . . .	9
Tabela 5 – Resultados da técnica "Faça menos requisições HTTP" . . . . .	48
Tabela 6 – Resultados da técnica "Reduza o número de pesquisas DNS" . . . . .	49
Tabela 7 – Resultados da técnica "Quebrando domínios dominantes" . . . . .	49
Tabela 8 – Resultados da técnica "Evite redirecionamento" . . . . .	50
Tabela 9 – Resultados do teste final utilizando <i>template</i> . . . . .	50
Tabela 10 – Resultados da técnica "Faça menos requisições HTTP" com arquivos separados. . . . .	78
Tabela 11 – Resultados da técnica "Faça menos requisições HTTP" com arquivos concatenados. . . . .	79
Tabela 12 – Resultados da técnica "Reduza o número de pesquisas DNS" com múltiplas CDNs. . . . .	80
Tabela 13 – Resultados da técnica "Reduza o número de pesquisas DNS" com uma CDN. . . . .	81
Tabela 14 – Resultados da técnica "Quebrando domínios dominantes" com 2 CDNs. . . . .	82
Tabela 15 – Resultados da técnica "Quebrando domínios dominantes" com 3 CDNs. . . . .	83
Tabela 16 – Resultados da técnica "Evite redirecionamento". . . . .	84
Tabela 17 – Resultados do teste final utilizando <i>template</i> . . . . .	85

## Lista de Quadros

Quadro 1 – Etiquetas para cabeçalhos HTTP. . . . .	8
Quadro 2 – Métodos HTTP. . . . .	9
Quadro 3 – Códigos de estado HTTP. . . . .	9
Quadro 4 – Mudanças introduzidas no HTTP/1.1. . . . .	12
Quadro 5 – Mudanças introduzidas no HTTP/2. . . . .	19

## Lista de Abreviaturas e Siglas

AJAX	Asynchronous JavaScript and XML
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
CDN	Content Delivery Network
CSS	Cascade Style Sheet
DNS	Domain Name System
DOM	Document Object Model
Gb	Gigabytes
IETF	Internet Engineering Task Force
HTML	HyperText Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HTTPbis	Hypertext Transfer Protocol bis
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure
HTTP-WG	Hypertext Transfer Protocol Working Group
JS	JavaScript
KB	Kilobytes
MIME	Multi-Purpose Internet Mail Extensions
ms	Milissegundo
PNG	Portable Network Graphics
RAM	Random Access Memory
RFC	Request for Comments
TCP	Transmission Control Protocol
URI	Uniform Resource Identifier
URL	Uniform Resource Locator
XHR	XMLHttpRequest

XHTML	Extensible Hypertext Markup Language
XML	Extensible Markup Language
XSLT	Extensible Stylesheet Language Transformations

# Sumário

<b>1 – Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Motivação	3
1.2 Objetivos	3
<b>2 – Fundamentação Teórica</b>	<b>5</b>
2.1 Protocolo HTTP	5
2.2 Visão Geral do Funcionamento do HTTP	7
2.3 HTTP/1.0 VS HTTP/1.1	10
2.4 HTTP/1.1 VS HTTP/2	15
2.5 AJAX	20
2.6 Web 2.0	20
<b>3 – Trabalhos Relacionados</b>	<b>22</b>
3.1 <i>High Performance Web Sites</i>	22
3.1.1 Regra 1: Faça menos requisições HTTP	22
3.1.2 Regra 2: Use Redes de Entrega de Conteúdo (CDN)	23
3.1.3 Regra 3: Adicione cabeçalhos de expiração	23
3.1.4 Regra 4: Utilize <i>gzip</i> nos componentes	23
3.1.5 Regra 5: Coloque folhas de estilo no topo da página	24
3.1.6 Regra 6: Coloque <i>scripts</i> no fim da página	24
3.1.7 Regra 7: Evite expressões CSS	24
3.1.8 Regra 8: Faça arquivos <i>JavaScript</i> e folhas de estilo externos	24
3.1.9 Regra 9: Reduza o número de pesquisas de DNS	25
3.1.10 Regra 10: Minimizar componentes	25
3.1.11 Regra 11: Evite redirecionamentos	25
3.1.12 Regra 12: Remova <i>scripts</i> duplicados	26
3.1.13 Regra 13: Configure <i>ETags</i>	26
3.1.14 Regra 14: Habilite <i>cache</i> para AJAX	26
3.2 <i>Even Faster Web Sites</i>	26
3.2.1 Entendendo desempenho em AJAX	27
3.2.2 Criando aplicações <i>web</i> responsivas	27
3.2.3 Dividindo carga inicial	28
3.2.4 Carregando <i>scripts</i> sem bloqueios	28
3.2.5 Lidando com <i>scripts</i> assíncronos	29
3.2.6 Posicionando blocos de <i>scripts</i> em linha	29
3.2.7 Escrevendo códigos <i>JavaScript</i> eficientes	29

3.2.8	Escalando usando <i>Comet</i>	30
3.2.9	Indo além do <i>gzip</i>	30
3.2.10	Otimizando imagens	31
3.2.11	Quebrando domínios dominantes	31
3.2.12	Entregando o documento cedo	31
3.2.13	Usando <i>Iframes</i> com moderação	32
3.2.14	Simplificando seletores CSS	32
<b>4</b>	<b>– Metodologia</b>	<b>33</b>
4.1	Seleção das técnicas de melhora de desempenho	33
4.2	Preparação dos testes	34
4.3	Realização dos testes e coleta de dados	35
4.4	Análise de resultados	35
<b>5</b>	<b>– Desenvolvimento</b>	<b>37</b>
5.1	Técnicas Escolhidas	37
5.1.1	Faça menos requisições HTTP	38
5.1.2	Reduza o número de pesquisas DNS	38
5.1.3	Evite redirecionamentos	39
5.1.4	Quebrando domínios dominantes	39
5.2	O servidor	39
5.2.1	Apache	39
5.2.2	Nginx	40
5.2.3	Nghttp2	40
5.2.4	A escolha do servidor	40
5.2.4.1	A primeira escolha do servidor	41
5.3	Execução dos testes	42
5.3.1	Considerações iniciais	42
5.3.2	Utilizando o <i>nghttpd</i>	43
5.3.3	A primeira execução dos testes	44
5.3.4	Problemas nos resultados	46
5.4	A escolha final do servidor	46
<b>6</b>	<b>– Resultados</b>	<b>48</b>
6.1	Análise do tempo de carregamento	48
6.1.1	Análise do desvio padrão	50
6.1.2	Cascata	51
6.2	Discussão dos resultados	54
6.3	Questões em aberto	55
<b>7</b>	<b>– Conclusão</b>	<b>56</b>

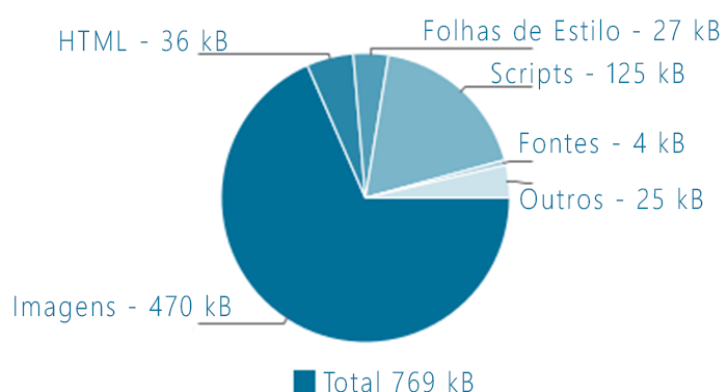


7.1 Principais contribuições . . . . .	57
7.2 Trabalhos futuros . . . . .	58
<b>Referências . . . . .</b>	<b>59</b>
<b>Apêndices . . . . .</b>	<b>61</b>
APÊNDICE A–Código de teste para a técnica “Faça menos requisições HTTP”: Arquivos Separados . . . . .	62
APÊNDICE B–Código de teste para a técnica “Faça menos requisições HTTP”: Arquivos Concatenados . . . . .	64
APÊNDICE C–Código de teste para a técnica “Reduza o número de pesquisas DNS”: Multiplas CDN . . . . .	66
APÊNDICE D–Código de teste para a técnica “Reduza o número de pesquisas DNS”: Única CDN . . . . .	68
APÊNDICE E–Código de teste para a técnica “Quebrando domínios domi- nantes” . . . . .	70
APÊNDICE F – Configurando <i>nghttp2</i> . . . . .	74
F.1 Instalando dependências . . . . .	74
F.2 Instalando a aplicação . . . . .	75
APÊNDICE G–Tentativa de configuração do <code>mod_h2</code> . . . . .	76
APÊNDICE H–Tabelas de resultados detalhados dos testes realizados . . . . .	78
APÊNDICE I – Gráficos em cascata dos testes realizados . . . . .	86

# 1 Introdução

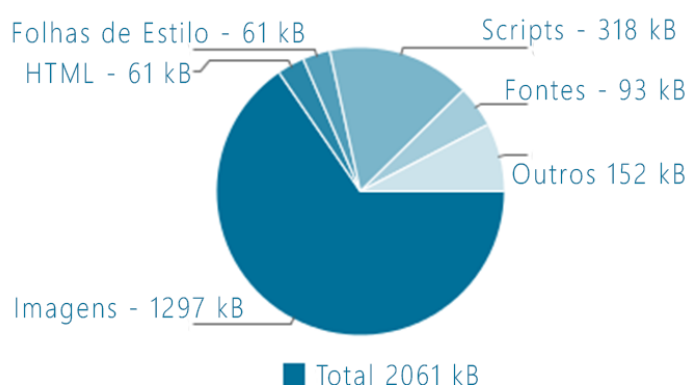
Desde que a *World Wide Web* foi proposta pelo cientista e pesquisador britânico Tim Bernes-Lee em 1989 (CONNOLLY, 2000), as páginas *web* vêm mudando de maneira acelerada. Nos últimos 4 anos, o tamanho médio de uma página *web* passou de 769kB para 2061kB, um expressivo aumento de 168%. Esse fato pode ser percebido observando os gráficos nas figuras 1 e 2, obtidas no *website* HTTP Archive<sup>1</sup>. O primeiro gráfico foi gerado com dados de 15 de Abril de 2011 e o segundo com dados de 15 de Abril de 2015 e os dois mostram a média de *bytes* por página por tipo de conteúdo nas páginas *web*. Mas a informação mais relevante está localizado na parte debaixo do gráfico e mostra o tamanho médio de uma página *web* nas respectivas datas.

Figura 1 – Média de Bytes por Página por Tipo de Conteúdo em 2011



Fonte: Adaptado de Archive (2015a)

Figura 2 – Média de Bytes por Página por Tipo de Conteúdo em 2015



Fonte: Adaptado de Archive (2015b)

<sup>1</sup><http://httparchive.org/>

Apesar dessa grande mudança no tamanho das páginas (e consequentemente dos *websites*), a maneira como *websites* são entregues dos servidores para os clientes não sofreu nenhuma alteração desde 1999, ano de lançamento da RFC 2616 que especificou o HTTP/1.1 (GROUP, 1999). Como explicado por (TANENBAUM, 2011), o HTTP é um protocolo simples na camada de aplicação de requisições e respostas que é executado em cima da camada de transporte do protocolo TCP. O HTTP ficou famoso por ser fácil de entender e implementar e ao mesmo tempo cumprir sua função de transferência de recursos em rede com um bom desempenho. Contudo, o aumento no tamanho dos *websites* começou a fazer com que o tempo de resposta das páginas *web* ficasse muito grande e, como mudanças no HTTP seriam muito difíceis, pois teriam de envolver esforços de muitas partes interessadas na *World Wide Web* (como fabricantes de navegadores e mantenedores de servidores), os desenvolvedores passaram a ter de criar outras formas de resolver esse problema.

Técnicas de otimização de desempenho passaram a ser estudadas e implementadas por muitas empresas que queriam ter seus *websites* entregues mais rapidamente a seus clientes. Por muitos anos, a grande maioria dessas empresas focou seus esforços em otimizações para o *back-end*, principalmente para os seus servidores, o que hoje em dia pode ser considerado um erro. Como explicado por Souders (2007, p. 5) no que ele chamou de "Regra de Ouro do Desempenho": "Apenas 10-20% do tempo de resposta do usuário final são gastos baixando o documento HTML. Os outros 80-90% são gastos baixando todos os componentes da página."

Dessa forma ficou claro que técnicas de otimização de desempenho para o *front-end* dos *websites* deveriam se tornar prioridade quando procura-se melhorar o tempo de resposta para o usuário final. Para entender o quão importante esse tempo de resposta se tornou para empresas que baseiam seus negócios em vendas de serviços ou produtos na Internet, basta observar os dados da tabela Tabela 1 expostos por Steve Souders na conferência Google I/O de 2009:

Tabela 1 – Impacto do desempenho de *website* na receita.

Empresa	Piora no tempo de resposta	Consequência
Google Inc.	+500ms	-20% de tráfego
Yahoo Inc.	+400ms	-5% a -9% de tráfego
Amazon.com Inc.	a cada +100ms	-1% de vendas

Fonte: (SOUDERS, 2009b)

Steve Souders tornou-se um grande evangelizador da área de otimização de desempenho de *front-end* de *websites*. Em seus livros, *High Performance Websites* (SOUDERS, 2007) e *Even Faster Websites* (SOUDERS, 2009a), ele ensina técnicas de como tornar *websites* mais rápidos, focando nos componentes das páginas. E em 2012, ele

lançou seu terceiro livro, *Web Performance Daybook* (SOUDERS, 2012), como um guia para desenvolvedores que trabalham com otimização de desempenho de *websites*.

## 1.1 Motivação

Após mais de 15 anos sem mudanças, o protocolo HTTP (finalmente) receberá uma atualização. A nova versão do protocolo, chamada de HTTP2, teve sua especificação aprovada no dia 11 de Fevereiro de 2015, (GROUP, 2015b), e deverá começar a ser implantada, a partir de 2016. Muitas mudanças foram feitas com o objetivo de melhorar o desempenho e a segurança da *web*. Além disso, o HTTP2 foi desenvolvido para ser compatível com suas versões anteriores, não sendo necessárias mudanças em servidores e aplicações antigos para funcionar baseados no novo protocolo.

Com as novas funcionalidades do HTTP2 a caminho, algumas coisas devem mudar na área de otimização de desempenho de *websites*. Como pode ser percebido no trabalho de Stenberg (2014), o HTTP2 foi desenvolvido para melhorar o desempenho de todos os *websites* e aplicações *web*, e não apenas dos poucos que podem aplicar técnicas de otimização. Isso torna difícil uma previsão do resultado da aplicação de técnicas desenvolvidas para os protocolos HTTP/1.0 e HTTP/1.1. Acredita-se que algumas das técnicas antigas podem não apenas não melhorar o desempenho dos *websites* como podem acabar piorando o tempo de resposta para o usuário final.

No decorrer dos próximos anos o HTTP2 deve seguir o mesmo caminho do HTTP/1.1 e se tornar o protocolo mais utilizado da *web*. Apesar de todo o esforço do HTTPbis (grupo responsável por desenvolver a especificação do HTTP2) em desenvolver um protocolo que garanta o melhor desempenho de *websites* e aplicações, sempre é possível ser mais rápido se as medidas certas forem tomadas.

## 1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo analisar o comportamento de técnicas de otimização de desempenho de *websites* desenvolvidas para os protocolos HTTP/1.0 e HTTP/1.1 quando aplicadas a *websites* usando o protocolo HTTP2 e, se necessário, propor técnicas específicas para o novo protocolo.

Para a realização do objetivo principal, os seguintes objetivos específicos foram determinados:

1. Fazer uma análise comparativa das versões do protocolo HTTP
2. Avaliar os ganhos de desempenho das técnicas propostas por Steve Souders ao aplicá-las ao HTTP2

3. Se necessário, propor novas técnicas de otimização de desempenho de *websites* específicas para o HTTP2

## 2 Fundamentação Teórica

Este capítulo apresenta os principais conceitos relacionados ao funcionamento e à utilização do protocolo HTTP, bem como traça comparações entre suas versões. O bom entendimento do funcionamento do protocolo, bem como do uso que é feito dele na *web*, é essencial para a compreensão das técnicas de otimização de desempenho que são apresentadas e avaliadas neste trabalho.

### 2.1 Protocolo HTTP

Nas décadas de 1970 e 1980, a comunidade científica estava trabalhando arduamente para fazer importantes descobertas. Por causa das distâncias geográficas, era muito difícil de compartilhar informações e isso atrasava os tão esperados avanços da ciência. Apesar dos avanços na área de rede de computadores, essas não conseguiam resolver o problema dos cientistas. Existiam várias redes espalhadas pelos Estados Unidos e Europa, mas como cada uma possuía topologia e sistemas operacionais diferentes elas não se comunicavam entre si, limitando a troca de informação aos computadores conectados na mesma rede.

Visando resolver esse problema em 1989, o cientista do CERN<sup>1</sup>, Tim Berners-Lee, propôs uma rede de computadores global para ajudar a comunidade científica a compartilhar o conhecimento gerado em diferentes partes do mundo, acelerando assim o desenvolvimento tecnológico.

Para tanto, Tim precisaria de um formato padrão de arquivos que pudesse ser executado em qualquer computador; assim desenvolveu uma linguagem de marcação de hipertextos, que ficou conhecida como HTML, e um programa para executar esses arquivos, um navegador *web*. Esses arquivos precisariam ser servidos sempre que fossem requisitados, então Berners-Lee criou um servidor *web*. E, por último, era necessário um protocolo para conectar o navegador ao servidor, então foi desenvolvido o protocolo para transferência de hipertextos, chamado de HTTP. Ao final de 1990, Tim Berners-Lee já havia terminado de desenvolver todos os requisitos necessários para sua rede, e decidiu chamá-la de *World Wide Web*, hoje conhecida apenas como *web*.

O protocolo HTTP baseava-se na troca de informações por meio de mensagens formadas por caracteres ASCII, ou seja, mensagens de texto. O navegador *web* enviava uma requisição, como a exemplificada na [Figura 3](#), e o servidor retornava uma resposta,

---

<sup>1</sup>Organização Europeia para Pesquisa Nuclear, conhecida como CERN na sigla em inglês, é uma organização de pesquisas em física e engenharia que realiza experimentos para tentar compreender as estruturas fundamentais do universo.

como a da [Figura 4](#). O protocolo era simples.

Figura 3 – Exemplo de requisição HTTP

```
GET /index.html HTTP/1.1  
Host: www.example.com
```

Figura 4 – Exemplo de resposta HTTP

```
HTTP/1.1 200 OK  
Date: Mon, 23 May 2005 22:38:34 GMT  
Server: Apache/1.3.3.7 (Unix) (Red-Hat/Linux)  
Content-Type: text/html  
  
<html>  
<head>  
  <title>An Example Page</title>  
</head>  
<body>  
  Hello World, this is a very simple HTML document.  
</body>  
</html>
```

Apesar de ter sido utilizado desde 1990, o HTTP recebeu sua primeira documentação oficial em 1991, quando recebeu um número de versão e passou a ser chamado de HTTP/0.9. O funcionamento básico do protocolo é explicado por [Grigorik \(2013\)](#) da seguinte maneira:

- Uma conexão TCP era aberta entre o navegador (chamado também de cliente) e o servidor
- A requisição do cliente era uma cadeia simples de caracteres ASCII
- A resposta do servidor era uma torrente de caracteres ASCII que representava um arquivo HTML
- A conexão era fechada após a transferência do documento

Com o passar dos anos, a *World Wide Web* de Tim Berners-Lee cresceu rapidamente e isso fez com que o uso do HTTP aumentasse muito em pouco tempo. Viu-se a necessidade de um protocolo mais robusto e estruturado, mas que mantivesse a simplicidade do HTTP/0.9, pois esta era vista como o motivo por trás do sucesso do protocolo. Então o IETF<sup>2</sup> passou a coordenar a criação de especificações para o HTTP e criou o HTTP-WG<sup>3</sup> que tinha a função definir as especificações das versões seguintes

<sup>2</sup>Força Tarefa de Engenharia da Internet, conhecida como IETF na sigla em inglês, é uma comunidade aberta formada por profissionais que se preocupam com a evolução da Internet e por isso procuram formalizar as técnicas utilizadas na rede global de computadores.

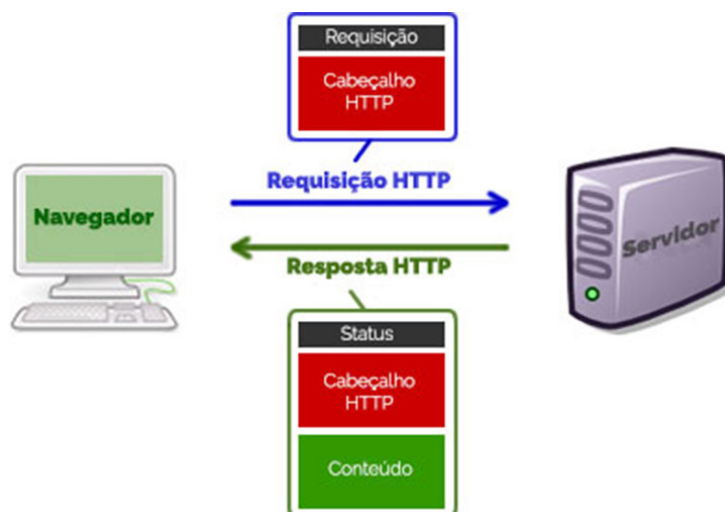
<sup>3</sup>Grupo de Trabalho do HTTP, conhecido como HTTP-WG na sigla em inglês, é um grupo formado por profissionais escolhidos pelo IETF para lidar com as especificações do protocolo.

do protocolo. Em 1996, foi definido o HTTP/1.0 ([GROUP, 1996](#)), em 1999 o HTTP/1.1 ([GROUP, 1999](#)) e em 2015 foi aprovada a especificação para o HTTP2 ([GROUP, 2015b](#)).

## 2.2 Visão Geral do Funcionamento do HTTP

Como descrito por [Tanenbaum \(2011, p. 683\)](#), o HTTP é um simples protocolo de requisições e respostas. As requisições e respostas são compostas por um cabeçalho e um conteúdo, e são enviadas do cliente para o servidor. O HTTP é um protocolo independente de estado, ou seja, cada tupla requisição-resposta pode ser tratada de maneira independente, sem que as anteriores e futuras interfiram nela. O modelo, ilustrado na [Figura 5](#), é bem simples e direto, fácil de ser replicado.

Figura 5 – Visão Geral do Protocolo HTTP



Fonte: Adaptado de [Saenz \(2014\)](#)

O HTTP foi desenvolvido para funcionar como um protocolo de camada de Aplicação em cima do protocolo TCP, conectando as ações do usuário à camada de Apresentação. Contudo, de acordo com [Tanenbaum \(2011, p. 684\)](#), ele se transformou em um protocolo da camada de Transporte, criando uma maneira de processos se comunicarem através de diferentes redes. Hoje em dia não são apenas os navegadores *web* que utilizam o protocolo HTTP para se comunicar com servidores: aplicações como tocadores de mídias, anti-vírus, programas de fotos, dentre outras utilizam o HTTP para trocar informações de maneira simples, rápida e eficiente.

Os cabeçalhos HTTP definem características desejadas ou esperadas pelas aplicações e servidores, como tipo de codificação de caracteres ou tipo de compressão dos dados. Existem várias etiquetas padrões que podem ser utilizadas nos cabeçalhos e os desenvolvedores podem ainda criar etiquetas próprias para serem utilizadas dentro das aplicações - por definição, caso um cliente ou servidor receba uma etiqueta que



não reconhece ele simplesmente a ignora. No [Quadro 1](#) são apresentadas algumas das etiquetas mais utilizadas, mas existem muitas outras que não foram citadas e que podem variar com a versão do protocolo.

Quadro 1 – Etiquetas para cabeçalhos HTTP.

Etiqueta	Tipo	Conteúdo
<i>Accept</i>	Requisição	Tipo de páginas que o cliente suporta
<i>Accept-Encoding</i>	Requisição	Tipo de codificação que o cliente suporta
<i>If-Modified-Since</i>	Requisição	Data e hora para checar atualidade do conteúdo
<i>Authorization</i>	Requisição	Uma lista de credenciais do cliente
<i>Cookie</i>	Requisição	Cookie definido previamente enviado para o servidor
<i>Content-Encoding</i>	Resposta	Como o conteúdo foi codificado (e.g. <i>gzip</i> )
<i>Content-Length</i>	Resposta	Tamanho da página em <i>bytes</i>
<i>Content-Type</i>	Resposta	Tipo de <i>MIME</i> da página
<i>Last-Modified</i>	Resposta	Data e hora que a página foi modificada pela última vez
<i>Expires</i>	Resposta	Data e hora quando a página deixa de ser válida
<i>Cache-Control</i>	Ambas	Diretiva de como tratar <i>cache</i>
<i>ETag</i>	Ambas	Etiqueta para o conteúdo da página
<i>Upgrade</i>	Ambas	O novo protocolo para o qual o cliente deseja alterar

Fonte: Adaptado de [Tanenbaum \(2011\)](#)

O conteúdo de uma resposta HTTP pode assumir diferentes formatos (como, HTML, CSS e JavaScript) e a definição desse formato é feita com a etiqueta *Content-Type* enviada no cabeçalho de resposta. O conteúdo é a maior parte de uma resposta HTTP e os desenvolvedores devem se esforçar para reduzi-lo ao máximo, garantindo que a comunicação de dados seja rápida e eficiente.

Por executar em cima do protocolo TCP, o HTTP precisa que uma conexão TCP seja aberta para poder realizar a troca de dados entre o cliente e o servidor. Como essa conexão é gerenciada depende da versão do protocolo. Após a abertura da conexão, a requisição pode ser enviada. Na primeira linha da requisição, são definidas a versão do protocolo e a operação que será realizada. Apesar de ter sido criado apenas para recuperar páginas *web* de um servidor, o HTTP foi intencionalmente desenvolvido de forma genérica, possibilitando a extensibilidade do seu uso. Sendo assim, o protocolo suporta diferentes operações, chamadas de métodos, além da tradicional requisição de páginas *web*. A lista completa de métodos com suas descrições pode ser vista no [Quadro 2](#). Vale ressaltar que esses métodos são *case sensitive*, ou seja, o método *get*, por exemplo, não existe.

Dos métodos citados no [Quadro 2](#), GET e POST são os mais utilizados pelos navegadores *web* e serão os mais utilizados neste trabalho. O método GET é utilizado para recuperar informações do servidor e o método POST para enviar informações para o servidor.

Quadro 2 – Métodos HTTP.

Método	Descrição
GET	Ler página <i>web</i>
HEAD	Ler cabeçalho de página <i>web</i>
POST	Anexar à página <i>web</i>
PUT	Armazenar página <i>web</i>
DELETE	Remover página <i>web</i>
TRACE	Imprimir requisição de entrada
CONNECT	Conectar através de um <i>proxy</i>
OPTIONS	Listar opções para uma página <i>web</i>

Fonte: Adaptado de [Tanenbaum \(2011\)](#)

Tabela 2 – My caption

Código	Significado	Exemplo
1xx	Informação	100 = servidor concorda em lidar com requisição do cliente
2xx	Sucesso	200 = sucessosa requisição 204 = nenhum conteúdo presente
3xx	Redirecionamento	301 = página foi movida 304 = <i>cache</i> ainda é válida
4xx	Erro do cliente	403 = página proibida 404 = página não encontrada

Sempre que uma requisição é enviada por um cliente, este recebe uma resposta, mesmo que a requisição não possa ser cumprida pelo servidor, que então enviará uma resposta comunicando o cliente do ocorrido. Na primeira linha do cabeçalho de resposta se encontra o código do estado da resposta em formato numérico de três dígitos. O primeiro dígito deste código define a qual sub-grupo ele pertence. O [Quadro 3](#) mostra os sub-grupos existentes e o significado de cada um deles. Cada um destes sub-grupos possui vários códigos com diferentes significados e, com a evolução do protocolo, mais códigos foram sendo inseridos para lidar com necessidades específicas.

Quadro 3 – Códigos de estado HTTP.

Fonte: Adaptado de [Tanenbaum \(2011\)](#)

A *cache* é uma característica importante do HTTP. O protocolo foi construído com suporte integrado para lidar com este requisito de desempenho. Os clientes e os servidores conseguem gerenciar *caches* com a ajuda dos cabeçalhos de requisição e resposta, mas o tamanho da *cache* é definido pelo navegador. O problema destas memórias locais é saber o momento de utilizar os dados armazenados nelas ou de pedir novos dados ao servidor.

As versões do protocolo HTTP foram corrigindo falhas identificadas quando ele passou a ser utilizado em larga escala. Mas, apesar das mudanças, a essência continua a mesma: um simples protocolo de requisição e resposta.

Nas próximas seções serão, apresentadas comparações entre as versões do HTTP, com ênfase nas mudanças que ajudaram a melhorar a performance dos *websites* e aplicações *web*.

## 2.3 HTTP/1.0 VS HTTP/1.1

Com a popularização da Internet na década de 1990, o uso do HTTP cresceu rapidamente. Nesse cenário o IETF teve que se apressar para criar um documento de consulta para desenvolvedores que queriam utilizar o protocolo em suas aplicações. Sendo assim, apesar de todo o debate por trás da especificação do HTTP/1.0 (GROUP, 1996), aprovada em 1996, o documento apenas explicou os usos comuns do protocolo, mas não chegou a definir padrões de como ele deveria ser aplicado, como explica Krishnamurthy et al. (1999). Por isso, logo após a sua aprovação, o HTTP-WG já começou a trabalhar na RFC 2616 (GROUP, 1999), para poder corrigir os erros existentes no HTTP/1.0 com a criação de uma nova versão, o HTTP/1.1.

Várias funcionalidades importantes foram adicionadas no HTTP/1.1, e o HTTP-WG teve o cuidado de manter a compatibilidade entre as versões do protocolo, levando em consideração que o HTTP/1.0 já era amplamente utilizado e não podia se esperar que todos os *websites* e aplicações se adaptassem de uma hora para outra. Esse fato também levou o HTTP-WG a criar um protocolo que fosse flexível a mudanças futuras (lembrando que no HTTP todas as etiquetas que um cliente ou servidor não reconhecem são simplesmente ignoradas). Considerando-se a intensão de se criar um protocolo que possa se estender de acordo com as necessidades do ambiente, as primeiras mudanças no HTTP/1.1 que valem ser citadas foram a criação de duas novas etiquetas para cabeçalhos, *Upgrade* - uma maneira do cliente informar qual versão do protocolo ele suporta - e *Via* - que define uma lista dos protocolos suportados pelos clientes ao longo do caminho de uma transmissão. (TANENBAUM, 2011)

Como dito anteriormente, o protocolo HTTP foi construído com suporte integrado para *cache*. Mas o mecanismo de *cache* do HTTP/1.0 era muito simples e não permitia que o cliente ou o servidor definisse instruções diretas de como a memória deveria ser utilizada. O HTTP/1.1 tentou corrigir esse problema com a criação de novas etiquetas para cabeçalhos. A primeira delas é a *ETag*, que define uma cadeia de caracteres única para um arquivo. Além do próprio conteúdo, essa cadeia utiliza a data e a hora da última modificação no arquivo, logo pode ser utilizada para verificar se dois arquivos são idênticos. O HTTP/1.1 também definiu novas etiquetas condicionais

para complementar a já existente *If-Modified-Since*. As etiquetas *If-None-Match*, *If-Match* e *If-Unmodified-Since*, passaram a poder ser usadas para verificar se arquivos em *cache* estão atualizados ou não. Uma das mudanças mais significativas no mecanismo de *cache*, foi a etiqueta *Cache-Control* que possibilita definir novas diretrizes para o uso da *cache*, como tempo de expiração relativos e arquivos que não devem ser armazenados. (TANENBAUM, 2011)

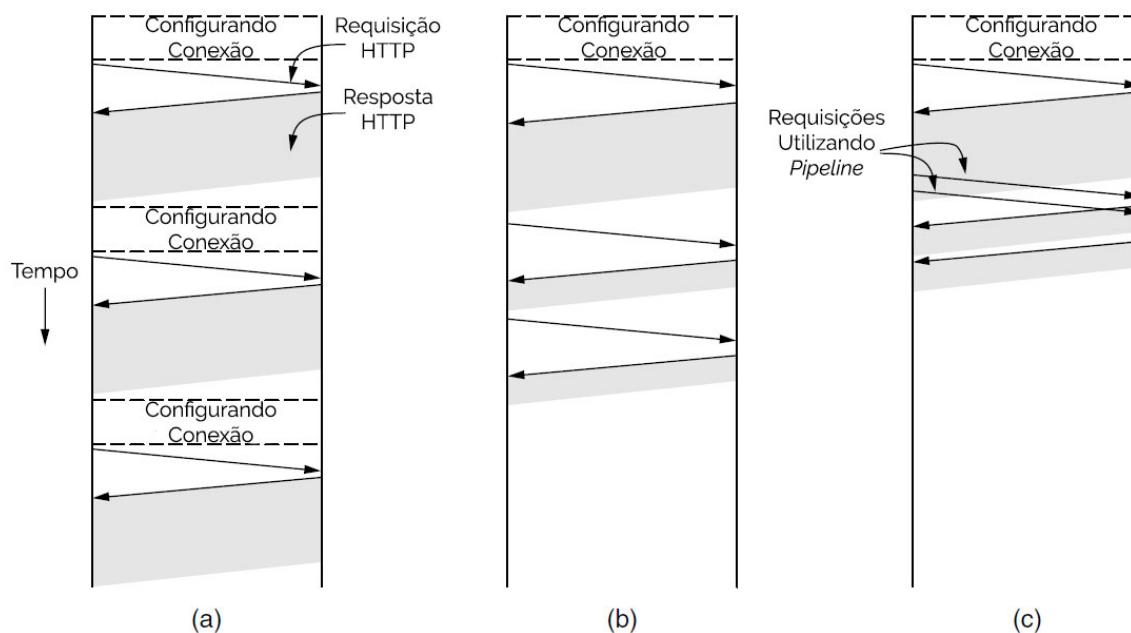
O HTTP/1.0 tinha muitos problemas em gerenciar a largura de banda. Não era possível enviar partes de arquivos, sendo assim, mesmo se o cliente não precisasse de um arquivo inteiro, ele teria de recebê-lo. No HTTP/1.1, foram então criadas a etiqueta *Range*, o tipo *MIME multipart/byteranges* e o tipo de compressão *Chunked* para que cliente e servidores pudessem trocar mensagens com partes de arquivos. Para complementar esse novo mecanismo foi incluído um novo código de resposta, 100, que informava um cliente que o corpo de sua requisição deve ser enviado. Além de poder enviar partes de arquivos, o HTTP/1.1 garante a compressão dos dados durante todo o caminho da transmissão. Nesse sentido, foi incluída a etiqueta *Transfer-Encoding*, que complementa a *Content-Encoding* indicando qual codificação foi utilizada na transmissão ponto a ponto. (TANENBAUM, 2011)

O modelo original do protocolo HTTP utilizava uma conexão TCP para cada transmissão. Esse processo era extremamente danoso para o desempenho de *websites* e aplicações, pois se gastava muito tempo na criação e configuração de novas conexões e nos momentos iniciais da conexão (quando, por definição, ela é mais lenta). Para corrigir esse problema, o HTTP/1.1 define conexões persistentes como seu padrão. Conexões persistentes permitem que clientes e servidores assumam que uma conexão TCP continuará aberta após a transmissão de dados, e que esta poderá ser utilizada para uma nova transmissão. Além disso, foi definido que o HTTP/1.1 utilizaria *pipeline*, isto quer dizer que clientes não precisam aguardar a resposta de uma requisição para enviarem uma nova requisição, como era o padrão do HTTP/1.0. Os ganhos com essas novas técnicas podem ser notados na Figura 6.

Uma funcionalidade desejada no HTTP/1.1 era a de poder fazer requisições para outros servidores além daquele da página principal sendo acessada. Dessa forma desenvolvedores podem hospedar arquivos CSS e JavaScript em um servidor e imagens em outro por exemplo. Isto se tornou possível com a adição da etiqueta *Host*, com a qual o cliente pode definir qual é o caminho do servidor que será utilizado na requisição. Caso a etiqueta *Host* não esteja definida no cabeçalho, é assumido que o caminho do servidor é o caminho da página principal.

Como concluem Krishnamurthy et al. (1999): os protocolos HTTP/1.0 e HTTP/1.1 diferem em diversas maneiras. Enquanto muitas dessas mudanças têm o objetivo de melhorar o HTTP, a descrição do protocolo mais do que triplicou de tamanho, e muitas

Figura 6 – HTTP com (a) múltiplas conexões e requisições sequenciais. (b) Uma conexão persistente e requisições sequenciais. (c) Uma conexão persistente e requisições em *pipeline*



Fonte: Adaptado de [Tanenbaum \(2011\)](#)

dessas funcionalidades foram introduzidas sem testes em ambientes reais. Esse aumento de complexidade causou muito trabalho para os desenvolvedores de clientes e servidores *web*.

No [Quadro 4](#) encontra-se um resumo das mudanças introduzidos no protocolo HTTP/1.1.

Quadro 4 – Mudanças introduzidas no HTTP/1.1.

Cabeçalhos	
Etiqueta	Descrição
<i>Accept-Encoding</i> <sup>4</sup>	Lista de codificações aceitas.
<i>Age</i>	O tempo que o conteúdo está salvo no <i>proxy</i> em segundos.
<i>Cache-Control</i>	Notifica todos os mecanismos de cache do cliente ao servidor se o conteúdo deve ser salvo.
<i>Connection</i>	Controla a conexão atual.
<i>Content-MD5</i>	Codificação binária de base-64 para verificar conteúdo da resposta.

<i>ETag</i>	Identificador único de um conteúdo.
<i>Host</i>	Indica o endereço e a porta do servidor que deve ser utilizado pela mensagem.
<i>If-Match</i>	Realize a ação requisitada se, e somente se, o conteúdo do cliente é igual ao conteúdo do servidor.
<i>If-None-Match</i>	Retorna código 304 se o conteúdo não foi modificado.
<i>If-Range</i>	Se o conteúdo não foi modificado, envie a parte solicitada, se não, envie o conteúdo novo.
<i>If-Unmodified-Since</i>	Envie o conteúdo se, e somente se, ele não foi modificado na data esperada.
<i>Keep-Alive</i>	Detalhes sobre a conexão, tempo que ela ficará aberta e número máximo de requisições aceitas por ela.
<i>Proxy-Authentication</i>	Pede uma requisição de autenticação de um <i>proxy</i> .
<i>Proxy-Authorization</i>	Credenciais de autorização para se conectar a um <i>proxy</i> .
<i>Range</i>	Faz a requisição de apenas uma parte de um conteúdo.
<i>Trailer</i>	Indica que o grupo de cabeçalhos está presente em uma mensagem.
<i>Transfer-Encoding</i>	A forma de codificação usada para se transferir o conteúdo para o usuário.
<i>Upgrade</i>	Pede para o servidor atualizar para outro protocolo.
<i>Vary</i>	Informa quais partes do cabeçalho de requisição devem ser levadas em conta para descobrir se um recurso em <i>cache</i> deve ser utilizado ou se este recurso deve ser solicitado no servidor.
<i>Via</i>	Informa o servidor de <i>proxies</i> pelos quais a requisição passou.
<i>Warning</i>	Mensagem genérica de cuidado para possíveis problemas no corpo da mensagem.

<i>WWW-Authenticate</i>	Indica tipo de autenticação que deve ser utilizada para acessar entidade requerida.
<b>Métodos</b>	
<b>Método</b>	<b>Descrição</b>
<i>OPTIONS</i>	Solicita informações sobre os recursos que o servidor suporta.
<b>Estados<sup>5</sup></b>	
<b>Código</b>	<b>Descrição</b>
100	Confirma que o servidor recebeu o cabeçalho de requisição e que o cliente deve continuar a enviar a mensagem desejada.
206	O servidor está entregando apenas uma parte de um conteúdo por causa da etiqueta de Range na requisição do cliente.
300	Indica as múltiplas opções disponíveis para o cliente.
409	Indica que a requisição não pôde prosseguir por causa de um conflito.
410	Indica que o conteúdo requisitado não está mais disponível e não estará disponível no futuro.
<b>Diretivas</b>	
<b>Diretiva</b>	<b>Descrição</b>
<i>chunked</i>	Utilizado para envio de conteúdo em partes.
<i>max-age</i>	Determina qual é o tempo máximo que um conteúdo deve ficar salvo em <i>cache</i> .
<i>no-store</i>	Indica que o conteúdo não deve ser salvo em <i>cache</i> .
<i>no-transform</i>	Indica, que o conteúdo não deve ser modificado por <i>proxies</i> .
<i>private</i>	Indica que o conteúdo não deve ser acessado sem autenticação.
<b>Tipos de MIME</b>	
<b>Tipo</b>	<b>Descrição</b>
<i>multipart/byteranges</i>	Indica que o conteúdo que está sendo enviado é apenas uma parte de um todo.

Funcionalidades	
Nome	Descrição
<i>Content negotiation</i>	Escolhe a melhor representação disponível para um conteúdo.
<i>Persistent connection</i>	Após o termino de uma requisição HTTP a conexão continua aberta e pode ser utilizada por outras requisições.
<i>Pipeline</i>	O cliente não precisa esperar que a resposta de uma requisição retorne antes de enviar outra requisição.

## 2.4 HTTP/1.1 VS HTTP/2

O HTTP/1.1 é robusto e flexível, e isso permitiu que passasse a ser utilizado em aplicações diversas de maneira eficiente. Ao longo dos anos o IETF acrescentou algumas extensões ao protocolo para corrigir erros pontuais, mas o HTTP atendia as necessidades da rede mundial de computadores.

No inicio do século XXI, os *websites* começaram a mudar. Eles se tornaram mais complexos e consequentemente maiores, muitas fontes e folhas de estilo eram utilizadas e cada página passou a possuir vários arquivos de JavaScript. Além disso, eles deixaram de ser estáticos e passaram a responder dinamicamente às ações dos usuários. Hoje em dia, muitas requisições HTTP são necessárias para se montar uma página *web* e essas requisições podem ser longas e demoradas.

Esse aumento da complexidade das páginas *web* fez com que o HTTP/1.1 se tornasse um gargalo de desempenho para os *websites*, então em 2007 o IETF formou o grupo HTTPbis (onde o "*bis*" quer dizer "de novo" em latim). Mas o grupo só começou as discussões sobre a nova versão do protocolo em 2012, terminando de redigir as especificações em 2014. Após revisões, a especificação oficial da nova versão do HTTP foi aprovada no início do ano de 2015 e deve começar a ser utilizada em 2016. A nova versão do HTTP passou a se chamar HTTP/2. As casas decimais, que eram comuns na nomenclatura das outras versões, deixaram de existir agora, caso mudanças sejam necessárias, serão lançadas novas versões do protocolo ao invés de sub-versões.([OPTIMIZATION, 2008](#))

---

<sup>4</sup>A etiqueta *Accept-Encoding* já existia no HTTP/1.0, mas era pouco utilizada por causa da sua especificação confusa, por isso foi redefinida na versão 1.1.

<sup>5</sup>Além dos citados ainda foram adicionados outros estados no HTTP/1.1, mas a lista ficaria muito extensa. Logo foram descritos os estados que podem influenciar no desempenho do *front-end*.



O HTTP/2 têm o objetivo de corrigir o problema de latência existente na versão anterior. Apesar do sistema de *pipeline*, o HTTP/1.1 é muito sensível à latência, ou seja, apesar de conseguir uma grande quantidade de dados, existem problemas quanto ao tempo de viagem das requisições e respostas. Isso acontece porque o *pipeline* do HTTP/1.1 é muito difícil de ser gerenciado e muitas vezes fecha conexões que deveriam ter ficado abertas. O problema é tão grande que [Stenberg \(2014\)](#) afirma que, mesmo nos dias de hoje, muitos navegadores *web* preferem desativar o *pipeline*. Para corrigir este problema, o HTTP/2 propõe mudanças na forma como as informações são trocadas entre clientes e servidores.

Assim como ocorreu na mudança da versão 1.0 para a versão 1.1, o novo protocolo não deve alterar nenhum paradigma já existente. As aplicações que utilizam o HTTP/1.1 devem continuar funcionando no HTTP/2, os formatos de arquivos, as URL e as URI devem ser mantidos e o usuário final não deve ter de fazer nada para poder aproveitar das melhorias do novo protocolo. Com isso, para tentar criar um protocolo que funcionasse no mundo real tanto quanto no teórico, o HTTPbis decidiu se inspirar no protocolo SPDY. O SPDY ([INC., 2012](#)) é um protocolo para troca de dados entre clientes e servidores *web*. Ele foi criado pela Google em 2010 como uma alternativa ao HTTP.

O SPDY tem como objetivo aumentar a velocidade dos *websites* e aplicações que o utilizam, melhorando o desempenho da *web* como um todo. A escolha de basear o HTTP/2 neste protocolo, veio do fato dele já vir sendo utilizado por várias aplicações ao longo dos anos e ter se provado um conceito funcional e eficiente.

A primeira mudança no HTTP/2 está na forma como ele escreve suas requisições e respostas. Em suas versões anteriores, o protocolo optou por utilizar o formato ASCII para estruturar suas requisições e respostas, mas era difícil separar as partes dos cabeçalhos e tratar espaços em branco indesejados. Para resolver esse problema o HTTP/2 é um protocolo binário. Assim é mais simples quebrar requisições e respostas em quadros, compará-los e comprimir as informações. Entre as desvantagens dessa representação binária estão o fato de que os cabeçalhos HTTP não serão mais compreensíveis sem a ajuda de ferramentas de visualização de pacotes binários e que a depuração do protocolo dependerá de analisadores de pacotes.

Outro problema muito discutido entre os especialistas em desenvolvimento para a *web* é a segurança da rede. Para garantir a proteção de seus usuário, alguns *websites* e aplicações optam por utilizar serviços de rede seguro via TLS<sup>6</sup>. O TLS é um protocolo que promove a segurança entre as partes envolvidas em comunicações de dados através de autenticação e criptografias. Quando o HTTP é utilizado em conjunto com o TLS, ele recebe o nome de HTTPS. Mas como explica [Tanenbaum \(2011, p. 853\)](#), o HTTPS

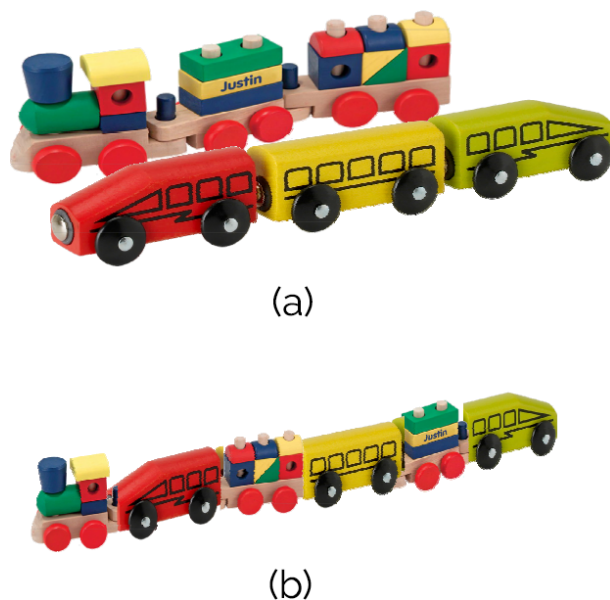
---

<sup>6</sup><https://tools.ietf.org/html/rfc5246>

é simplesmente o protocolo HTTP, as diferenças estão no momento do transporte dos dados, quando o protocolo TLS realiza ações para garantir a segurança. Foi muito discutida a ideia de fazer o uso do TLS obrigatório no HTTP/2, mas isto iria forçar todos os *websites* e aplicações a se adaptarem para poderem se adequar ao protocolo. Então, ficou decidido que o uso do TLS continuaria opcional na nova versão.

Utilizando a representação binária, o HTTP/2 possibilita a multiplexação de fluxos de dados. Como explica [Stenberg \(2014\)](#), um fluxo é uma associação lógica criada por uma sequência de quadros. No HTTP/2, uma conexão possui vários fluxos e por isso vários componentes podem ser transferidos ao mesmo tempo. Para esse processo funcionar, o protocolo multiplexa esses fluxos no momento do envio e os separa novamente na chegada. A [Figura 7](#) ilustra a multiplexação de fluxos.

Figura 7 – Multiplexação de fluxos no HTTP/2 (a) dois fluxos separados (b) fluxos multiplexados



Fonte: Adaptado de [Stenberg \(2014\)](#)

Um problema no HTTP/1.1 era a garantia de que um componente A já teria sido baixado quando outro componente B que depende de A fosse executado. Apesar de o HTML garantir isso, essa limitação impedia que a paralelização de *downloads* fosse maior. No HTTP/2 foram adicionados os mecanismos de prioridade e dependência. Eles tornaram possível indicar quais fluxos devem ser baixados primeiro e quais são suas interdependências. Dessa forma, os desenvolvedores de páginas *web* podem paralelizar ao máximo seus componentes e o protocolo cuidará de evitar erros.

A compressão de dados é um fator importante para o aumento de desempenho do HTTP. Com o passar dos anos, as requisições e respostas aumentaram de tamanho, e os algoritmos de compressão existentes para o SPDY e o HTTPS não se provaram

eficientes contra ataques de terceiros. Logo notou-se que este era um ponto crítico para a nova versão do protocolo, então o HTTPbis decidiu por criar o HPACK, que será o novo formato de compressão para cabeçalhos HTTP/2. Visando a robustez desse formato, foi criada uma nova especificação exclusiva para o HPACK, que detalha como ele funciona e como deve ser usado ([GROUP, 2015a](#)).

Assim como na versão anterior, o HTTP/2 possui mecanismos para lidar com a *cache*. As etiquetas existentes no HTTP/1.1 continuam a existir, mas uma nova funcionalidade foi adicionada na nova versão, o *Server Push*. O *Server Push* tem o objetivo de permitir que o cliente consiga componentes da maneira rápida, mesmo que seja a primeira vez que ele solicite aquele componente. A *Server Push* funciona da seguinte maneira: o cliente requisita um componente X. O servidor então sabe que é provável que este mesmo cliente vá requisitar o componente Y nos próximos instantes. Sendo assim o servidor pode enviar o componente Y antes mesmo de receber o pedido por ele. Essa funcionalidade é algo que o cliente deverá especificar explicitamente, mas existe grande expectativa quanto às melhorias que ela pode trazer.

Além dessa melhoria no sistema de *cache*, o HTTP/2 inclui uma nova etiqueta para impedir o desperdício de banda de transmissão. Se o servidor começar a enviar um componente com um tamanho específico e perceber que aquele componente não é mais útil, ele pode cancelar o envio com a etiqueta *RST STREAM*, evitando que o fluxo de envio fique ocupado com dados desnecessários por muito tempo.

Caso um *website* ou uma aplicação deseje transferir o cliente para outro servidor sem ser o requisitado, ou até mesmo para outra porta, ele poderá utilizar a etiqueta *Alt-Svc*. Com essa etiqueta, o servidor informa ao cliente para onde ele deve ir, então o cliente deve tentar se conectar de maneira assíncrona no caminho sugerido pela *Alt-Svc* e utilizar aquela conexão apenas se ela se provar confiável. Essa etiqueta foi criada com a intenção de informar clientes que os dados requisitados estão disponíveis também em um servidor seguro.

A escolha pela utilização de envio através de fluxos, tem o objetivo de aumentar a velocidade do protocolo e a quantidade de dados que pode ser enviada de uma só vez. Cada um desses fluxos possui sua própria janela de envio independente, o que garantirá que se um fluxo falhar os outros continuem funcionando. Para impedir o envio de dados e parar todos os fluxos abertos, o protocolo inclui a etiqueta *BLOCKED*, que informa que existem dados para serem enviados, mas algo está impedindo o processo de continuar.

O protocolo HTTP/2 traz grandes mudanças na estrutura dos dados que serão enviados e recebidos. A essência continua a mesma, um protocolo de requisições e respostas, mas, a medida que o protocolo evolui, novas formas de aprimoramento do desempenhos dos *websites* e das aplicações estão sendo acrescentadas ao HTTP.

O documento completo com toda a especificação do HTTP/2 pode ser encontrado em [Group \(2015b\)](#). O [Quadro 5](#) mostra um resumo das mudanças detalhadas anteriormente.

Quadro 5 – Mudanças introduzidas no HTTP/2.

Funcionalidade	Descrição
HTTP/2 binário	Ao invés de utilizar caracteres ASCII para representar informações, o HTTP/2 é binário, o que facilita a comparação de informações, o envio de dados e outras funcionalidades.
Fluxos multiplexados	Se existem dois componentes para serem enviados, o protocolo pode optar por multiplexá-los em um único fluxo e enviar os dois ao mesmo tempo.
Prioridades e dependências	Caso existam, o cliente pode definir quais componentes possuem prioridade para serem baixados primeiro. Além disso, pode informar se existem dependências entre os componentes para garantir que quando um arquivo seja baixado todos os outros necessários para o seu funcionamento já estejam no cliente.
<i>HPACK</i>	Novo sistema de compressão de cabeçalhos para o HTTP/2.
<i>RST_STREAM</i>	Uma maneira de cancelar o envio de componentes.
<i>Server Push</i>	Habilidade do servidor de enviar um arquivo X para o cliente caso ele veja como provável que o cliente vá precisar desse arquivo no futuro próximo.
Janelas individuais de fluxo	Cada fluxo de envio possui sua própria janela que pode ser gerenciada individualmente. Assim caso um fluxo falhe os outros continuam.
<i>BLOCKED</i>	Forma do cliente ou servidor informar à outra parte que existe algo impedindo que o envio de dados continue.
<i>Alt-Svc</i>	O servidor pode informar ao cliente de caminhos alternativos para acessar os dados requisitados.

## 2.5 AJAX

AJAX é a sigla em inglês para "Assíncrono JavaScript + XML", e foi inventada por [Garrett \(2005\)](#). Mas isso não quer dizer que Garrett tenha inventado o modelo AJAX utilizado pelos *websites* e aplicações.

Como dito pelo próprio [Garrett \(2005\)](#), "AJAX não é uma tecnologia". Na realidade AJAX é a definição de como várias tecnologias podem ser utilizadas em conjunto para ler componentes *web* de maneira assíncrona. Estas tecnologias incluem:

- HTML ou XHTML<sup>7</sup>
- CSS
- JavaScript
- DOM<sup>8</sup>
- XML e XSLT<sup>9</sup>
- Requisições XMLHttpRequest (*XMLHttpRequest*)<sup>10</sup>

A [Figura 8](#) mostra uma comparação entre o modelo clássico de chamadas *web* e o modelo utilizando AJAX. O modelo AJAX adiciona uma camada intermediária entre o usuário e o servidor.

Quando o usuário interage com a página *web*, ele manda uma mensagem para essa nova camada, desenvolvida em JavaScript, que é responsável por requisitar do servidor somente os dados necessários para a interação do usuário e atualizar apenas a parte da página necessária para terminar essa interação. Dessa forma, o AJAX impede que as páginas tenham de ser inteiramente recarregadas a cada interação e consegue melhorar a experiência do usuário.

## 2.6 Web 2.0

A *Web 2.0* não é uma nova versão da *World Wide Web* criada por Tim Berners-Lee. Como explica [O'Reilly \(2005\)](#), o termo *Web 2.0* surgiu de uma discussão entre a companhia de mídia O'Reilly e a empresa de produção de MediaLive, quando estavam preparando uma conferência sobre a *web*. O que eles chamaram de *Web 2.0* foi a nova forma como a criação de Berners-Lee estava sendo utilizada pelas pessoas.

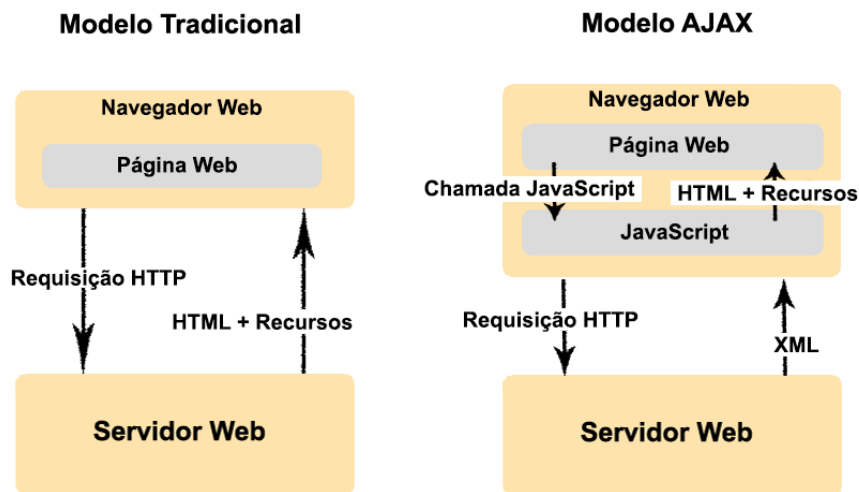
---

<sup>7</sup><http://en.wikipedia.org/wiki/XHTML>

<sup>8</sup><http://www.w3.org/DOM/>

<sup>9</sup><http://www.w3schools.com/xml/>, <http://www.w3schools.com/xsl/>

<sup>10</sup><https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/XMLHttpRequest>

Figura 8 – Comparação entre modelo de *web* original e modelo utilizando AJAX

Fonte: Adaptado de [Scott \(2007\)](#)

O desenvolvimento de técnicas AJAX e o conceito de conhecimento coletivo fez com que a *web* deixasse de ser utilizada apenas para mostrar páginas estáticas e passasse a explorar a interação com o usuário. Sendo assim *websites* se tornaram aplicações *web*, que melhoravam à medida que os usuários iam alimentando-as com novas informações. Como exemplo de aplicações que exploram os conceitos definidos na *Web 2.0* podemos citar a Wikipedia <sup>11</sup>, o Facebook <sup>12</sup> e o Google Maps <sup>13</sup>. Todas essas aplicações utilizam de técnicas AJAX para garantir uma boa experiência e são alimentadas com informações entradas pelos usuários, o que as torna mais dinâmicas e flexíveis do que os *websites* da *Web 1.0* (como ficou conhecida a primeira fase da *web*).

<sup>11</sup><https://www.wikipedia.org/>

<sup>12</sup><https://www.facebook.com/>

<sup>13</sup><https://www.maps.google.com/>

## 3 Trabalhos Relacionados

Desenvolvedores estão sempre a procura de maneiras para tornar suas aplicações mais rápidas aos olhos dos usuários finais e isso não é diferente com os *websites*. A área de otimização de desempenho para páginas *web* é tão antiga quanto a *World Wide Web*, mas por muito tempo os esforços foram dedicados à otimização de *back-end*, o que Souders (2007) provou não ser o melhor caminho para se atingir o objetivo desejado. De acordo com Souders (2007, p. 5): "Apenas 10-20% do tempo de resposta do usuário final são gastos baixando o documento HTML. Os outros 80-90% são gastos baixando todos os componentes da página.". Então, os desenvolvedores podem obter melhores resultados de desempenho caso foquem seus esforços na otimização do *front-end* de seus *websites* ao invés do *back-end*.

Neste capítulo são apresentadas as ideias principais dos dois livros de Steve Souders. Esses livros tornaram o conhecimento sobre a otimização de desempenho de *front-end* de *websites* acessível a todos os desenvolvedores e ajudaram a melhorar a *web* nos últimos anos.

### 3.1 *High Performance Web Sites*

No livro *High Performance Web Sites* (SOUDERS, 2007), Steve Souders descreve 14 regras para a otimização de desempenho de *front-end* de *websites*. De acordo com Souders (2007, p. 5): "Se você seguir todas as regras aplicáveis a seu *website*, você vai fazer sua página 25-50% mais rápida e melhorar a experiência do usuário.". As regras são muito variadas e contemplam de configurações básicas de servidores, a redução do tamanho de arquivos e melhores práticas de programação.

A seguir, serão explicadas as 14 regras encontradas no livro, ordenadas, de acordo com Steve Souders, das que causam maior impacto no desempenho às que causam menor impacto.

#### 3.1.1 Regra 1: Faça menos requisições HTTP

Cada componente de uma página *web* gera pelo menos uma requisição e uma resposta HTTP para chegar do servidor ao cliente. Essas chamadas HTTP costumam ser um grande gargalo de desempenho para *websites* e aplicações *web*, pois como explicou Souders, 80-90% do tempo de montagem dessas páginas é gasto baixando outros componentes além do HTML. Assim, uma solução para diminuir o tempo de resposta para o usuário final é diminuir o número de componentes que precisam ser baixados.



Com esse objetivo, as seguintes técnicas devem ser utilizadas:

- *CSSSprites* <sup>1</sup>
- *Inline images*
- Combinar *scripts* e folhas de estilo <sup>2</sup>

### 3.1.2 Regra 2: Use Redes de Entrega de Conteúdo (CDN)

No HTTP/1.1, o número de conexões TCP que os navegadores *web* abrem em paralelo no mesmo domínio é limitado, com o objetivo de garantir a qualidade de cada conexão. Apesar de esse número ser maior que no HTTP/1.0, o limite continua existindo. Outra característica dessas conexões é que elas são afetadas pela distância física entre clientes e servidores, logo, um usuário que esteja no Brasil vai demorar mais para acessar componentes que estejam hospedados na China do que componentes que estejam hospedados nos Estados Unidos. Uma maneira de resolver esses dois problemas simultaneamente são as CDNs <sup>3</sup>. Ao invés de hospedar todos os componentes do *website* no mesmo servidor, os desenvolvedores deveriam utilizar das CDNs para garantir maior paralelismo e diminuir as distâncias geográficas entre seus sistemas e seus usuários.

### 3.1.3 Regra 3: Adicione cabeçalhos de expiração

O HTTP foi desenvolvido com suporte nativo para gerenciamento de *cache*. Mas para essa *cache* funcionar de maneira eficiente, é necessário que os desenvolvedores configurem seus servidores para informar aos navegadores *web* que certos arquivos devem ficar salvos localmente. A maneira de garantir que os arquivos serão salvos em *cache*, é o envio da etiqueta *Expires* no cabeçalho HTTP da resposta que possui o arquivo. Essa configuração não é definida por padrão nos servidores, então os desenvolvedores devem analisar quais arquivos devem utilizar desse recurso e por quanto tempo eles serão válidos. A *cache* é uma ferramenta muito importante na otimização de desempenho, e deixar de usa-la causa grandes danos no tempo médio de resposta de *websites* e aplicações *web*.

### 3.1.4 Regra 4: Utilize *gzip* nos componentes

De acordo com Souders (2007, p. 29), essa é a técnica mais simples e que causa maior efeito no tamanho em *bytes* das páginas *web*. O HTTP e os navegadores *web*

---

<sup>1</sup>[http://www.w3schools.com/css/css\\_image\\_sprites.asp](http://www.w3schools.com/css/css_image_sprites.asp)

<sup>2</sup>A técnica não sugere a união de *scripts* com folhas de estilo, e sim *scripts* com *scripts* e folhas de estilo com folhas de estilo, diminuindo o número de arquivos existentes.

<sup>3</sup>[http://en.wikipedia.org/wiki/Content\\_delivery\\_network](http://en.wikipedia.org/wiki/Content_delivery_network)



possuem suporte para compressão de todos os tipos de arquivos, os desenvolvedores só precisam garantir que os clientes e os servidores informem uns aos outros que a esse mecanismo está habilitado. Para fazer isso, a etiqueta de cabeçalho *Accept-Encoding* deve ser definida com os formatos de compressão suportados. O *gzip* é um formato de compressão criado especialmente para a *web* e é o mais eficiente para ser utilizado no HTTP.

### 3.1.5 Regra 5: Coloque folhas de estilo no topo da página

Como disse Souders (2007, p. 38), "essa regra tem menos a ver com melhorar o tempo de carregamento da página e mais a ver com como o navegador *web* reage à ordem dos componentes.". Por definição, os navegadores não mostram os elementos da tela até que todas as folhas de estilo tenham sido carregadas, para evitar erros de desenho. Sendo assim, os desenvolvedores devem colocar as folhas de estilo no topo da página (de preferência, dentro do elemento HTML `<head></head>`<sup>4</sup>), pois elas devem ser os primeiros componentes a serem baixados.

### 3.1.6 Regra 6: Coloque *scripts* no fim da página

Ao contrário das folhas de estilo, os arquivos de *script* devem ser colocados no final do arquivo HTML. Componentes localizados abaixo de arquivos de *script* são bloqueados de serem baixados e desenhados até que o *script* tenha terminado de ser carregado. Isso porque o navegador quer garantir que o *script* esteja pronto caso ele vá executar alguma alteração no restante da página.

### 3.1.7 Regra 7: Evite expressões CSS

Apesar de já não serem suportadas na maioria dos navegadores *web*, os desenvolvedores não devem utilizar expressões CSS em nenhum caso, mesmo nos casos em que o navegador oferece essa alternativa. Esse tipo de expressão é calculada toda vez que há uma movimentação na página (desenhos de novos componentes, uso da barra de rolagem, dentre outros) e isso pode afetar, em muito, o desempenho de um *website* ou aplicação *web*.

### 3.1.8 Regra 8: Faça arquivos *JavaScript* e folhas de estilo externos

Existem duas maneiras de incluir estilos e *scripts* em um *website* ou em uma aplicação *web*. A primeira delas é inserir blocos de código em linha, ou seja, colocar os código diretamente no arquivo HTML, de preferência seguindo as Regras 5 e 6. Apesar de funcionar, essa maneira impede um bom uso da *cache*, porque arquivos

---

<sup>4</sup>[http://www.w3schools.com/tags/tag\\_head.asp](http://www.w3schools.com/tags/tag_head.asp)

HTML geralmente não são salvos em *cache*, logo, os estilos e *scripts* têm de ser baixados todas as vezes que a página é carregada. Levando em consideração que a Regra 3 está sendo usada, uma maneira mais eficiente se inserir estilos e *scripts* em uma página é colocando-os em arquivos externos e adicionando os arquivos no HTML. Dessa forma, os arquivos externos podem ser salvos em *cache* e não precisam ser baixados todas as vezes que o HTML é requisitado.

### 3.1.9 Regra 9: Reduza o número de pesquisas de DNS

Usar diferentes domínios para hospedar componentes é uma maneira de possibilitar que esses componentes sejam baixados em paralelo. Mas a pesquisa por domínios é cara e pode acabar influenciando no tempo de carregamento de uma página. Por isso, os navegadores salvam os domínios cujo o IP já conhecem em *cache*. Levando em consideração esse custo de pesquisa, existe um limite para até quando hospedar componentes em domínios diferentes é benéfico. Os desenvolvedores têm que analisar a quantidade de pesquisas de DNS para domínios únicos (que não estão em *cache*) que estão sendo feitas no carregamento da página e decidir se ainda vale a pena aumentar o paralelismo. Como regra geral, os desenvolvedores deveriam distribuir seus componentes em pelo menos dois e no máximo quatro domínios.

### 3.1.10 Regra 10: Minimizar componentes

Minimizar é a técnica de reduzir caracteres desnecessários de códigos. Essa técnica pode ser utilizada para qualquer tipo de arquivo CSS, JS, HTML, dentre outros. A minimização reduz o tempo de carregamento de páginas *web* porque reduz o tamanho do arquivo diminuindo o tempo gasto para baixa-lo.

### 3.1.11 Regra 11: Evite redirecionamentos

Redirecionamentos são situações em que o usuário tenta acessar uma página *web* e essa página o informa que ele deve ser encaminhado para outra página. Os redirecionamentos são feitos através dos códigos da família 3xx do protocolo HTTP, sendo que os diferentes códigos dessa família informam a razão para o redirecionamento.

Redirecionamentos são extremamente danosos para a experiência de uso de *websites* e aplicações *web*, pois nada é mostrado para o usuário até que o redirecionamento seja concluído e o conteúdo HTML termine de ser carregado. Logo, desenvolvedores não devem utilizar redirecionamento, a não ser em casos em que sejam indispensáveis.

### 3.1.12 Regra 12: Remova *scripts* duplicados

Em projetos grandes, é comum que vários desenvolvedores façam alterações no código e isso pode fazer com que um mesmo arquivo seja inserido mais de uma vez em uma página HTML. *Scripts* duplicados aumentam o número de chamadas HTTP e isso é muito prejudicial ao desempenho de *websites* e aplicações *web*. Sendo assim os desenvolvedores devem ser muito cuidadosos quanto aos *scripts* que estão sendo carregados em suas páginas e ter certeza de que todos são únicos e necessários.

### 3.1.13 Regra 13: Configure *ETags*

Muitas vezes os desenvolvedores não configuram como funcionará o mecanismo de *ETags* de seus servidores e isso pode fazer com que o mecanismo de *cache* seja prejudicado. Como o valor do *ETag* de um componente é único para cada servidor, se o cliente requisitar um componente no servidor X e mais tarde requisitar o mesmo componente no servidor Y, mesmo que este tenha sido salvo na *cache* do navegador na primeira vez, ele será baixado novamente. Na maioria das vezes é melhor desabilitar a opção de *ETags* do que correr o risco de influenciar negativamente no sistema de *cache*.

### 3.1.14 Regra 14: Habilite *cache* para AJAX

As chamadas AJAX melhoram muito a experiência do usuário, pois tornam as páginas *web* mais dinâmicas e responsivas. O problema é que muitas vezes elas não são salvas em *cache* e isso pode afetar o desempenho dos *websites* e aplicações *web*. Para garantir que as chamadas AJAX serão salvas em *cache*, os desenvolvedores devem seguir as regras 1 a 13 também para esse tipo de componente, tomando cuidado especial com a regra 3.

## 3.2 *Even Faster Web Sites*

Com o objetivo de difundir ainda mais as técnicas de otimização para *front-end* de *websites*, Steve Souders lançou, em 2009, seu segundo livro, intitulado *Even Faster Web Sites* (SOUDERS, 2007). Nesta obra, o autor teve a contribuição de outros 8 profissionais da área de otimização que escreveram 6 dos 14 capítulos do livro.

As técnicas descritas em *Even Faster Web Sites* são mais avançadas, e, consequentemente, mais difíceis de serem aplicadas do que as da obra anterior. Além disso, elas não vêm em formato de regras a serem seguidas, o que facilitava a aplicação das regras descritas em *High Performance Web Sites*. Alguns capítulos do livro explicam melhores técnicas de programação, descrevem o funcionamento de mecanismos da *web* e outros ainda reforçam ideias anteriores.

Nesta seção, são resumidas as ideias principais de cada capítulo.

### 3.2.1 Entendendo desempenho em AJAX

Para saber se vale a pena otimizar o desempenho de um *website* ou de uma aplicação *web*, os desenvolvedores devem levar em conta o tempo e o esforço que deverão ser empregados no processo de otimização, e conhecer quanto essa otimização pode melhorar a experiência do usuário. Desta forma, pode-se decidir se compensa fazer um investimento nesse processo. O desenvolvedor deve se lembrar que otimizar componentes que não têm contribuição expressiva no tempo de carregamento de uma página *web* não é muito relevante para a experiência do usuário.

Os componentes AJAX representam parte importante das aplicações na *Web* 2.0. Esses componentes são carregados enquanto o usuário está navegando na página, então deve-se evitar qualquer cenário em que a aplicação congele à espera da resposta de uma requisição AJAX. Os desenvolvedores devem identificar quais componentes compensam ser otimizados utilizando os "Eixos do Erro", descrito por [Souders \(2009a, p. 2\)](#) e focar seus esforços nesse componentes.

Durante o processo de otimização de componentes AJAX, os desenvolvedores devem se lembrar:

- A maior parte do tempo do navegador é gasta na construção do DOM e não no *JavaScript*.
- Códigos organizados são mais fáceis de serem otimizados.
- Iterações afetam muito o desempenho de uma aplicação *web*.
- Truques (*tricks*) não compensam, a não ser que eles se provem realmente eficientes.

### 3.2.2 Criando aplicações *web* responsivas

Aplicações responsivas são aquelas que respondem ao usuário de maneira rápida e eficiente, fazendo com que ele não sinta que está esperando<sup>5</sup>. Atrasos maiores do que 0,2 segundos causam no usuário a sensação de que o navegador está tendo problemas para conseguir sua resposta, e isso afeta sua experiência de uso. O mecanismo responsável pela responsividade das aplicações é o AJAX.

Em aplicações grandes, muitas chamadas AJAX pode ser executadas ao mesmo tempo e isso é um problema para o *JavaScript*. De acordo com Brendan Eich, criador

---

<sup>5</sup>O termo "página responsiva" pode ser utilizado em dois contextos. O primeiro é a responsividade com relação ao desempenho da página, ou seja, o tempo que ela demora para responder. O segundo se refere a responsividade do *layout* da página, ou seja, a habilidade que ela tem de se adaptar à diferentes tamanhos de tela.

do *JavaScript*, sua linguagem não possui e nunca vai possuir *threads*. Assim, fica por responsabilidade dos desenvolvedores, encontrar técnicas para melhorar o paralelismo de suas aplicações.

### 3.2.3 Dividindo carga inicial

O tempo inicial de carregamento de uma página é um fator muito importante na otimização de desempenho. Usuários não gostam de esperar para poder interagir com uma aplicação ou *website* e a grande maioria desses usuários desiste de esperar se o tempo for muito longo. Sendo assim, os desenvolvedores devem definir quais métodos de seus *scripts* são necessários no evento *onload* (evento executado assim que a página é carregada) e separa-los em arquivos diferentes dos outros métodos. Os métodos que devem ser executados logo que a página for carregada devem ser declarados no início do documento HTML. Os outros podem ser declarados ao final da página ou até mesmo de maneira assíncrona.

### 3.2.4 Carregando *scripts* sem bloqueios

*Scripts* possuem um efeito muito negativo no carregamento de páginas. Enquanto estão sendo baixados e executados, eles bloqueiam o carregamento de componentes localizados abaixo deles. Então, é muito importante definir quais *scripts* podem ser baixados independentes do resto da página e encontrar maneiras de requisitar esses *scripts* sem bloquear o resto da página. No Capítulo 4 deste livro, [Souders \(2009a\)](#) descreve seis técnicas de como carregar arquivos de *script* externos de forma assíncrona:

- *XHR Eval*, ([SOUDERS, 2009a](#), p. 29)
- *XHR Injection*, ([SOUDERS, 2009a](#), p. 31)
- *Script in Iframe*, ([SOUDERS, 2009a](#), p. 31)
- *Script in DOM Element*, ([SOUDERS, 2009a](#), p. 32)
- *Script Defer*, ([SOUDERS, 2009a](#), p. 32)
- *document.write Script Tag*, ([SOUDERS, 2009a](#), p. 33)

Não existe uma solução única para todos os *websites* e aplicações *web*, então os desenvolvedores devem analisar qual é a melhor para sua situação específica. E caso seja definido que a página terá de ser congelada por algum tempo, os desenvolvedores devem se certificar de que algum indicador de navegador ocupado está sendo mostrado ao usuário<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup><http://www.stevesouders.com/blog/2013/06/16/browser-busy-indicators/>

### 3.2.5 Lidando com *scripts* assíncronos

Quando as técnicas descritas no Capítulo 4 (SOUDERS, 2009a, p. 27), são utilizadas para carregar *scripts* sem bloqueios, cria-se um novo problema. Componentes que são carregados de maneira assíncrona estão sujeitos a condições de corrida<sup>7</sup>. Essas condições tornam imprevisível a ordem na qual os *scripts* serão carregados, o que pode fazer com que ocorram falhas nas dependências de funções. Para evitar essas falhas, Steve Souders descreve 5 técnicas de como garantir que os *scripts* serão carregados em uma ordem na qual sejam executados sem erros de dependências:

- *Hardcoded Callback*, (SOUDERS, 2009a, p. 46)
- *Windows Onload*, (SOUDERS, 2009a, p. 47)
- *Timer*, (SOUDERS, 2009a, p. 48)
- *Script Onload*, (SOUDERS, 2009a, p. 49)
- *Degrading Script Tags*, (SOUDERS, 2009a, p. 50)

Ao final do capítulo, Souders ainda descreve uma técnica que chamou de "Solução Geral" (SOUDERS, 2009a, p. 59).

### 3.2.6 Posicionando blocos de *scripts* em linha

Apesar de não gerarem novas requisições HTTP, blocos de *scripts* em linha, ou seja, aqueles posicionados dentro do documento HTML, bloqueiam outros componentes de serem carregados enquanto eles estão sendo executados e isso impede o desenho progressivo da página. Para evitar esse efeito, blocos de *scripts* em linha devem ser movidos para o final da página e, se possível, serem executados de maneira assíncrona. Outro grave problema com esse tipo de *script* é que, quando eles são antecidos por folhas de estilo, eles não começam a executar enquanto os estilos não são carregados. Dessa forma, é uma boa técnica não colocar blocos de *scripts* em linha logo após chamadas de folhas de estilo.

### 3.2.7 Escrevendo códigos *JavaScript* eficientes

Neste capítulo, Nicholas Zakas descreve boas técnicas de programação para códigos *JavaScript* que visam otimizar o desempenho do código. As técnicas descritas são:

- Melhorar gerenciamento de escopos, (SOUDERS, 2009a, p.79)

---

<sup>7</sup>[http://en.wikipedia.org/wiki/Race\\_condition](http://en.wikipedia.org/wiki/Race_condition)

- Use variáveis locais, (SOUDERS, 2009a, p. 81)
- Otimize acesso a dados frequentes, (SOUDERS, 2009a, p. 85)
- Use condicionais mais eficientes, (SOUDERS, 2009a, p. 89)
- Use iterações mais eficientes, (SOUDERS, 2009a, p. 93)
- Otimize cadeias de caracteres, (SOUDERS, 2009a, p. 99)
- Evite função com tempo de execução longo, (SOUDERS, 2009a, p. 102)
- Habilite contadores de tempo, (SOUDERS, 2009a, p. 103)

### 3.2.8 Escalando usando *Comet*

Quando muitos dados precisam ser entregues de maneira assíncrona, o mecanismo de AJAX pode acabar causando um problema conhecido como *long-polling* de requisições. *Long-polling* ocorre quando muitas chamadas ao servidor são feitas em um curto intervalo de tempo e o servidor não consegue responder todas no tempo desejado, então algumas dessas chamadas falham, ou ficam muito tempo paradas. *Comet* é um termo que se refere a uma coleção de técnicas, protocolos e implementações que tem como objetivo melhorar o tráfego de dados em baixa latência<sup>8</sup>.

### 3.2.9 Indo além do *gzip*

Mesmo com o suporte à compressão de dados com *gzip* habilitado nos *websites* e aplicações, uma média de 15% dos usuários continua recebendo dados sem compressão alguma. A maior causa disso são os *proxies* e os programas de anti-vírus. Esses sistemas modificam os cabeçalhos HTTP para poderem ter acesso aos dados que estão sendo enviados a fim de realizarem suas tarefas de inspeção do conteúdo trafegado.

Se essas entregas sem compressão fossem dissolvidas entre todos os usuários da página *web*, o problema seria menos relevante. Mas o que ocorre é que os mesmos 15% dos usuário estão sempre acessando os *websites* e aplicações de forma mais lenta, o que acaba com a experiência desses usuários e os desencoraja a voltar a acessar a página.

Considerando este fato, Tony Gentilcore, reforça as ideias expostas por Steve Souders no livro *High Performance Web Sites*, (SOUDERS, 2007), de que os desenvolvedores devem fazer seus arquivos os menores possíveis e reduzir o número de chamadas HTTP.

---

<sup>8</sup>[http://ajaxexperience.techtarget.com/images/Presentations/Carter\\_Michael\\_ScalableComet.pdf](http://ajaxexperience.techtarget.com/images/Presentations/Carter_Michael_ScalableComet.pdf)



### 3.2.10 Otimizando imagens

Imagens são consideradas ótimos componentes para se conseguir melhora de desempenho sem ter de abrir mão de funcionalidades. Existem vários padrões de formato para imagens<sup>9</sup>, cada um deles é determinado pelo tipo de compressão que usa e cada um deles possui seus prós e contras. Sendo assim, os desenvolvedores devem decidir que tipo de qualidade que eles desejam em suas imagens, então selecionar o formato que se adeque às suas necessidades e otimizar essas imagens o máximo possível.

Como regra geral, os desenvolvedores devem optar por utilizar o formato PNG sempre que possível.

### 3.2.11 Quebrando domínios dominantes

Mesmo que isso aumente a quantidade de pesquisas de DNS, muitas vezes aumentar o número de domínios nos quais componentes estão hospedados melhora o desempenho de *websites* e aplicações *web*. O motivo disso é que mais componentes podem ser baixados em paralelo, o que diminui o tempo total de carregamento da página. O desafio é encontrar o número de domínios que resulta no menor tempo de carregamento da página. Como regra geral, Souders (2009a, p. 168) determina que dividir componentes entre dois a quatro domínios gera resultados satisfatórios.

### 3.2.12 Entregando o documento cedo

Por padrão, uma página *web* só começa a baixar os seus componentes depois que o documento HTML é totalmente carregado. Sendo assim, durante algum tempo, a única atividade que está sendo realizada pelo navegador é a espera do carregamento do documento HTML. Contudo, existem técnicas para diminuir esse tempo de espera e, consequentemente, o tempo de carregamento de uma página.

Uma boa prática é entregar o documento HTML em partes para o navegador, desde que essas partes possam acelerar o processo de carregamento. Para isso, Steve Souders sugere que o cabeçalho HTML, onde normalmente são declaradas as folhas de estilo, seja entregue assim que estiver pronto. Dessa forma, o navegador pode começar a baixar esses componentes antes mesmo que o carregamento do HTML esteja concluído. Essa técnica é possível graças à etiqueta *Chunked Encoding*, adicionada no HTTP/1.1, e às funções de carregamento parcial de arquivos em fluxos de dados presentes em algumas linguagens de *back-end* como PHP e NodeJS.

---

<sup>9</sup>[http://en.wikipedia.org/wiki/Image\\_file\\_formats](http://en.wikipedia.org/wiki/Image_file_formats)



### 3.2.13 Usando *Iframes* com moderação

Os *Iframes* são componentes HTML que permitem incorporar documentos dentro de outros documentos. Apesar de terem sido muito utilizados no passado, principalmente para adicionar publicidades a *websites*, os *Iframes* são pouco usados nos dias de hoje. A razão disso é que são componentes muito pesados e que bloqueiam o desenho das páginas *web*.

Como regra geral, Steve Souders aconselha não utilizar estes componentes.

### 3.2.14 Simplificando seletores CSS

Na *Web 2.0*, folhas de estilo são tão populares quanto *scripts*. *Websites* possuem várias folhas de estilo, mas pouco esforço é empregado em otimizar esses arquivos.

Neste capítulo, Souders explica que os navegadores fazem buscas por componentes declarados em folhas de estilo da direita para esquerda, logo os identificadores mais à direita devem ser os mais específicos, para diminuir o tempo de busca. Além disso ele alerta para o mal de códigos duplicados e cita boas práticas de programação para CSS ([Souders, 2009a](#), p. 195).

## 4 Metodologia

Para alcançar os objetivos propostos de entender o funcionamento das técnicas de otimização descritas por Steve Souders em seus dois livros, *High Performance Web Sites*, (SOUDERS, 2007), e *Even Faster Web Sites*, (SOUDERS, 2009a), quando aplicadas ao HTTP/2 e, se necessário, propor novas técnicas para essa versão do protocolo, este trabalho foi dividido em quatro etapas:

- Etapa 1: Seleção das técnicas de melhora de desempenho a serem avaliadas;
- Etapa 2: Preparação dos testes das técnicas selecionadas;
- Etapa 3: Realização dos teste e coleta de dados;
- Etapa 4: Análise dos resultados.

No restante deste capítulo são descritas as etapas deste trabalho.

### 4.1 Seleção das técnicas de melhora de desempenho

Em seus livros, Steve Souders descreve várias técnicas para melhorar o desempenho de *front-end* de *websites*. Enquanto algumas destas técnicas são regras simples de serem reproduzidas por desenvolvedores ou ferramentas de auxílio, outras são descrições de boas práticas de programação ou dicas de como seguir as regras propostas.

Como o objetivo deste trabalho é analisar o comportamento das técnicas propostas por Souders quando aplicadas no HTTP/2, aquelas que não visam primeiramente diminuir o tempo de resposta de páginas *web* não são relevantes para o escopo do trabalho. Outro fator levado em conta na escolha das técnicas que foram testadas, foi se as mudanças que ocorreram no HTTP podem influenciar no funcionamento delas. Como exemplo de uma técnica que não teria seu funcionamento afetado pela nova versão do protocolo, pode-se citar a técnica descrita na [Subseção 3.2.10](#), que visa reduzir o tamanho em *bytes* de imagens ao se escolher o formato mais adequado, com maior taxa de compressão do conteúdo. Pode-se considerar que, independente da versão do protocolo HTTP, requisições e respostas menores terão sempre desempenho melhor. Por outro lado, a técnica descrita na [Subseção 3.1.1](#), que descreve a redução do número de requisições, poderia ser afetada pela nova definição do protocolo, sendo então relevante realizar testes para entender seu funcionamento no HTTP/2.

Sendo assim, para escolher as técnicas que serão testadas, duas perguntas devem ser respondidas:

- A técnica tem como objetivo principal reduzir o tempo que o navegador *web* leva para carregar uma página *web*?
- A técnica pode ter o seu funcionamento afetado pela mudança do protocolo HTTP/1.1 para o HTTP2?

Caso a resposta para essas duas perguntas seja positiva, então, a técnica foi selecionada para análise.

## 4.2 Preparação dos testes

Para executar os testes propostos, foi necessário utilizar um servidor *web* com a capacidade de se comunicar através do protocolo HTTP. Uma instância de um servidor foi implantada em uma máquina virtual instanciada no serviço de servidores em nuvem da empresa americana Amazon<sup>1</sup>, o Amazon AWS<sup>2</sup>. A Amazon foi escolhida por possuir um preço acessível para máquinas de baixo desempenho e possuir instâncias de servidores no Brasil. O sistema operacional escolhido para este servidor de testes é o Ubuntu 14.04 LTS<sup>3</sup>. O servidor foi criado com localidade definida para São Paulo e foi do tipo *t1.micro*, que possui as seguintes configurações:

- Processador de 32-bit ou 64-bit
- 1 CPU, com 1 núcleo de processamento
- 0,613 Gb de memória RAM
- Capacidade de armazenamento EBS<sup>4</sup>
- Performance de rede muito baixa

Fonte: Adaptado de [Services \(2015\)](#)

Essa configuração de máquina foi escolhida por ser a mais básica (e consequentemente mais barata) na época de publicação deste trabalho.

Além do servidor para a hospedagem das páginas *web*, a realização dos testes de desempenho dependem de um navegador *web*. Visando compreender os resultados que as melhorias podem ter no mundo real, os navegadores Google Chrome<sup>5</sup> versão

---

<sup>1</sup><http://www.amazon.com/>

<sup>2</sup><http://aws.amazon.com/>

<sup>3</sup><https://wiki.ubuntu.com/TrustyTahr/ReleaseNotes>

<sup>4</sup><http://aws.amazon.com/ebs/>

<sup>5</sup>Navegador *web* desenvolvido e mantido pela Google e o mais utilizado do mundo

43.0 e Mozilla Firefox<sup>6</sup> versão 38.0 foram os escolhidos. Essa escolha levou em conta o fato de os dois navegadores juntos representam mais de 80% dos acessos à Internet (W3SCHOOLS, 2015). Mas apesar da escolha dos navegadores de teste se limitarem a dois navegadores, espera-se que os resultados sejam independentes do navegador utilizado.

### 4.3 Realização dos testes e coleta de dados

Dois tipos de testes foram executados para cada uma das técnicas de otimização escolhidas.

No primeiro tipo, foram criadas páginas especiais para cada teste. Essas páginas continham os elementos necessários para analisar os resultados obtidos com a técnica em questão e alguns elementos para aumentar o número de requisições, estressando a conexão e se aproximando mais do mundo real. Cada página foi carregada 25 vezes e o tempo de carregamento obtido através das ferramentas de desenvolvedor de cada navegador e foi registrado em uma tabela. Esses testes mostraram se as técnicas têm seu funcionamento alterado com a mudança de versão do protocolo HTTP.

No segundo tipo, as técnicas foram testadas uma a uma em uma simulação de um *website* completo. O modelo de *website* escolhido foi o *template* de página única chamado *Startbootstrap Creative*<sup>7</sup>. Esse tipo de *template* é muito utilizado atualmente por ser simples e facilitar a navegação em dispositivos móveis, logo, a análise do *Startbootstrap Creative* representa um resultado relevante para a forma como a *Web* tem sido usada atualmente.

Como o modelo de *cache* não se alterou entre as versões do protocolo, os testes foram realizados apenas para situações com *cache* vazia, que é considerado o caso mais crítico para os usuários.

### 4.4 Análise de resultados

Após coleta dos tempos de carregamentos das páginas no dois protocolos, esses dados foram analisados, levando em conta a média e o desvio padrão dessa média de cada conjunto. Valores de tempo de carregamento que estavam muito distantes dos demais foram desconsiderados por serem causados por picos de conexão. Essa decisão foi baseada no fato de que o objetivo de trabalho é analisar o uso da *Web* no dia a dia das pessoas e não em situações extremas de exceção. Além dos valores absolutos analisados, os gráficos em cascata mostrando a sequência requisição dos

---

<sup>6</sup>Navegador *web* desenvolvido e mantido pela Mozilla e segundo mais utilizado do mundo

<sup>7</sup><http://ironsummitmedia.github.io/startbootstrap-creative/>

recursos (imagens, arquivos CSS/JavaScript etc.) de cada página foram analisados para poder entender melhor o paralelismo das conexões em cada versão do HTTP.

## 5 Desenvolvimento

O desenvolvimento deste trabalho passou por quatro etapas principais: a seleção das técnicas a serem analisadas, a configuração do servidor de testes, a implementação dos testes e a execução dos testes. Neste capítulo estão descritos os detalhes dessas quatro etapas e as dificuldades encontradas em cada uma delas.

### 5.1 Técnicas Escolhidas

Após análise das técnicas propostas por Steve Souders em seus livros, foi concluído que cinco técnicas poderiam sofrer alterações com a implantação do novo protocolo. São estas:

1. Faça menos requisições HTTP
2. Reduza o número de pesquisas DNS
3. Evite redirecionamentos
4. Lidando com *scripts* assíncronos
5. Quebrando domínios dominantes

Das cinco técnicas listadas acima, apenas quatro puderam ser testadas. Isso porque a funcionalidade que melhorará o desempenho da técnica 4 ainda não foi implementada no servidor de teste escolhido. Mas, para complementar a análise da melhora de desempenho causada pelo HTTP/2, um quinto teste foi feito utilizando um *template* de página *web* e simplesmente o executando no HTTP/1.1 e depois no HTTP/2.

Para cada teste, foram criados projetos HTML separados. Dessa forma o comportamento de uma técnica não interfere na outra. Além disso, foram incluídos arquivos CSS e *JavaScript* de maneira aleatória para a realização dos testes. Esses arquivos são de bibliotecas famosas e não foram alterados, apenas concatenados na realização de testes que necessitavam o uso dessa técnica. As bibliotecas escolhidas foram:

- Animate CSS (<https://daneden.github.io/animate.css/>)
- Bootstrap (<http://getbootstrap.com/>)
- JQuery (<https://jquery.com/>)
- Font Awesome (<https://fontawesome.github.io/Font-Awesome/>)

- Full Calendar (<http://fullcalendar.io/>)
- Normalize (<https://necolas.github.io/normalize.css/>)
- Skeleton (<http://getskeleton.com/>)
- Angular JS (<https://angularjs.org/>)
- Backbone JS (<http://backbonejs.org/>)
- D3 (<http://d3js.org/>)
- Ember JS (<http://emberjs.com/>)
- High Charts (<http://www.highcharts.com/>)
- Moment JS (<http://momentjs.com/>)
- Require JS (<http://requirejs.org/>)

Com o intuito de estressar a conexão simulando melhor o número de requisições de um site real, nos quatro primeiros testes, foram inseridas na página 28 imagens de diferentes tamanhos e formatos. Essas imagens são aleatórias e nunca são alteradas.

A seguir encontram-se as explicações de cada teste e seus códigos-fontes podem ser encontrados anexados ao final deste trabalho.

### 5.1.1 Faça menos requisições HTTP

Para a realização deste teste, vários arquivos CSS e *JavaScript* foram inseridos na página. Primeiramente, os arquivos são inseridos separadamente e depois são concatenados e inseridos de uma só vez. A soma dos tamanhos dos arquivos separados é 285kB maior do que a soma dos arquivos concatenados, 1.24 MB, isso ocorre por causa da remoção de espaços em branco.

O código para o teste com arquivos separados pode ser encontrado no [Apêndice A](#) e o código para o teste com os arquivos concatenados no [Apêndice B](#).

### 5.1.2 Reduza o número de pesquisas DNS

Neste teste, os mesmos arquivos CSS e *JavaScript* do teste 5.1.1 foram utilizados mas, desta vez, ao invés de serem hospedados no mesmo servidor dos arquivos HTML, eles foram inseridos via CDN. Sendo assim, as páginas se diferem no número de CDNs utilizadas. Enquanto no código do [Apêndice C](#) são utilizadas 4 CDNs diferentes, no código do [Apêndice D](#) apenas uma é utilizada. Com isso, no primeiro teste, são feitas quatro consultas de DNS e, no segundo, apenas uma.

### 5.1.3 Evite redirecionamentos

A realização deste teste não depende apenas da página *web* utilizada, mas também de mudanças na configuração do servidor. Sendo assim, a página *web* utilizada para o primeiro teste também foi reutilizada e foi feita uma mudança no arquivo de configuração do servidor. Essa mudança definia que caso uma requisição fosse recebida pelo servidor em uma determinada porta, ela deveria ser redirecionada para outra porta.

### 5.1.4 Quebrando domínios dominantes

Enquanto que no teste da [Subseção 5.1.2](#) o número de pesquisas de DNS vai de um extremo ao outro, passa de 4 para 1, neste teste as medições são repetidas para 2 e 3 DNS diferentes na página, com o intuito de se encontrar o número ideal de consultas de DNSs que diminui o tempo de pesquisas e aumenta o paralelismo das requisições. O código para esse teste encontra-se no [Apêndice E](#).

## 5.2 O servidor

Um servidor é um programa de computador que recebe requisições e envia respostas. Na *Web*, o tipo mais comum de requisição e resposta são as requisições e respostas HTTP. Sendo assim, a função primária de um servidor *web* é aguardar por requisições HTTP e servir páginas *web*.

Para este trabalho, três servidores foram considerados. De acordo com a [Netcraft \(2015\)](#), os dois primeiros são os servidores *web* mais populares do mundo atualmente, o Apache<sup>1</sup> e o Nginx<sup>2</sup>. Mas, como esses servidores ainda não possuem versões oficiais estáveis que implementam o HTTP/2, um outro servidor, o *nghttp2*, foi o servidor considerado para lidar com o novo protocolo.

### 5.2.1 Apache

O servidor *web* Apache foi lançado em 1995 por um grupo de entusiastas que procuravam uma maneira segura, eficiente e escalável de servir páginas *web* para todos. De acordo com a [Apache Foundation \(2015\)](#), o servidor Apache se tornou o mais popular do mundo em Abril de 1996 e nunca mais perdeu essa posição. Desde o início, o projeto se desenvolveu como uma iniciativa de código livre e assim se mantém até os dias

---

<sup>1</sup><http://www.apache.org/>

<sup>2</sup><http://nginx.org/>



atuais. As grandes vantagens do Apache são que ele pode ser executado em qualquer sistema operacional UNIX<sup>3</sup> ou Windows NT<sup>4</sup> e é simples de ser configurado.

### 5.2.2 Nginx

Assim como o Apache, o Nginx é um projeto de código livre de servidor HTTP. Começou a ser desenvolvido em 2002 e teve sua primeira versão pública lançada em 2004. A motivação para a criação do Nginx foi encontrar uma solução para o problema C10K<sup>5</sup>, que diz que um servidor *web* deve suportar 10 mil conexões paralelas. Sendo assim, como explica [Nginx \(2015\)](#), o servidor foi construído com um arquitetura completamente assíncrona que beneficia de pequenos serviços de hospedagem a grandes sistemas de computação paralela.

### 5.2.3 Nghttp2

O *nghttp2*, desenvolvido por [Tsujikawa \(2015\)](#), é uma implementação em linguagem C do HTTP/2 e do protocolo de compressão HPACK. Essa implementação possui um cliente, um servidor, um *proxy* e uma ferramenta de teste de carga para o servidor. Apesar do nome sugerir que existe alguma ligação entre o Nginx e o *nghttp2*, não foi possível encontrar nada que relacione os dois servidores.

Apesar de os passos para a instalação do *nghttp2* estarem documentados no site do projeto, algumas etapas importantes sobre instalação de dependências necessárias para fazer a aplicação funcionar corretamente não estão bem explicadas. Sendo assim, foram encontradas dificuldades no processo de instalação. Mas após superar essas dificuldades a aplicação foi configurada e foi possível confirmar seu funcionamento com a ajuda de um navegador com suporte a requisições e respostas HTTP/2. O processo de instalação está descrito no [Apêndice F](#).

### 5.2.4 A escolha do servidor

Para executar os testes propostos, foi necessário utilizar um servidor que suportasse tanto requisições HTTP/1.1 quanto HTTP/2. Como o HTTP/2 ainda é recente, encontrar um servidor com tal característica se mostrou um grande desafio.

Existem várias implementações do protocolo no mercado, cada uma com características diferentes e em estados diferentes de maturidade<sup>6</sup>. Mas o problema é que a

---

<sup>3</sup>Família de sistemas operacionais que é utilizado como base do Linux e do iOS. <https://en.wikipedia.org/wiki/Unix>

<sup>4</sup>Família de sistemas operacionais produzidas pelas *Microsoft*. [https://en.wikipedia.org/wiki/Windows\\_NT](https://en.wikipedia.org/wiki/Windows_NT)

<sup>5</sup><http://www.kegel.com/c10k.html>

<sup>6</sup>Para obter mais informações sobre as diferentes implementações do HTTP/2 acesse o link a seguir. <https://github.com/http2/http2-spec/wiki/Implementations>

grande maioria dessas implementações são privadas e específicas para as empresas que as desenvolveram. Até o dia 1 de Agosto de 2015 (data quando os testes foram executados pela primeira vez) não existiam versões oficiais do protocolo para o Apache ou para o Nginx.

Apesar de não existir uma versão oficial do HTTP/2 para o Apache, existe um projeto de código aberto chamado *mod\_h2*, desenvolvido por [Eissing \(2015\)](#), que se tornará a versão oficial do protocolo quando atingir um nível de maturidade e estabilidade considerado aceitável pela Apache Foundation. Como para o Nginx não existia ainda uma extensão que implementasse o novo protocolo dentro do servidor, o Apache seria a melhor escolha de servidor de teste.

As instruções para a instalação do *mod\_h2* podem ser encontradas no site oficial do módulo e incluem:

1. Baixar os arquivos do projeto
2. Gerar arquivos de configuração e construção do módulo
3. Compilar o módulo
4. Mudar configurações do Apache para utilizar o novo módulo
5. Ativar suporte ao novo protocolo

Apesar da aparentemente simplicidade das etapas, após várias tentativas, não foi possível concluir a configuração do módulo. Os arquivos foram compilados e foi gerado o arquivo executável necessário para a utilização do *mod\_h2*. Sendo assim, o próximo passo seria configurar o servidor para utilizar o novo protocolo como preferencial nas requisições e respostas HTTP. Mas, apesar de seguir todas as instruções descritas no site do *mod\_h2*, não foi possível fazer com que o Apache executasse o HTTP/2. O processo final utilizado está descrito no [Apêndice G](#).

Como a configuração do servidor Apache falhou, foi necessário encontrar uma solução alternativa para executar o protocolo.

#### 5.2.4.1 A primeira escolha do servidor

Apesar dos esforços para encontrar um servidor que suportasse a várias versões do protocolo HTTP, tal feito não foi possível. Sendo assim, ficou decidido que seriam utilizados dois servidores diferentes para a realização dos testes, um para o HTTP/1.1 e outro para o HTTP/2.

Como o *nghttp2* foi o único servidor com suporte ao HTTP/2 que a instalação foi feita com sucesso, ele foi escolhido como o servidor de teste para o novo protocolo. E

por apresentar desempenho melhor do que o Apache, o Nginx foi escolhido como o servidor de teste para o HTTP/1.1.

## 5.3 Execução dos testes

Os testes foram realizados em navegadores *web*, o que torna o processo independente do sistema operacional. Mas o servidor foi configurado em uma máquina utilizando o sistema Ubuntu 14.04LTS, sendo assim, vale ressaltar, que os comandos descritos não vão necessariamente funcionar em sistemas operacionais diferentes do utilizado neste trabalho.

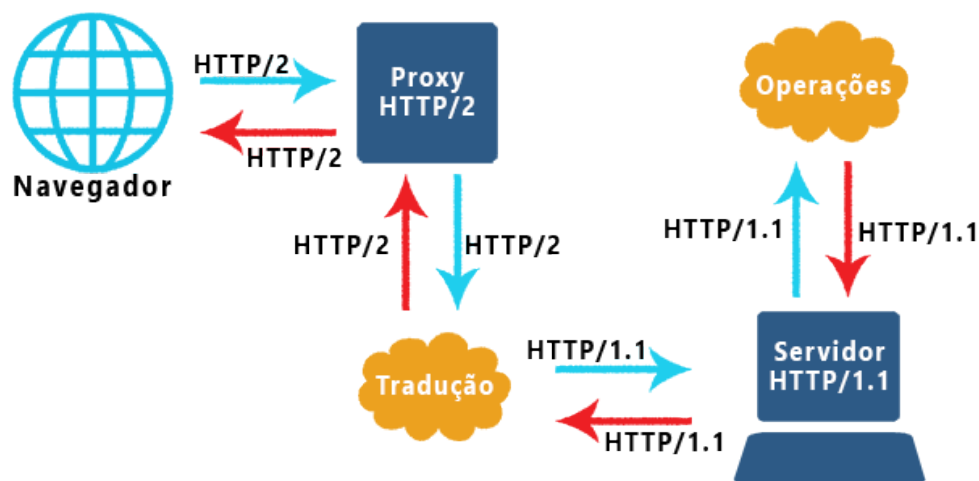
### 5.3.1 Considerações iniciais

O *nghttp2* permite a escolha do uso de HTTP/2 de duas maneiras:

1. Utilização do *nghttpx* para a criação de um *proxy* para servidor HTTP/1.1
2. Utilização do servidor *nghttpd*

Utilizar a primeira opção significa que o navegador vai mandar uma requisição HTTP/2 para a porta que o *proxy* está escutando. Essa requisição vai então ser traduzida pelo *proxy*, que vai transformá-la em uma requisição HTTP/1.1 e vai redirecioná-la para o servidor HTTP/1.1 que está escutando outra porta. O servidor HTTP/1.1 vai fazer todas as operações necessárias e vai retornar uma resposta HTTP/1.1 para o *proxy*, que vai traduzi-la para o HTTP/2 e retorna-la para o navegador. Esse processo está ilustrado na [Figura 9](#).

Figura 9 – Diagrama de funcionamento de proxy HTTP/2.



Apesar de parecer muito custoso, a implementação desse *proxy* já garante ao usuário uma melhora de desempenho de seu servidor, isso porque a comunicação

HTTP/2 é mais rápida e melhora o paralelismos das conexões. Além disso, o *proxy* ainda possibilita o uso de funcionalidades específicas do HTTP/2, como o *Server Push*.

A segunda opção utiliza o *nghttpd*, um servidor completo embutido dentro do *nghttp2*, para fazer todo o trabalho. Dessa forma, o navegador se comunica com esse servidor que faz todo o processamento necessário e retorna a resposta para o navegador. Tudo isso utilizando o protocolo HTTP/2. A desvantagem desse método é que o *nghttpd* não possui um arquivo de configuração, que é uma característica típica de servidores como o Apache e o Nginx e, por isso, ele acaba sendo limitado em alguns casos. Por exemplo, ainda não é possível utilizar o *Server Push* com o *nghttpd*, pois para configurar essa funcionalidade é necessário um arquivo de configuração.

Como os servidores de teste para cada protocolo já são diferentes, houve um grande esforço para deixar as configurações de ambiente restantes as mais similares possíveis, tentando assim evitar diferenças de desempenho providas de outras configurações além da mudança de protocolo. Dessa forma, a escolha pela configuração utilizando o *nghttpx* foi descartada. O redirecionamento via *proxy* acrescentaria mais uma etapa no processo de comunicação cliente-servidor e, mesmo que se um *proxy* fosse configurado para o servidor HTTP/1.1, ainda assim existe a etapa de tradução que não teria como ser simulada. Com isso, a configuração escolhida foi o uso do *nghttpd*.

Como dito anteriormente, apesar de inicialmente o HTTP/2 ter sido desenvolvido para funcionar apenas sob o protocolo TLS para melhorar a segurança da *Web*, essa proposta não foi aprovada e o HTTP/2 pode ser executado tanto com certificados de segurança como sem. A proposta inicial era executar os testes nos dois ambientes, HTTP e HTTPS, contudo o *nghttpd* não funcionou corretamente quando foi executado sem um certificado de segurança, por isso, os testes foram feitos apenas com o protocolo HTTPS. Esse tipo de falha no servidor, embora seja um problema para aplicações que querem utilizar do novo protocolo, são esperadas, pela tecnologia ser ainda muito nova e não houve tempo ábil para corrigir todos os defeitos.

### 5.3.2 Utilizando o *nghttpd*

Para utilizar o *nghttpd* foi necessária uma porta na máquina onde o servidor foi instalado para o cliente poder acessar o servidor *web*, um arquivo de certificado digital e uma chave para tal certificado. Então, tendo o *nghttp2* instalado, basta executar o seguinte comando:

```
sudo nghttpd 83 /etc/apache2/ssl/dreamtech.key /etc/apache2/ssl/dreamtech.crt  
-d/var/www/html/tcc -v
```

- 83 define qual porta será escutada pelo servidor

- `/etc/apache2/ssl/dreamtech.key` é o caminho para o arquivo de chave do certificado digital
- `/etc/apache2/ssl/dreamtech.crt` é o caminho para o certificado digital
- `-d` define que uma pasta diferente da atual será servido pelo servidor
- `/var/www/html/tcc` é o caminho da pasta que será servida
- `-v` define que o servidor deverá exibir (verbalizar) as operações que está executando

Com isso o servidor para o protocolo HTTP/2 já está funcionando, apontando para a pasta `/var/www/html/tcc` e já pode ser acessado pela porta 83.

### 5.3.3 A primeira execução dos testes

Para iniciar os testes foi necessário garantir que os navegadores escolhidos estavam com a opção de realizar requisições HTTP/2 habilitada. Enquanto que nas versões mais atuais do Google Chrome essa opção já vem habilitada por padrão e não existe mais uma forma de desabilitá-la, no Mozilla Firefox foi necessário seguir o procedimento descrito a seguir para garantir que o navegador fizesse as requisições com o novo protocolo.

1. Abra navegador
2. Digite *about:config* na barra de navegação
3. Confirme que deseja alterar as configurações do seu navegador
4. Na barra de pesquisa, procure por *network.http.spdy.enabled.http2draft*
5. Clique duas vezes na preferência e confirma que seu resultado foi alterado para verdadeiro
6. Na barra de pesquisa, procure por *security.ssl.enable\_alpn*
7. Clique duas vezes na preferência e confirma que seu resultado foi alterado para verdadeiro

Por fim, para garantir que os navegadores estavam fazendo requisições HTTP/2, bastou iniciar o servidor *nghttpd* e utilizar as ferramentas de desenvolvedor de cada navegador.

Figura 10 – Ferramentas do desenvolvedor do Google Chrome mostrando protocolo usado na requisição.

Name Path	Me...	Stat... Text	Protocol	Type	Initiator	Size Conte	Time Laten	Cache...	Timeline – Start Time
5.jpg /imgs	GET	200 OK	h2	jpeg	(index):22 Parser	844... 843...	4.0... 229...		
6.jpg /imgs	GET	200 OK	h2	jpeg	(index):23 Parser	108... 108...	2.0... 229...		
7.jpg /imgs	GET	200 OK	h2	jpeg	(index):24 Parser	18... 18...	678... 229...		
8.jpg /imgs	GET	200 OK	h2	jpeg	(index):25 Parser	42... 42...	723... 228...		
9.jpg /imgs	GET	200 OK	h2	jpeg	(index):26 Parser	7.0... 6.9...	724... 228...		
10.jpg /imgs	GET	200 OK	h2	jpeg	(index):27 Parser	111... 111...	2.0... 228...		
11.jpg /imgs	GET	200 OK	h2	jpeg	(index):28 Parser	193... 192...	3.3... 228...		
12.jpg /imgs	GET	200 OK	h2	jpeg	(index):29 Parser	79... 79...	2.1... 228...		
13.jpg	GET	200	h2	jpeg	(index):30	18...	907...		

Figura 11 – Ferramentas do desenvolvedor do Mozilla Firefox mostrando protocolo usado na requisição.

✓	Method	File	Headers	Cookies	Params	Response	Timings	Security
● 200	GET	14.png	Request URL: https://54.207.9.240:82/imgs/20.jpg Request method: GET Remote address: 54.207.9.240:82 Status code: ● 200 OK Version: HTTP/2.0					
● 200	GET	16.jpg						
● 200	GET	17.jpg						
● 200	GET	19.jpg						
● 200	GET	20.jpg						
● 200	GET	21.jpg						
● 200	GET	22.jpg						
● 200	GET	23.jpg						
● 200	GET	24.jpg						
● 200	GET	25.jpg						
● 200	GET	26.jpg	Filter headers Response headers (0.232 KB) Accept-Ranges: "bytes" Content-Length: "80331" Content-Type: "image/jpeg" Date: "Tue, 20 Oct 2015 00:07:15 GMT" Etag: ""561ed59c-139cb"" Last-Modified: "Wed, 14 Oct 2015 22:22:20 GMT" Server: "nginx/1.9.5" X-Firefox-Spdy: "h2"					
● 200	GET	27.jpg						
● 200	GET	28.jpg						

Esse processo garantiu que o servidor e os navegadores funcionam, pois ambos podem se comunicar utilizando o protocolo HTTP/2. Sendo assim, pôde-se dar início ao processo de realização dos testes.

Como o servidor *nghttpd* não possui um arquivo de configuração, foi necessário colocar cada caso de teste em pastas diferentes e, quando um caso novo fosse ser testado, o servidor tinha de ser reiniciado e apontado para outra pasta.

Para cada técnica de otimização escolhida, a página foi carregada 25 vezes utilizando o protocolo HTTP/1.1 no servidor *Nginx* e 25 vezes utilizando o protocolo

HTTP/2 no servidor *nghttpd*. Os tempos de carregamentos das páginas foram registrados e foram calculadas as médias e o desvio padrão para cada técnica de otimização.

### 5.3.4 Problemas nos resultados

Após a execução dos testes, percebeu-se que os resultados obtidos não foram os esperados. O HTTP/2 estava tendo resultados piores do que o HTTP/1.1 para todos os cenários de teste e as técnicas que não eram esperadas que funcionassem no novo protocolo, continuavam gerando tempos de carregamento diferentes quando aplicadas. Por esse motivo e levando em conta que o HTTP/2 é uma tecnologia muito nova e que suas implementações estão evoluindo de maneira acelerada, após a conclusão de que os resultados obtidos com o *nghttp2* não eram satisfatórios, foi feita uma nova procura por servidores *web* com suporte à nova versão do protocolo HTTP.

## 5.4 A escolha final do servidor

No dia 22 de Setembro, foi lançada uma nova versão não estável do Nginx que possui suporte às duas versões do protocolo HTTP, sendo que o suporte ao HTTP/2 funciona apenas para conexões seguras, ou seja, utilizando o protocolo de segurança SSL. Até o momento, a versão do servidor utilizada para a realização dos testes em HTTP/1.1 era a versão estável 1.6.2, a nova versão com suporte ao HTTP/2 é a 1.9.5. Dessa forma ficou decidido que o essa nova versão seria utilizada para os testes dos dois protocolos.

Para instalar a versão 1.9.5 do Nginx foi necessário remover por completo a versão antiga, inserir o repositório de arquivos nas configurações do sistema operacional e instalar novamente o servidor. A seguir encontra-se o passo-a-passo dessa instalação.

1. Remova a versão antiga do servidor: *sudo apt-get purge nginx nginx-common*
2. Adicione o novo repositório às configurações do sistema:

```
sudo nano /etc/apt/source.list Adicione as duas linhas abaixo ao final do arquivo deb
http://nginx.org/packages/mainline/ubuntu/ trusty nginx deb-src
http://nginx.org/packages/mainline/ubuntu/ trusty nginx
```

3. Atualize seu repositório: *sudo apt-get update*
4. Limpe a *cache* do serviço de instalação e instale a nova versão do servidor: *sudo apt-get clean && sudo apt-get install nginx*
5. Verifique a versão instalada: *nginx -v*

Após instalada a nova versão do Nginx, foi necessário configurar o servidor para que ele aceitasse as duas versões do protocolo HTTP. Para isso, é feita a edição do arquivo padrão de configuração do Nginx, o *conf.d*, que se encontra no diretório de instalação do servidor. As seguintes configurações devem estar presentes nesse arquivo para que ele aceite o HTTP/1.1 na porta 81 e o HTTP/2 na porta 82.

```
server listen 81 ssl default_server;

ssl_certificate server.crt; ssl_certificate_key server.key; ...

server listen 82 ssl http2 default_server;

ssl_certificate server.crt; ssl_certificate_key server.key; ...
```

Dessa forma, bastou seguir o mesmo processo utilizado para confirmar o funcionamento do *nghttp2* e, com a ajuda de um navegador *web* com suporte ao HTTP/2, confirmar que as requisições estão sendo aceitas utilizando o HTTP/1.1 na porta 81 e o HTTP/2 na porta 82, e estão sendo servidas com respostas na versão correta do protocolo.

Então os testes foram repetidos na nova configuração do servidor seguindo exatamente o mesmo processo descrito anteriormente e mais uma vez os resultados do tempo de carregamento de cada página de teste foi registrado para análise.



## 6 Resultados

Após a execução dos testes, foram geradas tabelas com os valores dos tempos de carregamento, desvio padrão dos tempos para cada técnica e gráficos em cascata das páginas *web* desenvolvidas para cada técnica de otimização analisada. Os valores registrados mostraram as diferenças no comportamento das versões do protocolo HTTP e como cada técnica se comportaria no HTTP/2.

Neste capítulo são descritos e analisados os valores encontrados e é analisado o comportamento do desempenho das páginas nas duas versões do protocolo.

### 6.1 Análise do tempo de carregamento

O tempo de carregamento foi a métrica de desempenho escolhida para comparar o comportamento das páginas de teste nos diferentes protocolos. Essa métrica foi obtida com a ajuda da ferramenta de desenvolvedor de cada navegador. As tabelas 5 a 9, mostram os resultados obtidos para as médias, desvio padrão e coeficiente de variação do tempo carregamento das páginas *web* divididos por técnica analisada. Os testes foram executados 25 vezes para cada cenário e as medidas estatísticas foram calculadas a partir dos valores de tempo de carregamento obtidos em cada execução do teste. Os resultados detalhados para cada técnica, mostrando os valores para cada execução, podem ser encontrados no [Apêndice H](#).

Tabela 5 – Resultados da técnica “Faça menos requisições HTTP”

		HTTP/1.1		HTTP/2	
		Firefox	Chrome	Firefox	Chrome
Arquivos separados	Média	4.8996	4.944	4.8944	4.8184
	Desvio padrão	0.16059	0.20940	0.11883	0.07786
	Coeficiente de variação	3.28%	4.28%	2.40%	1.62%
Arquivos concatenados	Média	4.6496	4.608	4.6528	4.5844
	Desvio padrão	0.15053	0.11193	0.10828	0.09029
	Coeficiente de variação	3.24%	2.43%	2.33%	1.97%
Porcentual de Melhora (Média):		5,10%	5,89%	5,85%	4,86%

A [Tabela 5](#) mostra os resultados obtidos com a redução de requisições HTTP concatenando arquivos CSS e JS. Diferente do esperado, o HTTP/2 obteve resultados piores ou iguais ao HTTP/1.1 e ainda a concatenação dos arquivos gerou uma melhora no tempo de carregamento da página, o que não era esperado para o novo protocolo.

Tabela 6 – Resultados da técnica “Reduza o número de pesquisas DNS”

		HTTP/1.1		HTTP/2	
		Firefox	Chrome	Firefox	Chrome
Múltiplas CDNs	Média	4.9	4.2304	4.3236	4.1972
	Desvio padrão	0.12958	0.11417	0.13001	0.09220
	Coefficiente de variação	2.65%	2.70%	3.01%	2.20%
Única CDN	Média	5.0664	4.2104	4.314	4.0712
	Desvio padrão	0.26658	0.17080	0.23863	0.04958
	Coefficiente de variação	5.26%	4.06%	5.53%	1.22%
Porcentual de Melhora (Média):		3.36%	-0.22%	-0.48%	-3.09%

Analisando a [Tabela 6](#) percebe-se que o HTTP/2, apesar de obter desempenho melhor do que o HTTP/1.1, teve um aumento no tempo de carregamento para um número maior de CDNs. Esse aumento pode ser consequência do tempo de busca de DNS ter aumentado ou por que as novas CDNs utilizadas possuíam desempenho ruim. Mas, julgando pelo fato de todas serem CDNs grandes e muito utilizadas, considera-se que todas são otimizadas e possuem alto desempenho.

Tabela 7 – Resultados da técnica “Quebrando domínios dominantes”

		HTTP/1.1		HTTP/2	
		Firefox	Chrome	Firefox	Chrome
2 CDNs	Média	5.272	4.1912	4.5648	4.2
	Desvio padrão	0.37758	0.19079	0.35197	0.27013
	Coefficiente de variação	7.16%	4.55%	7.71%	6.43%
3 CDNs	Média	5.2572	4.4652	5.2648	4.2872
	Desvio padrão	0.27470	0.35509	0.48068	0.26890
	Coefficiente de variação	5.23%	9.13%	7.95%	6.27%
Porcentual de Melhora (Média):		0.28%	-15.33%	-6.54%	-2.08%

A [Tabela 7](#) mostra os resultados obtidos para o tempo de carregamento da página utilizando duas e três CDNs respectivamente. Mais uma vez, percebe-se que o HTTP/2 possui desempenho melhor do que o HTTP/1.1, e além disso que o número de CDNs usado interfere diretamente no tempo de carregamento da página, apesar de o resultado esperado pela análise da especificação do novo protocolo sugerir que o número de CDNs não fosse interferir no tempo de carregamento das páginas *web*.

Outro motivo para isso pode ser o fato de as CDNs não suportarem requisições HTTP/2, sendo assim, a comunicação com as CDNs ocorre através da versão antiga do protocolo, fato que acaba influenciando no ganho de desempenho que a página teria com o HTTP/2.

Tabela 8 – Resultados da técnica “Evite redirecionamento”

		HTTP/1.1		HTTP/2	
		Firefox	Chrome	Firefox	Chrome
Sem Redirecionamento	Média	4.8996	4.944	4.8944	4.8184
	Desvio padrão	0.15053	0.11193	0.10828	0.09029
	Coefficiente de variação	3.24%	2.43%	2.33%	1.97%
Com Redirecionamento	Média	6.5684	6.7612	7.022	7.2168
	Desvio padrão	1.01423	0.86158	0.51653	0.76464
	Coefficiente de variação	15.44%	7.36%	12.74%	10.60%
Porcentual de Melhora (Média):		-34.06%	-42.03%	-38.14%	-49.78%

Apesar de ser esperado que o redirecionamento não influencie no tempo de carregamento da página no HTTP/2 quando as tabelas 5 e 8 são comparadas, perceber-se que, quando a página é redirecionada, o desempenho da mesma é pior independente do protocolo utilizado.

Tabela 9 – Resultados do teste final utilizando template

		HTTP/1.1		HTTP/2	
		Firefox	Chrome	Firefox	Chrome
Template	Média	0.9616	0.9864	0.9976	0.9812
	Desvio padrão	0.05334	0.06192	0.08606	0.04752
	Coefficiente de variação	5.55%	6.21%	8.73%	4.84%

Na Tabela 9 encontra-se o resultado do tempo de carregamento da página utilizando o *template* escolhido. Pode-se dizer que os dois protocolos tiveram o mesmo resultado, pois as diferenças são muito pequenas. Contudo, era esperado que o HTTP/2 fosse mais eficiente e carregasse a página mais rapidamente.

### 6.1.1 Análise do desvio padrão

Apesar do HTTP/2 não apresentar desempenho melhor do que HTTP/1.1 para todos os cenários e de algumas técnicas que não deveriam alterar o comportamento das páginas no protocolo causarem um efeito não esperado, pode-se notar que o novo protocolo se comporta diferente de sua versão prévia.

Observando os desvios padrão mostrados nas tabelas 5 à 9 percebe-se que o HTTP/2 é um protocolo mais estável e que, aparentemente, sofre menos com as alterações de rede. Quando utilizando uma conexão de rede real, não é possível remover 100% os picos e vales de conexão que ocorrem. Por esse motivo percebemos que os tempos de carregamento se alteram (apesar de os valores muito fora da média já terem sido retirados). Mesmo assim, o desvio padrão do HTTP/2 foi menor do que o do HTTP/1.1 para todas as páginas, o que pode ser uma grande vantagem para desenvolvedores tentarem prever o comportamento de seus *websites* e seus usuários.

### 6.1.2 Cascata

As figuras [12](#) e [13](#) mostram o carregamento do cenário descrito na [Subseção 5.1.1](#) em formato de gráfico em cascata, obtido com a ajuda da ferramenta de desenvolvedor do Google Chrome.

Figura 12 – Cascata representando *download* de componentes da página no HTTP/1.1.

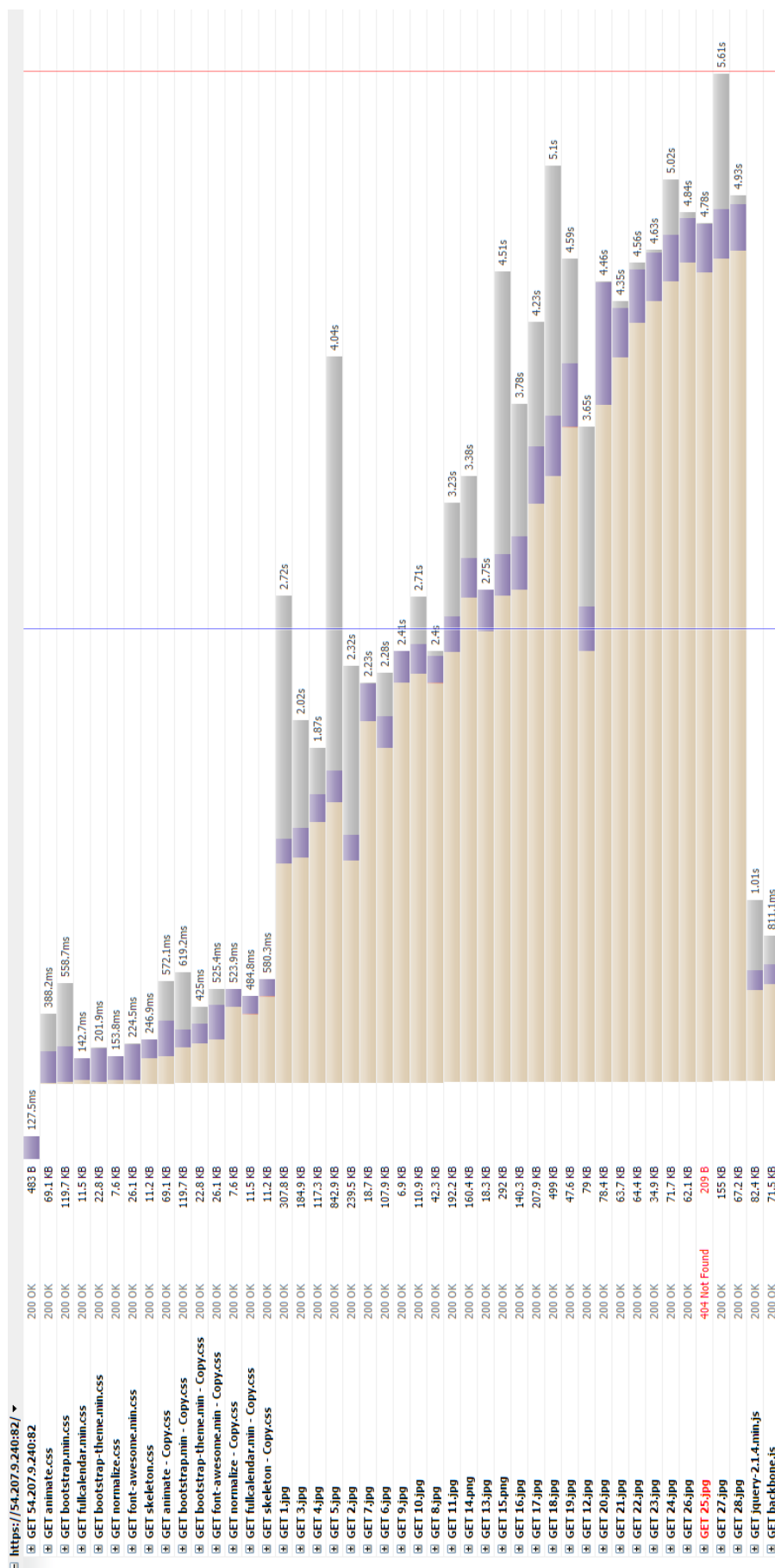
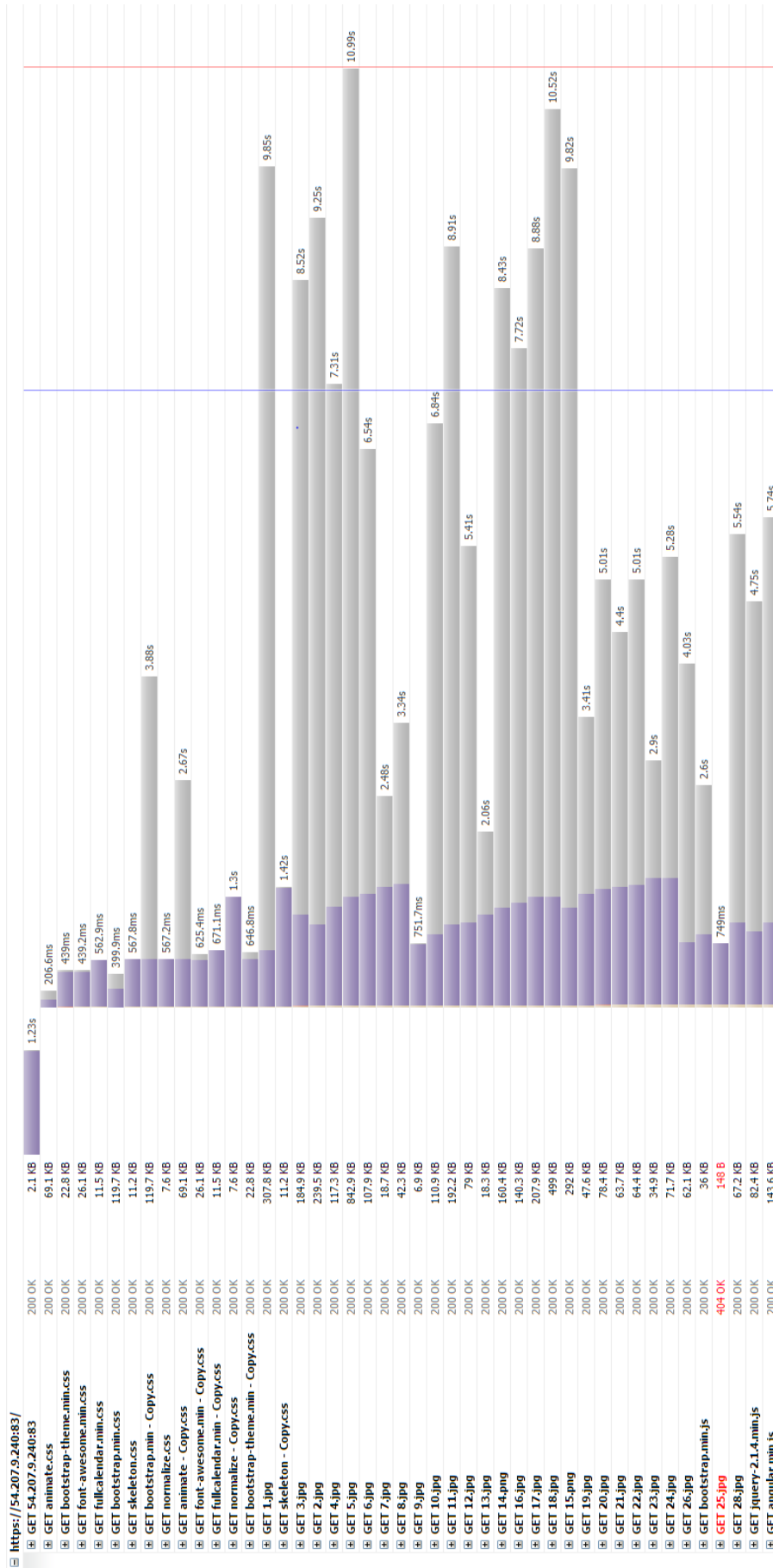


Figura 13 – Cascata representando *download* de componentes da página no HTTP/2.



Nas figuras 12 e 13, a cor marrom representa o tempo que o componente ficou bloqueado, ou seja, estava aguardando outros componentes serem baixados para poder começar a ser processado. Sendo assim, durante esse período, nem mesmo a requisição pelo componente foi feita ainda. A porção representada pela cor roxa é o tempo que o cliente ficou esperando pelo servidor para processar sua requisição e responde-la. E a cor cinza representa o tempo de envio do componente, ou seja, o tempo que o cliente demorou para fazer o *download*.

Os gráficos de cascata para os outros cenários seguem o mesmo padrão dos dois mostrados e podem ser encontrados no Apêndice I. Quando analisadas, essas figuras revelam a diferença no comportamento dos protocolos HTTP/1.1 e HTTP/2. Percebe-se que no HTTP/1.1 os gráficos possuem o formato conhecido como cascata, em que os componentes ficam bloqueados ou não são nem processados até que outros já tenham terminado de serem baixados pelo cliente. Enquanto que no HTTP/2, a cascata não é formada, isso graças ao grande paralelismo que esse protocolo possui.

Com isso, esperava-se que o tempo gasto com componentes bloqueados no HTTP/1.1 fosse removido do tempo total de carregamento no HTTP/2. Mas podemos perceber, analisando os resultados do tempo de carregamento final das páginas, que isso não acontece. Apesar de os componentes não ficarem bloqueados, eles possuem tempo de *download* muito maiores no HTTP/2.

Existem alguns fatores que podem ser a causa desse aumento no tempo de *download* das páginas. Tsujikawa, desenvolvedor do *nghttp2*, acredita que um dos motivos é o fato de os navegadores não estarem preparados para utilizar todas as funcionalidades disponíveis no HTTP/2, afinal de contas o protocolo é muito novo e ainda é necessário tempo para que tal adaptação seja feita<sup>1</sup>. Outros motivos que podem estar limitando os ganhos com o paralelismo do HTTP/2 são a possível falta de otimização do Nginx, que não conseguiria servir tantas requisições paralelas otimizadas ao mesmo tempo, a limitação do *hardware* da máquina onde está instalado o servidor, que não possui um processador multi-tarefas, ou até mesmo limitações da rede, que possui largura de banda para transferir tantos dados ao mesmo tempo.

## 6.2 Discussão dos resultados

A hipótese inicial deste trabalho propunha que o HTTP/2 apresentaria um desempenho melhor do que o HTTP/1.1 e que algumas técnicas de otimização de desempenho utilizadas para o protocolo mais antigo não teriam efeito ou seriam até mesmo prejudiciais para as páginas *web* no novo protocolo. Mas apesar do esforço para

---

<sup>1</sup><https://github.com/tatsuhiro-t/nghttp2/issues/387>

encontrar um servidor HTTP/2 confiável e de gerar resultados que representassem o mundo real, o HTTP/2 não apresentou o comportamento esperado.

A redução de requisições HTTP continuou tendo aumentando o desempenho das páginas *web*, o aumento de pesquisas de DNS foi prejudicial e o redirecionamento ainda deve ser um recurso evitado. Além disso, quando analisado em uma simulação de um site real sem sobre carga de requisições e sem a aplicação de técnicas de otimização, o HTTP/2 ainda obteve resultados piores do que o HTTP/1.1.

Não foi possível analisar a fundo o motivo de porquê o novo protocolo não se comportou como o esperado, mas algumas perguntas ficam em aberto para serem respondidas em trabalhos futuros.

O HTTP/2 ainda está em fase de desenvolvimento e adaptação e, no decorrer dos próximos meses muitas implementações devem ser lançadas para que sejam testadas pelos usuários da *Web*. Apesar de não ter obtido resultado inicialmente esperado neste trabalho, acredita-se ainda que o novo protocolo vai ser uma grande mudança para a *Web* e que as técnicas de otimização de *front-end* de *websites* deverão se atualizar para serem efetivas no novo protocolo.

### 6.3 Questões em aberto

A seguir, encontra-se uma lista de questões deixadas em aberto por este trabalho que podem ser usadas como guias de trabalhos futuros.

- Porque a implementação atual do HTTP/2 apresentou desempenho pior do que o HTTP/1.1?
- Quanto o *hardware* da máquina onde está instalado o servidor *web* interfere no desempenho do HTTP/2?
- O Nginx, versão 1.9.5, consegue lidar com uma grande quantidade de requisições paralelas?
- Qual é o número de componentes ideal em uma página, de forma que o paralelismo não gera perda de desempenho?
- Os navegadores *web* estão preparados para utilizar todo o potencial do HTTP/2?
- Porque reduzir as requisições HTTP melhorou o desempenho da página no HTTP/2?

Espera-se que as respostas para tais questões ajudem a entender o motivo dos testes deste trabalho não obterem os resultados esperados.



## 7 Conclusão

A *Web* é a aplicação mais utilizada na rede mundial de computadores, a Internet, e grande parte das trocas de informações na *Web* ocorrem utilizando o protocolo HTTP. Após quase 17, anos o protocolo finalmente recebe uma atualização chamada de HTTP/2, que já foi aprovada e está sendo adotada aos poucos.

Desde o início do século XXI, os *websites* deixaram de ser páginas estáticas com conteúdo textual e passaram a interagir com os usuários, passaram a se movimentar e a depender de imagens e vídeos para transmitir as ideias desejadas por seus proprietários. Esse novo paradigma faz com que os tempos de carregamento das páginas aumentassem e por isso eram necessários meios para aumentar o seu desempenho. Steve Souders mostrou que 80-90% do tempo de carregamento das páginas eram gastos no *front-end*, por isso ele propôs várias técnicas para a otimização de desempenho de *websites* e as testou no HTTP/1.1.

Este trabalho buscou analisar como as técnicas propostas por Steve Souders se comportariam quando aplicadas em páginas *web* que utilizassem o protocolo HTTP/2. Como pré-requisito à análise das técnicas, foi feita uma comparação entre as versões do protocolo HTTP e antes de começar qualquer configuração ou implementação, foi necessário definir quais técnicas poderiam sofrer alterações com a mudança de versão do protocolo. Sabendo quais técnicas seriam testadas, foi feita uma busca por implementações gratuitas do novo protocolo e a configuração de um servidor com suporte aos HTTP/1.1 e HTTP/2. Com o servidor funcionando, foi comparado o tempo de carregamento das páginas nas diferentes versões.

Como o protocolo HTTP/2 é muito recente, foi difícil encontrar um único servidor que tivesse suporte a ele e ao HTTP/1.1. Então, após várias tentativas falhas com outras implementações, ficou definido que o *nghttp2* seria a implementação escolhida para se executar o HTTP/2. Já para a execução do HTTP/1.1, a decisão ficou entre os servidores Apache e Nginx. Por apresentar melhor desempenho de carregamento de páginas o Nginx foi o escolhido.

Os tempos de carregamento registrados com a execução dos testes nesses dois servidores não seguiram nossa expectativa. Levando em conta que o protocolo HTTP/2 é muito recente, sendo assim, suas implementações estão evoluindo mais a cada dia, foi feita uma nova busca por servidores com suporte a versão mais recente do HTTP. Encontrou-se uma versão recente e não-estável do Nginx, 1.9.5, com suporte às duas versões do protocolo, e ficou decidido que os testes seriam repetidos utilizando agora um mesmo servidor para os HTTP/1.1 e HTTP/2.

Apesar dos testes terem sido executados no mesmo servidor, os resultados encontrados continuaram sendo diferentes dos esperados. Na maioria dos cenários, o HTTP/2 apresentou desempenho pior do que o HTTP/1.1 e, além disso, técnicas que se esperava que não fossem alterar o comportamento das páginas *web* no novo protocolo, acabaram apresentando mudanças no tempo de carregamento.

Muitos podem ser os motivos para os resultados encontrados. Dentre eles, Tsujikawa, o desenvolvedor do *nghttp2*, acredita que os navegadores ainda não estejam preparados para utilizar todo o potencial do novo protocolo. Além disso, como o HTTP/2 aumenta o paralelismo dos *downloads*, o Nginx pode não estar conseguindo servir todas as requisições ao mesmo tempo ou até mesmo o processador do servidor de teste pode não suportar tanto paralelismo. Outra causa possível para esse resultado é que o paralelismo dos *downloads* é limitado pela conexão à Internet, velocidade ou largura de banda.

Contudo, o HTTP/2 apresentou maior estabilidade no tempo de carregamento das páginas, o que pode ser percebido pela análise do desvio padrão, o que já pode ser considerado um avanço, visto que isso pode garantir que os desenvolvedores possam prever melhor o comportamento de suas páginas para os usuários.

Vale ressaltar que o HTTP/2 foi aprovado em Março de 2015 e que muito ainda tem a evoluir. Muitas de suas funcionalidades ainda não foram implementadas e os servidores ainda não foram otimizados para trabalhar com essa nova versão do protocolo. Espera-se que, a medida que o protocolo vá avançando e seja adotado pelos gigantes da Internet, novos avanços sejam feitos.

## 7.1 Principais contribuições

Ainda que os resultados esperados não tenham sido obtidos, este trabalho é uma importante ferramenta de comparação entre as diferentes versões do protocolo HTTP e de explicação do que se esperar no novo protocolo HTTP/2. Não obstante, ele demonstra maneiras errôneas de se configurar o módulo *mod\_h2*, que será o módulo oficial para o HTTP/2 no servidor Apache, que podem evitar que novas tentativas de configuração falhem.

Mas apesar das falhas obtidas, a metodologia de testes apresentada pode ser utilizada em outros experimentos para analisar diferentes implementações do HTTP/2 quanto ao seu desempenho e os resultados obtidos servem como base de comparação para análises futuras, o que pode ajudar a entender como o protocolo está evoluindo com o passar do tempo. Ademais, este trabalho apresenta uma maneira detalhada de como se configurar o *nghttp2* e de como utilizar o HTTP/2 no Nginx, com a instalação e configuração da versão 1.9.5. Com isso, mais pessoas podem analisar o desempenho

do novo protocolo para ajudar a responder as perguntas em aberto e entender melhor como todo o potencial do HTTP/2 pode ser utilizado.

## 7.2 Trabalhos futuros

Tendo em vista os esforços feitos para se definir uma nova versão para o protocolo HTTP, acredita-se que existirá um esforço da comunidade para a implantação e expansão do mesmo. Muitas perguntas ficam em aberto com relação ao comportamento do HTTP/2 e a que tem de ser feito para se obter os resultados desejados com esse novo protocolo. Como trabalho futuro, fica a proposta de se fazer uma análise de qual componente está limitando que o maior paralelismo inerente ao HTTP/2 gere ganhos no tempo de carregamento das páginas *web*. Além disso, técnicas que não deveriam gerar mudanças no desempenho das páginas no novo protocolo, acabaram tendo o mesmo efeito que o HTTP/1.1. Não se sabe o motivo disso, mas a medida que novas atualizações forem surgindo para o HTTP/2, pode-se esperar que o comportamento real se aproxime mais da proposta teórica, então será válido fazer uma nova análise das técnicas propostas por Steve Souders.

## Referências

- APACHE FOUNDATION. **Apache HTTP Server Project**. 2015. Disponível em: <<http://httpd.apache.org/>>. Citado na página 39.
- ARCHIVE, H. **Http Archive Abril 2011 Query**. 2015. Disponível em: <<http://httparchive.org/interesting.php?a=All&l=Apr%2015%202011>>. Citado na página 1.
- ARCHIVE, H. **Http Archive Abril 2015 Query**. 2015. Disponível em: <<http://httparchive.org/interesting.php?a=All&l=Apr%2015%202015>>. Citado na página 1.
- CONNOLLY, D. **The birth of the web**. 2000. Disponível em: <<http://www.w3.org/History.html>>. Citado na página 1.
- EISSING, S. **mod\_h2**. 2015. Disponível em: <[https://github.com/icing/mod\\_h2](https://github.com/icing/mod_h2)>. Citado na página 41.
- GARRETT, J. J. **Ajax: A New Approach to Web Applications**. 2005. Disponível em: <<http://www.adaptivepath.com/ideas/ajax-new-approach-web-applications/>>. Citado na página 20.
- GRIGORIK, I. **High Performance Browser Networking**. 1st. ed. [S.l.]: O'Reilly, 2013. Citado na página 6.
- GROUP, H. W. **HPACK - Header Compression for HTTP/2**. 2015. Disponível em: <<http://tools.ietf.org/html/draft-ietf-httpbis-header-compression-12>>. Citado na página 18.
- GROUP, H. W. **Hypertext Transfer Protocol version 2**. 2015. Disponível em: <<https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-httpbis-http2-17>>. Citado 3 vezes nas páginas 3, 7 e 19.
- GROUP, N. W. **RFC 1945**. 1996. Disponível em: <<http://tools.ietf.org/html/rfc1945>>. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 10.
- GROUP, N. W. **RFC 2616**. 1999. Disponível em: <<http://tools.ietf.org/html/rfc2616>>. Citado 3 vezes nas páginas 2, 7 e 10.
- INC., G. **SPDY**. 2012. Disponível em: <<http://dev.chromium.org/spdy>>. Citado na página 16.
- KRISHNAMURTHY, B.; MOGUL, J. C.; KRISTOL, D. M. Key differences between http/1.0 and http/1.1. **Elsevier Science B.V**, 1999. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 11.
- NETCRAFT. **June 2015 Web Server Survey**. 2015. Disponível em: <<http://news.netcraft.com/archives/2015/06/25/june-2015-web-server-survey.html>>. Citado na página 39.
- NGINX. **Nginx**. 2015. Disponível em: <<http://wiki.nginx.org/Main>>. Citado na página 40.
- OPTIMIZATION, W. **Evolution of the Web from 2000 to 2007**. 2008. Disponível em: <<http://www.websiteoptimization.com/speed/tweak/evolution-web/>>. Citado na página 15.

- O'REILLY, T. **What Is Web 2.0**. 2005. Disponível em: <<http://www.oreilly.com/pub/a/web2/archive/what-is-web-20.html?page=1>>. Citado na página 20.
- SAENZ, J. **Building Web Apps with Go**. [s.n.], 2014. Disponível em: <<https://www.gitbook.com/book/codegangsta/building-web-apps-with-go/details>>. Citado na página 7.
- SCOTT, T. **AJAX what is it? (it's not DHTML)**. 2007. Disponível em: <<http://derivadow.com/2007/01/05/ajax-what-is-it-its-not-dhtml/>>. Citado na página 21.
- SERVICES, A. W. **Previous Generation Instances**. 2015. Disponível em: <<http://aws.amazon.com/ec2/previous-generation/>>. Citado na página 34.
- SOUDERS, S. **High Performance Web Sites**. 1st. ed. [S.l.: s.n.], 2007. Citado 7 vezes nas páginas 2, 22, 23, 24, 26, 30 e 33.
- SOUDERS, S. **Even Faster Web Sites**. 1st. ed. [S.l.: s.n.], 2009. Citado 8 vezes nas páginas 2, 27, 28, 29, 30, 31, 32 e 33.
- SOUDERS, S. Even faster websites. In: . [s.n.], 2009. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?feature=player\\_embedded&v=aJGC0JSIpPE](https://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=aJGC0JSIpPE)>. Citado na página 2.
- SOUDERS, S. **Web Performance Daybook**. 1st. ed. [S.l.: s.n.], 2012. Two. Citado na página 3.
- STENBERG, D. Http2 explained. **ACM SIGCOMM Computer Communication Review**, 2014. Disponível em: <<http://daniel.haxx.se/http2>>. Citado 3 vezes nas páginas 3, 16 e 17.
- TANENBAUM, D. J. W. A. S. **Computer Networks**. 5th. ed. [S.l.: s.n.], 2011. Citado 8 vezes nas páginas 2, 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 16.
- TOLLMAN, Z. **Deploying HTTP/2 and Strong TLS with Nghttp2 and Nginx**. 2015. Disponível em: <<https://www.tollmanz.com/http2-nghttp2-nginx-tls/>>. Citado na página 74.
- TSUJIKAWA, T. **Nghttp2**. 2015. Disponível em: <<https://nghttp2.org/>>. Citado na página 40.
- W3SCHOOLS. **Browser Statistics**. 2015. Disponível em: <[http://www.w3schools.com/browsers/browsers\\_stats.asp](http://www.w3schools.com/browsers/browsers_stats.asp)>. Citado na página 35.

## Apêndices

## APÊNDICE A – Código de teste para a técnica "Faça menos requisições HTTP": Arquivos Separados

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<link rel='stylesheet' href='css/animate.css'>
<link rel='stylesheet' href='css/bootstrap.min.css'>
<link rel='stylesheet' href='css/bootstrap-theme.min.css'>
<link rel='stylesheet' href='css/font-awesome.min.css'>
<link rel='stylesheet' href='css/fullcalendar.min.css'>
<link rel='stylesheet' href='css/normalize.css'>
<link rel='stylesheet' href='css/skeleton.css'>

<link rel='stylesheet' href='css/animate - Copy.css'>
<link rel='stylesheet' href='css/bootstrap.min - Copy.css'>
<link rel='stylesheet' href='css/bootstrap-theme.min - Copy.
css'>
<link rel='stylesheet' href='css/font-awesome.min - Copy.css
'>
<link rel='stylesheet' href='css/fullcalendar.min - Copy.css
'>
<link rel='stylesheet' href='css/normalize - Copy.css'>
<link rel='stylesheet' href='css/skeleton - Copy.css'>
</head>

<body>

<h1>My First Heading</h1>

<p>My first paragraph.</p>

<img src='imgs/1.jpg' />
<img src='imgs/2.jpg' />
<img src='imgs/3.jpg' />
<img src='imgs/4.jpg' />
<img src='imgs/5.jpg' />
```

```
<img src=""imgs/6.jpg"" />
<img src=""imgs/7.jpg"" />
<img src=""imgs/8.jpg"" />
<img src=""imgs/9.jpg"" />
<img src=""imgs/10.jpg"" />
<img src=""imgs/11.jpg"" />
<img src=""imgs/12.jpg"" />
<img src=""imgs/13.jpg"" />
<img src=""imgs/14.png"" />
<img src=""imgs/15.png"" />
<img src=""imgs/16.jpg"" />
<img src=""imgs/17.jpg"" />
<img src=""imgs/18.jpg"" />
<img src=""imgs/19.jpg"" />
<img src=""imgs/20.jpg"" />
<img src=""imgs/21.jpg"" />
<img src=""imgs/22.jpg"" />
<img src=""imgs/23.jpg"" />
<img src=""imgs/24.jpg"" />
<img src=""imgs/25.jpg"" />
<img src=""imgs/26.jpg"" />
<img src=""imgs/27.jpg"" />
<img src=""imgs/28.jpg"" />

<script src=""js/jquery-2.1.4.min.js""></script>
<script src=""js/angular.min.js""></script>
<script src=""js/backbone.js""></script>
<script src=""js/bootstrap.min.js""></script>
<script src=""js/d3.min.js""></script>
<script src=""js/ember-data.min.js""></script>
<script src=""js/fullcalendar.min.js""></script>
<script src=""js/highcharts.js""></script>
<script src=""js/moment-with-locales.min.js""></script>
<script src=""js/require.js""></script>
</body>
</html>
```



## APÊNDICE B – Código de teste para a técnica “Faça menos requisições HTTP”: Arquivos Concatenados

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<link rel='stylesheet' href='css/minified.css'>
</head>

<body>

<h1>My First Heading</h1>
<p>My first paragraph.</p>

<img src='imgs/1.jpg' />
<img src='imgs/2.jpg' />
<img src='imgs/3.jpg' />
<img src='imgs/4.jpg' />
<img src='imgs/5.jpg' />
<img src='imgs/6.jpg' />
<img src='imgs/7.jpg' />
<img src='imgs/8.jpg' />
<img src='imgs/9.jpg' />
<img src='imgs/10.jpg' />
<img src='imgs/11.jpg' />
<img src='imgs/12.jpg' />
<img src='imgs/13.jpg' />
<img src='imgs/14.png' />
<img src='imgs/15.png' />
<img src='imgs/16.jpg' />
<img src='imgs/17.jpg' />
<img src='imgs/18.jpg' />
<img src='imgs/19.jpg' />
<img src='imgs/20.jpg' />
<img src='imgs/21.jpg' />
<img src='imgs/22.jpg' />
<img src='imgs/23.jpg' />
```

```
<img src=''imgs/24.jpg'' />
<img src=''imgs/25.jpg'' />
<img src=''imgs/26.jpg'' />
<img src=''imgs/27.jpg'' />
<img src=''imgs/28.jpg'' />

    <script src=''js/minified.js''></script>
</body>
</html>
```

## APÊNDICE C – Código de teste para a técnica "Reduza o número de pesquisas DNS": Multiplas CDN

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<link rel='stylesheet' href='//cdnjs.cloudflare.com/ajax/
  libs/animate.css/3.4.0/animate.min.css'>
<link rel='stylesheet' href='//maxcdn.bootstrapcdn.com/
  bootstrap/3.3.5/css/bootstrap.min.css'>
<link rel='stylesheet' href='//maxcdn.bootstrapcdn.com/font-
  awesome/4.4.0/css/font-awesome.min.css'>
<link rel='stylesheet' href='//cdnjs.cloudflare.com/ajax/
  libs/fullcalendar/2.0.2/fullcalendar.js'>
<link rel='stylesheet' href='//cdn.bootcss.com/skeleton
  /2.0.4/skeleton.css'>
<link rel='stylesheet' href='css/normalize.css'>
</head>

<body>

<h1>My First Heading</h1>
<p>My first paragraph.</p>

<img src='imgs/1.jpg' />
<img src='imgs/2.jpg' />
<img src='imgs/3.jpg' />
<img src='imgs/4.jpg' />
<img src='imgs/5.jpg' />
<img src='imgs/6.jpg' />
<img src='imgs/7.jpg' />
<img src='imgs/8.jpg' />
<img src='imgs/9.jpg' />
<img src='imgs/10.jpg' />
<img src='imgs/11.jpg' />
<img src='imgs/12.jpg' />
<img src='imgs/13.jpg' />
```

```
<img src=''imgs/14.png'' />
<img src=''imgs/15.png'' />
<img src=''imgs/16.jpg'' />
<img src=''imgs/17.jpg'' />
<img src=''imgs/18.jpg'' />
<img src=''imgs/19.jpg'' />
<img src=''imgs/20.jpg'' />
<img src=''imgs/21.jpg'' />
<img src=''imgs/22.jpg'' />
<img src=''imgs/23.jpg'' />
<img src=''imgs/24.jpg'' />
<img src=''imgs/25.jpg'' />
<img src=''imgs/26.jpg'' />
<img src=''imgs/27.jpg'' />
<img src=''imgs/28.jpg'' />

<script src=''//ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/2.1.4/
  jquery.min.js ''></script>
<script src=''//maxcdn.bootstrapcdn.com/bootstrap/3.3.5/js/
  bootstrap.min.js ''></script>
<script src=''//ajax.googleapis.com/ajax/libs/angularjs/1.3.14/
  angular.min.js ''></script>
<script src=''//cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/d3/3.5.6/d3.js ''
  ></script>
<script src=''//cdn.bootcss.com/ember.js/2.1.0-beta.2/ember.js
  ''></script>
<script src=''js/require.js ''></script>
</body>
</html>
```

## APÊNDICE D – Código de teste para a técnica “Reduza o número de pesquisas DNS”: Única CDN

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<link rel='stylesheet' href='//cdnjs.cloudflare.com/ajax/
  libs/animate.css/3.4.0/animate.min.css'>
<link rel='stylesheet' href='//cdnjs.cloudflare.com/ajax/
  libs/twitter-bootstrap/4.0.0-alpha/js/bootstrap.min.js'>
<link rel='stylesheet' href='//cdnjs.cloudflare.com/ajax/
  libs/font-awesome/4.4.0/css/font-awesome.min.css'>
<link rel='stylesheet' href='//cdnjs.cloudflare.com/ajax/
  libs/fullcalendar/2.0.2/fullcalendar.js'>
<link rel='stylesheet' href='//cdnjs.cloudflare.com/ajax/
  libs/skeleton/2.0.4/skeleton.css'>
<link rel='stylesheet' href='//cdnjs.cloudflare.com/ajax/
  libs/normalize/3.0.3/normalize.css'>
</head>

<body>

<h1>My First Heading</h1>
<p>My first paragraph.</p>

<img src='imgs/1.jpg' />
<img src='imgs/2.jpg' />
<img src='imgs/3.jpg' />
<img src='imgs/4.jpg' />
<img src='imgs/5.jpg' />
<img src='imgs/6.jpg' />
<img src='imgs/7.jpg' />
<img src='imgs/8.jpg' />
<img src='imgs/9.jpg' />
<img src='imgs/10.jpg' />
<img src='imgs/11.jpg' />
<img src='imgs/12.jpg' />
```

```
<img src=""imgs/13.jpg"" />
<img src=""imgs/14.png"" />
<img src=""imgs/15.png"" />
<img src=""imgs/16.jpg"" />
<img src=""imgs/17.jpg"" />
<img src=""imgs/18.jpg"" />
<img src=""imgs/19.jpg"" />
<img src=""imgs/20.jpg"" />
<img src=""imgs/21.jpg"" />
<img src=""imgs/22.jpg"" />
<img src=""imgs/23.jpg"" />
<img src=""imgs/24.jpg"" />
<img src=""imgs/25.jpg"" />
<img src=""imgs/26.jpg"" />
<img src=""imgs/27.jpg"" />
<img src=""imgs/28.jpg"" />

<script src="//cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/jquery/2.1.4/
  jquery.min.js""></script>
<script src="//cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/twitter-
  bootstrap/3.3.5/js/bootstrap.min.js""></script>
<script src="//cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/angular.js
  /1.3.14/angular.min.js""></script>
<script src="//cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/d3/3.5.6/d3.js""
  ></script>
<script src="//cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/ember.js/2.1.0-
  beta.2/ember.js""></script>
<script src="//cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/require.js
  /2.1.20/require.min.js""></script>
</body>
</html>
```

## APÊNDICE E – Código de teste para a técnica "Quebrando domínios dominantes"

Para duas CDNs

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<link rel='stylesheet' href='//cdnjs.cloudflare.com/ajax/
  libs/animate.css/3.4.0/animate.min.css'>
<link rel='stylesheet' href='//maxcdn.bootstrapcdn.com/
  bootstrap/3.3.5/css/bootstrap.min.css'>
<link rel='stylesheet' href='//maxcdn.bootstrapcdn.com/font-
  awesome/4.4.0/css/font-awesome.min.css'>
<link rel='stylesheet' href='//cdnjs.cloudflare.com/ajax/
  libs/fullcalendar/2.0.2/fullcalendar.js'>
<link rel='stylesheet' href='//cdnjs.cloudflare.com/ajax/
  libs/skeleton/2.0.4/skeleton.css'>
<link rel='stylesheet' href='//cdnjs.cloudflare.com/ajax/
  libs/normalize/3.0.2/normalize.css'>
</head>

<body>

<h1>My First Heading</h1>
<p>My first paragraph.</p>

<img src='imgs/1.jpg' />
<img src='imgs/2.jpg' />
<img src='imgs/3.jpg' />
<img src='imgs/4.jpg' />
<img src='imgs/5.jpg' />
<img src='imgs/6.jpg' />
<img src='imgs/7.jpg' />
<img src='imgs/8.jpg' />
<img src='imgs/9.jpg' />
<img src='imgs/10.jpg' />
<img src='imgs/11.jpg' />
```

```

<img src=''imgs/12.jpg'' />
<img src=''imgs/13.jpg'' />
<img src=''imgs/14.png'' />
<img src=''imgs/15.png'' />
<img src=''imgs/16.jpg'' />
<img src=''imgs/17.jpg'' />
<img src=''imgs/18.jpg'' />
<img src=''imgs/19.jpg'' />
<img src=''imgs/20.jpg'' />
<img src=''imgs/21.jpg'' />
<img src=''imgs/22.jpg'' />
<img src=''imgs/23.jpg'' />
<img src=''imgs/24.jpg'' />
<img src=''imgs/25.jpg'' />
<img src=''imgs/26.jpg'' />
<img src=''imgs/27.jpg'' />
<img src=''imgs/28.jpg'' />

<script src=''//cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/jquery/2.1.4/
  jquery.min.js''></script>
<script src=''//maxcdn.bootstrapcdn.com/bootstrap/3.3.5/js/
  bootstrap.min.js''></script>
<script src=''//cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/angular.js
  /1.3.14/angular.min.js''></script>
<script src=''//cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/d3/3.5.6/d3.js''
  ></script>
<script src=''//cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/ember.js/2.1.0-
  beta.2/ember.js''></script>
<script src=''//cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/require.js
  /2.1.20/require.min.js''></script>
</body>
</html>

```

Para três CDNs

```

<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<link rel=''stylesheet'' href=''//cdnjs.cloudflare.com/ajax/
  libs/animate.css/3.4.0/animate.min.css''>

```



```
<link rel='stylesheet' href='//maxcdn.bootstrapcdn.com/
bootstrap/3.3.5/css/bootstrap.min.css'>
<link rel='stylesheet' href='//maxcdn.bootstrapcdn.com/font-
awesome/4.4.0/css/font-awesome.min.css'>
<link rel='stylesheet' href='//cdnjs.cloudflare.com/ajax/
libs/fullcalendar/2.0.2/fullcalendar.js'>
<link rel='stylesheet' href='//cdn.bootcss.com/skeleton
/2.0.4/skeleton.css'>
<link rel='stylesheet' href='//cdnjs.cloudflare.com/ajax/
libs/normalize/3.0.2/normalize.css'>
</head>

<body>

<h1>My First Heading</h1>
<p>My first paragraph.</p>

<img src='imgs/1.jpg' />
<img src='imgs/2.jpg' />
<img src='imgs/3.jpg' />
<img src='imgs/4.jpg' />
<img src='imgs/5.jpg' />
<img src='imgs/6.jpg' />
<img src='imgs/7.jpg' />
<img src='imgs/8.jpg' />
<img src='imgs/9.jpg' />
<img src='imgs/10.jpg' />
<img src='imgs/11.jpg' />
<img src='imgs/12.jpg' />
<img src='imgs/13.jpg' />
<img src='imgs/14.png' />
<img src='imgs/15.png' />
<img src='imgs/16.jpg' />
<img src='imgs/17.jpg' />
<img src='imgs/18.jpg' />
<img src='imgs/19.jpg' />
<img src='imgs/20.jpg' />
<img src='imgs/21.jpg' />
<img src='imgs/22.jpg' />
```

```
<img src=''imgs/23.jpg'' />
<img src=''imgs/24.jpg'' />
<img src=''imgs/25.jpg'' />
<img src=''imgs/26.jpg'' />
<img src=''imgs/27.jpg'' />
<img src=''imgs/28.jpg'' />

<script src=''//cdn.bootcss.com/jquery/2.1.4/jquery.min.js''></script>
<script src=''//maxcdn.bootstrapcdn.com/bootstrap/3.3.5/js/bootstrap.min.js''></script>
<script src=''//cdn.bootcss.com/angular.js/1.3.4/angular.min.js''></script>
<script src=''//cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/d3/3.5.6/d3.js''></script>
<script src=''//cdn.bootcss.com/ember.js/2.1.0-beta.2/ember.js''></script>
<script src=''//cdn.bootcss.com/require.js/2.1.20/require.min.js''></script>
</body>
</html>
```

## APÊNDICE F – Configurando *nghttp2*

Apesar de descrita no site oficial do projeto<sup>1</sup>, a configuração do *nghttp2* só foi possível graças a Tollman (2015). Em seu artigo Tollman descreve bem detalhadamente o processo de instalação do *nghttp2* e suas dependências. Enquanto que no site oficial do projeto a instalação das dependências fica a cargo do desenvolvedor.

Abaixo encontra-se um resumo dos passos descritos por Tollman.

### F.1 Instalando dependências

Instale todas as dependências básicas:

```
sudo apt-get install make binutils autoconf automake autotools-dev libtool pkg-config zlib1g-dev
libcunit1-dev libssl-dev libxml2-dev libev-dev libevent-dev libjansson-dev libjemalloc-dev
python3.4-dev g++ g++-mingw-w64-i686 git python3-setuptools sudo easy_install3 pip sudo
pip3.4 install -U cython
```

Instale o Spdylay, que serve como base para o *nghttp2*

1. Crie uma pasta para o código compilado: *mkdir /src*
2. Clone o projeto: *git clone https://github.com/tatsuhiro-t/spdylay.git /src/spdylay*
3. Entre na pasta: *cd /src/spdylay*
4. Gere os arquivos necessários para o automake e o autoconf funcionarem: *autoreconf -i*
5. Gere o arquivo de compilação: *automake*
6. Gere o arquivo de configuração: *autoconf*
7. Execute o *script* de configuração: *./configure*
8. Compile o código: *make*
9. Execute o arquivo compilado: *sudo make install*
10. Atualize o seu sistema: *sudo updatedb*
11. Localize a biblioteca spylay: *locate libspdylay.so.7*

---

<sup>1</sup><https://github.com/tatsuhiro-t/nghttp2>

## 12. Configure os links de execução da biblioteca:

```
sudo ln -s /usr/local/lib/libspdylay.so.7 /lib/x86_64-linux-gnu/libspdylay.so.7 sudo ln -s  
/usr/local/lib/libspdylay.so.7.2.0 /lib/x86_64-linux-gnu/libspdylay.so.7.2.0 sudo ldconfig
```

Seguindo esses passos todas dependências necessárias para a instalação do *nghttps* estão prontas para serem usadas.

## F.2 Instalando a aplicação

O processo de instalação do *nghttp2* é mais uma vez um processo de compilação do código fonte e configuração da biblioteca.

1. Clone o projeto: `git clone https://github.com/tatsuhiro-t/nghttp2.git /src/nghttp2`
2. Entre na pasta: `cd /src/nghttp2`
3. Gere os arquivos necessários para o automake e o autoconf funcionarem: `autoreconf -i`
4. Gere o arquivo de compilação: `automake`
5. Gere o arquivo de configuração: `autoconf`
6. Execute o *script* de configuração: `./configure PYTHON=/usr/bin/python3` (confirmar o uso do *python3* é muito importante, pois por padrão o *python2* que costuma ser utilizado)
7. Compile o código: `make`
8. Execute o arquivo compilado: `sudo make install`
9. Atualize o seu sistema: `sudo updatedb`
10. Localize a biblioteca *spylay*: `locate libnghttp2.so.14`
11. Configure os links de execução da biblioteca:

```
sudo ln -s /usr/local/lib/libnghttp2.so.14 /lib/x86_64-linux-gnu/libnghttp2.so.14 sudo ln  
-s /usr/local/lib/libnghttp2.so.14.0.2 /lib/x86_64-linux-gnu/libnghttp2.so.14.0.2 sudo  
ldconfig
```

Vale ressaltar que as versões especificadas nos arquivos gerados dependem das versões dos códigos que estão sendo utilizados.

## APÊNDICE G – Tentativa de configuração do mod\_h2

Na tentativa de configurar o módulo moh\_h2 em um servidor Apache, foram usadas como referência as instruções descritas no site do projeto<sup>1</sup> no mês de Agosto de 2015. Mas apesar das instruções estarem bem explicadas, o final do processo de configuração ficou um pouco confuso e com isso não foi possível concluir a instalação do mod\_h2 com sucesso.

Abaixo encontra-se o passo-a-passo realizado.

1. Clone o projeto para conseguir o código: *git clone https://github.com/icing/mod\_h2.git*
2. Instale as dependências de sistema necessárias: *sudo apt-get install git gcc g++ libpcre3-dev libcunit1-dev libev-dev libjansson-dev libjemalloc-dev cython make binutils autoconf automake autotools-dev libtool pkg-config zlib1g-dev libssl-dev libxml2-dev libevent-dev python3.4-dev libevent-openssl-2.0-5 php5-cgi python-setuptools*
3. Entre na pasta do projeto: *cd mod\_h2-x.x.x*
4. Gere os arquivos necessários para o automake e o autoconf funcionarem: *autoreconf -i*
5. Gere o arquivo de compilação: *automake*
6. Gere o arquivo de configuração: *autoconf*
7. Execute o *script* de configuração: *./configure --enable-sandbox*<sup>2</sup>
8. Compile o código: *make*
9. Encontre o arquivo binário (mod\_h2.so) gerado
10. Crie ma pasta chamada *modules* e copie o arquivo binário para ela
11. Mude a configuração geral do servidor Apache para utilizar o novo módulo:

*sudo nano apache2.conf* Adicione o seguinte código na última linha do arquivo:  
*LoadModule h2\_module /etc/apache2/modules/mod\_h2.so* (onde  
*/etc/apache2/modules/mod\_h2.so* é o caminho para seu arquivo binário)

12. Reinicie o servidor: *sudo service apache2 restart*

<sup>1</sup>[https://github.com/icing/mod\\_h2](https://github.com/icing/mod_h2)

<sup>2</sup>A instalação utilizando a *sandbox* garante que todas as dependências para configurar o servidor serão instaladas.

Juntamente com as configurações de navegador necessárias para garantir que as requisições serão feitas utilizando o novo protocolo, essa sequência de passos deveria ser o suficiente para garantir que o servidor Apache iria utilizar o protocolo HTTP/2. Mas apesar de nenhum erro ter ocorrido durante o processo, a comunicação dos dados não passou a ser realizada com o HTTP/2.

Como o mod\_h2 é um projeto que está em desenvolvimento, muitas atualizações são feitas toda semana e a documentação sempre está evoluindo. Sendo assim pode se esperar que a documentação esteja mais completa na data de publicação deste trabalho e que a configuração do módulo seja mais fácil.

Ademais, vale ressaltar que o mod\_h2 foi doado à Apache Foundation e que ele se tornará o módulo oficial para o HTTP/2 do servidor Apache na sua versão 2.4. O lançamento da nova versão do servidor está prevista para Outubro de 2015.

## APÊNDICE H – Tabelas de resultados detalhados dos testes realizados

Tabela 10 – Resultados da técnica "Faça menos requisições HTTP" com arquivos separados.

Firefox		Chrome	
HTTP/1.1	HTTP/2	HTTP/1.1	HTTP/2
4.82	5.01	5.21	4.83
4.79	4.93	4.83	4.84
4.8	4.99	5.48	4.85
4.85	4.9	4.75	4.75
5.41	4.89	4.78	4.74
4.8	5.25	4.82	4.95
4.8	4.85	4.78	4.71
4.79	4.9	5.12	4.72
4.95	4.83	4.78	4.71
4.84	4.93	4.76	4.76
4.77	4.87	4.78	4.74
4.8	4.9	5.29	4.78
4.76	5.01	4.78	4.77
5.13	4.87	4.74	4.71
4.85	4.95	4.77	4.95
5.11	4.94	4.98	4.88
4.88	5.35	4.74	4.91
4.82	4.85	4.73	4.87
4.81	4.87	4.82	4.91
4.91	4.89	4.75	4.91
4.89	4.87	4.72	4.77
4.88	4.86	4.81	4.81
4.87	5.02	5.27	4.81
5.29	4.88	4.82	4.92
4.87	4.99	5.05	4.86

Tabela 11 – Resultados da técnica "Faça menos requisições HTTP" com arquivos concatenados.

Firefox		Chrome	
HTTP/1.1	HTTP/2	HTTP/1.1	HTTP/2
4.59	4.61	4.77	4.77
5.14	4.92	4.53	4.58
4.61	4.98	4.68	4.57
4.58	4.61	4.49	4.53
4.56	4.57	4.65	4.61
4.59	4.65	4.63	4.5
4.56	4.64	4.76	4.5
4.6	4.68	4.53	4.55
4.53	4.63	4.65	4.53
4.59	4.65	4.79	4.49
4.63	4.69	4.5	4.5
5.14	4.62	4.52	4.52
4.58	4.76	4.54	4.5
4.57	4.62	4.53	4.51
4.59	4.57	4.71	4.56
4.65	4.83	4.54	4.5
4.7	4.56	4.61	4.5
4.62	4.56	4.54	4.54
4.71	4.59	4.93	4.77
4.59	4.55	4.58	4.66
4.66	4.65	4.51	4.67
4.64	4.57	4.49	4.73
4.64	4.59	4.52	4.62
4.61	4.57	4.53	4.72
4.56	4.65	4.67	4.68



Tabela 12 – Resultados da técnica "Reduza o número de pesquisas DNS" com múltiplas CDNs.

Firefox		Chrome	
HTTP/1.1	HTTP/2	HTTP/1.1	HTTP/2
4.86	4.34	4.66	4.36
4.91	4.25	4.28	4.48
4.83	4.21	4.17	4.1
4.98	4.21	4.16	4.21
4.89	4.23	4.11	4.14
4.84	4.26	4.19	4.25
4.89	4.37	4.18	4.1
4.91	4.44	4.42	4.28
5.02	4.24	4.13	4.13
4.85	4.22	4.17	4.18
5.03	4.22	4.21	4.18
4.8	4.3	4.18	4.24
4.86	4.31	4.19	4.2
4.81	4.44	4.41	4.19
4.74	4.46	4.19	4.11
4.78	4.85	4.28	4.18
4.88	4.33	4.27	4.22
5.12	4.27	4.21	4.12
5.04	4.3	4.18	4.17
4.75	4.4	4.18	4.11
5.02	4.32	4.17	4.17
5.03	4.3	4.25	4.2
4.54	4.24	4.19	4.15
5.14	4.24	4.24	4.37
4.88	4.34	4.14	4.09

Tabela 13 – Resultados da técnica "Reduza o número de pesquisas DNS" com uma CDN.

Firefox		Chrome	
HTTP/1.1	HTTP/2	HTTP/1.1	HTTP/2
5.85	4.08	4.78	4.24
5.49	4.12	4.1	4.11
5	4.32	4.21	4.15
4.85	4.7	4.08	4.04
4.84	4.74	4.22	4.03
5.06	4.31	4.16	4.05
5.25	4.65	4.22	4.01
4.89	4.13	4.05	4.04
4.88	4.08	4.59	4.04
4.96	4.32	4.04	4.03
5.4	4.13	4.26	4.11
4.89	4.28	4.1	4.07
4.87	4.92	4.17	4.04
4.92	4.11	4.07	4.15
5.47	4.15	4.05	4.08
5.33	4.27	4.08	4.07
4.8	4.19	4.18	4.08
4.85	4.17	4.06	4.08
4.98	4.11	4.17	4.04
4.84	4.33	4.29	4.04
4.97	4.08	4.21	4.04
5.32	4.6	4.15	4.1
4.88	4.16	4.39	4.04
5.19	4.29	4.37	4.04
4.88	4.61	4.26	4.06

Tabela 14 – Resultados da técnica "Quebrando domínios dominantes" com 2 CDNs.

<b>Firefox</b>		<b>Chrome</b>	
HTTP/1.1	HTTP/2	HTTP/1.1	HTTP/2
4.32	4.16	4.57	5.09
5.24	4.5	4.22	4.08
5.61	4.15	4.06	4.14
5.24	4.17	4.4	4.14
5.91	4.2	4.17	4.07
5.06	4.35	4.2	4.06
5.79	4.76	4.07	4.06
5.32	4.83	4.11	4.09
5.85	4.5	4.06	4.08
5.43	4.36	4.28	4.08
5.51	4.48	4.04	4.15
4.79	5.31	4.88	4.22
4.82	4.83	4.07	4.07
5.23	4.39	4.1	4.11
5.29	5.27	4.09	4.07
5.17	4.22	4.08	4.1
5.62	4.91	4.07	4.11
4.91	5.06	4.2	4.08
5.06	4.8	4.14	4.2
5.18	4.64	4.06	4.02
4.86	4.52	4.12	4.71
5.37	4.98	4.24	4.08
5.85	4.11	4.11	4.17
4.94	4.47	4.04	4.92
5.43	4.15	4.4	4.1

Tabela 15 – Resultados da técnica "Quebrando domínios dominantes" com 3 CDNs.

Firefox		Chrome	
HTTP/1.1	HTTP/2	HTTP/1.1	HTTP/2
5.28	4.55	5.47	4.59
5.07	5.57	5.2	5.38
4.97	4.85	4.45	4.43
5.29	5.67	4.55	4.15
5.69	5.83	4.61	4.16
5.89	4.32	4.44	4.6
5.45	6.06	5.27	4.45
5.79	5.56	4.19	4.38
5.2	5.82	4.58	4.49
5.75	5.29	4.18	4.32
5.04	4.95	4.19	4.16
5	5.08	4.83	4.15
5.02	5.68	4.28	4.14
5.19	5.65	4.22	4.18
5.22	4.91	4.29	4.14
5.18	5.02	4.56	4.15
5.06	5.88	4.3	4.14
4.92	5.71	4.17	4.13
5.02	5.29	4.26	4.14
5.1	4.81	4.21	4.15
5.5	4.55	4.28	4.14
5.01	4.75	4.3	4.13
5.34	4.76	4.19	4.14
5.04	5.52	4.27	4.16
5.41	5.54	4.34	4.18

Tabela 16 – Resultados da técnica "Evite redirecionamento".

Firefox		Chrome	
HTTP/1.1	HTTP/2	HTTP/1.1	HTTP/2
8.91	7.41	8.99	6.62
6.26	7.23	5.99	7.75
6.74	6.53	8.95	6.83
5.64	6.97	5.76	8.87
6.73	8.04	6.43	7.16
5.59	7.67	7.59	8.23
5.45	7.32	7.73	7.8
5.4	6.52	6.14	7.67
6.25	6.67	7.11	8.24
6.03	6.32	5.72	6.57
6.84	6.23	6.94	6.32
5.85	7.28	7.05	7.13
6.57	6.97	6.97	7.58
5.75	6.75	6.36	8.21
5.67	7.21	5.98	6.14
8.6	8.13	6.09	6.32
6.82	7.84	6.68	6.17
7.29	7.32	6.37	7.15
6.97	7.05	6.27	7.27
5.27	6.66	7.41	6.57
8.6	7.01	5.88	8.11
7.86	6.32	7.16	7.93
6.53	6.47	6.4	6.27
6.88	6.74	7.03	6.69
5.71	6.89	6.03	6.82

Tabela 17 – Resultados do teste final utilizando *template*.

Firefox		Chrome	
HTTP/1.1	HTTP/2	HTTP/1.1	HTTP/2
0.93	0.95	1.2	0.95
0.96	1.13	0.96	1.12
0.98	0.97	1.1	0.97
1.01	1	0.98	1.06
1	0.99	0.98	0.99
1.02	1.06	0.96	0.94
0.98	0.94	0.91	0.95
1.07	0.89	0.94	0.94
0.98	1.01	1.14	0.97
0.93	0.95	0.91	0.98
0.9	1	0.95	0.97
0.99	0.99	0.94	0.9
0.93	1.02	0.91	0.94
0.91	1.08	0.99	0.97
0.99	0.98	0.95	1
0.92	0.92	1.02	0.96
1.12	1.08	0.95	1.03
0.9	0.98	0.97	0.96
0.94	1.09	1.2	1
0.93	1.02	0.92	0.95
0.9	1.07	0.99	0.92
0.91	0.92	0.94	1.05
0.93	0.89	0.9	0.97
0.94	0.98	1.06	1.01
0.97	1.03	0.89	1.03

## **APÊNDICE I – Gráficos em cascata dos testes realizados**

Figura 14 – Cascata “Reduza requisições HTTP” - Arquivos separados - HTTP/1.1.

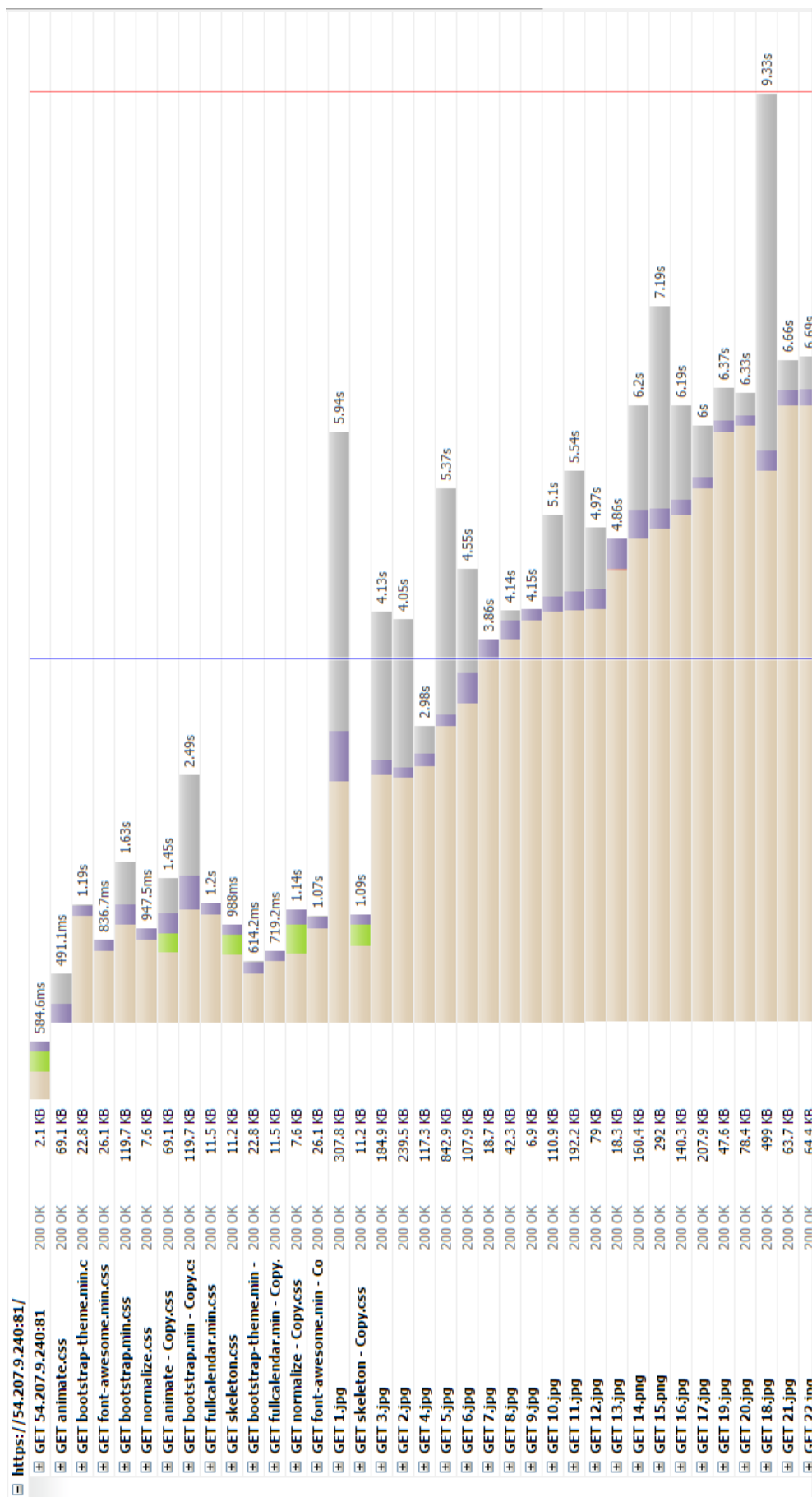




Figura 15 – Cascata “Faça menos requisições HTTP” - Arquivos separados - HTTP/2.

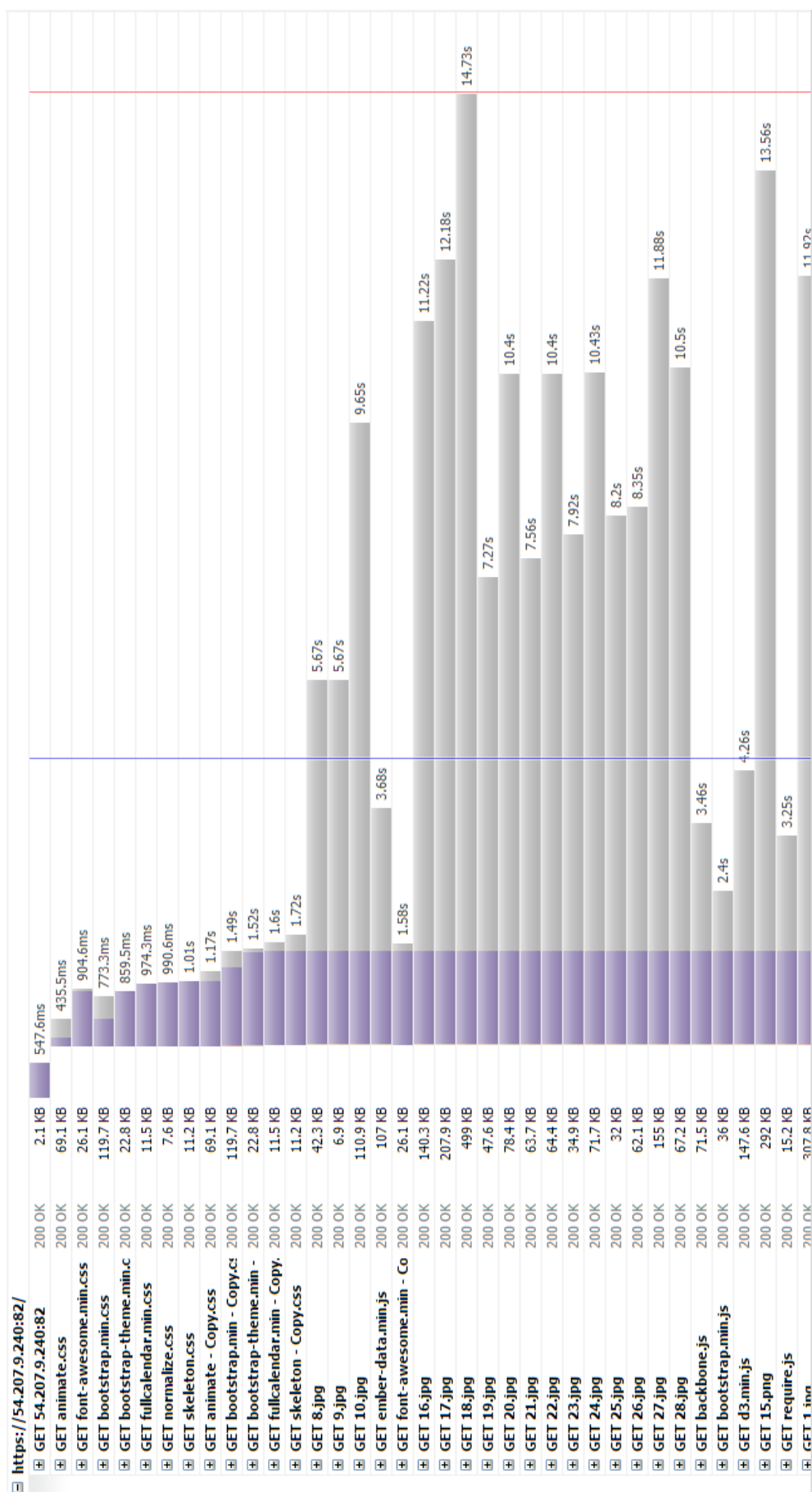


Figura 16 – Cascata “Faça menos requisições HTTP” - Arquivos concatenados - HTTP/1.1.

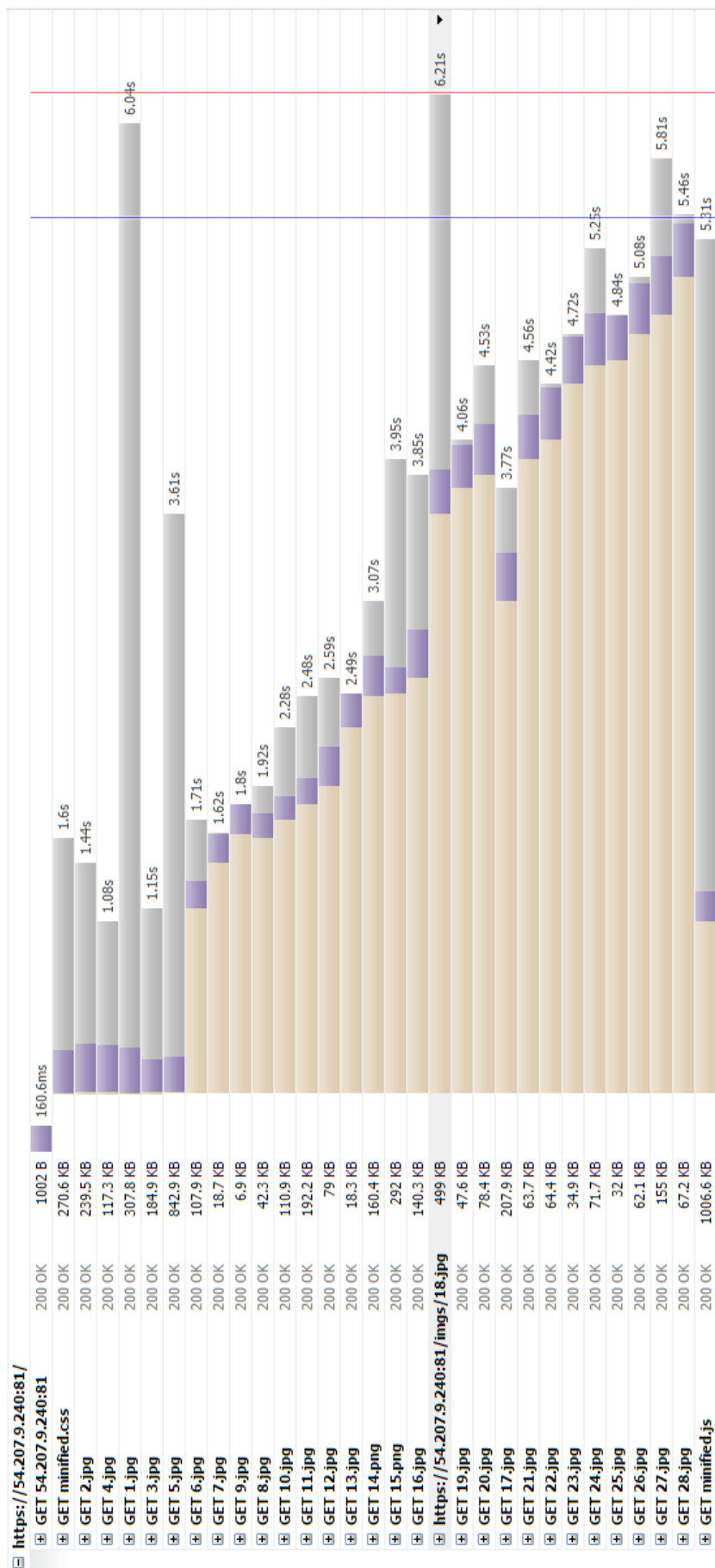


Figura 17 – Cascata “Faça menos requisições HTTP” - Arquivos concatenados - HTTP/2.

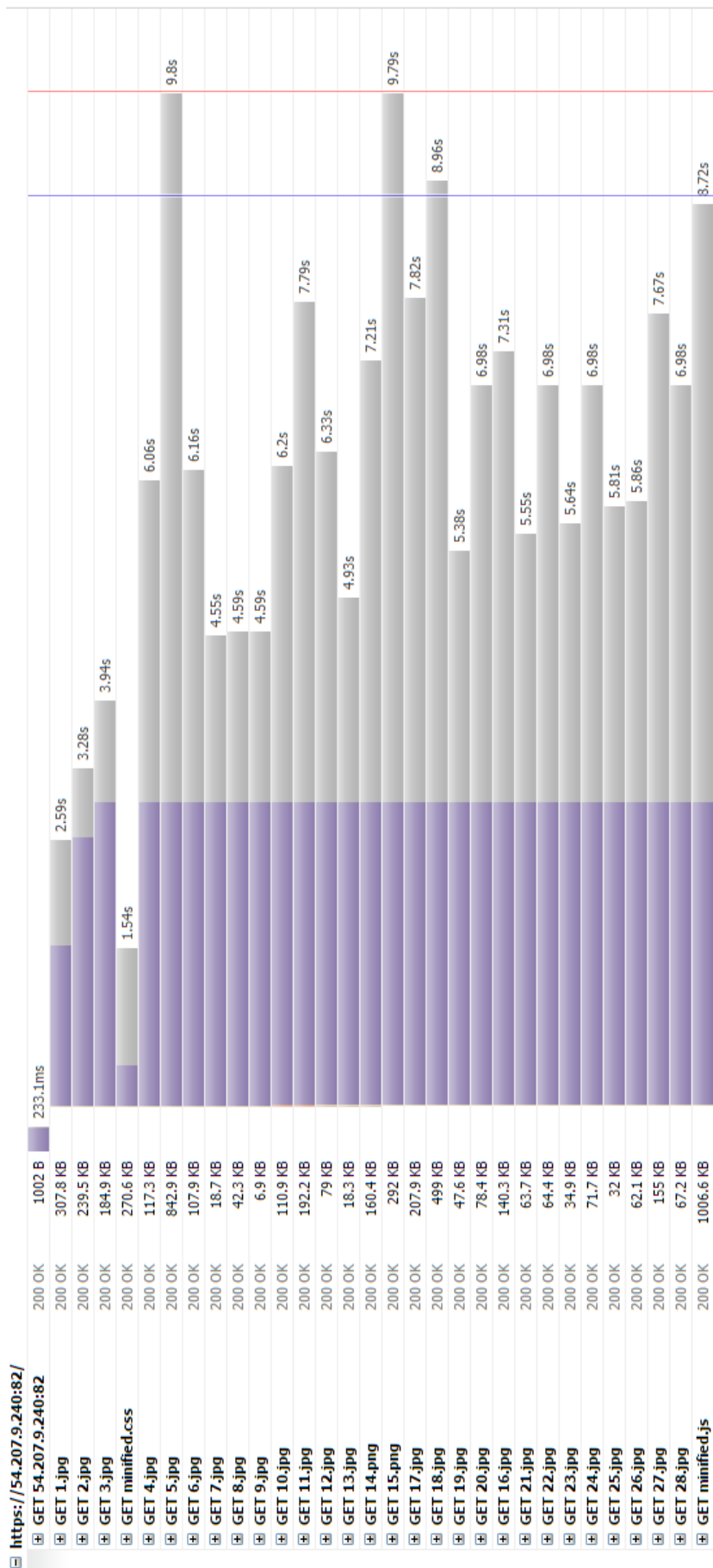


Figura 18 – Cascata “Reduza o número de pesquisas DNS” - Única CDN - HTTP/1.1.

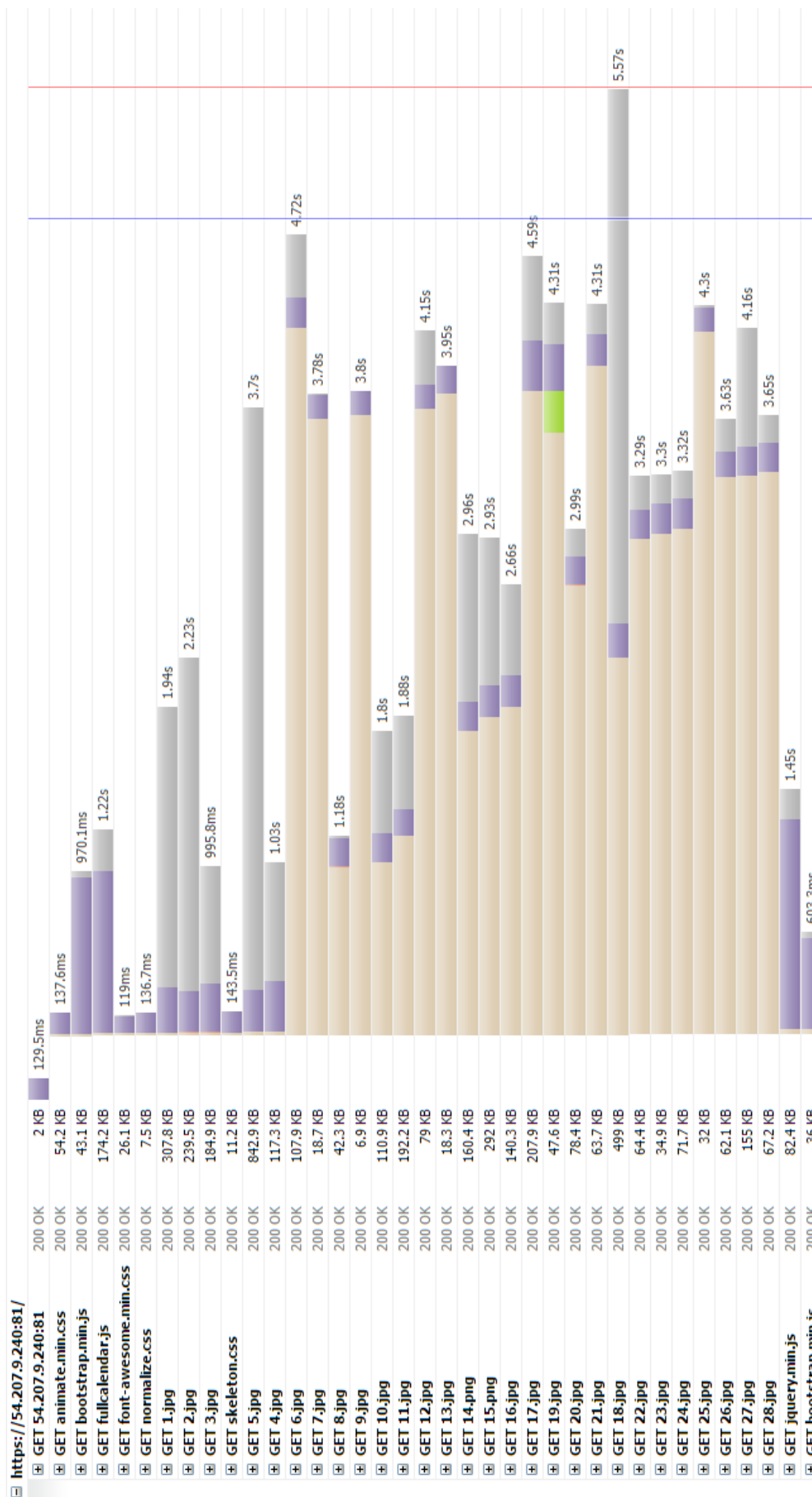


Figura 19 – Cascata “Reduza o número de pesquisas DNS” - Única CDN - HTTP/2.

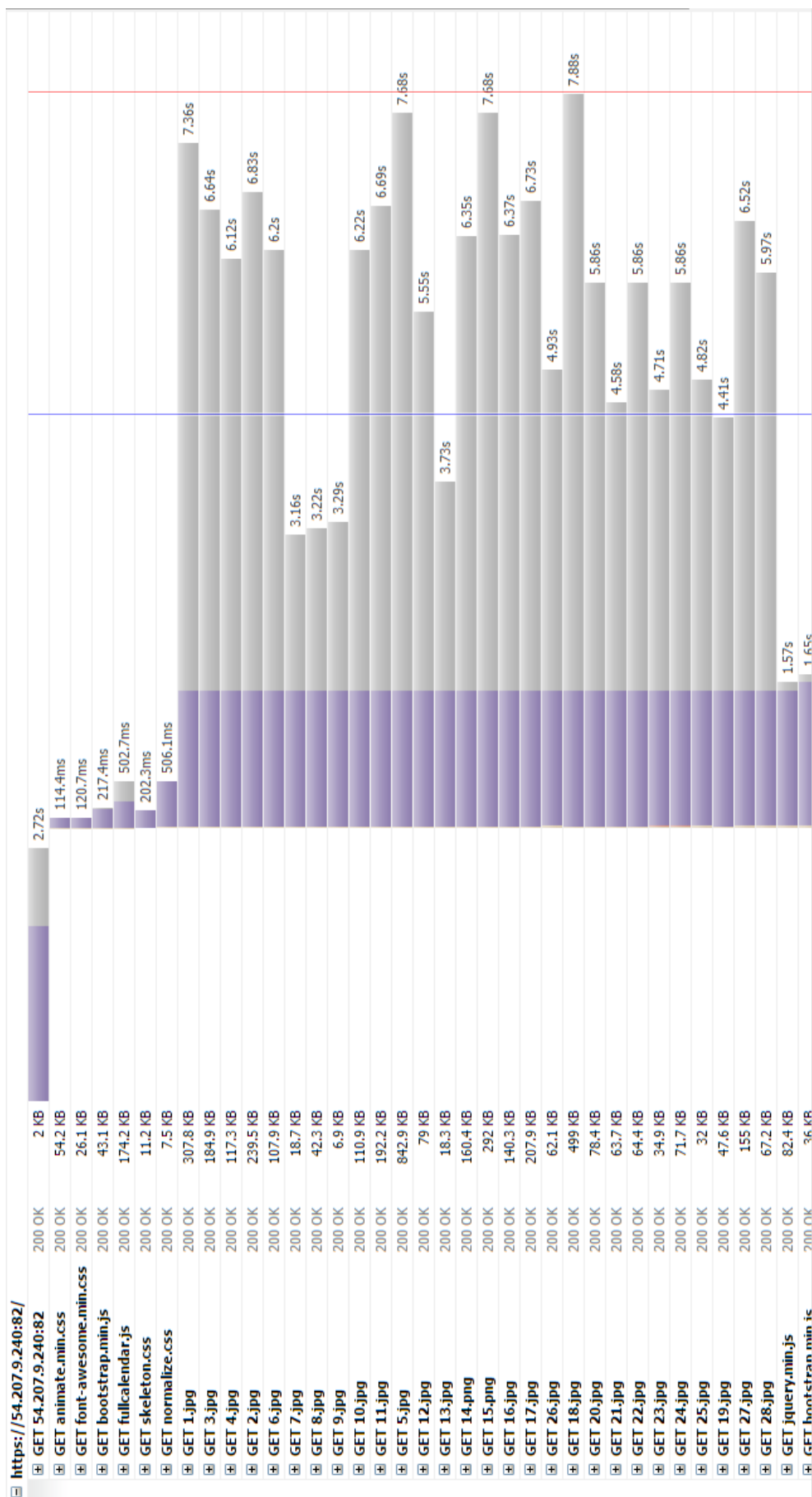


Figura 20 – Cascata “Reduza o número de pesquisas DNS” - Multiplas CDN - HTTP/1.1.

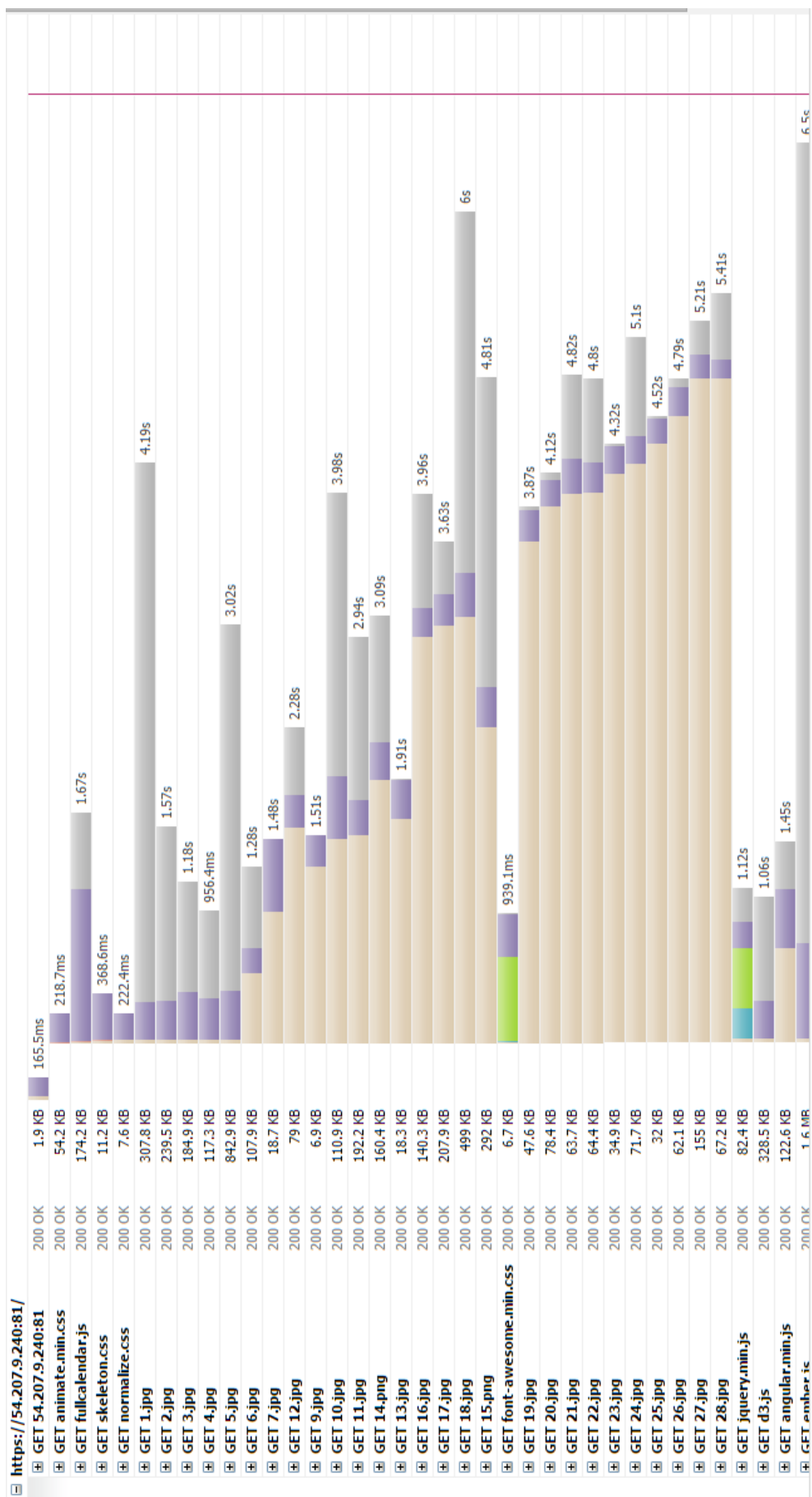


Figura 21 – Cascata “Reduza o número de pesquisas DNS” - Multiplas CDNs - HTTP/2.

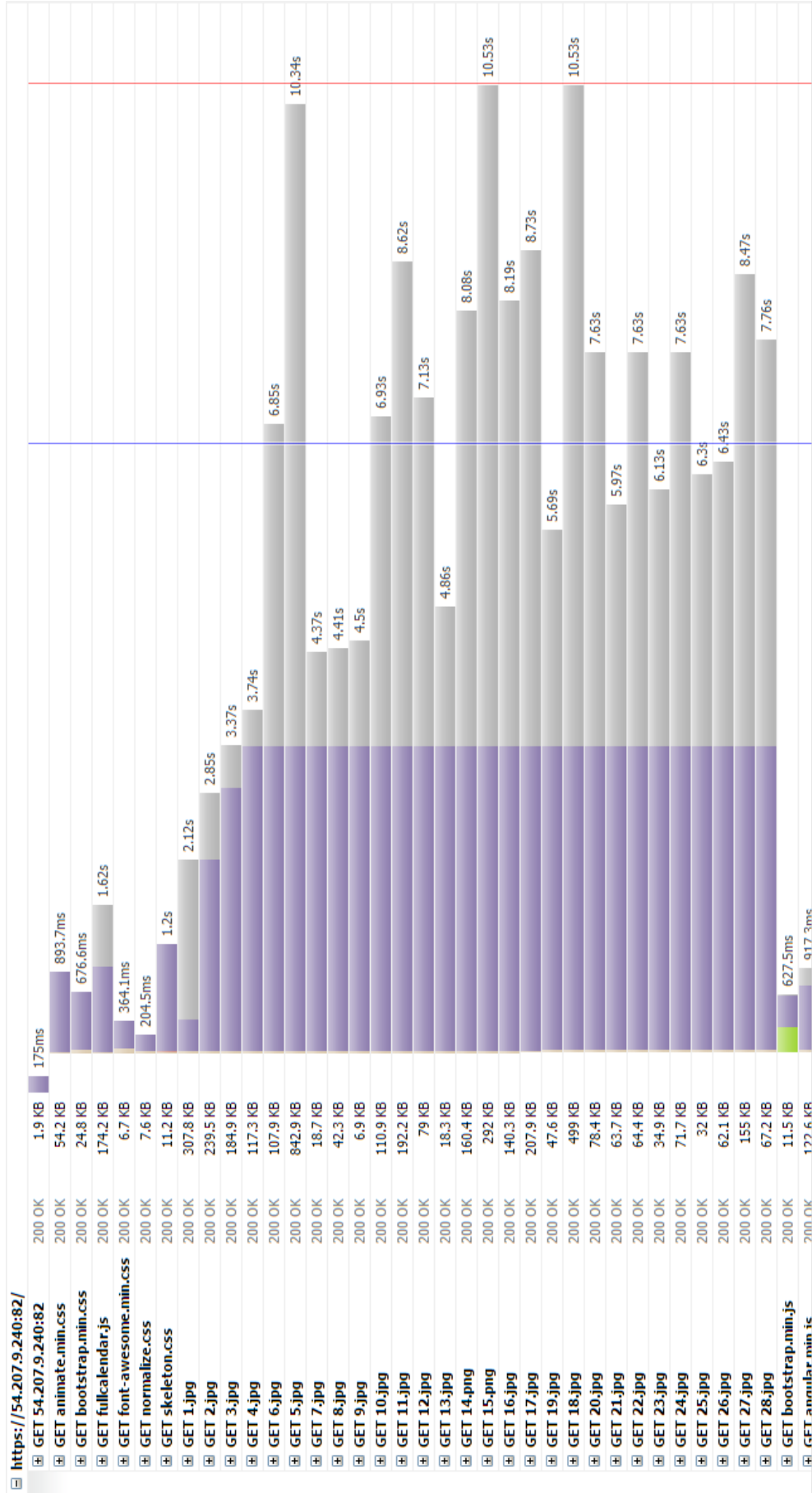


Figura 22 – Cascata “Quebrando domínios dominantes” - 2 CDNs - HTTP/1.1.

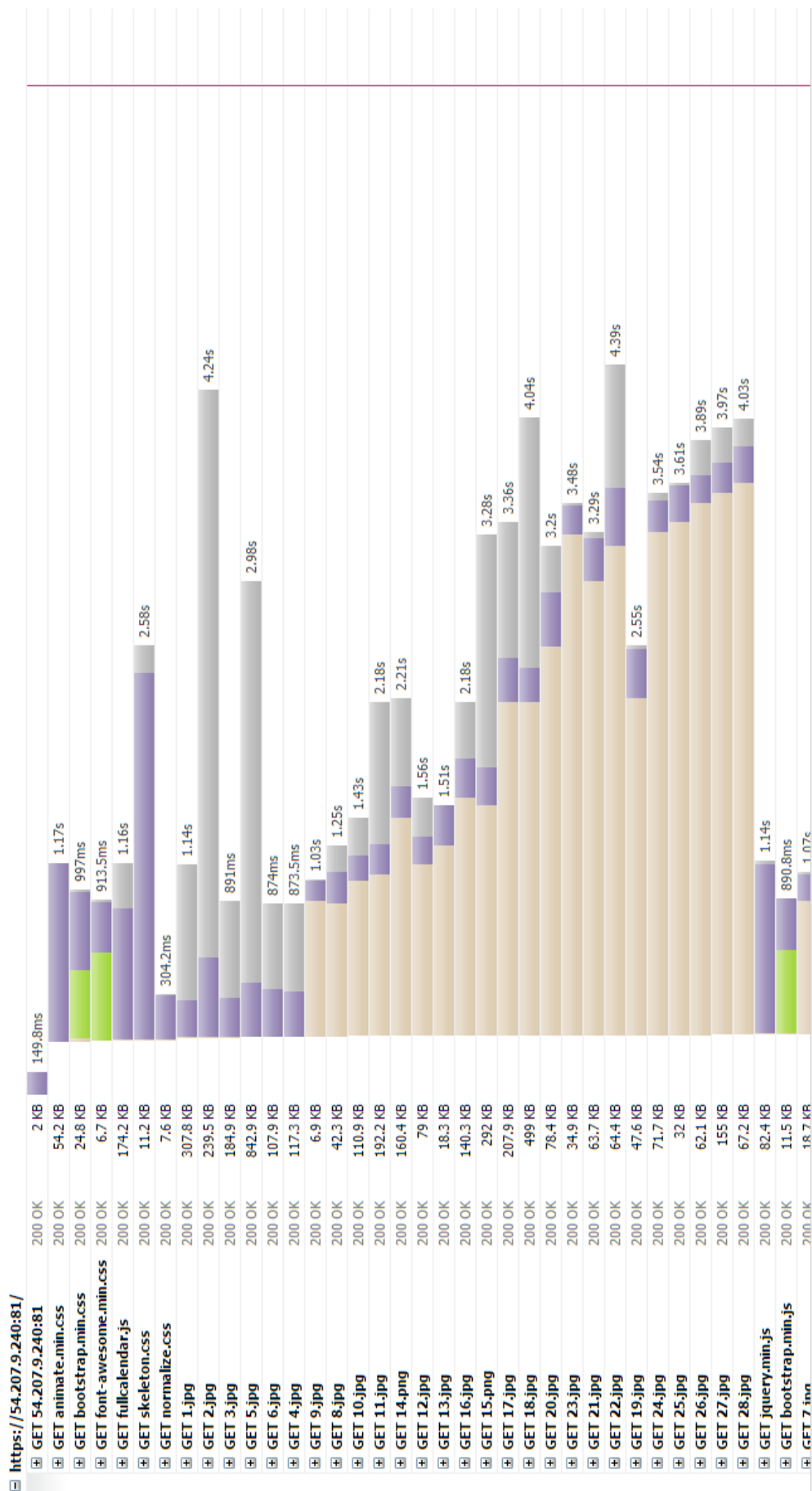




Figura 23 – Cascata “Quebrando domínios dominantes” - 2 CDNs - HTTP/2.

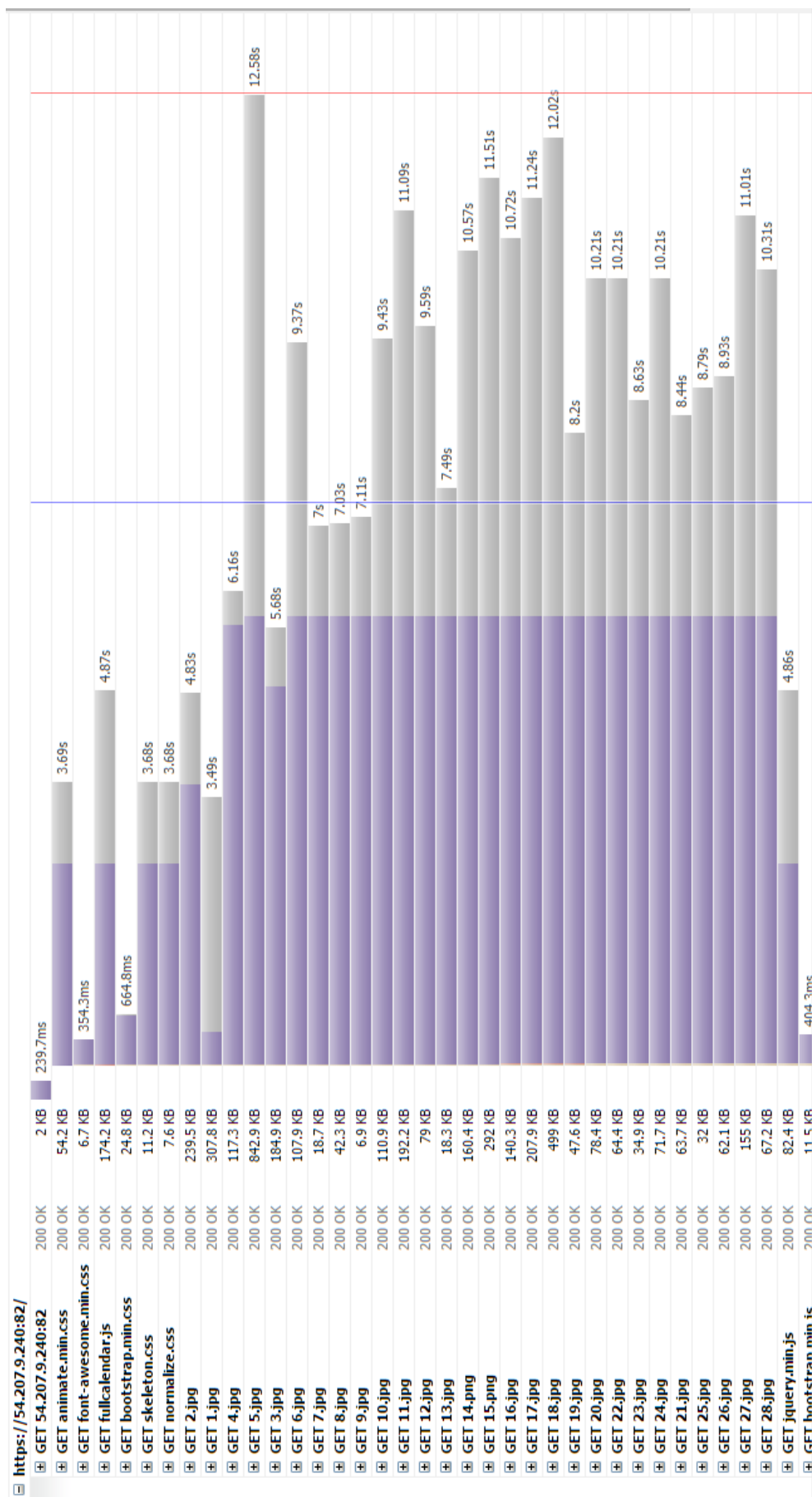


Figura 24 – Cascata “Quebrando domínios dominantes” - 3 CDNs - HTTP/1.1.

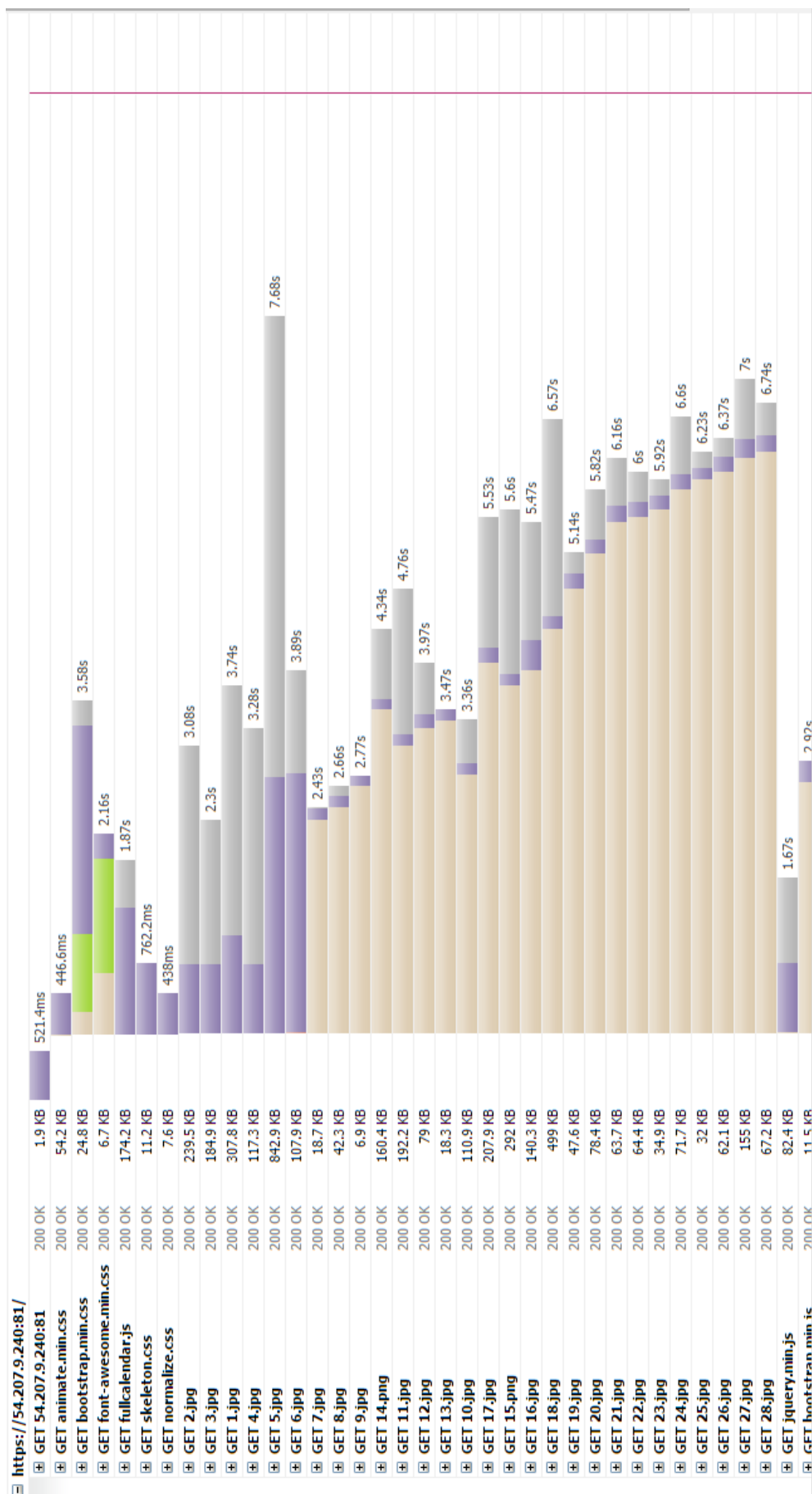


Figura 25 – Cascata “Quebrando domínios dominantes” - 3 CDNs - HTTP/2.

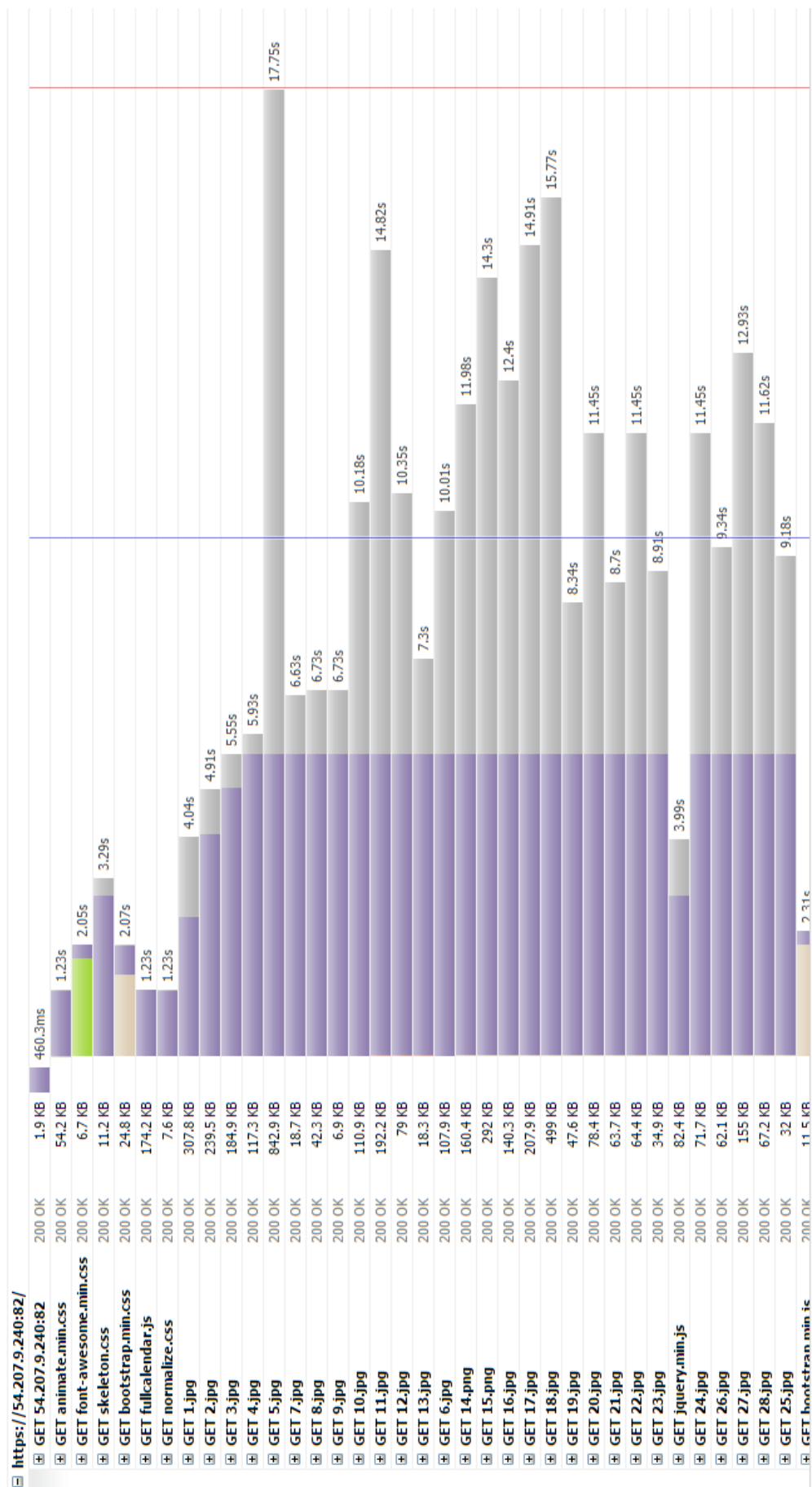


Figura 26 – Cascata “Template” - HTTP/1.1.

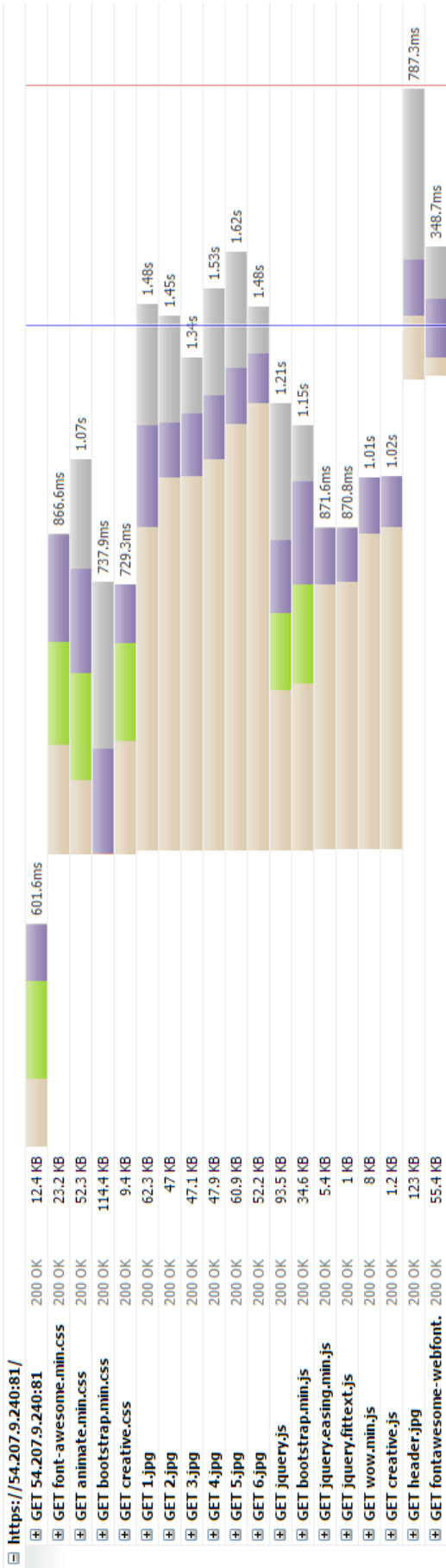


Figura 27 – Cascata “Template” - HTTP /2.

