

# **Comunicação cliente-servidor bilateral de baixa latência aplicado a Android**

Guilherme Freire Silva

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
INSTITUTO DE MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA  
DA  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Orientador: Prof. Dr. Marco Dimas Gubitoso

São Paulo, 2016

# 1 Resumo

Nesse trabalho é apresentado o desenvolvimento de uma ferramenta para desenvolver aplicativos para smartphones que utilizam sensores do dispositivo e se comunicam com servidores utilizando o protocolo WebSocket. Além disso, também é apresentado um desenvolvimento rudimentar de uma estrutura 3D que recebe dados do servidor, também com WebSocket, para se movimentar. A implementação de WebSocket é dada pelo Framework Socket.io.

**Palavras-chave:** Socket.io, Node.js, Express.js, THREE.JS, Apache Cordova.

# Sumário

<b>1</b>	<b>Resumo</b>	
<b>2</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
2.1	Objetivos . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Fundamentos</b>	<b>5</b>
3.1	Estrutura e funcionamento de páginas Web . . . . .	5
3.2	Comunicação Web . . . . .	6
3.3	Protocolo HTTP . . . . .	7
3.4	Sockets . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Modelo e definição de funcionamento</b>	<b>9</b>
4.1	Comunicação . . . . .	11
4.1.1	Protocolo WebSocket . . . . .	12
4.1.2	Socket.io . . . . .	12
4.2	Aplicativo para Smartphone . . . . .	14
4.2.1	Cordova . . . . .	14
4.3	Webpage do servidor . . . . .	15
4.3.1	THREE.JS . . . . .	15
4.4	Servidor . . . . .	17
4.4.1	Node.js e ExpressJS para criar um servidor . . . . .	17
4.5	Exemplos de aplicações do modelo . . . . .	18
<b>5</b>	<b>Implementação do caso de uso</b>	<b>19</b>
5.1	Aplicativo . . . . .	20
5.1.1	Código da Interface . . . . .	21
5.1.2	Código da parte lógica . . . . .	23
5.2	Webpage . . . . .	27
5.3	Servidor . . . . .	31
<b>6</b>	<b>Teste e avaliação</b>	<b>34</b>
<b>7</b>	<b>Estudo Aprofundado das Tecnologias</b>	<b>36</b>
7.1	Desenvolvendo Aplicativos com Apache Cordova . . . . .	36
7.2	Comunicação Web e Aplicações Web . . . . .	38
7.2.1	Modelo cliente-servidor . . . . .	38
7.2.2	AJAX . . . . .	39
7.2.3	Necessidade de Comunicação Bilateral . . . . .	40
7.2.4	Sockets . . . . .	42
7.2.5	Websockets . . . . .	43

7.2.6	Teste de eficiência de Websockets . . . . .	46
7.2.7	Socket.io . . . . .	52
<b>8</b>	<b>Conclusão</b>	<b>55</b>

## 2 Introdução

O Projeto para o Trabalho de Formatura Supervisionado apresentado nessa monografia tem como objetivo explorar tecnologias e ferramentas presentes no cotidiano de forma inovadora.

Uma das tecnologias exploradas foi a de smartphones. Eles são dispositivos muito sofisticados, possuem muitas funcionalidades, como acesso à internet, alto poder de processamento, tela de toque, diversos sensores, Bluetooth, WiFi, dentre outros.

Além de diversas funcionalidades, a capacidade de desenvolvimento para essa plataforma é muito grande, os principais Sistemas Operacionais (Android e iOS) permitem essa liberdade de desenvolvimento em sua plataforma, oferecendo o suporte necessário para tal.

Existe também uma gama de ferramentas para o desenvolvimento mobile, com as mais diversas metodologias, além de uma ativa comunidade online para dar suporte e documentar erros e boas práticas.

Atualmente, a maior parte dos aplicativos para smartphones usam a conectividade com a internet para recolher dados e exibí-los, de uma forma ou de outra, para o usuário. Alguns exemplos dessa estrutura são:

- Em um aplicativo de notícias, o sistema recebe do servidor uma lista de notícias. O usuário pode ter um conjunto de preferências enviadas ao servidor para receber um conteúdo mais específico.
- Em um aplicativo de localização, o sistema recebe dados do GPS e envia ao servidor, para receber o mapa dos arredores da posição enviada.
- Em jogos, talvez parte do conteúdo (como sons e imagens) não esteja no baixado ainda, então ele faz o download quando o jogador faz certas ações. O jogo também pode enviar o progresso ao servidor como backup, para ser restaurado quando necessário.

Ao analisar esse comportamento, fica claro como o usuário só interage com seu dispositivo, toda a comunicação externa é um resultado disso. Na maioria dos casos, o usuário não tem ativamente o propósito de alterar coisas fora do espaço de seu smartphone.

- Um contra-exemplo dessa estrutura é o aplicativo Unified Remote<sup>1</sup>. Ele oferece um controle remoto para o seu computador. Para funcionar, é necessário instalar um software no computador a ser controlado e tanto ele como o smartphone devem estar conectados à mesma rede WiFi.

---

<sup>1</sup><https://www.unifiedremote.com/>, acessado em 05/02/17.

Então, com o smartphone, é possível controlar o cursor, o volume do som, teclado, dentre outros.

Esse fato impulsionou esse Projeto em criar um ecossistema composto por um aplicativo e um servidor. O diferencial é que o aplicativo não é o único produto com o qual o usuário está interagindo de forma direta, mas sim o servidor também, de forma tangível.

A ideia é que o usuário faça ações no aplicativo, e veja o resultado dessas ações diretamente no servidor. O smartphone deixa de ser o produto final, e se torna somente uma forma de input de dados para um sistema maior.

Um resultado desejado é que ações originadas no servidor também surtam efeito no aplicativo, para mostrar que é possível uma comunicação bilateral sem hierarquias entre os dois lados desse sistema.

Outro resultado desejado é que seja possível conectar mais de um smartphone com esse servidor, para que ambos possam interagir com ele e talvez até entre si.

Existem alguns exemplos de aplicativos e projetos que possuem uma estrutura similar:

- Na palestra de Roshan Abraham intitulada “Using your iPhone as a game controller with NodeJS, HTML5”<sup>2</sup> é apresentado um trabalho cuja estrutura é quase idêntica ao Projeto desenvolvido.

No trabalho, existe um servidor que lança uma página Web com um *QR Code* no computador do usuário. Quando um dispositivo que roda o Sistema Operacional iOS (iPhone ou iPad) lê esse código, ele executa uma página Web que envia dados do acelerômetro ao servidor. O servidor por sua vez, ao receber essa conexão, envia ao navegador no computador um jogo de “*Space Invaders*”. Nesse jogo, a nave é controlada pelas leituras do acelerômetro; ou seja, ao inclinar o dispositivo para um lado, ela vai acompanhar esse movimento.

A diferença entre esse trabalho e o Projeto apresentado aqui é que ele se limita à iOS e utiliza uma página Web no dispositivo, ao invés de um aplicativo dedicado. Por utilizar o browser do dispositivo como aplicativo, ele é limitado aos recursos e funcionalidades que esse browser tem acesso.

- AirConsole<sup>3</sup> - Uma plataforma de jogos online, na qual cada jogador usa seu smartphone como controle e a tela do computador exibe o jogo. Ele

---

<sup>2</sup><http://www.webdigi.co.uk/fun/space/> e <https://vimeo.com/48150517>, acessados em 02/02/17.

<sup>3</sup><https://www.airconsole.com/>, acessado em 02/02/17.

funciona de maneira similar ao exemplo de cima, porém é um produto finalizado, muito mais robusto.

Essa plataforma oferece duas maneiras de usar o smartphone, é possível se conectar através de um browser (como no exemplo acima) ou usar um aplicativo (como esse Projeto propõe). Para se conectar, o computador exibe um código e o jogador o insere no smartphone. É possível conectar múltiplos jogadores em uma única sessão, para que o jogo seja *multiplayer*. Cada jogo também apresenta um layout diferente de controle para o smartphone.

A plataforma também disponibiliza um API <sup>4</sup> para o desenvolvimento, então é possível usá-la para criar jogos de forma livre.

Todas as funcionalidades dessa plataforma são desejáveis para este Projeto, ele é o que mais se aproxima do ideal. Porém, essa plataforma é somente para jogos e usa servidores próprios, deixando o processamento no lado do servidor fechado aos desenvolvedores. O projeto foi pensado para satisfazer uma gama maior de necessidades, não somente de jogos, e dar a liberdade ao desenvolvedor de alterar o código do servidor, para adequar melhor suas necessidades.

---

<sup>4</sup>*Application program interface*

## 2.1 Objetivos

- Estudar a comunicação servidor x cliente mobile.
- Construir uma estrutura eficiente de comunicação.
- Validar o uso da estrutura através de uma página Web e um Aplicativo.

Em suma, o objetivo desse Projeto é criar um sistema composto por um aplicativo e um servidor que interagem entre si, proporcionando ao usuário uma experiência mais inovadora.

Como o desenvolvimento desse sistema é bastante extenso, o foco será somente na criação dele como um arcabouço para o desenvolvimento de aplicações maiores. Não haverá uma aplicação que utilize seu potencial máximo, somente uma que valide os objetivos propostos.



## 3 Fundamentos

Esta seção explica conceitos que são utilizados no Projeto, ou que ajudam a entender a tecnologia usada e as decisões tomadas.

### 3.1 Estrutura e funcionamento de páginas Web

Uma página Web (*webpage*) é o produto final gerado por arquivos HTML, CSS, JavaScript, imagens e outros recursos (*resources*). A webpage é interpretada por um *Web Browser*, que interage com o usuário, tanto exibindo informações, quanto recebendo *inputs*. Cada um desses elementos citados se comporta da seguinte forma:

- HTML (*Hyper Text Markup Language*) - É a linguagem que descreve como uma webpage deve ser formatada. Para isso, ela funciona através de um conjunto de *tags*, cada uma com uma função diferente. Elas definem conteúdo (o texto propriamente dito), formatação (alteração de tamanho, cor, fonte) inserção de recursos externos (imagens, áudios, vídeos, caixas de inserção de texto), fluxo entre páginas (*hyperlinks*, redirecionamentos, auto rolagem da página, definição de segmentos de conteúdo) execução de código lógico (inserção de scripts para processamento de dados), dentre outros. O principal arquivo de uma webpage é um HTML, que dita sua estrutura, formatação e conteúdo.
- CSS (*Cascading Style Sheets*) - É um arquivo de suporte para HTML cujo propósito é definir estilos de formatação. Ele centraliza o processo de formatação de estilos e dá opções mais refinadas de customização. Não é necessário, porém é muito importante na criação de estilos mais complexos, para webpages mais robustas e profissionais.
- JavaScript - É a linguagem de programação de scripts executados em HTML. É o responsável pela parte lógica do funcionamento de uma webpage, executando código dentro dela, com dados externos ou do usuário. Usando scripts é possível criar *timers*, contadores, atualizar informações exibidas, carregar conteúdo dinamicamente, renderizar outros tipos de objetos na tela, entre outros.
- Web Browser - Um *browser*, ou navegador, é o programa que exibe webpages. Para exibir uma página que o usuário pede, ele se conecta ao servidor, a recebe e interpreta e então a exibe na tela.
- Servidor Web - Um servidor web é um processo em execução que possui webpages e seus respectivos recursos (CSS, JavaScript, imagens). Ele

possui um endereço IP para ser localizado por browsers na internet e, após uma conexão ser feita, ele envia as páginas requisitadas ao browser. Os servidores são capazes de lidar com múltiplas conexões.

### 3.2 Comunicação Web

Para que conexões através da internet sejam possíveis, como uma conexão entre um browser e um servidor por exemplo, uma arquitetura de rede adequada é necessária. A arquitetura mais comum para este uso é o modelo cliente-servidor.

Neste modelo, existem dois tipos de programas sendo executados:

- O Cliente é o programa que precisa receber dados da internet. Browsers, por exemplo, para poder exibir uma página, precisam requisitá-la de algum lugar. O usuário insere o endereço do site que deseja, e então o browser pede a esse endereço a página que gostaria.

Nesse pedido, ele também envia outros tipos de informações, como seu próprio endereço, alguns dados do usuário, detalhes do que está requisitando, dados e *tokens* de segurança, entre outros.

Ele recebe como resposta uma página e todos os recursos necessários para que ela seja visualizada corretamente (é possível também receber mensagens de erro caso ocorra qualquer falha, como erros nos dados enviados ou problemas de conexão). Essa página pode trazer dados que permitem o acesso à outra página, gerando um fluxo de telas.

- O Servidor é o programa que opera do outro lado da conexão. Ele possui endereço e dados de uma webpage (os arquivos HTML, CSS, JavaScript e outros recursos) e, uma vez em execução, ele aguarda pedidos vindos de clientes.

Ao receber uma requisição, ele verifica os dados do cliente, da requisição, de segurança, dentre outros. Se tudo estiver correto e ele possuir o que é pedido, é enviada uma resposta contendo esses arquivos. Caso contrário, a resposta contém somente uma mensagem de erro, para que o cliente possa corrigir e fazer uma nova requisição.

Por fim, um servidor tem a capacidade de receber requisições de vários cliente ao mesmo tempo. A cada requisição, ele executa seu processamento, envia a resposta adequada e atende o seguinte.

É importante explicitar que esse modelo não serve somente para transportar páginas Web pela internet, ele é mais abstrato, transporta serviços.

Servidores podem armazenar bancos de dados e clientes podem requisitar buscas (*queries*) a eles; o servidor pode somente armazenar arquivos do usuário (em serviços de backup em Nuvem, como o Dropbox<sup>5</sup>) e o cliente requisita o download ou upload de arquivos.

Em resumo, no modelo cliente-servidor, há dois tipos de processo sendo executados, o cliente e o servidor. O cliente necessita de um serviço que o servidor oferece. Ele então gera uma requisição e a envia ao servidor. Se tudo ocorrer bem, o servidor envia uma resposta contendo os dados que o cliente necessita. A conexão é encerrada e o servidor volta ao estado de espera por outras requisições.

### 3.3 Protocolo HTTP

O protocolo HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) é o principal protocolo do modelo cliente-servidor, lidando com a transferência de dados via Web.

Este protocolo está implementado tanto no cliente, como no servidor. Ele se encarrega de abrir a conexão entre ambos; de formar as mensagens a serem enviadas, como requisições e respostas, e fazer a transferência desses dados, sejam arquivos HTML, JavaScript, imagens, ou qualquer outro recurso.

Ele é um protocolo sem estado, os processos não salvam informações sobre cada conexão. Cada mensagem enviada contém todo o contexto necessário para ser compreendida e respondida.

Alguns conceitos importantes sobre comunicação:

- **Latência.** É o tempo entre uma mensagem ser enviada por um sistema e ser recebida pelo outro. Pelas propriedades físicas de uma conexão (distância real entre o cliente e o servidor, velocidade de impulsos elétricos), esse tempo é um fator real e que deve ser levado em consideração durante o desenvolvimento de um sistema online.

A forma mais básica e direta de se calcular a latência com um servidor é fazer um *ping*. Essa técnica consiste fazer uma requisição vazia ao servidor pedindo resposta vazia de volta e calcular o tempo entre o momento que uma mensagem foi enviada e outra foi recebida.

- **HTTP é um protocolo sem estado.** Os processos que participam de conexão não guardam dados sobre ela. Quando uma mensagem é enviada, todos os dados necessários para sua compreensão são enviados juntos.

Uma conexão nesse contexto não é algo longo, dura somente o tempo entre o cliente mandar a requisição e receber a resposta.

---

<sup>5</sup><https://www.dropbox.com/>, acessado em 04/02/17.

- **Cabeçalho de uma mensagem.** Quando uma mensagem é formada, ela não pode ter somente seu conteúdo, é necessário que haja outras informações junto, para que possa ser compreendida. O cabeçalho pode conter um identificador do usuário, tipo do conteúdo da mensagem, dados de conexão e segurança, entre outros. Essas informações são necessárias, porém aumentam o tamanho da mensagem final que será enviada.
- **Um servidor HTTP não possui autonomia para enviar dados a um cliente espontaneamente,** ele só pode enviar quando a mensagem é uma resposta a uma requisição do cliente.

### 3.4 Sockets

Em contraponto com os tópicos anteriores, sockets são elementos da comunicação Web bastante concretos. Dentre os componentes presentes na estrutura que implementa um protocolo de comunicação, como HTTP ou P2P, o socket é aquele cujo propósito é efetivamente mandar e receber informação. Ele é a porta de entrada e saída de dados de um processo que se comunica com outros através da internet.

Como eles são componentes internos, cada protocolo os utiliza de uma certa maneira. No modelo cliente-servidor por exemplo, o socket do servidor tem o poder de enviar informações a um cliente a qualquer momento, mas o protocolo só permite o envio de respostas a uma requisição, nunca um envio espontâneo.

Cada socket possui um endereço único para ser localizado na Web, a união do endereço de IP e uma Porta, definida pelo processo. Toda conexão Web é concretamente definida através do par de sockets, um de cada processo.

## 4 Modelo e definição de funcionamento

Uma vez que a ideia geral do Projeto está fechada, é necessário definir como a estrutura vai funcionar exatamente e encontrar um modelo que satisfaça as necessidades definidas.

No âmbito geral temos dois softwares a serem desenvolvidos, um aplicativo para smartphones e um servidor. Eles devem estar sendo executados simultaneamente e cada um deve interferir com o outro diretamente. O foco é ter um produto que mostre que essa arquitetura funciona de forma satisfatória.

Os requerimentos do servidor:

- Ser capaz de receber conexões e dados vindos de smartphones.
- Enviar dados para esses smartphones que foram conectados à rede.
- Exibir um feedback visual de sua execução.
- Permitir que os dados que recebe do smartphone alterem sua execução de forma concreta.

Os requerimentos do aplicativo:

- Conectar-se a um servidor específico.
- Conseguir enviar dados a esse servidor a qualquer momento.
- Receber dados desse servidor a qualquer momento.
- Ter uma interface que permita inputs variados.

Para começar a estruturação, o primeiro ponto a ser aprofundado é a visualização que se espera do processamento do servidor.

Um servidor possui um código estritamente lógico, não é possível fazer uma aplicação direta nele, precisa haver algo para intermediar essa interface. A maneira mais natural para que isso ocorra é fazer ele gerar uma webpage que recebe seus dados e faz um processamento próprio.

Essa webpage é uma aplicação que será executada em um cliente e reduz a carga de dados a ser processada pelo servidor<sup>6</sup>. Essa situação torna necessário novos requerimentos a serem levados em consideração.

Os requerimentos para essa nova webpage:

---

<sup>6</sup>É uma boa prática de desenvolvimento deixar o mínimo de processamento possível à cargo do servidor, pois ele pode estar lidando com uma quantidade muito grande de dados vindos de outros clientes.

- Receber dados do servidor sempre que eles forem atualizados.
- Executar uma aplicação que use esses dados de forma concreta.

A estrutura fica mais clara com esses três elementos trabalhando juntos, o aplicativo, o servidor e a webpage. O aplicativo vai se conectar ao servidor e iniciar sua troca de dados enquanto é executado. O servidor faz um processamento leve desses dados e os emite à webpage, executada em outro cliente. A webpage, enquanto executa uma aplicação, recebe, processa e incorpora esses dados a si, alterando os resultados de sua execução.

O próximo passo é analisar e definir concretamente cada componente deste ecossistema:

## 4.1 Comunicação

A comunicação entre o servidor e os clientes é o ponto mais importante deste sistema. Idealmente, ele deve satisfazer os seguintes requerimentos:

- **Baixa latência.** Comandos emitidos pelo aplicativo precisam ser executados pela webpage com o menor tempo de delay possível, caso contrário a experiência de uso pode ser danificada. Existem casos de aplicativos nos quais latência alta não é um problema, mas existem outros que necessitam dessa resposta imediata (como jogos, por exemplo).
- **Baixo *overhead* de mensagens.** É necessário que o tamanho de mensagens enviadas seja o menor possível. O principal fator negativo desse requerimento é o cabeçalho dessas mensagens.

No caso de mensagem com muito conteúdo, ele faz pouca diferença para o tamanho total. Para mensagens pequenas, como um texto ou um conjunto de valores, o cabeçalho é um aumento significativo no tamanho total, podendo ser até maior do que o próprio conteúdo.

Para um fluxo de mensagens alto, um cabeçalho proporcionalmente grande consome muita banda da conexão e recursos, tanto do servidor como dos clientes. É necessário então que possua a menor quantidade de informações desnecessárias.

- **Comunicação bilateral.** Informações podem se originar de qualquer um dos clientes ou do servidor, então é necessário que o processo em questão possa enviar dados a qualquer momento. Um cliente precisar consultar o servidor a intervalos regulares de tempo para saber se há dados novos inviabiliza o sistema proposto.
- **Permitir múltiplas conexões simultâneas.** Deve ser possível para o servidor aceitar a conexão de múltiplos smartphones durante sua execução, e gerenciar os dados de cada um. Não é um requerimento, mas aumenta o grau de liberdade do sistema.

O modelo cliente-servidor é ideal para esses requerimentos, porém é necessário levar alguns pontos em consideração. O aplicativo e a webpage precisam se comunicar com o servidor da melhor forma possível e o protocolo de comunicação é o fator que mais pode limitar as possibilidades previstas.

As limitações do protocolo HTTP não permitem que ele seja usado, então é adotado o uso do protocolo WebSocket, utilizando Socket.io, um Framework de JavaScript.

#### 4.1.1 Protocolo WebSocket

WebSocket é um protocolo que permite a comunicação bilateral entre cliente e servidor. Para o protocolo, não existe essa diferenciação entre os dois, o cliente e o servidor são apenas dois processos conectados. A comunicação é dada por envio de mensagens e ocorrência de eventos. Esses processos podem enviar mensagens a qualquer momento e estão ouvindo um ao outro.

A estrutura da mensagem em WebSocket é mínima. O corpo da mensagem, os dados a serem enviados, só possui dois formatos, texto ou binário. O cabeçalho contém um identificador de tipo do formato, que tem um campo para o tamanho da mensagem e nada mais. A mensagem completa é composta pelo conteúdo e seu tamanho. Como a conexão não muda em momento algum, todas as informações contidas no cabeçalho de requisição e resposta HTTP são invariantes e, portanto, não precisam ser reenviadas, sendo armazenadas no processo.

Um dos processos conectados, em um momento arbitrário, envia uma mensagem ao outro, talvez porque dados tenham sido atualizados ou o usuário tenha feito alguma ação em específico. Uma vez que a mensagem é enviada, esse processo volta ao que estava fazendo, sem a necessidade de esperar alguma resposta do outro processo. Esse comportamento é chamado de assíncrono, pois um lado não age em sincronia com o outro.

O outro processo recebe a nova mensagem através de um evento. Quando esse evento acontece, ele executa um comportamento específico (*callback*) com os dados recebidos, como alteração de informações exibidas ou um cálculo com os valores novos. Por isso é dito que WebSocket é orientado a eventos.

#### 4.1.2 Socket.io

Socket.io é a API de WebSocket para JavaScript a ser utilizada. Além da implementação básica do protocolo, ele também adiciona outras funcionalidades importantes para o desenvolvimento de uma aplicação robusta. As funcionalidades mais interessantes para o sistema são:

- **A possibilidade de conectar múltiplos sockets em uma mesma porta.** Utilizando WebSockets, cada socket precisa de uma porta exclusiva para fazer a conexão.
- **Criação arbitrária de eventos.** Com WebSocket, o desenvolvedor fica preso a quatro eventos pré definidos: *onopen*, *onclose*, *onmessage* e *onerror*.



Essa criação de eventos funciona da seguinte forma: o processo emissor manda a mensagem e o nome do evento que está sendo enviado. O processo receptor define o evento que vai ouvir e a subrotina que vai ser executada na ocorrência desse evento. Se o evento lançado for ouvido pelo receptor, o *callback* é chamado.

Socket.io será utilizado para a comunicação em todos os componentes.

## 4.2 Aplicativo para Smartphone

O aplicativo deve seguir a proposta de servir como base para o desenvolvimento de aplicativos maiores. Sobre seu funcionamento nesse projeto como caso de uso, ele vai permitir as seguintes ações:

- **Se conectar e desconectar de um servidor.** Vai existir um campo para se inserir o IP e Porta do servidor, e um botão de “conectar”. Ao inserir o endereço do servidor e clicar no botão, a conexão será feita. Outro clique fará com que a conexão seja encerrada.
- **Capturar leituras do acelerômetro<sup>7</sup>.** O aplicativo conseguirá obter informações de aceleração espacial do smartphone.
- **Emitir eventos pontuais ao servidor.** A interface apresentará botões que enviam informações ao servidor. O evento ativado por esses botões será único, cada clique emitirá um evento.
- **Iniciar ou parar o envio contínuo de eventos.** Haverá um outro tipo de botão, que inicia ou interrompe um fluxo regular de mensagens ao servidor. A informação que faz sentido ser enviada por esses botões é a do acelerômetro, pois os valores estão em constante mudança.
- **Receber mensagens do servidor.** Ele deve ouvir eventos que o servidor emite e receber os dados contidos nesses eventos.
- **Exibir mensagens recebidas do servidor.** Deverá existir um campo de texto que exibe os dados originados do servidor.

O *framework* Cordova será usado para sua implementação.

### 4.2.1 Cordova

O Apache Cordova é um *framework open-source* para a criação de aplicativos *mobile*. Seu desenvolvimento é dado com o uso de tecnologias Web, como HTML5, CSS3 e JavaScript e sua estrutura é igual a de uma webpage.

Ele é multiplataforma; permite o desenvolvimento para sistemas como Android, iOS ou navegadores. Oferece uma API de alto nível para acessar os módulos desejados, como de sensores, arquivos e rede.

---

<sup>7</sup>Sensor que mede a aceleração do movimento do dispositivo.

## 4.3 Webpage do servidor

A Webpage que o servidor emite é o componente que possui maior grau de liberdade no Projeto. Pode-se considerar que, para o usuário, é o produto final. O aplicativo é igualmente importante, mas ele funciona como interface para lidar com essa Webpage.

Existe uma gama de possibilidades de desenvolvimento. Para o escopo do projeto, a página criada como caso de uso terá as funcionalidades básicas de um jogo, tanto visualmente como em usabilidade. O smartphone servirá para fazer um controle básico nesse contexto.

Para definir o caso de uso, a principal decisão de design é fazer o browser renderizar elementos gráficos em três dimensões. Ele deve renderizar uma esfera no centro da tela e vai escutar eventos de movimentação do servidor. Cada evento deve alterar as velocidades X, Y e Z de rotação dessa esfera. Outro tipo evento deve alterar a cor dessa esfera.

Para a renderização 3D, a biblioteca THREE.JS será utilizada.

### 4.3.1 THREE.JS

THREE.JS é uma biblioteca de JavaScript para a criação e execução de gráficos 3D em navegadores, de maneira leve e otimizada. Ele permite ao browser renderizar gráficos sem a necessidade de plugins, e utilizar a GPU<sup>8</sup> do usuário para os cálculos de física e processamento de imagens. Essas funcionalidades são herdadas de WebGL, uma outra API de computação gráfica em JavaScript para browsers.

Sua interface é simples de se usar, ela lida internamente com os detalhes técnicos de implementação de baixo nível, deixando o desenvolvimento menos carregado, uma vez que processamento gráfico é uma área complexa da computação.

THREE.JS é completa o bastante para a criação de cenários 3D completos, com objetos, luzes e texturas. Por utilizar a GPU para o processamento, a performance não é comprometida por suas funcionalidades.

Abaixo está uma lista de funcionalidades que possui. Por possuir muitos termos inglês sem tradução em português, a lista de forma literal da sua página<sup>9</sup> na Wikipédia:

- **Effects:** Anaglyph, cross-eyed and parallax barrier.

---

<sup>8</sup>GPU (*Graphics Processing Unit*) é um microprocessador especializado em processar gráficos. Sua estrutura de processamento paralelo os tornam mais capazes neste tipo de trabalho que CPUs normais. Uma GPU normalmente é utilizada em placas de vídeo.

<sup>9</sup><https://en.wikipedia.org/wiki/Three.js>

- **Scenes:** add and remove objects at run-time; fog
- **Cameras:** perspective and orthographic; controllers: trackball, FPS, path and more
- **Animation:** armatures, forward kinematics, inverse kinematics, morph and keyframe
- **Lights:** ambient, direction, point and spot lights; shadows: cast and receive
- **Materials:** Lambert, Phong, smooth shading, textures and more
- **Shaders:** access to full OpenGL Shading Language (GLSL) capabilities: lens flare, depth pass and extensive post-processing library
- **Objects:** meshes, particles, sprites, lines, ribbons, bones and more - all with Level of detail
- **Geometry:** plane, cube, sphere, torus, 3D text and more; modifiers: lathe, extrude and tube
- **Data** loaders: binary, image, JSON and scene
- **Utilities:** full set of time and 3D math functions including frustum, matrix, quaternion, UVs and more
- **Export** and import: utilities to create Three.js-compatible JSON files from within: Blender, openCTM, FBX, Max, and OBJ
- **Support:** API documentation is under construction, public forum and wiki in full operation
- **Examples:** Over 150 files of coding examples plus fonts, models, textures, sounds and other support files
- **Debugging:** Stats.js, WebGL Inspector, Three.js Inspector

## 4.4 Servidor

O servidor precisa ser projetado para escutar eventos do aplicativo, e responder ou encaminhar os dados recebidos. Ele será implementado com JavaScript, com o auxílio de Node.js e ExpressJS.

### 4.4.1 Node.js e ExpressJS para criar um servidor

Node.js é uma plataforma para desenvolvimento de aplicações *server-side* (executadas no servidor) baseadas em rede utilizando JavaScript e o V8 JavaScript Engine <sup>10</sup>. Com Node.js é possível criar aplicações Web utilizando apenas código em JavaScript.

Ao se levar em conta o modo em que o código em JavaScript pode ser estruturado e as demandas de aplicações Web, Node.js abre uma gama de novas possibilidades para desenvolvimento Web.

Express é um *framework* mínimo e flexível para Node.js que oferece um conjunto robusto de funcionalidades. Sua API é simples, mas oferece ferramentas essenciais para o desenvolvimento de para páginas e aplicações Web e Mobile, e programas de *backend*. Ela lida com detalhes de baixo nível como protocolos e processos. Além da sua funcionalidade básica, existem módulos disponíveis para adicionar novas, que são diretamente aplicados ao Express.

---

<sup>10</sup>É o interpretador de JavaScript *open source* implementado pelo Google em C++ e utilizado pelo Chrome.

## 4.5 Exemplos de aplicações do modelo

- Com a base proposta pelo Projeto, a aplicação natural a ser desenvolvida seria um jogo virtual. Para seu funcionamento, o smartphone serviria como o controle, e a execução do jogo seria na webpage.
  - Uma ideia simples de jogo é utilizar o acelerômetro para calcular a inclinação do dispositivo e simular essa inclinação em um labirinto na webpage, para guiar uma bola através dele com ajuda da gravidade.
  - Outro exemplo mais tradicional é simular o layout de um controle na tela do dispositivo, quatro botões em cruz para setas e mais alguns para ações, e executar um jogo de plataforma na webpage.
- É possível criar um aplicativo para supermercados. O consumidor usaria a câmera para consultar valores de produtos, recebendo-os do servidor do mercado. A webpage poderia ser apresentada no caixa, para que ele pudesse se atender sozinho, sem ajuda de funcionários.
  - A webpage poderia ser utilizada também pela gerência, para ter um controle de quais produtos são mais requisitados ou quais possuem índices altos de desistência.
- O smartphone pode ser utilizado para medir luz e ruído sonoro em um ambiente, e enviar esses valores para o servidor. A webpage pode exibir gráficos e estatísticas sobre essas leituras.
- A webpage pode exibir imagens, músicas, filmes ou vídeos. O smartphone serviria como um controle de multimídia, permitindo controlar volume, equalização de músicas, avançar ou voltar faixas ou filmes, pausar, entre outros. Além de ser um controle, o dispositivo também poderia exibir informações de contexto sobre a mídia exibida; caso seja um filme, mostra a sinopse, informações técnicas e atores.
- O modelo pode implementar um software para catalogar objetos. O smartphone pode tirar fotos e as enviar ao servidor, adicionar valores como nome, valor e tamanho. O servidor receberia essas tuplas e as inseriria em um bando de dados.

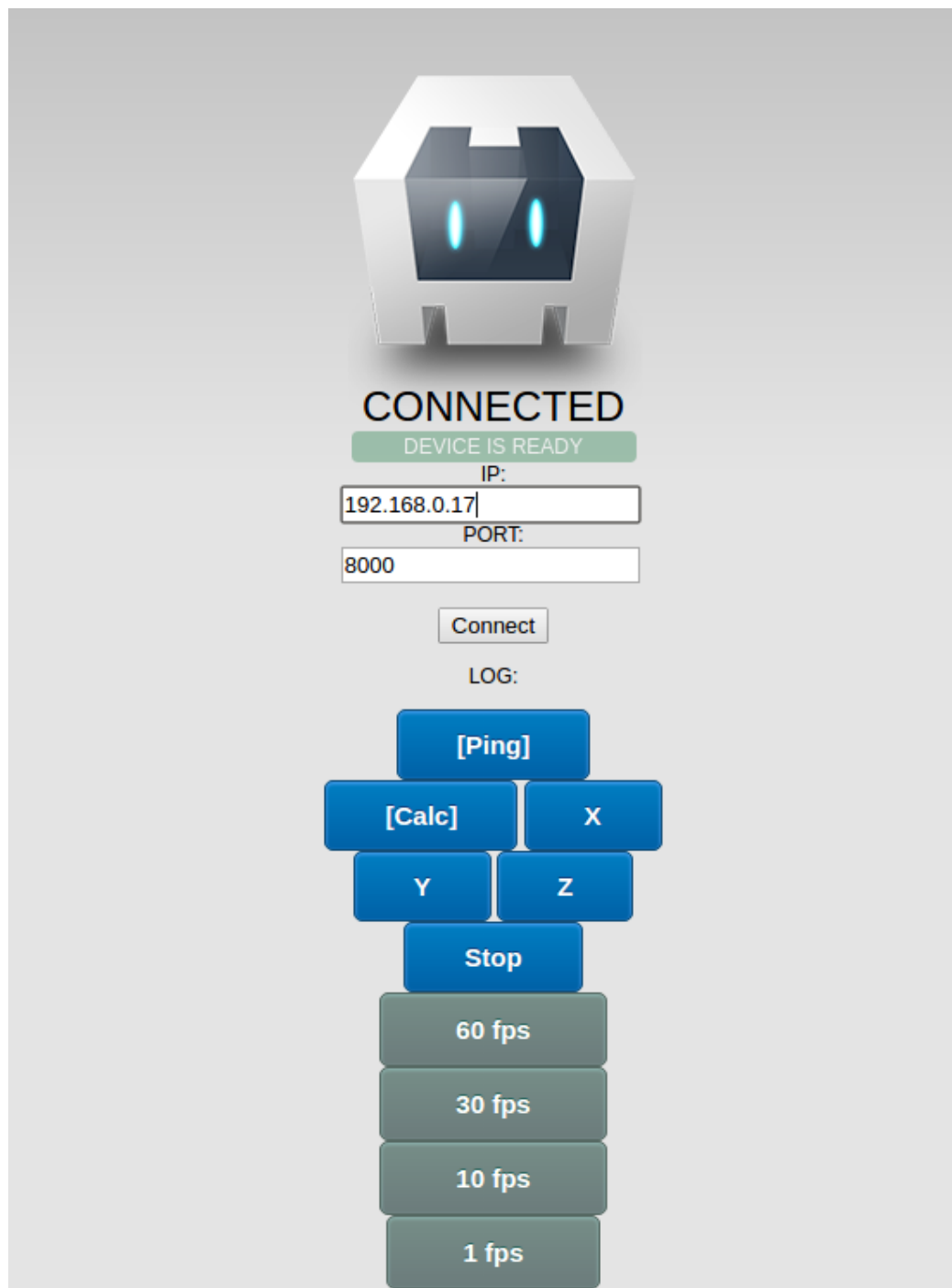
## 5 Implementação do caso de uso

Nessa seção, é apresentada a implementação do caso de uso descrito para o Projeto, com o código exibido e explicado.

Em resumo, o caso de uso descreve o seguinte comportamento:

- A webpage exibe uma esfera, em um ambiente em três dimensões. O servidor pode enviar valores à essa página, que irão rotacionar a esfera em seus eixos X, Y, Z. Esses valores também vão alterar a cor dessa esfera, de acordo com alguns cálculos.
- O servidor recebe dados do aplicativo e os envia para a webpage. Ele também envia feedbacks de volta ao aplicativo.
- O aplicativo controla o que acontece na webpage. Ele pode enviar eventos pontuais ou pode gerar um fluxo contínuo de valores do acelerômetro ao servidor.

## 5.1 Aplicativo





As interações da interface são:

- Um formulário para fazer a conexão com o servidor, dados IP e porta. Há um feedback visual que indica se ela foi bem sucedida.
  - Uma vez conectado, o botão serve para fechar a conexão.
- Um campo “Log” que exibe o resultado de algumas interações do usuário, ou mensagens enviadas do servidor.
- Um conjunto de botões que emitem ações pontuais ao servidor, como calcular o *Ping* <sup>11</sup> ou enviar um conjunto de dados.
- Um outro conjunto de botões que ligam ou desligam um fluxo contínuo de mensagens. Essas mensagens emitidas contêm os dados do acelerômetro do dispositivo.
  - Ao serem pressionados, esses botões iniciam o fluxo de mensagens. Se pressionados novamente, o fluxo é interrompido.

Essas funcionalidades implementadas já cobrem muitas interações desejadas no desenvolvimento de qualquer tipo de aplicativo.

### 5.1.1 Código da Interface

A parte visual do aplicativo está no arquivo index.html:

```
1  <!DOCTYPE html>
2  <html>
3    <head>
4      <!-- <meta http-equiv="Content-Security-Policy" content="
5        default-src 'self' data: gap: https://ssl.gstatic.com '
6        unsafe-eval'; style-src 'self' 'unsafe-inline'; media-src *;
7        script-src 'self' http://cdn.socket.io/socket.io-1.0.3.js '
8        unsafe-inline' 'unsafe-eval'; connect-src localhost:*; ">
9        -->
10
11      <meta name="format-detection" content="telephone=no">
12      <meta name="msapplication-tap-highlight" content="no">
13      <meta name="viewport" content="user-scalable=no, initial-scale=1
14        , maximum-scale=1, minimum-scale=1, width=device-width">
15      <link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/index.css">
16      <link rel="shortcut icon" href="">
17      <title>TCC</title>
18    </head>
19    <body>
20      <div class="app">
```

---

<sup>11</sup>Tempo necessário para uma mensagem ser enviada ao servidor e voltar dele.

```

17 <h1 id="status">Disconnected</h1>
18 <div id="deviceready" class="blink">
19   <p class="event listening">Loading Device</p>
20   <p class="event received">Device is Ready</p>
21 </div>
22
23 <form id="connect">
24   IP:<br>
25   <input type="text" name="ip" value="192.168.0.17">
26   <br>
27   Port:<br>
28   <input type="text" name="port" value="8000">
29   <br><br>
30   <input id="connect" type="submit" value="Connect">
31 </form>
32
33 <p id="log">log:</p>
34
35 <button class="btn" onclick="sendPing()">[Ping]</button>
36 <button class="btn" onclick="localCalculation()">[Calc]</
   button>
37 <button class="btn" onclick="addSpeed(speedX)">X</button>
38 <button class="btn" onclick="addSpeed(speedY)">Y</button>
39 <button class="btn" onclick="addSpeed(speedZ)">Z</button>
40 <button class="btn" onclick="resetSpeed()">Stop</button>
41
42 <button class="btn2" onclick="toggleAccelerometer(60)">60
   fps</button>
43 <button class="btn2" onclick="toggleAccelerometer(30)">30
   fps</button>
44 <button class="btn2" onclick="toggleAccelerometer(10)">10
   fps</button>
45 <button class="btn2" onclick="toggleAccelerometer(1)">1 fps<
   /button>
46
47 </div>
48 <script type="text/javascript" src="cordova.js"></script>
49 <script type="text/javascript" src="http://code.jquery.com/
   jquery-1.11.1.js"></script>
50 <script type="text/javascript" src="http://cdn.socket.io/socket.
   io-1.0.3.js"></script>
51 <script type="text/javascript" src="js/index.js"></script>
52 </body>
53 </html>

```

- A divisão “deviceready” (linha 18) exibe o estado da conexão.
  - Caso o dispositivo não tenha se conectado ainda, ele exibe “Connect Device”.
  - Ao obter uma conexão bem sucedida com o servidor, ele muda para “Device is Connected”.
- O formulário “connect” (linha 23) faz a conexão do dispositivo com o servidor.
  - Ele possui um campo para o IP e um para a Porta do servidor.

- Ao apertar o botão “Connect”, ele tenta fazer a conexão.
- O parágrafo “log” (linha 33) exibe dados vindos do servidor.
- Os botões (linha 35 a 45) executam diversas funções do código de enviar através de eventos para o servidor.
- Os scripts (linha 48 a 51) importam as bibliotecas cordova, jquery e socket.io, e a parte lógica do aplicativo, encontrado em “js/index.js”.

### 5.1.2 Código da parte lógica

A parte lógica do aplicativo está no arquivo index.js:

```

1  var app = {
2      initialize: function() {
3          this.bindEvents();
4      },
5      bindEvents: function() {
6          document.addEventListener('deviceready', this.onDeviceReady,
7                                  false);
8      },
9      onDeviceReady: function() {
10         app.receiveEvent('deviceready');
11     },
12     receiveEvent: function(id) {
13         var parentElement = document.getElementById(id);
14         var listeningElement = parentElement.querySelector('.listening');
15         ;
16         var receivedElement = parentElement.querySelector('.received');
17
18         listeningElement.setAttribute('style', 'display:none;');
19         receivedElement.setAttribute('style', 'display:block;');
20
21         console.log('Received Event: ' + id);
22     }
23 };
24
25 app.initialize();
26
27 /*Variables */
28 var socket;
29 var watchID = null;
30
31 var speedX = {'x':1,'y':0,'z':0};
32 var speedY = {'x':0,'y':1,'z':0};
33 var speedZ = {'x':0,'y':0,'z':1};
34
35 /* Auxiliar functions */
36 function log(message) {
37     socket.emit('device_print', message);
38     var msg = 'Log: ' + message;
39     $('#log').text(msg);
40 }
41

```

```

42 function validateIPAddress(ipaddress) {
43     if (/^(25[0-5]|2[0-4][0-9]|[01]?[0-9][0-9]?)
44         \.(25[0-5]|2[0-4][0-9]|[01]?[0-9][0-9]?)
45         \.(25[0-5]|2[0-4][0-9]|[01]?[0-9][0-9]?)
46         \.(25[0-5]|2[0-4][0-9]|[01]?[0-9][0-9]?)$/).test(ipaddress)) {
47         // if (/^192\.168?\.(25[0-5]|2[0-4][0-9]|[01]?[0-9][0-9]?)
48         \.(25[0-5]|2[0-4][0-9]|[01]?[0-9][0-9]?)$/).test(ipaddress)) {
49             return (true)
50         }
51         log("You have entered an invalid IP address!")
52         return (false)
53     }
54 }
55
56 function toggleAccelerometer(period) {
57     var freq = ~(1000 / period);
58     if (watchID == null) {
59         watchID = navigator.accelerometer.watchAcceleration(
60             sendAcceleration,
61             sendAccError,
62             { frequency: freq }
63         );
64         navigator.accelerometer.getCurrentAcceleration(sendAcceleration,
65             sendAccError);
66     }
67     else {
68         navigator.accelerometer.clearWatch(watchID);
69         watchID = null;
70     }
71 }
72
73 /* Socket emit functions */
74 function addSpeed(speed_vector) {
75     socket.emit('device_add_speed', speed_vector);
76 }
77
78 function resetSpeed() {
79     socket.emit('device_reset_speed');
80 }
81
82 function sendAcceleration(acceleration) {
83     socket.emit('device_acceleration', acceleration)
84 }
85
86 function sendAccError() {
87     log('Accelerometer error.');

```

```

99     }
100   }
101
102   var t1 = Date.now();
103   socket.emit('request_calculation');
104   log('Finished device calculation in ' + (t1 - t0));
105 }
106
107
108 /*Socket events */
109 function onServerConnect() {
110   $('#status').text("Connected");
111   app.receivedEvent('deviceready');
112   socket.emit('ready', 'device');
113 }
114
115 function onServerPing(data) {
116   var dt = Date.now() - data.t0;
117   log('Ping: ' + dt);
118 }
119
120 function onServerLog(msg) {
121   $('#log').text(msg);
122 }
123
124 function connectSocket(ipaddress, port) {
125   if(validateIPAddress(ipaddress)) {
126     if(socket !== null && socket !== undefined) {
127       socket.emit('device_disconnected');
128       socket.disconnect();
129       $('#status').text("Disconnected");
130     }
131     else{
132       socket = io('http://' + ipaddress + ':' + port);
133
134       socket.on('connect', onServerConnect);
135       socket.on('server_ping', onServerPing);
136       socket.on('device_log', onServerLog);
137     }
138   }
139 }
140
141
142 /*Device Ready Event */
143 document.addEventListener('deviceready', function() {
144
145   $('#connect').submit(function (event) {
146     var ip = this.ip.value;
147     var port = this.port.value;
148
149     connectSocket(ip, port);
150
151     return false;
152   });
153 });

```

### Para inicializar o aplicativo:

- A variável `app` é uma classe padrão do Cordova com funções para inicializar o aplicativo. Ele é inicializado na linha 23.

### Para fazer a conexão com o servidor:

- Na linha 143, uma função é adicionada ao evento *“deviceready”* que o Cordova emite quando toda a inicialização é finalizada. Na ocorrência desse evento, a ação do botão “Connect” é alterada para tentar conectar-se ao servidor, através da função `connectSocket`.

Essa função `connectSocket` recebe o IP e Porta vindos do formulário do botão. Se o IP for válido (a função `validateIPAddress` faz essa verificação com expressões regulares), ela faz uma conexão entre o dispositivo e o servidor definido por esses IP e Porta. Se a conexão já está feita, ele a desconecta.

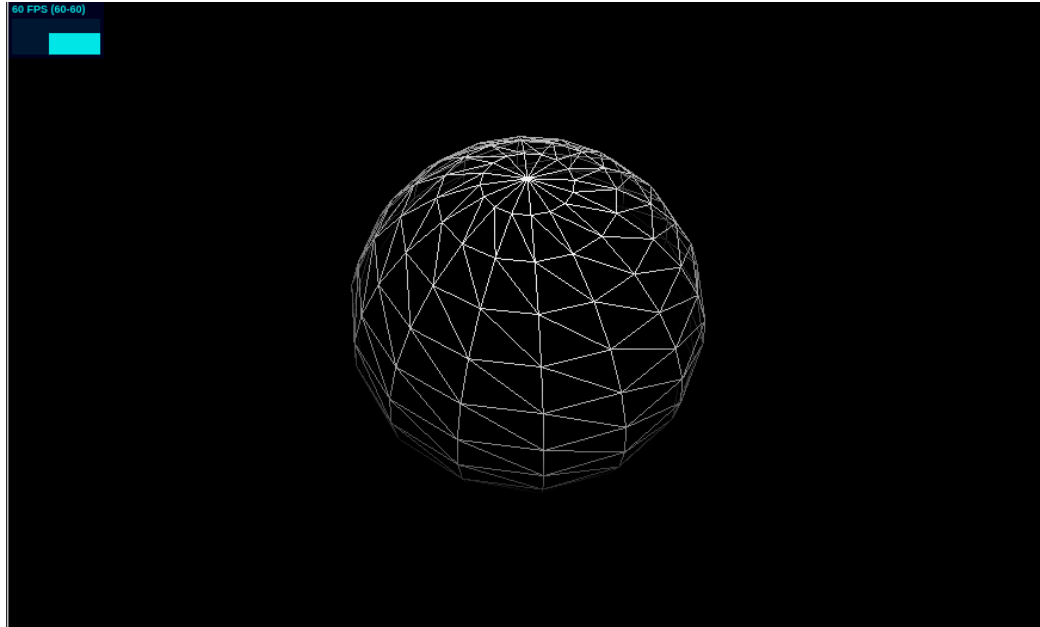
### Eventos que o servidor ativa:

- Na inicialização do Socket, três eventos são definidos: *“connect”* chama a função `onServerConnect`; *“server\_ping”* chama `onServerPing` e *“device\_log”* chama `onServerLog`.
- `onServerConnect` : Emite ao socket um evento *“ready”* para o servidor para informar o seu tipo e atualiza informações exibidas.
- `onServerPing`: Calcula o *ping* que foi enviado.
- `onServerLog`: Exibe na tela a mensagem recebida, no campo *LOG*.

### Eventos enviados ao servidor:

- As funções `addSpeed`, `resetSpeed`, `sendAcceleration`, `sendPing` e `localCalculation` enviam mensagens ao servidor com dados obtidos do input do usuário ou leitura do smartphone.
- A função `toggleAccelerometer` ativa um loop que manda leituras do acelerômetro em intervalos regulares.

## 5.2 Webpage



Essa página explora somente o básico de THREE.js para a criação de um ambiente 3D.

Este código é mais extenso, então somente as partes principais são exibidas.

O primeiro arquivo, `global.js`, declara variáveis globais, usadas em mais de um módulo:

```
1 | var socket;  
2 |  
3 | var xRot, yRot, zRot;  
4 | var r, g, b;  
5 | var hasNewColors;
```

As variáveis declaradas definem o seguinte:

- O socket da conexão;
- As velocidades de rotação `xRot`, `yRot` e `zRot`;
- A cor RGB da esfera;
- Uma *flag* que aponta se a cor precisa ser atualizada.

O arquivo `socket_events.js`, define os eventos escutados e seus *callbacks*:

```

1  socket = io();
2
3  function rotate (data) {
4      xRot += data.x;
5      yRot += data.y;
6      zRot += data.z;
7  }
8
9  function reset_rotation () {
10     xRot = 0;
11     yRot = 0;
12     zRot = 0;
13 }
14
15 function update_rotation_and_colors (data) {
16     var cap = 9;
17     var x = Math.min(data.x, cap);
18     var y = Math.min(data.y, cap);
19     var z = Math.max(2, Math.min(data.z, cap));
20
21     var weight = 5;
22
23     xRot = y / 50;
24     yRot = x / 50;
25
26     r = (weight * r + (z / cap)) / (weight + 1);
27     g = (weight * g + (z / cap)) / (weight + 1);
28     b = (weight * b + (z / cap)) / (weight + 1);
29
30     hasNewColors = true;
31 }
32
33 // Socket Events
34
35 socket.on('connect', function() {
36     socket.emit('ready', 'browser');
37 });
38
39 socket.on('move', function (data) {
40     rotate(data);
41 });
42
43 socket.on('reset', function () {
44     reset_rotation();
45 });
46
47 socket.on('update_acceleration', function (data) {
48     update_rotation_and_colors(data);
49 })

```

Há 4 eventos de Sockets:

- “*connect*”: Ao se conectar, emite um evento “*ready*” com seu tipo.
- “*move*”: Recebe valores X, Y e Z, e os associa à velocidade de rotação da esfera em cada um desses eixos. Essa associação é incremental, a velocidade aumenta a cada evento.
- “*reset*”: Zera as velocidades de rotação da esfera.



- “*update\_acceleration*”: Recebe valores X, Y, Z que definem a velocidade de rotação total da esfera (não incremental). Também altera sua cor incrementalmente, de acordo com alguns cálculos com as variáveis.

Por fim, o arquivo `three_sphere.js` cria todos os elementos gráficos e os renderiza.

```

1  var scene, camera, renderer;
2  var sphere, sphere;
3
4  hasNewColors = false;
5
6  function updateSphereRotation(xRot, yRot, zRot) {
7      sphere.rotation.x += xRot;
8      sphere.rotation.y += yRot;
9      sphere.rotation.z += zRot;
10 }
11
12 function updateSphereColor(r, g, b) {
13     sphere.material.color.r = r;
14     sphere.material.color.g = g;
15     sphere.material.color.b = b;
16 }
17
18
19 function init() {
20
21     scene = new THREE.Scene();
22
23     var view_angle = window.innerWidth/window.innerHeight
24     camera = new THREE.PerspectiveCamera( 75, view_angle, 0.1, 1000 );
25     camera.position.z = 5;
26     scene.add(camera);
27
28     renderer = new THREE.WebGLRenderer();
29     renderer.setSize( window.innerWidth, window.innerHeight );
30     document.body.appendChild( renderer.domElement );
31
32     //-----
33
34     // create a point light
35     var pointLight = new THREE.PointLight(0xFFFFFF);
36
37     // set its position
38     pointLight.position.x = 10;
39     pointLight.position.y = 50;
40     pointLight.position.z = 130;
41
42     // add to the scene
43     scene.add(pointLight);
44
45     //-----
46
47     // New Sphere
48     var radius = 2;
49     var segments = 16;
50     var rings = 16;
51
52     var sphereGeo = new THREE.SphereGeometry(radius, segments, rings);
53     var sphereMaterial = new THREE.MeshLambertMaterial( {

```

```

54         color: 0xCC0000,
55         wireframe : true
56     } );
57     sphere = new THREE.Mesh( sphereGeo, sphereMaterial );
58     scene.add( sphere );
59
60     //-----
61
62     xRot = 0;
63     yRot = 0;
64     zRot = 0;
65
66     r = 1;
67     g = 1;
68     b = 0;
69 }
70
71 function render() {
72     requestAnimationFrame( render );
73
74     updateSphereRotation(xRot, yRot, zRot);
75     if (hasNewColors) {
76         updateSphereColor(r, g, b);
77         hasNewColors = false;
78     };
79
80     renderer.render(scene, camera);
81 };
82
83 init();
84 render();

```

- `init()` cria os elementos do cenário: a cena, a camera, o renderizador, a iluminação e a esfera, além de inicializar as variáveis.
- `render()` atualiza a posição da esfera de acordo com sua velocidade (com `updateSphereRotation()`), sua cor (com `updateSphereColor()`), caso haja mudanças, e renderiza a cena. Essa função é chamada a cada *frame*, o que garante que a esfera seja animada.

## 5.3 Servidor

O servidor criado tem suas configurações definidas no arquivo `package.json`. Esse arquivo permite a restauração e reprodução do servidor em outros locais.

```
1 {  
2   "name": "socket.io-server_aplication",  
3   "version": "0.9.0",  
4   "description": "A client manager using socket.io",  
5   "main": "index.js",  
6   "author": "Guilherme Freire Silva",  
7   "private": true,  
8   "license": "BSD",  
9   "dependencies": {  
10    "express": "4.13.4",  
11    "socket.io": "^1.4.8"  
12  }  
13 }
```

- A configuração mais importante para a reprodução é a de dependências, na qual estão definidas `express` e `socket.io`.

Para a leitura do código, é importante ter em mente que o servidor faz uma distinção entre sockets de *browser*, que executam a aplicação Web, e sockets de *device*, que executam o aplicativo do Cordova.

O código que cria o servidor está em `index.js`:

```
1 // Setup basic express server  
2 var express = require('express');  
3 var app      = express();  
4 var server   = require('http').createServer(app);  
5 var io       = require('socket.io')(server);  
6 var port     = 8000;  
7  
8 server.listen(port, function () {  
9   console.log('Server listening at port %d', port);  
10 });  
11  
12 // Routing  
13 app.use(express.static(__dirname + '/public'));  
14  
15  
16  
17 // -----  
18  
19 var device_dict = {};  
20 var browser_dict = {};  
21  
22 // Function to send (event, data) only to browser sockets  
23 function emit_to_browser_socket(event, data) {  
24   for (var key in browser_dict) {  
25     if (browser_dict[key].connected) {  
26       browser_dict[key].emit(event, data);  
27     }  
28     else {  
29       console.log(" > Disconnected socket!")  
30     }  
31   }  
32 }
```

```

30         delete browser_dict[key];
31     }
32 }
33 }
34
35 io.on('connection', function (socket) {
36
37     socket.on('ready', function (data) {
38         if (data == 'device') {
39             console.log('device connected:', socket.id);
40             device_dict[socket.id] = socket;
41         }
42         else if (data == 'browser'){
43             console.log('browser connected:', socket.id);
44             browser_dict[socket.id] = socket;
45         }
46     })
47
48     // -----
49     // Device events
50
51     socket.on('device_ping', function (sent) {
52         var received_in_server = Date.now();
53         socket.emit('server_ping', {
54             t0 : sent,
55             t1 : received_in_server
56         });
57     });
58
59     socket.on('device_add_speed', function (data) {
60         console.log('device_add_speed', data);
61         emit_to_browser_socket('move', data)
62     });
63
64     socket.on('device_reset_speed', function () {
65         console.log('device_reset_speed');
66         socket.emit('device_log', 'server: reset speed');
67         emit_to_browser_socket('reset', {})
68     });
69
70     socket.on('device_print', function (data) {
71         console.log(data);
72     })
73
74     // Expected Structure: { x: -0.39, y: 0.06, z: 0.2, timestamp:
75     // 1476064230489 }
76     socket.on('device_acceleration', function (data) {
77         emit_to_browser_socket('update_acceleration', data)
78     })
79
80     // -----
81     // Client events
82
83     // Echo browser > server > browser
84     socket.on('echo_move', function (data) {
85         socket.emit('move', data);
86     });
87 });

```

O servidor é criado utilizando o ExpressJS, ouvindo na porta definida e

utilizando recursos encontrados na pasta `/public`.

Quando uma conexão é iniciada, o socket criado é atribuído de eventos e seus respectivos *callbacks*. Os eventos são:

- *'ready'*: Ocorre logo após a conexão ser iniciada. O cliente envia qual o seu tipo, e o servidor o insere em um dicionário de *devices* ou de *browsers*, indexado pelo *id* desse socket.
- *'device\_ping'*: É a metade do caminho do *Ping* lançado pelo *device*. Essa função emite um evento *'server\_ping'* de volta ao *device*, com o *timestamp* recebido e o atual.
- *'device\_add\_speed'*: Recebe um conjunto de valores X, Y e Z, e os emite para todos os *browsers*, com o evento *'move'*.
- *'device\_reset\_speed'*: Emite um evento *'device\_log'* para o *device* logar na sua tela, e emite um evento *'reset'* aos *browsers* sem dados. Esse evento é usado para parar a rotação da esfera.
- *'device\_print'*: É uma função de *debug*. Somente imprime no console os dados recebidos.
- *'device\_acceleration'*: Recebe os dados do acelerômetro do *device* e os emite aos *browsers* com um evento *'update\_acceleration'*.
- *'echo\_move'*: Recebe do *browser* um valor de aceleração X, Y e Z, e emite de volta pelo evento *'move'*.
- Há uma função auxiliar `emit_to_browser_socket(event, data)` que emite o evento *'event'* com a mensagem *'data'* para todos os sockets de *'browsers'*.

## 6 Teste e avaliação

Esse capítulo descreve os resultados da implementação do caso de uso acima.

A conexão via Socket.io foi testada durante todos os momentos do desenvolvimento, desde o momento da sua implementação. O teste foi feito somente em redes locais, pois implementar segurança para conexão em qualquer endereço estava fora do escopo.

Na maior parte dos testes, a rede WiFi local não era dividida por vários dispositivos, na prática era exclusiva do servidor e do smartphone.

Foram utilizados dois smartphones para os testes:

- Dispositivo A : LG G2
- Dispositivo B : Moto Z

Aqui estão lembretes de funcionalidades implementadas:

- **Ping:** Essa função envia um evento ao servidor e espera um evento de resposta, para calcular o tempo entre o envio e a chegada.
- **Fluxo de Eventos:** Foram implementados botões para ligar ou desligar um fluxo constante de eventos ao servidor, a intervalos regulares. Os intervalos são:
  - 60 vezes por segundo.
  - 30 vezes por segundo.
  - 10 vezes por segundo.
  - 1 vez por segundo.

De volta aos testes, os pontos que merecem ser citados:

- Sobre as várias opções de Fluxo de Eventos, quanto maior a taxa de envio, mais rápido era a resposta da webpage. Não há dados para embasar esse resultado, mas a experiência de uso a taxas mais elevadas é melhor, e a latência é quase imperceptível na taxa de 60 vezes por segundo. Esse resultado foi igual entre os dispositivos A e B.
- Uma conexão é feita entre o smartphone e o servidor. Nesse momento, enquanto os dois processos estão em repouso, foram executadas chamadas à função de Ping.

- **Resultado A:** valores variavam bastante entre **50 a 120 milissegundos**. Alguns valores saíam desse intervalo, chegando a **10 ou 300 milissegundos**, mas são pouco frequentes. A média é de **65 milissegundos**, aproximadamente.
- **Resultado B:** valores quase constantes em **105 milissegundos**. Alguns valores esporádicos eram de **20, 50, 200, 300 milissegundos**, faz sua frequência era baixa.
- O teste acima foi feito, com o Fluxo de Eventos ligado a 60 e 30 vezes por segundo. (Os resultados com 10 vezes e 1 vez por segundo não variaram significativamente)
  - **Resultado A:** Muito contra intuitivamente, o tempo de ping caiu para para um intervalo de **5 a 10 milissegundos**.
  - **Resultado B:** o tempo de ping não foi alterado.

Um teste foi feito em uma rede WiFi com um grande fluxo de dados e dispositivos conectados, o que a deixava congestionada. Nessas condições, a eficiência do sistema foi fortemente danificada.

- O Ping calculado estava na faixa de **500 a 1000 milissegundos**.
- Um Fluxo de Eventos de 30 vezes por segundo ou menos funcionava corretamente, mas apresentou problemas sérios de latência, que era grande e prejudicava muito a experiência.
- A webpage apresentou um comportamento anômalo ao se ativar o Fluxo de Eventos a 60 vezes por segundo. A rede não dava conta de tantos eventos, então eles demoravam muito para chegar e sua ordem não era preservada.

Após ativar o fluxo, a esfera passou a apresentar um comportamento aparentemente aleatório e deixou de responder aos comandos do smartphone (resultado do motivo acima).

- Houve uma tentativa de se calcular o Ping nessas condições, mas o resultado mostrou como a rede claramente não dava conta do volume de eventos. O Ping calculado foi de **67000 milissegundos (mais de um minuto!)**.

## 7 Estudo Aprofundado das Tecnologias

### 7.1 Desenvolvendo Aplicativos com Apache Cordova

O Apache Cordova é um *framework open-source* para a criação de aplicativos para *mobile*. Seu desenvolvimento é dado com o uso de tecnologias Web, como HTML5, CSS3 e JavaScript.

Ele é multiplataforma, permite o desenvolvimento para sistemas como Android, iOS ou navegadores. Por tal motivo, oferece uma API de alto nível para acessar os módulos desejados, tais como de sensores, arquivos e rede. A interface para o uso dessas funcionalidades é abstrata, de forma que código desenvolvido é executável em todas as plataformas oferecidas e o desenvolvedor não precisa se preocupar com os detalhes de cada uma na hora da implementação.

O aplicativo implementado é uma exatamente página Web, a estrutura é a mesma. Há um arquivo principal “index.html” que referencia os recursos necessários, como CSS, JavaScript, imagens e arquivos de mídia. A parte lógica é feita em JavaScript, e a renderização em HTML5 e CSS3. Para ser portado para uma plataforma específica, o HTML é enviado para a classe “*Wrapper*” dessa plataforma, onde estão definidos os detalhes de implementação. Essa classe também tem incorporada um browser nativo, o *WebView*, que executará o programa Web dentro do dispositivo.

A comunicação entre o aplicativo e os componentes nativos de cada plataforma é dada a partir de Plugins instalados. Cada Plugin é uma biblioteca adicional que permite ao *WebView* interagir com funcionalidades da plataforma nativa na qual está rodando. Eles provêm acesso a essas funcionalidades normalmente não disponíveis em aplicativos Web. Essas ferramentas são disponibilizadas para o desenvolvedor através de uma expansão da API inicial, que toma para si os detalhes da implementação em cada plataforma, simplificando o desenvolvimento.

Há um conjunto principal de Plugins, chamado de *Core*, que é mantido pelo próprio Cordova. Nele estão contidos os que acessam as principais funcionalidades de um dispositivo mobile, como acesso ao acelerômetro, câmera, bateria e geolocalização.

Há também Plugins desenvolvidos por terceiros (em geral pela própria comunidade) que trazem relações com outras funcionalidades, talvez exclusivas de uma plataforma. Enquanto no *Core* há apenas umas poucas dezenas, a lista de Plugins criada pela comunidade oferece centenas com as mais diversas funcionalidades, como um para compras dentro do App e um para enviar notificações para dispositivos vestíveis (Smartwatches, por exemplo). A criação de um Plugin é simples e incentivada, no site do Cordova há um

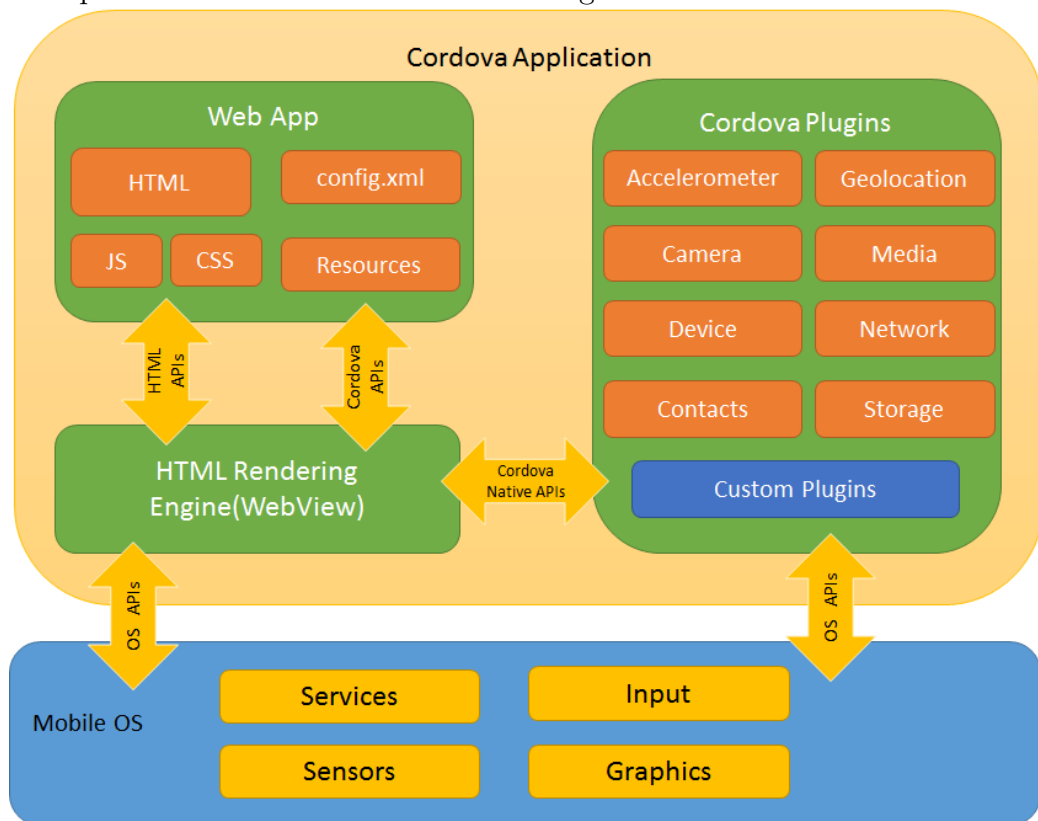


tutorial.

O método de desenvolvimento descrito até agora, focado em várias plataformas, é um dentre dois possíveis *Workflows* disponíveis no Cordova e seu nome é “*Cross-platform*” (CLI). Ele deve ser usado se o aplicativo desenvolvido pretende alcançar a maior variedade de Sistemas Operacionais *mobile*, com pouca ou nenhuma ênfase no desenvolvimento em uma plataforma específica.

O segundo *Workflow* é chamado “*Platform-centered*”, e deve ser usado se o projeto é focado para uma única plataforma e se pretende modificá-la em baixo nível.

A arquitetura interna está descrita no diagrama:



## 7.2 Comunicação Web e Aplicações Web

O protocolo WebSocket foi utilizado para a comunicação deste Projeto, pois há vários fatores no protocolo HTTP e do modelo cliente-servidor convencional que se tornam empecilhos para as necessidades apresentadas.

Enquanto que, na prática, bastou escolher esse protocolo WebSocket, sua criação representa uma evolução no paradigma de desenvolvimento de páginas Web. A seguir é dado um panorama dos fatores que desencadearam sua criação e o que isso representa.

### 7.2.1 Modelo cliente-servidor

A comunicação de dados entre computadores através da Internet é algo muito comum, e necessita de uma arquitetura de rede adequada para ocorrer.

A mais utilizada é o modelo cliente-servidor. Neste modelo, existem dois tipos de processos rodando, o Cliente e o Servidor. O Cliente é o processo que roda nos computadores locais e se conecta ao Servidor. A comunicação é dada quando o Cliente manda uma requisição ao Servidor (esta requisição pode ser por uma página web, um processamento de dados, entre outros). Por sua vez, o Servidor recebe esses dados e faz o processamento necessário para completar essa requisição, e em seguida envia uma resposta ao Cliente. A resposta pode ser o que foi requisitado ou outro tipo de mensagem, como de erro, caso ocorra uma falha no processamento ou negação de permissão. O Cliente então pode continuar com o seu próprio processo.

O protocolo que acompanha esse modelo é principalmente HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*). Ele é usado para a transferência de Recursos entre processos. Recursos são arquivos HTML, imagens, resultados de buscas, entre outros.

Um Cliente HTTP, como um navegador, abre uma conexão e envia uma mensagem de requisição ao Servidor HTTP, que retorna uma mensagem de resposta, normalmente contendo o recurso pedido. Após entregar a resposta, o Servidor encerra a conexão.

Por encerrar a conexão, é dito que HTTP um protocolo sem estado, pois não mantém informações sobre a conexão entre transações. Ele também implica que cada mensagem HTTP precisa possuir um cabeçalho com informações sobre o contexto, uma vez que o Servidor não guarda nenhum dado.

O modelo cliente-servidor é suficiente para páginas Web, pois o Cliente pede páginas estáticas e o Servidor as fornece sempre que necessário. Mas essa arquitetura não permite um uso mais dinâmico dessas páginas Web, pois sua estrutura é muito burocrática.

Para fazer uma página mais responsiva, com *feedbacks* a cada ação do usuário e dados novos, seria necessário que o Cliente fizesse uma requisição ao Servidor após cada ação executada (como preencher um formulário ou levar o cursor a algum ponto específico, por exemplo). Cada requisição HTTP dessas carregaria muitas informações em seu cabeçalho. Ao receber a página atualizada, o Cliente ainda precisaria recarregá-la para atualizar o que fosse necessário. Os dois problemas claros nessa estrutura são:

- A necessidade de recarregar a página inteira, mesmo que somente uma pequena parcela dos dados tenha sido alterada. Esse comportamento foi criado em um momento no qual não se tinha a necessidade de alterar pequenas coisas na página, e que cada HTML vindo do Servidor seria uma página completamente nova. A impossibilidade de atualizar dados individualmente remove qualquer dinamicidade desejada.
- O *overhead* gerado pelo cabeçalho das mensagens HTTP. Esse *overhead* cria uma latência (tempo de resposta) alta e faz com que um envio contante de requisições ao Servidor exija muitos recursos.

Um exemplo de comportamento impossível com essas restrições é dar um *feedback* instantâneo para o usuário na hora que ele está preenchendo um cadastro em algum site, como informar se o email inserido já foi usado ou se a senha possui os parâmetros mínimos necessários de segurança.

### 7.2.2 AJAX

Da discussão gerada a partir desses problemas surgiu o Ajax (*Asynchronous JavaScript and XML*). Ajax é uma técnica de desenvolvimento Web criada para possibilitar a requisição por dados parciais ao Servidor e recebê-los de forma assíncrona no *background*, sem precisar recarregar a página exibida. Com essa técnica passa a ser possível atualizar partes de uma página com base em eventos do usuário.

Para ilustrar esse funcionamento com um exemplo simples, basta usar a ferramenta de busca do Google<sup>12</sup>. O usuário começa a digitar uma busca e resultados já aparecem sem a necessidade de atualizar a página, mesmo antes da busca estar completa. O *input* do usuário ativa requisições no *background* para obter e atualizar os resultados exibidos, sem se preocupar se a busca será alterada no futuro. Assim, o usuário recebe um *feedback* mais dinâmico e menos burocrático do que o convencional (digitar a busca completa e ir para uma página de resultados).

---

<sup>12</sup>google.com

Com o Ajax, nota-se uma mudança de paradigmas na Web. Onde antes só havia a noção de página Web, agora começa a se formar uma noção de Aplicação Web. Antes, a maior interatividade possível era algo como um fluxo de telas com dados dependentes da tela passada, mas agora ações de usuários passam a ter resultados instantâneos. Sites com um fluxo de dados muito grande e dinâmico passam a ser possíveis, como Facebook<sup>13</sup>, no qual é possível fazer comentários, interagir com usuários e visualizar tanto conteúdo quando desejado sem precisar atualizar a página.

Essa mudança de paradigmas fez com que muitas Aplicações tipicamente executadas em *Desktop* fossem desenvolvidas para Web, como clientes de email ou aplicações que exigissem um fluxo de dados muito grande entre o Cliente e o Servidor. Mas o que ficou claro com o tempo é que Ajax não bastava para muitas dessas Aplicações, em específico as que funcionavam em tempo real. Muitas vezes é o Servidor que precisa se comunicar ao Cliente sobre mudança nos dados. O modelo de funcionamento do Ajax não possui esse tipo de interface, então, para fazer aplicações assim funcionarem corretamente, é necessário muito esforço, lutar contra a linguagem.

Um exemplo claro disso é uma aplicação de *Chat*. Não é possível ter um padrão de quando o Servidor tem novas mensagens, então é necessário que o Cliente faça requisições a cada período de tempo. Se esse período for curto, o fluxo de dados intenso pode se tornar um problema. Se o período for longo, vai contra o princípio de ser uma comunicação em tempo real, mensagens vão demorar mais a serem entregues. Além disso, o modelo de comunicação do Ajax envia e recebe mensagens em paralelo, sem preservar sua ordem. Então, ao se fazer atualizações síncronas, é necessário ainda um tratamento de ordenação para exibir as mensagens novas.

A necessidade de vários tratamentos para uma aplicação relativamente simples funcionar deixou claro que havia necessidade de mais ferramentas para o desenvolvimento de aplicações Web.

### 7.2.3 Necessidade de Comunicação Bilateral

Um dos fatores mais limitantes era que a comunicação cliente-servidor não é bilateral. Não é possível para o Servidor mandar dados espontaneamente, sem que o Cliente tenha feito uma requisição antes. Para contornar esse problema foram criadas técnicas para simular essa comunicação bilateral: *Polling*, *Long-Polling* e *Streaming*.

- **Polling**

---

<sup>13</sup>facebook.com

Essa técnica já foi descrita acima no exemplo do *Chat*. Ela consiste em fazer o Cliente mandar requisições em intervalos regulares e receber a resposta logo em seguida. Ela foi a primeira tentativa de se contornar o problema, principalmente por ter a implementação mais simples e direta.

Essa solução é boa quando se sabe o tempo de atualização de dados no Servidor, pois é possível sincronizar os tempos de requisição e atualização. Porém esse é somente um dos cenários possíveis. Dados em tempo real não costumam ser tão previsíveis, então é inevitável que uma parcela dessas requisições seja desnecessária e muitas conexões sejam abertas e fechadas sem necessidade, em momentos de baixo fluxo de atualização.

- **Long-Polling**

No *Long-Polling*, o Cliente manda uma requisição e o Servidor a mantém aberta durante um determinado período de tempo. Se uma atualização chegar durante esse período, a resposta é enviada ao Cliente com os dados novos. Se o tempo acabar sem que haja mudanças, o servidor envia uma resposta para encerrar a requisição aberta. A cada resposta recebida, o Cliente envia uma nova requisição para ficar em aberto.

Essa técnica apresenta melhoras em relação ao *Polling*, porém, se existe um fluxo muito alto de atualizações no Servidor, ela não oferece nenhuma melhora substancial em relação a ele. Nessa situação aliás, o *Long-Polling* pode ser pior, pois pode ficar instável em um loop contínuo de *Polls* imediatos.

- **Streaming**

Com a técnica de *Streaming*, o Cliente manda uma requisição e o Servidor a mantém aberta continuamente. Sempre que dados são atualizados, o Servidor os envia ao Cliente, mas não encerra a conexão.

O ponto negativo dessa técnica é que, como o *Streaming* ainda é encapsulado por HTTP, é possível que *Firewalls* e servidores *Proxy* possam escolher armazenar a resposta em um *Buffer*, o que aumenta muito a latência da mensagem.

Por fim, todas essas técnicas envolvem mensagens HTTP, que contêm cabeçalhos com muitos dados desnecessários para esse uso, gerando alto consumo de recursos. Além disso, uma verdadeira conexão bilateral requer mais do que o fluxo de dados vindo do servidor, é necessário também ter o fluxo

originado no cliente. Para fazer uma simulação mais consistente com o desejado, muitas soluções hoje usam duas conexões de fluxo, uma para o cliente e uma para o servidor. A coordenação e manutenção dessas duas conexões paralelas gera um *overhead* ainda maior em termos de recursos, além do claro aumento de complexidade do código.

Por todos esses fatos, ficou claro que era necessário ter uma conexão bilateral de verdade. Para que essa conexão fosse possível, era necessário ter um controle maior da transferência de dados era necessário. Dentro do protocolo TCP, esse controle é feito por meio dos Sockets, mas, até então, eles eram indisponíveis ao desenvolvimento Web, não havia interface de interação.

#### 7.2.4 Sockets

No modelo cliente-servidor uma conexão é definida por dois pontos finais, um no cliente e um no servidor. Cada um desses pontos finais serve para mandar e receber os dados do outro lado da conexão, e eles são nomeados como Sockets (Soquetes de Rede). Essa a conexão entre Sockets é implementada no protocolo TCP<sup>14</sup>. Cada Socket é identificado por um endereço de IP e uma Porta (por exemplo, 192.168.0.1:8000), independente de estar no Cliente ou no Servidor, e a conexão TCP pode ser definida de maneira única por seus dois Sockets conectados.

A conexão cliente-servidor, considerando os Sockets, é feita da seguinte maneira:

- No lado do cliente, primeiramente ele precisa saber o endereço de IP da máquina onde o servidor roda e a porta que ouve (esses dados definem o socket do servidor). Ele então envia um sinal a esse socket para pedir a conexão. Nesse sinal há um identificador, que contém seu próprio IP e uma porta escolhida na hora, para que o servidor saiba a quem enviar as respostas. É importante ter em mente que o cliente não possui um socket ainda, ele será criado caso a conexão seja bem sucedida.
- No lado do servidor, se não ocorrer nenhum erro, a conexão é aceita. Neste momento, o servidor cria um novo socket com o mesmo IP e porta local do original, para conectá-lo com o cliente. Esse novo socket é necessário para que o servidor possa continuar ouvindo a outras conexões naquela porta com o socket original, enquanto a cópia passa a ser exclusiva ao cliente.
- De volta ao cliente, se a conexão é aceita, o seu socket é criado (com as especificações que foram enviadas no pedido).

---

<sup>14</sup>Protocolo base de transporte na Internet.

- Agora o cliente e o servidor podem se comunicar com leitura ou escrita nesses novos sockets criados.

A API básica para manipulação de Sockets possui as seguintes funções:

- `SOCKET` : Cria um ponto final de uma comunicação.
- `BIND` : Associa um endereço local a um Socket.
- `LISTEN` : Anuncia que aceita conexões, e dá o tamanho da *queue*.
- `ACCEPT` : Aceita um pedido de conexão.
- `CONNECT` : Envia um pedido de conexão.
- `SEND` : Envia dados através de sua conexão.
- `RECEIVE` : Recebe dados vindos de sua conexão.
- `CLOSE` : Encerra a conexão.

Essa API não é acessível ao nível de desenvolvimento Web por fazer parte do protocolo TCP.

### 7.2.5 Websockets

WebSocket é um protocolo que lida com Sockets de uma conexão que foi criado para permitir a comunicação bilateral entre cliente e servidor. Ele permite mais liberdade para criar novos protocolos e maneiras de se transferir dados.

Sua interface é bastante simples, seu objetivo é o envio e recebimento de mensagens entre o cliente e o servidor. Para o protocolo, essa hierarquia cliente-servidor deixa de existir, não há diferenciação entre os dois, ambos são apenas dois processos conectados. A comunicação é dada por envio de mensagens e ocorrência de eventos. Esses processos podem enviar mensagens a qualquer momento e estão ouvindo um ao outro.

O protocolo foi pensado para funcionar bem com a infraestrutura Web já existente. Como parte desse paradigma, sua especificação determina que uma conexão é estabelecida inicialmente com o protocolo HTTP, garantindo retrocompatibilidade.

A conexão é feita da seguinte forma. Após iniciada a conexão HTTP, o cliente envia uma requisição ao servidor indicando que deseja trocar de protocolos, de HTTP para WebSocket. Se o servidor entende esse protocolo, ele envia uma resposta para permitir a troca. Nesse momento a conexão

HTTP é interrompida e a conexão WebSocket toma o seu lugar. Esse processo é chamado de *WebSocket Handshake*.

A estrutura da mensagem em WebSocket é mínima. O corpo da mensagem, os dados a serem enviados, só possui dois formatos, texto ou binário. O cabeçalho contém um identificador de tipo do formato, que tem um campo para o tamanho da mensagem e nada mais. A mensagem completa é só o conteúdo mais seu tamanho. Como a conexão não muda em momento algum, todas as informações contidas no cabeçalho de requisição e resposta HTTP são invariantes e, portanto, não precisam ser reenviadas.

Um dos processos conectados, em um momento arbitrário, envia uma mensagem ao outro, talvez porque dados tenham sido atualizados ou o usuário tenha feito alguma ação em específico. Uma vez que a mensagem é enviada, esse processo volta ao que estava fazendo, sem a necessidade de esperar alguma resposta do outro processo. Esse comportamento é chamado de assíncrono, pois não um lado não age em sincronia com o outro.

O outro processo vê a chegada dessa nova mensagem como um evento. Quando esse evento acontece, ele executa um comportamento específico (*callback*) com os dados recebidos, como alteração de informações exibidos ou um cálculo com os valores novos. Por isso é dito que WebSocket é orientado a eventos.

Existem quatro tipos de eventos e seus *callbacks* são definidos na criação do WebSocket. Esses eventos são:

- *onopen*: ocorre quando a conexão é feita;
- *onclose*: ocorre quando a conexão é fechada;
- *onmessage*: ocorre quando uma mensagem do outro WebSocket chega;
- *onerror*: ocorre se há algum erro na conexão.

Para ilustrar melhor esse comportamento de conexão, mensagens e eventos, abaixo há um exemplo em HTML de uma página que utiliza WebSockets.

15

```
1  <!DOCTYPE html>
2  <meta charset="utf-8" />
3  <title>WebSocket Test</title>
4  <script language="javascript" type="text/javascript">
5
6      var wsUri = "ws://echo.websocket.org/";
7      var output;
8
9      function init()
10     {
```

---

<sup>15</sup>Exemplo encontrado em <https://www.websocket.org/echo.html>



```

11     output = document.getElementById("output");
12     testWebSocket();
13 }
14
15 function testWebSocket()
16 {
17     websocket = new WebSocket(wsUri);
18     websocket.onopen = function(evt) { onOpen(evt) };
19     websocket.onclose = function(evt) { onClose(evt) };
20     websocket.onmessage = function(evt) { onMessage(evt) };
21     websocket.onerror = function(evt) { onError(evt) };
22 }
23
24 function onOpen(evt)
25 {
26     writeToScreen("CONNECTED");
27     doSend("WebSocket rocks");
28 }
29
30 function onClose(evt)
31 {
32     writeToScreen("DISCONNECTED");
33 }
34
35 function onMessage(evt)
36 {
37     writeToScreen('<span style="color: blue;">RESPONSE: ' + evt.data+'</span>');
38     websocket.close();
39 }
40
41 function onError(evt)
42 {
43     writeToScreen('<span style="color: red;">ERROR:</span> ' + evt.data);
44     ;
45 }
46
47 function doSend(message)
48 {
49     writeToScreen("SENT: " + message);
50     websocket.send(message);
51 }
52
53 function writeToScreen(message)
54 {
55     var pre = document.createElement("p");
56     pre.style.wordWrap = "break-word";
57     pre.innerHTML = message;
58     output.appendChild(pre);
59 }
60
61 window.addEventListener("load", init, false);
62
63 </script>
64
65 <h2>WebSocket Test</h2>
66
67 <div id="output"></div>

```

Essa página executa um código simples. Ela cria um WebSocket conectado à “ws://echo.websocket.org/”.

O evento de conexão *'onOpen'* ativa uma função que escreve na tela e manda uma string para o outro WebSocket.

O evento de recebimento de mensagem *'onMessage'* escreve na tela o conteúdo que foi recebido e fecha a conexão.

O evento de encerramento de conexão e de erro (*'onClose'* e *'onError'*) só escrevem na tela um status.

### 7.2.6 Teste de eficiência de Websockets

No experimento<sup>16</sup> a seguir, é mostrado a diferença de tráfego de dados e latência entre WebSocket e *Polling* para requisitar dados em tempo real.

#### Informações para entender o exemplo:

- *RabbitMQ Message Broker*: um simples programa que recebe e encaminha mensagens. Nesse exemplo ele está em um servidor, recebe dados de um mercado de ações fictício.<sup>17</sup>
- *Java Servlet*: uma classe Java usada para estender as funcionalidades de um servidor. Pode ser definido como um componente semelhante um servidor, que gera dados HTML e XML para a camada de apresentação de uma aplicação Web. Ele processa dinamicamente requisições e respostas.<sup>18</sup>
- Mozilla Firefox: *Browser* muito utilizado.
- Firebug: Um *add-on* do Mozilla Firefox que permite fazer debug de páginas Web e monitorar o tempo que leva para carregar páginas e executar scripts.
- *Live HTTP Headers*: *add-on* do Mozilla Firefox que mostra ao vivo o tráfego de cabeçalhos HTTP.

O exemplo foi transcrito em tradução livre:

Então, o quão dramática é a redução de tráfego de dados desnecessários e latência? Vamos comparar uma aplicação *Polling* e uma WebSocket lado a lado.

---

<sup>16</sup>Exemplo encontrado em <https://www.websocket.org/quantum.html>

<sup>17</sup><https://www.rabbitmq.com/tutorials/tutorial-one-python.html>

<sup>18</sup><https://pt.wikipedia.org/wiki/Servlet>

Para o exemplo de *Polling*, eu criei uma simples aplicação Web, na qual a página manda requisições a um *RabbitMQ Message Broker* pedindo dados de um Mercado de Ações em tempo real, usando um modelo *publish/subscribe* tradicional. Ele requisita esses dados por fazer *Polling* para um *Java Servlet* hospedado no Servidor Web. O *RabbitMQ Message Broker* recebe os dados de um *feed* de Mercado de Ações fictício, atualizado continuamente. A página Web conecta e se inscreve em um canal específico do Mercado (um Tópico do *Message Broker*) e usa uma chamada `XMLHttpRequest` para pedir (fazer um *Poll*) por atualizações uma vez por segundo. Quando elas chegam, alguns cálculos são feitos e os dados do Mercado são mostrados em uma tabela, como na imagem a seguir:


COMPANY	SYMBOL	PRICE	CHANGE	SPARKLINE	OPEN	LOW	HIGH
THE WALT DISNEY COMPANY	DIS	27.65	0.56		27.09	24.39	29.80
GARMIN LTD.	GRMN	35.14	0.35		34.79	31.31	38.27
SANDISK CORPORATION	SNDK	20.11	-0.13		20.24	18.22	22.26
GOODRICH CORPORATION	GR	49.99	-2.35		52.34	47.11	57.57
NVIDIA CORPORATION	NVDA	13.92	0.97		13.85	12.47	15.23
CHEVRON CORPORATION	CVX	67.77	-0.53		68.30	61.49	75.11
THE ALLSTATE CORPORATION	ALL	30.88	-0.14		31.02	27.92	34.12
EXXON MOBIL CORPORATION	XOM	65.66	-0.86		66.52	59.87	73.17
METLIFE INC.	MET	35.58	-0.15		35.73	32.16	39.30

Figura 1 — Uma aplicação de valores de Mercado em JavaScript

**Nota:** O *feed* no Tópico do Mercado produz muitas atualizações de preço por segundo, então usar *Polling* com um segundo de intervalo é mais prudente do que *Long-Polling*, pois ele resultaria em uma série de *Polls* contínuos. O *Polling* controla de forma efetiva a vinda de atualizações.

Tudo parece certo, mas ao se olhar o funcionamento, é revelado que há problemas sérios com essa aplicação. Por exemplo, com o *Firebug*, você consegue ver que a requisição `GET` martela o Servidor em intervalos de 1 segundo. Ativando o *Live HTTP Headers*, é revelado o enorme *overhead* causado por cabeçalhos associados a cada requisição. Os dois próximos exemplos mostram o cabeçalho HTTP para somente uma requisição e uma resposta.

#### Exemplo 1 — cabeçalho de requisição HTTP:

```

1 | GET /PollingStock//PollingStock HTTP/1.1
2 | Host: localhost:8080

```

```

3 | User-Agent: Mozilla/5.0 (Windows; U; Windows NT 5.1; en-US;
   | rv:1.9.1.5)
4 | Gecko/20091102 Firefox/3.5.5
5 | Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/
   | xml;q=0.9,*/*;q=0.8
6 | Accept-Language: en-us
7 | Accept-Encoding: gzip,deflate
8 | Accept-Charset: ISO-8859-1,utf-8;q=0.7,*;q=0.7
9 | Keep-Alive: 300
10 | Connection: keep-alive
11 | Referer: http://www.example.com/PollingStock/
12 | Cookie: showInheritedConstant=false;
13 | showInheritedProtectedConstant=false;
14 | showInheritedProperty=false;
15 | showInheritedProtectedProperty=false;
16 | showInheritedMethod=false;
17 | showInheritedProtectedMethod=false;
18 | showInheritedEvent=false;
19 | showInheritedStyle=false;
20 | showInheritedEffect=false

```

## Exemplo 2 — cabeçalho de resposta HTTP

```

1 | HTTP/1.x 200 OK
2 | X-Powered-By: Servlet/2.5
3 | Server: Sun Java System Application Server 9.1_02
4 | Content-Type: text/html;charset=UTF-8
5 | Content-Length: 21
6 | Date: Sat, 07 Nov 2009 00:32:46 GMT

```

Só por diversão, eu contei todos os caracteres. O total de *overhead* de informação na requisição e resposta HTTP é de 871 bytes, sem incluir nenhum dado! Claro, esse é somente um exemplo e você pode ter menos de 871 bytes de cabeçalho, mas eu também vi casos onde ele ultrapassava 2000 bytes. Nessa aplicação de exemplo, uma mensagem típica do Tópico de Mercado contém em torno de 20 caracteres. Como você pode ver, ela é efetivamente afogada pelo excesso de informação do cabeçalho, que nem é necessário no final das contas!

Então, o que acontece quando você dá *deploy* nessa aplicação para um grande número de usuários? Vamos observar o tráfego de dados somente dos dados do cabeçalho HTTP de requisição e resposta associados a essa aplicação de *Polling* em três casos diferentes.

- **Caso de uso A:** 1,000 clientes fazendo *Polling* a cada segundo: tráfego de dados é  $(871 \times 1,000) = 871,000$  bytes = 6,968,000 bits por segundo. (6.6 Mbps)
- **Caso de uso B:** 10,000 clientes fazendo *Polling* a cada segundo: tráfego de dados é  $(871 \times 10,000) = 8,710,000$  bytes = 69,680,000 bits por segundo. (66 Mbps)

- **Caso de uso C:** 100,000 clientes fazendo *Polling* a cada segundo: tráfego de dados é  $(871 \times 100,000) = 87,100,000$  bytes = 696,800,000 bits por segundo. (665 Mbps)

Essa é uma quantidade enorme de tráfego de dados desnecessários! Imagina só se fosse possível transferir a informação necessária. Então, com HTML5 Web Sockets você pode! Eu reconstitui a aplicação usando WebSockets, adicionando um manipulador de evento para que a página Web possa assincronamente ouvir por mensagens do *Message Broker* de atualizações do preço do Mercado. Cada uma dessas mensagens é um WebSocket frame que possui só 2 bytes de overhead (ao invés de 871)! Veja como isso afeta o tráfego de dados de overhead naqueles três casos.

- **Caso de uso A:** 1,000 clientes recebem 1 mensagem por segundo: Tráfego de dados é  $(2 \times 1,000) = 2,000$  bytes = 16,000 bits por segundo (0.015 Mbps)
- **Caso de uso B:** 10,000 clientes recebem 1 mensagem por segundo: Tráfego de dados é  $(2 \times 10,000) = 20,000$  bytes = 160,000 bits por segundo (0.153 Mbps)
- **Caso de uso C:** 100,000 clientes recebem 1 mensagem por segundo: Tráfego de dados é  $(2 \times 100,000) = 200,000$  bytes = 1,600,000 bits por segundo (1.526 Mbps)

Como você pode ver na figura abaixo, WebSocket provê uma redução dramática no tráfego de dados desnecessários em relação ao método de *Polling*.

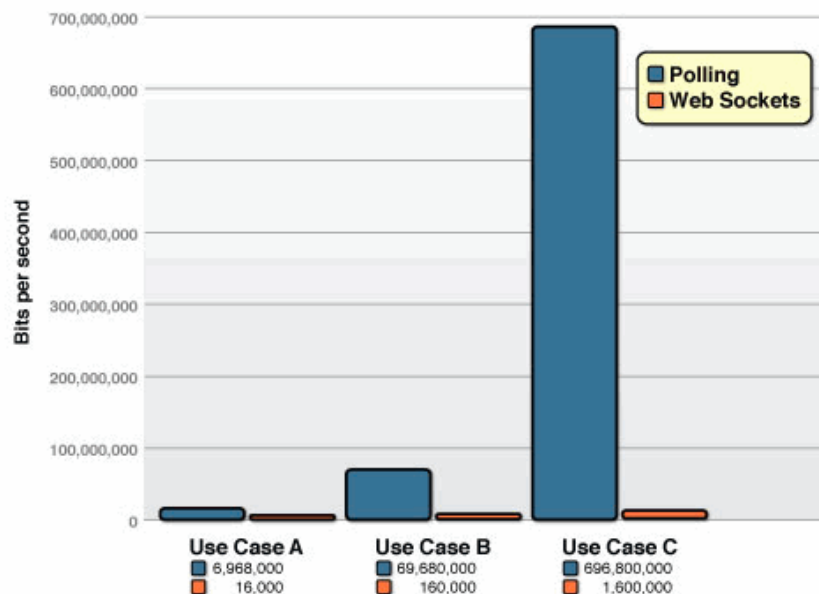


Figura 2 — Comparação de *overhead* entre aplicações de *Polling* e *WebSocket*.

E em relação à redução na latência? Veja a figura abaixo. Na metade de cima, você consegue a latência do método de *Polling*. Se assumirmos, nesse exemplo, que é necessário 50 milissegundos para uma mensagem chegue do servidor ao *browser*, então a aplicação de *Polling* introduz muita latência extra, porque cada nova requisição precisa ser enviada ao servidor quando a resposta está completa. Essa nova requisição requer outros 50 milissegundos, e, durante esse tempo, o servidor não consegue mandar qualquer outra mensagem ao *browser*, resultando em um consumo de memória adicional ao servidor.

Na metade de baixo da figura, você vê a redução na latência proporcionada pelo uso de *WebSocket*. Uma vez que a conexão é promovida a *WebSocket*, as mensagens podem fluir do servidor ao *browser* no momento em que surgem. Ainda leva 50 milissegundos para as mensagens atravessarem do servidor ao cliente, mas a conexão *WebSocket* permanece aberta para que não haja necessidade de enviar outra requisição ao servidor.

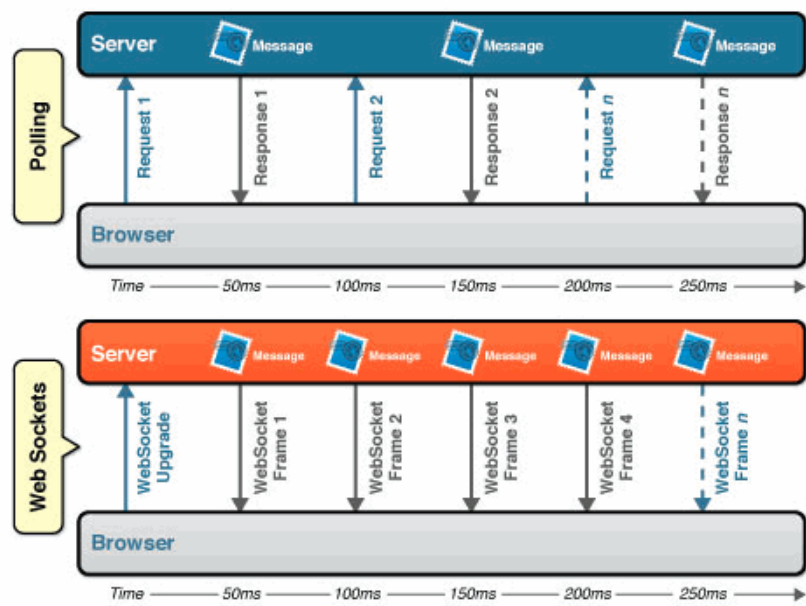


Figura 3 — Comparação de latências entre *Polling* e *WebSocket*.

**Em conclusão** WebSocket é a solução ideal para problemas apresentados anteriormente. É um protocolo feito para a real comunicação plenamente bilateral e obtém isso com o menor gasto de recursos possível. Com ele, a criação de aplicações Web se torna muito mais viável e popular.

Mas existe um problema nesse meio de desenvolvimento Web, que é o fato de que a todo momento a infraestrutura é alterada. Novos protocolos são criados, outros são atualizados, antigos deixam de funcionar corretamente. Esse é um problema inerente ao meio e que afeta a todos.

Para ilustrar esse fato, vamos tomar como exemplo o protocolo *SPDY* (pronunciado “speedy”), desenvolvido principalmente pela Google.<sup>19</sup>

Em linhas gerais, esse protocolo busca velocidade e se baseia no fato de que, se uma conexão é estabelecida com o servidor e o cliente começa a enviar muitas requisições HTTP, essas requisições vão incluir informações repetidas, comuns àquela sessão. Ele define então que, ao invés de enviar essas informações desnecessárias repetidamente durante a sessão, o servidor passa a salvar em um dicionário os usuários conectados e utilizar essas informações salvas. Por conta disso, fazer requisições passa a ser mais rápido e consumir menos recursos.<sup>20</sup>

Também para aumentar a velocidade, o *SPDY* multiplexa requisições para permitir que sejam feitas em paralelo. Atualmente no protocolo HTTP as requisições são todas feitas em série. O problema aparece nesse momento, pois o WebSocket esperava ter um socket TCP dedicado e agora passa a funcionar em cima de uma camada de conexão *SPDY* multiplexada.

O WebSocket (assim como outros protocolos e ferramentas) necessita de atualizações de tempos em tempos, por situações imprevisíveis como essa. Essa mudança constante aumenta o nível de dificuldade para o desenvolvedor estar sempre atualizado com seus detalhes de implementação.

Uma das maneiras de se contornar essa dificuldade é utilizar outras APIs que cuidam desses detalhes internamente.

### 7.2.7 Socket.io

Por fim, foi criado o Socket.io, uma API de WebSocket para JavaScript. Ela cuida de todos os detalhes de funcionamento do protocolo internamente, deixando uma interface simples ao usuário. Assim, mudanças no funcionamento do protocolo não chegam ao desenvolvedor.

Para uma conexão ser estabelecida, tanto o cliente quanto o servidor precisam estar executando Socket.io. Sua implementação tenta primeira-

---

<sup>19</sup>Ele não é um protocolo padrão, porém é bastante promissor e está sendo utilizado para o desenvolvimento do protocolo HTTP 2.0.

<sup>20</sup>Note a semelhança com WebSockets.



mente fazer a conexão usando WebSocket, mas se o servidor não suporta esse protocolo, ele recua (faz *fallback*) para outras tecnologias, como *AJAX long-polling*, *AJAX multipart streaming*, *IFrame*, *JSONP polling*, entre outros (todos utilizando a mesma interface). Esse *fallback* permite à API abranger uma quantidade muito maior de servidores, reduzindo possíveis problemas numa implementação em larga escala.

Além da implementação básica do protocolo WebSocket, ele também adiciona outras funcionalidades importantes para o desenvolvimento de uma aplicação mais robusta:

- **A possibilidade de criação arbitrária de eventos.** Além dos eventos padrões *'connect'*, *'message'* e *'disconnect'*, o desenvolvedor pode criar quaisquer outros eventos que achar necessário.

Essa criação de eventos funciona da seguinte forma: o processo emissor manda a mensagem e o nome do evento que está sendo enviado. O processo receptor define o evento que vai ouvir e a subrotina que vai ser executada na ocorrência desse evento. Se o evento lançado for ouvido pelo receptor, o *callback* é chamado.

Com WebSocket, o desenvolvedor fica preso aos quatro eventos pré definidos: *'onopen'*, *'onclose'*, *'onmessage'* e *'onerror'*. Internamente, os quatro são eventos de mensagem, disparados em momentos e situações específicas. O que o Socket.io faz é dar a liberdade de definir quaisquer eventos desejados.

- **A possibilidade de conectar múltiplos sockets em uma mesma porta.** Internamente, ele faz uma multiplexação das várias conexões abertas em uma mesma porta, mas os processos entendem que tem um socket dedicado a eles. Utilizando WebSockets, cada socket precisa de uma porta exclusiva para fazer a conexão.

A possibilidade de vários sockets em uma mesma aplicação permite uma modularização muito maior, pois não é necessário que um módulo saiba se tem uma conexão dedicada ou se está compartilhando com mais dezenas de outros sockets.

Um ponto negativo dessa definição de eventos é que o cabeçalho da mensagem é um pouco maior, pois o de WebSockets é reduzido ao extremo, mas esse tamanho ainda é ínfimo e o *overhead* causado não se torna um problema.

- **Definição de *namespaces*.** Dada a existência de múltiplos sockets, é possível organizá-los em *namespaces*. Cada *namespace* vai conter um

conjunto de sockets conectados, e eventos emitidos a um *namespace* serão enviados somente à esse conjunto.

Por padrão, caso nenhum *namespace* seja definido, todos os sockets são conectados ao *namespace* `'/'`. Assim, esse funcionamento fica invisível ao desenvolvedor que não os está utilizando.

- **Definição de *rooms*.** *Rooms* são um segundo nível de organização, definidos dentro de *namespaces*. Um socket pode entrar e sair de *rooms* com funções `join` e `leave`. Cada socket pode definir uma *room* específica na hora de emitir um evento, da forma:

```
io.to('some room').emit('some event')
```

É fácil notar a preocupação com organização dessas funcionalidades. Com o protocolo WebSocket puro, é inviável fazer uma aplicação que faz o uso de múltiplos sockets com execuções distintas, mas que interagem entre si. Um dos propósitos da criação de Socket.io foi aumentar o grau de liberdade do desenvolvedor e tornar esse tipo de aplicação muito simples de ser desenvolvida.

## 8 Conclusão

O Projeto propõe um ambiente Web de comunicação entre smartphones executando o aplicativo desenvolvido e a página Web que recebe dados para alterar seu funcionamento, através de um Servidor que permite a comunicação da maneira eficiente e viável.

Os dois maiores desafios nessa proposta eram:

- Encontrar uma forma de comunicação que atendesse à todas as necessidades dessa arquitetura;
- Desenvolver essa arquitetura para servir de base para projetos de maior porte.

O primeiro item é resolvido com a utilização do **Socket.io**. Ele é a ferramenta ideal para lidar com a comunicação entre os clientes e o servidor, tendo em vista todos os requerimentos apresentados. Além de ideal, sua interface também é muito simples de ser usada e é um aspecto positivo para o segundo item.

Para o segundo item, foi necessário encontrar as ferramentas corretas.

O **Apache Cordova** permite o desenvolvimento de aplicativos para smartphones igual ao desenvolvimento Web. Este ponto facilita na hora de se desenvolver um aplicativo em conjunto com uma aplicação Web.

**Node.js** e **Express** tornam a criação de um servidor muito simples e direta, com o funcionamento desejado para a comunicação entre os clientes.

A aplicação Web está menos definida, mas no caso de uso apresentado, **THREE.js** permite a criação 3D de forma direta, abstraindo detalhes de implementação de bibliotecas 3D de baixo nível.

Todas essas ferramentas funcionam bem entre si e permitem o desenvolvimento rápido e direto de projetos maiores e escaláveis. Por fim, é concluído que o ambiente Web funciona bem e o Projeto foi bem sucedido na proposta apresentada.

## Referências

- [1] 122 JSJ Socket.IO with Guillermo Rauch,  
<https://devchat.tv/js-jabber/122-jsj-socket-io-with-guillermo-rauch>  
  
Acessado em: 10/02/17
- [2] HTML5 WebSocket - A Quantum Leap in Scalability for the Web,  
<https://www.websocket.org/quantum.html>  
Acessado em: 20/11/16
- [3] RFC 6455 - The WebSocket Protocol,  
<https://tools.ietf.org/html/rfc6455>  
Acessado em: 20/11/16
- [4] Computer Networks 1-4: Sockets,  
<https://www.youtube.com/watch?v=zWqLYby99EU>  
Acessado em: 20/11/16
- [5] What Is a Socket?,  
<https://docs.oracle.com/javase/tutorial/networking/sockets/definition.html>  
Acessado em: 20/11/16
- [6] node.js - Differences between socket.io and websockets - Stack Overflow,  
<http://stackoverflow.com/questions/10112178/differences-between-socket-io-and-websockets>  
Acessado em: 20/11/16
- [7] - What are Long-Polling, Websockets, Server-Sent Events (SSE) and Comet? - Stack Overflow,  
<http://stackoverflow.com/questions/11077857/what-are-long-polling-websockets-server-sent-events-sse-and-comet>  
  
Acessado em: 20/11/16
- [8] javascript - HTTP Long Polling - Timeout best practice - Stack Overflow,  
<http://stackoverflow.com/questions/37391096/http-long-polling-timeout-best-practice>  
Acessado em: 20/11/16

- [9] The Beginners Guide to three.js - Treehouse Blog,  
<http://blog.teamtreehouse.com/the-beginners-guide-to-three-js>  
Acessado em: 20/11/16
- [10] Socket.IO,  
<http://socket.io/>  
Acessado em: 20/11/16
- [11] Apache Cordova,  
<https://cordova.apache.org/>  
Acessado em: 20/11/16
- [12] Socket.IO — Socket.IO with Apache Cordova,  
<http://socket.io/socket-io-with-apache-cordova/>  
Acessado em: 20/11/16
- [13] Cordova Tutorial,  
<http://www.tutorialspoint.com/cordova/>  
Acessado em: 20/11/16
- [14] three.js / documentation - Creating a scene,  
[https://threejs.org/docs/index.html#Manual/Introduction/Creating\\_a\\_scene](https://threejs.org/docs/index.html#Manual/Introduction/Creating_a_scene)  
Acessado em: 20/11/16
- [15] WebSocket and Socket.IO,  
<https://davidwalsh.name/websocket>  
Acessado em: 20/11/16
- [16] WebGL,  
<https://en.wikipedia.org/wiki/WebGL>  
Acessado em: 20/11/16
- [17] Three.js,  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Three.js>  
Acessado em: 20/11/16
- [18] What is Node.js Exactly? - a beginners introduction to Nodejs,  
<https://www.youtube.com/watch?v=pU9Q6oiQNd0>  
Acessado em: 20/11/16
- [19] Node.js,  
<https://nodejs.org/en/>  
Acessado em: 20/11/16

- [20] Node.js Introduction,  
[https://www.tutorialspoint.com/nodejs/nodejs\\_introduction.htm](https://www.tutorialspoint.com/nodejs/nodejs_introduction.htm)  
Acessado em: 20/11/16
- [21] ExpressJS Tutorial,  
<http://www.tutorialspoint.com/expressjs/index.htm>  
Acessado em: 20/11/16
- [22] HTTP Made Really Easy,  
<https://www.jmarshall.com/easy/http/>  
Acessado em: 20/11/16
- [23] What Is Ajax?,  
[https://www.tutorialspoint.com/ajax/what\\_is\\_ajax.htm](https://www.tutorialspoint.com/ajax/what_is_ajax.htm)  
Acessado em: 20/11/16
- [24] About HTML5 WebSocket,  
<https://www.websocket.org/aboutwebsocket.html>  
Acessado em: 20/11/16
- [25] SPDY,  
<https://pt.wikipedia.org/wiki/SPDY>  
Acessado em: 20/11/16
- [26] How Web Pages Work,  
<http://computer.howstuffworks.com/web-page.htm>  
Acessado em: 04/02/17