

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA
E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO SUL
CAMPUS BENTO GONÇALVES

LIMITAÇÕES DO HTML5
NO DESENVOLVIMENTO DE JOGOS MULTIPLATAFORMA

JEAN CARLO MACHADO

Bento Gonçalves, Dezembro 2015

JEAN CARLO MACHADO

LIMITAÇÕES DO HTML5
NO DESENVOLVIMENTO DE JOGOS MULTIPLATAFORMA

Monografia apresentada junto ao Curso de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Bento Gonçalves, como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas.

Orientador: Mr. Rafael Jaques

Bento Gonçalves, Dezembro 2015

RESUMO

LLorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

orem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

Palavras-chave: HTML5, Limitações, Jogos, Multiplataforma

ABSTRACT

LLorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

orem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

Palavras-chave: HTML5, Limitações, Jogos, Multiplataforma

LISTA DE FIGURAS

4.1	Exemplo] de documento HTML	12
4.2	Suíte HTML	13
4.3	Exemplo de utilização de seletores do DOM em JavaScript	14
4.4	Exemplo de Folha de Estilo	15
4.5	Os módulos do CSS	16
4.6	*	16
4.7	Exemplo de Media Query	17
4.8	Exemplo de media queries customizados	17
4.9	*	17
4.10	Exemplo de transição	18
4.11	Exemplo de transformação	18
4.12	Propostas do ECMA 7	22
4.13	*	22
4.14	Exemplo de utilização de WEB Animatios	24
4.15	*	24
4.16	Suporte das especificações do HTML nos navegadores	26
4.17	Círculo em SVG.	28
4.18	Comparação de codecs de áudio	32
4.19	Exemplo de utilização da tag áudio	32
4.20	*	32
4.21	Exemplo de utilização de vídeo	34
4.22	*	34
4.23	Web Storage na prática	36
4.24	*	36
4.25	Adicionando um cliente em IndexedDB.	37
6.1	Diagrama de classes simplificado	45
6.2	Tabuleiro do jogo	48
6.3	Placar do jogo	49
6.4	Configurações do jogo	50
6.5	Exemplo de utilização de funções imediatamente invocadas	52
F.1	Diagrama de classes completo	73

SUMÁRIO

1	CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.1	JOGOS	1
1.2	Limitações	1
1.3	ESTE TRABALHO	2
2	PROBLEMA	3
2.1	OBJETIVOS	3
2.1.1	OBJETIVO GERAL	3
2.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3	JUSTIFICATIVA	5
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
4.1	JOGOS	6
4.1.1	MECÂNICA	7
4.2	Laço do jogo	7
4.3	JOGOS MULTIPLATAFORMA	7
4.3.1	JOGOS WEB	8
4.3.2	DESENVOLVIMENTO DE JOGOS NATIVOS	9
4.3.3	JOGOS HÍBRIDOS	9
4.4	WEB	10
4.4.1	OPEN WEB	10
4.5	HTML	10
4.5.1	DOM	13
4.6	CSS	14
4.6.1	Media Queries	15
4.6.2	Transições	17
4.6.3	Transformações 3D	18
4.6.4	CSS 4	19
4.7	JAVASCRIPT	19
4.7.1	JAVASCRIPT 7	21
4.7.2	ASM.JS	21
4.7.3	WEB Assembly	23
4.7.4	Web Animations	23
4.8	NAVEGADORES	24

4.9	ANDROID	25
4.10	DETECÇÃO DE RECURSOS	27
4.11	RENDERIZAÇÃO	27
4.11.1	SVG	28
4.11.2	CANVAS	28
4.11.3	WEBGL	29
4.11.4	Shaders	29
4.11.5	WEBVR	30
4.12	WebCL	30
4.13	CODECS	30
4.14	ÁUDIO	31
4.14.1	TAG ÁUDIO	31
4.14.2	API DE ÁUDIO	33
4.15	VÍDEO	33
4.16	ARMAZENAMENTO	35
4.16.1	WEB SQL	35
4.16.2	WEB STORAGE	36
4.16.3	IndexedDB	37
4.17	WEB WORKERS	38
4.18	OFFLINE	38
4.18.1	Aplicações offline	38
4.19	ENTRADA DE COMANDOS	38
4.19.1	Acelerômetro	39
4.20	HTTP/2	39
4.21	DEBUG	39
4.21.1	Source Maps	40
4.21.2	Debug 3D	40
4.22	DISPONIBILIZAÇÃO DA APLICAÇÃO	40
4.22.1	INSTALAÇÃO	41
4.23	TRABALHOS SIMILARES	41
5	METODOLOGIA	42
6	PROJETO	43
6.1	MECÂNICA	43
6.2	Requisitos	43
6.2.1	Requisitos funcionais	43
6.2.2	Requisitos não funcionais	44
6.3	Modelagem	44
6.4	Desenvolvimento	44
6.5	Otimizações para jogos	47

6.5.1	CSS	51
6.5.2	JavaScript	51
6.6	Performance	53
7	RESULTADOS	54
7.1	LIMITAÇÕES	54
7.1.1	VERSÕES	54
7.1.2	OFFLINE	55
7.1.3	SVG	55
7.1.4	Canvas	55
7.1.5	WebGL	56
7.1.6	VIDEO	56
7.1.7	ASSETS	57
7.1.8	Codecs	57
7.1.9	ÁUDIO	57
7.1.10	INTERFACE GRÁFICA	57
7.1.11	PERFORMANCE	58
7.1.12	Acelerômetro	58
7.1.13	IMPLEMENTAÇÃO INCONSISTENTE DE APIs	58
7.1.14	TAMANHO DE TELA	58
7.1.15	JavaScript	58
7.1.16	Detecção de recursos	58
7.1.17	Scroll	59
7.1.18	Armazenamento	59
8	CONCLUSÕES	60
8.0.1	TRABALHOS FUTUROS	60
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
A	CONVERSORES PARA HTML	63
A.0.1	Bibliotecas relevantes do desenvolvimento de jogos	63
A.1	Frameworks de jogos	63
A.2	CROSSWALK	64
A.3	PHONEGAP	64
A.4	PHONEGAP CLOUD	64
A.5	NODEJS	64
B	ALTERNATIVAS AO JAVASCRIPT	66
B.1	TYPESCRIPT	66
B.2	DART	66

C	SISTEMAS DE BUILDING	68
D	AMBIENTES PARA DESENVOLVIMENTO HTML5	70
E	METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA A CONS- TRUÇÃO DE GAMES	71
F	Diagrama de classes	72

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

1.1 JOGOS

Desenvolvedores de jogos web podem rapidamente satisfazer as necessidades de seus jogadores, mantendo-os leais a tecnologia HTML5 (Zhang 2012).

Mais de 80% do tempo total gasto utilizando dispositivos móveis é na utilização de aplicativos, e 32% deste tempo é para jogar vídeo games (Janiszewski 2014).

Mais de 70% das pessoas que jogam vídeo games são adultos (Granic, Lobel e Engels 2014).

A maioria dos desenvolvedores demonstra interesse para o HTML5. (referenciar) E muito pouco investimento é necessário para começar a desenvolver jogos utilizando as tecnologias da WEB (Kuryanovich et al. 2014).

O tempo de desenvolvimento de uma aplicação em HTML5 é 67% menor (referenciar) que aplicações nativas. Isso mostra o custo efetivo de aplicações baseadas em HTML5.

A real vantagem de aplicações em HTML5 é o suporte horizontal entre as plataformas - que é a maior razão por trás do custo efetivo («Smart Phones Application development using HTML5 and related technologies: A tradeoff between cost and quality»).

A maior dificuldade em capturar uma base de usuários é que o mercado de dispositivos móveis é muito fragmentado e não existe uma única plataforma popular.(«Smart Phones Application development using HTML5 and related technologies: A tradeoff between cost and quality»).

Funcionalidades foram disponibilizadas de diversas fontes e não foram construídas de forma consistente com as demais. Além disso, devida a única característica da Web, erros de implementação se tornam frequentes, e muitas vezes se tornam o padrão, pois outras funcionalidades dependem destas primeiras antes que elas estejam estáveis. (W3C manual)

Os desenvolvedores de navegadores podem interpretar/implementar as especificações erroneamente aumentando os problemas de compatibilidade.

1.2 Limitações

A utilização da WEB é gigantesca, mas criar jogos dinâmicos e de tempo real não é o primeiro objetivo da WEB (Kuryanovich et al. 2014).

1.3 ESTE TRABALHO

Este projeto propõe analisar as limitações do HTML5 quanto relativo a construção de jogos multiplataforma. Através de revisão bibliográfica e da criação de um protótipo de jogo multiplataforma.

2 PROBLEMA

A carência de definições concretas sobre a viabilidade da atual versão do HTML quando aplicado ao desenvolvimento de jogos, e o senso comum, acostumado com soluções nativas, acabam por praticamente monopolizar a construção de jogos nativos.

2.1 OBJETIVOS

2.1.1 OBJETIVO GERAL

Identificar possíveis limitações no processo de desenvolvimento de jogos multiplataforma oriundas do atual estado de definição e implementação do HTML5.

Não é objetivo deste trabalho demonstrar os pontos fortes do HTML5, apenas suas limitações. Também não é objetivo deste trabalho comparar o HTML com outras tecnologias de desenvolvimento de jogos, como Flash Player, Silverlight ou alternativas Desktop.

2.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Este trabalho tem por objetivo estudar as limitações de desenvolvimento de jogos nas plataformas Android e navegadores Desktop Google Chrome e Firefox em suas últimas versões. Optamos por Android, e não IOS, pois o primeiro contém a vasta maioria do mercado de dispositivos inteligentes, e por termos maior experiência na já mencionada plataforma.

A fim de refinar nossa perspectiva com uma experiência prática, também é objetivo deste trabalho construir um protótipo de um jogo.

Vahatupa 2014 cita que vídeo, áudio, drag-and-drop, funcionalidades de gráficos e armazenamento offline são aspectos importantes do HTML5 para o desenvolvimento de jogos. Além dos elementos já citados, julgamos relevante estudar os seguintes aspectos e tecnologias relacionadas aos jogos:

- HTML e tecnologias relacionadas (CSS, JavaScript)
- Tecnologias de renderização (WebGL, Canvas, SVG)
- Empacotadores HTML5
- Eventos de entrada
- Armazenamento

- Disponibilização de assets (controle de tamanhos, cache, etc)
- Aplicações offline

3 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista que este trabalho busca mapear possíveis problemas do desenvolvimento multiplataforma em HTML ele serve para apoiar e justificar decisões relativas ao desenvolvimento de jogos multiplataforma.

Muitas pessoas no mercado de software são da opinião que o desenvolvimento nativo para jogos é a melhor opção, quando outras formas de aplicativos são mais adequados para a WEB Powell e Li 2013, pp. 21. Este trabalho, por indicar problemas concretos do desenvolvimento WEB, serve para verificar essa opinião.

Grande parte dos desenvolvedores estão familiarizados com as tecnologias da WEB ou apontam interesse na tecnologia. A revisão tecnológica que este trabalho contém pode servir como um indicativo de sobre o que é preciso estudar para começar a desenvolver jogos na WEB.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 JOGOS

Segundo (Lemes 2009) jogo digital constitui-se em uma atividade lúdica composta por uma série de ações e decisões, limitada por regras e pelo universo do game, que resultam em uma condição final.

Apesar da definição clara, uma taxonomia dos jogos não é tarefa trivial. Pela diversidade em itens e gêneros e a vasta quantidade de dimensões que os vídeo games se encontram, uma categorização dos jogos contemporâneos é extremamente difícil de desenvolver (muitos já tentaram) (Granic, Lobel e Engels 2014, pp. 60).

Para corroborar com essa complexidade Granic, Lobel e Engels 2014 afirmam que a natureza dos jogos tem mudado drasticamente na última década, se tornando cada vez mais complexos, diversos, realísticos e sociais em sua natureza.

Com as inovações nas tecnologias relacionadas ao HTML novas possibilidades e gêneros de jogos podem ser explorados na WEB. Sendo que cada gênero acompanha um conjunto de desafios específicos. Jogos de FPS (tiro em primeira pessoa) requerem menor latência de rede, já jogos de RPG podem requerer vastas quantidades de cache (Kuryanovich et al. 2014).

A inerente complexidade dos jogos e sua vasta utilização pelos mais diversos públicos os tornam tópico de interesse para pesquisas. Apesar de a quantidade de estudos sobre os males dos jogos ser muito maior do que os estudos sobre seus benefícios, a quantidade de benefícios já correlacionados aos jogos é grande.

(Granic, Lobel e Engels 2014) demonstra que vídeo games melhoram as funções cognitivas, as capacidades criativas, e motivam uma visão positiva diante a falha. Também segundo (Granic, Lobel e Engels 2014) postura positiva em relação a falha correlaciona-se com melhor performance acadêmica.

Benefícios em habilidades práticas também são observados em usuários de jogos. Jogadores de jogos de tiro demonstram maior alocação de atenção, maior resolução espacial no processamento visual e melhor habilidades de rotação (Granic, Lobel e Engels 2014).

Estes aspectos positivos muitas vezes não recebem a atenção devida. Habilidades espaciais derivadas de jogar jogos de tiro comercialmente disponíveis são comparáveis aos efeitos de um curso universitário que busca melhorar as mesmas habilidades (Granic, Lobel e Engels 2014). Estas habilidades derivadas dos jogos são centrais para muitas áreas de interesse humano, Granic, Lobel e Engels 2014 afirmam que habilidades espaciais estão diretamente relacionadas com

o sucesso em ciência, tecnologia, engenharia e matemática.

Outra outro ponto importar dos jogos é seu aspecto social. Apesar de a mídia ter criado uma perspectiva negativa sobre jogos, especialmente os violentos, a realidade é mais complexa do que se pensa. Jogadores de jogos violentos, cuja jogabilidade encoraje a cooperatividade, são mais prováveis de exibir comportamento altruísta fora do contexto dos jogos, do que jogadores de jogos não violentos (Granic, Lobel e Engels 2014).

Kuryanovich et al. 2014 ressalta a importância do planejamento antes do desenvolvimento de jogos. Ao criar jogos deve-se planejar o que se pretende atingir e como chegar lá antes de se escrever qualquer código.

4.1.1 MECÂNICA

A mecânica é composta pelas regras do jogo. Quais as ações disponíveis aos usuários, é fortemente influenciada pela categoria do jogo em questão. Dedicar-se na elaboração de uma mecânica é tarefa quintessencial para a construção de um jogo de sucesso.

(Kuryanovich et al. 2014) afirma que se os gráficos e áudio são espetaculares mas a jogabilidade é chata o jogador vai parar de jogar. A substância do jogo é sua mecânica, então não invista muito em visual ao menos que isso desempenhe um papel essencial no jogo.

A elaboração da mecânica em jogos desenvolvidos profissionalmente pode ser integrada dentro de um processo de engenharia de software ¹. Os desenvolvedores tem que evitar fazer o jogo para eles mesmos. Falta de crítica antes do desenvolvimento também tende a gerar criações ruins. Bons jogos são aqueles que ao menos suprem as expectativas dos usuário. Lemes 2009 aponta alguns fatores procurados pelos usuários de jogos: Desafio, socializar, experiência solitária, respeito e fantasia.

4.2 Laço do jogo

Os jogos são dirigidos por um laço que executa uma série de tarefas a cada frame, construindo a ilusão de um mundo animado (Prado 2012, pp. 31). O laço do jogo (*game loop*) é peça central em praticamente qualquer jogo eletrônico. A cada iteração do jogo o laço é executado e o processamento de entrada de usuário e computações correlacionadas são executadas.

Para escrever o laço é possível utilizar as funções do JavaScript *window.setTimeout*. Não obstante, a forma mais recomendada é utilizar o *window.requestAnimationFrame* reduz ou completamente para a execução do laço enquanto o usuário está em outra aba. Isso reduz o consumo de bateria, uma característica importante para dispositivos móveis.

4.3 JOGOS MULTIPLATAFORMA

¹O sumário também conta com um resumo sobre metodologias de desenvolvimento de software contextualizada para a criação jogos

Jogos para múltiplas plataformas trazem um novo conjunto de desafios para produtores de jogos. Um destes desafios é fornecer feedback suficiente para o jogador pois muitas vezes o dispositivo é limitado em proporções, som, tela. Outro desafio é suportar os vários ecossistemas de software com tecnologias diferenciadas e versões de software divergentes.

Kuryanovich et al. 2014 afirma que: o estágio mais complicado e crucial do desenvolvimento de jogo é a escolha das tecnologias utilizadas. Designers de jogos tem as seguintes possibilidades quando em face de desenvolver um jogo multiplataforma: criar um jogo web, um jogo híbrido, ou nativo. As opções serão descritas abaixo.

4.3.1 JOGOS WEB

Um jogo web é um jogo que utiliza o HTML e ferramentas correlacionadas para sua construção.

O objetivo primário da WEB nunca foi o desenvolvimento de jogos, mas as novas versões do HTML estão provendo funcionalidades que permitem a criação de conteúdo interativo, incluindo jogos.

Por muito tempo os títulos famosos de jogos da web residiam em jogos como *Traviam*, desprovidos de animações, compostos basicamente por formulários, imagens e textos. Não obstante, publicar jogos baseados em texto é uma atividade cada vez mais rara, podendo-se concluir que interface gráfica se tornou uma funcionalidade mandatória (Vahatupa 2014).

Durante esse período o interesse em jogos WEB residia principalmente nas de casualidade, flexibilidade, e o fator social dos jogos. Características essas que descrevem peculiaridades WEB no geral, fatores que não são exclusivos de jogos.

Mais recentemente é que a WEB começou a ser vista como de fato um ambiente com interatividade para criação de jogos dos mais variados gêneros. Jogos como *Angry Birds*, *Crush Candy Saga*, entre outros títulos expandiram os conceitos do que é possível se fazer utilizando as ferramentas da WEB. Segundo Prado 2012, pp. 28 um bom exemplo que tem alcançado bastante sucesso entre o público são os jogos adicionados no logotipo do Google, chamados doodles.

Quando comparados a outras abordagens de criar jogos, jogos da WEB contém vários aspectos positivos. Talvez o mais reconhecível é o fato de com uma única base de código poder suprir uma gama praticamente inesgotável de dispositivos. Comparável a base de clientes está a quantidade de desenvolvedores WEB, os quais podem reaproveitar grande parcela do conhecimento adquirido através do desenvolvimento de páginas WEB na criação de jogos. O custo do desenvolvimento de jogos também é reduzido devido a inexistência de duplicação de código. Jogos WEB não requerem atualizações manuais. Sua distribuição é superior ao estilo convencional de aplicações desktop (Vahatupa 2014). Por serem criados a partir das tecnologias da WEB se beneficia de uma arquitetura construída para um ambiente social, sendo relativamente mais fácil criar ambientes sociáveis.

A performance é um ponto negativo da abordagem WEB, é difícil chegar a performance comparável a abordagem nativa. Não obstante esse problema é cada vez menor, os dispositivos são cada vez melhores e as tecnologias estão sempre avançando para permitir uma melhor experiência. Existem inconsistências nas implementações das especificações WEB o que leva a comportamento inesperados em alguns casos, sendo necessário desenvolver regras específicas para dispositivos e versões de navegadores. Outro aspecto negativo da WEB é que nem todas as funcionalidades dos dispositivos estão especificados com as tecnologias da WEB e muitas vezes o dispositivo fica subutilizado.

Além dos jogos web, há a possibilidade de criar jogos híbridos e nativos.

4.3.2 DESENVOLVIMENTO DE JOGOS NATIVOS

Uma aplicação nativa é uma aplicação que foi desenvolvida para ser utilizada em uma plataforma ou dispositivo específico (Powell e Li 2013, pp. 7). Aplicativos nativos tendem a oferecer uma experiência mais próxima com a do resto do sistema operacional o qual está rodando. Geralmente softwares nativos são mais rápidos que suas alternativas da WEB visto que interagem com o dispositivo através do sistema operacional - diferentemente dos jogos WEB que necessitam que o navegador interaja com o sistema operacional para por sua vez interagir com o dispositivo. Por terem acesso total ao dispositivo aplicativos nativos podem aproveitar o hardware da melhor forma possível e oferecer ao usuário a melhor experiência possível (Powell e Li 2013, pp. 7).

Desenvolver jogos nativos tende a ser mais caro que a alternativa da WEB visto que é necessário duplicar funcionalidades em sistemas e manter um profissional por ambiente suportado. As versões nativas são totalmente incompatíveis impossibilitando reuso.

4.3.3 JOGOS HÍBRIDOS

A alternativa híbrida tenta utilizar o melhor do nativo e o melhor do desenvolvimento WEB. Geralmente se desenvolve híbrido utilizando as tecnologias da WEB só que ao invés de disponibilizar a aplicação através de um navegador a aplicação WEB é instalada como um aplicativo normal e roda em uma WebView que é um componente do sistema operacional capaz de rodar as tecnologias da WEB.

Visto que a estratégia híbrida roda diretamente no sistema operacional é possível criar APIs para acessar recursos não sempre disponíveis para a plataforma WEB. Soluções como o PhoneGap adotam essa estratégia para possibilitar granular controle sobre os dispositivos através de APIs JavaScript implementadas nativamente.

Não obstante, segundo Powell e Li 2013, pp. 8 a diferença entre o que é possível com a estratégia híbrida e a WEB está diminuindo devido ao grande esforço da comunidade WEB para prover especificações.

4.4 WEB

4.4.1 OPEN WEB

A OWP (*Open Web Platform*) é uma coleção de tecnologias livres, amplamente utilizadas e padronizadas. Quando uma tecnologia se torna amplamente popular, através da adoção de grandes empresas e desenvolvedores, ela se torna candidata a adoção pela OWP.

A Open Web, mais que uma coleção de tecnologias, é um conjunto de filosofias as quais a WEB se fundamenta. Entre outras, a Open Web busca transparência, imparcialidade nos processos de criação e padronização de novas tecnologias. Retro compatibilidade com as especificações anteriores. Consenso entre o mercado e o meio acadêmico, nunca um distanciando-se muito do outro ².

Várias pessoas, empresas e comunidades estão interessadas neste processo, cada qual com seus próprios conjunto de ideias sobre como a WEB deveria funcionar. Mas para que a crescente quantidade de dispositivos possa acessar a riqueza que o HTML5 permite, padrões precisam ser definidos (Powell e Li 2013, pp. 5).

A W3C é uma comunidade responsável por boa parte das especificações da web como: HTML (em conjunto com a WHATWG), CSS, entre outras³. Outros grupos detém responsabilidade por outras tecnologias da OWP, como a ECMA, responsável pelo JavaScript; ou Kronos, responsável pelo WebGL.

Na W3C o processo de desenvolvimento de especificações consiste na elaboração de rascunhos (*working drafts*), criados por grupos de trabalhos (*workin groups*) de especialistas no assunto, que passam por vários passos de revisão até se tornarem recomendações. As recomendações podem ser implementadas com segurança de que a especificação não mudará substancialmente.

Apesar do processo da W3C ser rigoroso, está longe de perfeito. A especificação final do HTML4 contava com quatro erros publicados via errata (**HTML5**). Não obstante, o cenário é animador (Kuryanovich et al. 2014) cita que as tecnologias da Open WEB tem evoluído desde os princípios da internet e já provaram sua robustez e estabilidade enquanto outras tecnologias crescem e morrem ao redor dela.

A tecnologia chave que inaugurou e alavancou este processo é o HTML.

4.5 HTML

HTML (*Hyper Text Markup Language*) é uma linguagem de marcação que define a estrutura semântica do conteúdo das páginas da web. Criada por Tim Berners Lee em 1989 no CERN. HTML é a tecnologia base para a criação de páginas web e aplicativos online. A parte denomi-

²Mais informações sobre a Open WEB podem ser encontradas no seguinte endereço <http://tantek.com/2010/281/b1/what-is-the-open-web>

³Uma lista completa das especificações mantidas pela W3C pode ser encontrada em: <http://www.w3.org/TR/>

nada: "*Hyper Text*", refere-se a links que conectam páginas HTML umas as outras, fazendo a Web como conhecemos hoje (*HTML HyperText Markup Language*).

A última versão do HTML é o HTML5, iniciado pela WHATWG e posteriormente desenvolvido em conjunto com a W3C. Seu rascunho foi proposto em 2008 e ratificado em 2014. Após 2011, a última chamada de revisão do HTML5, a WHATWG decidiu renomear o HTML5 para HTML (*HTML is the new HTML5*). Não obstante, o termo HTML5 permanece em utilização pela W3C.

Além da nomenclatura, existem pequenas diferenças nas especificações da W3C e WHATWG. A W3C vê a especificação do HTML5 como algo fechado, inclusive já iniciou o desenvolvimento do HTML 5.1. Já a WHATWG vê o HTML5 como uma especificação viva. A postura da W3C tende a criar uma especificação estável, já a da WHATWG reflete mais a realidade dos navegadores, que nunca implementam uma versão completamente. A Mozilla utiliza a especificação da WHATWG no desenvolvimento do Firefox e recomenda a da W3C para sistemas que requeiram maior estabilidade. Neste trabalho optamos pela nomenclatura da WHATWG, utilizamos o termo HTML em detrimento a HTML5, sempre que semanticamente viável.

HTML foi especificado baseando-se no padrão SGML (*Standard Generalized Markup Language*).

Alguns benefícios do SGML são:

- Documentos declaram estrutura, diferentemente de aparência, possibilitando otimizações nos ambientes de uso (tamanho de tela, etc);
- São portáteis devido a definição de tipo de documento (*document type declaration*);

Apesar de o SGML especificar a não definição de aparência, os criadores de navegadores constantemente introduziam elementos de apresentação como o piscar, itálico, e negrito, que eventualmente acabavam por serem inclusos na especificação. Foi somente nas últimas versões que elementos de apresentação voltaram a ser proibidos reforçando as propostas chave do HTML como uma linguagem de conteúdo semântico, incentivando a utilização de outras tecnologias como o CSS para responder as demandas de apresentação.

Além do HTML, existe o XHTML, que é uma iniciativa de utilização de XML nas páginas da web. O XML é um padrão mais rigoroso que SGML e resulta em páginas sem problemas de sintaxe e tipografia. Alguns estimam que 99% das páginas HTML de hoje contenham ao menos um erro de estrutura (Pilgrim 2010). Uma das maiores vantagens do XML é que sistemas sem erros de sintaxe que podem ser facilmente interpretados por outras tecnologias como sistemas de indexação, buscadores, etc.

Para transformar o HTML em algo visível os navegadores utilizam motores de renderização. O primeiro passo efetuado por esses sistemas é decodificar o documento HTML para sua representação em memória. Este processo dá-se através da análise (*parsing*) e posterior tokenização, que é a separação do HTML em palavras chave que o interpretador pode utilizar.

```

<}!DOCTYPE HTML>
<html lang="en-US">
<head>
<meta charset="UTF-8">
<title></title>
</head>
<body>
    <video>
        <span>Seu navegador não suporta vídeo</span>
    </video>
</body>
</html>

```

Fig. 4.1: Exemplo] de documento HTML

Diferentemente do XHTML, HTML não pode ser decodificado através de tokenização tradicional. Deve-se ao HTML ser amigável ao programador, aceitando erros de sintaxe, dependente de contexto, buscando entregar a melhor aproximação possível. Segundo Garisel e Irish 2011 essa é a maior razão do HTML ser tão popular - ele perdoa os erros e torna a vida dos autores da WEB mais fácil. Esta característica deu origem a uma especificação para renderizar HTML (*HTML parser*).

Antes do HTML5 várias versões foram propostas, algumas radicais em seus preceitos. O XHTML 2.0, por exemplo, quebrava com toda a compatibilidade das versões anteriores e acabou por sendo descontinuado. Outrossim, a maioria das versões HTML de grande sucesso foram versões de retrospectiva (*retro-specs*). Versões que não tentavam idealizar a linguagem, buscando alinhar-se com os requerimentos do mercado (Pilgrim 2010). Não obstante, a ideia que a melhor forma de ajustar o HTML é substituindo ele por outra coisa ainda aparece de tempos em tempos (Pilgrim 2010).

Uma página HTML consiste em elementos que podem ter seu comportamento alterado através de atributos. Um elemento é o abrir fechar de uma tag e todo o conteúdo que dentro dele reside (*HTML and CSS - Design and Build Websites*, pp. 10–11). Por exemplo, na figura 4.1 o elemento meta (<meta>) tem um atributo *charset*, que especifica o formato de codificação do documento.

Na sua versão inicial, o HTML contava com 18 elementos; atualmente existem aproximadamente cem (Pilgrim 2010). Não obstante, foi no HTML5 que a maior parte dos elementos que viabilizam a construção de jogos foram adicionados.

Uma das características do HTML que o torna tão popular é seu interesse em manter manter a retrocompatibilidade. Interpretadores HTML atingem isso ignorando os elementos que não conhecem, tratando seu vocabulário exclusivamente. Esse mecanismo permite que os desenvolvedores incluam marcação de reserva dentro dos elementos que podem não ser suportados. O elemento *span* na figura 4.1 só aparecerá para o usuário caso seu navegador não suporta a tag



Fig. 4.2: Suíte HTML

```
var elementos = document.querySelector( ".main, #scean" );
var elementosB = document.querySelectorAll( "a.minhaClasse, p" );
```

Fig. 4.3: Exemplo de utilização de seletores do DOM em JavaScript

vídeo.

Além da convencional linguagem de marcação, HTML é muitas vezes interpretado como um conceito guarda chuva para designar as tecnologias da web. Segundo (Pilgrim 2010) algumas dessas tecnologias (como geolocalização) estão em especificações separadas mas são tratadas como HTML5 também. Outras tecnologias foram removidas do HTML5 estritamente falando, mas são tratados como HTML5 (como a API de armazenamento de dados).

Uma tecnologia fortemente entrelaçada com o HTML é o DOM. Tendo uma relação próxima de um para um com a marcação (Garisel e Irish 2011). DOM permite a interação entre documentos HTML e as demais tecnologias da WEB de uma forma fácil e padronizada.

4.5.1 DOM

O modelo de documento de objetos (*Document Object Model*) é a representação em memória de uma árvore de elementos HTML. Esta representação é definida por um conjunto de padrões que torna interoperável a manipulação de elementos através de JavaScript.

A primeira versão do DOM, DOM nível zero, foi parcialmente especificada no HTML 4 e permitia manipulação parcial dos elementos. Foi somente com a especificação do JavaScript em 1998 que o DOM nível 1 foi especificado, permitindo a manipulação de qualquer elemento. DOM nível 2 e 3 seguiram com melhorias nas consultas aos elementos e CSS.

A API de seletores (*querySelector*) do DOM permite alto nível de precisão e performance para buscar elementos. A figura 4.3 exemplifica a utilização dos seletores do DOM em um documento JavaScript. O método *querySelector* seleciona o primeiro elemento em conformidade com o padrão especificado. Já o método *querySelectorAll* seleciona todos os elementos que estão em acordo com o padrão especificado.

```

<style>
p {
    text-align: center;
    color: red;
}
</style>

```

Fig. 4.4: Exemplo de Folha de Estilo

4.6 CSS

CSS (*Cascading Style Sheets*) é uma linguagem de folhas de estilo criada por Håkon Wium Lie em 1994 com intuito de definir a apresentação de páginas HTML. CSS, juntamente com JavaScript e HTML, compõem as tecnologias centrais no desenvolvimento WEB tornando-se parte da OWP; sua especificação é atualmente mantida pela W3C.

O termo *Cascading* refere-se ao fato de regras serem herdadas pelos filhos de um elemento, eliminando grande parcela de duplicação antes necessária para estilizar uma página. Segundo Kuryanovich et al. 2014 pode-se expressar regras gerais que são "cascadeadas" para muitos elementos, e então sobrescrever os elementos específicos conforme a necessidade.

Segundo «Cascading Style Sheets», pp. 23–24:

CSS possibilita a ligação tardia (*late biding*) com páginas HTML. Essa característica é atrativa para os publicadores por dois motivos. Primeiramente pois permite o mesmo estilo em várias publicações, segundo pois os publicadores podem focar-se no conteúdo ao invés de se preocuparem-se com detalhes de apresentação.

Esta ligação tardia permitiu diferenciação entre apresentação e estrutura, sendo neste caso o CSS responsável pela apresentação. Esta característica é uma das ideias pioneiras do SGML, motivo que tornou a utilização do CSS tão conveniente para o desenvolvimento WEB.

Antes do CSS era impossível ter estilos diferenciados para diferentes tipos de dispositivos, limitando a aplicabilidade dos documentos. Com CSS também tornou-se possível que o usuário declare suas próprias folhas de estilo, um recurso importante para acessibilidade.

Estruturalmente falando, CSS é formado por um conjunto de regras, dentro de uma tag HTML denominada *style*, que são agrupadas por seletores em blocos de declaração. Os elementos selecionados são denominados o assunto do seletor (*Selectors*). Seletores tem o intuito de definir quais partes do documento HTML serão afetadas por determinado bloco de declaração.

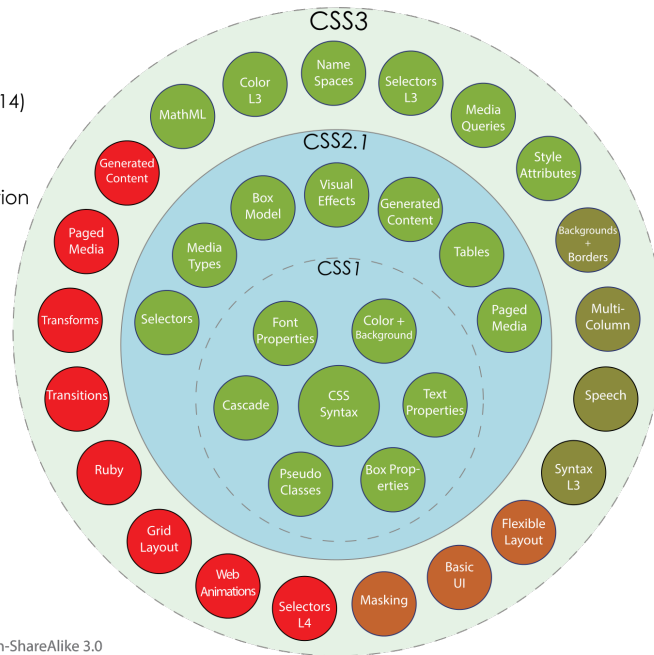
A figura 4.4 exemplifica este processo. O seletor em questão é o elemento `<p>`, simbolizando todos os parágrafos. O bloco de declaração é o que está dentro das chaves, aplicando alinhamento e cores aos parágrafos.

CSS é dividido em módulos, que representam conjuntos de funcionalidades, contendo aproximadamente 50 deles. Cada módulo evolui separadamente, esta abordagem é preferível pois

CSS3

Taxonomy & Status (October 2014)

- W3C Recommendation
- Candidate Recommendation
- Last Call
- Working Draft
- Obsolete or inactive



By Sergey Mavrody 2011-14 | CC Attribution-ShareAlike 3.0

Fig. 4.5: Os módulos do CSS

Fig. 4.6: *

Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CSS3_taxonomy_and_status-v2.png

permite uma maior entrega de novas funcionalidades visto que novos recursos não dependem da aceitação de outros para serem disponibilizados.

Além dos módulos, CSS também é organizado por perfis e níveis.

Os perfis do CSS organizam a especificação por dispositivo de utilização. Existem perfis para dispositivos móveis, televisores, impressoras, etc. A aplicabilidade das regras do CSS varia dependendo do perfil. O conteúdo do elemento *strong*, por exemplo, pode ser traduzido em uma entonação mais forte em um leitor de telas, já em um navegador convencional pode ser apresentado como negrito.

Já os níveis organizam o CSS por camadas de abstração. Os níveis inferiores representam as funcionalidades vitais do CSS, os níveis superiores dependem dos inferiores para construir as funcionalidades elaboradas.

A primeira especificação do CSS, CSS1 (ou nível 1) foi lançada em 1996. Em 1997 foi lançado o CSS2 com o intuito de ampliar a completude do CSS1. Em 1998 iniciou-se o desenvolvimento do CSS3 que ainda continua em 2015. Além do nível 3 existem módulos de nível 4 no CSS, não obstante o termo CSS3 ainda é o mais utilizado.

Apesar da clara evolução das versões do CSS, esse processo nem sempre é linear. Em 2005 o grupo de trabalho do CSS decidiu aumentar a restrição de suas especificações rebaixando o CSS 2.1, Seletores do CSS3 e Texto do CSS3 de recomendações para rascunhos.

A última versão do CSS, o CSS3, introduziu várias funcionalidades relevantes para jogos, como *media-queries*, transições, transformações 3D, entre outros.

```
@media only screen and (min-width: 1024px) {
  background-color: green;
}
```

Fig. 4.7: Exemplo de Media Query

```
@custom-media --narrow-window (max-width: 30em);

<script>
CSS.customMedia.set('--foo', 5);
</script>
```

Fig. 4.8: Exemplo de media queries customizados

Fig. 4.9: *

Fonte: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/CSS/MediaQueries>

4.6.1 Media Queries

Media Queries permitem aplicar regras a dispositivos específicos, dependendo de suas capacidades, como resolução, orientação, tamanho de tela, entre outros. A especificação prevê a possibilidade de condicionalmente carregar arquivos JavaScript ou CSS, ou utilizar seletores dentro do CSS de acordo com regras de Media Queries.

Esse carregamento condicional permite implementar fluidez e adaptabilidade de layout para diferentes resoluções. Que segundo Janiszewski 2014 é o mais importante aspecto do desenvolvimento de jogos multiplataforma com as tecnologias da WEB.

A figura 4.7 demonstra a aplicação de uma regra via seletor Media Query, aplicando o a cor de fundo para dispositivos com no mínimo 1024 pixels de resolução.

CSS nível 4 permite a utilização de media queries (*Custom Media Queries*) criados pelo usuário, com regras e definições customizadas. A figura 4.8 demonstra as novas possibilidades de definição de media queries tanto em CSS como em JavaScript.

4.6.2 Transições

Transições são uma forma de adicionar animações em uma página web. Estas animações são compostas por um estado inicial e um final. A especificação de transições permite grande controle sobre seus estados, habilitando o desenvolvedor a controlar o tempo de execução, os estados intermediários, e efeitos aplicados uma transição.

Para utilizar transições, assim como em uma máquina de estados, precisamos identificar estados e ações. Estados são seletores do CSS e ações são modificações realizadas entre esses dois seletores CSS (Kuryanovich et al. 2014).

Transições são interessantes em jogos, especialmente pois muitos navegadores suportam


```
div {
  width: 100px;
  height: 100px;
  background: red;
  transition: width 2s;
}

div:hover {
  width: 300px;
}
```

Fig. 4.10: Exemplo de transição

aceleração de GPU (Unidade de processamento gráfico) para estas operações. Isso garante grandes benefícios de performance sobre implementações diretamente em JavaScript.

Segundo Kuryanovich et al. 2014 transições nos permitem construir jogos degradáveis pois os interpretadores de CSS são amigáveis; se eles encontrarem propriedades desconhecidas eles simplesmente as ignoram e continuam a funcionar.

A figura 4.10 demonstra a utilização de uma transição de tamanho em uma *div* quando o mouse está sobre o elemento. No período de 2 segundos a largura da *div* vai de 100 pixels para 300 pixels.

Atualmente um conjunto finito de propriedades podem ser animadas com transições, e essa lista tende a mudar com o tempo, cabe ao desenvolvedor assegurar-se que determinada propriedade está disponível (*Using CSS transitions*).

4.6.3 Transformações 3D

Transformações é outra tecnologia do CSS3 que permite grande flexibilidade na construção de jogos. Transformações permitem que elementos sejam traduzidos, rotacionados, escalados e distorcidos em um espaço de duas dimensões (Kuryanovich et al. 2014).

A transformação demonstrada na figura 4.11 escala o tamanho do elemento com a classe (*test*) para vinte por cento a mais do seu tamanho original. Perceba também os comandos repetidos com o prefixo ms e WebKit. Esse tipo de abordagem é comum para tecnologias que não passam de rascunhos na especificação.

Assim como transições, as transformações são muitas vezes aceleradas via GPU incrementando a performance de animações criadas com a tecnologia.

4.6.4 CSS 4

Apesar de o termo CSS 4 ser bastante utilizado, o grupo de trabalho do CSS não considera mais a existência de versões, como foi até o CSS3. Não obstante existem recursos cuja especi-

```

<style>
.test:hover
{
    -webkit-transform: scale(1.2);
    -ms-transform: scale(1.2);
    transform: scale(1.2);
}
</style>

```

Fig. 4.11: Exemplo de transformação

funcionalidade está avançada e não estavam presentes no CSS 3 quando este foi lançado, dentre estas funcionalidades inclui-se:

- Suporte a variáveis no CSS
- Media queries customizadas
- Funções de cores como: `color()`, `hwb()` e `gray()`
- Suporte a filtros

Recursos recentes do CSS muitas vezes não estão presentes nos navegadores, não obstante muitos deles são interessantes no contexto de desenvolvimento de jogos, como o suporte a variáveis.

O projeto `cssnext` <http://cssnext.io/> é uma iniciativa para permitir a utilização dos recentes recursos do CSS mesmo sem os mesmos estarem implementados nos navegadores. O projeto funciona compilando o código não suportado em algo compatível com versões para as versões implementadas pelos navegadores.

Além da apresentação, recurso vital para jogos, e aplicativos web em geral, é a iteratividade. Com as tecnologias da WEB esta iteratividade é atingida através do JavaScript.

4.7 JAVASCRIPT

EMAScript, melhor conhecida como JavaScript, criada por Brendan Eich em 1992, é a linguagem de script da Web. Devido a tremenda popularidade entre comunidade de desenvolvedores a linguagem foi abraçada pela W3C e atualmente é um dos componentes da Open Web.

As definições da linguagem são descritas na especificação ECMA-262. Esta possibilitou o desenvolvimento de outras implementações além da original (SpiderMonkey) como o Rhino, V8 e TraceMonkey; bem como outras linguagens similares como JScript da Microsoft e o ActionScript da Adobe.

Segundo a *ECMAScript 2015 Language Specification*:

Uma linguagem de script é uma linguagem de programação que é usada para manipular e automatizar os recursos presentes em um dado sistema. Nesses sistemas funcionalidades já estão disponíveis através de uma interface de usuário, uma linguagem de script é um mecanismo para expor essas funcionalidades para um programa protocolado.

No caso de JavaScript na web, os recursos manipuláveis são o conteúdo da página, elementos HTML, elementos de apresentação, a própria janela do navegador e variados outros recursos que tem suporte adicionado por novas especificações.

A intenção original era utilizar o JavaScript para dar suporte aos já bem estabelecidos recursos do HTML, como para validação, alteração de estado de elementos, etc. Em outras palavras, a utilização do JavaScript era opcional e as páginas da web deveriam continuar operantes sem a presença da linguagem.

Não obstante, com a construção de projetos Web cada vez mais complexos, as responsabilidades delegadas ao JavaScript aumentaram a ponto que a grande maioria dos sistemas web não funcionarem sem ele. JavaScript não evoluiu ao passo da demanda e muitas vezes carece de definições expressivas, completude teórica, e outras características de linguagens de programação mais bem estabelecidas, como o C++ ou Java (Barnett 2014).

A última do JavaScript, o JavaScript 6, é um esforço nessa direção. JavaScript 6 ou ECMAScript Harmonia, contempla vários conceitos de orientação a objetos como classes, interfaces, herança, tipos, etc. Não obstante o suporte ao JavaScript 6 é apenas parcial em todos os navegadores. O site <http://kangax.github.io/compat-table/es6/> apresenta um comparativo de suporte das funcionalidades do JavaScript.

Segundo *ECMAScript 6 Today* o suporte no início de 2015 era o seguinte:

- Chrome: 30%
- Firefox: 57%
- Internet Explorer : 15%
- Opera: 30%
- Safari: 19%

Estes esforços de padronização muitas vezes não são rápidos o suficiente para produtores de software web, demora-se muito até obter-se um consenso sobre quais as funcionalidades desejadas em determinada versão e seus detalhes de implementação. Além da espera por especificações, uma vez definidas, é necessário que os navegadores especificado.

O projeto babel <https://github.com/babel/babel> é um compilador de JavaScript 6 para JavaScript 5. Permitindo que, mesmo sem suporte, os desenvolvedores possam usufruir dos benefícios da utilização do JavaScript 6 durante o tempo de desenvolvimento, gerando código em JavaScript 5 para rodar nos navegadores.

Alternativamente, existe uma vasta gama de conversores de código (*transpilers*) para JavaScript; possibilitando programar em outras linguagens posteriormente gerando código JavaScript⁴. Entretanto, essa alternativa tem seus pontos fracos, necessita-se de mais tempo de depuração, visto que o JavaScript gerado não é conhecido pelo desenvolvedor, e provavelmente o código gerado não será tão otimizado, nem utilizará os recursos mais recentes do JavaScript.

Mesmo com suas fraquezas amplamente conhecidas, JavaScript está presente em praticamente todo navegador atual. Sendo uma espécie de denominador comum entre as plataformas. Essa onipresença torna-o integrante vital no processo de desenvolvimento de jogos multiplataforma em HTML5. Vários títulos renomeados já foram produzidos que fazem extensivo uso de JavaScript, são exemplos: Candy Crush Saga, Angry Birds, Dune II, etc.

Jogos Web são geralmente escritos na arquitetura cliente servidor, JavaScript pode rodar em ambos estes contextos, para tanto, sua especificação não define recursos de plataforma. Distribuidores do JavaScript complementam a o JavaScript com recursos específicos para suas plataformas alvo. Por exemplo, para servidores, define-se objetos como: console, arquivos e dispositivos; no contexto de cliente, são definidos objetos como: janelas, quadros, DOM, etc.

Para o navegador o código JavaScript geralmente é disposto no elemento script dentro de arquivos HTML. Quando os navegadores encontram esse elemento eles fazem a requisição para o servidor e injetam o código retornado no documento, e a não ser que especificado de outra forma, iniciam sua execução.

4.7.1 JAVASCRIPT 7

Antes da finalização da especificação 6, algumas funcionalidades do JavaScript 7 já haviam sido propostas. Na página <https://github.com/tc39/ecma262> pode-se conferir os itens propostos e seu estágio de evolução. A figura 4.13 é a tabela de funcionalidades sugeridas e seu estágio no caminho da especificação.

Alguns dos recursos esperados para o JavaScript 7 são: guards, contratos e concorrência no laço de eventos (*A first look at what might be in ECMAScript 7 and 8*).

4.7.2 ASM.JS

Asm.js é um subconjunto da sintaxe do JavaScript a qual permite grandes benefícios de performance quando em comparação com JavaScript normal. Entretanto, não é trivial escrever código em asm.js e geralmente a criação de código asm.js é feita através da conversão de outras linhagens como C. O projeto Emscripten <https://github.com/kripken/emscripten> pode ser utilizado para gerar código em asm.js é utilizado pelo motor de jogos Unity 3D e Unreal.

No contexto dos jogos performance é um fator de extrema importância asm.js se destaca por utilizar recursos que permitam otimizações antes do tempo (*ahead of time optimizations*). Grande parcela da performance adicional, em relação ao JavaScript, é devido a consistência de tipo e a

⁴Uma lista das tecnologias para converter código HTML pode ser encontrada nos apêndices

	Proposal	Champlon	Stage
	Array.prototype.includes	Domenic Denicola, Rick Waldron	4
	Exponentiation Operator	Rick Waldron	3
	SIMD.JS - SIMD APIs + polyfil	John McCutchan, Peter Jensen, Dan Gohman, Daniel Ehrenberg	3
	Async Functions	Brian Terlson	3
	Object.values/Object.entries	Jordan Harband	3
	String padding	Jordan Harband & Rick Waldron	3
	Trailing commas in function parameter lists and calls	Jeff Morrison	3
	function.sent metaproperty	Allen Wirfs-Brock	2
	Rest/Spread Properties	Sebastian Markbage	2
	ArrayBuffer.transfer	Luke Wagneer & Allen Wirfs-Brock	1
	Additional export-from Statements	Lee Byron	1
	Class and Property Decorators	Yehuda Katz and Jonathan Turner	1
	Function.prototype.toString revision	Michael Ficarra	1
	Observable	Kevin Smith & Jafar Husain	1
	String.prototype.{trimLeft,trimRight}	Sebastian Markbage	1
	Class Property Declarations	Jeff Morrison	1
	String#matchAll	Jordan Harband	1
	Shared memory and atomics	Lars T Hansen	1
	Callable class constructors	Yehuda Katz and Allen Wirfs-Brock	1
	System.global	Jordan Harband	1

Fig. 4.12: Propostas do ECMA 7

Fig. 4.13: *

Fonte: <https://github.com/tc39/ecma262>

não existência de um coletor de lixo (*garbage collector*) a memória é gerenciada manualmente através de um grande vetor. Esse modelo simples desprovido de comportamento dinâmico, sem alocação e desalocação de memória, apenas um bem definido conjunto de operações de inteiros e flutuantes possibilita grade performance e abre espaço para otimizações.

O desenvolvimento do asm.js iniciou-se no final de 2013 não obstante a maioria dos navegadores não implementam ou implementam parcialmente o rascunho. O motor JavaScript da Mozilla, SpiderMonkey, é a exceção, implementando a grande maioria dos recursos do asm.js.

4.7.3 WEB Assembly

Web Assembly é uma tecnologia que pretende definir um formato de máquina da Web. A tecnologia ainda está em seus estágios iniciais de desenvolvimento, nem conta com um grupo de trabalho. Não obstante, sabe-se que WEB Assembly irá permitir que outras linguagens além do JavaScript gerem código binário que rode nos navegadores com grande ganhos de performance e flexibilidade.

Além da versão binária, otimizada para performance, uma versão em texto também está prevista, ideal para desenvolvimento e depuração. Bibliotecas aplicações que requeiram grande performance como motores de física, simulações e jogos em geral vão se beneficiar substancialmente com o Web Assembly.

A iniciativa do Web Assembly está sendo desenvolvida pelo Google, Microsoft, Mozilla, entre outros, tornando a proposta uma possibilidade promissora. Seu objetivo não é substituir o JavaScript, outrossim habilitar que aplicações que necessitem de grande performance possam ser inclusas na WEB. A ideia do WEB Assembly é uma continuação do trabalho do asm.js, uma forma de trazer performance similar a nativa eliminando grande parte das abstrações que o traz JavaScript embutidas.

Visto que os desenvolvedores de motores JavaScript terão que colocar o código do Web Assembly na mesma base que o do JavaScript as expectativas são de que o JavaScript consiga aproveitar partes da implementação do Web Assembly incrementando a performance do JavaScript.

A aplicabilidade do Web Assembly em jogos em produção ainda é praticamente nula. Até então apenas um polyfill do Web Assembly está disponível e pode ser encontrado no seguinte link https://github.com/Web_Assembly/polyfill-prototype-1. Mas conforme a especificação evolui a probabilidade é que as empresas interessadas implementem a especificação em seus navegadores e os desenvolvedores de jogos comecem a integrar a tecnologia em suas aplicações.

4.7.4 Web Animations

Web Animations é uma especificação em rascunho que define uma forma imperativa de manipular animações através de JavaScript. Como demonstrado na figura 4.15 a tecnologia vai permitir manipular as animações de elementos do DOM, com a possibilidade de filtrar por tipo

```

elem.getAnimations().filter(
  animation =>
    animation.effect instanceof
    KeyframeEffectReadOnly &&
    animation.effect.getFrames().some(
      frame => frame.hasOwnProperty('transform')
    )
).forEach(animation => {
  animation.currentTime = 0;
  animation.playbackRate = 0.5;
});

```

Fig. 4.14: Exemplo de utilização de WEB Animations

Fig. 4.15: *

Fonte: <http://www.w3.org/TR/WEB-animations/>

de animação, alterar a taxa de animações, o tempo de execução, entre outras propriedades de uma forma dinâmica - através de scripts.

Visto que Web Animations lida diretamente com o DOM, animações podem ser aplicadas para SVG além de CSS, servindo como uma tecnologia para unificar animações.

Grande controle sobre animações é desejável para os jogos, não obstante, visto que a especificação é muito nova somente o Google Chrome a implementa. A biblioteca <https://github.com/web-animations/web-animations-js> serve como polyfill para os demais navegadores.

O site <http://web-animations.github.io/web-animations-demos/> contém uma coleção de animações utilizando a tecnologia.

4.8 NAVEGADORES

Navegadores são aplicações, onde as tecnologias da OWP são interpretadas e geram um conteúdo útil para os usuários.

Navegadores geralmente são os clientes em uma arquitetura cliente servidor. O servidor geralmente é um servidor WEB que disponibiliza páginas HTML para o navegador processar. A comunicação entre o navegador e o servidor se dá através da troca de mensagens no protocolo HTTP.

Nos navegadores os usuários necessitam saber o endereço de determinado servidor, ou utilizar buscadores para auxiliá-los. Este é um processo árduo para as plataformas móveis pois necessitam maior interação dos usuários e não são “naturais” se comparado ao modo de consumir aplicativos nestas mesmas plataformas – simplesmente adquirindo o aplicativo na loja e abrindo-o no sistema operacional. Algumas formas de contornar este problema serão descritos nas tecnologias offline.

Uma vez localizado o endereço o cliente manda uma mensagem em http requisitando o conteúdo de determinado endereço. O servidor responde a mensagem HTTP com um documento HTML e o cliente, ao receber, começa o processo de renderização. A renderização consiste na decodificação de um documento em HTML para sua representação memória e posterior pintura no espaço de tela do navegador. Para concluir o processo de renderização o navegador pode requisitar outros arquivos a fim de completar a experiência desejada para o endereço em questão.

O processo de renderização é complexo e a grande maioria dos navegadores confia em bibliotecas especializadas para efetuar este trabalho.

Alguns motores de renderização incluem:

- Blink: Utilizada no Chromium e projetos relacionados, Opera
- Gecko: Utilizada nos produtos da Mozilla
- KHTML: Utilizada no navegador Konqueror, esta serviu de base para o Blink
- WebKit: Utilizada no Safari e versões antigas do Google Chrome.

Para interpretar HTML o motor WebKit utiliza a biblioteca Bison, já o Gecko utiliza uma biblioteca própria (Garisel e Irish 2011).

O código que é executado no lado do servidor geralmente é terceirizado pelos navegadores. As bibliotecas que executam JavaScript são os motores de JavaScript.

- SpiderMonkey: Primeiro motor, desenvolvido por Brendan Eich, escrito em C++
- Rhino: Criada pela Netscape, escrito em Java
- Nitro: Criada pela Apple
- V8: Criada pelo Google
- TraceMonkey: Criada pela Mozilla

O suporte ao HTML vem crescendo com o tempo, o site HTML5Test <http://html5test.com/about.html>, oferece um placar atualizado dinamicamente, conforme utilização dos navegadores, sobre os recursos do HTML.

A figura 4.18 apresenta o gráfico de suporte por versões de navegadores em dezembro de 2015.

4.9 ANDROID

TIMELINE



Fig. 4.16: Suporte das especificações do HTML nos navegadores

É um sistema operacional open-source desenvolvido pela Google. Utiliza o kernel Linux . Softwares para Android são geralmente escritos em Java e executados através da máquina virtual Dalvik.

É similar a máquina virtual Java, mas roda um formato de arquivos diferenciado (dex), otimizados para consumir pouca memória, que são agrupados em um único Android Package (apk) Android permite a renderização de documentos HTML através de sua própria API WEBVIEW. Ou através do navegador disponibilizado por padrão, ou outros de terceiros como o Google Chrome, Firefox, Opera, etc.

No quesito jogos para dispositivos móveis é preferível disponibilizar os jogos através da interface nativa pois dá a sensação de continuidade para com os demais aplicativos instalados no dispositivo.

4.10 DETECÇÃO DE RECURSOS

Visto que nenhum navegador implementa as especificações HTML completamente cabe ao desenvolvedor detectar os navegadores que não comportam as necessidades tecnológicas dos aplicativos que cria. Ao deparar-se com uma funcionalidade faltante o desenvolvedor tem duas possibilidades: notificar o usuário sobre o problema ou utilizar polyfills.

Polyfills são recursos que simulam uma funcionalidade não disponível nativamente nos navegadores. A biblioteca Gears <https://developers.google.com/gears> é um exemplo. Gears serve para prover recursos de Geolocalização para navegadores que não implementam a especificação do HTML5.

Essa capacidade de suportar tecnologias que não estão ainda disponíveis (ou nunca estarão no caso de dispositivos legados) através de polyfills é uma das características que faz a WEB uma plataforma de tão grande abrangência. Novas tecnologias são criadas a todo o momento; entretanto, o suporte a essas funcionalidades geralmente não acompanham o passo das inovações. E ainda assim os usuários podem se beneficiar de uma taxa substancial delas através de polyfills.

Algumas funcionalidades do HTML, como geolocalização e vídeo foram primeiramente disponibilizadas através de plugins. Outras funcionalidades, como o canvas, podem ser totalmente emuladas via JavaScript (Pilgrim 2010).

Detectar suporte aos variados recursos do HTML5 no navegador pode ser uma tarefa entediante. É possível implementar testes para cada funcionalidade utilizada abordando os detalhes de implementação de cada uma ou então fazer uso de alguma biblioteca especializada neste processo. O Modernizr é uma opção open-source deste tipo de biblioteca, este gera uma lista de booleanos sobre grande variedade dos recursos HTML5, dentre estes, geolocalização, canvas, áudio, vídeo e armazenamento local.

A quantidade de especificações que um aplicativo complexo como um jogo utiliza pode ser bem grande, e muitas vezes é difícil dizer qual quais navegadores implementam o quê. Uma

```
<svg height="100" width="100">
  <circle cx="50" cy="50" r="40" stroke="black" stroke-width="3"/>
  Sorry, your browser does not support inline SVG.
</svg>
```

Fig. 4.17: Círculo em SVG.

boa referência do suporte a recursos nos navegadores é o site <http://caniuse.com/>.

4.11 RENDERIZAÇÃO

Renderização é parte fundamental de muitos jogos. As tecnologias atualmente existentes são o SVG e Canvas.

4.11.1 SVG

! SVG (*Gráficos de vetores escaláveis*), é uma linguagem baseada em XML especializada na criação de vetores bidimensionais (Kuryanovich et al. 2014). Por usar XML SVG permite a utilização da API do DOM para manipular os elementos.

Entre os benefícios do SVG encontram-se:

- Não há diferença de qualidade em resoluções pois os vetores são escaláveis;
- Suporta animações nativamente;
- Conta com integração através da api do DOM. Tornando simples a integração com as outras tecnologias da web.

Um aspecto negativo do SVG é que é muito difícil atingir a perfeição na posição dos pixels, por ser uma linguagem vetorizada (Kuryanovich et al. 2014).

4.11.2 CANVAS

! O elemento *canvas* define uma camada de mapa de bits em documentos HTML que pode ser usada para criar diagramas, gráficos e animações 2D. Foi criada pela Apple em 2004 para renderizar elementos de interface no Webkit, logo foi adotado por outros navegadores e se tornou um padrão.

Em um documento HTML, canvas é um retângulo onde pode-se usar JavaScript para desenhar (Pilgrim 2010, pp. 113). Manipular o retângulo é uma analogia de como desenhar manualmente, move-se o "lápiz" para o local desejado, e traça-se os pontos onde a linha deve percorrer - similar ao planejamento. E desenha-se efetivamente, preenchendo os pontos

demarcados.

Além da possibilidade de desenhar programaticamente é possível carregar gráficos. A maioria dos jogos HTML5 utilizam sprites ou padrões recortáveis *tiled*, muito similar aos títulos antigos da SNES e Game Boy (*Introductory Guide to Building Your First HTML5 Game*).

Os desenhos do canvas não podem ser acessados via dom nem serem manipulados via CSS, todas as modificações necessárias devem ser feitas via JavaScript.

Segundo Prado 2012 uma característica importante deste [canvas] elemento é que ele consegue redimensionar seu conteúdo para adequar à resolução do navegador do usuário.

O canvas até aqui descrito trata-se de sua forma, ou contexto 2D. A especificação 3D do canvas é o WebGL.

4.11.3 WEBGL

WebGL é uma API JavaScript otimizada desenhar gráficos em três dimensões. WebGL é ideal para a criação de ambientes virtuais, jogos e simulações. Por ser uma tecnologia da OWP WebGL foi especificado para funcionar nativamente nos navegadores sem a ajuda de plugins ou ferramentas de terceiros.

WebGL foi desenvolvido baseando-se na especificação OpenGL, que trata de definir como renderizar gráficos multiplataforma, especificamente OpenGL ES 2.0, uma versão do OpenGL otimizada para dispositivos móveis. O órgão que especifica o WebGL é o mesmo que especifica o OpenGL, o grupo sem fins lucrativos Khronos. Os primeiros rascunhos do WebGL iniciaram em 2006, não obstante o grupo de trabalho não foi formado até 2009. E a primeira versão do foi lançada em 2011.

Apesar de ter sido desenvolvido com foco em 3D, WebGL pode ser igualmente utilizado para criação de gráficos em duas dimensões (Matti e Arto 2011, pp. 6). O elemento do DOM que provê a interface do WebGL é o canvas, no contexto 3D. Essa integração com o DOM via tag canvas permite que o WebGL seja manipulado assim como os demais elementos HTML.

Especificação é composta por uma API de controle em JavaScript e o processamento shaders do lado da GPU (Central de processamento gráfico).

4.11.4 Shaders

Shaders são scripts que definem níveis de cor ou efeitos especiais sobre um modelo 2D ou 3D. Contam com grande performance, possibilitando conteúdo em tempo real (como no caso de jogos) por executarem dentro da GPU. São utilizados no cinema, em imagens geradas por computadores e vídeo games.

Existem dois shaders principais, de vértices e fragmentos. Shaders de vértices são cha-

dados para cada vértice sendo desenhado definindo suas posições e shaders de fragmentos a cor para cada pixel a ser desenhado (Matti e Arto 2011, pp.15).

Kuryanovich et al. 2014 cita que conforme a habilidade do desenvolvedor aumenta, mover funções antes delegadas ao JavaScript para os shaders pode aumentar a performance e oferecer uma ampla coleção de efeitos e realismo.

Um site interessante para explorar exemplos WebGL avançados é o blog <http://learningwebgl.com> que conta com tutoriais cobrindo áreas como diferentes tipos de iluminação, carregamento de modelos em JSON, gerenciando eventos do mouse e teclado; e como renderizar uma cena WebGL em uma textura (Matti e Arto 2011, pp.42).

Apesar da relevância, WebGL não foi utilizado no protótipo pois ainda não está completamente suportado em navegadores populares como o Firefox e a grande curva de aprendizado do WebGL puro é muito grande para se encaixar no escopo deste projeto.

Uma tecnologia que se integra profundamente como ambientes virtuais em três dimensões criados via OpenGL é o WebVR.

4.11.5 WEBVR

Segundo Brooks 1999 realidade virtual é uma experiência em que o usuário é efetivamente imerso em um mundo virtual responsivo. Realidade virtual é uma área nem tão nova mas que recebeu interesse renovado recentemente. Isso se dá, pelo menos me parte, pela massificação dos dispositivos móveis inteligentes. O hardware necessário para fornecer uma experiência minimamente viável como acelerômetros, câmeras e telas de alta resolução está disponível em praticamente todos os dispositivos comercializados.

Realidade virtual é uma área de grande interessa para os produtores de jogos, pois pode oferecer alto nível de imersão nos já interativos e desafiadores ambientes dos jogos.

A WebVR é uma especificação que pretende trazer os benefícios da realidade virtual para dentro do mundo da WEB. Em termos simples a especificação define uma forma de traduzir movimentos de acelerômetros e outros sensores de posição e movimentos para dentro do contexto de uma um contexto 3D através de JavaScript.

Atualmente a especificação do WebVR se encontra em fase de rascunho e as últimas versões do Firefox, e versões compiladas manualmente do Google Chrome já permitem a utilização.

4.12 WebCL

É uma API em JavaScript para o recursos de OpenCL que permitem computação paralela com grandes ganhos de performance. Aplicativos como motores de física e renderizadores de imagens, ambos relevantes para os jogos, podem se beneficiar grandemente de processamento feito em paralelo, possivelmente na GPU. OpenCL é um framework para escrever programas que funcionem em plataformas com diversas unidades de processamento, assim como WebGL e WebCL é especificada e desenvolvida pelo grupo Khronos.

A primeira versão da especificação foi no início de 2014 mas até então nenhum navegador implementa o definido.

4.13 CODECS

Codec é o algoritmo usado para codificar e decodificar vídeo ou áudio em um conjunto de bits (Pilgrim 2010). O termo Codec é um acrônimo, significando o processo de codificar um fluxo de dados para armazenamento e decodificá-lo para ser consumido. O objetivo dos codecs é diminuir o tamanho dos arquivos com a menor perda de qualidade possível, para isso os codecs utilizam de várias estratégias de compressão ou descarte de dados; podendo rodar tanto em hardware quanto em software.

O funcionamento de codecs pode variar muito, conforme as estratégias de compressão utilizadas, a quantidade de bits por segundo, entre outros fatores. Visto que os algoritmos de compressão podem adquirir grande complexidade muitos codecs são encobertos por licenças que limitam sua utilização. Não obstante, também existem opções livres de patentes e licenças.

Após ter sido codificado um fluxo de dados é armazenado em um contêiner. Contêiners são um padrão de metadados sobre as informações codificadas de modo a possibilitar que outros programas consigam interpretar estas informações de forma padronizada. Assim como codecs existem contêiners livres e com restrições de licença.

O suporte a codecs e contêiners na WEB varia de navegador para navegador, de acordo com as preferências mercadológicas, técnicas ou filosofias das empresas por trás dos navegadores. Segundo Pilgrim 2010 não existe uma única combinação de contêiner e codecs que funcionem em todos os navegadores.

4.14 ÁUDIO

Áudio é um componente vital para oferecer imersão e feedback aos usuários de jogos. O componente de áudio é especialmente útil para jogos de ação (Vahatupa 2014). Efeitos de som e música podem servir como parte da mecânica do jogo.

Abaixo segue uma lista dos codecs mais comuns em áudio:

- MP3: comumente utilizado mas não é livre de patentes
- ACC: avançado mas também conta com problemas de patentes
- Vorbis: livre de patentes

A figura 4.18 é um comparativo interessante sobre os formatos existentes, considerando o fator taxa de bits versus qualidade.

HTML5 especifica duas formas de utilizar áudio na WEB. Através do elemento HTML áudio ou através da API JavaScript de áudio.



Fig. 4.18: Comparação de codecs de áudio

```
<audio controls>
<source src="horse.ogg" type="audio/ogg">
<source src="horse.mp3" type="audio/mpeg">
Your browser does not support the audio element.
</audio>
```

Fig. 4.19: Exemplo de utilização da tag áudio

Fig. 4.20: *

Fonte: http://www.w3schools.com/HTML/HTML5_audio.asp

4.14.1 TAG ÁUDIO

A tag *audio* define um som dentro de um documento HTML. Quando o elemento é renderizado pelos navegadores, ele carrega o conteúdo que pode ser reproduzido pelo programa dentro do navegador.

A imagem 4.19 demonstra a utilização da tag *audio*. Os elementos *source* demonstrados na figura referenciam a arquivos de áudio contendo um contêiner e codec específico, mais de um elemento *source* por áudio é necessário para dar suporte aos diferentes navegadores.

A especificação declara que todo o conteúdo dentro de uma tag áudio (e vídeo também), que não sejam tags *source*, sejam ignoradas pelo navegador. O que permite que seja adicionada marcação de reserva para tratar os casos de quando não existe suporte a tag *audio* no navegador.

O objetivo inicial da tag *audio* é reproduzir um som e parar. Ideal para ouvir música, como um som de fundo. Entretanto, a tag *audio* não é o suficiente para comportar aplicações de

áudio complexas (*Web Audio API*). A grande maioria de jogos muitas vezes precisam lançar múltiplos sons derivados de ações de usuário e outros eventos, nestes casos a API de áudio é mais adequada.

4.14.2 API DE ÁUDIO

É uma interface experimental (ainda em rascunho) em JavaScript para criar e processar áudio. O objetivo da especificação é incluir capacidades encontradas em motores de jogos modernos e também permitir o processamento, mistura e filtragem, funcionalidades que estão presentes nas aplicações de processamento de áudio modernas para desktop (*Web Audio API*).

A API especificada provê uma interface para manipular nodos de áudio que podem ser conectados permitindo refinado controle sobre os efeitos sonoros. O processamento se dará primeiramente em uma cada inferior (tipicamente código Assembly / C / C++), mas síntese e processamento em JavaScript também será suportado (*Web Audio API*).

Essa tecnologia é muito mais nova do que a tag áudio. Diferentemente dos demais navegadores o Internet Explorer não dá nenhum nível de suporte a API. O polyfill <https://github.com/shinnn/AudioContextPolyfill> suporta as partes básicas da API e pode ser utilizada nos casos onde não existe suporte para a API do HTML.

Áudio Workers

As últimas versões da especificação contam com a possibilidade de manipular a API de áudio através de WEB Workers, o que traz oportunidades interessantes para aplicações que dependam de muito processamento de áudio, de modo que este processamento possa ser feito em uma thread separada.

4.15 VÍDEO

O elemento *video* especifica uma forma de adicionar vídeos nativamente, sem necessitar depender de plugins de terceiros como o Flash Player. Pode-se adicionar um arquivo através do atributo *src* do elemento ou adicionar vários formatos de contêiner e codec dentro do elemento através de elementos *source*. Assim como o elemento *audio* o navegador decidirá em tempo de execução qual formato executar dependendo de suas capacidades.

Pode-se controlar quais partes do vídeo serão mostradas através de parâmetros de tempo. Através do elemento *track* é possível informar subtítulos para os vídeos sendo apresentados. A figura 4.22 demonstra a utilização das funcionalidades descritas acima.


```
<video controls style="width:640px;height:360px;" poster="poster.png">
  <source src="devstories.webm"
    type='video/webm;codecs="vp8, vorbis"' />
  <source src="devstories.mp4"
    type='video/mp4;codecs="avc1.42E01E, mp4a.40.2"' />
  <track src="devstories-en.vtt" label="English subtitles"
    kind="subtitles" srclang="en" default></track>
</video>
```

Fig. 4.21: Exemplo de utilização de vídeo

Fig. 4.22: *

Fonte: <http://www.html5rocks.com/en/tutorials/video/basics/>

É possível aplicar escala de cinza do CSS sobre o elemento vídeo e conseguir efeitos interessantes.

Apesar de geralmente não serem peça central dos jogos vídeos são usualmente observados como introduções ou cinemáticas.

AVI e MP4 são apenas contêiner de formatos. Como um arquivo zip, podendo conter qualquer coisa dentro de si (Pilgrim 2010).

Existem formatos desenvolvidos especificamente para a Web. Buscam uma razão de tamanho e qualidade aceitável, mas prezando por tamanho. A maioria dos codecs de vídeo não mudam todo o conteúdo de um quadro para o próximo, possibilitando maiores taxas de compressão, que resulta em arquivos menores (Pilgrim 2010).

Segue uma lista de alguns dos contêiners de vídeo:

- MPEG4
- Flash Video
- Ogg (for video Theora), (audio Vorbis)
- WebM
- Matroska
- Audio Video Interleave

Alguns codecs de vídeo

- H.264, is one of the video codecs mandated by the Blue-Ray specification
- Theora, native in Linux
- VP8 royalty free from Google

4.16 ARMAZENAMENTO

Uma das grandes limitações do HTML era a ausência de capacidade de armazenamento de dados no lado do cliente. Antes do HTML5 a única alternativa era usar cookies, os quais tem um armazenamento de no máximo 4k e trafegam em toda a requisição, tornando o processo lento. Essa área era onde as aplicações nativas detinham grande vantagem sobre as aplicações web. O HTML5 solucionou este problema introduzindo várias formas de armazenamento de dados («Smart Phones Application development using HTML5 and related technologies: A tradeoff between cost and quality»).

Armazenamento local é um recurso importante para jogos, tanto por diminuir a latência da persistência na rede, quanto para possibilitar uma experiência offline.

Existem algumas especificações sobre armazenamento, mas a grande parte delas não conta como suporte completo em todos os navegadores comuns, um polyfill interessante para Web Storage e IndexedDB é o projeto localForge <https://github.com/mozilla/localForage> da Mozilla.

4.16.1 WEB SQL

A especificação Web SQL introduz uma API para manipular banco de dados relacionais em SQL. A especificação suporta transações, operações assíncronas e um tamanho de armazenamento substancial: 5 megabytes, o qual pode ser estendido pelo usuário.

O grupo de trabalho do Web SQL iniciou-se em 2010 e foi suspenso ainda como rascunho. Apesar de ser um recurso desejável para muitos desenvolvedores, foi descontinuada pelos motivos descritos abaixo.

Segundo Pilgrim 2010

Todos os implementadores interessados em Web SQL utilizaram a mesma tecnologia (Sqlite), mas para a padronização ficar completa é necessário múltiplas implementações. Até outro implementador se interessar em desenvolver a especificação a descrição do dialeto SQL apenas referencia o SQLITE, o que não é aceitável para um padrão.

Não obstante, a especificação ainda é suportada pelo Google Chrome, Safari, Opera e Android, entre outros. Mas até que outros implementadores se prontifiquem a especificação continuará suspensa. No lugar do Web SQL a W3C recomenda a utilização do Web Storage e do IndexedDB.

4.16.2 WEB STORAGE

Web Storage, também conhecido como Local Storage, provê uma forma de armazenar os dados como chave valor dentro do navegador. Os dados são persistidos mesmo que o navegador seja fechado.

```
// Store value on browser for duration of the session
sessionStorage.setItem('key', 'value');

// Retrieve value (gets deleted when browser is closed and re-opened)
alert(sessionStorage.getItem('key'));

// Store value on the browser beyond the duration of the session
localStorage.setItem('key', 'value');

// Retrieve value (persists even after closing and re-opening the browser)
alert(localStorage.getItem('key'));
```

Fig. 4.23: Web Storage na prática

Fig. 4.24: *

Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Web_storage#usage

É um recurso similar a cookies, contudo algumas diferenças substanciais são perceptíveis. Web Storage não requer que os dados sejam trafegados como cabeçalhos nas requisições. Também provê maiores espaços de armazenamento quando comparado a cookies.

A tecnologia começou como parte da especificação do HTML5 mas agora conta com um documento próprio mantido pela W3C. A especificação é suportada pela grande maioria dos navegadores populares.

A especificação oferece duas áreas de armazenamento, o armazenamento local e de sessão. O armazenamento local é persistido por domínio e outros scripts provindos deste mesmo domínio poderão fazer uso da informação. O armazenamento de sessão é para informações que podem variar de aba para aba e que não é interessante que sejam persistidos para demais acessos além do atual.

A API do Web Storage é simples, consistindo em uma interface para buscar dados e outra para armazenar, no formato chave/valor.

A figura 4.23 exemplifica a utilização do Web Storage, para utilizar o armazenamento de sessão utiliza-se o objeto `sessionStorage`. Já para utilizar o armazenamento local utiliza-se o objeto `localStorage`.

Web Storage é uma solução simples que comporta muitos casos de uso. Não obstante muitas vezes é necessário um controle mais refinado sobre os dados, ou mais performance em uma base de dados massiva. Para responder a estes desafios existe a especificação do IndexedDB.

4.16.3 IndexedDB

IndexedDB é um banco de dados que suporta o armazenamento de grandes quantidades de dados no formato de chave/valor o qual permite alta performance em buscas baseadas em índices. A tecnologia é uma recomendação da W3C desde janeiro de 2015 e suportada, pelo

```

var db;
var request = window.indexedDB.open("Mydb", 9);
request.onsuccess = function(event) {
  db = event.target.result;
  var transaction = db.transaction(["customers"], "readwrite");
  var objectStore = transaction.objectStore("customers");
  var request = objectStore.add({email: "mymail@domain.com", name: "foo"});
  request.onsuccess = function(event) {
    console.log('customer added')
  };
}

```

Fig. 4.25: Adicionando um cliente em IndexedDB.

menos parcialmente, por praticamente todos os navegadores populares.

Inicialmente IndexedDB permitia operações síncronas e assíncronas. Não obstante, a versão síncrona foi removida devido a falta de interesse da comunidade. Operações assíncronas permitem que aplicativos JavaScript nunca esperam pelo resultado para continuar a execução. Outrossim, cada interação com o banco de dados é uma transação que pode retornar um resultado ou um erro. Os eventos da transação são internamente eventos DOM cuja propriedade *type* do elemento foi setada para *success* ou *error*.

Ao invés de tabelas, IndexedDB trabalha com repositórios de objetos. Cada entrada, tupla em SQL, de um determinado repositório pode ser de um formato diferenciado, com exceção da chave única que deve estar presente em cada uma das entradas.

A figura 4.25 demonstra um exemplo simplificado da utilização do IndexedDB, como cada interação com o banco de dados é construído através de uma nova requisição e o tratamento do resultado é dado dentro de eventos.

Apesar de ser desenvolvido com objetivo de ser uma solução para todas as necessidades de armazenamento no Frontend IndexedDB ainda sofre algumas limitações.

Abaixo segue uma lista com algumas das limitações do IndexedDB.

- Tem limites de armazenamento e as regras variam de navegador para navegador.
- O comportamento em abas anônimas não está especificado e os resultados também variam.
- Existe uma pequena probabilidade de os dados se perderem, no caso do Firefox a API não espera confirmação do sistema operacional para considerar um dado válido, essa foi uma escolha em detrimento de performance.
- Não existe a possibilidade de fazer buscas em textos como o *LIKE* do SQL.
- o usuário pode configurar o navegador para não aceitar armazenamento local para determinado domínio.

A característica assíncrona do IndexedDB, é fundamentada na premissa de não perturbar o fluxo principal da aplicação enquanto processamento não vital, e possivelmente demorado, ocorre. Outra tecnologia da web que utiliza os mesmos princípios é o Web Workers.

4.17 WEB WORKERS

É uma API que possibilita executar vários scripts (*threads*) JavaScript ao mesmo tempo. O script que cria uma thread é chamado de pai da thread, e a comunicação entre pai e filhos pode acontecer de ambos os lados através de mensagem encapsuladas em eventos. Um script que não seja pai de uma thread não pode se comunicar com ela, a não ser que a thread seja em modo compartilhado.

O contexto global (objeto *window*) não existe em uma thread, no seu lugar o objeto *DedicatedWorkerGlobalScope* pode ser utilizado. Workers compartilhados podem utilizar o *SharedWorkerGlobalScope*. Estes objetos contém grande parte das funcionalidades proporcionadas pelo window com algumas exceções, por exemplo threads não podem fazer alterações no DOM.

4.18 OFFLINE

! Não é extraordinário que um jogo tenha que ser reverso para um estado válido anterior por motivo de um erro na base de dados (Vahatupa 2014, pp. 5).

4.18.1 Aplicações offline

Na sua versão mais simples, um aplicativo offline é um conjunto de URLs para arquivos HTML, CSS, JavaScript, imagens ou qualquer outro tipo de recurso (Pilgrim 2010).

4.19 ENTRADA DE COMANDOS

Na construção da grande maioria dos jogos é muitas vezes imprescindível grande flexibilidade na gestão de entrada comandos. Esta necessidade amplia na criação de jogos multiplataforma, em determinadas plataformas a entrada de comandos pode-se dar através de teclado, em dispositivos móveis através tela sensível ou sensor de movimentos.

O HTML5 trata todos estes casos abstratamente na forma de eventos, os quais podem ser escutados através de *listeners*. JavaScript pode ser configurado para escutar cada vez que um evento ocorre, como um clique do mouse ou o pressionar da tecla "A". Quando isso acontece o listener pode invocar uma função e realizar qualquer coisa desejada (*Introductory Guide to Building Your First HTML5 Game*).

4.19.1 Acelerômetro

4.20 HTTP/2

HTTP/2 é a última versão do protocolo de trocas de documentos da WEB. Quando um navegador requisita algum documento de um servidor esta requisição é geralmente feita através do protocolo HTTP. A forma que os documentos trafegam do servidor para o cliente afeta diretamente a performance de uma aplicação, nos jogos esse fator se amplia devido a grande quantidade de arquivos geralmente necessários para montar uma cena de jogo.

A nova versão do HTTP traz grandes benefícios de performance pois, diferentemente do HTTP/1, HTTP/2 abre apenas uma conexão por servidor. Usando a mesma para trafegar todos os dados necessários para montar a página HTML. Dessa forma o HTTP/2 não necessita repetir as negociações de protocolo nem aguardar parado quando o limite de requisições que os navegadores suportam concorrentemente é atingido.

Outro benefício do HTTP/2 em relação a seu predecessor é que os cabeçalhos das requisições são comprimidos, diminuindo substancialmente o tamanho das requisições. HTTP/2 também permite mensagens do servidor para o cliente (*full-duplex*), o que abre um leque de novas oportunidades que antes só podiam ser obtidas através de requisições de tempos em tempos ao servidor (*pooling*) ou através de WebSockets.

HTTP/2 não recomenda a utilização de minificação nos arquivos, visto que não existe abertura de novas conexões, trafegar múltiplos arquivos se tornou barato. Dessa forma, algumas práticas, antes recomendadas no desenvolvimento WEB, tem de ser revistas depois do HTTP/2.

Dentro do navegador as requisições HTTP/2 não convertidas em equivalentes do HTTP/1, mantendo a retrocompatibilidade em aplicações legadas. Sendo assim, os fatores que justificam a utilização do HTTP/1 são escassos e a tendência é observarmos cada vez mais aplicações utilizando com o HTTP/2.

4.21 DEBUG

As ferramentas de desenvolvimento do Google Chrome (*DevTools*) são uma boa opção para desenvolver e depurar aplicações WEB em JavaScript.

Provê aos desenvolvedores profundo acesso as camadas internas do navegador e aplicações WEB. É possível utilizar o DevTools para eficientemente detectar problemas de layout, adicionar breakpoints em JavaScript, e pegar dicas de otimização de código (*Chrome DevTools Overview*).

Com o inspetor do WebGL é possível conferir os estados dos buffers, informações de texturas, frames individuais e outras informações úteis (Kuryanovich et al. 2014).

4.21.1 Source Maps

Source Maps é uma tecnologia que permite mapear códigos fontes minificados para seus respectivos originais. Este recurso é interessante pois permite que os desenvolvedores visualizem o código fonte em sua versão original, legível, enquanto entregam ao usuário final a versão minificada, otimizada para performance. Para o usuário final não há diferença pois Source Maps são carregados apenas se as ferramentas de desenvolvimento estão abertas e com a funcionalidade de Source Maps habilitada.

Source Maps foi desenvolvido como um trabalho em conjunto entre a Mozilla e Google em 2010, atualmente na terceira revisão o projeto é considerável estável e não recebe modificações na especificação desde 2013.

As ferramentas de desenvolvimento do Google Chrome e Firefox permitem a utilização de Source Maps.

É possível informar o navegador a localização do arquivo original seguindo a seguinte sintaxe.

```
//# sourceMappingURL=/path/to/script.JavaScript.map
```

Ou através de cabeçalhos HTTP como demonstrado abaixo.

```
X-SourceMap: /path/to/script.JavaScript.map
```

Arquivos de Source Map contém metadados sobre os arquivos fonte e algumas outras configurações. Para gerar os arquivos é possível utilizar ferramentas como o <https://github.com/mishoo/UglifyJS2>

4.21.2 Debug 3D

Debugar aplicativos 3D pode ser complexo, o debugger do chrome é uma boa opção.

4.22 DISPONIBILIZAÇÃO DA APLICAÇÃO

Aplicativos baseados na web não requerem instalação ou atualizações manuais e sua distribuição é superior ao estilo convencional de aplicações desktop (Vahatupa 2014).

Links com manifestos

4.22.1 INSTALAÇÃO

Este método é benéfico pois possibilita ao usuário a mesma experiência ao adquirir uma aplicação normal. Este tipo de aplicação é comumente referido como "híbrido".

4.23 TRABALHOS SIMILARES

Barnett 2014 elaborou uma revisão de aspectos do HTML5 através da construção de um jogo. O autor foca muito nos aspectos de criação de jogos e feedback do desenvolvimento. Troca de tecnologias e não especificamente nas limitações conforme o meu trabalho. Em outras palavras seu escopo é mais genérico e não tão preciso quanto este

Powell e Li 2013 realizou uma pesquisa através de questionário e protótipo sobre a viabilidade de aplicativos em HTML5, concluindo que no geral desenvolvimento de aplicativos em HTML5 são opções viáveis e lucrativas. Seu trabalho difere a este por não focar no contexto dos jogos, não observando muitas das nuances e necessidades específicas para o desenvolvimento de jogos. Outra diferença substancial é que o autor foca apenas na viabilidade não ressaltando as limitações da plataforma.

5 METODOLOGIA

O primeiro passo consiste em definir as plataformas alvo do trabalho. Estas devem ser relevantes mercadologicamente ao desenvolvimento de jogos em HTML5.

Segue-se com a construção de uma lista com os recursos relevantes aos jogos que, sofrem ou são comumente ligados à limitações multiplataforma. Segue-se uma pesquisa para aprofundar teoricamente cada um dos recursos, possivelmente elegendo novos.

Com um baseamento teórico substancial, o próximo passo é a criação do protótipo de um jogo multiplataforma que utilize recursos analisados.

Para capturar todas as limitações presentes, o protótipo deve ser construído sem a ajuda de frameworks ou bibliotecas de terceiros. Eliminando a possibilidade de a limitação ter sido tratada por terceiros.

Motores de jogos são bibliotecas que agregam várias funcionalidades usualmente úteis para o desenvolvimento de jogos (Vahatupa 2014, pp. 5). Elas podem incluir controle de usuário, cena, áudio, física, etc. Também servem como uma camada de segurança adicional (Vahatupa 2014).

Motores de jogos também foram descartados, visto que na maioria dos casos dependem de bibliotecas de terceiros. Outrossim, motores de jogos não são amplamente difundidos no mercado de jogos de navegadores (Vahatupa 2014).

Com o protótipo concebido, o passo que segue é a enumeração, e descrição das limitações detectadas no processo de desenvolvimento e testes do jogo. Este detalhamento deve responder as seguintes perguntas:

- Quais as limitações foram encontradas no jogo?
- Em quais plataformas?
- Sob quais circunstâncias?
- As limitações puderam ser contornadas?
- Algum efeito colateral das limitações no jogo?
- Qual a categoria do problema: usabilidade, funcionalidade, manutibilidade, portabilidade ou performance? (segundo ISO)

Como recomendação geral, busca-se abster-se da utilização de plugins pois estes muitas vezes escondem limitações do HTML em si.

6 PROJETO

Este capítulo tem por objetivo detalhar os aspectos do desenvolvimento do protótipo. Mecânica, o loop de eventos, diagramas entre outros aspectos serão tratados aqui.

6.1 MECÂNICA

Para a análise prática das limitações foi escolhido um jogo de matemática simples. O jogo consiste na geração de equações com uma resposta candidata. Cabe ao usuário informar se o resultado apontado pelo jogo está correto ou não. A cada resposta dada o nível de complexidade da equação cresce. O tempo é um fator determinante no resultado do jogo pois quanto mais rápido o jogador acertar se a afirmação está correta ou não mais pontos ele receberá.

Esta categoria de jogo foi selecionada pois oferece uma experiência interessante e por ter profundidade, oferecendo a possibilidade de explorar diversos recursos do HTML, e criar melhorias incrementais. E, por fim, por oferecer uma dificuldade técnica não tão desafiadora. Visto que não disponho de experiência profunda no desenvolvimento de jogos HTML.

Jogos como o Math Workout para Android tem uma temática similar. Não obstante, o Math Workout não apresenta a resposta, sendo o papel do usuário computar a equação e digitar o resultado.

O jogo Countdown, também para a Android, é um jogo de temática similar apresentando um número final e pedindo para o usuário determinar a equação que resultou no valor à partir de um dado conjunto de números e operadores.

O jogo desenvolvido para o protótipo parece ter uma melhor jogabilidade em dispositivos móveis que ambos citados pois não requer a presença de um teclado numérico. Os botões de verdadeiro ou falso contém todas as possibilidades.

6.2 Requisitos

Abaixo estão dispostos os requisitos do sistema.

6.2.1 Requisitos funcionais

As funcionalidades que o sistema deve apresentar estão descritas abaixo.

- O sistema deve prover equações matemáticas de dificuldade crescente para o usuário informar se estão corretas ou não.

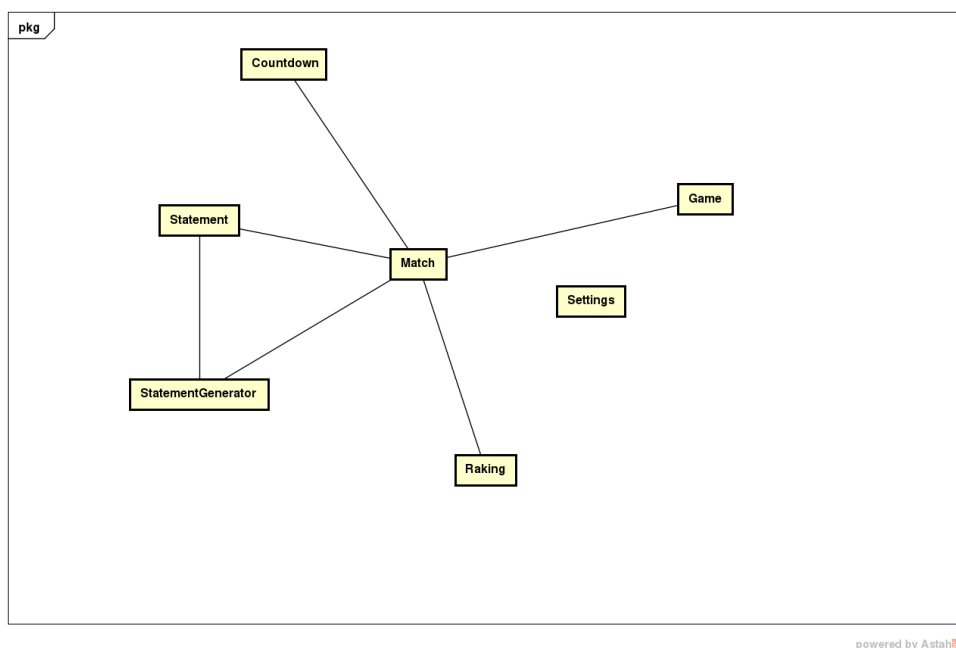


Fig. 6.1: Diagrama de classes simplificado

- O sistema deve pontuar as respostas dadas com maior agilidade com uma pontuação maior, que as respondidas com menor agilidade.
- O sistema deve apresentar um ranking com os resultados dos jogos anteriores.

6.2.2 Requisitos não funcionais

Outros aspectos requisitados mas que todavia não fazem parte da regra de negócio.

- O sistema deve ser desenvolvido utilizando as ferramentas da web.
- O sistema deve funcionar para a plataforma desktop e Android.
- O sistema deve ser desenvolvido sem a utilização de nenhuma biblioteca ou framework.

6.3 Modelagem

Abaixo segue o diagrama de classes simplificado ¹.

6.4 Desenvolvimento

O desenvolvimento se deu com uma postura de melhoria progressiva. Desenvolvendo a versão mais simples possível para atingir as requisitos funcionais. A partir dessa versão, novos recursos foram sendo adicionadas para melhorar a experiência do usuário.

¹Nos anexos pode-se encontrar a versão completa

O primeiro passo foi a criação do documento HTML. Utilizei divs para simbolizar telas do jogo. Caracterizando o jogo como uma aplicação de uma única página (*Single Page Application*). Alternativamente poderia se depender de um servidor para mandar as páginas prontas, mas isso distribui a complexidade do sistema para tecnologias do lado do servidor, distanciando-se da proposta de jogos exclusivamente construídos com as tecnologias da WEB.

Seguindo a construção do documento HTML, veio o desenvolvimento de um CSS simples que comporta a visualização em múltiplos dispositivos. Para tal, foram utilizadas posições e tamanhos relativos. Por exemplo, a largura de cada tela da SPA é 98% do tamanho total disponível na tela. Já o tamanho da fonte do quadro principal, representado pelo id *billboard* é duas vezes o tamanho da fonte normal 2em.

Sem a ajuda de bibliotecas especializadas o processo de criação da interface não é trivial. Apesar de a interface ser simples, fazer os elementos se alinharem em diversos tamanhos de telas não é fácil e pode se tornar um grande problema para interfaces realmente complexas.

Após a concepção do CSS deu-se início ao desenvolvimento da lógica do negócio em JavaScript. O primeiro passo consistiu em fazer o mecanismo de múltiplas telas em JavaScript. Ao iniciar a execução do JavaScript todas as divs que representam telas foram escondidas. O script mostra em seguida a página de carregamento. No final do carregamento de todos os recursos é disparado o evento *window.onload* neste momento inicia-se uma partida. Foram adicionados *listeners* os eventos de clicar nas configurações e nos botões de certo e errado da página principal, o botão de configurações simplesmente esconde todas as seções e por fim carrega a de configurações. Os botões de certo e errado serão explicados na sequência.

Após o esqueleto da aplicação estar definido foi introduzido a lógica de negócio. De toda a regra do jogo, a classe Match é a mais importante. Ela simboliza uma partida dentro do jogo, é na classe Match que as informações de quantas equações existem, quantas foram acertadas e o tempo total da partida e sua pontuação. Seu propósito é iterar a cada pergunta e esperar por uma resposta. Quando a resposta é dada a classe Match computa se a resposta está correta ou não e o tempo que levou para chegar ao resultado. Quando não existem mais perguntas para serem processadas é lançado um evento de final de partida onde o resultado pode ser computado, demonstrado para o usuário e registrado no ranking.

No nesta etapa não havia um gerador de equações, o jogo contava apenas com uma coleção de equações preestabelecidas que eram selecionadas aleatoriamente a cada turno. Isso se provou uma boa escolha pois possibilitou que o desenvolvimento se focasse em outros aspectos importantes como a elaboração do laço do jogo, ranking, configurações entre outros.

O ranking serve para armazenar o resultado de cada partida do jogador possibilitando uma percepção de histórico da performance do jogador. Os dados são armazenados em

Local Storage, escolhido por ter uma API simples; visto que os requerimentos do protótipo não demandam grande performance ou armazenamento massivo de dados a opção mais modesta foi preferida. Arquiteturalmente falando, IndexedDb se encaixaria bem na aplicação por ter uma interface chave valor, ideal para um ranking, onde as chaves poderiam ser as posições do usuário, não obstante, a interface totalmente orientada a eventos do IndexedDb introduz uma complexidade desnecessária para um jogo simples. A classe ranking é simplesmente uma interface para converter partidas e armazenar e recuperar estas informações em Local Storage.

O objeto *Settings*, assim como o *Ranking*, utiliza Local Storage e provê uma interface para armazenar e recuperar preferências sobre o jogo. Cada campo editável na tela de configurações contém listeners prontos para registrar no objeto *Settings* cada mudança que ocorrer em seus estados. Os objetos que utilizam estas configurações também o fazem através do objeto settings então a validade das configurações é sempre garantida.

Implementados estes mecanismos essenciais para o jogo, pude me focar no ponto central do negócio e possivelmente o mais complexo: a geração de equações. A geração das equações envolve dois objetos. Um objeto *Statement*, responsável por armazenar as informações de uma equação, à dizer: a afirmação sendo feita e se seu resultado está correto ou não (a resposta da afirmação). O outro objeto envolvido neste processo é o *StatementGenerator*, responsável por gerar *Statements*.

A classe *StatementGenerator* conta com um método *getStatement* que realiza o processamento para gerar um novo *Statement*. Esta função recebe como argumento um inteiro que simboliza a dificuldade da equação, a cada interação do usuário armazenada no objeto *Match* a dificuldade é incrementada e repassada para o gerador. O valor da dificuldade é utilizado internamente para selecionar qual operador será utilizado e como multiplicador nos números componentes das equações. Superficialmente falando, as equações são geradas através da randomização de valores e operadores (com suas respectivas dificuldades processadas), seguido da execução da equação para determinar seu resultado e a geração, em 50% dos casos, de um valor errado, de modo que a resposta não seja sempre correta.

O objeto *StatementGenerator* reside como membro de classe do objeto *Match* e a cada interação com o usuário uma nova equação é gerada por ele e armazenada no atributo *currentStatement* do objeto *Match*. Ao final das interações com o usuário o evento *endOfMatch* é lançado onde os pontos são computados, armazenados e mostrados para o usuário. Neste ponto é possível também começar outra partida reiniciando o processo.

Estas classes comportam os requisitos funcionais do jogo. Ao final do processo foi identificado que muitas vezes o usuário começa uma partida e não está prestando atenção para a tela perdendo pontos neste período inicial. Para reduzir este problema foi adicionada a classe *Countdown*, que é basicamente um temporizador regressivo que demarca o início de cada partida. O temporizador foi desenvolvido em canvas e apresenta 4 demarcações desenhadas a cada 90 graus, formando um círculo com uma mensagem no centro, neste

caso os números do temporizador.

Uma estratégia interessante que foi adotada na construção foi declarar todos os objetos relativos ao objeto janela (*window*). Isso se demonstrou uma boa forma de separar os objetos, tornando o conflito de variáveis globais um problema irrelevante.

Outro aspecto positivo foi a utilização de um meta objeto para encapsular os demais, neste caso utilizei o nome *MyMath*, funcionando como um namespace, garantindo que problemas de conflitos de nomes não aconteçam.

6.5 Otimizações para jogos

Navegadores tentam otimizar a experiência de navegação definindo um conjunto de regras e configurações razoáveis para a maioria dos casos. Não obstante, nem sempre estes valores padrões são as melhores opções no contexto de jogos. Abaixo segue uma lista de configurações interessantes para se fazer com CSS no contexto de desenvolvimento de jogos. Abaixo seguem algumas otimizações que foram utilizadas no jogo, e são aplicáveis em grande parte dos jogos.

6.5.1 CSS

Scroll é um recurso interessante para longas páginas de texto, o mesmo não se pode dizer à respeito de jogos. Principalmente aqueles dependente de contato com a tela, pois no contato a tela pode se mover e desconcentrar o usuário. Para remover este comportamento deve-se utilizar o *overflow: hidden;* do seletor do corpo do documento (*body*).

A barra de endereço é outro recurso de pouca utilidade no contexto de jogos, e muitas vezes um empecilho para jogos em dispositivos móveis, devido ao limitado tamanho da tela.

Para desabilitar a barra em dispositivos da Apple pode-se utilizar a seguinte configuração:

```
<meta name="apple-mobile-web-app-capable" content="yes" />
```

Para os demais dispositivos não existe meio oficial de esconder a barra de endereço. Não obstante, alguns sites recomendam a solução descrita abaixo:

```
<body onload="setTimeout(function() {window.scrollTo(0, 1)}, 100)">
</body>
```

Apesar de não fazer parte da especificação, a maioria dos navegadores implementa a possibilidade de desativar a seleção de elementos na tela. Em jogos essa possibilidade é útil,

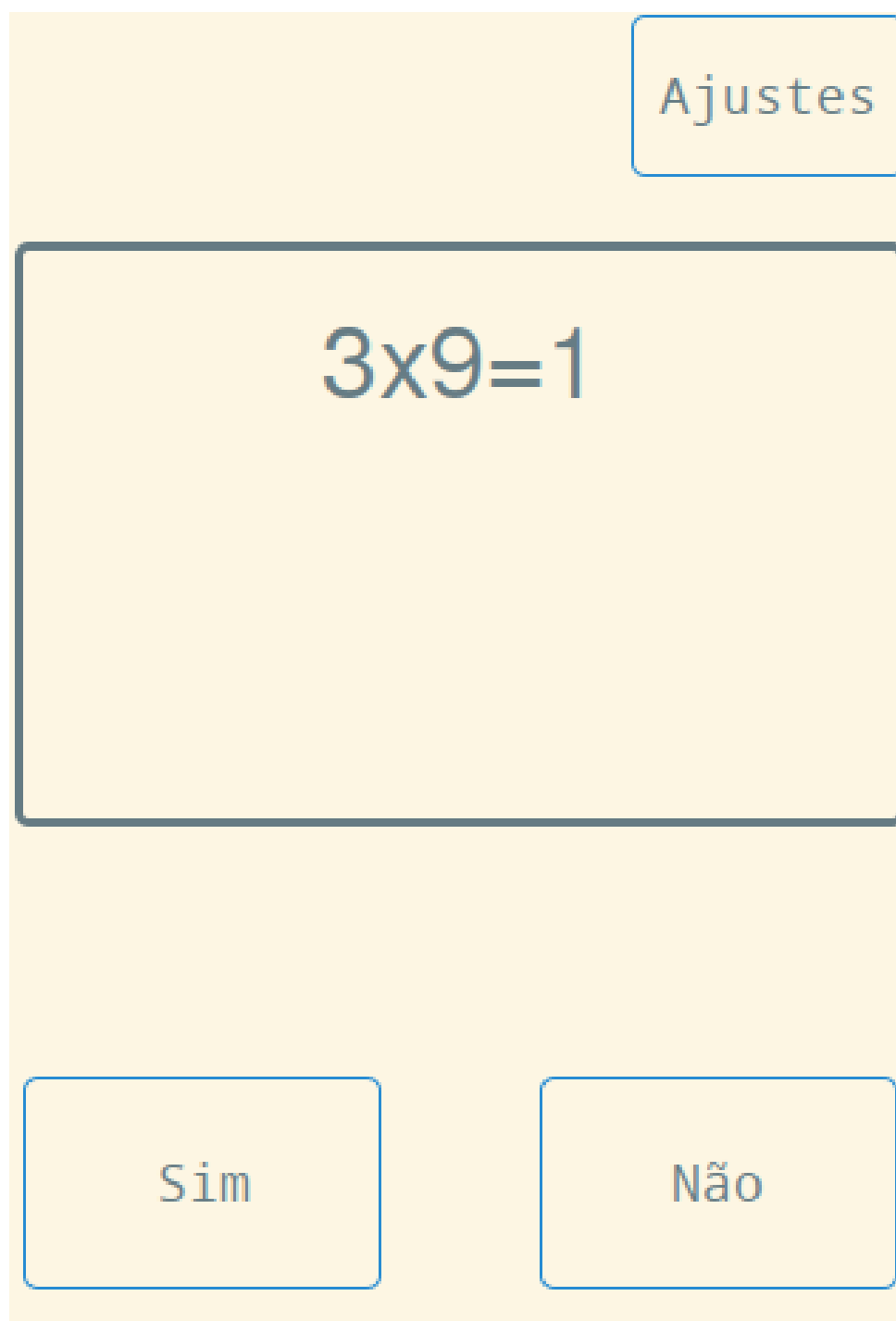


Fig. 6.2: Tabuleiro do jogo



Fig. 6.3: Placar do jogo



A screenshot of a game configuration menu with a light yellow background. It contains four settings: 'Som' with an unchecked checkbox, 'Temporizador' with a checked checkbox, 'Questões/partida' with a text input containing '3', and 'Tema' with a text input containing 'Claro'. A large blue-outlined button labeled 'Novo jogo' is at the bottom.

Som	<input type="checkbox"/>
Temporizador	<input checked="" type="checkbox"/>
Questões/partida	<input type="text" value="3"/>
Tema	<input type="text" value="Claro"/>

Novo jogo

Fig. 6.4: Configurações do jogo

```

(function() {
    'use strict';

    function bar() {
        return 'foo';
    }

    window.bar = bar;
})();
window.bar();

```

Fig. 6.5: Exemplo de utilização de funções imediatamente invocadas

pois não é natural a seleção de texto neste tipo de software. Kuryanovich et al. 2014 cita que desabilitar a seleção de texto em jogos é uma otimização importante para a experiência do usuário. Para desabilitar pode-se utilizar as regras CSS demonstradas abaixo.

```

-moz-user-select: none;
-webkit-user-select: none;
-ms-user-select: none;

```

6.5.2 JavaScript

Modo estrito

Algumas das recomendações nesta seção podem não se aplicar exclusivamente ao desenvolvimento de jogos. Outrossim são de grande relevância para a criação de sistemas de grande complexidade em geral, característica comum da grande maioria dos jogos.

Um recurso interessante do JavaScript é seu modo estrito, este faz um conjunto de modificação na semântica do interpretador de modo que alguns recursos suportados, mas propensos a problemas, sejam desabilitados. Um exemplo é variáveis sem o prefixo `var`.

O modo estrito pode ser entendido como uma variante mais rígida do JavaScript. O modo restrito pode ser habilitado utilizando o termo *"use strict"*; nos cabeçalhos de arquivos ou funções permitindo que código não estrito trabalhe em conjunto com código estrito, característica conveniente para a utilização em sistemas legados.

Funções imediatamente invocadas

Um problema comum de sistemas complexos em JavaScript é que muitos objetos vivem em ambiente global. Isso pode causar uma coleção de problemas, desde conflitos de nomes à sobrescrita de variáveis. Para contornar esse problema pode-se utilizar as funções imediatamente invocadas IFE (*Immediately invoked function expression*).

A figura 6.5 demonstra a utilização deste padrão. As funções definidas no mesmo nível que bar não estarão no contexto global - a não ser que seja especificado diretamente - e não sofrerão conflitos de nomes e outros problemas relativos ao contexto global.

HTML

Um problema que jogos sofrem em geral é a demora no carregamento da grande quantidade de recursos que precisam estar em memória para o jogo funcionar. Muitos jogos utilizam uma tela de carregamento enquanto os recursos são adquiridos.

Um recurso do HTML interessante para este tipo de situação é o pré carregamento de recursos (*Link Prefetching*). Esta tecnologia possibilita que o navegador , em seu tempo livre, adquira recursos que provavelmente serão necessários em um futuro próximo.

Nem todos os recursos necessitam ser pré carregados, mas uma impressão muito superior é criada se os recursos estão imediatamente disponíveis quando uma nova fase é carregada (Seidelin 2010, pp. 39).

6.6 Performance

O jogo ficou rápido...

7 RESULTADOS

Muitos dos problemas dos jogos multiplataforma não são específicos dos jogos, mas aplicam-se a todos tipos de software (Bruins 2014). Alguns problemas são inerentes das tecnologias, outras dos dispositivos ou da característica multiplataforma.

Abaixo constam as limitações encontradas durante a pesquisa e concepção do jogo.

7.1 LIMITAÇÕES

Apesar da grande maioria dos recursos oferecidos nativamente nos dispositivos estar presente em HTML5 ainda existem algumas funcionalidades faltando para este tipo de aplicação.

«Smart Phones Application development using HTML5 and related technologies: A tradeoff between cost and quality» cita algumas limitações no contexto geral.

Não podemos mudar a imagem de fundo do dispositivo, ou adicionar toques etc. Similarmente, existem muitas API's de nuvem como os serviços de impressão do iCloud ou Google Cloud que estão disponíveis para aplicações nativas mas não para HTML5. Outros serviços utilitários como o C2DM do Google que está disponível para desenvolvedores Android para utilizar serviços de push também não estão disponíveis para o HTML5.

Vahatupa 2014 apresenta as seguintes limitações no contexto de jogos de navegador

- Não podem ser instalados em um dispositivo móvel como um aplicativo separado
- Não tem acesso a funcionalidades específicas dos dispositivos e recursos como notificações, use de hardware nativo ou comunicação entre aplicativos.

7.1.1 VERSÕES

A grande maioria dos dispositivos atualmente no mercado utilizam obsoletas de seus softwares. Isso dificulta o desenvolvimento. Se a tecnologia de tradução para o navegador utilizar o a classe Webview do Android - como o Apache Cordova faz - as versões mais antigas podem ser penalizadas com problemas de performance ou falta de recursos.

Segundo Barnett 2014

Enquanto o HTML é desenvolvido muitas das funcionalidades disponibilizadas são testadas em um pequeno conjunto de navegadores para um pequeno conjunto de versões. Isso acarreta em suporte inconsistente. A forma mais segura de garantir suporte é testando em todas as versões alvo, todavia essa solução não é prática.

7.1.2 OFFLINE

Refresh duplo para ver assets cacheados. Ver: <http://buildnewgames.com/game-asset-management/>

Quando o download offline falha o browser emite um evento mas não há indicação de qual problema aconteceu. Isso pode tornar a depuração tinda complicada que o usual (Pilgrim 2010).

7.1.3 SVG

Segundo Kuryanovich et al. 2014 a grande desvantagem do SVG é que quão maior o documento mais lenta a renderização.

7.1.4 Canvas

A API canvas cresceu com o tempo, e algumas funcionalidades - como suporte a texto, foram adicionadas tardiamente. E alguns navegadores lançaram antes da especificação estar completa e hoje tem problema de suporte para essas áreas (Pilgrim 2010). Não obstante, canvas está presente em todos os navegadores populares à partir do Internet Explorer 9. Para navegadores antigos, abaixo do Internet Explorer 9, existe o polyfill Explorer Canvas do Google, que emula em JavaScript as funcionalidades do canvas.

Muitas das variadas implementações do canvas tem problemas de performance. O FastCanvas é uma iniciativa híbrida para Android que busca mitigar os problemas de performance do Canvas com uma API nativa. Não obstante, o FastCanvas não suporta a especificação do canvas completamente, não permite ser integrado com outros elementos do DOM.

Segundo (Kuryanovich et al. 2014), os aspectos negativos do canvas é que a performance varia de plataformas para plataformas e não existe implementação nativa para animações.

Por ser apenas sistema de mapa de pixels canvas carece de integração com o restante das tecnologias da WEB. Não é possível aproveitar as facilidades de animações do CSS, manipulação do DOM, entre outras tecnologias.

Um fator descoberto durante o desenvolvimento do protótipo é que o Canvas tem uma característica peculiar quanto ao seu tamanho. Em suma existem dois tamanhos, o tamanho do elemento e da superfície de desenho. Quando o tamanho do elemento é maior do que

o da superfície de desenho do documento escala a superfície de desenho para preencher o elemento, o que pode gerar resultados inesperados.

Canvas também não permite a manipulação das camadas já desenhadas, sendo necessário sobrescrever o canvas ou limpá-lo.

7.1.5 WebGL

Como WebGL é baseada na versão otimizada para dispositivos móveis do OpenGL não é possível utilizar muitos recursos especiais disponível para os ambientes desktop.

Segundo Kuryanovich et al. 2014 um dos problemas do WebGL é sua alta curva de aprendizagem e o fato de não ter suporte para o Internet Explorer. Entretanto o suporte foi adicionado na última versão do Internet Explorer (11). Não obstante a dificuldade de utilização ainda persiste, forçando a maioria dos desenvolvedores a utilizarem abstrações criadas por bibliotecas de terceiros.

É importante ressaltar que o WebGL não se comporta de maneira simétrica nos navegadores que implementam a especificação. Pode haver diferenças substanciais de performance em plataformas diferentes e em navegadores diferentes. Existe também uma lista de placas gráficas com drivers bloqueados por não funcionarem corretamente no Firefox (Matti e Arto 2011, pp.42).

Para ver um programa em WebGL é necessário um navegador recente, uma placa gráfica recente e um sistema operacional que suporte a tecnologia (Kuryanovich et al. 2014)

Bibliotecas WebGL

CocoonJS é uma aplicativo híbrido que preenche a fraca implementação de WebGL nos dispositivos móveis possibilitando se desenvolver em WEBGL, CSS. Conta com suporte a dispositivos legados à partir do Android 2.3 e iPhone 5.

Treejs é um framework popular para o desenvolvimento em WebGL. Consistem em uma abstração sobre WebGL que permite os autores se focarem na criação de conteúdo para WEB, ao invés de dispenderem tempo manipulando os detalhes da WebGL. Possibilita trabalhar com efeitos, luzes, cenas e outras abstrações em detrimento de shaders, vértices, e conceitos mais primitivos.

7.1.6 VIDEO

O suporte a vídeo apesar de estar melhorando ainda é básico. No Silverlight existem uma coleção de possibilidades como aplicar shaders diretamente no vídeo e streaming suave de 1080px HD (Huang 2011, pp. 8).

O projeto *Vídeo for Everybody*

http://camendesign.com/code/video_for_everybody

é um polyfill que recorre à flash quando o vídeo não é suportado pelo navegador.

7.1.7 ASSETS

Trafegar muitos assets deixa o sistema lento. Pode-se contornar este problema utilizando páginas de carregamento e/ou cache;

Outro problema relativo aos assets é descrito por Garisel e Irish 2011 scripts requerendo informações de estilo durante o processo de parsing. Se o estilo ainda não foi carregado o script vai utilizar informações erradas, causando uma série de problemas.

7.1.8 Codecs

7.1.9 ÁUDIO

Segundo Vahatupa 2014 em sido difícil construir aplicações sofisticadas e interativas sem a utilização de plugins para áudio. Segundo Kuryanovich et al. 2014 a limitação do elemento de áudio do HTML5 é que seu propósito é para executar apenas um som, como o som de fundo dentro de um jogo.

A API de som no protótipo nem sempre emite o som quando o evento é disparado sucessivamente. Confirmando a afirmação de Kuryanovich et al. 2014 a API de som é boa se você deseja apenas tocar alguma música, mas se você está lançando eventos em um jogo ela é problemática.

Os navegadores variam na disponibilização de formatos aceitáveis Somente um áudio pode ser tocado no Navegador do Android

Não é possível trocar o volume no IOS.

Alguns navegadores favorecem formatos OGG (vorbis) e outros, como o Safari, favorecem o MP3.

Segundo «Smart Phones Application development using HTML5 and related technologies: A tradeoff between cost and quality»

O maior problema com as API's de áudio e de vídeo do HTML5 é a disputa entre os codecs dos navegadores. Por exemplo, Mozilla e Opera suportam Theora, já o Safari suporta H.264 que também é suportado pelo IE9. Ambos, Iphone e Android suportam H.264 em seus navegadores. A W3C recomenda OggVorbis e OggTheora para áudio e vídeo respectivamente.

7.1.10 INTERFACE GRÁFICA

É muito custoso desenvolver uma interfaces que pareçam nativas para cada dispositivo sem a utilização de plugins e ferramentas especializadas. Em termos gerais, trabalhar com proporções é positivo. Não obstante há casos, como o dos botões de certo e errado que a

proporções ficam exageradas, nesses casos a utilização de max-width é uma solução conveniente.

7.1.11 PERFORMANCE

De acordo com uma pesquisa, para um usuário uma tarefa é instantânea se ele leva até 0.1 segundos para ser executada. Se a tarefa toma aproximadamente um segundo então a demora será notada mas o usuário não se incomodará com ela. Entretanto, se a tarefa leva aproximadamente 10 segundos para terminar o usuário então começa a ficar aborrecido e esse é o limite que algum feedback deve ser dado para um usuário.

Otimizações de performance dependem do ambiente em que estão sendo feitas. E aquelas que hoje tem um impacto positivo hoje podem se tornar inúteis, ou mesmo prejudiciais, amanhã (Kuryanovich et al. 2014, pp.131).

7.1.12 Acelerômetro

7.1.13 IMPLEMENTAÇÃO INCONSISTENTE DE APIS

7.1.14 TAMANHO DE TELA

Em alguns casos o tamanho das telas pode ser um fator limitante – como no caso de jogos de estratégia. Jogadores com telas menores podem sair em desvantagem.

7.1.15 JavaScript

O JavaScript, por ser uma tecnologia desenvolvida por consenso, tem um ciclo de vida de atualizações demorado; pois necessita que todos os consumidores da especificação entrem em consenso e implementem a.

Apesar da performance ter notavelmente melhorado, ainda é geralmente menos eficiente produzir animações em JavaScript do que utilizando transições e animações do CSS, que por sua vez são mais otimizados e acelerados via hardware (Kuryanovich et al. 2014).

Erros numéricos resultam no valor NaN (*not a number*). Todas as operações com NaN como operadores irão retornar outro NaN. Isso torna a depuração de erros desnecessariamente complexa (Kuryanovich et al. 2014).

7.1.16 Detecção de recursos

Grande parte da detecção de funcionalidades é feita através de JavaScript, isso força os desenvolvedores a criarem pelo menos parte da marcação em JavaScript, isso pode ser um fator limitante para o uso generalizado de HTML5 (Pilgrim 2010).

Desktop/Firefox Desktop/Google Chrome Smartphone/Android

7.1.17 Scroll

(Powell e Li 2013, pp. 9) cita que: Fazer scroll juntamente com gestos de ações similares é uma área onde o HTML ainda é fraco. Existem várias tentativas para solucionar esse problema como o iScroll, TouchScroll, GloveBox, Sencha, jQuery Mobile.

7.1.18 Armazenamento

Em praticamente nenhuma das tecnologias da WEB é possível armazenar objetos e seu estado atual.

8 CONCLUSÕES

Apesar dos problemas mencionados neste trabalho, tomando uma perspectiva mais abrangente as tecnologias de desenvolvimento de jogos evoluiu muito e existem muitas coisas boas para se dizer à respeito.

A manipulação de erros é bastante consistente nos navegadores mas incrivelmente não faz parte da especificação (Garisel e Irish 2011). Não pude testar todos os métodos e ferramentas e versões à disposição, um trabalho completo demandaria esforços conjuntos de muitos indivíduos ou um período de tempo bem mais extenso.

Se uma empresa deseja produzir jogos nativos elas precisarão de vários desenvolvedores. Eu sozinho fui capaz de produzir um jogo em tempo razoável trabalhando com a plataforma WEB.

Por não utilizar frameworks e bibliotecas estou me distanciando dos casos da vida real.

Só poderemos considerar o HTML como uma especificação pronta quando for possível fazer tudo o que se faz nativamente com os dispositivos através de uma API WEB padronizada.

Muitas das limitações do HTML5 são contornáveis através de JavaScript.

O futuro dos jogos em HTML5 parece brilhante.

Neste trabalho revisamos tecnologias relevantes no desenvolvimento de jogos.

Este trabalho surgiu da minha vontade de aprender mais sobre a WEB....

8.0.1 TRABALHOS FUTUROS

Trabalhos que explorem os benefícios mercadológicos do HTML5 em comparação com alternativas nativas. EMACSCRIPT 7.

HTTP2 também traz boas perspectivas em relação a performance.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Joshua Barnett. «Building a Cross-Platform Mobile Game with HTML5». Em: *University of East Anglia* (2014).
- [2] Frederick P. Jr. Brooks. «What's real about virtual reality». Em: (1999).
- [3] Stefan Bruins. «The current state of cross-platform game development for different device types». Em: (2014).
- [4] *Chrome DevTools Overview*.
- [5] Jon Duckett. *HTML and CSS - Design and Build Websites*, pp. 1–514.
- [6] *ECMAScript 2015 Language Specification*.
- [7] Tali Garisel e Paul Irish. «How Browsers Work: Behind the scenes of modern web browsers». Em: (2011).
- [8] Isabela Granic, Adam Lobel e Rutger C. M. E. Engels. «The Benefits of Playing Video Games». Em: *Radboud University Nijmegen* (2014).
- [9] Yousuf Hasan et al. «Smart Phones Application development using HTML5 and related technologies: A tradeoff between cost and quality». Em: ().
- [10] Ian Hickson. *HTML is the new HTML5*. Available at <https://blog.whatwg.org/html-is-the-new-HTML5> (2015/11/11).
- [11] *HTML HyperText Markup Language*.
- [12] Jun Steed Huang. «Research on Html5 Development». Em: *Jiangsu University* (2011).
- [13] Marek Janiszewski. Tese de doutoramento. Vrije Universiteit Amsterdam, 2014.
- [14] Egor Kuryanovich et al. *HTML5 Games Most Wanted: Build the Best HTML5 Games*. 2014.
- [15] David de Oliveira Lemes. Tese de doutoramento. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2009.
- [16] Håkon Wium Lie. «Cascading Style Sheets». Tese de doutoramento.
- [17] Anttonen Matti e Salminen Arto. «Building 3D WebGL Applications». Em: (2011).
- [18] Belchin Moises. *ECMAScript 6 Today*.
- [19] Mark Pilgrim. *Dive into HTML5*. 2010.

- [20] Mark Powell e Yuesong Li. «HTML5 - A Serious Contender to Native App Development or Not?» Em: (2013).
- [21] Ely Fernando Prado. «Introdução ao desenvolvimento de Games com GWT e HTML5». Em: *Departamento de Computação, Univerisidade de São Carlos* (2012).
- [22] Axel Rauschmayer. *A first look at what might be in ECMAScript 7 and 8*.
- [23] Jake Rocheleau. *Introductory Guide to Building Your First HTML5 Game*.
- [24] Chris Rogers. *Web Audio API*.
- [25] Jacob Seidelin. *HTML5 Games - Creating fun with HTML5, CSS3, and WebGL*. 2010.
- [26] *Selectors*. Available at <http://www.w3.org/TR/CSS21/selector.html> (2015/11/17).
- [27] *Using CSS transitions*.
- [28] Juha-Matti Vahatupa. «On the development of Browser Games - Current Technologies and the Future». Em: (2014).
- [29] Yu Zhang. «Developing Effect of HTML5 Technology in Web Game». Em: *International Journal on Computational Sciences and Applications (IJCSA)* (2012).

A CONVERSORES PARA HTML

Além da possibilidade de escrever em HTML, pode-se optar pela alternativa de utilizar-se um conversor de linguagens.

A.0.1 Bibliotecas relevantes do desenvolvimento de jogos

Desenvolvedores da WEB são geralmente de mente aberta e desenvolveram uma variedade de bibliotecas e frameworks pela internet (Kuryanovich et al. 2014).

Seidelin 2010 ressalta a importância de sermos moderados quanto a escolha de bibliotecas no contexto WEB multiplataforma.

Muitos desenvolvedores da WEB utilizam bibliotecas como jQuery e o Prototype de modo que se vejam livres de terem que lidar com partes triviais do desenvolvimento WEB, como selecionar e manipular elementos do DOM. Muitas vezes essas bibliotecas incluem várias funcionalidades que não são utilizadas. É recomendável cautela para verificar se realmente é necessário adicionar 50-100k de bibliotecas, ou se alguma coisa mais simples e menor não trará os mesmo benefícios, especialmente quando desenvolvendo multiplataforma onde uma rápida conexão a internet nem sempre é garantida.

Esta preocupação aumenta no contexto de desenvolvimento de jogos. Ainda segundo Seidelin 2010 o site MicroJS <https://microjs.com> oferece uma coleção de micro bibliotecas focadas em áreas particulares em detrimento de grandes bibliotecas cheias de funcionalidades.

A.1 Frameworks de jogos

Com o intuito de simplificar o processo para os desenvolvedores, auxiliando-os a focarem-se apenas nas soluções que estão desenvolvendo, foram criados os frameworks para desenvolvimento de jogos. Alguns frameworks reconhecidos são:

- `enchant.js`: dentre suas funcionalidades constam: orientação à, orientado à eventos, contém um motor de animação,

- suporta WebGL e Canvas, etc three.js: considerada leve, renderiza, WebGL e Canvas, arquitetura procedural
- limeJs: bom para 2d
- quintus: especialista em jogos de plataforma 2D

A.2 CROSSWALK

Crosswalk empacota os fontes juntamente com uma versão do Chromium, a versão Open-source do Google Chrome. Isso faz com que o software se comporte da mesma forma para todas as versões de dispositivos Android.

A.3 PHONEGAP

A.4 PHONEGAP CLOUD

Este serviço possibilita que se faça upload de um arquivo compactado contendo os fontes – ou apontando para um repositório no GitHub – que no tempo desta pesquisa não estava funcionando; e se gere o APK para o Android nativamente.

A.5 NODEJS

Permite rodar JavaScript fora do navegador. Utiliza um modelo dirigido à eventos sem bloqueio, tornando-o rápido e eficiente.



B ALTERNATIVAS AO JAVASCRIPT

Abaixo seguem algumas tecnologias que servem de alternativa ao JavaScript.

B.1 TYPESCRIPT

Conhecido como uma versão estendida do JavaScript que compila para JavaScript normal.

B.2 DART

Google. DartVM é uma máquina virtual que está embebido no Google Chrome. Significante melhorias em performance quando comparado ao JavaScript. Existe o dart2js que compila código em Dart para JavaScript.



C SISTEMAS DE BUILDING

Aquivos JavaScript são requisitados do servidor assincronamente. Isso pode levar a tempos de requisição pouco desejáveis. Uma saída seria escrever o código em apenas um arquivo mais isso leva a gerência de código bagunçada. A saída mais comum entre desenvolvedores é utilizar uma ferramenta que junta todos os arquivos e disponibiliza apenas um para o usuário.

Utiliza o conceito de streams para aplicar todas as modificações sobre um arquivo de uma vez só.



D AMBIENTES PARA DESENVOLVIMENTO HTML5

Na pesquisa efetuada sobre estes frameworks full-stack foram identificadas as seguintes tecnologias:

Segundo **gtw**

O GWT é um framework essencialmente para o lado do cliente (client side) e dá suporte à comunicação com o servidor através de RPCs (*Remote Procedure Calls*). Ele não é um framework para aplicações clássicas da web, pois deixa a implementação da aplicação web parecida com implementações em desktop.

Com o GWT se programa em Java e exporta-se com código otimizado para as plataformas alvo. Sua licença é Apache 2 e, como o framework é em Java, pode ser rodado em todos os sistemas operacionais.

Construct 2: é um editor na nuvem focado para usuários sem conhecimento prévio em programação orientado a comportamento;

PlayCanvas: é uma plataformas para a construção de jogos 3D na nuvem, desenvolvida com foco em performance. Permite a hospedagem, controle de versão e publicação dos aplicativos nela criados, possibilita também a importação de modelos 3D de softwares populares como: Maya, 3ds Max e Blender;

O Intel® HTML5 Development Environment fornece uma solução na nuvem, completa para o desenvolvimento em plataforma cruzada, com serviços de empacotamento, serviços para a criação e testes de aplicativos com montagem de interfaces *drag and drop* (Intel XDK) e bibliotecas para a construção de jogos utilizando aceleração de hardware, o que garante até duas vezes mais performance que aplicativos mobile baseados em Web tradicionais.

Esta solução é gratuita, open-source e funciona através de um plugin para o Google Chrome, ou seja, o desenvolvimento também é multiplataforma e devido ao fato de os binários ficarem hospedados na nuvem, possibilitou a Intel criar compiladores para cada uma das plataformas disponibilizadas pelo PhoneGap, que é o framework polyfill utilizado na solução.

E METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA A CONSTRUÇÃO DE GAMES

Como o jogo é um software complexo demanda-se a utilização de metodologias de engenharia de software, dentre os processos de software mais conhecidos academicamente destacamos:

- OpenUP: este é bem detalhado e de característica iterativa e incremental. Gerando assim, um levantamento mais apurado dos riscos, requisitos e outros detalhes do sistema e a criação incremental do sistema, com requisitos maleáveis;
- Cascata: processo antigo, caracteriza-se por ser pouco maleável aos requisitos mapeados posteriormente ao processo de análise;
- Processo ágil - SCRUM: sua utilização é flexível e sendo um método ágil especifica pouca documentação, ou como dizem, somente a documentação necessária, este processo é bem conhecido e aceito na comunidade de desenvolvimento de software. Suas principais características são: divisão do processo de desenvolvimento através uma série de iterações chamadas sprints. Cada sprint consiste tipicamente em duas a quatro semanas. É bem aplicado a projetos que mudam constantemente e que demandam rápidas adaptações;
- Processo ágil – XP: tem muitas características similares ao SCRUM por este também ser um processo ágil. Dentre suas especificidades destaca-se: versões frequentes, pequenos ciclos de desenvolvimento que buscam aumentar a produtividade, introduzem checkpoints onde os clientes podem agregar novas funcionalidades;

F Diagrama de classes

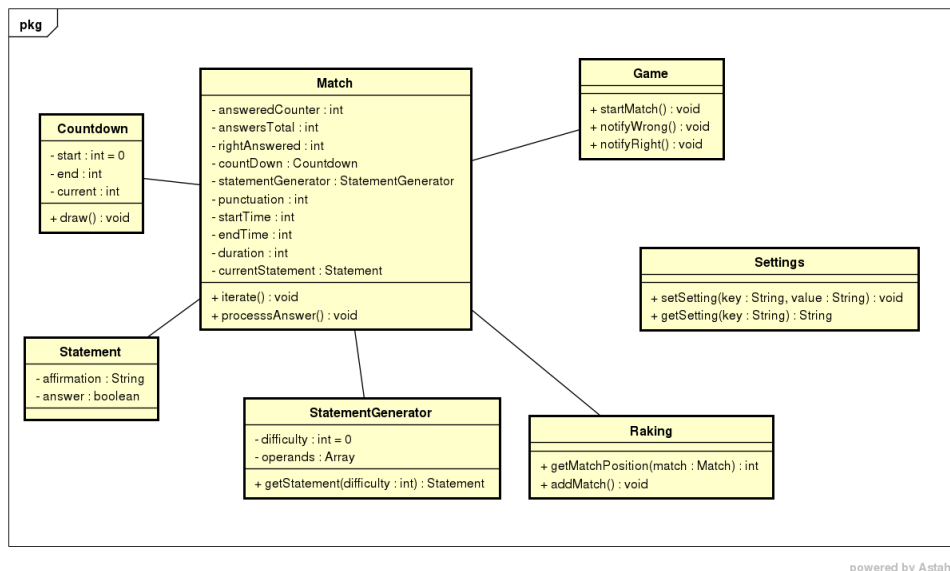


Fig. F.1: Diagrama de classes completo