

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Rodrigo Damasceno Marangon

**MPEG-DASH e seu Impacto no Tráfego Multimídia
no Ensino a Distância**

Juiz de Fora

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Rodrigo Damasceno Marangon

MPEG-DASH e seu Impacto no Tráfego Multimídia no Ensino a Distância

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: Eduardo Barrére

Juiz de Fora

2016

Ficha catalográfica elaborada através do Modelo Latex do CDC da UFJF
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Marangon, Rodrigo Damasceno.

MPEG-DASH e seu Impacto no Tráfego Multimídia no Ensino a Distância / Rodrigo Damasceno Marangon. – 2016.
64 f.

Orientador: Eduardo Barrére

Dissertação (Mestrado Acadêmico) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, 2016.

1. MPEG-DASH. 2. Multimídia. 3. Transcodificação. I. Barrére, Eduardo, orient. II. Título.

Rodrigo Damasceno Marangon

MPEG-DASH e seu Impacto no Tráfego Multimídia no Ensino a Distância

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Aprovada em 26 de Agosto de 2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. D.Sc. Eduardo Barrére - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. D.Sc. Marcelo Ferreira Moreno
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. D.Sc. Laércio Augusto Baldochi Júnior
Universidade Federal de Itajubá

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a minha mãe, Vera, por ser, sempre, os meios e os fins de cada conquista.

A todos os professores do Programa de Pós Graduação em Ciência da Computação, agradeço pelos ensinamentos transformadores. Em especial agradeço ao professor Marcelo Moreno e ao meu orientador, Eduardo Barrére. Obrigado por acreditarem em mim.

Agradeço a todos os colegas de mestrado, pela parceria. Em especial Crystiam, Paulo e Rafael, amigos do mestrado, do CEAD e da vida, pelo apoio nessa jornada.

Agradeço ainda à Universidade Federal de Juiz de Fora pelo incentivo à minha qualificação, e a todos que de alguma forma contribuíram com este trabalho.

“LYUBOV ANDREYEVNA

(...) E [você] ainda é estudante?

TROFIMOV Ao que parece,
serei um eterno estudante.”

Anton Pavlovitch Tchekhov

RESUMO

O consumo de multimídia pela *web* tem crescido fortemente ao longo dos últimos anos. Com isso surge a preocupação do consumo de banda, que é significativamente reforçada pelo aumento da utilização da computação móvel. É fato conhecido que o consumo de banda para a multimídia ultrapassou o consumo nas redes P2P, e tende ao crescimento nos próximos anos. Nesse cenário, as tecnologias de *streaming* multimídia via HTTP vieram como parte da solução do problema de maior demanda de tráfego de multimídia. O MPEG-DASH é uma dessas tecnologias, e atualmente é utilizada em grande parte por grandes corporações que distribuem multimídia, como por exemplo Google e Netflix. No entanto, o processo da criação das mídias no padrão MPEG-DASH é um processo trabalhoso e de pouca documentação. O presente trabalho apresenta técnicas para transcodificação, segmentação e reprodução de mídias no padrão MPEG-DASH. As mídias convertidas são parte do material didático produzido pelo Centro de Educação a Distância da Universidade Federal de Juiz de Fora. O estudo foca no processo técnico de padronização das mídias para MPEG-DASH, dá foco aos problemas encontrados, além de analisar aspectos da reprodução das mídias. A dissertação traz também um estudo de caso, e análise de aspectos relevantes relacionados ao ambiente computacional da pesquisa. Foram testadas diversas técnicas e ferramentas, e os problemas, soluções e sugestões de uso são relatados ao longo do trabalho. Os resultados mostram que os resultados, apesar de problemas pontuais, são viáveis e benéficos para o consumidor do conjunto de mídias apresentado.

Palavras-chave: MPEG-DASH. Multimídia. Transcodificação.

ABSTRACT

The multimedia consumption over the world wide web has been strongly growing along the last years. Hence it comes concerns about the bandwidth consumption, bolstered by significant raise of mobile computing. It is a known fact that multimedia bandwidth exceeded P2P network in terms of bandwidth consumption, and tend to grow in the next years. In this scenario, HTTP multimedia streaming technology came as a part of solution to the increasing multimedia bandwidth demand. MPEG-DASH is one of those technologies, currently employed at big distributing multimedia corporations, like Google and Netflix. However, the media transcoding and segmentation to MPEG-DASH standard is a laborious process and still slightly documented. This work cover in details techniques to media transcoding, segmentation, and reproduction on MPEG-DASH standard. The converted media are part of Centro de Educação a Distância of Universidade Federal de Juiz de Fora produced courseware. The work aims at technical process of MPEG-DASH media standardization, with focus on raised problems, and includes some aspects of media reproduction. This work brings a case study, and an analysis of applicable aspects of computing environment. Were tested several techniques and tools and the problems, solutions and suggestions are reported through the work. Results shows that the results, although few problems, are viable and advantageous to consumer of the specified media set.

Keywords: MPEG-DASH. Multimedia. Transcoding.

LISTA DE FIGURAS

2.1	Diferenças entre os quadros I, B e P. Adaptado de Canon (2015).	20
2.2	Exemplo de disposição de quadros de vídeo. Adaptado de Communications (2016).	20
2.3	Mídia exibida incorretamente por falta de marcações nos quadros	21
2.4	Exemplo de requisição e consumo de conteúdo via <i>streaming</i> adaptativo	23
2.5	Parte do arquivo cap_1.mpd, contendo informações para reprodução no padrão MPEG-DASH	24
4.1	Processo sumarizado em pseudolinguagem	35
5.1	Exemplo de tempo estimado de carregamento de uma mídia	36
5.2	Visão geral da transcodificação das mídias	37
5.3	Exemplo comparativo de mídias	38
5.4	Relação entre os arquivos originais e mídias pós transcodificação e segmentação	38
5.5	Relação entre os arquivos originais e mídias pós transcodificação	39
5.6	Verificação dos requisitos necessários	40
5.7	Verificação da presença de som na mídia	41
5.8	Remoção de metadados	41
5.9	Exemplo de transcodificação e segmentação de mídias	41
5.10	Criação do arquivo MPD	41
5.11	Modelo da base de dados da relação entre mídias antigas e novas	42
5.12	Expressão regular para encontrar mídias antigas na plataforma Moodle	43
5.13	Atualização dos <i>links</i> na plataforma Moodle	43
5.14	Exemplo de mídia embutida na base de dados da plataforma Moodle	43

5.15	Página <i>web</i> de execução da mídia	44
5.16	Grupo de participantes do estudo de caso por grau acadêmico	45
5.17	Perguntas conduzidas no estudo de caso	46
5.18	Periodicidade de consumo de mídias dos participantes	47
5.19	Velocidade do <i>link</i> de <i>Internet</i> dos participantes	47
5.20	Presença de erros na execução das mídias	48
5.21	Nível de satisfação do usuário com as mídias apresentadas	49
5.22	Preferência do consumo de mídia	49
5.23	Porcentagem do tamanho em relação à mídia original	51
5.24	Exemplo de entrada no <i>log</i> de acesso às mídias	52
5.25	Tentativas de acesso à mídia	52
5.26	Relação entre o tempo de consumo da mídia e o tempo de requisições repetidas	53

LISTA DE TABELAS

2.1	Tráfego agregado parcial – América do Norte – segundo semestre de 2014. Adaptado de Sandvine (2015).	22
4.1	Exemplo de diferença entre as mídias	31
5.1	Média do tamanho em disco das mídias (em <i>megabytes</i>)	39
5.2	Desvio padrão do tamanho em disco das mídias (em <i>megabytes</i>)	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CDN Content Delivery Network

DASH Dynamic Adaptive Streaming over HTTP

GOP Group of Pictures

GPS Global Positioning System

HE-AAC High Efficiency Audio Encoding

HTTP Hypertext Transfer Protocol

Moodle Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment

MPEG Moving Picture Experts Group

P2P Peer-to-peer protocol

QoE Quality of Experience

URL Uniform Resource Locator

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	CONTRIBUIÇÕES	14
1.2	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	14
2	CONCEITOS TEÓRICOS	15
2.1	PERCEPÇÃO DE CONTEXTO	15
2.2	QUALIDADE DE EXPERIÊNCIA (QOE)	17
2.3	ALINHAMENTO E MARCAÇÃO DE <i>FRAMES</i>	19
2.4	TECNOLOGIAS DE <i>STREAMING</i> ADAPTATIVO	21
2.5	TECNOLOGIAS PARA REPRODUÇÃO DAS MÍDIAS	24
3	TRABALHOS RELACIONADOS	26
4	CONJUNTO DE DADOS E METODOLOGIA PROPOSTA	30
4.1	AMBIENTE COMPUTACIONAL	30
4.2	METODOLOGIA PROPOSTA	31
5	IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO	36
5.1	DADOS GERAIS DAS MÍDIAS	36
5.2	DETALHES DA IMPLEMENTAÇÃO	40
5.2.1	Acesso às mídias	43
5.3	ESTUDO DE CASO	44
5.3.1	Planejamento do estudo e seleção dos participantes	45
5.3.2	Análise dos resultados do estudo de caso.....	46

5.4	IMPACTO NO AMBIENTE COMPUTACIONAL	50
5.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	56
6.1	TRABALHOS FUTUROS	57
	REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

O acesso a mídias pela *web* tem crescido significativamente nos últimos anos graças ao aumento de banda disponível para os usuários e ao aumento do número de dispositivos móveis. (BEGEN; AKGUL; BAUGHER, 2011) Estudos dos últimos anos demonstram aumento gradativo do consumo de *streaming* HTTP, tomando espaço do P2P em relação ao consumo mundial de banda, conforme observado em Portal (2010), Sandvine (2015) e muitos outros.

Com isso, nos últimos anos cresceu a preocupação com a utilização de banda para *streaming* HTTP, pois a tendência é de crescimento de produção e consumo desse tipo de mídia nos próximos anos. Uma das alternativas mais utilizadas e pesquisadas atualmente é a tecnologia DASH (*Dynamic Adaptive Streaming over HTTP* – Streaming dinâmico adaptativo sobre HTTP).

O DASH é atualmente objeto de grande interesse de pesquisa, e o seu sucesso se dá em parte por utilizar o HTTP, protocolo amplamente difundido, e atualmente presente nos mais variados dispositivos computacionais.

Neste trabalho são apresentadas técnicas para transcodificação, segmentação e reprodução de mídias, de acordo com o padrão MPEG-DASH. As mídias objeto do estudo são parte do material didático produzido pelo Centro de Educação a Distância (CEAD) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Para o estudo, foram selecionadas mídias de dois cursos com número razoável de acessos. O estudo foca no processo de transcodificação e segmentação, e analisa as diferenças de qualidade das mídias, tempo de carregamento para reprodução e aspectos relacionados ao ambiente computacional da Universidade Federal de Juiz de Fora. O trabalho ainda apresenta um estudo de caso, no intuito de analisar em maiores detalhes todo o objeto de estudo dessa dissertação pela perspectiva do usuário. Os resultados mostram que o processo, apesar de problemas pontuais, é viável e benéfico para o consumidor do conjunto de mídias apresentado.

1.1 CONTRIBUIÇÕES

As principais contribuições desta dissertação são:

- Avaliação da qualidade ao acesso das mídias via *streaming* adaptativo para educação, bem como os impactos computacionais inerentes;
- Caracterização de aspectos técnicos e de acesso a certos tipos de mídias numa instituição de ensino público brasileira;
- Detalhamento do processo de transcodificação e segmentação no padrão MPEG-DASH das mídias, com foco nos problemas apresentados, e suas respectivas soluções;
- Avanço nos estudos das ferramentas relacionadas ao padrão MPEG-DASH, com indicações de utilização das técnicas relativas à área de interesse.

1.2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está organizada da seguinte forma: no capítulo 2 são discutidos conceitos fundamentais para o entendimento do trabalho. O capítulo 3 traz os trabalhos relacionados a esta dissertação, e uma breve análise da importância destes. O capítulo 4 mostra, em detalhes, o conjunto de dados trabalhado e a metodologia proposta para a solução do problema proposto. O capítulo 5 traz avaliações do impacto da solução e detalha sua execução. Também traz um estudo de caso da solução implantada, que é discutida sob a ótica do usuário. Finalmente, no capítulo 6, há o exame dos resultados obtidos e a conclusão do trabalho, além de indicações de trabalhos futuros relacionados à área.

2 CONCEITOS TEÓRICOS

No presente capítulo são apresentados conceitos importantes para o entendimento da solução proposta. O primeiro item a ser exposto é o conceito de percepção de contexto, na seção 2.1. Nessa seção há um breve histórico e sua relação com o trabalho. O conceito de qualidade de experiência (QoE) é descrito na seção 2.2. Os conceitos, fundamentais para o trabalho, de marcação e alinhamento de quadros, são introduzidos na seção 2.3. Logo após, na seção 2.4 há uma introdução e análise do MPEG-DASH, onde sua motivação no uso no presente trabalho é dada, assim como a biblioteca libwebm. Por fim, a seção 2.5 traz uma análise introdutória de alguns reprodutores de mídia testados para obter uma execução da mídia com qualidade satisfatória.

2.1 PERCEPÇÃO DE CONTEXTO

Em sistemas computacionais, há a tradicional interação humano-computador na forma de entradas e saídas explícitas de dados. No intuito de facilitar essa interação, já na década de 1990 se estudava a computação ubíqua, aliada à possibilidade de redução dessa interação explícita humano-computador sempre que possível. Tal área de interesse é denominada como percepção de contexto, conforme visto em Schilit, Adams e Want (1994).

A percepção de contexto no âmbito da transmissão de mídias pela *web*, área de pesquisa do presente trabalho, é de fundamental importância, e pode ser vista como uma forma de se verificar capacidades do consumidor da mídia. Com essa verificação é possível enviar uma mídia de mesmo conteúdo, porém com, por exemplo, maior compressão ou compactação, ou ainda de menor taxa de *bits*, de acordo com as capacidades *hardware*, rede e preferências do consumidor da mídia. Desse modo é possível haver um menor consumo de banda, beneficiando o cliente, que não excede suas capacidades de *hardware* e de rede; e do provedor da mídia, que por fim transmite por muitas vezes menos dados, em relação à mídia de maior qualidade disponível entre todas as passíveis de transmissão.

Ainda em Schilit, Adams e Want (1994) são enumeradas quatro categorias de computação ciente de contexto:

- *Proximate selection* - seleção baseada em proximidade;
- *Automatic contextual reconfiguration* - reconfiguração contextual automática (incorporação/remoção dinâmica de componentes);
- *Context information and commands* - informação e comandos contextuais (dependência dos serviços de rede para exibição da informação);
- *Context triggered actions* - ações disparadas por troca de contexto.

Alguns estudos na área de computação sensível ao contexto datam da década de 1990. Em Asthana, Cravatts e Krzyzanowski (1994) há o conceito de integração de redes sem fio, vídeo, fala e tecnologias de acesso a dados em tempo real, com o objetivo de criar um dispositivo que guia os clientes em uma loja, de modo personalizado. O estudo afirma que desse modo a experiência do usuário na compra é melhorada, pois a compra se torna ao longo do tempo baseada na necessidade de cada cliente pelo perfil salvo na aplicação.

O Cyberguide Abowd et al. (1997) é um projeto do Instituto de Tecnologia da Geórgia, que utiliza dispositivos de radiação infravermelha e GPS para guiar turistas. O aplicativo envia informações ao turista sobre lugares de interesse e atrações do local. O Cyberguide foi um importante passo na pesquisa relacionada à percepção de contexto.

Na virada da década de 1990 foi inicialmente proposto o projeto GUIDE, sistema desenvolvido para visitantes de Lancaster. Trata-se de um guia turístico que utiliza o padrão IEEE 802.11 para a comunicação entre o servidor de conteúdo e o dispositivo *TabletPC TeamPad*. (CHEVERST et al., 2000)

Conforme observado já nos estudos mostrados, e reiterado em Strang e Linnhoff-Popien (2004), pode-se afirmar que a informação contextual pode possuir características temporais. Exemplos dessas características são histórico de contexto e atraso na recuperação do contexto.

De modo geral, para diminuir ou eliminar a interação de entrada/saída do usuário para o sistema, e desse modo atender aos objetivos do desenvolvimento de aplicações sensíveis ao contexto, requer-se principalmente modelos de contextos apropriados e adaptações do código em níveis (e.g., *middleware*). O *middleware* pode ocultar complexidade do sistema, separando a lógica do programa das alterações necessárias nas camadas superiores ao longo

do tempo. Todo o desenvolvimento deve ser modelado de acordo com as necessidades do projeto, pois não existem modelos padronizados para construção desse tipo de programa, e os modelos existentes geralmente estão limitados ao seu domínio. Logo, a ideia de que um *middleware* é uma adaptação genérica de ocultação de complexidade do sistema não pode ser considerada completamente correta.

Com o significativo aumento da computação ubíqua, principalmente nesta década, a percepção de contexto se tornou muito mais presente no cotidiano, devido principalmente ao maior número de dispositivos móveis. Sensores de movimento, GPS e mudanças na velocidade de rede atualmente definem comportamentos de muitos programas instalados em dispositivos móveis. A mesma afirmação vale para outros tipos de dispositivos, incluindo também nessa lista o computador pessoal. O presente trabalho se relaciona diretamente com os conceitos de percepção de contexto, principalmente de modo a reduzir a interação humano-computador, e, conforme discutido no início da seção, melhor aproveitamento de banda e adaptações ao *hardware*, no intento de obter níveis satisfatórios de qualidade de experiência (QoE), tema introduzido na seção 2.2.

2.2 QUALIDADE DE EXPERIÊNCIA (QOE)

Um dos objetivos do trabalho é que o aluno de educação a distância consiga utilizar das mídias produzida no Centro de Educação a Distância da Universidade Federal de Juiz de Fora com o menor número possível de contratempos. E a QoE, ou qualidade de experiência, está relacionada à satisfação do usuário com o serviço.

A QoE pode ser determinada como a medida da experiência do consumidor com um serviço. Trata-se de uma visão holística, e se traduz como a aceitação de uma aplicação como um serviço, de modo subjetivo pelo usuário final. (SG12, 2007)

O trabalho de Laghari et al. (2011) contextualiza os fatos que levaram à demanda de se estudar a qualidade de experiência. Discute-se no texto que a computação pervasiva foi, em parte, responsável por maior demanda por qualidade de serviço (QoS). E a argumentação é que o modo que o usuário interage com a infraestrutura de rede se tornou transparente, e com isso surgiu a necessidade de se criar perfis de serviço para a percepção de contexto.

Além da necessidade de se manter um serviço baseado em contextos para o usuário, é importante medir a qualidade que o serviço é oferecido ao cliente. A qualidade de serviço, métrica objetiva da qualidade do sistema, na maioria das vezes não é suficiente para que se afirme sobre a satisfação do usuário com o serviço. A medida de qualidade de experiência então entra em cena, com o objetivo de capturar avaliações subjetivas dos usuários na tentativa de se melhorar a qualidade geral do serviço prestado.

Há abundante literatura sobre técnicas de captura da avaliação do usuário sobre a qualidade do serviço. Exemplos de trabalhos reconhecidamente relevantes que levaram ao aprofundamento do tema são os estudos de Chen et al. (2009) e Kim e Choi (2010).

O trabalho de Chen et al. (2009) traz como novidade a *crowdsorceable* QoE, *framework* que leva ao usuário a condução de questionários para se obter dados da qualidade de experiência. Antes desse trabalho as experiências e deduções envolvendo QoE eram na maior parte das vezes conduzidas somente em ambiente acadêmico. Segundo os autores, o método clássico de obtenção de dados para a análise da qualidade de experiência não possui mesmo grau de alcance que a *crowdsorceable* QoE, pois a qualidade da experiência é subjetiva e é necessário estar em contato direto com o usuário. No entanto, os próprios autores afirmam que há dificuldade na exatidão da avaliação pelos usuários do método proposto, pois podem haver interferências alheias à qualidade do serviço de rede que podem enviesar o experimento.

O objetivo do trabalho de Kim e Choi (2010) é formalizar uma proposta de modelo de correlação de qualidade de serviço com qualidade de experiência. Ainda que se mostre uma proposta de difícil estudo, pois considera a natureza humana na relação, é um trabalho relevante. Nele foi construído um modelo para assegurar qualidade em IPTV, no qual é possível estimar a qualidade de experiência do usuário baseado na qualidade de serviço prestada pelo provedor de rede.

A avaliação da qualidade de experiência pode ser aliada a modelos psicológicos, conforme mostra Masrom (2007). Tais modelos, discutidos nesse e em outros diversos trabalhos, tais como Roca, Chiu e Martínez (2006) e Park (2009), que consideram intenções e percepções humanas, além de suscetibilidade a *marketing*. O uso dos modelos psicológicos tem como objetivo prever o comportamento do usuário por meio de atitudes e normas subjetivas e sociais.

Há então um consenso de que a medição da qualidade de experiência é um método de grande relevância, e se relaciona diretamente com avaliações de serviços de reprodução de mídia. Porém, é importante que ao avaliar a QoE se tenha em mente a subjetividade do experimento, e com isso pode existir viés na avaliação, que geralmente ocorre por fatos alheios à pesquisa. A seção 2.3 introduz conceitos importantes para a utilização do MPEG-DASH, tema discutido logo após, na seção 2.4, com o objetivo de melhorar a qualidade de experiência do aluno da educação a distância da Universidade Federal de Juiz de Fora.

2.3 ALINHAMENTO E MARCAÇÃO DE *FRAMES*

A correta marcação e subsequente alinhamento dos quadros de um vídeo são conceitos de fundamental importância para o trabalho. Sem tais técnicas, a execução da mídia fica comprometida, muitas vezes impossibilitando o consumo. Os erros comuns encontrados ao longo deste trabalho estão, na maior parte, associados à correta utilização dos conceitos presentes na presente seção.

A compressão de vídeo, técnica utilizada no trabalho, objetiva principalmente diminuir o tamanho em disco utilizado. Conforme se vê em detalhes em Li, Drew e Liu (2004), técnicas modernas de compressão reduzem significativamente o tamanho do arquivo de vídeo, principalmente por meio de diminuição de dados considerados redundantes no arquivo não comprimido.

Na maioria dos algoritmos de compressão de vídeo, as redundâncias são reduzidas através da combinação de três tipos de quadros:

- O quadro I (*I-frame*);
- o quadro P (*P-frame*);
- e o quadro B (*B-frame*).

O quadro I, também conhecido como quadro chave, é o que possui o maior volume de dados, ocupando maior espaço. Ele não possui referência para nenhum outro quadro, sendo capaz de ser exibido no reproduutor por si só. Já o quadro P possui somente dados

diferentes do quadro anterior a ele. Ao montar o quadro P, o reprodutor deve obter o quadro I e eliminar nesse quadro as diferenças entre o quadro P e ele, e assim montar o quadro para exibição. O quadro B é de certa forma similar ao P. No quadro B há a possibilidade da montagem do quadro da exibição utilizando-se também quadros posteriores a ele. A Figura 2.1 ilustra os conceitos mencionados, e a Figura 2.2 exemplifica a disposição de quadros no vídeo.

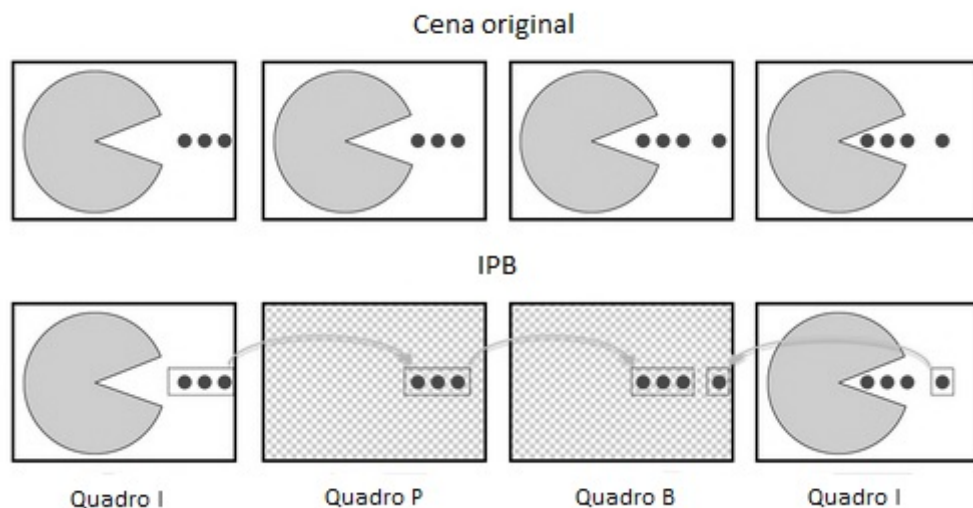


Figura 2.1: Diferenças entre os quadros I, B e P. Adaptado de Canon (2015).



Figura 2.2: Exemplo de disposição de quadros de vídeo. Adaptado de Communications (2016).

Os parâmetros da transcodificação de vídeo incluem, nos casos aplicáveis, a distribuição entre os tipos de quadros mencionados ao longo do vídeo. Chama-se GOP (*group of pictures* – grupo de imagens) o conjunto de quadros I e seus subsequentes, até o próximo quadro I. O conceito de GOP é importante para a execução das mídias do presente trabalho, pois o mesmo vídeo é transcodificado várias vezes com características técnicas diferentes, sendo o alinhamento entre os quadros dos diferentes vídeos fundamental para o funcionamento da solução apresentada no trabalho.

Outro conceito importante é o de marcação de quadro. Os reprodutores, ao executar as mídias transcodificadas e segmentadas nos parâmetros do presente trabalho, necessitam de marcações de quadro (*cue points*), de modo a garantir a reprodução satisfatória do conjunto de mídias especificado para o estudo. Sem tais marcações, o reprodutor perde referências dos quadros em alguns casos, ocasionando erros na execução. Assim, reprodutor continua a requisitar a mídia, mas é incapaz de exibí-la corretamente. Um exemplo pode ser visto na Figura 2.3.



Figura 2.3: Mídia exibida incorretamente por falta de marcações nos quadros

A marcação também pode servir para sincronizar legendas e prover opções de navegação. No caso do WebM, formato utilizado no trabalho, as marcações referenciam blocos que são marcados como quadros chave. Mais informações podem ser encontradas em Project (2015c).

A próxima seção entra nos detalhes sobre as tecnologias de *streaming* adaptativo e motivação para o uso neste trabalho.

2.4 TECNOLOGIAS DE *STREAMING* ADAPTATIVO

É possível perceber a crescente preocupação com o consumo de banda ao se transmitir multimídia pela *Internet* ao longo do tempo, conforme se vê no Capítulo 3. A análise encontrada em Sandvine (2015) mostra que o tipo de tráfego na *Internet* tem mudado nos últimos anos. O *BitTorrent* continua a perder espaço, assim como compartilhamento

de arquivos. Enquanto isso, serviços de vídeos sob demanda tem aumentado significativamente, conforme demonstra a Tabela 2.4, indicando o tráfego agregado na América do Norte em 2014.

Aplicação	Porcentagem
Netflix	32,39%
YouTube	13,25%
HTTP	8,47%
BitTorrent	5,03%
Facebook	2,94%
SSL	2,63%
iTunes	2,55%
MPEG	2,44%
Amazon Video	2,37%
Hulu	1,20%
Total parcial	73,28%

Tabela 2.1: Tráfego agregado parcial – América do Norte – segundo semestre de 2014. Adaptado de Sandvine (2015).

A Tabela 2.4 dá uma boa ideia de que a área de transmissão de multimídia é um assunto de importância. Atualmente há um número considerável de pesquisas na técnica DASH (*Dynamic Adaptive Streaming over HTTP* – Streaming adaptativo dinâmico sobre o HTTP), também conhecido como MPEG-DASH, que é objeto de estudo da presente seção. O MPEG-DASH está diretamente relacionado com o presente trabalho, e trata-se de uma técnica de *streaming* com taxa de *bits* que se adapta ao contexto do usuário, nos moldes da percepção de contexto, mostrada na seção 2.1.

O MPEG-DASH foi uma das primeiras tecnologias de *streaming* HTTP com padrão internacional reconhecido. (ISO, 2014) Atualmente esse padrão é de considerável interesse e vem sendo aprimorado, e grande parte da sua difusão se deve ao fato de que ele tem em sua base um protocolo amplamente conhecido na computação, o HTTP. O conceito principal do MPEG-DASH é a quebra de conteúdo multimídia em pequenos segmentos, opcionalmente com diferentes taxas de *bits*. É possível então haver, de acordo com o MPEG-DASH, *streaming* de alta qualidade na *Internet*.

O cliente recebe um arquivo no formato MPD (*media presentation description* – descrição da apresentação da mídia), e através dele seleciona, dentre as diferentes opções, a melhor possível, de acordo com sua capacidade de banda e processamento. A Figura 2.4 ilustra o conceito.

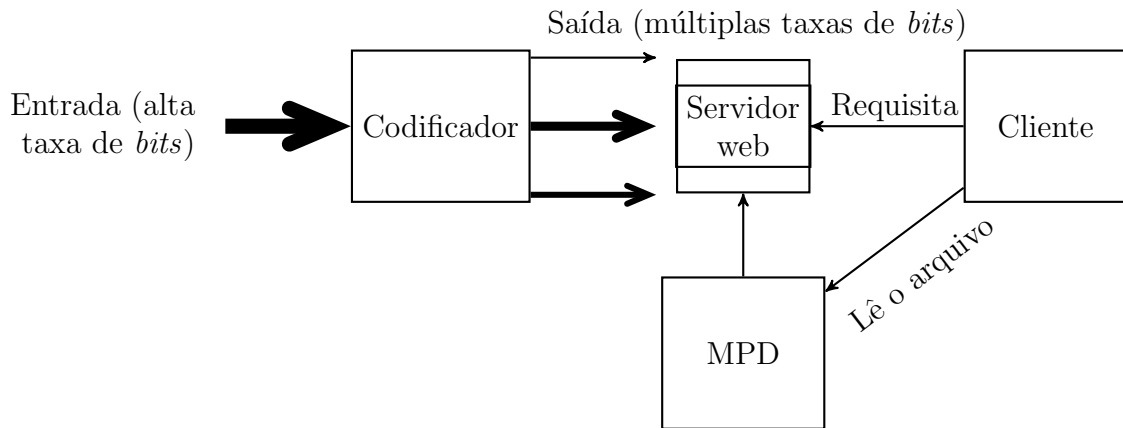


Figura 2.4: Exemplo de requisição e consumo de conteúdo via *streaming* adaptativo

A entrada, geralmente um arquivo de vídeo e áudio com alta taxa de *bits*, inicialmente passa por um codificador, onde são preparadas as mídias para a segmentação nos padrões do MPEG-DASH. A entrada é convertida, geralmente em diversas taxas de *bits*.

O reprodutor dessa mídia deve primeiramente ler o arquivo MPD para selecionar as mídias para a reprodução. Ao longo da execução da mídia, o cliente faz várias requisições, podendo mudar entre as mídias disponíveis, de acordo principalmente com oscilações na rede e demanda de processamento.

Conforme pode ser visto na Figura 2.5, exemplo de arquivo MPD, o reprodutor pode selecionar entre dois vídeos, encontrados nos marcadores (*tags*) `<BaseURL>`. As mídias que podem ser executadas paralelamente estão em marcadores `<AdaptationSet>` diferentes, e dentro dela o cliente seleciona a mídia que mais convém através do marcador `<Representation>`. Nesse exemplo o arquivo de manifesto provê acesso a duas opções de vídeo e paralelamente uma opção de áudio.

Além do `ffmpeg`¹, responsável pela transcodificação das mídias, foi empregada a biblioteca `libwebm`², parte do projeto WebM. O projeto traz um formato de arquivos de mídia para a *web*, definindo formatos para áudio e vídeos. Consiste de fluxos de vídeos comprimidos em VP8 e áudio no formato Vorbis. (PROJECT, 2015a) A versão do `ffmpeg` utilizada no trabalho, 2.6, possui suporte em fase experimental à segmentação necessária para as mídias, motivando assim o uso da biblioteca `libwebm`.

¹<http://ffmpeg.org/>

²<http://www.webmproject.org/code/>

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<MPD
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns="urn:
    mpeg:DASH:schema:MPD:2011" xsi:schemaLocation="urn:mpeg:DASH:
    schema:MPD:2011"
  type="static" mediaPresentationDuration="PT3011.04S" minBufferTime
    ="PT1S"
  profiles="urn:webm:dash:profile:webm-on-demand:2012">
<Period id="0" start="PT0S" duration="PT3011.04S" >
<AdaptationSet id="0" mimeType="video/webm" codecs="vp8" lang="eng"
  bitstreamSwitching="true" subsegmentAlignment="true"
  subsegmentStartsWithSAP="1">
<Representation id="0" bandwidth="59064" width="328" height="240">
<BaseURL>cap_1_c50.webm</BaseURL>
<SegmentBase
  indexRange="19404194-19414498">
<Initialization
  range="0-248" />
</SegmentBase>
</Representation>
<Representation id="1" bandwidth="113007" width="492" height="360">
<BaseURL>cap_1_c100.webm</BaseURL>
<SegmentBase
  indexRange="38211240-38221799">
<Initialization
  range="0-249" />
</SegmentBase>
</Representation>
</AdaptationSet>
</Period>
</MPD>

```

Figura 2.5: Parte do arquivo cap_1.mpd, contendo informações para reprodução no padrão MPEG-DASH

2.5 TECNOLOGIAS PARA REPRODUÇÃO DAS MÍDIAS

O cliente deve ser capaz de reproduzir as mídias no padrão descrito na seção 2.4. O presente trabalho utiliza o *framework* dash.js home (2015) para a reprodução das mídias.

O dash.js é a implementação de referência para o padrão MPEG-DASH, desenvolvida pela Dash Industry Forum³, uma associação de empresas que objetiva a adoção do MPEG-DASH em larga escala. De acordo com home (2015), o dash.js implementa as melhores práticas para execução da mídia, é grátis para uso comercial e não depende de *codecs* ou navegador específico.

A Dash Industry Forum foi, em grande parte, responsável pela transição da especificação do MPEG-DASH para a implementação real, incluindo o reprodutor dash.js. De

³<http://dashif.org/>

modo a facilitar a interoperabilidade da solução, o reprodutor foi escrito na linguagem JavaScript. O *framework* do MPEG-DASH ainda possibilita a construção de reprodutores de vídeo e áudio compatíveis com MPEG-DASH, e possui código aberto.

Mesmo sendo uma implementação de referência, o dash.js apresenta boa estabilidade, e foi utilizado no presente trabalho por não demandar nenhum trabalho extra do consumidor da mídia, bastando somente um navegador moderno com JavaScript habilitado. Além disso, os testes indicaram melhor desempenho em relação aos outros reprodutores testados no trabalho.

A reprodução de mídias no padrão MPEG-DASH também está disponível no Android e alguns modelos de *smart* TVs, na maior parte implementações de código fechado. Desse modo, não há modo de confirmar se o reprodutor segue na íntegra o padrão MPEG-DASH.

Outras opções testadas para a reprodução da mídia gerada no trabalho foram o dash.as⁴ e o reprodutor GPAC⁵, de modo a testar o nível de compatibilidade e estabilidade do reprodutor.

O panorama de trabalhos relacionados é discutido no Capítulo 3, que dá base ao Capítulo 4, responsável por detalhes das análises, testes e motivações para as escolhas feitas para a codificação e reprodução das mídias.

⁴<http://castlabs.com/open-source/dashas/>

⁵<https://gpac.wp.mines-telecom.fr/player/>

3 TRABALHOS RELACIONADOS

O crescente volume de acesso à multimídia na *web* é o principal motivo do aumento de interesse em estudos na área do presente trabalho. Tal preocupação se dá principalmente pela crescente quantidade de dispositivos móveis no mercado, da maior disponibilidade de banda e de informações relevantes ao usuário encontradas na *web*.

De certa forma, já havia tal preocupação no fim da década de 1980. O trabalho de Ghanbari (1989) divide uma imagem em duas camadas para a transmissão pela rede. A primeira camada contém informações estruturais, e a segunda traz informações necessárias para aumentar a qualidade da visualização. O trabalho descrito tinha como foco a transmissão de mídias através em redes com alta oscilação de banda, fato reiterado constantemente como preocupação no estudo.

O trabalho de Karlsson e Vetterli (1989), ainda na década de 1980, permite que a taxa de transmissão da mídia varie de acordo com o conteúdo do sinal enviado ao consumidor. A arquitetura de rede proposta é específica para transmissão de vídeo, e objetiva minimizar a dependência entre o sistema de transmissão e o formato do sinal de vídeo.

Os dois trabalhos anteriores serviram de base para o estudo de Pasquale et al. (1993), que traz um paradigma de transmissão de multimídia completamente novo, que dá suporte a heterogeneidade. Tal heterogeneidade é possível pois o nó de destino pode escolher o fluxo de dados desejado, de modo análogo ao esquema de TV a cabo, onde se seleciona um canal e o fluxo é transmitido. Um ponto importante nesse trabalho é a diminuição do acoplamento entre servidor e cliente, possibilitando transmissão multimídia com mais facilidade e eficiência. O trabalho trata brevemente sobre o alto custo de se manter uma conexão fim-a-fim para a transmissão de mídias.

Um passo importante nessa área de pesquisa, trazido já no fim da década de 1990, é o conceito de qualidade de serviço e adaptabilidade. Em Cen, Walpole e Pu (1997) há a preocupação de prover multimídia que se adapta às condições da rede em que trafega. Propõe-se então um novo fluxo de pacotes na rede e um controle de congestionamento. Em Bouras e Gkamas (2000) estuda-se uma arquitetura e implementação de *streaming* adaptativo, utilizado em redes heterogêneas. O objetivo era obter qualidade de serviço.

Tem-se, com objetivos similares, o trabalho de Hofmann et al. (1999), que traz técnicas de *caching*, visando melhorar a escalabilidade da distribuição de multimídia pela *Internet*.

O interessante estudo de Krasic, Li e Walpole (2001) traz à tona o dogma de que o TCP é uma escolha indesejável para transmissão de multimídia. O estudo revisa e rebate argumentos comuns na academia, e possui dados e experimentos importantes que talvez tenham consolidado a ideia de que o TCP, juntamente com outras tecnologias, é capaz e suficiente para transmissões de multimídia pela *Internet*.

Mais precisamente na área de estudo do presente trabalho, tem-se em Akhshabi, Begen e Dovrolis (2011) uma importante análise de adaptabilidade de conteúdo multimídia na *web*. O trabalho indica o início da distribuição de conteúdo multimídia via HTTP como é visto atualmente, levando em consideração vários cenários, como por exemplo as oscilações de rede. Em Cicco e Mascolo (2010) tem-se um trabalho similar. Trata-se de um estudo de performance de distribuição de vídeos em alta definição na CDN (*Content Delivery Network* – Rede de Distribuição de Conteúdo) Akamai.

Outro trabalho é o de Stockhammer (2011), tendo como motivação a expectativa de que no período de 2009 a 2014 o tráfego de dados móveis iria aumentar em 40 vezes. Esse trabalho possui uma compilação das motivações e princípios do uso da tecnologia de *streaming* com HTTP. Há também trabalhos como o de Vergados et al. (2014), que se vale de algoritmo de estimativas para adaptação da taxa de *bits* do MPEG-DASH. De acordo com os autores, percebe-se melhorias na qualidade de experiência do usuário. Estudos recentes também mostram que há a possibilidade de melhorar a performance do MPEG-DASH, valendo-se de comunicações assíncronas.

As pesquisas mais atuais dão, na maioria das vezes, grande ênfase na qualidade de experiência e em técnicas da distribuição da mídia, o que envolve a melhoria de algum aspecto técnico de interesse. O trabalho de Babu, Ramani e Obulesu (2015) é um exemplo. Trata-se de criar uma camada de transparência no acesso dos arquivos necessários à execução da mídia. Desse modo é possível distribuir os recursos pela rede, de modo similar a uma CDN, e então gerar um arquivo MPD dinamicamente de acordo com a melhor opção do consumo da mídia requisitada. Segundo os autores, a qualidade percebida pelo usuário tende a aumentar com essa técnica.

Já o problema observado em Sideris et al. (2015) se aplica somente quando duas

peessoas consomem a mesma mídia na mesma rede, não gerenciada. Há falhas na qualidade de experiência nesse caso, pois a prevenção de colisão do TCP e o padrão operacional do MPEG-DASH se opõem ao objetivo de transmitir, para dois ou mais consumidores, a mídia de acordo com a largura de banda. O artigo investiga as origens do comportamento citado e mostra que a duração do segmento influi na qualidade de experiência percebida pelo consumidor.

Ainda no intento de promover maior qualidade para o consumidor, em Detti, Ricci e Blefari-Melazzi (2016) há a discussão de que o consumo de mídias no padrão MPEG-DASH através de *proxy* diminui a qualidade de experiência do consumidor. O trabalho apresenta uma arquitetura de controle de informações *client-to-client*, que traz maior flexibilidade e controle da transmissão de dados.

Em Pham, Hughes e Lohmar (2016) se estuda técnicas de inserção de propagandas personalizadas, de acordo o perfil do consumidor da mídia. A inserção da propaganda é dinâmica e utiliza HTML 5, suportado por vários *set top boxes*.

As tecnologias de *streaming-as-a-service* e transcodificação em tempo real estão presentes em Timmerer et al. (2015). O artigo apresenta uma plataforma capaz de ser distribuída através de uma nuvem, e leva *streaming* de alta qualidade aos consumidores. Essa tecnologia suporta vídeos sob demanda e transcodificação.

O estudo de características do envio de mídia e seus impactos continua em Rodrigues et al. (2016). O trabalho foca na qualidade de experiência percebida pelo usuário, que consome um concerto através de uma rede congestionada. O experimento avalia a qualidade do áudio e a relação com a QoE, e discute sobre a quantidade de banda consumida do vídeo e do áudio, e sua relação, que, segundo os autores, nem sempre deve ser fixa.

Conforme pode ser visto, atualmente há grande interesse no aprimoramento de técnicas de utilização do MPEG-DASH, que também é o foco da presente dissertação. A maioria dos trabalhos desse tipo visam melhor aproveitamento dos recursos computacionais disponíveis, e principalmente tem a preocupação de aumentar a qualidade da experiência do consumidor da mídia. Esses estudos aumentam a maturidade do padrão MPEG-DASH e convergem para a melhoria da transmissão de mídias via *streaming*, encarando os problemas cotidianos do ponto de vista do provedor de conteúdo e do consumidor.

O foco na análise de diferentes soluções para transcodificação, segmentação e reprodução das mídias, aliada a observação de mudanças no comportamento do consumidor dentro do contexto de mídias para a educação são diferenciais do presente trabalho.

4 CONJUNTO DE DADOS E METODOLOGIA PROPOSTA

O presente capítulo traz em detalhes o conjunto de dados do trabalho e metodologia desenvolvida para a solução proposta. A seção 4.1 detalha o ambiente computacional do trabalho e o conjunto de dados envolvido. A seção 4.2 traz a metodologia adotada e motivações das escolhas feitas para se chegar à solução proposta.

4.1 AMBIENTE COMPUTACIONAL

O trabalho de Duarte (2014) traz informações da infraestrutura de rede da UFJF, ambiente dos dados do presente estudo. A UFJF provê conectividade para cerca de 6.000 computadores, e possui aproximadamente 19.000 alunos, 1.500 funcionários e 1.400 professores. Todo o tráfego de dados da UFJF com destino à *Internet* é enviado ao PoP-MG (ponto de presença da RNP em Minas Gerais) por dois enlaces ponto-a-ponto, atualmente com total de 1Gbps de banda.

As videoaulas produzidas pelo CEAD, Centro de Educação a Distância da UFJF têm como público alvo os discentes do ensino a distância, e não há nenhum tipo de restrição de acesso para os alunos do ensino presencial. Atualmente os cursos a distância da UFJF possuem cerca de 1.400 alunos matriculados em 7 cursos de graduação e 9 de pós graduação. Algumas dessas videoaulas foram escolhidas para ser o objeto de estudo deste trabalho, conforme será visto na seção 4.2.

Atualmente as videoaulas produzidas pelo CEAD não possuem padronização de codificação, resolução e qualidade de áudio. Tal fato gera transtorno para os discentes, que na maior parte das vezes estão em cidades que não possuem provedores de *Internet* que disponibilizam largura de banda suficiente para assistir o conteúdo de forma satisfatória, conforme experiência do próprio autor ao longo de mais de 5 anos.

Pode-se tomar como exemplo uma videoaula do curso de Licenciatura em Física, de acesso relativamente alto, conforme a Tabela 4.1. A coluna denominada “original”

	Original	Modificado
Resolução	656x480	492x360
Duração do vídeo	50m10s	
Vídeo	vp6f (flv), 1456kb/s	vp8 (libwebm), 101kb/s
Áudio	mp3, 22kHz, 64kb/s	vorbis, 22kHz, 73kb/s
Quadros por segundo	29,97	
Tamanho do(s) arquivo(s)	523MB	63MB

Tabela 4.1: Exemplo de diferença entre as mídias

possui os dados do arquivo de vídeo antes da transcodificação e segmentação, e a coluna “modificado” mostra características técnicas de um dos vídeos gerados, e seu respectivo áudio, nos padrões propostos do presente trabalho.

Como podemos perceber no exemplo da Tabela 4.1, a alta taxa de *bits* torna o tamanho do arquivo grande, vista a relativa baixa resolução. Depois de vários testes, decidiu-se diminuir a taxa de *bits* do vídeo, e em alguns casos a qualidade do áudio. Essa diminuição não tende a prejudicar em nenhum momento o aprendizado do aluno que consome a mídia.

O conteúdo mídia do CEAD é atualmente gerenciado por um repositório, de utilização interna. Toda a mídia se localiza em uma máquina virtual que possui o Sistema Operacional FreeBSD 10.2. Todo o ambiente de testes e de recodificação de vídeo foi feito em ambiente semelhante. Nessa máquina virtual foi instalado o ffmpeg 2.6, e também a biblioteca libwebm, de modo a adicionar marcações (*cue points*) ao vídeo, necessários à correta exibição, conforme visto na seção 2.3. No presente momento o ffmpeg tem suporte experimental a essa função e se mostrou instável para vídeos codificados com VP8, que foi utilizado em todo o trabalho.

4.2 METODOLOGIA PROPOSTA

Foram selecionados para o estudo as videoaulas de Licenciatura em Física e da pós graduação em Tecnologias de Informação e Comunicação no Ensino Básico. Tal seleção de cursos foi motivada pelo número e regularidade de acessos. Há um planejamento para que no futuro todo o tipo de mídia similar às do objeto de estudo possuam o mesmo padrão adotado pelo presente trabalho.

Os dois cursos citados são responsáveis por cerca de 10% da mídia já produzida pelo

CEAD da UFJF. Porém, no ano de 2014 os acessos aos vídeos desses cursos representaram cerca de metade dos acessos totais a vídeos do CEAD.

Conforme já comentado na subseção do ambiente computacional 4.1, foi utilizado o Sistema Operacional FreeBSD 10.2. Por alguns meses, diferentes técnicas foram postas em prática e analisadas no intuito de converter os vídeos para o padrão MPEG-DASH, levando sempre em consideração o recebimento satisfatório de mídia pelo discente da educação a distância da UFJF. Foram testados diversos *softwares* de transcodificação, segmentação e reprodução de mídia, e o número de *scripts* para testar e automatizar tarefas chegou a dezoito.

A primeira tentativa foi feita com os *softwares* ffmpeg e MP4Box¹, com o ffmpeg para transcodificação da mídia original em várias mídias de diferentes características técnicas, e o MP4Box para criação do *streaming* adaptativo MPEG-DASH. O vídeo foi codificado com x264 e o áudio com HE-AAC (*High Efficiency Audio Encoding* – Codificação de Áudio de Alta Eficiência). Apesar de alguns resultados satisfatórios, a biblioteca libx264 apresentou alguns problemas, e a exibição dos vídeos ficou comprometida. Mesmo ao utilizar os padrões recomendados pelos autores do MP4Box, a reprodução da mídia ora tinha qualidade abaixo do esperado para sua taxa de *bits*, ora não havia sincronização de áudio e vídeo. As mudanças no código encontradas em GSOC (2015) não foram testadas.

Para contornar o problema descrito, foi feita uma prévia transcodificação do vídeo de entrada para um formato cru (*raw encoding*), na tentativa de posterior reorganização dos quadros e da marcação ao longo do vídeo. Essa solução foi compatível com a biblioteca dash.js² no Google Chrome, da versão 43 a 45. Porém o suporte no Firefox é experimental e não funcionou corretamente nas versões 38 a 42. Alguns vídeos são executados somente até o primeiro fragmento do MPEG-DASH, e outros reproduzem sem som. A opção por essa transcodificação foi descartada, pois não dá garantias de correta execução, e possui alto custo computacional.

Uma alternativa ao dash.js, implementação para clientes reproduzirem conteúdo MPEG-DASH via Javascript foi também testada, na tentativa de obter uma solução mais abrangente possível. O dash.as³ é um reprodutor de mídia desenvolvido pela castLabs, escrito

¹<https://gpac.wp.mines-telecom.fr/mp4box/>

²<https://github.com/Dash-Industry-Forum/dash.js>

³<http://castlabs.com/open-source/dashas/>

na linguagem Adobe ActionScript. A grande vantagem desse reprodutor de mídia é a capacidade da mídia ser executada em qualquer plataforma com suporte a Flash. Desse modo, todo o necessário para a exibição da mídia fica sob responsabilidade do reprodutor, não dependendo da implementação do navegador para interpretar o JavaScript. No entanto, os testes com o dash.as mostraram capacidade de reprodução vídeo tão limitada quanto as opções anteriores. Aliada a essa relativa incompatibilidade, o dash.as é atualmente capaz de reproduzir somente vídeos H.264 com áudio HE-AAC.

Os formatos de vídeo e áudio suportados no dash.as também foram responsáveis pela opção de não utilização desse reprodutor. Os maiores problemas até então enfrentados foram a dificuldade de alinhamento dos quadros I e a segmentação dos arquivos de vídeo baseada nesses quadros, permitindo assim que o reprodutor de mídia leia corretamente os arquivos requisitados pelo cliente. Em um número razoável de vídeos o reprodutor de mídia se comportava de maneira instável, e na maioria dos casos o que um reprodutor executava, um outro qualquer não executava ou era deficiente.

Outra opção analisada no presente trabalho foi a geração de áudio na codificação Ogg Vorbis e vídeo no padrão webm, ambos pelo ffmpeg. Os testes mostraram que o ffmpeg não possui suporte adequado para segmentar os arquivos de vídeo. A reprodução da mídia ocorre sem problemas por apenas alguns milissegundos, provavelmente pela deficiente marcação de pontos chaves do vídeo. Entretanto, o projeto WebM⁴, em desenvolvimento pela Google, oferece um *parser* de arquivos WebM, que marca de forma satisfatória os quadros através do executável `sample_muxer`.⁵

Após extensivas análises e testes, concluiu-se que as mídias codificadas com ffmpeg e a biblioteca libwebm são reproduzidas de maneira satisfatória. Dessa maneira, optou-se por essa solução. Há então a utilização do ffmpeg, `sample_muxer`, além de um cliente mysql, pois a solução precisa salvar a relação entre as URLs das mídias antigas e novas. Além dos programas listados, é necessário que o programa `tr`⁶ esteja presente para a correta obtenção dos metadados das mídias de entrada. Antes da transcodificação houve a necessidade de verificação das propriedades da mídia, como por exemplo, se ela possui som e se há metadados com caracteres não ASCII. A não verificação desses itens em testes

⁴<http://www.webmproject.org/code/>

⁵Para se compilar corretamente no FreeBSD é necessário que se troque o tipo `LONG_LONG_MAX` para `LLONG_MAX` em todo o código da libwebm.

⁶<https://www.freebsd.org/cgi/man.cgi?tr>

gerou problemas na codificação das mídias.

O processo de transcodificação e segmentação das mídias se inicia com o vídeo de entrada, convertido em duas taxas e resoluções diferentes. A primeira transcodificação é feita com uma baixa taxa de *bits*, e a segunda possui uma qualidade razoável, e há sempre a opção para o usuário que deseja baixar o conteúdo em maior qualidade. A primeira transcodificação gera um vídeo com uma taxa de 50kbps, com espaçamento fixo entre os quadros I ao longo da mídia. O vídeo possui 240 pontos de largura, e a altura é ajustada de modo a manter a proporcionalidade do vídeo.

O segundo vídeo transcodificado possui o mesmo GOP do primeiro vídeo, e o dobro de taxa de *bits* por segundo, gerando uma mídia de tamanho e qualidade maiores. A largura do vídeo é de 360 pontos, e a altura é ajustada proporcionalmente, de acordo com a mídia de entrada. Cria-se também um vídeo em baixa resolução, caso o navegador seja incompatível com o reprodutor de mídia utilizado.

O áudio é único para todos os vídeos, e fica num arquivo a parte. Codificado com a biblioteca vorbis, possui taxa de 96kbps. No momento em que ele é codificado já é preparado para o padrão MPEG-DASH desejado.

É importante que o espaçamento entre os quadros I seja fixo. Caso contrário o reprodutor terá dificuldade de exibir o vídeo. No presente momento, para o reprodutor selecionado no estudo, não foi possível garantir a exibição correta de todas as mídias sem haver espaçamento de tamanho fixo e marcação dos quadros. O GOP escolhido foi de 150 quadros, tanto por se tratar na maior parte de vídeos com câmera fixa e pouco movimento, quanto pelo fato de não ter havido melhora substancial na reprodução com um GOP menor. Outro fato para tal escolha do tamanho do GOP é o resultado final do tamanho do vídeo, em vista do perfil dos consumidores das mídias.

Além dos três vídeos e áudio descritos anteriormente, codifica-se um novo vídeo, em alta resolução, disponível para *download*. O *link* fica disponível na página de visualização da mídia. Como não havia um padrão na disponibilização da mídia, verifica-se se a resolução do vídeo para a transcodificação. Caso o vídeo original tenha alta definição, mantém-se uma taxa de *bits* de 2,1Mbps e largura do vídeo em 720 pontos. Caso contrário, a taxa de *bits* fica em 1,2Mbps. Para evitar *upscale*, a resolução do vídeo de entrada é verificada.

Os parâmetros extras utilizados no ffmpeg para transcodificação dos vídeos foram `-quality good` e `-cpu-used 0`. De acordo com a documentação do projeto WebM, esses parâmetros dão similaridade ao `-best`, que dá a saída com a melhor qualidade possível a troco de ser extremamente lento. O nível de `-cpu-used 0` pode chegar a 5, e quanto maior, menor o controle de acurácia do controle de dados. (PROJECT, 2015b) Mesmo não utilizando o parâmetro `-best` codificação é lenta, tomando geralmente várias horas de execução para cada vídeo. O processo, sumarizado, é ilustrado em pseudolinguagem na Figura 4.1.

```

início
  se não possui programas requeridos então
    | termina a execução;
  fim
  coleta características técnicas da mídia;
  prepara ambiente para as mídias resultantes;
  remove caracteres não ASCII dos metadados;
  transcodificação de vídeos (para MPEG-DASH);
  se mídia possui som então
    | transcodifica som;
  fim
  se mídia de entrada = "alta qualidade" então
    | transcodifica em HD, mídia para download;
  senão
    | transcodifica em SD, mídia para download;
  end
  marcação/segmentação das mídias aplicáveis;
  criação do arquivo MPD;
  inserção dos dados na base para relação entre URL antiga e nova;
  modificações pertinentes no Moodle;
fim

```

Figura 4.1: Processo sumarizado em pseudolinguagem

O Capítulo 5 avalia, do ponto de vista computacional e humano, os impactos da solução apresentada.

5 IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO

A aplicação do conjunto de técnicas propostas é apresentada no presente capítulo, bem como a avaliação de impactos, mudanças no ambiente computacional e no modo de utilização das mídias, através de um estudo de caso. A seção 5.1 o contexto computacional características do conjunto de dados do trabalho, bem como motivação e dados estatísticos para utilização da técnica apresentada. A seção 5.2 apresenta alguns detalhes de implementação da solução proposta, e a seção 5.3 apresenta um estudo de caso, de modo a analisar o objeto de estudo dessa dissertação do ponto de vista do usuário e encontrar possíveis problemas. Em seguida, a seção 5.4 avalia os impactos da mudança no ambiente computacional da solução, e finalmente a seção 5.5 traz as considerações finais pertinentes.

5.1 DADOS GERAIS DAS MÍDIAS

Conforme mencionado na seção 4.1, não houve ao longo do tempo um padrão de codificação para as mídias produzidas pelo CEAD. As mídias deste trabalho são na maioria codificadas com VP6 com áudio em MP3, contidos em um arquivo flv. Há também alguns poucos arquivos avi e wmv.

A Figura 5.1 é um exemplo da diferença de tempo estimada no carregamento de uma videoaula. A barra superior ilustra o tempo de carregamento do vídeo na mais baixa qualidade de transcodificação e seu áudio (“mídia 1”), e a barra inferior representa o tempo esperado de carregamento da mídia original (“mídia 2”), ambos numa conexão com largura de 250kbps.

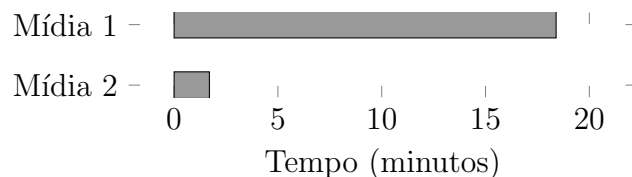


Figura 5.1: Exemplo de tempo estimado de carregamento de uma mídia

O exemplo da Figura 5.1, uma videoaula do curso de Licenciatura em Física, mostra que a mídia nos padrões deste trabalho é baixada pelo usuário cerca de dez vezes mais

rápido do que a mídia original. O tempo de carregamento foi baseado numa conexão com velocidade de 250kbps pois esse é um valor próximo da realidade dos pólos de educação a distância da Universidade Federal de Juiz de Fora, que na maioria possuem ligação com a *Internet* na velocidade entre 1 e 2 *megabits* por segundo. Além da grande diferença de tempo, havia, na maioria dos casos, a necessidade de se baixar toda a mídia para executá-la. Já no padrão MPEG-DASH, não há necessidade da mídia ser baixada completamente. Basta um pequeno *buffer* para o início da sua execução.

Para este trabalho adotou-se a transcodificação da mídia original em dois vídeos e áudio, além de uma mídia em maior resolução disponível para *download*, conforme ilustra a Figura 5.2.

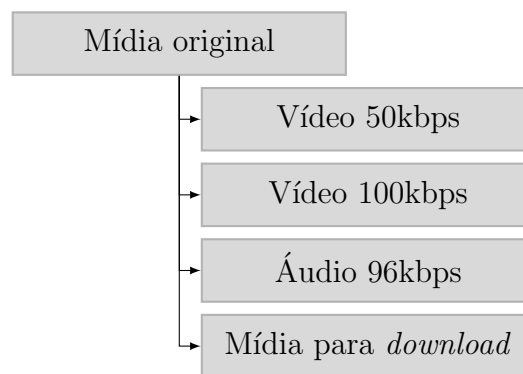


Figura 5.2: Visão geral da transcodificação das mídias

O vídeo de mais baixa qualidade foi transcodificado com VP8, a apresenta taxa de 50kbps. Procurou-se manter 240 pontos verticais de resolução, evitando *upscale* nos casos aplicáveis. Apesar da baixa taxa de *bits*, é possível acompanhar todos os detalhes relevantes ao aprendizado do discente. As diferenças desse vídeo para o de 100kbps, além da taxa de *bits*, são os pontos verticais, que chegam no máximo aos 480. O áudio, codificado em Ogg Vorbis, tem taxa média de 96kbps.

A Figura 5.3 é um exemplo de mídia pré e pós transcodificação. A captura de tela do lado esquerdo da figura exhibe a mídia antes da transcodificação, e o lado direito exhibe a mídia transcodificada e segmentada, na mais baixa taxa de *bits*. É possível deduzir, pela Figura 5.3, que a captura de tela da direita exibiu um vídeo mais comprimido, e que o aspecto visual pouco mudou.



Figura 5.3: Exemplo comparativo de mídias

A Figura 5.4 apresenta uma visão geral do tamanho das mídias, e a relação entre o tamanho dos arquivos originais e as mídias após transcodificação e segmentação. O “Vídeo 1” ilustra o vídeo de menor qualidade, e o “Vídeo 2” traz as informações do vídeo com taxa de 100kbps.

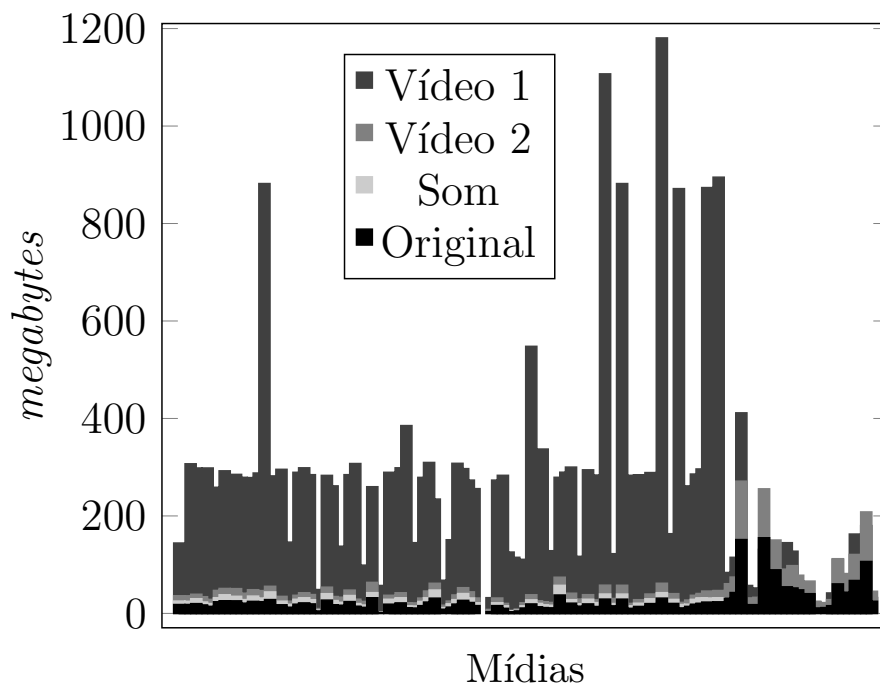


Figura 5.4: Relação entre os arquivos originais e mídias pós transcodificação e segmentação

A Tabela 5.1 exhibe a média geral do tamanho das mídias, classificadas de modo similar a Figura 5.4.

Além das transcodificações já mencionadas, foi decidido manter uma mídia com vídeo em alta resolução para *download*. A Figura 5.5 mostra a relação de tamanho em disco ocupado entre as mídias originais e as mídias com alta resolução. É importante mencionar

Mídia	Média (MB)
Vídeo 1	21,1
Vídeo 2	39,8
Som	17,2
Alta definição	167,2
Original	213,8

Tabela 5.1: Média do tamanho em disco das mídias (em *megabytes*)

que as mídias representadas na Figura 5.5 possuem a mesma resolução do vídeo original. Foi definida a taxa de 2,1Mbps para vídeos em alta definição (HD) e 1,2Mbps para vídeos de até 719 pontos verticais. Nos casos em que as taxas eram menores do que os valores mencionados, manteve-se a taxa original.

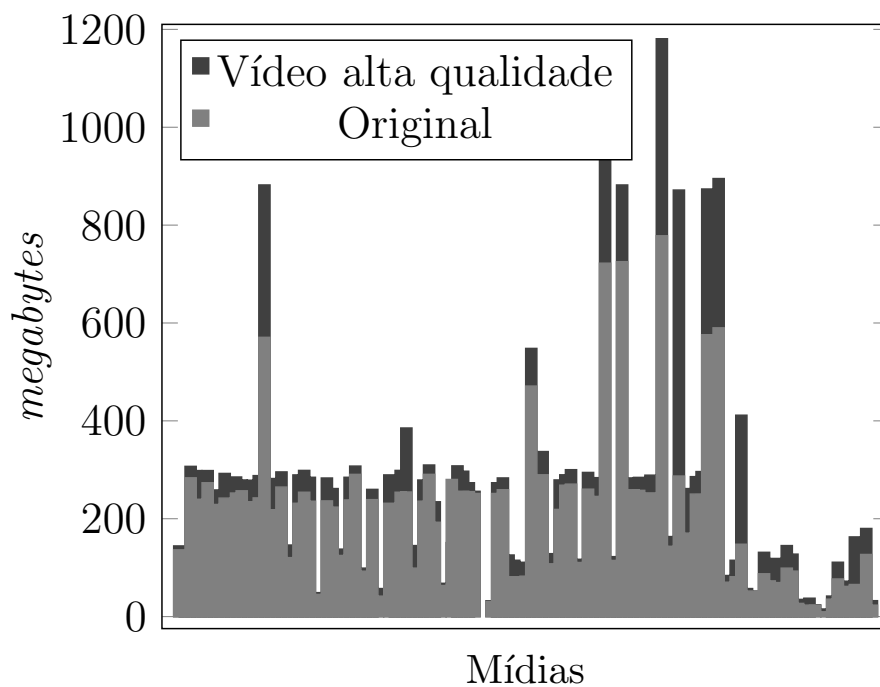


Figura 5.5: Relação entre os arquivos originais e mídias pós transcodificação

As Figuras 5.4 e 5.5 indicam diminuição considerável no tamanho em disco das mídias, fato discutido com mais detalhes na seção 5.4. Os dados do desvio padrão são mostrados na Tabela 5.2. Um dado relevante da tabela é que o valor do desvio padrão das mídias em alta definição é 68% do valor das mídias originais, e a diferença das médias entre os dois valores é de 22%. Isso evidencia que alta taxa de *bits* encontradas em algumas mídias não é o único problema.

Mídia	Desvio padrão (MB)
Vídeo 1	22,7
Vídeo 2	40
Som	12
Alta definição	142,9
Original	207,8

Tabela 5.2: Desvio padrão do tamanho em disco das mídias (em *megabytes*)

5.2 DETALHES DA IMPLEMENTAÇÃO

O processo de transcodificação e segmentação dos vídeos foi executado através de um *shell script*, com o interpretador de comandos `sh` (Bourne Shell)¹ do FreeBSD, versão 10.2, de modo a automatizar a tarefa. O único parâmetro de entrada do do *script* é a mídia de entrada.

Para que o *script* transcorra sem erros, verifica-se em primeiro lugar a presença dos executáveis necessários, conforme mostra a Figura 5.6.

```
command -v ffmpeg26 >/dev/null 2>&1 || { echo >&2 "Requer ffmpeg26
."; exit 1; }
command -v sample_muxer >/dev/null 2>&1 || { echo >&2 "Requer
sample_muxer."; exit 1; }
command -v mysql >/dev/null 2>&1 || { echo >&2 "Requer mysql."; exit
1; }
command -v tr >/dev/null 2>&1 || { echo >&2 "Requer tr."; exit 1; }
```

Figura 5.6: Verificação dos requisitos necessários

Passadas as verificações iniciais, transforma-se os caracteres do vídeo de entrada, de modo a remover caracteres especiais e transformar letras maiúsculas em minúsculas. Então é verificado se a mídia possui som, para evitar a criação de um arquivo de áudio vazio na transcodificação. A Figura 5.7 ilustra um método para verificar se há som na mídia através do `ffmpeg`.

A presença de caracteres especiais nos metadados da mídia impediu a correta transcodificação do vídeo. A versão do `ffmpeg` baixada pelo `pkg`² não possui suporte a caracteres especiais, resultando em erros ao obter dados para várias etapas do processo. A remoção de metadados, conforme mostra a Figura 5.8, resolve o problema.

¹<https://www.freebsd.org/cgi/man.cgi?query=sh>

²<https://www.freebsd.org/cgi/man.cgi?query=pkg>

```

ffprobe26_a="ffprobe26 -v error -of flat=s=_ -select_streams a:0 \
  -show_entries stream"
eval "${ffprobe26_a} "${1}"
if [ ! -z ${streams_stream_0_index} ]; then
  has_sound="yes"
fi

```

Figura 5.7: Verificação da presença de som na mídia

```

ffprobe26_ascii="ffprobe26 -v error -of flat=s=_ -select_streams v:0
  -show_entries stream_tags=handler_name,encoder"
eval "${ffprobe26_ascii} "${1}" | LC_COLLATE=C sed 's/[^a-zA-Z
0-9'\`'"]=_()+.]/g)'
if [ ! -z ${streams_stream_0_tags_encoder} ] || [ ! -z ${
streams_stream_0_handler_name} ]; then
  if [ ! -z ${has_sound} ]; then
    acodec_copy="-acodec copy"
  fi
  ffmpeg26 -loglevel panic -y -i "${1}" \
    -map_metadata -1 \
    -vcodec copy ${acodec_copy} ${foldername}/new.${filename_ext}
  mv ${foldername}/new.${filename_ext} "${1}"
fi

```

Figura 5.8: Remoção de metadados

O próximo passo do *script* é a transcodificação da mídia, nos moldes da Figura 5.9, e posterior criação do arquivo MPD, conforme Figura 5.10.

```

ffmpeg26 -y -i "${1}" -an -vcodec libvpx -keyint_min 150 -g 150 \
  -vb 50k -quality good -cpu-used 0 -vf \
  "scale=trunc(oh*a/2)*2:240" -f webm \
  ${newfolder}/${filename}_50.webm
if [ ! -z ${has_sound} ]; then
  ffmpeg26 -y -i "${1}" -vn -acodec libvorbis -b:a 96k -f \
  webm -dash 1 ${newfolder}/${filename}_96k.webm
fi

```

Figura 5.9: Exemplo de transcodificação e segmentação de mídias

```

ffmpeg26 -f webm_dash_manifest -i ${newfolder}/${filename}_c50.webm \
  -f webm_dash_manifest -i ${newfolder}/${filename}_c100.webm \
  -f webm_dash_manifest -i ${newfolder}/${filename}_96k.webm \
  -map 0 -map 1 -map 2 \
  -c copy \
  -f webm_dash_manifest \
  -adaptation_sets "id=0,streams=0,1 id=1,streams=2" \
  ${newfolder}/${filename}.mpd

```

Figura 5.10: Criação do arquivo MPD

Após do fim do processo de transcodificação e segmentação de todas as mídias, faz-se necessária a relação entre as mídias antigas e novas, tanto para as mudanças necessárias no Moodle, plataforma de educação a distância utilizada na UFJF, quanto para eventual consulta do usuário que guardou o *link* antigo. A parte principal da base de dados que guarda essas informações é ilustrada pela Figura 5.11.

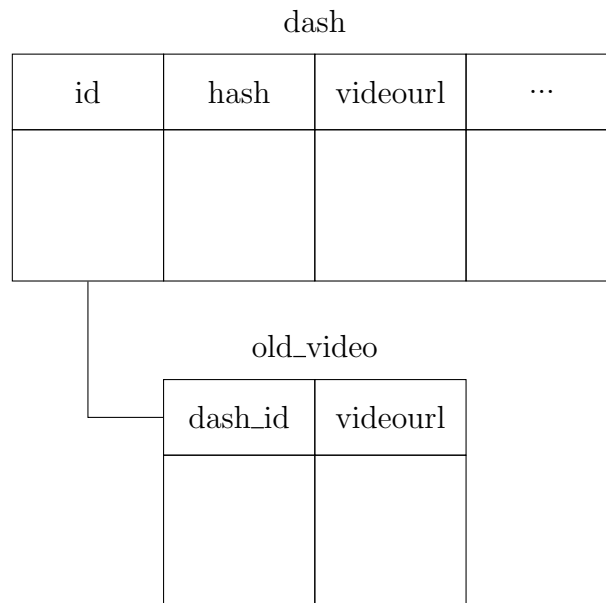


Figura 5.11: Modelo da base de dados da relação entre mídias antigas e novas

A relação entre as duas tabelas é um para um. As tabelas estão separadas para que num futuro próximo a tabela *old_video* não seja mais necessária. A URL das mídias novas é gerada a partir da coluna *hash* da tabela *dash*. Então alguns valores da tupla selecionada são carregados na página de exibição da mídia.

Essa base de dados também dá suporte a atualização das URLs das mídias dentro do Moodle. O processo foi feito por meio de um *script*, na linguagem PHP, que basicamente atualiza dois tipos de *links* na base de dados do Moodle. As mídias embutidas num reprodutor (*embed*) e os *links* simples na plataforma. A busca e atualização por esses dois tipos de *links* se deu por meio de expressões regulares. A expressão a ser procurada é mostrada na Figura 5.12, e a busca deve retornar se a mídia está embutida ou não, conforme Figura 5.13, devendo sempre haver cuidado para substituir somente a primeira ocorrência encontrada dentro de um *loop*. Na Figura 5.13 a função `is_tag_object($subject, $link)` retorna verdadeiro se o *link* do vídeo está embutido em algum reprodutor de mídia. A Figura 5.14 é um exemplo de vídeo embutido que deve ser trocado pelo *script*.

```
/\b(?:(:https?):\/\/www\.cead\.ufjf\.br\/[roa|videos_moodle])[-a-z0-9+@#\/%?=\~_!|:,.;]*[-a-z0-9+@#\/%=\~_!|]/i
```

Figura 5.12: Expressão regular para encontrar mídias antigas na plataforma Moodle

```
if (is_tag_object($row_mdldcoursesections['summary'], $match))
    $pattern_to_change = '#<object(?:\s+[>]+)?>(.*?)</object>#s';
else
    $pattern_to_change = $pattern;
$row_mdldcoursesections['summary'] = preg_replace(
    $pattern_to_change,
    $base_link.$row_hash['hash'],
    $row_mdldcoursesections['summary'],
    1
);
```

Figura 5.13: Atualização dos *links* na plataforma Moodle

```
<object type="application/x-shockwave-flash" style="width: 480px;
height: 360px;" #010;#010;data="http://www.cead.ufjf.br/plugins
/content/jw_allvideos/players/mediaplayer_4.0.46.swf"> <param
name="movie" value="http://www.cead.ufjf.br/plugins/content/
jw_allvideos/players/mediaplayer_4.0.46.swf" /> <param name="
quality" value="high" /> <param name="wmode" value="transparent"
/> <param name="bgcolor" /> <param name="autoplay" value="false"
/> <param name="allowfullscreen" value="true" /> <param name="
allowsriptaccess" value="always" /> <param name="flashvars"
value="file=http://www.cead.ufjf.br/roa/1/01APRESENTACAO.flv&
autostart=true&fullscreen=true" /></object>
```

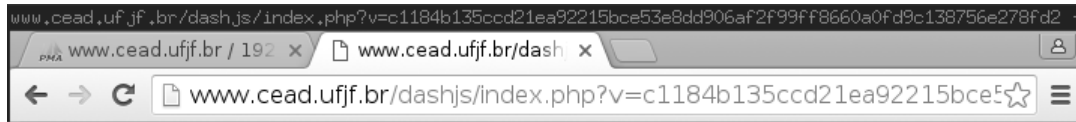
Figura 5.14: Exemplo de mídia embutida na base de dados da plataforma Moodle

Após a execução do *script* mencionado nesta subseção, as mídias resultantes podem ser acessadas pelo usuário através de *links* encontrados na plataforma Moodle. A subseção 5.2.1 detalha o acesso às mídias transcodificadas e segmentadas de acordo com o padrão MPEG-DASH.

5.2.1 ACESSO ÀS MÍDIAS

A troca das URLs das mídias é feito de modo transparente do ponto de vista do usuário da plataforma Moodle. As mídias embutidas (*embedded*) se tornaram *links* para uma página fora da plataforma, que executa a mídia. A Figura 5.15 exhibe a página *web* de execução das mídias.

Dado o contexto da implementação da solução proposta, é possível analisar um estudo de caso na seção 5.3, conduzido com propósito de avaliar os métodos e ferramentas utilizados, e então, no Capítulo 6, comentar os resultados do trabalho.



Compatível com [Google Chrome](#) e [Mozilla Firefox](#).

[Clique aqui](#) para baixar o vídeo.

[UFJF](#)

[CEAD](#)

Figura 5.15: Página *web* de execução da mídia

5.3 ESTUDO DE CASO

A avaliação da solução proposta, conforme indica Yin (2015), é feita de forma satisfatória por um estudo de caso, de modo que se tenha uma investigação empírica baseada em indícios de diversas fontes. O estudo de caso foi conduzido porque há pouco controle sobre o objeto da pesquisa e das variáveis do ambiente computacional. Ainda em Yin (2015) é possível perceber que o estudo de caso traz uma visão holística do problema e

revela nuances difíceis de se enxergar a “olho nu”. Na subseção 5.3.1 há motivação para a seleção dos participantes do estudo de caso e seu planejamento, e na subseção 5.3.2 a análise dos resultados coletados no estudo de caso.

5.3.1 PLANEJAMENTO DO ESTUDO E SELEÇÃO DOS PARTICIPANTES

O estudo de caso do presente trabalho tem como objetivo analisar o nível de aceitação mídias no padrão MPEG-DASH, do ponto de vista do usuário, a partir de diferentes ambientes computacionais. Foram selecionados 13 participantes para a realização do estudo de caso, com diferentes níveis de formação acadêmica, conforme ilustra a Figura 5.16. O único requisito para a seleção dos participantes foi o consumo, mesmo que eventual, de mídias pela *web*. Com isso, criou-se um grupo de participantes heterogêneo em formação acadêmica, na tentativa de se assemelhar a realidade da educação a distância na Universidade Federal de Juiz de Fora.

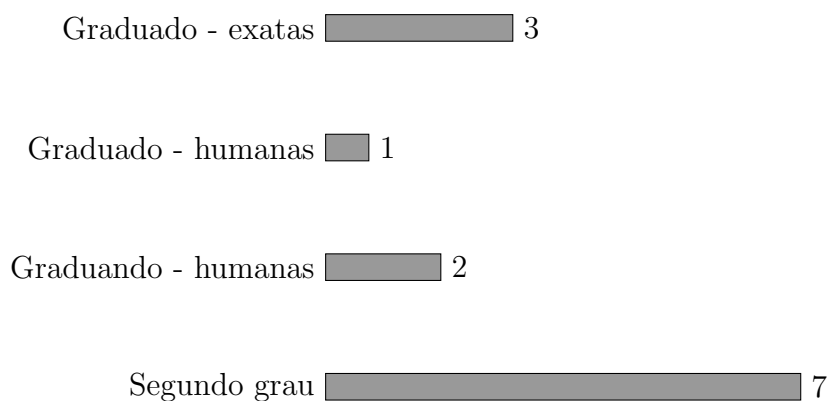


Figura 5.16: Grupo de participantes do estudo de caso por grau acadêmico

A condução do estudo de caso foi arranjada baseando-se na necessidade de se explorar os possíveis problemas na solução apresentada. A pesquisa descritiva se deu por entrevista, de modo a analisar a satisfação do entrevistado por meio da descrição de sua experiência. Desse modo foram obtidos dados para análises quantitativas e qualitativas para posterior investigação das falhas e causas de possíveis insatisfações.

As perguntas conduzidas no estudo de caso se deram após o entrevistado assistir uma videoaula do curso de Licenciatura em Física duas vezes, sendo a primeira vez consu-

minho a mídia antiga, e a segunda vez assistindo a videoaula com as mídias no padrão MPEG-DASH. Tais mídias foram chamadas de mídia 1 e mídia 2, respectivamente. Os participantes forneceram informações do seu consumo de mídias na *web*, velocidade estimada de conexão e avaliaram as mídias consumidas.

Os participantes avaliaram problemas encontrados na execução das mídias, além de uma breve avaliação de qualidade. Por fim, responderam qual seria a sua preferência como material de estudo. As questões da entrevista são ilustradas na Figura 5.17. O resultado e análise das avaliações são discutidos na subseção 5.3.2.

1. Qual é a periodicidade do seu consumo de mídia pela *web*?
 - Diária
 - Algumas vezes na semana
 - Algumas vezes no mês
 - Raramente
2. Qual é a velocidade do seu *link de Internet* no momento do consumo das mídias?
 - Maior do que 20Mbps
 - Entre 10 e 20 Mbps
 - Entre 5 e 10 Mbps
 - Entre 1 e 5 Mbps
 - Abaixo de 1Mbps
3. Você teve algum problema na execução das mídias?
 - Nas duas
 - Na primeira
 - Na segunda
 - Não
4. Numa escala de 1 a 5, onde 1 é o pior e 5 é o melhor, qual a sua avaliação geral da mídia 1?
5. Numa escala de 1 a 5, onde 1 é o pior e 5 é o melhor, qual a sua avaliação geral da mídia 2?
6. Comparando as mídias apresentadas, qual seria sua preferência de consumo como material de estudo?
 - Prefiro muito mais a mídia 1 do que a mídia 2
 - Prefiro mais a mídia 1 do que a mídia 2
 - Indiferente
 - Prefiro mais a mídia 2 do que a mídia 1
 - Prefiro muito mais a mídia 2 do que a mídia 1

Figura 5.17: Perguntas conduzidas no estudo de caso

5.3.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO

Após a entrevista e o questionário respondido pelos participantes foi feito o levantamento dos dados, de modo a obter dados da qualidade de experiência e sua relação com a velocidade de conexão com a *Internet*. O estudo de caso pode servir como indício de validade da correta proposta de modificação das mídias do presente trabalho.

As respostas a primeira pergunta da Figura 5.17 são exibidas na Figura 5.18.

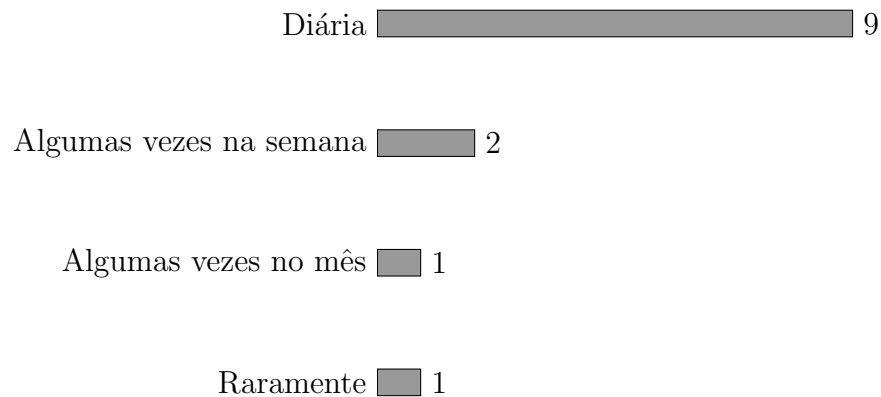


Figura 5.18: Periodicidade de consumo de mídias dos participantes

Analisando a Figura 5.18 vê-se que a maioria (nove) dos participantes do estudo de caso possuem boa familiaridade com o consumo de mídia pela *web*. Alguns participantes que não consomem tanto quanto os nove mencionados anteriormente, o que dá uma certa heterogeneidade ao grupo. Desse modo há melhores indícios de aceitação da solução apresentada.

A segunda pergunta do questionário respondido pelos participantes tem o objetivo de levantar informação para relacionar a satisfação do usuário no consumo das mídias com a velocidade do *link* de *Internet*. Temos então, na Figura 5.19 as respostas dadas a seguinte pergunta: “Qual é a velocidade do seu *link* de *Internet* no momento do consumo das mídias?”.

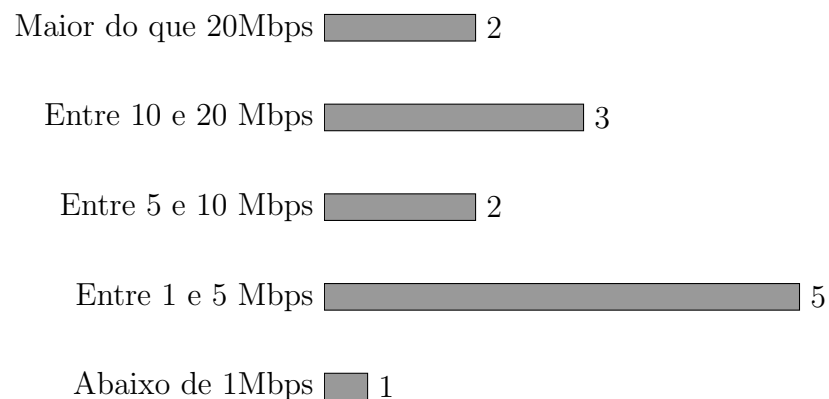


Figura 5.19: Velocidade do *link* de *Internet* dos participantes

A pergunta “Você teve algum problema na execução das mídias?” também tem relação

com a satisfação do consumo de mídias, e obviamente traz dados de não funcionamento de alguma parte da solução proposta. A Figura 5.20 traz os detalhes das respostas dadas.

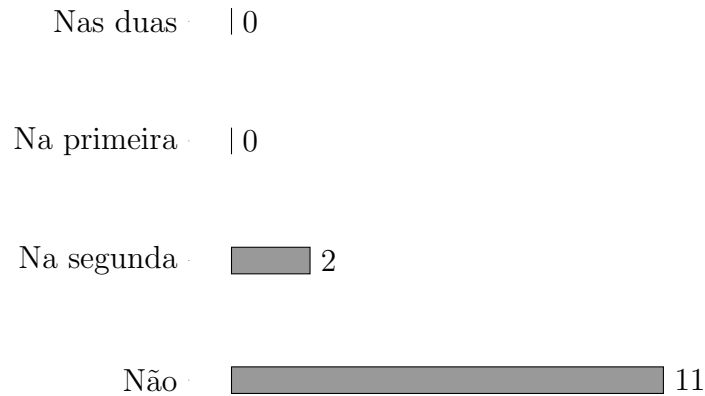


Figura 5.20: Presença de erros na execução das mídias

Os problemas relatados pelos participantes na execução das mídias foram investigados, e aconteceram em alguns momentos no *seek* da mídia. Esse fato provavelmente se deve a implementação da biblioteca *dash.js*, testada em diferentes versões para este trabalho. A versão utilizada foi considerada pelo autor a mais estável para as mídias transcodificadas e segmentadas conforme descrito ao longo do presente capítulo, e a sua melhoria foge do escopo do trabalho. É possível considerar uma maior uma investigação, para a melhoria da biblioteca como trabalho futuro relacionado com o presente trabalho.

A opinião do participante sobre a satisfação com as mídias apresentadas é registrada nas perguntas quatro e cinco, conforme se vê na Figura 5.17. Nas respostas observa-se uma visão geral e um comparativo entre as mídias. A opinião do participante é muito relevante, pois embasado nela é possível avaliar a solução implementada sob determinados aspectos, e ainda determinar novas técnicas e parâmetros. Com isso é possível trazer ainda mais benefícios ao usuário. A Figura 5.21 exhibe as respostas da pesquisa.

Na Figura 5.21 o tom mais escuro de cinza representa a mídia 1, e o tom mais claro, a mídia 2. Há alto nível de satisfação com a mídia 1, principalmente por apresentar melhor qualidade de imagem, isto é, maior resolução e taxa de *bits*. A melhor avaliação da mídia 1 em relação a 2 era esperada pelo autor, pois como se observa na Figura 5.19 e sua relação com a Figura 5.18, a maior parte dos entrevistados possui conexão de alta velocidade com a *Internet* e consome mídias com frequência pela *web*. Numa análise mais detalhada das respostas dadas no questionário, observa-se que as avaliações de notas mais baixas

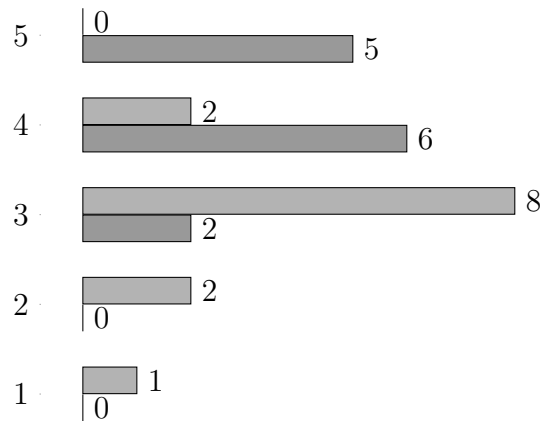


Figura 5.21: Nível de satisfação do usuário com as mídias apresentadas

são dadas por entrevistados com alto consumo de mídias pela *web* e que pagam um valor maior por conexões de alta velocidade, justamente para consumir mídias de alta qualidade pela *web*. Enquanto que, no geral, as avaliações de valor mais alto para a mídia 2 foram dadas por pessoas que possuem conexão mais lenta, e não necessariamente consomem quantidade menor de mídias pela *web*. Esses entrevistados apenas possuem preferências diferentes do grupo que avaliou pior a mídia 2.

Finalmente a última pergunta do questionário foi dada aos participantes, que segue: “Comparando as mídias apresentadas, qual seria sua preferência de consumo como material de estudo?”. Antes da pergunta ser feita, foi introduzido brevemente o estilo de estudo da educação a distância, desconhecido por alguns dos participantes. Desse modo foi possível inserir o participante no contexto real do consumo das mídias apresentadas, e então obter respostas mais precisas para a questão. As respostas para essa pergunta são ilustradas na Figura 5.22.

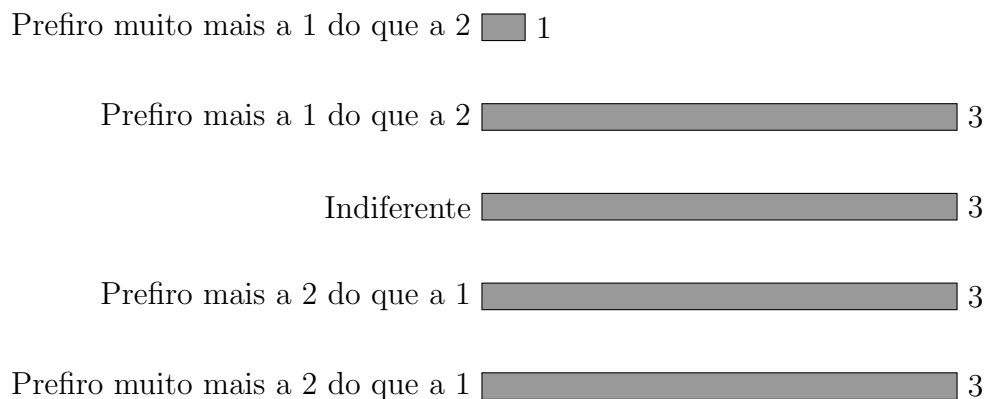


Figura 5.22: Preferência do consumo de mídia

Nota-se, numa análise das respostas dadas, que a preferência pela primeira mídia é exclusiva dos participantes que possuem conexão com a *Internet* de velocidade acima de 10Mbps. Tal fato indica que é indicado num futuro próximo uma transcodificação com maior taxa de *bits* por segundo, conforme será detalhado na seção 6.1.

Em linhas gerais, o estudo de caso e os comentários que surgiram na entrevista indicam que a maioria dos participantes possuem grande familiaridade com o consumo de mídias pela *web*. Tal fato contribui com a pesquisa, pois há, a partir da experiência do entrevistado, melhor avaliação das mídias baseada na comparação do que ele consome no dia a dia. No entanto, essa familiaridade não aparenta ter relação direta com a satisfação do entrevistado. Nota-se que houve um melhor nível de satisfação com o consumo da mídia 2 em relação a mídia 1 por entrevistados que possuíam menor velocidade de conexão com a *Internet*. E esse é justamente o objetivo do trabalho, pois é sabido, conforme visto na seção 5.1, que a largura de banda do discente da educação a distância é menor do que a de grande parte dos participantes do estudo de caso.

A diferença entre as velocidades de conexão com a *Internet* da maior parte dos entrevistados e de grande parte dos discentes ocorreu por dois motivos. O primeiro deles é que existe uma certa dificuldade de se achar, na cidade de Juiz de Fora, pessoas com conexões de velocidade tal qual a dos discentes de educação a distância e dos pólos de apoio presencial da Universidade Federal de Juiz de Fora. Houve também, por parte do autor do experimento, tentativa de entrevistar pessoas com diferentes velocidades de conexão com a *Internet*, de modo a tentar manter um grupo heterogêneo de entrevistados. Em análise resumida, principalmente quando se compara a satisfação dos usuários que possuem velocidade de conexão com a *Internet* similar a da maioria do público alvo das mídias no padrão MPEG-DASH, há uma experiência bastante satisfatória. Maiores detalhes são discutidos na seção 5.5, e a seção 5.4 traz uma análise dos impactos no ambiente computacional da solução aplicada.

5.4 IMPACTO NO AMBIENTE COMPUTACIONAL

Além do estudo de viabilidade da solução apresentada, feito principalmente através da análise do estudo de caso, é importante discutir os impactos das mudanças apresentadas

no trabalho em relação ao ambiente computacional. A diferença do tamanho das mídias transcodificadas e segmentadas, com a conseqüente mudança da utilização de unidades de armazenamento é um fato importante a ser discutido. Outro impacto direto é a mudança no consumo da banda para a transmissão das mídias.

Conforme mostrado na seção 5.1, há uma diferença significativa no tamanho dos arquivos. O processo descrito na seção 5.2 traz uma redução de no máximo 90% no tamanho do arquivo, para o vídeo de mais baixa qualidade, conforme ilustra a Figura 5.23.

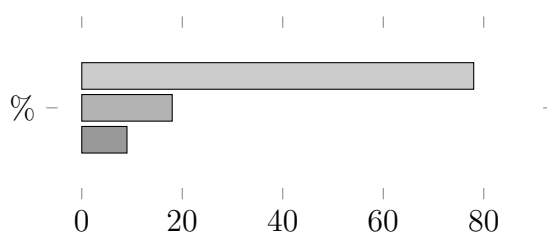


Figura 5.23: Porcentagem do tamanho em relação à mídia original

A barra superior na Figura 5.23 compara o tamanho em disco gasto pelas mídias chamadas anteriormente de “alta qualidade”, de acordo com o especificado no presente trabalho. A barra do meio ilustra o tamanho em disco gasto pelo vídeo de média qualidade, e a barra inferior representa o vídeo de baixa qualidade. Nos dois últimos casos o áudio não foi contabilizado.

Os parâmetros especificados para a transcodificação reduziram cerca de 22% o tamanho das mídias transcodificadas em alta qualidade, mantendo praticamente o mesmo aspecto visual. Além de uma análise detalhada dos aspectos técnicos da mídia, de modo a adaptá-la ao objetivo de material de estudo, a codificação e os parâmetros utilizados apoiaram a significativa redução de tamanho físico das mídias. Já os vídeos em baixa e média qualidade, sem seus áudios, respectivamente gastam 9% e 18% de espaço em disco em relação às mídias originais.

Há então uma demanda maior por espaço em disco na solução aplicada. Porém, obviamente, não se trata de uma regra. A avaliação do cenário e da demanda são os fatores principais a se levar em consideração. É provável que haja maior gasto de espaço em disco através do método descrito no trabalho, pois são criadas várias “versões” do mesmo conteúdo com características técnicas diferentes.

O espaço em disco gasto pela mídia, ou seja, seu tamanho, possui, obviamente, im-

pacto direto no gasto de banda. Porém, não é possível obter a medida exata do consumo de banda das mídias baixadas. Os arquivos de *log* de 2013 e 2014 referentes ao tráfego e dos serviços HTTP são sumarizados. Para a comparação com o tráfego das mídias após a transformação e segmentação descrita no trabalho há um formato similar de *log*, conforme ilustra a Figura 5.24.

```
179.176.202.139 - - [28/Apr/2015:13:51:12 -0300] "GET /roa/29/
Rua_Halfeld_PROF_LANA.flv HTTP/1.1" 301 431 "http://www.uab.ufjf.
br/course/view.php?id=14656" "Mozilla/5.0 (Windows NT 6.1; WOW64)
AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/42.0.2311.90
Safari/537.36" "-"
```

Figura 5.24: Exemplo de entrada no *log* de acesso às mídias

Em análise dos *logs* coletados de 2013 e 2014, nota-se padrões de acesso às mídias “antigas” que indicam fortemente problemas na sua visualização, conforme se vê em exemplo na Figura 5.25.

```
179.192.131.169 - - [20/May/2015:15:40:21 -0300] "GET /roa/12/
LEI_DAS_MALHAS_COM_B_parte_II.flv HTTP/1.1" 301 439 "-" "Mozilla
/5.0 (Windows NT 6.1; WOW64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like
Gecko) Chrome/43.0.2357.65 Safari/537.36" "-"
```

```
179.192.131.169 - - [20/May/2015:15:41:01 -0300] "GET /roa/12/
LEI_DAS_MALHAS_COM_B_parte_II.flv HTTP/1.1" 301 410 "-" "VLC
/2.0.5 LibVLC/2.0.5" "-"
```

```
179.192.131.169 - - [20/May/2015:15:41:24 -0300] "GET /roa/12/
LEI_DAS_MALHAS_COM_B_parte_II.flv HTTP/1.1" 301 410 "-" "VLC
/2.0.5 LibVLC/2.0.5" "-"
```

```
179.192.131.169 - - [20/May/2015:15:41:54 -0300] "GET /roa/12/
LEI_DAS_MALHAS_COM_B_parte_II.flv HTTP/1.1" 301 439 "http://www.
cead.ufjf.br/roa/12/" "Mozilla/4.0 (compatible; MSIE 8.0; Windows
NT 6.0; Trident/4.0)" "-"
```

Figura 5.25: Tentativas de acesso à mídia

A Figura 5.25 é um exemplo, entre muitos, que indica fortemente um padrão de tentativas frustradas de consumo de mídia. O IP requisitante pertence a um provedor que historicamente não faz nenhum tipo de tradução de endereço de modo a criar uma rede privada, com vários clientes dividindo o mesmo endereço IP.

Outro fato interessante é que as requisições foram feitas a partir de três agentes de usuário diferentes. É possível crer que o *link* entre o cliente e o servidor não caiu, e que esse comportamento do consumidor da mídia provavelmente ocorreu por impaciência, ou

incompatibilidade. Outros *logs* de sistemas da UFJF não indicam falha ou instabilidade na rede.

O fato dos *logs* apresentarem consistentemente o padrão de acesso visto na Figura 5.25 reforça a ideia de que as mídias, requisitadas através de diferentes aplicativos e por clientes de diferentes provedores de acesso, não estão sendo consumidas a contento. Uma análise mais aprofundada dos arquivos de *log* mostra que pelo menos 8% dos acessos de 2015 mostram esse comportamento. Foram excluídos do levantamento as requisições feitas de dentro da UFJF e de IPs sabidamente “compartilhados” por mais de um cliente. Um dado interessante é que as mídias menores em tamanho físico são responsáveis por entre 5 e 6% desse tipo de padrão de acesso, e nos vídeos de tamanho em disco maior a taxa chega a 13%.

Essa taxa de acessos com o padrão discutido não significa que esse tipo de acesso se deu em todos os casos por problemas em relação ao descontentamento do cliente em relação ao carregamento lento da mídia. Porém, há indícios suficientes em alguns casos que levam a crer que a grande maioria desses problemas ocorreram pelo tamanho da mídia a ser transmitido, na maioria das vezes em transmissões por uma banda não suficiente, como discutido na seção 5.1 e reforçado nos dados da Figura 5.26. Ela traz o comportamento do usuário requisitando repetidamente a mesma mídia, e indica algumas médias de relação entre o tempo esperado de consumo de uma mídia e o tempo em que ela foi requisitada novamente pelo mesmo cliente. Foram contabilizadas as mídias com mais de três tentativas de acesso.

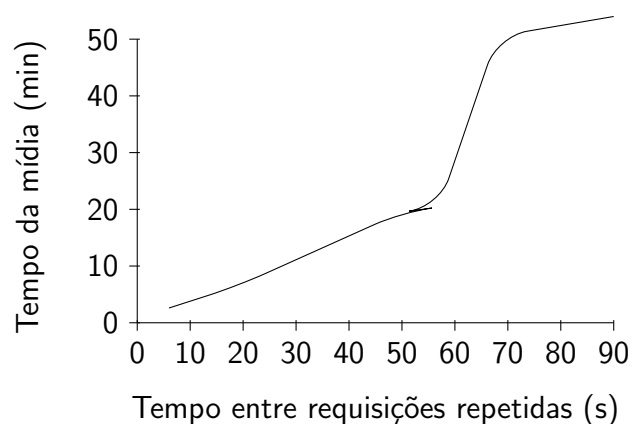


Figura 5.26: Relação entre o tempo de consumo da mídia e o tempo de requisições repetidas

A curva mostrada na Figura 5.26 corrobora com os estudos encontrados em (EGGER et al., 2012) . As mídias menores em tamanho são requisitadas pelo mesmo cliente num espaço menor de tempo do que as mídias maiores, possivelmente por conta do usuário, que tem tolerância a espera maior em vídeos mais longos. As requisições repetidas sobrecarregam o servidor e não cumprem o objetivo do consumidor da mídia, gerando gastos desnecessários. Na maioria dos casos de falha é possível descartar a possibilidade da mídia ter sido baixada localmente no cliente, pois a velocidade excederia os 30MB/s, e a capacidade nominal de tráfego no *firewall* do CEAD é de 12,5MB/s (100Mb/s).

Após a transcodificação e segmentação das mídias de Licenciatura em Física e da pós graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação no Ensino Básico é perceptível a diminuição das requisições repetidas pelo mesmo endereço IP, chegando a um valor próximo dos 3%. No entanto, não é possível fazer uma comparação direta dos valores, pois alguns cursos a distância não abriram turmas no ano de 2016, e é provável ter havido redução da demanda por esse tipo de mídia.

Em suma, é possível perceber que alguns clientes têm problemas na execução das mídias, agravados principalmente pelo grande tamanho ocupado por elas, e consequente demora na transmissão. Há indicativos de melhora sensível no acesso a partir da transcodificação e segmentação proposta no trabalho. Porém, há outros detalhes não contabilizados, como por exemplo o quantitativo de consumidores dessas mídias que pararam de tentar o acesso ao longo do tempo, por ter problemas demais na visualização. Não é difícil imaginar que as desistências de consumo das mídias ocorreram com significativa frequência, dada a velocidade de acesso à *Internet* da maioria dos discentes da educação a distância da UFJF. É de se imaginar que, com a implantação do *streaming* adaptativo, gradativamente esse tipo de discente volte a consumir as mídias nos próximos anos. Os arquivos de *log* por si só não indicam a satisfação com as mudanças descritas no trabalho, somente dão indicativos para uma análise mais detalhada, que pôde ser melhor conduzida com a experiência do autor nos problemas relacionados ao objeto de estudo do trabalho e referências de problemas relatados no suporte técnico do Centro de Educação a Distância. A seção 5.5 traz as considerações finais cabíveis ao estudo.

5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É possível concluir, através de análise do estudo de caso, que a solução implementada traz um avanço significativo, tanto no ambiente computacional quanto para o consumidor das mídias. O estudo trouxe avaliações satisfatórias por parte dos entrevistados. A partir disso, é possível que haja aumento de interesse de consumo das mídias, e conseqüentemente mais produção desse tipo de mídia por parte dos docentes. Não é possível contabilizar as desistências de consumo de mídias ao longo do tempo, porém o problema era notório para a equipe de tecnologia do Centro de Educação a Distância da UFJF. Partiu-se então para a análise dos arquivos de *log* de acesso, que, conforme visto na seção 5.4, indicam um alto número de tentativas de acesso que não concluem a correta exibição das mídias, indicando problemas. Tais padrões de acesso diminuíram significativamente nos *logs* recentes, indicando que o grande tamanho das mídias “antigas” e conseqüente lenta transmissão traziam problemas aos discentes. Houveram também alguns pequenos problemas na execução das mídias, alvo de possíveis melhorias num trabalho futuro, conforme se discute na seção 6.1. Essa mesma seção mostra que o estudo de caso foi útil, pois trouxe à tona uma visão diferente do problema estudado, além de nortear novos desafios para trazer melhorias e maior maturidade da solução encontrada. Já no início do Capítulo 6 encontra-se, além da discussão de melhorias, argumentações da importância das técnicas e soluções do trabalho, e suas principais contribuições.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho apresentou técnicas para reprodução, segmentação e transcodificação de mídias no padrão MPEG-DASH, e o impacto no ambiente computacional da Universidade Federal de Juiz de Fora. Foi discutido ao longo do trabalho que a documentação para a aplicação das técnicas citadas é escassa, e a maior parte do que existe atualmente na literatura traz informações incompletas.

As várias técnicas utilizadas no trabalho trouxeram à tona diferentes erros e resultados insatisfatórios. Observou-se, na maioria dos testes, incapacidade da correta reprodução das mídias, e em alguns casos o processo falhava em algum ponto específico.

Num primeiro momento foi observado que a mídia produzida pelo Centro de Educação a Distância da Universidade Federal de Juiz de Fora não possuía padrão de codificação, e em muitos casos havia uma alta taxa de *bits*, visto o perfil computacional da maioria dos consumidores das mídias. Os testes de transcodificação foram feitos baseados no perfil citado, e baseados inicialmente na documentação oficial de cada programa utilizado.

No entanto, os testes preliminares com diversas ferramentas de transcodificação, segmentação e reprodução indicaram problemas na execução da mídia nos reprodutores testados. Tais problemas possivelmente possuem raiz nas implementações das ferramentas testadas, que geraram mídias variados tipos de problemas.

Após exaustivos testes, foram escolhidas as ferramentas e os parâmetros adequados. O ambiente computacional dessa universidade proporcionou o conjunto de mídias para o estudo e dados suficientes para análise das técnicas utilizadas e os benefícios decorrentes.

O trabalho trouxe brevemente dados do ambiente computacional onde a solução foi aplicada, além de detalhes da implementação da solução. Tais detalhes mostram, ao decorrer dos testes, os problemas encontrados e o que foi feito para se encontrar a solução mais adequada.

A solução implementada foi testada exaustivamente, e ainda foi conduzido um estudo de caso. Nele foi possível concluir que a solução encontrada funciona a contento, apesar de problemas pontuais, e traz, na opinião do autor, melhor qualidade de experiência para

os consumidores do conjunto de mídias. O trabalho mostrou também que o processo em massa, apesar de trabalhoso, é viável e deve ser amplamente discutido, não somente por uma equipe de tecnologia da informação, pois obviamente a solução encontrada pode ter profundo impacto no modo de aprendizado do aluno.

Além disso, o estudo de caso aliado a análise das mudanças provocadas pelo trabalho nortearam algumas sugestões de trabalhos futuros, e uma compilação da dissertação gerou trabalhos para submissão em eventos na área de interesse. As sugestões de avanços na área estudada e trabalhos futuros são discutidas na seção 6.1.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

A investigação das causas das diversas falhas discutidas ao longo dessa dissertação configura um interessante estudo, sendo o objetivo da pesquisa trazer ao público maior conhecimento das causas dos diferentes problemas encontrados. Essa profunda busca por soluções não foi feita no presente trabalho, pois demandaria uma longa pesquisa que provavelmente fugiria do escopo principal dessa dissertação. A partir dessa pesquisa é possível investigar em detalhes a implementação das ferramentas utilizadas, numa possível parceria com os desenvolvedores das ferramentas.

O estudo do impacto pedagógico dos resultados do presente trabalho é um tema de interesse. Há também a possibilidade de relacionar o tema da dissertação com a construção de repositórios de objetos de aprendizagem mais eficientes para o aluno. Ainda na mesma linha de pesquisa, é interessante a investigação mais aprofundada do perfil de aprendizado do aluno, e com isso, se necessário, modificar os parâmetros de transcodificação e segmentação do conjunto de mídias.

Outro ponto importante é manter, melhorar e solidificar o padrão e técnicas adotadas na dissertação. O objetivo dessas melhorias é a expansão da utilização das técnicas apresentadas no trabalho por toda a UFJF, e assim ter maior aproveitamento dos benefícios pedagógicos e computacionais que o presente trabalho trouxe.

REFERÊNCIAS

- ABOWD, G. D. et al. Cyberguide: A mobile context-aware tour guide. *Wireless networks*, Springer-Verlag New York, Inc., v. 3, n. 5, p. 421–433, 1997.
- AKHSHABI, S.; BEGEN, A. C.; DOVROLIS, C. An experimental evaluation of rate-adaptation algorithms in adaptive streaming over HTTP. In: ACM. *Proceedings of the second annual ACM conference on Multimedia systems*. [S.l.], 2011. p. 157–168.
- ASTHANA, A.; CRAVATTS, M.; KRZYZANOWSKI, P. An indoor wireless system for personalized shopping assistance. In: IEEE. *Mobile Computing Systems and Applications, 1994. Proceedings., Workshop on*. [S.l.], 1994. p. 69–74.
- BABU, S. D.; RAMANI, K.; OBULESU, O. Real time implementation on media presentation description for mpeg-dash. *i-Manager's Journal on Software Engineering*, iManager Publications, v. 9, n. 3, p. 11, 2015.
- BEGEN, A. C.; AKGUL, T.; BAUGHER, M. Watching video over the web: Part 1: Streaming protocols. *Internet Computing, IEEE*, IEEE, v. 15, n. 2, p. 54–63, 2011.
- BOURAS, C.; GKAMAS, A. Streaming multimedia data with adaptive QoS characteristics. *Protocols for Multimedia Systems*, p. 22–25, 2000.
- CANON. *EOS Movie Compression Options: All-I and IPB*. 2015. Disponível em: <http://www.canon.com.hk/cpx/en/technical-va_EOS_Movie_Compression_Options_All_I_and_IPB.html>.
- CEN, S.; WALPOLE, J.; PU, C. Flow and congestion control for internet media streaming applications. In: INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICS AND PHOTONICS. *Photonics West'98 Electronic Imaging*. [S.l.], 1997. p. 250–264.
- CHEN, K.-T. et al. A crowdsourcable QoE evaluation framework for multimedia content. In: ACM. *Proceedings of the 17th ACM international conference on Multimedia*. [S.l.], 2009. p. 491–500.

- CHEVERST, K. et al. Experiences of developing and deploying a context-aware tourist guide: the GUIDE project. In: ACM. *Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*. [S.l.], 2000. p. 20–31.
- CICCO, L. D.; MASCOLO, S. *An experimental investigation of the Akamai adaptive video streaming*. [S.l.]: Springer, 2010.
- COMMUNICATIONS, A. *Video compression*. 2016. Disponível em: <<http://www.axis.com/ro/en/learning/web-articles/technical-guide-to-network-video/video-compression-guide>>.
- DETTI, A.; RICCI, B.; BLEFARI-MELAZZI, N. Tracker-assisted rate adaptation for mpeg dash live streaming. In: IEEE. *IEEE INFOCOM 2016-The 35th Annual IEEE International Conference on Computer Communications*. [S.l.], 2016. p. 1–9.
- DUARTE, R. C. *Avaliação do Impacto de Falhas no Tráfego da Rede da Universidade Federal de Juiz de Fora*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Juiz de Fora, Rua José Lourenço Kelmer, S/N - Campus Universitário - Bairro São Pedro - CEP: 36036-900 - Juiz de Fora - MG - Brasil, 8 2014.
- EGGER, S. et al. Waiting times in quality of experience for web based services. In: IEEE. *Quality of Multimedia Experience (QoMEX), 2012 Fourth International Workshop on*. [S.l.], 2012. p. 86–96.
- GHANBARI, M. Two-layer coding of video signals for VBR networks. *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, IEEE, v. 7, n. 5, p. 771–781, 1989.
- GSOC. *GSOC project to get p-frames on x264*. 2015. Disponível em: <<http://repo.or.cz/w/x264/x264-p-frames.git/blobdiff/bcba15dbbc0d6be28129b85d541a0bc5050bab40-.6169a3f6c01ca95ac5f17d65c76af6830954789d:/muxers.c>>.
- HOFMANN, M. et al. Caching techniques for streaming multimedia over the internet. Citeseer, 1999.
- HOME dash.js. *dash.js home*. 2015. Disponível em: <<https://github.com/Dash-Industry-Forum/dash.js/wiki>>.

- ISO. *Information technology—Dynamic adaptive streaming over HTTP (DASH)*. Geneva, Switzerland, 2014.
- KARLSSON, G.; VETTERLI, M. Packet video and its integration into the network architecture. *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, IEEE*, v. 7, n. 5, p. 739–751, 1989.
- KIM, H. L.; CHOI, S. G. A study on a QoS/QoE correlation model for QoE evaluation on IPTV service. In: IEEE. *Advanced Communication Technology (ICACT), 2010 The 12th International Conference on*. [S.l.], 2010. v. 2, p. 1377–1382.
- KRASIC, C.; LI, K.; WALPOLE, J. The case for streaming multimedia with TCP. In: *Interactive Distributed Multimedia Systems*. [S.l.]: Springer, 2001. p. 213–218.
- LAGHARI, K. U. R. et al. Qoe aware service delivery in distributed environment. In: IEEE. *Advanced information networking and applications (WAINA), 2011 IEEE Workshops of International Conference on*. [S.l.], 2011. p. 837–842.
- LI, Z.-N.; DREW, M. S.; LIU, J. *Fundamentals of multimedia*. [S.l.]: Springer, 2004.
- MASROM, M. Technology acceptance model and e-learning. 2007.
- PARK, S. Y. An analysis of the technology acceptance model in understanding university students' behavioral intention to use e-learning. *Journal of Educational Technology & Society*, JSTOR, v. 12, n. 3, p. 150–162, 2009.
- PASQUALE, J. C. et al. The multimedia multicast channel. In: SPRINGER. *Network and Operating System Support for Digital Audio and Video*. [S.l.], 1993. p. 197–208.
- PHAM, S.; HUGHES, K.; LOHMAR, T. Implementing dynamic ad insertion in html5 using mpeg dash. IET, 2016.
- PORTAL, T. Statistics. *Distribution of mobile broadband traffic services in the Americas in 2010, by service*. 2010. Disponível em: <<http://www.statista.com/statistics/218995-/mobile-broadband-traffic-service-distribution-in-the-americas/>>.
- PROJECT, W. *About WebM*. 2015. Disponível em: <<http://www.webmproject.org-/about/>>.

- PROJECT, W. *VP8 Encode Parameter Guide*. 2015. Disponível em: <<http://www.webmproject.org/docs/encoder-parameters/>>.
- PROJECT, W. *WebM Container Guidelines*. 2015. Disponível em: <<http://wiki.webmproject.org/adaptive-streaming/webm-dash-specification>>.
- ROCA, J. C.; CHIU, C.-M.; MARTÍNEZ, F. J. Understanding e-learning continuance intention: An extension of the Technology Acceptance Model. *International Journal of human-computer studies*, Elsevier, v. 64, n. 8, p. 683–696, 2006.
- RODRIGUES, R. et al. Mpeg dash-some qoe-based insights into the tradeoff between audio and video for live music concert streaming under congested network conditions. In: IEEE. *2016 Eighth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)*. [S.l.], 2016. p. 1–6.
- SANDVINE. *Global Internet Phenomena Report*. 2015. Disponível em: <<https://www.sandvine.com/downloads/general/global-internet-phenomena/>>.
- SCHILIT, B.; ADAMS, N.; WANT, R. Context-aware computing applications. In: IEEE. *Mobile Computing Systems and Applications, 1994. WMCSA 1994. First Workshop on*. [S.l.], 1994. p. 85–90.
- SG12, I. Definition of Quality of Experience. *TD 109rev2 (PLEN/12), Geneva, Switzerland*, p. 16–25, 2007.
- SIDERIS, A. et al. Mpeg-dash users' qoe: The segment duration effect. In: IEEE. *Quality of Multimedia Experience (QoMEX), 2015 Seventh International Workshop on*. [S.l.], 2015. p. 1–6.
- STOCKHAMMER, T. Dynamic adaptive streaming over http: standards and design principles. In: ACM. *Proceedings of the second annual ACM conference on Multimedia systems*. [S.l.], 2011. p. 133–144.
- STRANG, T.; LINNHOFF-POPIEN, C. A context modeling survey. In: *Workshop Proceedings*. [S.l.: s.n.], 2004.
- TIMMERER, C. et al. Live transcoding and streaming-as-a-service with mpeg-dash. In: IEEE. *Multimedia & Expo Workshops (ICMEW), 2015 IEEE International Conference on*. [S.l.], 2015. p. 1–4.

VERGADOS, D. J. et al. A control-based algorithm for rate adaption in MPEG-DASH. In: IEEE. *Information, Intelligence, Systems and Applications, IISA 2014, The 5th International Conference on*. [S.l.], 2014. p. 438–442.

YIN, R. K. *Estudo de Caso-: Planejamento e Métodos*. [S.l.]: Bookman editora, 2015.