

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

MAIARA DE SOUZA COELHO

ESTRATÉGIA DE ADAPTAÇÃO DE FLUXO DE VÍDEO BASEADA
EM FATORES DE QoE

Manaus - AM

2015

MAIARA DE SOUZA COELHO

ESTRATÉGIA DE ADAPTAÇÃO DE FLUXO DE VÍDEO BASEADA
EM FATORES DE QoE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Informática da Universidade Federal do Amazonas como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Informática.

Área de concentração: Redes de computadores e telecomunicações.

Orientador:

Prof. Dr. César Augusto Viana Melo

Manaus - AM

2015

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

C672e Coelho, Maiara
Estratégia de Adaptação de Fluxo de Vídeo Baseada em Fatores de QoE / Maiara Coelho. 2015
99 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: César Augusto Viana Melo
Dissertação (Mestrado em Informática) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Streaming Adaptativo. 2. DASH. 3. Algoritmos de Adaptação. 4. QoE. 5. Transporte e Entrega de Conteúdo Multimídia . I. Melo, César Augusto Viana II. Universidade Federal do Amazonas III. Título



PODER EXECUTIVO
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

UFAM

FOLHA DE APROVAÇÃO

"ESTRATÉGIA DE ADAPTAÇÃO DE FLUXO DE VÍDEO BASEADA EM FATORES DE QoE"

MAIARA DE SOUZA COELHO

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Professores:

Cesar Augusto Viana Melo

Prof. César Augusto Viana Melo - PRESIDENTE

Eduardo Luizero Feitosa

Prof. Eduardo Luizero Feitosa - MEMBRO INTERNO

Bit

Prof. Gustavo Bittencourt Figueiredo - MEMBRO EXTERNO

Manaus, 18 de Dezembro de 2015

Dedico a Deus, pelo amor, pela força e pela saúde que me deu, por ser alguém em quem posso confiar inteiramente, dedico-lhe essa vitória como forma de gratidão e louvor ao seu Nome.

Agradecimentos

Meus sinceros agradecimentos:

- a Deus, pelo ânimo e perseverança que colocou em mim;
- ao Prof. César Melo, pela motivação, atenção e disponibilidade nas orientações, obrigada professor;
- a todos os professores e demais funcionários do ICOMP/UFAM, pelo empenho em fazer desse instituto, o que é hoje;
- ao Prof. Gustavo Bittencourt (UFBA), membro externo da banca, por ter me dado a honra de avaliar meu trabalho;
- ao meu esposo Brhemmem pela compreensão, quando não pude estar presente em alguns momentos;
- aos meus pais, Manoel Dinilton e Márcia, e ao meu irmão Maxson, por terem sempre acreditado em meu sucesso. Agradeço por poder contar com vocês;
- a todos os meus colegas e amigos, com os quais passei boa parte do meu tempo nestes anos de mestrado;
- Finalmente, a todas as pessoas que contribuíram direta e indiretamente para que eu pudesse finalizar essa etapa.

*“O temor ao Senhor é o princípio da ciência: os loucos desprezam a sabedoria e a
instrução .”*

Provérbios 1:7

Resumo

A ampla adoção do *Streaming* Adaptativo sobre HTTP tem motivado estudos relacionados as técnicas de distribuição de conteúdo multimídia na Internet. Os esforços têm sido no sentido de desenvolver novas estratégias de acesso a esse conteúdo considerando o modelo de serviço de melhor esforço implementado na Internet. Apesar da grande quantidade de estudos, poucos exploram cenários de compartilhamento da rede de acesso entre clientes e investigam questões relacionadas à preparação do conteúdo distribuído. Investigar a dinâmica de acesso, em ambiente compartilhado, tem como motivação principal melhorar a QoE dos usuários, minimizando o número de interrupções experimentadas pelos usuários do sistema de distribuição do conteúdo. Por outro lado, a preparação do conteúdo visa um ajuste com a estratégia de acesso proposta, ao mesmo tempo que se reconhece os limites dos recursos de armazenamento e transmissão. Nesta dissertação apresenta-se uma estratégia para acesso a conteúdo multimídia que compreende em recomendações de versionamento e um algoritmo adaptativo, o versionamento é preparado conforme a padronização DASH e o algoritmo reconhece as condições da rede, além disso suas decisões são baseadas na frequência de interrupção da reprodução. A estratégia proposta melhora a continuidade da sessão de acesso, um parâmetro de QoE importante no contexto de transmissão de *streaming* de vídeo. Nos primeiros resultados numéricos foram avaliados diferentes valores de granularidade da taxa de bits e de volume do fluxo de dados. No posteriores foram avaliadas as seguintes métricas: i) taxa de bits média, ii) número e duração das interrupções e iii) instabilidade e justiça, em diferentes cenários de rede, caracterizados pelo compartilhamento com vários clientes.

Palavras-chave: *Streaming* Adaptativo, DASH, Algoritmos de Adaptação, QoE, Transporte e Entrega de Conteúdo Multimídia.

Abstract

Due to increasing demand of HTTP Adaptive Streaming (HAS) in the last years, several studies have been performed to develop multimedia content distribution techniques to the Internet, aiming to improve the users Quality of Experience (QoE). Techniques such as algorithms that automatically adjust the bit rates to network conditions during a video session and algorithms that assist in the preparation of multimedia content for access by customers. Although there are a large number of studies in this area, many have not explored network resource sharing scenarios between multiple clients and little have investigated issues relating to preparation of the content multimedia. Making it necessary to study more about this complex scenario for the future to ensure a fairer distribution of network resources, furthermore users can experience similar qualities. In addition, preparation of the content should be viewed as an important process such as the adaptive algorithms for better distribution of the content and to improve the QoE. This work presents a video stream adaptation strategy that takes into account factors related to QoE, as the playback interruption frequency. The goal is to minimize the amount of video playback interruption, thereby improving its continuity. The experiments are performed in different network scenarios for one client and in extreme resource scarcity scenarios on a share across multiple clients. Furthermore, we experienced versioning videos with different granularity and FPS (frames per second). In the results, the used metrics are average video bit rate, probability of interruptions, instability and fairness. In addition, this work presents the study of the impact of the strategy on such metrics.

Keywords - HTTP Adaptive *Streaming*, DASH, QoE, Multimedia Transport and Delivery.

Lista de Figuras

1.1	Estimativas do Tráfego de Dados Global até 2019	p. 14
2.1	Tipos de Distribuição de Vídeo	p. 18
2.2	Esquema Geral de um Sistema DASH.	p. 21
2.3	Esquema Geral de um Sistema DASH.	p. 25
3.1	Organização dos Trabalhos Relacionados.	p. 39
4.1	Processo de Preparação do Conteúdo Multimídia.	p. 46
4.2	Funcionamento do Serviço Web.	p. 51
5.1	Ambiente de Experimentação.	p. 54
5.2	Ambiente de Experimentação.	p. 56
5.3	Cenários de Rede Utilizados	p. 57
5.4	A Estratégia Agressiva e o Acesso às Taxas de Bits em Cénario de rede com Variações Longas das Taxas de Transmissão.	p. 58
5.5	A Estratégia Agressiva e o Controle do Níveis de <i>Buffer</i> em Cenário de rede Com Variações Longas das Taxas de Transmissão.	p. 59
5.6	A Estratégia Conservadora e o Acesso às Taxas de Bits em Cénario de rede com Variações Longas das Taxas de Transmissão.	p. 60
5.7	A Estratégia Conservador e o Controle do Níveis de <i>Buffer</i> em Cenário de rede Com Variações Longas das Taxas de Transmissão.	p. 61
5.8	A Estratégia Moderada e o Acesso às Taxas de Bits em Cénario de rede com Variações Longas das Taxas de Transmissão.	p. 61

5.9	A Estratégia Moderada e o Controle do Níveis de <i>Buffer</i> em Cenário de rede Com Variações Longas das Taxas de Transmissão.	p. 62
5.10	A Estratégia Adaptech e o Acesso às Taxas de Bits em Cénario de rede com Variações Longas das Taxas de Transmissão.	p. 62
5.11	A Estratégia Moderada e o Controle do Níveis de Buffer em Cenário de rede Com Variações Longas das Taxas de Transmissão.	p. 63
5.12	A Estratégia Agressivo e o Acesso às Taxas de Bits em Cénario de rede com Variações Curtas das Taxas de Transmissão.	p. 64
5.13	A Estratégia Agressiva e o Controle do Níveis de <i>Buffer</i> em Cenário de rede Com Variações Curtas das Taxas de Transmissão.	p. 65
5.14	A Estratégia Conservador e o Acesso às Taxas de Bits em Cénario de rede com Variações Curtas das Taxas de Transmissão.	p. 65
5.15	A Estratégia Conservadora e o Controle do Níveis de <i>Buffer</i> em Cenário de rede Com Variações Curtas das Taxas de Transmissão.	p. 66
5.16	A Estratégia Moderada e o Acesso às Taxas de Bits em Cénario de rede com Variações Curtas das Taxas de Transmissão.	p. 67
5.17	A Estratégia Moderada e o Controle do Níveis de <i>Buffer</i> em Cenário de rede Com Variações Curtas das Taxas de Transmissão.	p. 67
5.18	A Estratégia Adaptech e o Acesso às Taxas de Bits em Cénario de rede com Variações Curtas das Taxas de Transmissão.	p. 68
5.19	A Estratégia Moderada e o Controle do Níveis de <i>Buffer</i> em Cenário de rede Com Variações Curtas das Taxas de Transmissão.	p. 68
5.20	Desempenho da Estratégia Adaptech com Granularidades de Taxas Distintas em Cenário de Rede com Variações de Capacidade de Transmissão Longas.	p. 70
5.21	Desempenho da Estratégia Adaptech com Granularidades de Taxas Distintas em Cenário de Rede com Variações de Capacidade de Transmissão Curtas.	p. 71
6.1	Módulos da Estratégia de Adaptação proposta	p. 75
6.2	Ambiente de experimentação com compartilhamento de recursos.	p. 80

6.3	Número de Interrupções por Categoria	p. 81
6.4	Iminência de interrupções ao longo do Tempo.	p. 82
6.5	Duração das Interrupções por Categoria	p. 83
6.6	Taxa Média de Bits por Categoria	p. 83
6.7	Número de Interrupções por Categoria	p. 84
6.8	Duração das Interrupções por Categoria	p. 85
6.9	Índice de Instabilidade por Algoritmo	p. 86
6.10	Popularidade das Taxas de Bits mais Altas.	p. 87
6.11	Índice de Injustiça por Categoria.	p. 88

Sumário

1	Introdução	p. 12
1.1	Motivação	p. 13
1.2	Objetivo	p. 14
1.3	Principais Contribuições	p. 15
1.4	Estrutura da Dissertação	p. 15
2	<i>Streaming</i> Adaptativo e Suas Características	p. 17
2.1	Os Três Principais Tipos de Distribuição de Vídeo	p. 18
2.2	<i>Streaming</i> Adaptativo	p. 19
2.2.1	Esquema Geral do Sistema DASH	p. 21
2.2.2	Qualidade de Experiência (QoE) no Contexto DASH	p. 22
2.3	Codificação do <i>Streaming</i>	p. 24
2.3.1	Grupo de Imagens (GOP)	p. 25
2.3.2	Compressão de Áudio: MPEG-4 AAC	p. 25
2.3.3	Compressão de Vídeo: H.264/MPEG-4 AVC	p. 26
2.4	Aplicações	p. 26
2.4.1	<i>Smooth Streaming</i> da <i>Microsoft</i> - MSS	p. 26
2.4.2	<i>Netflix Player</i>	p. 27
2.4.3	HTTP <i>Live Streaming</i> da <i>Apple</i> - HLS	p. 27

2.4.4	HTTP <i>Dynamic Streaming</i> da Adobe	p. 27
2.4.5	Player de Referência do DASH IF	p. 28
2.5	Considerações Finais do Capítulo 2	p. 28
3	Estratégias de Adaptação e QoE	p. 29
3.1	Estratégias de Adaptação	p. 30
3.2	Métodos de Avaliação de QoE	p. 35
3.3	Versionamento de Conteúdo de Mídia	p. 37
3.4	Organização dos Trabalhos Relacionados e Discussão	p. 38
3.5	Considerações Finais do Capítulo 3	p. 42
4	O Versionamento e a Coleta das Medidas de Desempenho	p. 43
4.1	O Versionamento e Ferramentas Utilizados	p. 44
4.1.1	Caracterização dos Conjuntos de Vídeo	p. 44
4.1.2	Preparação dos Vídeos	p. 46
4.2	Coleta das Medidas de Avaliação	p. 50
4.3	Considerações Finais do Capítulo 4	p. 52
5	Avaliação das Estratégias de Adaptação em Diferentes Cenários	p. 53
5.1	Ambiente de Experimentação	p. 54
5.2	Caracterização dos Cenários Rede	p. 55
5.3	Resultados Numéricos	p. 57
5.3.1	Cenário 1: Variações Longas de Largura de Banda	p. 58
5.3.2	Cenário 2: Variações Curtas de Largura de Banda	p. 64
5.3.3	O Impacto da Granularidade da Taxas de Bits na Ação da Estrat- égia de Adaptação	p. 68
5.4	Discussões Sobre o Capítulo 5	p. 71
6	Estratégia de Adaptação Orientada a Métricas de QoE	p. 73

6.1	Estratégia de Adaptação de Fluxo	p. 74
6.1.1	Estimativa de Largura de Banda Disponível	p. 77
6.1.2	Frequência Relativa de Interrupções de Reprodução	p. 77
6.2	Métricas de Avaliação	p. 78
6.3	Avaliação Experimental	p. 79
6.4	Discussões Sobre o Capítulo 6	p. 88
7	Considerações Finais	p. 90
	Referências Bibliográficas	p. 93

Capítulo 1

Introdução

Aplicações de *streaming* de vídeo têm recebido atenção da comunidade que estuda o transporte e a entrega de conteúdo multimídia na Internet, face à crescente adesão as diversas aplicações disponíveis e ao grande volume de tráfego gerado. *Streaming* significa a transmissão contínua de um fluxo de dados, reproduzido pelo destinatário à medida que é disponibilizado. Essa dinâmica representa uma abordagem mais contemporânea dada a inviabilidade de se garantir taxas de bits, sobretudo em cenários de rede com mudanças repentinas e recursos escassos de transmissão de conteúdo fim-a-fim, como ambientes móveis e cenários de rede com forte compartilhamento de recursos.

Segundo perspectivas da Cisco (CISCO, 2015), em 2019 o tráfego de vídeo na Internet será 80% de todo tráfego consumido, sendo produzido aproximadamente um milhão de minutos de vídeo a cada segundo. Além disso, a proliferação de *smartphones* com alto poder de processamento, sendo portanto capazes de responder às demandas de computação inerentes a esse tipo de aplicação, reflete na expectativa dos usuários por qualidade similar experimentada em outras plataformas. Essa combinação de fatores impulsiona ainda mais o crescimento da demanda das aplicações de vídeo.

O cenário descrito anteriormente revela a necessidade de empreender esforços para desenvolver e melhorar as técnicas usadas no transporte e entrega de conteúdo multimídia, mais especificamente vídeo. Nesse sentido, entre as diversas propostas que se seguiram as demandas, o *Streaming* Adaptativo sobre HTTP (do inglês: *HTTP Adaptive Streaming - HAS*), tem sido amplamente empregado pelos distribuidores de conteúdo. O HAS é uma técnica de distribuição de *streaming* de vídeo que utiliza o HTTP/TCP para transporte do conteúdo mas que é capaz de ajustar o fluxo de vídeo de acordo com as circunstâncias da rede. Os ajustes são definidos pela aplicação executada no destinatário que deve adaptar

apropriadamente o *streaming*. O ideal seria que levasse em consideração a Qualidade de Experiência (em inglês: *Quality of Experience* - QoE) do usuário (SEUFERT et al., 2013).

No contexto da adaptação do fluxo, faz-se necessário que a aplicação considere: i) as condições de instabilidade da rede, ii) a capacidade do dispositivo cliente, iii) a sensibilidade temporal, e iv) o contexto do usuário, que são fatores que influenciam a percepção do usuário quanto a qualidade do serviço oferecido. Dessa forma, nota-se que o HAS foi projetado pensando na QoE oferecida ao usuário final, abarcando em seu projeto aspectos que envolvem características do meio de transporte, da plataforma utilizada e do contexto do usuário.

Com o surgimento do HAS, organizações padronizadoras como a *Thirt Generation Partinership Project* (3GPP) e a *Motion Pictures Experts Group* (MPEG) passaram a estudar uma forma de impulsionar a utilização dessa nova tecnologia, o que levou a especificação do padrão *Streaming Adaptativo dinâmico sobre HTTP* (em inglês: *Dynamic Adaptive Streaming over HTTP* - DASH) (OYMAN; SINGH, 2012), utilizado na infraestrutura do sistema de *streaming* de vídeo envolvido neste estudo.

Desta forma, este trabalho apresenta um estudo experimental sobre essa tecnologia de distribuição e propõe uma estratégia diferenciada de adaptação do fluxo de vídeo, considerando parâmetros relacionados a QoE. Serão apresentados os principais conceitos e técnicas que envolveram o estudo experimental e o desenvolvimento da estratégia proposta, bem como uma classificação formal dos tipos de estratégia adaptativa, identificados através do mapeamento bibliográfico realizado.

1.1 Motivação

Na Figura 1.1 apresenta-se o cenário de tráfego dos dados global no horizonte de seis anos (2014 - 2019). Observa-se uma predominância do tráfego de vídeo sobre os demais, tendo-se a perspectiva de que ele responderá por 80% de todo o tráfego da Internet, equivalente a 89.319 PB/mês de um total de 111.592 PB/mês. Confirmadas essas previsões, faz-se necessária a utilização de métodos de entrega de vídeo que façam uso dos recursos de forma otimizada e ao mesmo tempo possam oferecer serviços de qualidade ao usuário.

Além da adesão dos usuários às novas aplicações de distribuição de vídeo, a natureza desse tipo de conteúdo é um outro fator que potencializa o aumento do volume de dado transferido. A tarefa é mais desafiadora quando as redes de acesso possuem velocidade

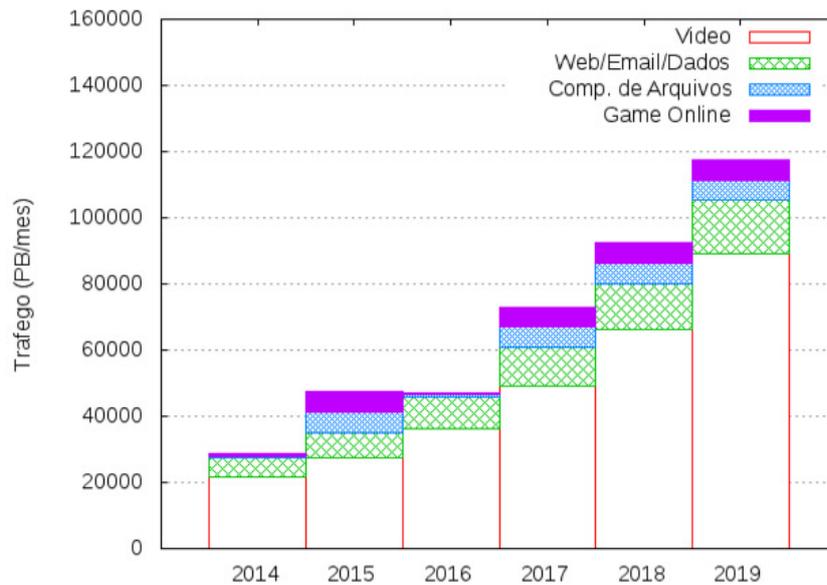


Figura 1.1: Estimativas do Tráfego de Dados Global até 2019

média baixa para os padrões que já se mostraram como viáveis. Apenas para ilustrar o desafio, a velocidade média registrada nas redes de acesso no Brasil está em torno de 2,6 Mbps, que representa pouco mais que 50% do valor médio considerado viável no relatório da Akamai (AKAMAI, 2015).

Nesse cenário, a utilização da tecnologia de vídeo adaptativo tem se revelado uma forma promissora de tratar os desafios gerados pela combinação de aumento da demanda e largura de banda crítica. Essa tecnologia disponibiliza recursos que permitem as aplicações adaptar-se a realidade da rede de acesso do usuário.

1.2 Objetivo

Essa dissertação é motivada pelo seguinte objetivo:

Propor e avaliar uma estratégia de adaptação de fluxo de vídeo capaz de reduzir fatores que interferem diretamente na QoE do usuário. A adaptação do fluxo de vídeo deve considerar os níveis de buffer em um período previamente estabelecido.

Para alcançar o objetivo, definiu-se as seguintes tarefas:

- Implementar um módulo de estimativa de largura de banda que identifica variações curtas e permanentes;
- Definir recomendações de versionamento e de algoritmo de forma que as interrup-

ções na reprodução do vídeo sejam minimizadas, sobretudo em cenários de recursos escassos de rede e compartilhamento de conteúdo e/ou de rede; e,

- Definir múltiplas métricas de avaliação capazes de viabilizar a comparação de desempenho entre as estratégias com configurações de versionamentos diferentes. São métricas como número de interrupções, duração das interrupções, taxa média de bits, instabilidade e injustiça.

1.3 Principais Contribuições

A partir do desenvolvimento dos objetivos definidos neste trabalho foi possível realizar as seguintes contribuições:

1. Organização das estratégias de adaptação de *streaming* por categoria, definindo suas principais características e subcategorias;
2. Implementação de um conjunto de *scripts* para a coleta das informações referentes às sessões de vídeo, importantes para a avaliação da estratégia através das métricas;
3. Análise comparativa entre os diferentes tipos de versionamentos e o desempenho das estratégias de adaptação; e,
4. Estudo das métricas e constatação de que a QoE não pode ser melhorada apenas através de uma estratégia de adaptação robusta, é necessário um versionamento adequado para o tipo de perfil de velocidade de acesso contratado.

1.4 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está organizada em sete capítulos. No capítulo 2 apresentam-se os conceitos básicos, necessários para o entendimento do funcionamento dos algoritmos adaptativos e dos métodos de avaliação da qualidade, bem como aspectos importantes do versionamento como o processo de preparação da mídia.

No capítulo 3 apresenta-se uma descrição do estado da arte dos algoritmos adaptativos, enfatizando-se quais variáveis são consideradas no ajuste das taxas de bits. Além disso, mostra-se os métodos de avaliação de QoE, verificando as métricas de avaliação utilizadas para se ter uma ideia mais aproximada da percepção do usuário. Por fim, apresenta-se a

organização dos trabalhos relacionados, a partir das características identificadas nas suas estratégias e métodos de medição de QoE.

No capítulo 4 descreve-se a coleção de vídeos utilizada, as informações coletadas das sessões durante os experimentos e como a coleta foi realizada. No capítulo 5 apresenta-se uma análise entre versionamentos de diferentes FPS e granularidades, além do ambiente de experimentação e os cenários utilizados.

No capítulo 6 descreve-se a estratégia proposta e a caracterização das métricas de avaliação utilizadas. Além disso, apresenta-se um estudo comparativo entre a estratégia desenvolvida e a estratégia base.

Por fim, no capítulo 7 apresenta-se as considerações finais desta dissertação, suas limitações, conclusões à respeito dos resultados obtidos e trabalhos futuros.

Capítulo 2

Streaming Adaptativo e Suas Características

Neste capítulo apresentam-se os principais conceitos relacionados ao DASH e a QoE, necessários ao entendimento do contexto em que este trabalho está inserido. Dentre estes conceitos estão os de *streaming* tradicional e progressivo, tecnologias que antecederam o *streaming* adaptativo e possibilitaram o surgimento do DASH. Explica-se também o funcionamento de um sistema DASH genérico caracterizando seus principais componentes.

Além disso, neste capítulo apresenta-se um resumo sobre os tipos de métodos tradicionais utilizados para a avaliação da QoE e com isso, é possível identificar variáveis que interferem a QoE e que são fundamentais para o entendimento da percepção do usuário diante dos sistemas adaptativos. Ainda neste capítulo, apresenta-se um resumo das principais soluções implementadas para a tecnologia adaptativa, as quais são proprietárias em sua maioria.

Este capítulo organiza-se da seguinte forma: na Seção 2.1 apresentam-se os tipos de tecnologias de distribuição de vídeo na Internet. Na Seção 2.2 explora-se o funcionamento de um sistema DASH e apresentam-se os métodos de avaliação de QoE. Na Seção 2.3 apresentam-se alguns conceitos fundamentais para entender o processo de versionamento dos vídeos. Na Seção 2.4 descrevem-se algumas das aplicações para HAS mais utilizadas. E por fim, na Seção 2.5 descrevem-se as considerações finais deste capítulo.

2.1 Os Três Principais Tipos de Distribuição de Vídeo

Na distribuição de vídeo existem três principais métodos utilizados: *streaming* tradicional, *download* progressivo e *streaming* adaptativo. Na Figura 2.1(a) apresenta-se o *streaming* tradicional que é a transmissão contínua do fluxo de vídeo e áudio. Sua principal característica é a possibilidade de reprodução do conteúdo sem a necessidade de seu *download* completo, essa característica é proporcionada pela divisão da mídia em pedaços menores. O que permite o *download* e a reprodução individual e contínua dos pedaços à medida em que chegam no cliente, esse processo acontece de maneira intercalada (LEE, 2005).

Os protocolos comumente utilizados para este tipo de transmissão são o Protocolo de *Streaming* em Tempo Real (em inglês: *Real-Time Streaming Protocol* - RTSP) e o Protocolo de Transporte em Tempo Real (em inglês: *Real-Time Transporte Protocol* - RTP), protocolos que mantêm o estado da sessão (BEGEN; AKGUL; BAUGHER, 2011).

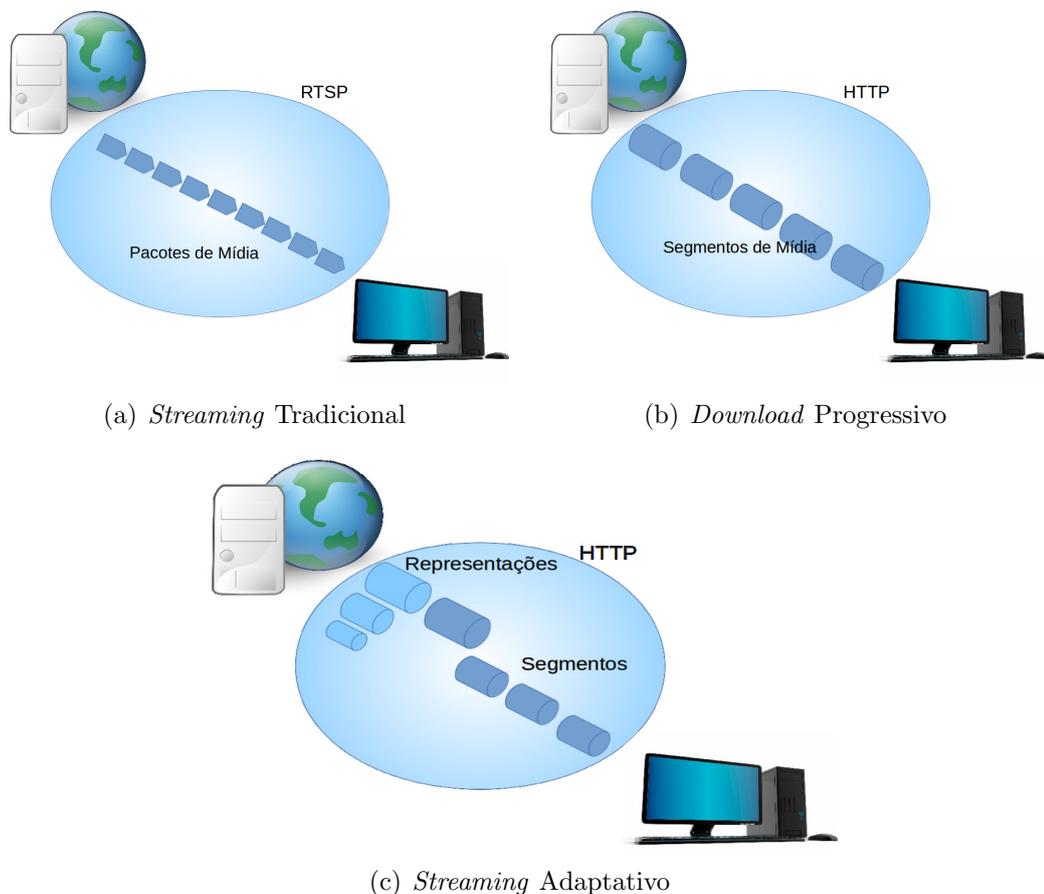


Figura 2.1: Tipos de Distribuição de Vídeo

Na Figura 2.1(b) apresenta-se o *download* progressivo que é executado utilizando

o protocolo HTTP, um protocolo sem estado. Neste método de distribuição o vídeo é dividido em segmentos, tais segmentos são transferidos de forma contínua para o cliente. Ao longo da sessão de vídeo apenas uma taxa de bits é selecionada e os segmentos são armazenados no dispositivo cliente, dando vazão a cópia e distribuição ilegal do vídeo. O usuário escolhe a taxa de bits desejada, porém se as condições da rede mudarem durante o período da transmissão, ou mesmo, o usuário estiver escolhido uma taxa de bits não compatível com o estado da rede, provavelmente ocorrerão interrupções e congelamentos na reprodução dos vídeos (STOCKHAMMER, 2011).

A rede é um meio de transmissão instável e está propícia a todo tipo de interferências externas, provocando grandes variações na largura de banda entre outros fatores (AKHSHABI et al., 2012). Na Figura 2.1(c) apresenta-se o *streaming* adaptativo, o qual foi desenvolvido para minimizar as deficiências das abordagens anteriores e conservar características como: segmentação do vídeo, a transmissão contínua do *streaming* e o descarte do conteúdo depois de ser apresentado pelo cliente. Além disso, acrescenta-se a essa nova abordagem a característica fundamental de adaptar a taxa de bits do vídeo as condições da rede, ao longo da sessão, dinamicamente. Fatores como largura de banda, vazão e *buffer* são avaliados para um melhor ajuste da taxa de bits, proporcionando uma melhor experiência de visualização ao usuário. A seleção das taxas de bits é possível através da disponibilidade de versões do mesmo vídeo com taxas de bits distintas, armazenadas no servidor de conteúdo ou servidor de *streaming* (SEUFERT et al., 2013).

2.2 *Streaming Adaptativo*

Existe um série de soluções para *streaming* adaptativo, implementadas tanto no cliente quanto no servidor e que utilizam vários tipos de protocolos. Os protocolos usados em transmissão de *streaming* são agrupados em duas categorias: *push-based* e *pull-based* (BEGEN; AKGUL; BAUGHER, 2011).

Nos protocolos *push-based* o servidor gerencia a sessão com o cliente, sendo responsável pela seleção das taxas de bits utilizadas ao longo da sessão. Essa seleção é realizada à partir de informações coletadas pelo servidor e de mensagens enviadas pelo cliente. Nesta categoria de protocolos estão o RTSP e o RTP, que são executados sobre o UDP. Exemplos de aplicações que utilizam esse tipo de protocolo são *RealNetworks Helix*, *Apple QuickTime* e o *Darwin Streaming Server*.

Nos protocolos *pull-based*, o cliente é quem requisita o conteúdo do servidor, nesta

categoria de protocolo está o HTTP. O *Download* Progressivo e o HAS são tecnologias que utilizam protocolos *pull-based*, na construção de aplicações e são baseadas no HTTP. Desta forma, a transferência dos segmentos de vídeo depende da inferência da aplicação cliente. Exemplos de aplicações clientes que utilizam o HTTP são: *Smooth Streaming - MSS* da *Microsoft*, *HTTP Live Streaming - HLS* da *Apple*, *HTTP Dynamic Streaming* da *Adobe* e *Netflix*.

O HAS permite trocas de taxas de bits à cada nova requisição, depois de verificar uma variedade de parâmetros relacionados aos recursos da rede, como largura de banda disponível, capacidade do dispositivo e *buffer* de reprodução (BEGEN; AKGUL; BAUGHER, 2011). O cliente seleciona dinamicamente o segmento com a codificação da taxa de bits desejada e requisita-o do servidor. Como mostrado anteriormente, existem várias implementações para *streaming* adaptativo e elas convergem para a utilização do HTTP, pois aproveitam toda a infraestrutura da Internet atual. O problema é que cada implementação tem sua própria abordagem e organização em relação a codificação, segmentação e organização do arquivo de Descrição de Apresentação da Mídia (em inglês: *Media Presentation Description - MPD*), provocando uma série de incompatibilidades de mercado.

Neste Contexto, várias organizações padronizadoras como *Third Generation Partnership (3GPP)*, *Motion Picture Experts Group (MPEG)* e *Open IPTV Forum (OIPF)* tem demandado esforços na especificação das técnicas do HAS, tais especificações são conhecidas como *Streaming Adaptativo Dinâmico sobre HTTP* (em inglês: *Dynamic Adaptive Streaming over HTTP - DASH*), o DASH também tem sido padronizado para o *streaming* multimídia mobile, chamado de 3GPP-DASH.

O DASH é uma abordagem técnica que viabiliza a interoperabilidade na indústria, define a organização do MPD e formatos de segmentos, guias de implementação, fornecendo um *framework* de *streaming* adaptativo compatível com o protocolo HTTP (SEUFERT et al., 2013).

Devido ao DASH ser baseado em um protocolo do tipo *pull-based* (BEGEN; AKGUL; BAUGHER, 2011), o cliente é quem possui o controle da sessão. Isso permite a seleção da taxa de bits mais próxima da capacidade da aplicação cliente. Essa seleção é realizada verificando-se métricas relacionadas a rede, parâmetros da aplicação e características do dispositivo. A largura de banda, o nível de ocupação do *buffer* e a resolução suportada pelo dispositivo são exemplos dos itens considerados.

2.2.1 Esquema Geral do Sistema DASH

O processo de preparação da mídia, realizada por um codificador no servidor, gera os segmentos codificados em diferentes taxas de bits, resultando em variações do mesmo conteúdo de vídeo. Tais segmentos são colocados em um ou mais servidores, juntamente com o MPD que fornece informações à respeito da estrutura e características da apresentação da mídia ao cliente para que o *streaming* adaptativo seja recuperado a partir do servidor. O MPD descreve as informações de todas as representações dos componentes como, taxa de bits e a resolução, além da URL HTTP de cada segmento. É a partir destas informações que o cliente pode fazer suas requisições diretas ao segmento desejado, através de mensagens HTTP GET. Sendo assim, é possível observar que realmente o cliente tem total controle sobre a sessão, pois ele alterna as requisições entre diferentes representações de mídia, ajustando assim, o *streaming* de forma dinâmica (OYMAN; SINGH, 2012).

Na Figura 2.2 mostra-se um sistema que usa o DASH para distribuição dos vídeos.

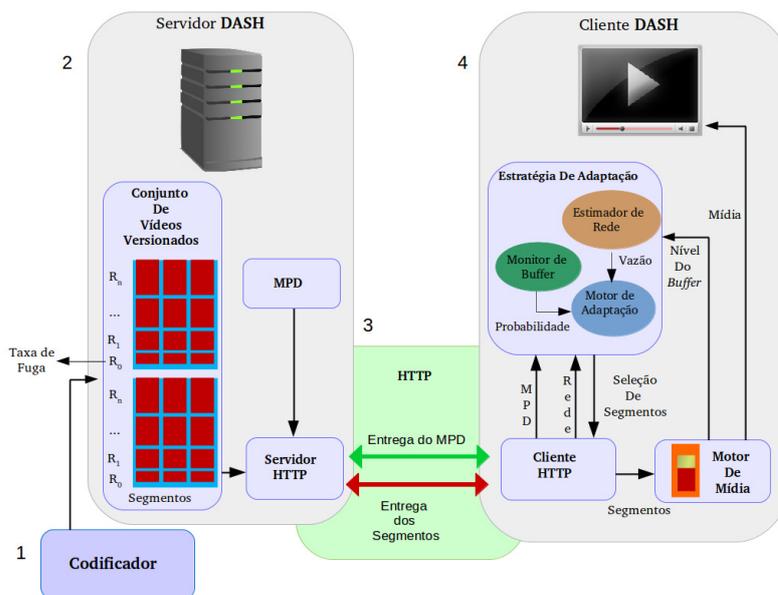


Figura 2.2: Esquema Geral de um Sistema DASH.

As versões de um mesmo vídeo são chamadas de representações (R_1, \dots, R_n). Os segmentos de mídia codificados podem ser colocados em um ou mais servidores, o arquivo MPD fornece informações à respeito da estrutura e dos parâmetros de configuração das representações ao cliente. O MPD é enviado ao cliente DASH, através do protocolo HTTP, no início da sessão de vídeo para que o cliente conheça qual a qualidade disponível em cada representação existente no servidor DASH. As representações são organizadas em conjuntos de adaptação e estes em períodos.

À partir das informações disponibilizadas pelo MPD, o cliente pode fazer suas requisições diretas ao segmento desejado, através de mensagens HTTP GET. Sendo assim, observa-se que realmente o cliente tem total controle sobre a sessão, pois as requisições são alternadas entre as diferentes representações de mídia e ajustadas de forma dinâmica ao longo da sessão, à critério da aplicação cliente.

O cliente DASH possui um motor de adaptação, que utiliza uma estratégia para selecionar a representação do próximo segmento a ser baixado. Essas estratégias geralmente utilizam parâmetros relacionados as condições da rede e aos níveis de ocupação do *buffer*. Para isso, são realizadas estimativas de vazão e estabelecidos limiares superiores e inferiores para identificar o nível do *buffer* em cada momento da reprodução. Por fim, o motor de mídia extrair os segmentos armazenados no *buffer* e apresenta a mídia ao usuário final.

Os sistemas adaptativos resumem-se em estratégia de adaptação e versionamento para o fornecimento de uma melhor QoE ao usuário. Isso leva a questões como: quando é o melhor momento de adaptar? e qual representação requisitar? ou quais os parâmetros a serem considerados no versionamento? Quantas e em que dimensões as representações devem estar disponíveis no servidor? (SEUFERT et al., 2013)

Nos últimos anos o versionamento vem sendo mais explorado, mas ainda timidamente. Definir um conjunto de adaptação é tão complexo quanto adaptar as taxas de bits, pois um conjunto de vídeos deve ser adequado aos perfis de velocidade disponíveis nas redes de acesso dos usuários. E um mesmo versionamento pode não ser o mais adequado a redes cujas velocidades estão em perfis distintos, sobretudo quando se trata de cenários de compartilhamento entre clientes competidores.

2.2.2 Qualidade de Experiência (QoE) no Contexto DASH

A QoE consiste na percepção do usuário durante a utilização de uma aplicação. Ou seja, é a sua impressão do resultado global da qualidade dos serviços (em inglês: *Quality Of Service - QoS*), baseando-se, na percepção humana. A experiência e a qualidade são fatores subjetivos, pois variam de usuário para usuário e não podem ser quantificados de forma simples. O resultado da avaliação da QoE depende da sensibilidade do usuário (SEUFERT et al., 2013).

Desta forma, obter as medidas de QoE de uma aplicação torna-se uma tarefa desafiadora, sobretudo, em ambientes instáveis como redes sem fio e redes móveis. Existe uma série de fatores que afetam a QoE, tais fatores, estão relacionados ao desempenho do

serviço e à experiência do próprio usuário. O desempenho do serviço pode ser mensurado através de métodos objetivos, porém a percepção do usuário pode somente ser mensurada de forma íntegra através de métodos subjetivos (ALBERTI et al., 2013). A seguir serão apresentados os dois tipos de testes tradicionais utilizados para medir a qualidade de uma aplicação de *streaming* de vídeo.

- **Métodos Subjetivos:** fundamentam-se na pesquisa das opiniões das pessoas. Esses tipos de testes ocorrem, geralmente, em forma de audiência onde os usuários assistem a sequências de vídeos e, baseados em critérios estabelecidos na execução dos testes, expressam as suas opiniões a respeito da qualidade do vídeo e áudio percebidos e em seguida é feita uma análise estatística em cima dos dados coletados, chamada Pontuação Média de Opinião (em inglês: *Mean Opinion Score* - MOS).
- **Métodos Objetivos:** fundamentam-se em métricas quantificáveis como taxas de bits e quantidade de quadros por segundo (em inglês: *Frames For Seconds* - FPS), e métricas de serviço como atraso e perda de pacote.

A maior desvantagem dos métodos subjetivos é o tempo exigido. Em aplicações de *streaming* é imprescindível que a transmissão do vídeo não tenha grandes obstáculos, por isso em determinadas situações este tipo de teste é impraticável, principalmente quando se deseja controlar a qualidade de vídeo de forma automática em relação à taxa de transmissão disponível. Apesar desta desvantagem, o MOS ainda é o tipo de medida que possui os melhores critérios de avaliação para QoE, pois consegue mapear a impressão humana de distorção na escala de qualidade pré-definida (VENKATARAMAN; CHATTERJEE; CHATTOPADHYAY, 2009).

Os métodos tradicionais de Avaliação de Qualidade de Vídeo (em inglês: *Video Quality Assessment* - VQA) utilizam algoritmos de referência para comparar o sinal do vídeo original ao distorcido. Tais algoritmos classificam-se em: algoritmos de Referência Reduzida (em inglês: *Reduced Reference* - RR), Referência Completa (em inglês: *Full Reference* - FR) e Sem referência (em inglês: *No Reference* - NR). O algoritmo RR extrai propriedades de ambos os vídeos, original e distorcido, e os compara para gerar um valor de qualidade, procurando manter a precisão do resultado e otimizando o transporte das informações.

O algoritmo FR exige que o vídeo original esteja completamente disponível para a comparação dos *pixels* das imagens dos vídeos. O algoritmo NR baseia-se apenas no vídeo recebido (distorcido) para determinar a qualidade do vídeo, e devido ao fato de não exigir o vídeo original, para usá-lo como referência, o seu nível de precisão pode

ser afetado. Dentre os três tipos, esse algoritmo é o mais difícil de implementar, pois é complicado distinguir entre distorções provenientes do algoritmo de compressão, da rede e defeitos do próprio conteúdo. (MOLTCHANOV, 2011).

Dentre as técnicas objetivas, que consideram alguns dos algoritmos VQA e são relacionadas à aplicação, estão: *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR), uma comparação *pixel* por *pixel* do quadro processado; o *Mean Score Error* (MSE), a implementação mais simples da quantificação do erro entre o sinal distorcido e o sinal de referência; e, o *Mídia Delivery Index* (MDI). Apesar dessas técnicas, existe um crescente interesse na medição do impacto de defeitos causados pelas características da rede na QoE, afim de mapeá-las (VENKATARAMAN; CHATTERJEE; CHATTOPADHYAY, 2009). Porém, no contexto do DASH, esses métodos de avaliação se distanciam muito da real percepção do usuário, não mapeando, por exemplo, o desconforto causado por uma interrupção ou espera inicial da reprodução de um vídeo. O tempo inicial de reprodução refere-se ao tempo entre a requisição do *stream* e o início efetivo de sua reprodução, a continuidade de reprodução refere-se a frequência com que ocorrem interrupções na fluência do *streaming* de vídeo.

Surge-se então, uma nova maneira de pensar na QoE desses tipos de aplicações. Nessa filosofia, encontram-se características intimamente ligadas ao contexto dos algoritmos adaptativos, como codificação do vídeo, características da aplicação cliente e capacidade do dispositivo. O relacionamento entre a percepção do usuário e aspectos como frequência e duração das interrupções de reprodução, frequência e amplitude das trocas de qualidade, popularidade das representações e tempo de permanência em cada uma delas, tempo de espera inicial da reprodução, entre outros fatores que podem ser quantificados objetivamente, passam a ser investigados (SEUFERT et al., 2013) (ALBERTI et al., 2013). Tais fatores estão relacionados aos efeitos causados pelos algoritmos de compressão e codificação, bem como, as condições da rede e da aplicação, desta forma é possível se ter um mapeamento mais próximo entre parâmetros mais palpáveis e a QoE do usuário.

2.3 Codificação do *Streaming*

A codificação é uma parte essencial no processo de preparação da mídia, consiste no tratamento do vídeo e do áudio para que sejam armazenados e transmitidos de maneira adequada para o cliente. Quanto maior a eficiência na compressão do conteúdo menor é o espaço demandado para a mídia gerada na codificação, além disso, é importante que o codificador disponha de características que ajudem na transmissão da mídia através da rede.

Para a codificação do áudio utilizou-se a Codificação de Áudio Avançada (em inglês: *Advanced Audio Coding* - AAC) e para a codificação do vídeo utilizou-se a H.264/MPEG-4 Part 10 ou Codificação de Vídeo Avançada (em inglês: *Advanced Video Coding* - AVC). Nesta seção tais padrões são brevemente explicados.

2.3.1 Grupo de Imagens (GOP)

Independente da implementação do decodificador, algo em comum é a utilização dos grupos de Imagens (em inglês: *Group Of Pictures* - GOP) para a construção dos segmentos de vídeo. Na Figura 2.3 ilustra-se um GOP, onde verifica-se que, diferente dos quadros de áudio, os quadros de vídeo não são independentemente codificáveis devido à predição temporal que existe entre eles.

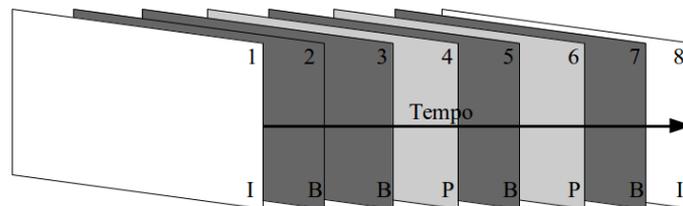


Figura 2.3: Esquema Geral de um Sistema DASH.

O GOP consiste em grupos de quadros "I", "B" e "P" de vídeo, onde o quadro inicial "I", que pode ser codificado independentemente. É seguido de sequências de quadros "B" e "P", que são quadros preditados, cuja ideia é codificar apenas as mudanças de movimento entre um quadro e outro. A duração de um GOP pode ser ajustada à partir de seu número de quadros e dentro de um segmento pode haver mais de um GOP (BEGEN; AKGUL; BAUGHER, 2011) (LOZANO et al., 2011).

2.3.2 Compressão de Áudio: MPEG-4 AAC

O AAC é uma das técnicas desenvolvidas pelo MPEG, considerado sucessor do MP3. É muito utilizada para a compressão de áudio, conseguindo alcançar altas qualidades em taxas de bits menores. Pode codificar até 48 canais e suportar frequências de 8 à 96 kHz (RENNER, 2011).

Essa técnica elimina os componentes dos sinais não perceptíveis e as redundâncias do áudio codificado. Primeiramente um método é utilizado para converter a unidade de tempo do sinal do áudio para frequência, o sinal é então quantizado e codificado. Os algoritmos de *Huffman*, *Virtual Codebooks* (VCB11) e *Reversible Variable Length Code* (RVLC)

são utilizados como métodos de proteção contra erros nos arquivos resultantes (IST, 2015).

2.3.3 Compressão de Vídeo: H.264/MPEG-4 AVC

O H.264/MPEG-4 AVC é uma técnica de alta capacidade de compressão amplamente utilizada e aceita. É suportada pelo *Adobe Flash Player*, *Silverlight* da *Microsoft*, utilizada pelo *Youtube*, *Apple iTunes Store* e muitas outras aplicações de vídeo. Publicada em 2003, foi desenvolvida pelo *Join Video Team (JVT)*, equipe formada pela União Internacional de Telecomunicações (em inglês: *International Telecommunication Union - ITU*) e o grupo MPEG. Trata-se de uma melhoria do H.263, acrescentando, dentre outras características, a Codificação de Vídeo Escalável (em inglês: *Scalable Video Coding - SVC*). Nessa técnica defini-se vários perfis adequados para cada tipo de aplicação, o *Constrained Baseline Profile (CBP)* é o perfil de menor complexidade, este e o *Baseline Profile (BP)* podem ser usados em aplicações *mobile* e de videoconferência (ROMERO, 2011).

Essa técnica de compressão possui três etapas básicas: predição, transformação e codificação. A predição consiste em calcular valores, para uma amostra atual, com base em amostras decodificadas anteriormente, retirando redundâncias entre quadros (inter predição) ou em um mesmo quadro (intra predição). A transformação gera um conjunto de coeficientes, onde cada um tem um peso de acordo com um padrão, para criar o bloco novamente na decodificação, além disso, o bloco transformado é quantizado para que haja uma maior compressão. A codificação consiste em organizar os coeficientes resultantes da etapa anterior em fluxo de bits, utilizando entropia, além disso organiza os dados para que a transmissão seja realizada de forma segura e interoperável (VCODEX, 2015).

2.4 Aplicações

Nesta seção são descritos alguns clientes HAS mais populares, a maioria das soluções HAS existentes são soluções proprietárias.

2.4.1 *Smooth Streaming* da *Microsoft* - MSS

O MSS (MSS, 2014) é baseado no *Protected Interoperable File Format (PIFF)* que é uma extensão do formato MPEG4, onde todos os segmentos com a mesma taxa de bits são armazenados em um único arquivo MP4, contendo 2 segundos de duração e basicamente um único GOP, além disso utiliza o *plug-in Silverlight*. Sua intenção é equilibrar utilização

de largura de banda e estabilidade, utilizando uma margem de segurança e acessando incremental ou decrementalmente as taxas até chegar a adequada (AKHSHABI et al., 2012).

2.4.2 *Netflix Player*

Este *player*, apesar de utilizar o *Silverlight* da *Microsoft* para apresentação de mídia, mantém duas conexões com o servidor e possui o gerenciamento dessas conexões similarmente ao gerenciamento do *Smooth Streaming* (visto na seção anterior), porém possui uma lógica de adaptação agressiva, ao contrário do MSS (AKHSHABI et al., 2012).

2.4.3 *HTTP Live Streaming da Apple - HLS*

O HLS segue uma abordagem de armazenamento do segmento diferenciada baseado no formato ISO/IEC 13818-1 MPEG2 (BEGEN; AKGUL; BAUGHER, 2011). O fluxo de vídeo, codificado com o MPEG-4, é dividido em segmentos e empacotado pelo MPEG-2 transporte *stream* com extensão .ts. Cada segmento de mídia deve ser armazenado separadamente em um arquivo de índice com extensão .M3U8 e as informações à respeito dos segmentos são disponibilizadas em URIs. O Cliente recupera os arquivos de índice e executa, assim que existir uma quantidade de mídia adequada no *buffer*, os segmentos são baixados de maneira contínua até encontrar-se a tag #EXT-X-ENDLIST no arquivo de índice, indicando o fim do fluxo (APPLE..., 2015).

2.4.4 *HTTP Dynamic Streaming da Adobe*

Implementado no *Open Source Media Framework* (OSMF) da *Adobe* (OSMF..., 2014), é um *framework* de código aberto para o desenvolvimento de tecnologias adaptativas. Cada arquivo no formato F4F, no servidor, representa o caminho para um segmento e cada segmento é dividido em pedaços. O algoritmo adaptativo deste *player* é agressivo e baseia-se apenas na largura de banda, permitindo com que seus usuários experimentem frequentes esvaziamentos de *buffer* e trocas de qualidade, além do necessário (AKHSHABI et al., 2012).

2.4.5 Player de Referência do DASH IF

O cliente de referência do DASH IF, que pode ser encontrado em (DASH. . . , 2013), foi concebido com o objetivo de fornecer um cliente de *streaming* adaptativo que implementasse recomendações do MPEG-DASH. É mantido pela DASH Industry Forum (DASH IF), a qual possui entre seus clientes a *BitDash*, *Digital Primates* e *Qualcomm*.

Trata-se de um *framework* de código aberto e de livre distribuição, é escrito em *javascript* e possui regras básicas de adaptação, as quais podem ser modificadas, ou ainda, serem acrescentadas novas regras. Visto que as implementações anteriores possuem a sua própria abordagem técnica, o DASH IF visa a disseminação de MPEG-DASH para que a interoperabilidade entre as aplicações seja viabilizada.

2.5 Considerações Finais do Capítulo 2

Neste capítulo apresentaram-se os conceitos fundamentais que envolvem o DASH e a QoE neste contexto. Primeiramente, discutiu-se sobre os três tipos principais de *streaming* e o surgimento do DASH. Posteriormente, apresentou-se o esquema geral de funcionamento de um Sistema DASH, abordando seus componentes.

Discutiu-se também sobre a QoE em sistemas DASH, apresentando os fatores atualmente considerados em uma avaliação de QoE, fatores que não eram considerados enfatadamente nos métodos tradicionais de avaliação. Apresentaram-se ainda, alguns conceitos de codificação de vídeo e áudio, e por fim, algumas das principais aplicações de *streaming* foram enumeradas, dentre elas o cliente de referência do DASH IF que é utilizado neste trabalho.

Capítulo 3

Estratégias de Adaptação e QoE

Entre os diversos tópicos de pesquisa abarcado pela área de transporte e entrega de conteúdo multimídia usando a tecnologia DASH, três tópicos e o seu interrelacionamento são estudados nesta dissertação: os algoritmos adaptativos, os métodos de avaliação de Qualidade de Experiência (do inglês: *Quality of Experience* - QoE) e a preparação do vídeo. Existem diversas pesquisas propondo estratégias de adaptação e métodos de avaliação de QoE que, em sua maioria, utilizam conjuntos de vídeos preparado por terceiros e que estão disponíveis na Internet. Entretanto, poucas pesquisas exploram o processo de preparação do conteúdo, chamado versionamento, no DASH. Neste capítulo, apresenta-se um levantamento dos trabalhos relacionados os três tópicos abordados nesta dissertação e seus principais aspectos. Alguns trabalhos avaliados a seguir foram utilizados como base para as propostas e implementações realizadas neste estudo.

O levantamento bibliográfico foi conduzido a partir de um conjunto de questões que relacionam os algoritmos de adaptação ao processo de preparação da mídia para ser transmitida sob o DASH e as formas de avaliação da qualidade de experiência. As questões usadas então para as buscas foram estas: Quais são os métodos utilizados para a adaptação de *streaming* de vídeo que sejam baseados na aplicação cliente? Como a QoE do usuário é avaliada em sistemas DASH? Quais informações são importantes para o desenvolvimento de um método adaptativo dinâmico? O conjunto de artigos catalogado a partir das consultas as bases de dados são discutidos a seguir.

A estrutura deste capítulo organiza-se da seguinte forma: na Seção 3.1 apresentam-se os trabalhos relacionados que propõe estratégias de adaptação de taxa de bits, encontrados no decorrer da pesquisa bibliográfica. Na Seção 3.2 apresentam-se os trabalhos relacionados que propõe métodos e métricas de avaliação de QoE para vídeos adaptativos.

Na Seção 4.1 apresenta-se um trabalho sobre a definição de conjuntos de versionamento. Na Seção 3.4 apresenta-se a classificação dos trabalhos relacionados, gerada através das características do que foi proposto em cada trabalho, além das discussões. E por fim, na Seção 3.5 apresentam-se as considerações finais deste capítulo.

3.1 Estratégias de Adaptação

Nesta dissertação será denotada a expressão “Estratégias de Adaptação” para os algoritmos que adaptam a qualidade de um *streaming* de vídeo as condições do canal de acesso, escalonando, entre as várias opções de qualidade, aquela que deve ser acessada em um dado instante de tempo. Para isso, como será mostrado a seguir, as estratégias utilizando medidas de vazão da conexão e o estado do *buffer* de reprodução como métricas objetivas, e em outros casos métricas subjetivas são consideradas na tomada de decisão, incluindo MOS (do inglês: *Mean Score Error*), PSNR (do inglês: *Peak Signal to Noise Ratio*) e Número de trocas de qualidades. Ao todo foram identificados 3 classes, 2 subclasses e 7 categorias de trabalhos, e foram analisados 17 trabalhos.

Em (HUANG; JOHARI; MCKEOWN, 2013) é proposta uma estratégia que possui uma política de adaptação agressiva. Visa maximizar a taxa de bits média e evitar o esvaziamento do *buffer*, utilizando-se apenas a ocupação do *buffer*. As taxas de bits a serem escolhidas são mapeadas em função do preenchimento do *buffer* no tempo t .

Os experimentos foram realizados em um ambiente controlado, onde a largura de banda começou em 5 Mbps e diminuiu para 350 kbps após 25 segundos de reprodução, em um vídeo de 80 s. Como resultado, a algoritmo operou em altas taxas, devido a reserva do *buffer*. Por consequência houveram situações em que a taxa selecionada era bem maior que a largura de banda disponível. As métricas de comparação utilizadas foram a taxa de bits em kbps e a ocupação do *buffer* em s.

Na dissertação descrita em (ROMERO, 2011) apresentam-se versões básicas de três tipos de algoritmos para MPEG-DASH: Agressivo, Conservador e Moderado. Estes algoritmos utilizam como parâmetro principal a vazão. No algoritmo Agressivo considera-se a vazão do último segmento, no algoritmo Conservador considera-se 70% da vazão do último segmento baixado, e no algoritmo Moderado considera-se 95% da média da vazão dos três últimos segmentos baixados.

Nos experimentos foram utilizados quatro cenários de rede, que caracterizam flutuações persistentes e não persistentes de largura de banda, utilizando um vídeo de 600 s, com

segmentos de 10s. O algoritmo conservativo foi experimentado utilizando-se segmentos de 5 s, 10 s e 20 s. Dentre as métricas de avaliação utilizadas estão a utilização da largura de banda, eficiência de preenchimento do *buffer* e eficiência de recuperação de segmento.

No trabalho descrito em (MUELLER; LEDERER; TIMMERER, 2012a), propõe-se uma estratégia conservadora para MPEG-DASH a qual baseia-se nos níveis do *buffer*. Nesta estratégia, dependendo do nível do *buffer*, o parâmetro de suavização pode assumir valores diferentes. Ou seja, a utilização da largura de banda pode ser ajustada.

Os experimentos foram realizados em uma condição de mobilidade veicular e foram utilizados vídeos com três durações distintas para cada trajeto seguido, 601 s (da cidade de *Villach* até a cidade de *Klagenfurt*), 575 s (da cidade de *Klagenfurt* até a cidade de *Techelsberg*) e 599 s (da cidade de *Techelsberg* até a cidade de *Klagenfurt*), onde o segmento dos vídeos é de 2 s. As métricas de comparação utilizadas são a taxa de bits média, número de trocas de qualidade e média do tempo da duração das interrupções. Como resultado, o algoritmo alcançou um dos maiores valores de taxa média e poucos segundos de interrupção em comparação as soluções da indústria, por outro lado uma alta quantidade de trocas.

Na pesquisa realizada em (MUELLER; LEDERER; TIMMERER, 2012b) propõe-se uma estratégia conservadora para MPEG-DASH que baseia-se na vazão dos segmentos baixados. A estratégia proposta focaliza a redução dos efeitos negativos identificados nos experimentos com soluções comerciais em ambientes com *proxy*. Dentre esses efeitos negativos estão, o comportamento “egoísta” dos algoritmos em cenário de compartilhamento de largura de banda, o grande número de trocas de qualidade, consequente da distribuição de taxas inadequadas e, a estimativa errônea de largura de banda, devido a utilização de um *proxy*.

Introduz-se o conceito de justiça entre os clientes de uma rede e discute-se a incapacidade dos algoritmos adaptativos em identificar se estão compartilhando largura de banda com outras aplicações e/ou outros clientes, devido o uso do protocolo HTTP. Desta forma, cada cliente procura alcançar a taxa máxima possível. Para minimizar o número de trocas de qualidade o algoritmo utiliza uma técnica de retardo exponencial no momento da troca para um nível mais alto. Além disso, um método de sondagem é empregado para verificar a largura de banda efetivamente disponível no sistema, desviando do *proxy*.

Em (DUBIN; HADAR; DVIR, 2013) apresenta-se uma lógica de adaptação conservadora para MPEG-DASH, sensível aos níveis de *buffer*. Os autores argumentam que o MPD não contempla a variabilidade do tamanho dos segmentos, revelando uma vulnerabi-

lidade do DASH. Sendo assim, esta estratégia detecta a capacidade do sistema através do número de segmentos contidos no *buffer* e seus tamanhos. Além disso, limiares de *buffer* são estabelecidos para determinar os estágios de preenchimento do *buffer* e reprodução.

Nos experimentos foi utilizado um versionamento disponível em (ITEC, 2015), com vídeo de 600 s e segmentos de 2 s. Foram utilizados dois cenários de rede, variações curtas e longas de largura de banda. Como métrica de comparação utilizou-se o PSNR.

No trabalho descrito em (MOK et al., 2012), propõe-se uma estratégia conservadora sensível a QoE, onde considera-se a largura de banda e as informações do *buffer*. Para a seleção das taxas verifica-se a largura de banda efetivamente disponível, através de um método de sondagem, como os utilizados em (MUELLER; LEDERER; TIMMERER, 2012b).

Utilizando testes subjetivos, os autores mostram que os usuários são mais sensíveis a diminuição abrupta da qualidade do que ao seu aumento. Sendo assim, ao invés de diminuir a qualidade abruptamente para a taxa de menor qualidade, a capacidade do *buffer* é utilizada para determinar quantos segmentos de qualidade intermediária podem ser baixados, antes da menor qualidade. Ou seja, a estratégia não exatamente utiliza um resultado de QoE para adaptar as taxas e sim, permite suavizar as trocas para uma menor qualidade através da apresentação de taxas intermediárias ao usuário, para que o incômodo provocado por uma troca seja minimizado.

Nos experimentos, utilizou-se apenas um cenário de rede que variou de 4 Mbps à 400 Kbps depois de 12 s de execução. Foram utilizados vídeos curtos de 90 s e segmentos de 4 s, foram utilizadas diferentes categorias de vídeo: Música, Animação, Filme e Esportes. Como métrica de comparação utilizou-se o MOS.

A pesquisa realizada em (TIAN; LIU, 2012) estuda a diferença entre a velocidade de convergência rápida e suave. Além disso, propõe-se e avalia-se uma estratégia conservadora baseada no tempo de vídeo no *buffer* e mostra-se que a ocupação do *buffer* serve como um bom sinal de retorno para guiar a adaptação. Esta estratégia utiliza um mecanismo de controle do *buffer* baseada no PID que permite balancear a suavidade e a utilização da largura de banda. A largura de banda utilizada nos experimentos foi limitada em 5 Mbps e as métricas de comparação foram a taxa de bits média, o tamanho médio do *buffer* e a utilização da largura de banda.

No estudo realizado em (AKHSHABI et al., 2012) propõe-se uma estratégia moderada baseada nos níveis de *buffer* e na largura de banda. A largura de banda é estimada a partir da média exponencial do volume de tráfego gerado pelos segmentos baixados em

uma janela de tempo de 10 segundos. Utilizou-se um parâmetro de suavização de γ , ou seja, apenas uma porcentagem dessa estimativa é considerada. O uso da vazão média suavizada define a qualidade suportada pela condição atual da rede. Essas qualidades são comparadas com a qualidade atual e dependendo do nível do *buffer*, em relação aos limiares estabelecidos, o algoritmo aumenta ou reduz a qualidade de forma gradual. Nessa estratégia existe a diminuição abrupta para a menor qualidade, se o *buffer* estiver vazio.

Os experimentos foram realizados em cenários de rede com variações, curtas e longas, da largura de banda, com vídeo de 600 segundos de duração e segmentos de 3 segundos. Estudou-se também o comportamento do algoritmo do player MSS (do inglês: *Microsoft Smooth Streaming*) em um cenário de compartilhamento de largura de banda entre dois clientes, e verificou-se que o player MSS não consegue ser satisfatoriamente justo. O algoritmo proposto não foi experimentado neste cenário. Como métricas de avaliação foram considerados os níveis de *buffer* e as taxas de bits utilizadas ao longo da sessão.

O algoritmo proposto em (MILLER et al., 2012) utiliza uma estratégia moderada, onde a estimativa da largura de banda é calculada através da média da vazão dos n segmentos baixados em uma janela de tempo de m segundos. Além da estimativa da vazão, o crescimento inicial do *buffer* é usado para definir um estágio de execução rápida, onde a taxa alvo é alcançada rapidamente. No algoritmo, define-se um segundo estágio que caracteriza o momento posterior ao crescimento inicial do *buffer*, dependendo dos níveis do *buffer* os parâmetros de suavização assumem valores diferentes.

O vídeo utilizado nos experimentos possui 600 segundos de duração e foi versionado com segmentos que duram 2 segundos, ver (ITEC, 2015). Foram utilizados quatro cenários de rede, o primeiro com variação longa de largura de banda e o segundo com variações curtas, como resultado o algoritmo manteve um comportamento conservador e ignorou as variações curtas de largura de banda. No terceiro cenário, a capacidade do canal de acesso foi limitada em 2 Mbps, e no quarto cenário, utilizou-se uma rede WiFi doméstica os dois últimos cenários são utilizados para avaliar como o algoritmo proposto se comporta quando dois clientes estão compartilhando os recursos de transmissão. Segundo os autores o comportamento em ambos os cenários se mostrou justo, porém como métrica de comparação foi utilizada apenas a taxa de bits ao longo da sessão, não sendo apresentado nenhuma avaliação formal da justiça praticada entre os players.

Em (THANG et al., 2012), propõe-se uma estratégia baseada na estimativa da largura de banda a partir da vazão observada no acesso aos últimos n segmentos. Usa-se a média móvel da taxa de transmissão desses n segmentos para verificar a largura de banda

disponível. Além disso, definiu-se parâmetros de suavização compatíveis com as redes sem fio. Os autores formulam um problema de otimização para maximizar a qualidade global baseado nas alternativas de taxas de bits descritas no MPD DASH estendido. Os autores relacionam cada representação de áudio e de vídeo a QoE percebida pelo usuário. Desse relacionamento, deriva-se um grafo G , onde os vértices são os componentes de áudio e vídeo e as arestas são as relações entre esses componentes, determinando a qualidade associada a cada um.

Os experimentos foram realizados em duas etapas. Na primeira etapa estudou-se a seleção ótima das qualidades descritas no MPD. Na segunda etapa, verificou-se o comportamento do algoritmo ao longo de uma sessão de vídeo, com duração 330 segundos. Dois cenários de rede foram utilizados, no primeiro uma conexão TCP foi utilizada tanto para transmissão do áudio quanto para a transmissão do vídeo, e no segundo áudio e vídeo foram transmitidos em conexões separadas. A métrica de QoE utilizada nas avaliações foi o MOS.

No trabalho descrito em (HESSE, 2013), apresenta-se uma arquitetura para sistemas MPEG-DASH e propõe-se uma estratégia que utiliza uma média móvel como filtro de suavização para a estimativa de largura de banda. Além disso, a estratégia utiliza informações de *buffer* no cálculo do parâmetro de suavização utilizado pelo filtro. Nos experimentos foram transmitidos 300 segmentos, todos do mesmo tamanho, e a largura de banda variou de 4 Mbps à 2 Mbps.

Em (JIANG; SEKAR; ZHANG, 2012) propõe-se e avalia-se uma estratégia baseada na largura de banda. Nesse estratégia, a largura de banda é estimada usando a média harmônica dos últimos 20 segmentos baixados, e apenas 85% do valor é usado caracterizando uma abordagem moderada. Neste trabalho três métricas são usadas para avaliar o desempenho do algoritmo: injustiça, instabilidade e ineficiência. A injustiça expressa o desbalanceamento proporcionado pelo algoritmo na seleção das taxas de bits dos próximos segmentos em sessões diferentes, a instabilidade está relacionada a amplitude e a frequência das trocas realizadas, e a ineficiência está ligada a taxa média acessada por cada sessão avaliada. Foram utilizados cenários de compartilhamento com múltiplos clientes emulados.

Em (JULURI; TAMARAPALLI; MEDHI,) propõe-se uma estratégia baseada na largura de banda e na ocupação do *buffer* sensível ao tamanho do segmento, chamada SARA. Para a estimativa da largura de banda calcula-se a média harmônica ponderada da vazão dos n segmentos baixados, os pesos utilizados são proporcionais ao tamanho do segmento

em bytes. Além disso é estabelecida uma série de limiares que define o comportamento do algoritmo. Por exemplo, se o nível atual do *buffer* for menor do que o limiar mínimo estabelecido o algoritmo passa a baixar segmentos de menor qualidade, isso garante um início de reprodução mais rápida.

Nos experimentos foram utilizados vídeos de quatro diferentes categorias, disponíveis em (ITEC, 2015), com duração aproximada de 600 segundos e segmentos de 4 segundos. Foram utilizadas largura de banda constantes de 1 Mbps, 4 Mbps, 6 Mbps e 8 Mbps. Como métrica de avaliação utilizou-se a medida de qualidade de vídeo proposta, que é razão entre a qualidade total do vídeo, reproduzido com o algoritmo proposto, e a qualidade alcançada com o uso de outro algoritmo. O algoritmo usado como caso base mede a qualidade alcançada na reprodução considerando os estados do *buffer* e as larguras de banda estabelecidas. Outra métrica utilizada foi o número de trocas de representações.

3.2 Métodos de Avaliação de QoE

Nesta seção apresentam-se trabalhos que propõem métodos de avaliação de QoE. Esses métodos mapeam a percepção do usuário de aplicações de *streaming* de vídeo, através da busca de um conjunto de parâmetros, que possam levar a uma melhor compreensão da impressão do usuário. Como descrito no Capítulo 2, a QoE é um conceito subjetivo, pois depende da percepção dos usuários e por isso quantificá-lo de forma automática é uma tarefa computacionalmente custosa. Entretanto, sabe-se que em uma sessão de vídeo algumas características, como número e duração das interrupções, são mais importantes que outras, como número de trocas e taxa de bits, e que não é apenas um aspecto da reprodução de um *streaming* que pode afetar na QoE do usuário e sim um conjunto. Os métodos apresentados nesta seção exploram tais características inferindo a QoE automaticamente, de forma que ela se aproxime dos valores encontrados pelos métodos subjetivos.

Em (SINGH; HADJADJ-AOUL; RUBINO, 2012) propõe-se um módulo de monitoramento de QoE para HAS no contexto de IPTV. Esse módulo avalia o impacto das interrupções de reprodução e do parâmetro de quantização na QoE. A metodologia de avaliação utilizada é a Avaliação de Qualidade Pseudo Subjetiva (do inglês, *Pseudo-Subject Quality Assessment* - PSQA), baseada em Redes Neuras Randômicas (do inglês, *Random Neural Network* - RNN).

Quatro sequências de vídeos com duração de 16 s foram utilizadas nos experimentos. Testes subjetivos foram realizados com 15 usuários, utilizando a escala MOS, e a pontu-

ação foi posteriormente usada para treinar a RNN. A RNN foi validada através do *Root Mean Square Error* (RMSE), se seu resultado for menor que o valor pré estabelecido a RNN é considerada válida. Nos experimentos o limite estabelecido para o RMSE foi de 0,61, tendo-se atingindo um valor de 0,31, o que segundo o autor comprova a eficiência do método. Porém vídeos maiores que 16 s não foram utilizados e apenas 15 usuários foram utilizados para a comparação com um método subjetivo de avaliação. Poderiam também ser utilizadas versões com mais parâmetros variáveis, além do parâmetro quantizador, como FPS, tamanho dos segmentos e resolução.

Em (ESSAILI et al., 2013), propõe-se um esquema DASH multi-usuário que visa otimizar a entrega da mídia para múltiplos clientes em redes sem fio de celulares, através da alocação de recursos. O esquema baseia-se em uma abordagem de QoE pró-ativa, considerando-se as características do conteúdo de mídia e a disponibilidade dos recursos. Desta forma, o esquema proposto redireciona as requisições para um *proxy*, onde são reescritas e encaminhadas ao servidor DASH. A sobrescrição das requisições é realizada com base nos resultados do otimizador de QoE, e a taxa de bits mais adequada é escolhida.

O modelo de otimização da QoE visa maximizar a satisfação global dos usuários que é expressa na escala MOS, mapeada de forma linear ao PSNR e definida em função da taxa de dados da aplicação. Desta forma, é determinado o compartilhamento de recursos, retringindo-se a quantidade de recursos e a taxa mínima que deve ser alocada para cada usuário.

Nos experimentos utilizou-se oito clientes DASH, requisitando diferentes vídeos. Foram utilizados vários cenários para testar a otimização: em cenários onde o servidor codifica o vídeo de acordo com as taxas indicadas pelo otimizador de QoE; em cenário onde o *proxy* escolhe a taxa de acordo com o otimizador; em cenários onde o próprio cliente é quem adapta a taxa com base no otimizador; e ainda, em cenários sem otimização, onde a transmissão é determinada pelo planejador LTE e a taxa é decidida dinamicamente pelo cliente DASH, sem sobrescrição. Segundo o autor a sobrescrição de taxas, no cenário que tal sobrescrição ocorre no *proxy*, resulta em um ganho significativo de qualidade em relação aos outros cenários, segundo o autor. Porém, o fato do MOS considerado ser mapeado do PSNR, pode levar a uma inferência errônea a respeito da real QoE do sistema, pois não estão sendo considerados parâmetros relevantes para a QoE de um usuário, como continuidade e número de trocas e sim apenas parâmetros de qualidade de imagem e áudio, que são variáveis consideradas no PSNR. Além disso, o vídeo utilizado era de apenas 60 s.

No trabalho descrito em (ALBERTI et al., 2013), apresenta-se a definição e a validação de um modelo de QoE em concordância com o DASH, chamado eMOS. Esse modelo visa combinar métricas relacionadas ao conteúdo de mídia, ao *buffer* e ao TCP, além de expectativas e requisitos dos usuários. O objetivo é melhorar a lógica de adaptação para selecionar o nível de qualidade ótimo do vídeo. As métricas consideradas são categorizadas em: esvaziamento e inundação do *buffer* que influenciam no número e duração das interrupções; frequência e amplitude das trocas de qualidade; e, nível de qualidade objetiva do conteúdo, que está associado aos parâmetros de mídia como taxa de bits, taxa de quadros e quantização.

O algoritmo incorpora um modelo psicométrico que quantifica as reações psicológicas dos humanos diante de um vídeo apresentado. Cada métrica é correlacionada a um coeficiente e um expoente, os quais são ajustados em um processo de auto-aprendizagem. Além disso, foram realizados testes subjetivos para se verificar a distância entre os resultados subjetivos e os resultados do método. Na avaliação subjetiva foi utilizado o MOS com 10 participantes (4 mulheres e 6 homens entre 22 e 53 anos) que foram submetidos a uma sequência de testes, em seguida uma comparação foi realizada entre os resultados do MOS e do eMOS. Na maioria dos resultados a divergência não passou de 0.4 pontos e em alguns casos coincidiram.

3.3 Versionamento de Conteúdo de Mídia

Pesquisas em estratégias de adaptação do fluxo e de métodos de avaliação de QoE têm sido objeto de interesse da comunidade. Por outro lado, são poucas as pesquisas sobre a definição das representações disponibilizadas as aplicações clientes. Questões como quais são as taxas adequadas para a codificação de um determinado vídeo, ou qual FPS e qual resolução deve ser utilizadas no processo de versionamento, foram poucas vezes objeto de pesquisa. O *NetFlix*, o *MSS* e o *Youtube* apresentam um conjunto de sugestões para os publicadores. Mas, pouco se tem de concreto no contexto de pesquisa para o versionamento de conteúdo para DASH.

Em (TONI et al., 2014), propõe-se e avalia-se um modelo matemático que visa otimizar a satisfação do usuário através da escolha do conjunto ótimo de representações, no contexto de CDNs. O modelo baseia-se na taxa de bits e na resolução que um conjunto de usuários pode acessar. Usando essas duas métricas um conjunto de representações é gerado tendo-se as seguintes restrições: número de usuários; capacidade da largura de banda da CDN; e número de representações disponíveis.

Os autores fazem um estudo comparativo verificando o quão distantes do ótimo estão as recomendações propostas pela *Apple*, *Microsoft* e *Netflix*, para os seus serviços de distribuição de vídeo. Além disso, um conjunto de diretivas buscam responder as seguintes perguntas: Quantas representações são recomendadas por vídeo? Para um determinado vídeo, quantas representações por resolução são recomendadas? Quais taxas de bits decidir para uma determinada resolução? Como métrica de comparação entre os versionamentos utilizou-se a Métrica de Qualidade de Vídeo (em inglês: *Video Quality Metric - VQM*).

Os autores assume condições ideais de rede, ou seja, que o usuário dispõe de plenos recursos de transmissão para acessar o conteúdo. As flutuações desses recursos pouco impactam a QoE, sendo portanto a variável mais importante a qualidade do vídeo, medida pela taxa de bit entregue aos usuários. Em outras palavras, os resultados apresentados são limites mínimos para o versionamento do conteúdo e refletem parcialmente a realidade.

Nesta dissertação, os versionamentos seguiram as sugestões apresentadas pelos grandes distribuidores de conteúdo, entretanto considerou as características das redes de acesso disponíveis para os brasileiros, e os níveis de SLA regulamentados.

3.4 Organização dos Trabalhos Relacionados e Discussão

Como apontado na introdução deste capítulo, identificou-se neste estudo três campos de pesquisa no contexto DASH: as estratégias de adaptação, a avaliação da QoE e ao versionamento. Na Figura 3.1 apresenta-se uma classificação estabelecida de acordo com esta observação para os diferentes trabalhos identificados na literatura.

As estratégias de adaptação podem ser classificadas quanto a política de adaptação das taxas e quanto aos parâmetros utilizados. Na primeira classificação, a forma como o algoritmo explora os recursos disponíveis, i.e. fazendo uso dos recursos de forma mais moderada ou não, é o parâmetro usado para enquadrar os diversos trabalhos. Na segunda classificação, considerou-se como parâmetro de enquadramento as medidas de avaliação das condições de rede que guiam a lógica dos algoritmos e determinam a taxa a ser escolhida.

Quanto à política de adaptação das taxas, as estratégias podem classificar-se em **agressivas**, **conservadoras** e **moderadas**. As **estratégias agressivas** tem como característica principal a utilização de todo o recurso disponível na rede e/ou aplicação em um dado momento. Devido as suas decisões serem baseadas em percepções recentes

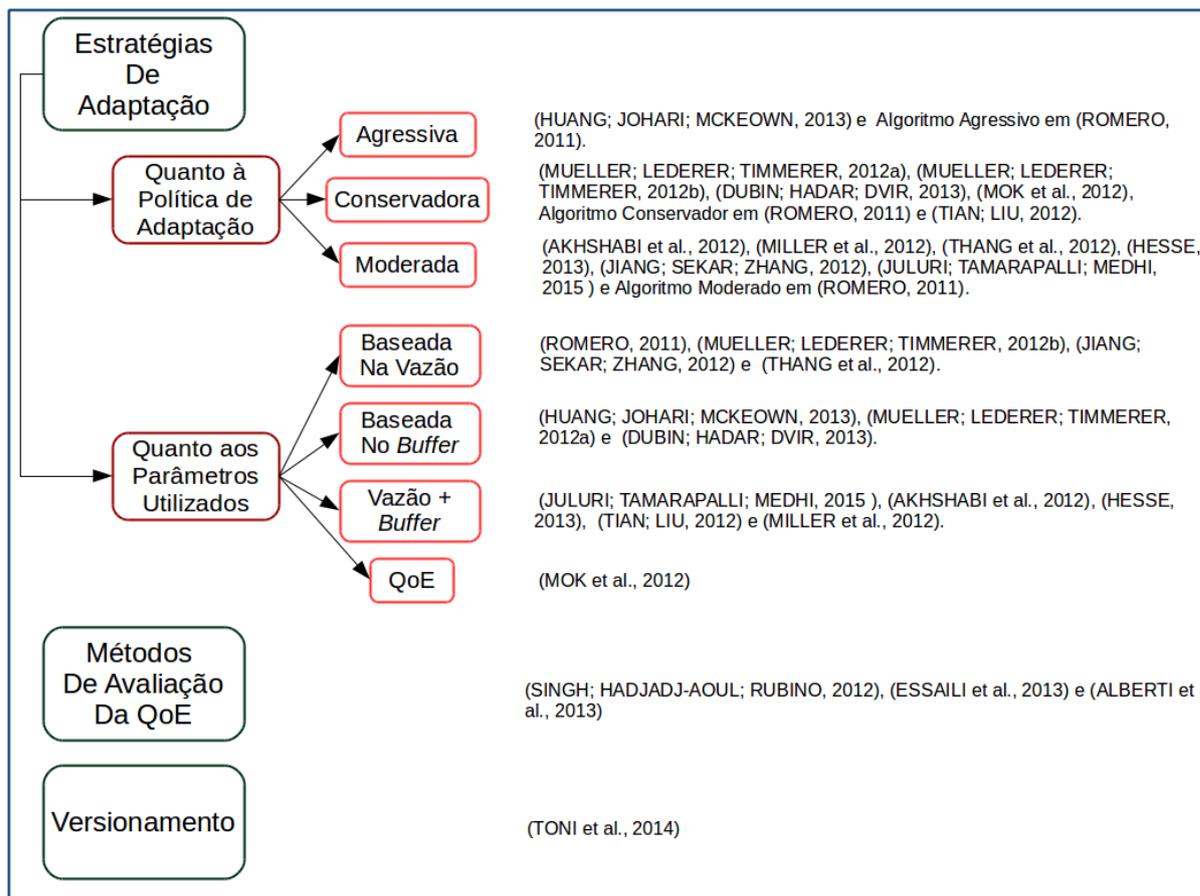


Figura 3.1: Organização dos Trabalhos Relacionados.

do estado da rede, a probabilidade de interrupções na reprodução é maior. A tomada de decisão baseado em informações de largura de banda atual, por exemplo, permite que o tempo de convergência do algoritmo seja menor e por consequência, a taxa de bits que corresponde com a capacidade de largura de banda oferecida pelo sistema seja alcançada rapidamente. A maior desvantagem desse tipo de estratégia é a alta sensibilidade em relação as mudanças de largura de banda, mesmo em estados transitórios, o que potencializa a ocorrência de trocas de qualidade desnecessárias.

As **estratégias conservadoras** são aquelas estabelecem o uso das informações coletadas, por exemplo a largura de banda disponível, dentro de uma margem de segurança, termo utilizado em (THANG et al., 2012). Essa margem de segurança é descrita por parâmetros de suavização utilizados no cálculo de vazão dos segmentos ou determinação de limiares de ocupação do *buffer*. Essa estratégia é capaz de minimizar as trocas de qualidade, pois podem ignorar variações repentinas de largura de banda, dependendo do parâmetro de sensibilidade e do intervalo de variação de largura de banda. A desvantagem é que esse método não aproveita a largura de banda máxima disponível, podendo sub-

timar a taxa de bits escolhida pelo cliente. Outra desvantagem é a lenta identificação de variações no canal.

As **estratégias moderadas** estimam qual será o volume de recursos disponíveis no sistema a partir da observação de medidas como a vazão média dos n últimos segmentos baixados. A vantagem é a maior segurança na seleção da taxa de bits, devido a predição que é realizada. A desvantagem é que a convergência para a taxa alvo é mais demorada, em alguns casos. Nos trabalhos pesquisados, para o cálculo da vazão foi identificada a utilização da média aritmética em (MILLER et al., 2012) e no algoritmo Moderado de (ROMERO, 2011), média móvel exponencial em (AKHSHABI et al., 2012), em (HESSE, 2013) e em (THANG et al., 2012) e, média harmônica em (JIANG; SEKAR; ZHANG, 2012) e em (JULURI; TAMARAPALLI; MEDHI,). Nessas estratégias moderadas, identificou-se o uso de parâmetros de suavização e ponderadores que podem atribuir a tais estratégias tanto um caracter mais conservador quanto um caracter mais agressivo.

Quanto aos Parâmetros Utilizados, as estratégias podem basear-se apenas na **vazão**, apenas nos **níveis atuais do *buffer***, e nos **níveis atuais de ocupação do *buffer* e na vazão**. Além disso, um conjunto de **parâmetros relacionados a QoE** vem sendo estudado para ser utilizado como guia na escolha das taxas.

As estratégias baseadas em informações da **vazão** utilizam o desempenho da rede durante a recuperação do(s) último(s) segmento(s). Tais informações se referem ao tempo de recuperação e ao tamanho do(s) último(s) segmento(s) baixado(s). Esse tamanho pode ser o tempo de duração do segmento, em segundos ou em bytes. As estratégias baseadas em informações do *buffer* utilizam os níveis atuais de mídia armazenada no *buffer*, a partir da definição de limiares superior e inferior. Existem estratégias que se baseiam tanto em informações de *buffer* quanto da vazão e procuram um equilíbrio para a utilização de tais parâmetros.

A QoE deve ser uma das maiores preocupações das estratégias de adaptação, pois o evento de redução da taxa de bits degrada experiência, entretanto essa é uma característica intrínseca da transmissão adaptativa de fluxos de vídeo. A estratégia ciente de QoE, descrita em (MOK et al., 2012), na verdade é uma tentativa de melhorar a QoE através da suavização de um dos parâmetros que afetam a QoE do usuário, que é a troca de qualidade. Mas, o resultado da QoE produzido com essa estratégia não é utilizada. De qualquer forma, tem-se desenvolvimento pesquisas para melhorar QoE ao mesmo tempo que tem-se estudado formas de avaliá-la de maneira mais eficiente. Um dos aspectos abordado é a inviabilidade de se usar os métodos subjetivos até então propostos, devido a

complexidade das avaliações e o tempo que demandam para serem realizados. O esforço para resolver tais problemas consideram o uso de processos de otimização, ver (ESSAILI et al., 2013), e processos de auto aprendizagem baseados em RNN, ver (ALBERTI et al., 2013) e em (SINGH; HADJADJ-AOUL; RUBINO, 2012) .

Poucos trabalhos exploram a questão do versionamento, e ainda há muito o que pesquisar em relação aos parâmetros utilizados na codificação, como taxa de bits, FPS e granularidade entre as representações e qual o impacto desses parâmetros na QoE. Em (TONI et al., 2014), explora-se o versionamento, porém a abordagem dos autores foi em avaliações objetivas, que envolvem métricas como taxa de bits e resolução, não existem, entretanto, considerações a cerca da continuidade e da troca de qualidade, que o versionamento feito de forma independente pode impor a uma estratégia de adaptação.

O que diferencia o presente trabalho dos demais é a junção, em um único estudo, de questões que envolvem os três campos de pesquisa identificados. Versionamentos de granularidades de taxas de bits e FPS diferentes são avaliados no estudos experimentais, bem como a estratégia de adaptação proposta considera a frequência de interrupções, uma questão chave ao se considerar a QoE de sessões de transmissão, além da utilização de uma taxa de qualidade inferior no conjunto de vídeos.

Outro aspecto que torna a presente pesquisa única é a abrangência dos experimentos realizados, que incluem: i) um conjunto de vídeos longos; ii) conteúdo de diferentes categorias iii) uma população de variada de clientes; e iv) cenário variado de utilização do canal de rede. Dos trabalhos relacionados, apenas a estratégia descrita em (JULURI; TAMARAPALLI; MEDHI,) é avaliada em um cenário em que diferentes categorias de vídeo são transmitidas, porém não existe registro de resultados envolvendo o compartilhamento da rede. As estratégias descritas em (MUELLER; LEDERER; TIMMERER, 2012b), em (MILLER et al., 2012) e em (JIANG; SEKAR; ZHANG, 2012) foram avaliadas sob a ótica do compartilhamento da largura de banda. Porém, apenas em (JIANG; SEKAR; ZHANG, 2012) os resultados do compartilhamento são apresentados de forma sistemática. Muitos trabalhos, ver (HESSE, 2013) e (HUANG; JOHARI; MCKEOWN, 2013), consideram a redução dos eventos de esvaziamento do *buffer*, porém não são avaliados em cenários de condições extremas, como é o caso dos cenários de compartilhamento de largura de banda.

3.5 Considerações Finais do Capítulo 3

Neste capítulo as estratégias para distribuição de conteúdo foram apresentadas. Tais estratégias foram classificadas segundo a dinâmica implementada, e listadas da seguinte forma: agressivas, conservadoras e moderadas, e ainda conforme a informação utilizada para projetá-las, que incluem: nível de *buffer*, vazão da rede, com a combinação desses dois parâmetros vazão, e a descrita em (MOK et al., 2012) que considera o número de troca das qualidades.

Existem inúmeras estratégias de adaptação, porém a maioria não considera parâmetros relacionados diretamente a QoE, e.g. número de trocas de qualidade e número de interrupções. Considerar parâmetros que influenciam de forma direta na QoE do usuário, buscando uma melhor qualidade, é o desafio dos algoritmos adaptativos que tem como premissa a melhoria da percepção do usuário diante das aplicações DASH.

Os métodos de avaliação da QoE foram apresentados, tendo-se avaliado as técnicas utilizadas em cada um. Finalmente, o processo de versionamento do conteúdo, um elemento chave na dinâmica das transmissões adaptativas, foi discutido com a análise de um dos poucos trabalhos que abordam o processo sob a ótica da teoria de otimização combinatória. Por fim, apresentou-se uma organização bem definida nesta dissertação.

Capítulo 4

O Versionamento e a Coleta das Medidas de Desempenho

Neste capítulo apresenta-se o processo de preparação dos vídeos utilizados nos estudos numéricos realizados nesta dissertação. A preparação do vídeo consiste em sua codificação, versionamento e disponibilização visando adaptação do mesmo as condições dos canais utilizado na sua transmissão.

Os vídeos utilizados nos estudos pertencem as seguintes categorias: Animação (Sintel), disponível em (SINTEL. . . , 2013); Esporte (*RedBull PlayStreet*), disponível em (REDBULL. . . , 2015); e, Filme (*Steel of Stars*), disponível em (TEARS. . . , 2014). Esses vídeos abordam temáticas distintas apresentando portanto demandas diferentes para os algoritmos de codificação. É possível por exemplo identificar, após a preparação dos vídeos, fluxos com taxas de bits mais altas que outros, sendo essa diferença atribuída ao fato dos vídeos retratarem situações distintas, com grandes mudanças de cena ou caso contrário, onde existe uma grande correlação entre as cenas. Todos os vídeos usados nesta dissertação são produtos de projetos de código aberto e são de livre distribuição. O resultado do processo de preparação dos vídeos, para distribuição usando o conceito de vídeo sob demanda adaptativo são quatro conjuntos totalizando 127 (quantidade de taxasxresoluçãoxgranularidade) fluxos que estão disponíveis para a comunidade em (VOD, 2015).

Este capítulo organiza-se da seguinte forma: os vídeos utilizados e o processo de versionamento desses vídeos são apresentados na Seção 4.1. Na Seção 4.2, os parâmetros utilizados na avaliação de desempenho e o serviço Web construído para coletar as métricas de desempenho dos *players*, sob avaliação são apresentados. E por fim, na Seção 4.3, as considerações finais deste capítulo são apresentadas.

4.1 O Versionamento e Ferramentas Utilizados

No contexto de transmissão de vídeo com taxas adaptativas, o processo de versionamento é crítico para o sucesso da transmissão. O conjunto de representações originado nesse processo limita a ação do algoritmo adaptativo, pois é dentro do espaço de possibilidades oferecidas por esse conjunto que evoluirá a lógica da estratégia de adaptação. Em outras palavras, é necessário que seja disponibilizado um conjunto de representações compatíveis com a plataforma e o canal de acesso disponível para o usuário. O cenário torna-se mais desafiador quando o canal de acesso é compartilhado por diversos usuários, dado que nesses casos é provável que haja variações na capacidade de transferência do canal, gerando descompasso entre a taxa de transferência e as taxas disponíveis no conjunto de representações originalmente planejado. No Capítulo 6, avalia-se o cenário de rede em que ocorre o compartilhamento dos recursos de rede por diversos usuários, acessando o conteúdo a partir de uma mesma plataforma.

4.1.1 Caracterização dos Conjuntos de Vídeo

Para os experimentos foram definidos grupos de versionamento com base na qualidade do vídeo definida pela frequência de *frames* por segundo (FPS), na granularidade das taxas de bits que definem o espaço de possibilidades para estratégia de adaptação atuar, a presença de taxas de bits diferenciadas para uso em condições especiais de rede quando a estratégia de adaptação assim proceder, e as diferentes temáticas abordadas pelos vídeos que os categoriza, ver Tabela 4.1 com os valores considerados em cada variável desse agrupamento.

Tabela 4.1: Grupos de Versionamento.

Grupo	FPS	Granularidade	Categoria	Taxa Diferenciada
A	7 e 30	160	Animação	-
B	30	80 e 400	Animação	-
C	30	400	Animação, Esporte e Filme	-
D	30	400	Animação, Esporte e Filme	Sim

O Grupo A que é caracterizado por uma variação no FPS, 7 e 30, incremento constante nas taxas de bits igual a 160 kbps e o conteúdo distribuído é de Animação, foi empregado em experimentos que avaliaram a reação dos algoritmos de adaptação da taxa quando um vídeo tem uma alta e uma baixa frequência de *frames*. O Grupo B foi gerado para avaliar o impacto da granularidade da taxa de bits na formação do espaço de possibilidades de taxa que uma estratégia dispõe para evoluir. As estratégias conservadoras tem uma

evolução fortemente atrelada ao tamanho do espaço de possibilidades de taxas. Nesse grupo a granularidade usada para definir as taxas de bits foram 80 kbps, que produz uma granularidade baixa, e 400 kbps que produz uma granularidade alta nas taxas de bits. O Grupo B foi concebido para estudar a reação de estratégias baseadas na vazão do canal de acesso e estado do *buffer*. O conteúdo versionado foi o de Animação.

O Grupo C possui vídeos versionados com FPS alto e granularidade também alta produzindo um conjunto de versões com espaço de amostragem de taxa pequeno mas com uma qualidade de imagens alta. Nesse grupo estão versionados três tipos de conteúdo: Animação, Esporte e Filme. O Grupo D é inspirado no Grupo C mas acrescentou-se uma taxa de bits diferenciada que é usada pela estratégia proposta nesta dissertação, sugerindo um acoplamento maior entre o cliente e o servidor do conteúdo.

Em relação a escolha do FPS, que é a frequência de quadros de imagem por segundo dentro de uma unidade chamada grupo de figuras(GOP), exploram-se valores extremos, ou seja um FPS de 7 gera GOPs de baixa frequência de quadros e um FPS de 30 gera GOPs de alta frequência de quadros. Na escolha das taxas de bits, que define a quantidade de bits por segundo do fluxo, estabeleceu-se valor mínimo para as taxas de bits, conforme descrito na literatura, (TONI et al., 2014) e (AKHSHABI et al., 2012), que é de 300 kbps para os grupos A e B. No caso do grupo C a taxa de bits mínima definida é compatível com a largura de banda mínima caracterizada que é de 1600 kbps.

Na escolha das taxas máximas do grupo A, que é de 3020 kbps, utilizou-se a abordagem adotada em (AKHSHABI et al., 2012) que deixa um intervalo entre a taxa de bits máxima utilizada no conjunto de versões e a largura de banda da rede de acesso utilizada. O objetivo é verificar se o buffer é capaz de absolver possíveis sobrecargas do canal, fruto da variação de suas condições, agravada pela margem estreita entre a taxa de bits e a capacidade do canal. Nos grupos C e D a taxa de bits máxima é de 3660 kbps. Esse valor foi derivado considerando-se: i) uma taxa de bits mínima de 1660 kbps para o grupo C e 460 kbps para o grupo D; ii) a granularidade do espaço de taxas dado por um valor fixo igual a 400 kbps; e iii) a largura de banda da rede de acesso igual a 4000 kbps. No conjunto B, com granularidade de 80 kbps, foram estabelecidos os mesmos valores de taxa mínima e máxima dos conjuntos C e D para que não hajam discrepâncias nos valores.

Na escolha das granularidades também exploram-se os extremos, isto é, uma granularidade baixa entre as versões produz um espaço de escolha de taxas grande e de uma granularidade alta, produz um espaço de escolha menor, onde o intervalo entre as taxas seria maior.

4.1.2 Preparação dos Vídeos

A transmissão de conteúdo multimídia que usa a tecnologia DASH demanda que esse conteúdo seja preparado previamente. Na Figura 4.1 ilustra-se o processo de preparação do conteúdo multimídia para distribuição usando DASH-MPEG que ocorre nas seguintes etapas: extração do áudio e do vídeo; versionamento do áudio e do vídeo; e, geração do MPD.

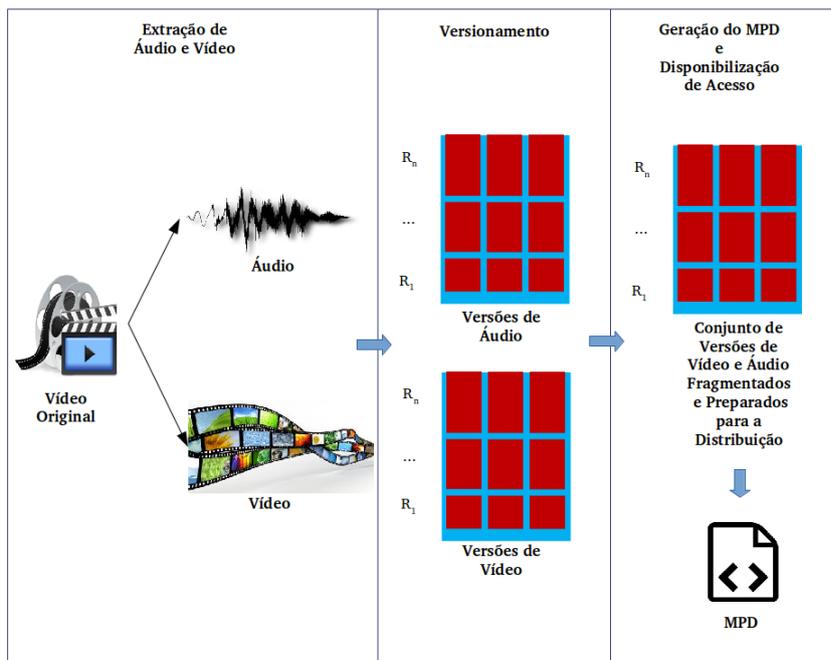


Figura 4.1: Processo de Preparação do Conteúdo Multimídia.

Na etapa de Extração do Áudio e do Vídeo, utilizou-se o FFmpeg, disponível em (FFmpeg, 2013). Entre outras funcionalidades, o FFmpeg permite a manipulação de áudio e vídeo de conteúdo multimídia pré-gravados. Os seguintes comandos foram utilizados para extração de ambos os conteúdos :

Comando 1: `ffmpeg -i %s -ab 100k -ac 2 -ar 44100 -vn %s.mp4`

Comando 2: `ffmpeg -i %s -vcodec copy -f mp4 -an %s.mp4`

O comando 1, para extração do áudio, recebe o arquivo de entrada através da diretiva “-i”, a diretiva “-ab” define a taxa de bits do áudio em bits por segundo(bps), a diretiva “-ac” define o número de canais de áudio, a diretiva “-ar” define a frequência de amostragem de áudio e a diretiva “-vn” serve para desabilitar a gravação do vídeo, desta forma o arquivo de saída terá apenas o áudio. O comando 2, para extração de vídeo, recebe o arquivo de entrada através da diretiva “-i”, o valor “copy” da diretiva “-vcodec” é usado

como parâmetro especial para definir que a informação bruta do codec deve ser copiada na íntegra, a diretiva “-f” define o formato do arquivo para o informado e a diretiva “-an” indica que o arquivo gerado será gravado sem o áudio.

Na etapa de Versionamento do Áudio do Vídeo em todos os fluxos codificados usando o FFmpeg utilizou-se o codec h.264 para o vídeo e AAC para áudio, ver detalhes dos codecs no Capítulo 2. A resolução utilizada é a mesma para todas as versões dos vídeos, 680x430, correspondente ao tamanho da tela padrão encontrado na maioria das aplicações Web de distribuição de vídeo e do *player* utilizado. O versionamento dos fluxos de áudio e vídeo foram realizados com os seguintes comandos:

```
Comando 3: ffmpeg -y -i arquivo_video.mp4 -c:v libx264 -r %d -b:v %dk  
-maxrate %dk -bufsize %dk -vf "scale=%d:%d" arquivo_versao_video_%skbps.mp4  
Comando 4: ffmpeg -y -i %s -c:a libfdk_aac -b:a %dk %s.mp4
```

O Comando 3, que realiza o versionamento do vídeo, é executado por um script que versionar o vídeo em versões com o valores apresentados na Tabela 4.1. O comando 3 utiliza a diretiva “-y” para sobrescrever os arquivos de saída, caso exista um arquivo de mesmo nome na pasta destino, a diretiva “-i” recebe como parâmetro o arquivo de entrada que é o vídeo extraído, a diretiva “-c:v” define o codec de vídeo, a diretiva “-r” define a taxa de quadros por segundo, a taxa de bits é definida pela opção “-b:v” em kbps, as diretivas “-maxrate”, “-bufsize” em bps, definem respectivamente, a taxa de bits máxima e o tamanho do *buffer* do verificador de *buffer* do vídeo, a diretiva “-vf scale” define a resolução da versão gerada.

O comando 4 versiona o áudio utilizando as diretivas “-y”, “-i” e “-b”, que tem a mesma finalidade descrita no versionamento do vídeo. A diretiva “-c:a” define o codec de áudio.

Como todas as versões de vídeo e áudio prontos, inicia-se a etapa de Geração do MPD. Nessa etapa, utiliza-se o MP4Box, disponível em (MP4BOX, 2013), que é um preparador de conteúdo multimídia com diversas funcionalidades, que incluem: anotação, separação, conversão e captura. Todas essas funcionalidades são aplicáveis aos formatos de arquivos MP4 e 3GPP, descritos na especificação MPEG-4 parte 12, permitindo a preparação de conteúdo em conformidade com a especificação MPEG-DASH.

O processo de preparação do conteúdo implementado pelo MP4Box, inclui a fragmentação do fluxo original, que irá viabilizar, a grosso modo, a mudança de qualidade do fluxo ao longo da sessão de distribuição. Para que esse conteúdo fragmentado possa ser reproduzida individualmente é preciso que seja criado um contexto em torno dele. Esse

contexto está definido nas informações armazenadas nos arquivos gerados nessa etapa, conforme definido no padrão ISO/IEC 23009-1.

Ainda nesta etapa é realizada a geração do arquivo XML que descreve a localização dos diversos recursos associados ao conteúdo, i.e. as diferentes taxas de bits, resoluções e áudios. Nesse arquivo, chamado de MPD, está registrado a localização daqueles recursos que caracterizam as diversas versões, que no parlance DASH é chamado de representação, e todos as representações são agrupadas em um Conjunto de Adaptação. A seguir mostra-se um exemplo de MPD gerado para uma representação de vídeo:

```
<MPD xmlns="urn:mpeg:dash:schema:mpd:2011" minBufferTime="PT1.500000S"
type="static" mediaPresentationDuration="PT0H14M48.12S"
maxSegmentDuration="PT0H0M8.33S" profiles="urn:mpeg:dash:profile:
isoff-on-demand:2011">
  <ProgramInformation moreInformationURL="http://gpac.sourceforge.net">
    <Title>
      /dados/www/datasets/dataset6/400/FPS30/onDemand/5s/onDemand_5s.mpd
      generated by GPAC
    </Title>
  </ProgramInformation>
  <Period duration="PT0H14M48.12S">
<AdaptationSet segmentAlignment="true" lang="eng" subsegmentStartsWithSAP="1">
  <Representation id="1" mimeType="audio/mp4" codecs="mp4a.40.2"
audioSamplingRate="44100" startWithSAP="1" bandwidth="100000">
  <AudioChannelConfiguration schemeIdUri="urn:mpeg:dash:23003:3:
audio_channel_configuration:2011" value="2"/>
  <BaseURL>onDemand_sintela_100_kinit.mp4</BaseURL>
  <SegmentBase indexRangeExact="true" indexRange="1000-3167">
<Initialization range="0-999"/>
  </SegmentBase>
</Representation>
</AdaptationSet>
<AdaptationSet segmentAlignment="true" maxWidth="680" maxHeight="430"
maxFrameRate="30" par="680:430" lang="und" subsegmentStartsWithSAP="1">
  <Representation id="2" mimeType="video/mp4" codecs="avc1.42c01e"
width="680" height="430" frameRate="30" sar="2752:1853"
startWithSAP="1" bandwidth="360000">
```

```
<BaseURL>onDemand_sintelV_360_fps30_track1_init.mp4</BaseURL>
<SegmentBase indexRangeExact="true" indexRange="1087-3278">
  <Initialization range="0-1086"/>
</SegmentBase>
</Representation>
<Representation id="3" mimeType="video/mp4" codecs="avc1.42c01e"
width="680" height="430" frameRate="30" sar="2752:1853" startWithSAP="1"
bandwidth="1560000">
  <BaseURL>onDemand_sintelV_1560_fps30_track1_init.mp4</BaseURL>
  <SegmentBase indexRangeExact="true" indexRange="1087-3278">
    <Initialization range="0-1086"/>
  </SegmentBase>
</Representation>
<Representation id="4" mimeType="video/mp4" codecs="avc1.42c01e"
width="680" height="430" frameRate="30" sar="2752:1853" startWithSAP="1"
bandwidth="1960000">
  <BaseURL>onDemand_sintelV_1960_fps30_track1_init.mp4</BaseURL>
  <SegmentBase indexRangeExact="true" indexRange="1087-3278">
    <Initialization range="0-1086"/>
  </SegmentBase>
</Representation>
</AdaptationSet>
  </Period>
</MPD>
```

O MPD exemplo é composto por um período, indicado pelo marcador *<Period>*, com duração de 14 minutos e 48 segundos, apontado no argumento *duration*. Esse período possui dois conjuntos de adaptação, indicado pelo marcador *<AdaptationSet>*, um para o áudio e outro para o vídeo. O conjunto de adaptação pode ser formado por uma ou várias representações, indicadas pelo marcador *<Representation>*. No exemplo, o conjunto de adaptação do áudio possui uma única representação caracterizada por uma demanda de largura de banda de 100 kbps, enquanto que o conjunto de adaptação do vídeo possui 3 representações com demandas de 360, 1560 e 1960 kbps, respectivamente. Todas essas representações do vídeo têm taxa de frequência de 30 quadros por segundo (argumento *maxFrameRate*) e resolução das versões são de 680 e 430, indicada pelos argumentos *width* e *height*.

A duração dos segmentos é um ponto à parte na discussão do versionamento do conteúdo a ser distribuído usando o DASH. Em (SEUFERT et al., 2013) apresentam-se os tamanhos de segmentos usado pelas soluções DASH existentes que são de 2s na proposta implementada *Microsoft*, 10s na implementação da *Apple* e de 2s a 5s para a implementação da *Adobe*. Revela-se também que a recomendação do MPEG-DASH não especifica um tamanho ideal de duração de segmento, ao contrário da recomendação do HbbTV DASH em que os limiares de 1s a 15s são apontados com aceitáveis. Além disso, em (SEUFERT et al., 2013), argumenta-se que, quando o conteúdo versionado é de uma transmissão de vídeo ao vivo, a definição da duração dos segmentos deve considerar a redução do atraso produzido pelo processo de versionamento. Esse atraso não é impactante quando as transmissões de vídeos ocorrem sob demanda, nesse caso a duração dos segmentos pode ser mais longa e está associada ao tamanho do *buffer* no cliente.

Nesta dissertação, definiu-se que a duração do segmento tem um valor intermediário aos limites encontrados na literatura que é de 5s, um valor também adequado para as transmissões sob demanda.

4.2 Coleta das Medidas de Avaliação

O cenário de criado para a experimentação das diversas estratégias e condições de rede demandou o desenvolvimento de um serviço que permitiu aos clientes DASH, acessando um conteúdo e guiados por uma estratégia de acesso, configurar cenários de rede e registrar as medidas de desempenho de uma estratégia de acesso, durante uma sessão de vídeo. Na Figura 4.2, ilustra-se o funcionamento do serviço Web com a ativação do cenário de rede, e a comunicação seguida pelo registro das métricas na base de dados.

O serviço desenvolvido é acessado por duas mensagens. A primeira mensagem é do tipo GET e transporta as instruções para a configuração do cenário de rede que será utilizado nos experimentos. A segunda Mensagem é do tipo POST e transporta informações de estado de variáveis do sistema. A dinâmica de acesso ao serviço Web consiste no envio, no início da sessão, da mensagem do tipo GET para configuração do cenário de rede, e no fim da sessão, de mensagens do tipo POST com as observações feitas para as medidas de desempenho observadas ao longo da sessão de acesso.

As informações referentes aos segmentos, ao *buffer* e a execução do teste são então registradas em uma base MySQL. As informações referentes aos segmentos são: data/hora (*time*), data/hora da requisição (*start_time*), data/hora do início do *down-*

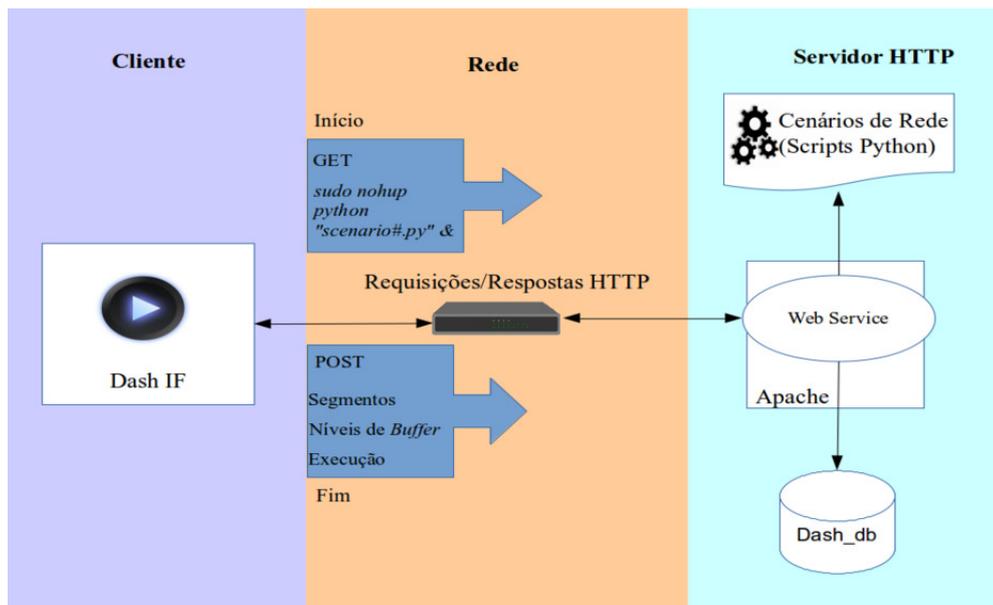


Figura 4.2: Funcionamento do Serviço Web.

$load$ ($response_time$), e data/hora de finalização do $download$ ($finish_time$), tamanho do segmento em bits (seg_size), duração do segmento em segundos ($seg_duration$), número da representação ($quality$), taxa de bits em kbps ($bitrate$), vazão em kbps ($seg_throughput$). Todos as data e horas são extraídas do relógio do servidor, indicando o tempo corrente que será confrontado com o tempo de início da sessão de acesso.

As informações referentes ao $buffer$ são: data/hora ($time$) e nível de ocupação do $buffer$ em segundos ($level$). Novamente, a informação temporal considera o tempo registrado no servidor e o tempo de início da sessão de acesso.

As informações referentes ao experimento realizado são estas: identificação do teste (id), data/hora inicial da sessão de vídeo ($execution_inicial_time$), data/hora final da sessão de vídeo ($execution_final_time$), tipo de fluxo ($stream$) - áudio ou vídeo, algoritmo de adaptação de taxa que está sendo testado ($algorithm$), endereço do MPD (url_mpd) e número do cenário utilizado ($scenário$).

O desenvolvimento desse serviço permitiu, entre outras coisas, a realização de teste com diversos clientes compartilhando a rede uma vez que cada cliente pôde coletar as medidas e informações referentes a sua sessão e enviar ao final ao servidor. Todos os estudos apresentados nos capítulos seguintes são oriundos dos dados coletados nessa base.

Ao todo foram coletados 689.447 registros de 182 sessões executadas, perfazendo 183.445.500 bytes de dados coletados.

4.3 Considerações Finais do Capítulo 4

Neste capítulo caracterizou-se os conjuntos de vídeos utilizados nesta dissertação. A variável estudada em cada grupo é o que os caracteriza. No grupo A a variável é FPS, no grupo B a variável é a granularidade, no grupo C e D são as categorias e a definição de uma taxa de qualidade inferior, que será usada na estratégia proposta no Capítulo 6. Além disso, na primeira parte do capítulo, o processo de versionamento e as ferramentas de software usadas foram mencionadas bem como a forma como tais ferramentas foram usadas também foi discutida.

Finalmente, a forma como os dados gerados pelas aplicações, durante as experimentações, foi capturado e a coordenação do também foi discutido neste capítulo. Apresentou-se o serviço web que cuida da sincronização coletados pelas aplicações clientes na aplicação cliente, o *player*, feita a partir de um serviço Web. Os dados coletados foram utilizados nas avaliações realizadas sobre o desempenho das estratégias.

Capítulo 5

Avaliação das Estratégias de Adaptação em Diferentes Cenários

Neste capítulo apresentam-se os resultados de uma análise experimental exploratória que teve como objetivo identificar o comportamento de classes de estratégias adaptativas em diferentes cenários de rede, e em sessões de vídeo com características de versionamento distintas. Verificou-se empiricamente a reação das estratégias em cenários cuja variação da largura de banda ocorre de forma programada, e o impacto que o versionamento dos vídeos produz no desempenho dessas estratégias. As variáveis do versionamento que foram consideradas nesse estudo são estas: frequência de frames por segundo (FPS) e a granularidade das taxas de bits que compõem o conjunto de representações do vídeo.

Como mostrado no Capítulo 3, os algoritmos adaptativos podem ser classificados de acordo com suas dinâmicas de acesso as representações, i.e. agressiva, conservadora e moderada. Além disso, podem ser classificados quanto aos parâmetros nos quais é baseado, como níveis de *buffer* e largura de banda. Na primeira parte desse estudo foram implementadas estratégias representando cada classe e a variável observada foi o FPS, além dos cenários de rede com variações programadas para a largura de banda. Para os três primeiros algoritmos implementados (Agressivo, Conservador e Moderado) considerou-se a largura de banda, e para o último, chamado Adaptech, considerou-se os níveis de ocupação do *buffer* em conjunto com as condições do canal, este algoritmo é classificado como um algoritmo moderado também, diferenciando-se dos outros nos parâmetros considerados e na forma de estimar a largura de banda (detalhado no capítulo 6)

Na segunda parte deste estudo, utilizou-se apenas o algoritmo Adaptech. As taxas de bits de cada representação são definidas considerando granularidades diferentes, quanto

maior for esse valor mais esparsas são as taxas de bits utilizadas no conjunto de representação. Uma granularidade baixa garante um espaçamento menor entre as taxas de bits que compõem a representação. Nesta parte do estudo observa-se a reação do algoritmo em cenários e granularidades diferentes.

A estrutura deste capítulo organiza-se da seguinte forma: na Seção 5.1 apresenta-se o ambiente utilizado para os experimentos e os dispositivos utilizados. Na Seção 5.2 caracterizam-se os cenários de rede utilizados. Na Seção 5.3 apresentam-se os resultados numéricos dos experimentos realizados. E por fim, na Seção 5.4 descreve-se as considerações finais deste capítulo.

5.1 Ambiente de Experimentação

Na Figura 5.1, apresenta-se o ambiente de experimentação construído para a condução dos estudos. O ambiente é composto por um cliente DASH, os algoritmos de adaptação que neste caso definem a estratégia de adaptação do fluxo, os vídeos codificados e os scripts que modelam os cenários de rede.

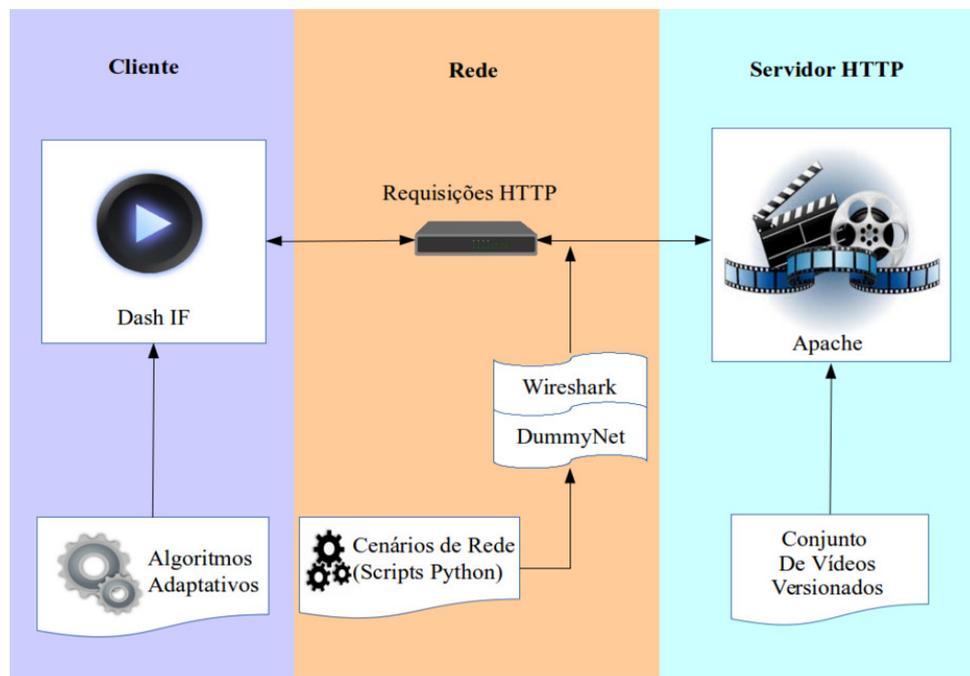


Figura 5.1: Ambiente de Experimentação.

O cliente de referência do DASH IF, disponível em (DASH..., 2013), é responsável pela reprodução dos vídeos e pela requisição dos segmentos com diferentes qualidades. O servidor HTTP é responsável pelo armazenamento e distribuição dos vídeos. A rede que conecta cliente e servidor tem a sua capacidade de transferência modelada pelo

DummyNet (RIZZO, 1997), e todo o tráfego que flui pela rede foi capturado usando o Wireshark (OREBAUGH et al., 2006). Os processos de criação do cenário de rede e captura do tráfego foram sincronizados por um script python que é executado antes que qualquer requisição de conteúdo seja feita. Os vídeos versionados são codificados com a ferramenta FFmpeg e os MPDs são gerados pelo MP4Box, o processo de versionamento e as ferramentas utilizadas nesse processo são descritas no Capítulo 4.

As especificações das máquinas utilizadas nos experimentos apresentam-se na Tabela 5.1. O servidor HTTP localiza-se na mesma máquina onde estão o WireShark e o DummyNet e na máquina cliente localiza-se o *player*. O codificador FFMpeg e o empacotador MP4Box localizam-se em uma máquina separada para esse fim, devido a alta demanda por processamento que requer o processo de versionamento.

Tabela 5.1: Especificação dos Dispositivos Utilizados nos Experimentos.

Especificações	Cliente	Servidor	Versionamento
Nome	Dell Optiplex 9020	Acer Veriton X275	Máq. Virtual
CPU	Intel(R) Core(TM) i7	Pentium(R) Dual Core	Intel(R) Core(TM) i3
Memória	RAM: 8GB HD: 500GB	RAM: 6GB HD: 320GB	RAM: 6GB HD: 200 GB
S.O.	Ubuntu 14.04 64-bit	Ubuntu 10.04 64-bit	Ubuntu 12.04 64-bit
Interface Gráfica	Gallium 0,4 AMD CAICOS	-	-

5.2 Caracterização dos Cenários Rede

Os cenários de rede utilizados nos experimentos avaliam as dinâmicas dos algoritmos em face a possíveis variações das condições do canal que conecta cliente ao servidor. Essas condições do canal, que são definidas pelas variações da largura de banda ao longo da sessão de acesso, permitem avaliar o comportamento dos algoritmos de adaptação diante de diferentes cenários de rede. Utilizando-se o DummyNet, essas condições de rede foram programadas variando-se o tempo de duração e a frequência com que tais variações ocorrem.

Para a definição da capacidade nominal dos canais de acesso que atende o cliente, considerou-se a evolução das taxas de transferência das redes de acesso fixas (modem digital, via linha telefônica (xDSL), modem via cabo, conexão via rádio e conexão via

satélite) oferecida aos brasileiros nos anos de 2011 à 2014. A Figura 5.2 mostra que essas taxas de transferência estão dispostas em seis grupos que são estes: até 256 kbps (grupo 1), de 256 kbps à 1Mbps (grupo 2), de 1 Mbps à 2 Mbps (grupo 3), de 2 Mbps à 4 Mbps (grupo 4), de 4 Mbps à 8 Mbps (grupo 5) e acima de 8 Mbps (grupo 6), (CETIC... , 2015). Verifica-se uma diminuição na utilização de redes com baixas taxas de transferência e um aumento na utilização das redes com maiores taxas de transferência, grupos 5 e 6.

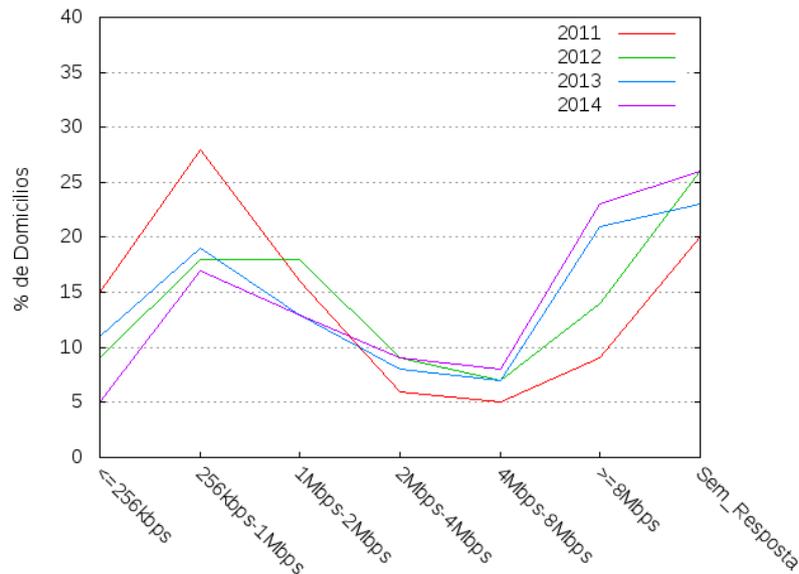


Figura 5.2: Ambiente de Experimentação.

Além disso a Agência Nacional de Telecomunicações, Anatel, em (ANATEL, 2015), regulamentou os serviços ofertado pelos provedores de acesso a Internet, estabelecendo SLA - Service Level Agreement, universais de que no mínimo 40% da velocidade contratada deve ser garantida em qualquer tempo. Considerando esse SLA e a disponibilização de redes com maior capacidade de transmissão, verifica-se a criação de um cenário de conectividade no país que atende os requisitos mínimos das aplicações de vídeo que demandam maiores taxas de transferência. De fato, para viabilizar uma aplicação de vídeo em alta definição são necessárias taxas de transmissão de 4 Mbps (AKAMAI, 2015).

Considerando o exposto anteriormente, nos estudos que seguem considerou-se cenários de rede em que as taxas de transmissão variam entre 1600 kbps à 4000 kbps, onde o primeiro valor corresponde à 40% de 4 Mbps. Na Figura 5.3 ilustram-se os dois cenários estabelecidos que são assim nomeado: variações longas e variações curtas. O cenário de variações longas de capacidade do canal caracteriza-se pela alternância da capacidade do canal entre 1600 kbps e 4000kbps, a cada 90s. O cenário de variações curtas, a capacidade do canal é aumentada de 1600 kbps para 4000 kbps, a cada 95 segundos, permanecendo

nessa taxa por um período de 5 a 35 segundos. Todos os experimentos consideraram uma sessão de transmissão de aproximadamente 800 s.

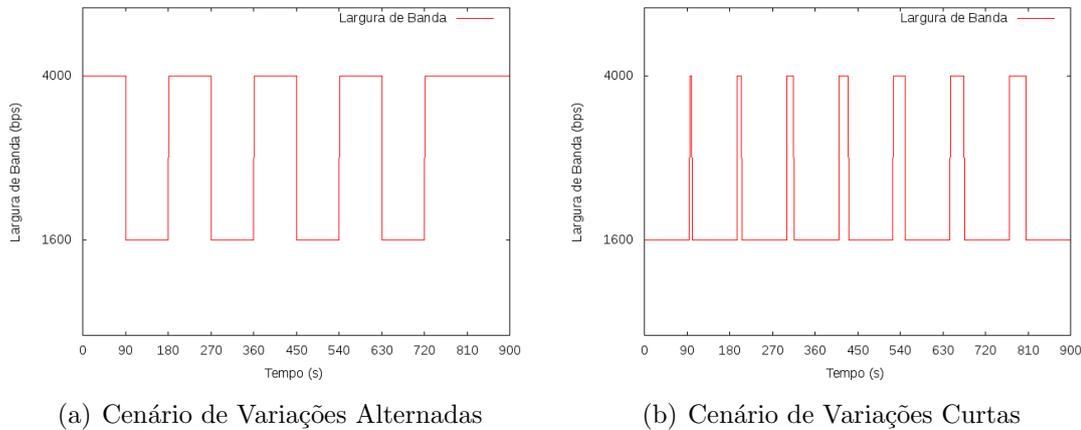


Figura 5.3: Cenários de Rede Utilizados

Na segunda fase desse estudo, os experimentos realizados consideraram o comportamento de um algoritmo baseado tanto nos níveis de ocupação do *buffer* quanto na largura de banda. Este algoritmo utiliza média ponderada exponencial, descrita em (AKHSHABI et al., 2012) para estimar a vazão da rede. Além da média exponencial foi utilizado um parâmetro para a suavização δ de 0.8, correspondente à margem de segurança de 80% do valor total da vazão estimada. Os vídeos distribuídos nos experimentos foram versionados com taxas de bits que apresentam uma granularidade diferente entre elas.

5.3 Resultados Numéricos

Nesta seção apresentam-se os resultados numéricos dos estudos conduzidos para avaliar a interferência, nas estratégias de adaptação, proporcionada pelos diversos fatores que caracterizam a distribuição de conteúdo usando DASH. Foram consideradas quatro estratégias de adaptação da taxa de bits, a qualidade dos fluxos, medido pelo taxa de quadro por segundo (FPS), o espaçamento entre taxas de bits geradas para os fluxos. A Tabela 5.2 resume cenários e fatores considerados nos experimentos. O canal de acesso é usado exclusivamente por um cliente, isolando-se portanto interferências entre clientes, e a capacidade do canal varia ao longo do tempo de duas formas: variações longas e curtas.

Nos experimentos da primeira fase da análise foram utilizados o grupo de versionamento A, detalhado no Capítulo 4 que utiliza FPS de 7 e 30 e granularidade de 160 kbps. Na segunda fase, os experimentos realizados utilizaram o grupo de versionamento B, granularidade de 80 e 400 kbps. Ressalta-se que fluxos de vídeo que usam FPS baixo

Tabela 5.2: Experimentos Realizados no Primeiro Estudo.

Fases	Algoritmo	FPS	Granularidade	Cenário
Fase 1	Agressivo Conservador Moderado Adapttech (Vazão+ <i>buffer</i>)	7 e 30	160	1 e 2
Fase 2	Adapttech (Vazão+ <i>buffer</i>)	30	80 400	1 e 2

têm a sensação de continuidade afetada pois as mudanças entre um quadro e outro são perceptíveis, entretanto a demanda por recursos de transmissão nesses fluxos são menores.

5.3.1 Cenário 1: Variações Longas de Largura de Banda

Na Figura 5.4, apresentam-se os resultados quando uma estratégia agressiva foi utilizada para acessar os vídeos. Considerou-se vídeos com baixo e alto FPS, 7 e 30, em cenários de rede em que ocorrem variações longas de largura de banda.

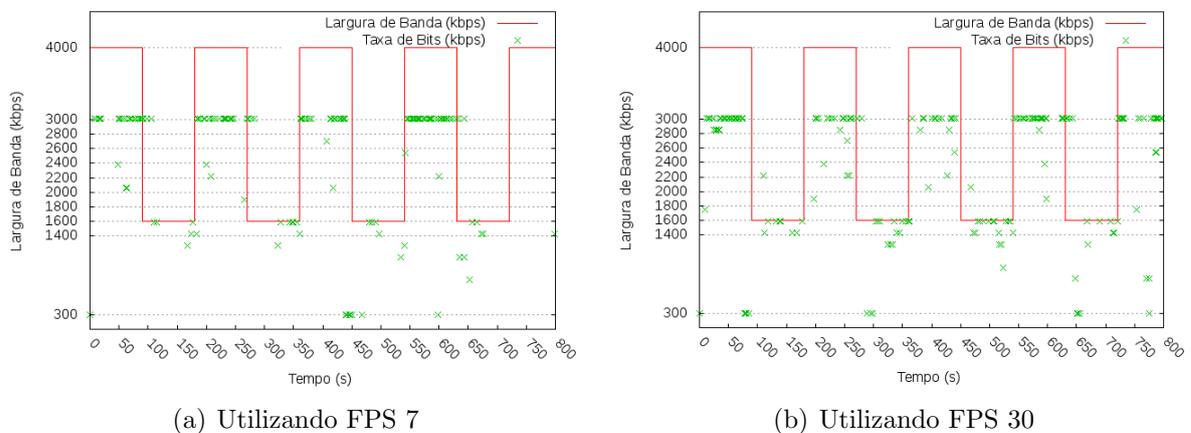


Figura 5.4: A Estratégia Agressiva e o Acesso às Taxas de Bits em Cénario de rede com Variações Longas das Taxas de Transmissão.

Verifica-se um grande número de acessos as taxas máxima do MPD, que é de 3020 kbps, gerando ao final da sessão de acesso uma taxa de bits média de 3008 kbps para o cenário com um FPS de 7, Figura 5.4(a), e de 2794 kbps, para o FPS de 30, Figura 5.4(b). Esse comportamento da estratégia é devido a tomada de decisão que desconsidera margem de segurança, permitindo o ajuste da taxa às condições da rede poucos segundos após a mudança. Nos experimentos, identifica-se o acompanhamento das mudanças de taxa com certo atraso e com certa imprecisão quanto a amplitude. Neste último caso, a característica

agressiva da estratégia adia a mudança para taxas mais baixas permanecendo muito mais tempo acessando taxas mais altas.

Esse comportamento da estratégia têm reflexos na ocupação do *buffer* como mostra a Figura 5.5, que registra a evolução da ocupação do buffer durante a sessão de vídeo quando a estratégia agressiva foi empregada. Verifica-se que a estratégia agressiva não consegue estabilizar a ocupação do *buffer*, apresentando um risco frequente de esvaziamento. A eminência do esvaziamento é frequente em ambos os cenários, tendo ocorrido cinco eventos de esvaziamento do *buffer*, quando o FPS de 7 foi utilizado, e sete eventos similares quando o FPS de 30 foi utilizado.

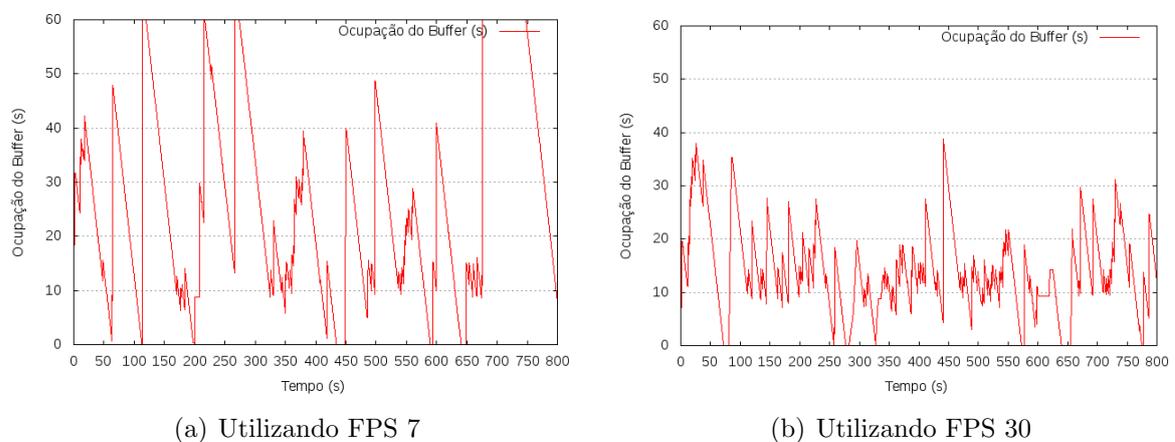


Figura 5.5: A Estratégia Agressiva e o Controle do Níveis de *Buffer* em Cenário de rede Com Variações Longas das Taxas de Transmissão.

Esse resultado sugere que o comportamento agressivo da estratégia não diferencia, de forma destacada, fluxos com baixa demanda por banda daqueles com alta demanda. Em alguns momentos a utilização de um FPS baixo, neste cenário, levou o *buffer* a atingir uma ocupação alta, em ambos os casos a variabilidade dos níveis é intensa. Uma vez que a estratégia é orientada ao estado da largura de banda, a falta de limite estrito para a ocupação do *buffer* incentiva o comportamento agressivo da estratégia produzindo a flutuação positiva extrema verificada na Figura 5.5. Por outro lado, ao postergar ao máximo as mudanças da taxa, a estratégia precisa lidar com cenários críticos de sobrecarga da rede, que levam, em um grande número de esvaziamentos.

Na Figura 5.6 apresentam-se os resultados quando a estratégia Conservadora é utilizada no cenário de rede com variações longas de banda e FPS baixo e alto, 7 e 30, respectivamente. A estratégia alcança uma taxa de bits média de 1738 kbps quando fluxos com FPS 7 são distribuídos, e de 1764 kbps com FPS de 30. Essas taxas são destacadamente menores que as taxas de bits médias da estratégia agressiva. Para fluxo

com FPS baixo a taxa média de bits verificada neste cenário é 42,2% menor que aquela verificada quando a estratégia agressiva foi utilizada. Quando fluxos com FPS alto são utilizados, essa redução chega a e 36,8%.

A estratégia Conservadora, usa uma margem de segurança alta no cálculo da utilização da banda, neste caso de 0.7, o que torna o acesso as taxas de bits mais altas um evento menos frequente. Quando o versionamento do vídeo oferece uma quantidade significativa de opções de acesso e o padrão de variação das condições do canal não permite a sua caracterização, em um curto espaço de tempo, a estratégia conservadora não consegue acessar e permanecer por longos períodos nessas taxas.

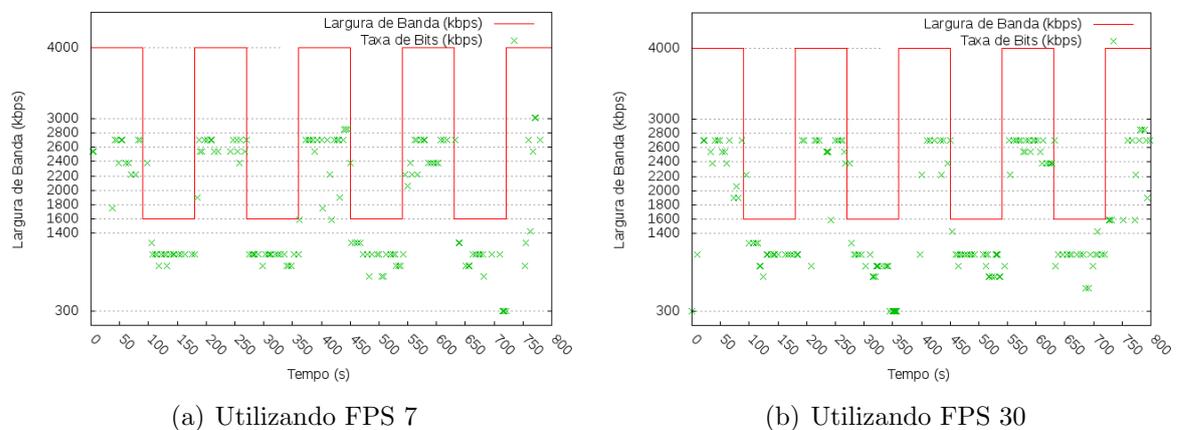


Figura 5.6: A Estratégia Conservadora e o Acesso às Taxas de Bits em Cénario de rede com Variações Longas das Taxas de Transmissão.

Na Figura 5.7 apresenta-se a evolução do nível de ocupação do *buffer* quando a estratégia conservadora foi empregada. Ao longo da sessão se verifica o nível do *buffer* variando em torno de 10 segundos. Atribui-se esse comportamento a tomada de decisão feita com uma grande margem de segurança. Quando a demanda por banda é baixa, no caso do FPS ser igual a 7, são poucos os eventos de esvaziamento, apenas uma vez, e a manutenção do nível do *buffer* no patamar citado é uma consequência direta desse comportamento da estratégia. Para um FPS alto, o número de eventos de esvaziamento foi de 3 vezes. Em ambos os cenários, ocorrem momentos de acúmulo excessivo no *buffer*, precedido de um evento de esvaziamento. Este é um comportamento comum às três estratégias que utilizam a largura de banda como parâmetro principal. Quando um esvaziamento acontece, o algoritmo escolhe a primeira representação disponível, e se esse esvaziamento é de certa forma prolongado pode ocasionar o acúmulo de segmentos de menor qualidade.

Na Figura 5.8 apresentam-se os resultados dos estudos realizados com uma estratégia de acesso ao conteúdo, que é considerada Moderada. Novamente, os vídeos foram ver-

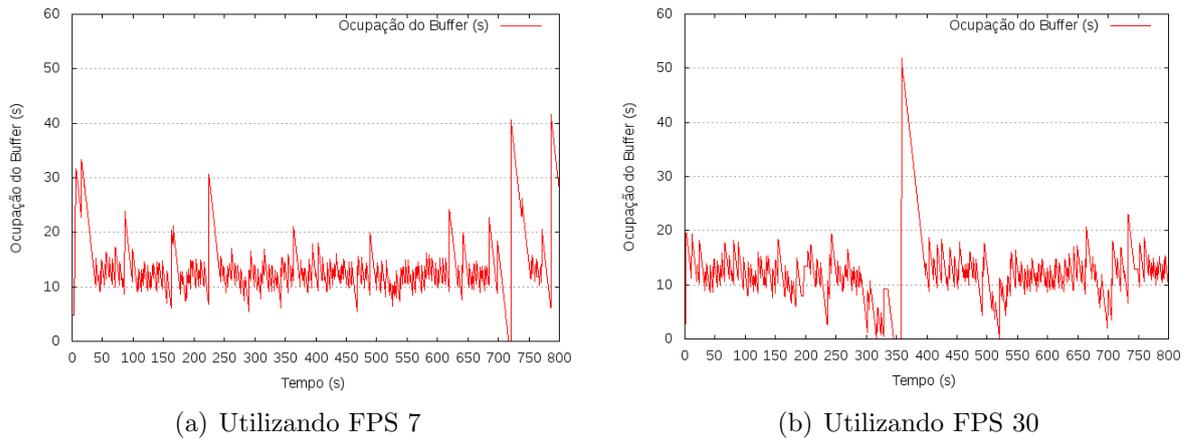


Figura 5.7: A Estratégia Conservador e o Controle do Níveis de *Buffer* em Cenário de rede Com Variações Longas das Taxas de Transmissão.

sionados com um FPS baixo, 7 quadros por segundo, e com FPS alto, 30 quadros por segundos.

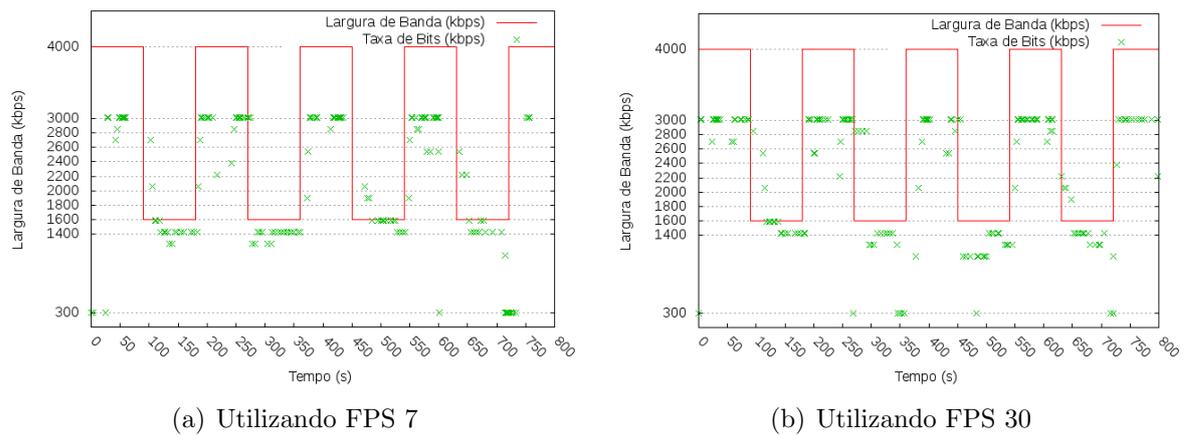


Figura 5.8: A Estratégia Moderada e o Acesso às Taxas de Bits em Cénario de rede com Variações Longas das Taxas de Transmissão.

Verifica-se que a estratégia moderada consegue aproveitar a largura de banda, com acesso frequente a taxa máxima do MPD, 3020 kbps, gerando ao final da sessão uma taxa de bits média de 2351 kbps para o cenário com um FPS baixo, Figura 5.8(a), e de 2381 kbps, para o FPS alto, Figura 5.8(b). Observa-se a ocorrência de um número reduzido de eventos de oscilação das taxas em torno de um valor, em comparação a estratégia Agressiva. Reforçando assim, que as decisões tomadas para acesso as taxas é feita com uma margem de segurança de 0.95. Esta estratégia considera 95% da média da vazão dos três últimos segmentos.

Na Figura 5.9 mostra-se a evolução da ocupação do *buffer*, durante a sessão de vídeo, quando uma estratégia moderada foi utilizada. Verifica-se um número reduzido de even-

tos de esgotamento do *buffer*, com três ocorrências quando um FPS baixo é utilizado, Figura 5.9(a), quando um FPS alto foi utilizado ocorreram cinco ocorrências, Figura 5.9(a). Como o próprio nome sugere, a estratégia Moderada consegue equilibrar melhor o número de esvaziamentos e a taxa de bits, em comparação com as estratégias anteriores.

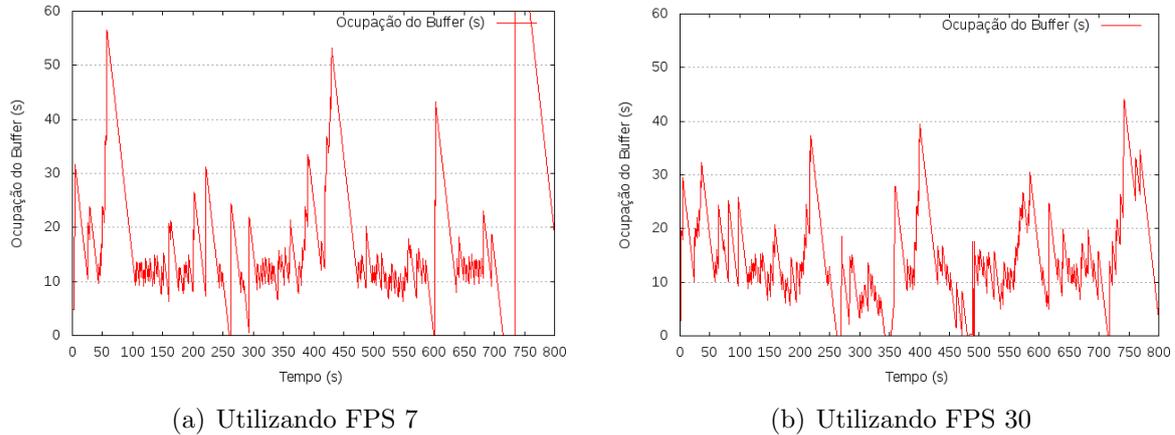


Figura 5.9: A Estratégia Moderada e o Controle do Níveis de *Buffer* em Cenário de rede Com Variações Longas das Taxas de Transmissão.

Finalmente, uma estratégia moderada mas que considera a ocupação do *buffer* na sua tomada de decisão, pela mudança ou não da taxa de bits, foi avaliada neste cenário de rede. Essa estratégia foi chamada de Adaptech na sua proposta original (AKHSHABI et al., 2012). Na Figura 5.10, apresenta-se o padrão de acesso as taxas de bits ao longo da sessão de vídeo, em um cenário de rede com as variações longas das taxas de transmissão do canal. Vídeos com FPS baixo, 7 quadros, e alto, 30 quadros, foram utilizados.

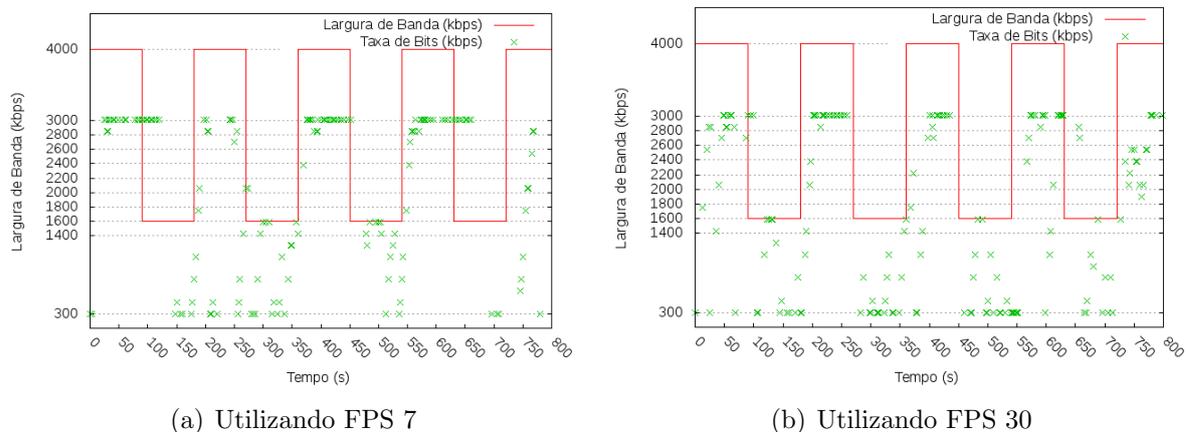


Figura 5.10: A Estratégia Adaptech e o Acesso às Taxas de Bits em Cénario de rede com Variações Longas das Taxas de Transmissão.

O Adaptech baseia-se, sobretudo, nos níveis de *buffer* para tomar decisões quanto a qualidade dos segmentos acessados nas próximas requisições. Quando o vídeo apresenta

baixa demanda de recursos de transmissão, i.e. FPS baixo, verifica-se um acesso gradual as taxas, em que qualidades intermediárias são requisitadas quando a estratégia identifica certa abundância de capacidade de transmissão no canal de acesso. No cenário com FPS alto a estratégia apresenta um comportamento similar embora existe uma concentração maior de acessos a segmentos com qualidade mínima. Esse comportamento é refletido nas taxas de bits média identificadas nas sessões que foram de 1876 kbps e 1948 kbps, com o FPS de 7 e 30 quadros foi utilizado, respectivamente. Essas taxas são apenas 7,3% e 9,4% maiores que as taxas de bits médias alcançadas pela estratégia conservadora, e 25,3% e 22,2% menores que as alcançadas pela estratégia Moderada baseada apenas na largura de banda.

Um aspecto destacado nesses experimentos foi o baixo número de eventos de esvaziamento do *buffer*. Na Figura 5.11, apresenta-se o desempenho do Adaptech com relação a manutenção dos níveis de *buffer*.

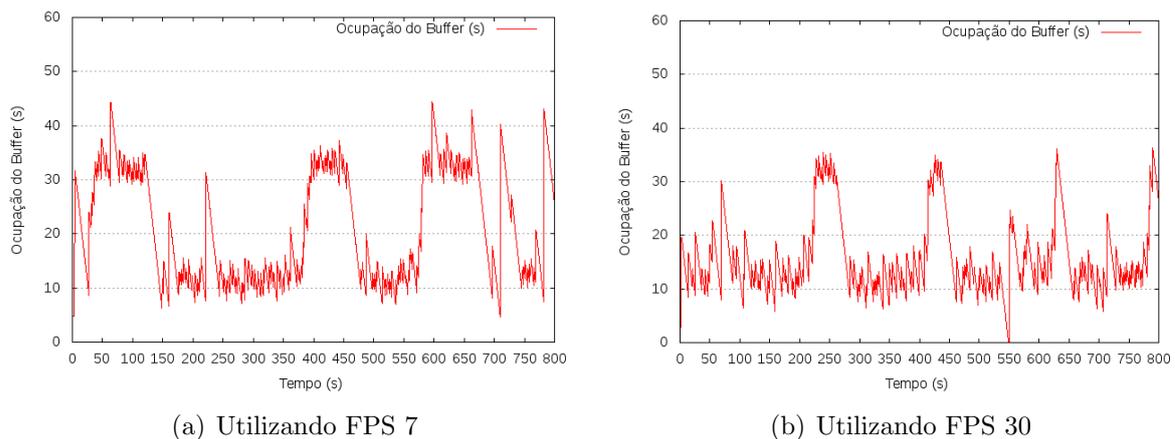


Figura 5.11: A Estratégia Moderada e o Controle do Níveis de Buffer em Cenário de rede Com Variações Longas das Taxas de Transmissão.

Em comparação com as outras três abordagens avaliadas, o Adaptech apresenta um número menor de paradas da sessão, devido o esvaziamento do *buffer*. Quando o Adaptech controla o acesso aos segmentos do vídeo, em nenhum momento ocorreu eventos dessa natureza quando foi utilizado FPS baixo, e com FPS alto ocorreu apenas uma vez, enquanto que, a abordagem conservadora, a segunda que apresentou menor número, registrou de 1 à 3 ocorrências (Figura 5.7). O comportamento do Adaptech é devido, em parte, pela tomada de decisão feita considerando o estado do *buffer*. A tomada de decisão de forma agressiva quando é eminente o esvaziamento do *buffer* pode implicar, em uma escala de tempo curta, o esvaziamento do *buffer*. No outro extremo, um comportamento agressivo mediante a abundância de capacidade de transferência, em um dado momento, pode levar a rede a um estresse, gerando em um escala mais longa o congestionamento

da rede. Nesse caso, o limite superior para o armazenamento de vídeo no *buffer* evita a desnecessária sobrecarga da rede. Esse limite foi definido em 40 s.

5.3.2 Cenário 2: Variações Curtas de Largura de Banda

Nessa seção apresentam-se os resultados dos experimentos realizados para verificar como as diferentes estratégias reagem quando a rede apresenta variações em sua capacidade de transferência, e essas variações duram um período muito curto. Na Figura 5.12, apresentam-se os resultados quando uma estratégia Agressiva é utilizada no acesso a vídeos com FPS baixo e alto, no cenário de rede descrito anteriormente.

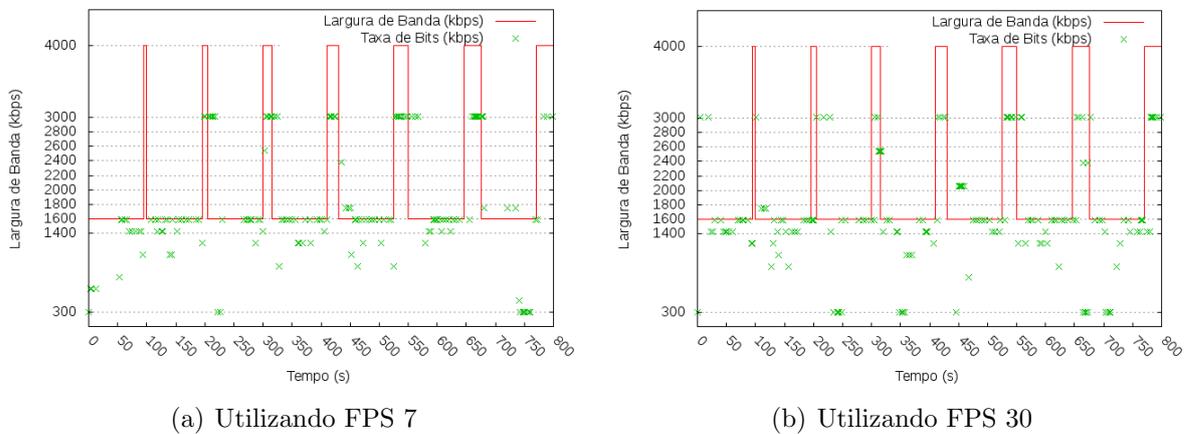


Figura 5.12: A Estratégia Agressivo e o Acesso às Taxas de Bits em Cénario de rede com Variações Curtas das Taxas de Transmissão.

Observa-se que o comportamento agressivo da estratégia, ao perceber a alteração na capacidade da rede, que passa a operar a 4 Mbps, induz a mudança da taxa rapidamente. Essa decisão é revista logo em seguida, tendo como resultado o retorno as taxas mais baixas. Nesse cenário, geram-se inúmeras trocas desnecessárias de qualidade, que gera desconforto visual para os usuários, devido às flutuações desnecessárias entre as taxas (TIAN; LIU, 2012). A taxa de bits média alcançada quando um FPS baixo, de 7 quadros foi utilizado, foi de 2059 kbps, Figura 5.12(a), e de 1780 kbps quando um FPS alto foi utilizado (Figura 5.12(b))

A sensibilidade da estratégia as variações da largura de banda tem como consequência uma oscilação maior dos níveis de *buffer*. Na Figura 5.13, mostra-se a ocupação do *buffer* durante a sessão de acesso. Ao requisitar segmentos com alta qualidade, em virtude de seu comportamento agressivo, a estratégia congestionna a rede causando o esvaziamento do *buffer*, neste cenário registrou-se 3 e 8 eventos. Ao postergar o retorno as taxas de bits menores, e a ausência de suporte para as taxas maiores, gera congestionamento na

rede, e o conseqüente consumo do conteúdo armazenado no *buffer*. Em resumo, o acesso a conteúdo versionando com altas taxas de bits nem sempre é traduzido em uma melhor experiência para o usuário. Pois neste caso, impactou negativamente na continuidade da reprodução.

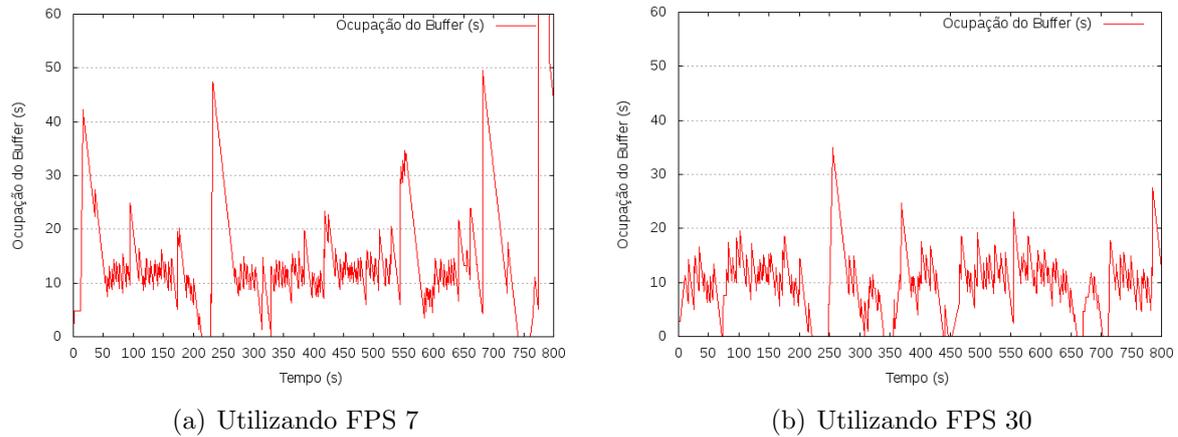


Figura 5.13: A Estratégia Agressiva e o Controle do Níveis de *Buffer* em Cenário de rede Com Variações Curtas das Taxas de Transmissão.

Na Figura 5.14, apresentam-se os resultados da avaliação realizada no cenário de rede com variações curta da capacidade da rede, quando uma estratégia Conservadora controla o acesso aos vídeos com FPS baixo e alto. A observação geral é que a estratégia ignora as mudanças de capacidade de transferência do canal a maioria das vezes, principalmente aquelas com duração menor, e mantém o acesso as taxas acessíveis dentro da margem de segurança definida pela estratégia. Essa abordagem evita trocas desnecessárias de qualidade. A taxa de bits média registrada ao longo da sessão foi de 1233 kbps, com vídeo com FPS Baixo, e de 1269 kbps com um vídeo com FPS alto.

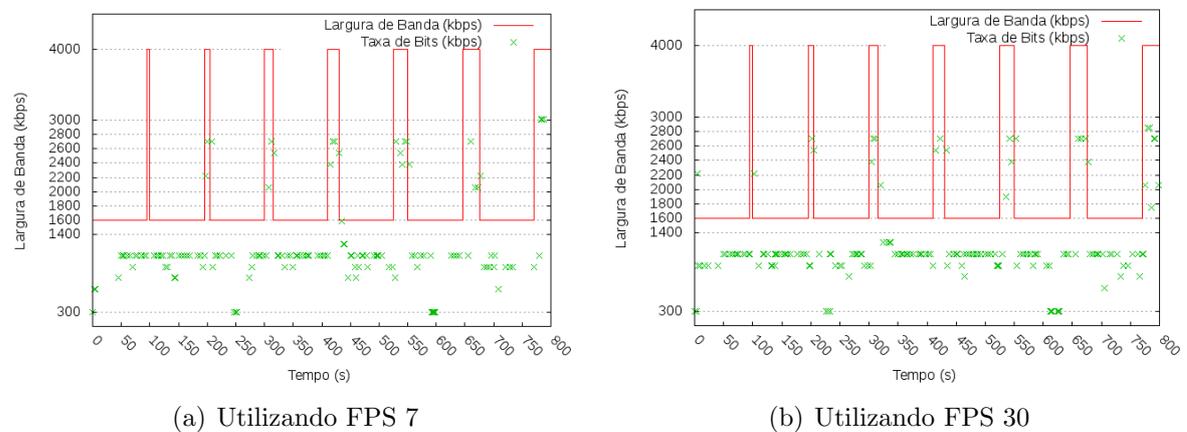


Figura 5.14: A Estratégia Conservador e o Acesso às Taxas de Bits em Cénario de rede com Variações Curtas das Taxas de Transmissão.

Na Figura 5.15 mostra-se a evolução da ocupação do *buffer* quando a estratégia conservadora é utilizada no cenário de rede descrito anteriormente. Na Figura 5.15(a) conclui-se que a ocupação do *buffer*, na maior parte do tempo, não apresenta grande variação. A ausência de limites para a ocupação do *buffer*, aliado ao acesso as menores taxas de bits, que permitem uma vazão maior da rede, provocam o rápido acúmulo de mídia no *buffer*, neste caso o esvaziamento ocorreu apenas duas vezes. Quando um vídeo com FPS alto é distribuído ocorreram três esvaziamentos.

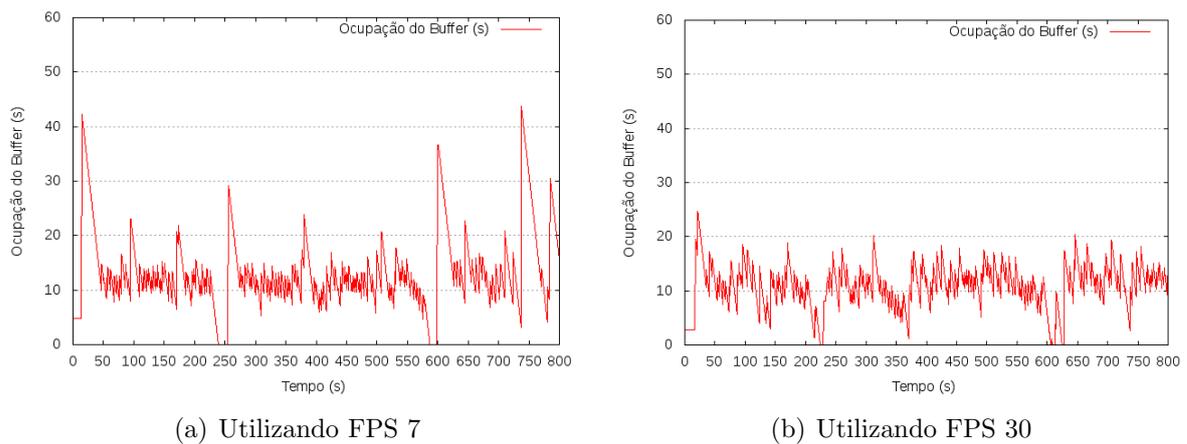


Figura 5.15: A Estratégia Conservadora e o Controle do Níveis de *Buffer* em Cenário de rede Com Variações Curtas das Taxas de Transmissão.

A estratégia Moderada também foi avaliada nesse cenário de rede e seu desempenho é apresentado na Figura 5.16. As mesmas condições de rede e fluxos de vídeo foram utilizados no experimento. A estratégia Moderada, apesar de operar com certa margem de segurança na identificação das condições do canal, também sofre com o problema das trocas desnecessárias de qualidade, embora seja menos intenso que no caso da abordagem agressiva. Observa-se que o retorno as taxas de bits mais baixas é imediato, reduzindo os efeitos gerados pela tomada de decisão induzida pela alteração momentânea das condições do canal.

Para um FPS baixo, verifica-se que a taxa de bits acessada, na maioria dos casos, está próxima da capacidade do canal. No acesso ao vídeo com FPS baixo registrou-se uma taxa de bits média de 1756 kbps, enquanto essa taxa foi de 1610 kbps, quando o vídeo apresentava um FPS alto, números intermediários, comparados as duas primeiras estratégias, no mesmo cenário.

Na Figura 5.17, apresenta-se a evolução dos níveis de *buffer* quando a estratégia moderada foi utilizada. A ocupação do *buffer* apresenta uma variabilidade alta, embora exista uma maior estabilidade se comparado com a ocupação registrada no cenário de rede com

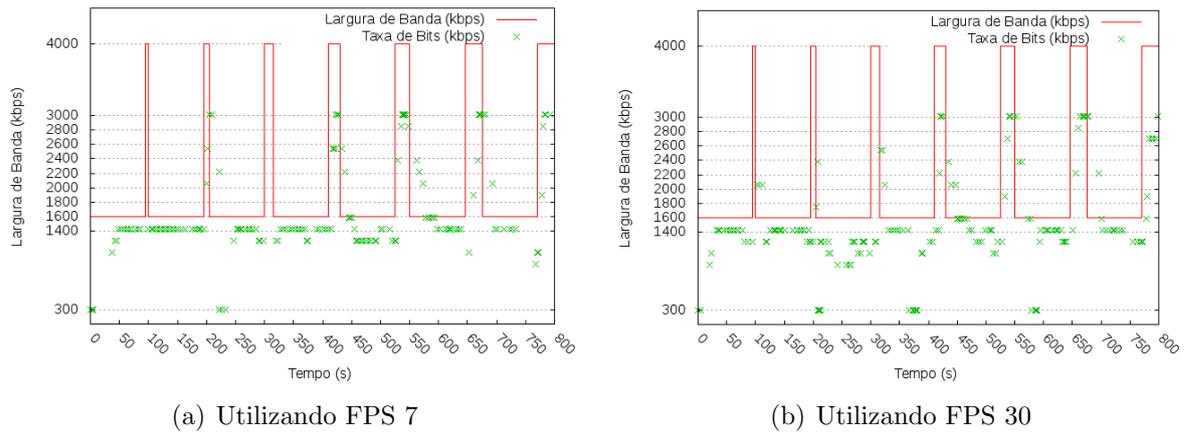


Figura 5.16: A Estratégia Moderada e o Acesso às Taxas de Bits em Cénario de rede com Variações Curtas das Taxas de Transmissão.

variações mais longas nas condições do canal. Registrou-se dois eventos de esvaziamento do *buffer*, quando um FPS baixo foi utilizado, e cinco eventos de esvaziamento quando o FPS alto foi utilizado.

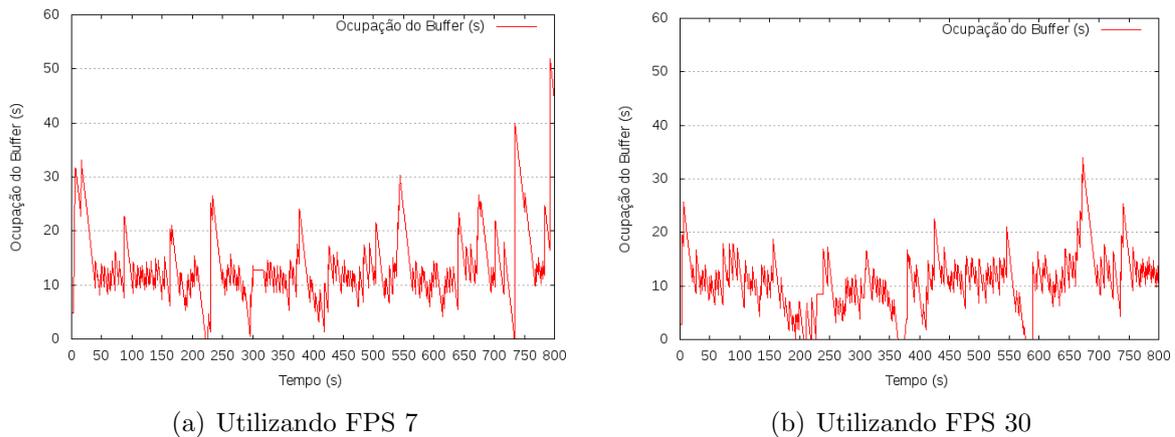


Figura 5.17: A Estratégia Moderada e o Controle dos Níveis de *Buffer* em Cenário de rede Com Variações Curtas das Taxas de Transmissão.

Finalmente, neste cenário de rede, a estratégia moderada com controle dos níveis de *buffer*, Adaptech, foi avaliada. Na Figura 5.18 apresenta-se o desempenho da estratégia quando vídeos com FPS baixo e alto são distribuídos. Os resultados evidenciam a imunidade da estratégia às variações temporárias mais curtas do canal, variações de 5 e 10 s, e a quase ausência de acessos às taxas superiores nas variações de 15 à 35. Por outro lado, a estratégia Adaptech alcançou uma taxa de bits média baixa, em relação às outras estratégias, neste cenário, nunca superior a 1099 kbps, nos diferentes fluxos, comportamento atribuído aos poucos acessos às taxas mais altas e ao controle dos níveis de ocupação do *buffer*.

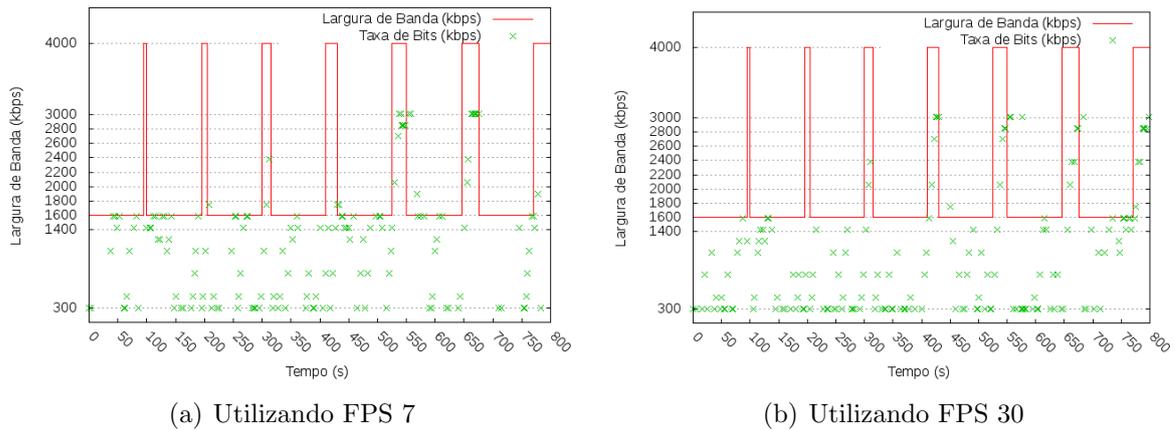


Figura 5.18: A Estratégia Adaptech e o Acesso às Taxas de Bits em Cénario de rede com Variações Curtas das Taxas de Transmissão.

Em termo de continuidade da sessão, a estratégia Adaptech (Figura 5.19) obteve os melhores resultados, uma vez que foram poucos os eventos de esvaziamento do *buffer*. Ocorreu um evento quando o vídeo com FPS baixo foi utilizado, e dois eventos quando um FPS alto foi utilizado. A estratégia usa os limites mínimo e máximo da ocupação do *buffer* para também controlar o acesso as taxas. Somado a isso tem-se a restrição da capacidade do canal, com taxa mínima de 1600 kbps, na maior parte da sessão, que é percebida pela estratégia o que reduz o número de acessos as taxas altas por mais tempo.

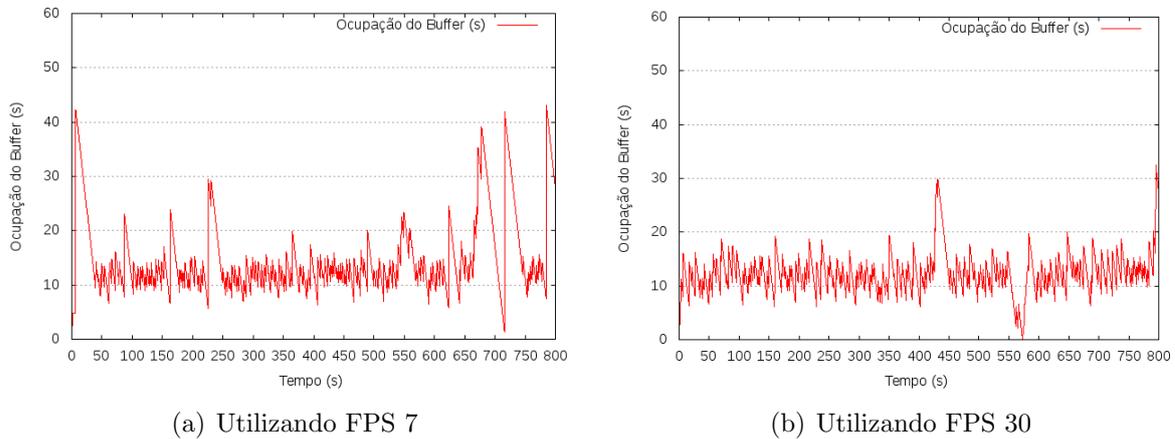


Figura 5.19: A Estratégia Moderada e o Controle do Níveis de *Buffer* em Cenário de rede Com Variações Curtas das Taxas de Transmissão.

5.3.3 O Impacto da Granularidade da Taxas de Bits na Ação da Estratégia de Adaptação

Nesta seção apresentam-se os resultados dos estudos que avaliou o impacto da granularidade da taxa de bits, usada na geração da coleção de versões, na dinâmica das

estratégias. O Estudo considerou a estratégia moderada que usa a largura de banda e o nível do *buffer* para tomadas de decisão. O uso da estratégia foi motivado pelos resultados apresentados na seção anterior em que se verificou que tal estratégia apresenta a melhor continuidade, com registros do menor número de eventos de esvaziamento do *buffer*.

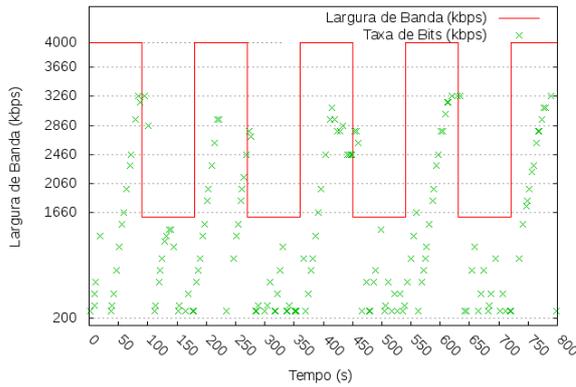
A granularidade da taxa é a diferença entre taxas de bits consecutivas presentes em um MPD, que nesse estudo foi considerada constante. A granularidade afeta diretamente a quantidade de representações disponíveis e quanto maior a granularidade, menor é a quantidade de representações no MPD.

Nos experimentos realizados foram considerados os cenários de redes com variações curtas e longas das taxas de transmissão, FPS alto de 30 quadros, granularidade de 80 kbps e 400 kbps, e o limiar máximo do *buffer* foi estabelecido em 40 s. Na Figura 5.20, apresentam-se os resultados dos experimentos realizados, em um cenário de rede com variações longas das taxas de transmissão. A granularidade baixa das taxas em conjunto com as variações longas da capacidade do canal conduzem a estratégia a um acesso gradual às taxas mais altas que é interrompido, com certo atraso, quando as condições do canal são alteradas. Por outro lado, a granularidade alta no mesmo cenário de rede conduz a estratégia a manter a maioria dos acessos nas taxas mais alta, ignorando na maior parte do tempo as variações da capacidade do canal, seguindo, sobretudo, os níveis de *buffer*, o fator mais importante para esta estratégia.

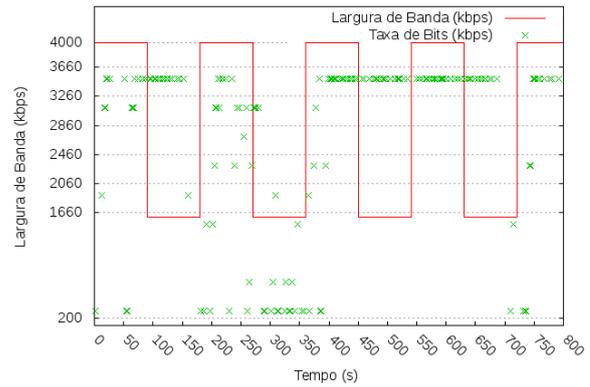
Esse comportamento é refletido na taxa média registrada ao longo da sessões. Uma granularidade baixa, de 80 kbps, gerou uma taxa de bits média chegou à 1298 kbps e não ocorreu nenhum evento de esvaziamento do *buffer*. Uma granularidade alta, de 400 kbps, a taxa de bits média foi de 2828 kbps e apenas registrou-se um evento de esvaziamento do *buffer*. A variação na ocupação do *buffer* é mais intensa quando a granularidade da taxa é alta, fruto da permanência da estratégia no acesso as taxas mais altas ignorando as mudanças nas condições do canal.

Na Figura 5.21, apresenta-se o desempenho da estratégia Adaptech quando as condições do canal se alteram de forma muito breve. Novamente, o vídeo distribuído foi disponibilizado em taxas de bits com duas granularidades, 80 kbps e 400 kbps, mas o FPS usado no versionamento foi de 30 quadros.

Quando a granularidade de 80 kbps foi utilizada, Figura 5.21(a) e 5.21(b), destacam-se: i) a insensibilidade da estratégia as mudanças nas condições do canal de acesso, e a ii) estabilidade da ocupação do *buffer*. Para a primeira situação, verifica-se que a estratégia cresce gradualmente a taxa e por conta da grande quantidade de opções disponíveis e a



(a) Granularidade de 80 kbps - Acesso às Taxas.



(b) Granularidade de 400 kbps- Acesso às Taxas.

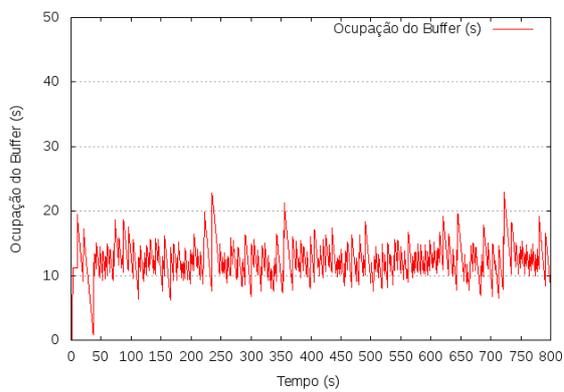
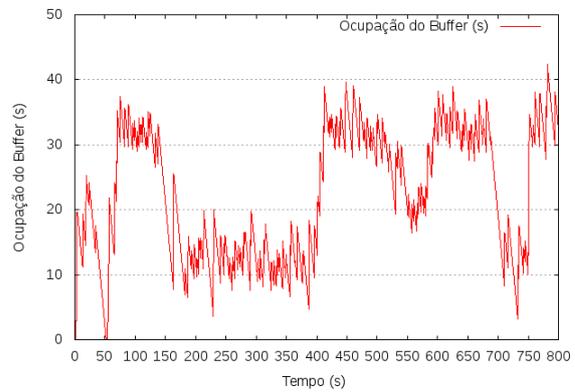
(c) Granularidade de 80 kbps - Níveis de *Buffer*.(d) Granularidade de 400 kbps - Níveis de *Buffer*.

Figura 5.20: Desempenho da Estratégia Adaptech com Granularidades de Taxas Distintas em Cenário de Rede com Variações de Capacidade de Transmissão Longas.

escala de tempo em que ocorrem as alterações nas condições de transmissão, a estratégia não é afetada pelas variações. Nesse cenário, a taxa de bits média registrada foi de 761 kbps e nenhum evento de esvaziamento do *buffer* foi registrado. Em resumo, uma granularidade de baixo valor ajuda estratégias moderada se tornarem insensíveis as mudanças momentâneas nas condições de transmissão do canal de acesso.

Quando a granularidade de 400 kbps foi utilizada, Figura 5.21(c) e 5.21(d), destacam-se: i) a tentativa de acesso as taxas de bits mais altas disponíveis, e ii) uma certa instabilidade nos níveis de ocupação do *buffer*. Embora existe um aumento gradual na taxas, próprio da estratégia, a amplitude das mudança, em alguns poucos casos, induz a estratégia ao acesso as taxas de bits mais alta. A instabilidade verificada no *buffer* é fruto desse acesso que alternar taxas mínimas, permitindo um rápido aumento da quantidade de dados armazenado no *buffer*, com acesso a taxas altas que não encontra suporte do canal de transferência, gerando o consumo dos dados armazenados. Nesse cenário, a taxa de bits média foi de 1530 kbps e ocorreram dois eventos de esvaziamentos do *buffer*, a maior quantidade registrada para a estratégia Adaptech. Em resumo, uma granularidade

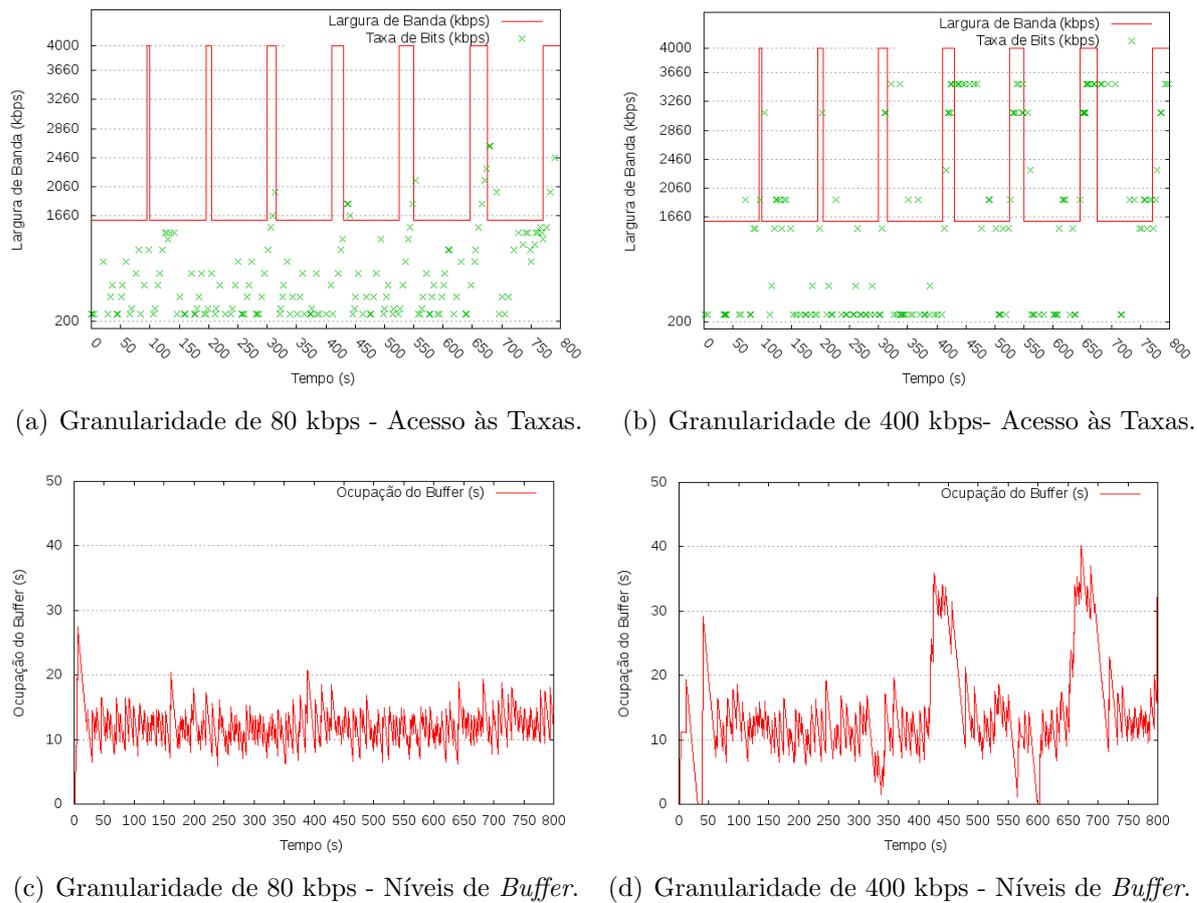


Figura 5.21: Desempenho da Estratégia Adaptech com Granularidades de Taxas Distintas em Cenário de Rede com Variações de Capacidade de Transmissão Curtas.

de alto valor induz a estratégia mais moderada a um cenário de sobrecarga da rede quando variações não sustentadas na capacidade de transmissão ocorrem com certa frequência.

5.4 Discussões Sobre o Capítulo 5

Neste capítulo caracterizou-se o ambiente de experimentação utilizado para o estudo do versionamento e para a avaliação do mecanismo proposto no próximo capítulo. A inexistência de estudos experimentais, como os conduzidos e descritos neste capítulo, justifica o esforço empregado na montagem e uso do *test-bed*. Desta forma, apresentou-se um estudo experimental que teve como objetivo verificar fatores do versionamento que impactam o desempenho de diferentes classes de estratégias, comumente usadas para acesso ao conteúdo. Os fatores considerados foram: a qualidade do fluxo, representado pelo FPS, e granularidades das taxas de bits empregadas no versionamento. Além disso, as condições das redes de acesso foram consideradas, tendo-se avaliado diferentes largura de banda e suas condições de acesso.

Na primeira parte do estudo apresentado neste capítulo verificou-se que diferentes valores de FPS podem interferir no desempenho das estratégias no que diz respeito ao acesso às taxas de bits disponíveis, e na evolução dos níveis de *buffer*, contribuindo em grande parte para a ocorrência de eventos de esvaziamento do *buffer*.

Na segunda parte do estudo apresentado neste capítulo, avaliou-se o impacto da granularidade de taxas disponíveis em um estratégia moderada que considera a ocupação do *buffer*. O impacto gerado pela granularidade ocorre tanto no acesso às taxas de bits disponíveis, quanto nos níveis do *buffer*, tendo-se concluído que granularidades baixas geram um conjunto grande de representações, fazendo com que as estratégias demandem um tempo maior de avaliação para alcançar representações cujas taxas de bits indiquem menor qualidade. No outro extremo, quando a granularidade da taxa é alta, o número de representações disponíveis no MPD é menor e, mesmo uma estratégia conservadora pode alcançar rapidamente altas taxas de bits. Por outro lado, o acesso as altas taxas de bits conduzem a rede para taxas média de bits altas, aumentando a chance de esvaziamentos do *buffer*. Ou seja, quanto maior a utilização da largura de banda disponível, maior pode ser o número eventos de esvaziamento no *buffer*.

Finalmente, verificou-se que a estratégia Adaptech, em ambos os estudos realizados, apresentou o menor número de eventos de esvaziamento *buffer*, tendo portanto garantido níveis melhores de continuidade dos fluxos de vídeo. Em resumo, a consideração dos níveis de *buffer* em uma estratégia de acesso baseado no conceitos do DASH devem ser considerados quando se trata de melhorar a experiência do usuário.

Outra observação interesssante é que quanto menor a granularidade entre as representações disponíveis maior o número de representações e mais dificultoso será para o algoritmo convergir para a taxa alvo. Principalmente quando se trata de uma rede compartilhada com outros clientes DASH.

Capítulo 6

Estratégia de Adaptação Orientada a Métricas de QoE

Neste capítulo apresenta-se uma estratégia para transmissão de vídeo orientada a métricas de QoE, empregada no contexto das aplicações de vídeo com taxa adaptativa - DASH. Na estratégia proposta, as interrupções são consideradas o fator mais relevante para a degradação da qualidade de experiência de um usuário durante a sessão de vídeo. Assim, o mecanismo de escalonamento de taxa, que incorpora a estratégia, observa a ocorrência das interrupções para definir com que taxa de bits o próximo segmento acessado deve ser reproduzido. O Mecanismo atua para equilibrar esse fator ao mesmo tempo que harmoniza-se com outros fatores, por exemplo, taxa média de bits, injustiça e instabilidade, que impactam a qualidade percebida pelo usuário.

O mecanismo proposto controla o acesso a menor taxa de bits disponível no versionamento, previamente projetada para situações de sobrecarga de rede, a partir da observação do estado do *buffer*, se identifica a iminência de uma interrupção. O uso controlado dessa taxa de fuga, a partir da iminência de uma interrupção, torna a abordagem do mecanismo proposto única no seu contexto. A estratégia de adaptação é moderada e considera o nível de ocupação do *buffer* dentro de um período definido.

Os experimentos realizados capturam o comportamento da estratégia proposta em cenários de rede caracterizados pelo compartilhamento dos recursos de transmissão quando diversos clientes DASH tentam acessar o mesmo vídeo. Usam-se diferentes categorias de vídeo e mede-se a quantidade e a duração das interrupções experimentadas por cada cliente DASH durante a sua sessão de acesso. Além disso, demonstra-se como a estratégia é capaz de equilibrar a ocorrência de interrupções com outras métricas que aferem a sua

efetividade na utilização dos recursos da rede. Por exemplo, verificam-se os impactos da implementação da estratégia na taxa média de bits distribuída a cada cliente e o nível de injustiça identificado no uso dos canais de acesso compartilhado. Ainda, avalia-se de que forma as melhorias atribuídas a estratégia impactam a estabilidade, que é própria das abordagens mais conservadoras.

Este capítulo organiza-se da seguinte forma: na Seção 6.1 apresentam-se as características e os cálculos envolvidos no desenvolvimento da estratégia proposta. Na Seção 6.2 caracterizam-se as métricas de avaliação definidas. Na Seção 6.3 apresenta-se a análise dos resultados numéricos obtidos nos experimentos realizados. E por fim, na Seção 6.4 descrevem-se as considerações finais deste capítulo.

6.1 Estratégia de Adaptação de Fluxo

A estratégia proposta tem as seguintes linhas mestras no seu projeto:

- Combate as Interrupções durante as sessões de reprodução, a partir do uso controlado de versões de baixa qualidade; e,
- Equilíbrio dos fatores de degradação da QoE com as demais métricas como taxa média de bits, instabilidade e injustiça.

Verifica-se um aparente conflito entre as linhas mestras do projeto, ou seja, como evitar o esvaziamento do *buffer* utilizando taxa de bits cujo valor é menor que a taxa mínima desejável, sem exatamente causar grandes danos a taxa média de bits? Sabe-se que quando versões de alta qualidade são acessadas continuamente em um cenário de condições extremas, o risco de interrupções é iminente. De acordo com (SEUFERT et al., 2013) os usuários sentem um maior desconforto diante das interrupções do que de um atraso inicial, e são mais tolerantes a um vídeo de baixa qualidade, porém contínuo, do que a um vídeo de alta qualidade e com um número grande de interrupções. Desta forma, a minimização das interrupções para esses cenários deve ser garantida.

Na Figura 6.1, apresenta-se os elementos que compõem a estratégia proposta. Do lado do servidor DASH um conjunto de vídeos versionados, que possui, além de suas versões padronizadas, uma versão de qualidade inferior a mínima esperada para o perfil da rede. E, do lado do cliente DASH o mecanismo da estratégia de adaptação composta de monitor de *buffer*, estimador de *buffer* e motor de adaptação.

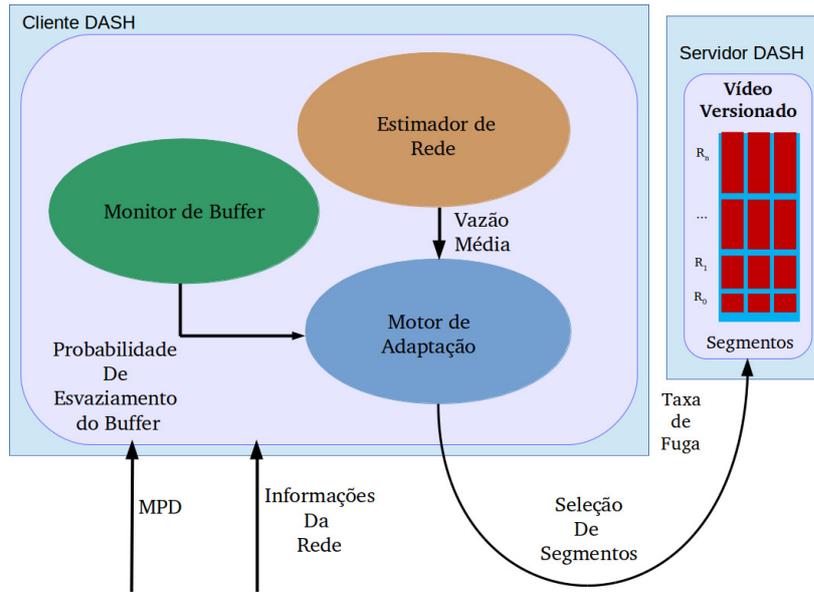


Figura 6.1: Módulos da Estratégia de Adaptação proposta

O monitor de *buffer* é responsável por informar qual a probabilidade de esvaziamento do *buffer*, enquanto que o estimador de Rede calcula a vazão instantânea A e a vazão média \hat{A} , que é calculada considerando os segmentos baixados em um período de segundos pré-estabelecido. Baseado nas informações dos dois primeiros módulos, o motor de adaptação decide qual a taxa de bits da representação R_{prox} do i -ésimo segmento que deve ser acessado. P é a probabilidade de interrupções, utilizada para decidir se a taxa de qualidade inferior deve ou não ser escolhida.

Tabela 6.1: Variáveis do Algoritmo Adaptech-FR.

Variáveis do Algoritmo Adaptech-FR	
i	: segmento atual
b_{max}	: limiar máximo
b_{low}	: limiar intermediário
b_{min}	: limiar mínimo
$B(t)$: nível do <i>buffer</i> no tempo t
P	: probabilidade de interrupções estimada com base na ocupação do <i>buffer</i>
R_i	: representação do segmento i
R_{prox}	: representação do próximo segmento
R_{min}	: representação de qualidade mínima desejada
R_{fuga}	: representação de de fuga
A	: vazão do segmento i
\hat{A}	: vazão média dos últimos n segmentos
R_{max}	: representação de maior qualidade
Θ	: limiar de probabilidade estabelecido
$f(R_i)$: função que retorna a taxa de bits da representação do segmento i
Δ	: Período de observação estabelecido em s

O Algoritmo 1 detalha a lógica da estratégia utilizada, localizada no motor de adaptação. Como entrada, o algoritmo recebe o nível atual do *buffer* $B(t)$, a representação do último segmento baixado R_i , o limiar de probabilidade Θ e o período de monitoramento do *buffer* Δ . O retorno é a representação do próximo segmento a ser baixado R_{prox} . Na Tabela 6.1 estão listadas as variáveis do algoritmo proposto.

Algoritmo 1: Estratégia de Adaptação com acesso controlado a taxa de fuga - Adaptech-FR.

Entrada: $(B(t), R_i, \Theta, \Delta)$
Saída: (R_{prox})

```

1 se  $b_{low} < B(t) < b_{max}$  então
2   se  $\hat{A}(t - \Delta) * c > f(R_i)$  e  $R_i < R_{max}$  então
3      $R_{prox} \leftarrow R_{i+1}$ 
4 senão
5   se  $b_{min} < B(t) < b_{low}$  então
6     se  $A * c < f(R_i)$  e  $R_i > R_{min}$  então
7        $R_{prox} \leftarrow R_{i-1}$ 
8     senão
9       se  $A * c > f(R_i)$  e  $R_i < R_{max}$  então
10         $R_{prox} \leftarrow R_{i+1}$ 
11   senão
12     se  $B(t) \leq b_{min}$  e  $R_i > R_{fuga}$  então
13       se  $P(t - \Delta) \leq \Theta$  então
14          $R_{prox} \leftarrow R_{min}$ 
15       senão
16          $R_{prox} \leftarrow R_{fuga}$ 

```

São estabelecidos três limiares no *buffer* b_{min} , b_{low} e b_{max} , que são respectivamente, limiar mínimo indicando a iminência de uma interrupção, limiar intermediário indicando uma certa segurança na reprodução e o limiar máximo indicando a não necessidade de se obter mais segmentos.

Nas linhas 16, 20 e 27, o algoritmo avalia o nível do *buffer*. A partir desse monitoramento, a largura de banda é calculada tendo-se como base os n segmentos baixados nos últimos Δ segundos (linha 17), ou ainda, no último segmento (linhas 21 e 24).

Quando o nível do *buffer* é menor ou igual ao limiar mínimo e a representação corrente é maior do que a representação da taxa de fuga (linha 27), avalia-se a frequência desse evento nos últimos Δ segundos (linha 28). Se essa frequência for superior ao limiar estabelecido (Θ) então está caracterizado um cenário de interrupção da reprodução, por

isso o próximo segmento a ser acessado no servidor será de uma representação com taxa de bits igual a taxa de fuga. Caso contrário, a taxa mínima desejada é usada como a taxa do próximo segmento a ser baixado.

As dinâmicas de avaliação da largura de banda e os níveis de *buffer* foram originalmente descritos em (AKHSHABI et al., 2012), como uma estratégia moderada para acesso ao vídeo. Essa estratégia é considerada como a base para os estudos comparativos realizados neste capítulo.

6.1.1 Estimativa de Largura de Banda Disponível

O estimador de rede calcula a vazão dos segmentos de duas maneiras. A primeira se refere a largura de banda instantânea A , correspondente ao tamanho do último segmento em bytes dividido pelo tempo de *download* deste segmento. A segunda trata-se da vazão média \hat{A} que é calculada utilizando uma média móvel exponencial da vazão A dos segmentos baixados nos últimos Δ s como em (AKHSHABI et al., 2012). Na Equação 6.1 apresenta-se o cálculo da vazão média:

$$\hat{A} = \begin{cases} \delta \hat{A}(i-1) + (1-\delta)A(i), & \text{se } i > 1 \\ A(1), & \text{se } i = 1 \end{cases} \quad (6.1)$$

onde, δ é o peso utilizado para ponderar os valores de vazão.

6.1.2 Frequência Relativa de Interrupções de Reprodução

Como apontado anteriormente, a interrupção de reprodução é o fator mais impactante na QoE do usuário, sendo assim, é importante reduzir suas ocorrências. O esvaziamento do *buffer* é o fator chave para que hajam interrupções. A estratégia proposta baseia-se na potencial ocorrência de uma interrupção para tomar decisões sobre qual deve ser a versão mínima a que o mecanismo de escalonamento tem acesso. A iminência de uma interrupção é caracterizada pelo nível do *buffer* abaixo do limiar mínimo, um certo número de vezes, no intervalo de Δ segundos. Constatada a iminência da interrupção, permite-se a utilização da taxa de fuga, em caso contrário, a estratégia impede o acesso a taxa de fuga para que não haja redução desnecessária de qualidade.

Dessa forma, caracteriza-se a estratégia como pró-ativa pois a tomada de decisão é antecipada a ocorrência do evento de interrupção. Na Equação 6.2 apresenta-se o cálculo da frequência relativa das interrupções baseado nos níveis de *buffer* registrados nos últimos

Δ segundos:

$$P(E) = \frac{N(E)}{N(S)} \quad (6.2)$$

onde, $N(E)$ é o número de vezes que o nível do *buffer* esteve abaixo do seu limiar mínimo e $N(S)$ é o número total de observações feitas ao *buffer*.

6.2 Métricas de Avaliação

Nesta seção, apresentam-se as métricas utilizadas para avaliar a estratégia de distribuição: o número de interrupções, a duração das interrupções, a taxa de bits média, a instabilidade e a injustiça. Tais métricas são observadas em cenários de rede extremos com diferentes categorias e variação do número de clientes tentando acessar o conteúdo.

O Número de Interrupções indica o número de vezes em que o *buffer* esvaziou-se e o vídeo parou sua reprodução, provocando o congelamento da imagem do vídeo. Quanto mais interrupções e quanto maior for Tempo de Duração das Interrupções, maior será o tempo de sessão do vídeo. As interrupções podem ser causadas por uma série de fatores, um deles é a queda súbita da largura de banda, de forma que alcance um valor menor que a taxa de bits transmitida no momento da queda, permitindo um consumo rápido do *buffer*. Outro fator é a falta de uma taxa adequada para o cenário de compartilhamento entre clientes. Neste caso, o número de clientes acessando qualidades altas também colabora para que o *buffer* seja consumido mais rápido do que é preenchido.

A **Taxa de Bits Média** μ , definida em (MUELLER; LEDERER; TIMMERER, 2012a), é dada pela seguinte Equação:

$$\mu = \frac{\sum_{i=0}^n (f(i) * D_i)}{T_s} \quad (6.3)$$

onde, i representa o i -ésimo segmento, $f(i)$ é a função que retorna a taxa de bits do segmento i , D_i representa a duração do segmento i e T_s representa a duração da sessão.

A **Instabilidade** apresentada em, (JIANG; SEKAR; ZHANG, 2012), expressa a soma dos pesos da amplitude das trocas de qualidade ao longo da reprodução do vídeo. E de todas as trocas dos últimos k segmentos observados, dividido pela soma de todas as taxas de bits acessadas com seus pesos. A Equação 6.4 apresenta o cálculo da instabilidade:

$$S = \frac{\sum_{i=0}^{k-1} (|b_{x,t-i} - b_{x,t-i-1}| * \omega(i))}{\sum_{i=1}^k (b_{x,t-i} * \omega(i))} \quad (6.4)$$

onde, $\omega(i) = k - i$ é uma função de penalidade linear que aloca maior peso para trocas mais recentes. Esse peso é agregado também as taxas de bits acessadas, k representa a quantidade de segmentos passados que devem ser avaliados.

O **Índice de Justiça** (JIANG; SEKAR; ZHANG, 2012), expressa o quão igualitário é um algoritmo dentro de um cenário de compartilhamento. O índice de injustiça é definido pela seguinte equação:

$$I = \sqrt{\frac{[\sum_{i=1}^n (x_i)]^2}{\sum_{i=1}^n (x_i)^2}} \quad (6.5)$$

onde, x_i representa a razão do recurso esperado pelo recurso obtido, por recurso esperado entende-se a média de taxa de bits esperada para cada sessão do compartilhamento e recurso obtido a taxa média de bits de fato acessada em cada cliente. O recurso esperado baseia-se na média das taxas de bits das representações disponíveis no servidor dividido pelo número de clientes competidores.

6.3 Avaliação Experimental

Nesta seção apresenta-se os resultados dos experimentos realizados para avaliar a estratégia de acesso proposta. A Figura 6.2 apresenta o cenário onde os experimentos foram realizados. Considerou-se o cenário de rede de condições extremas de utilização dos recursos de transmissão. Nesse cenário disponibilizam-se as representações dos conjuntos de vídeo dos grupos C e D (detalhados no Capítulo 4), ajustados a capacidade de transferência da rede, entretanto o canal é disputado por diversos clientes que tentam acessar o mesmo vídeo. Os vídeos considerados nos experimentos pertencem as categorias: Esporte, Animação e Filme. A Figura 6.2 apresenta detalhes do cenário de rede considerado nos experimentos.

Considerou-se cenários de rede com três e seis clientes compartilhando um canal com taxa de *download* de 3Mbps e 5Mbps, respectivamente. Foram executados 36 rodadas, com vídeos de duração em torno de 10 à 16 min. Nesse cenário a métrica de justiça foi considerada somente no intervalo de tempo em que os clientes acessam simultaneamente o conteúdo. Para avaliar as demais métricas, considerou-se toda a sessão de vídeo, sendo apresentado aqui o valor médio obtido das sessões. Maiores detalhes do ambiente de

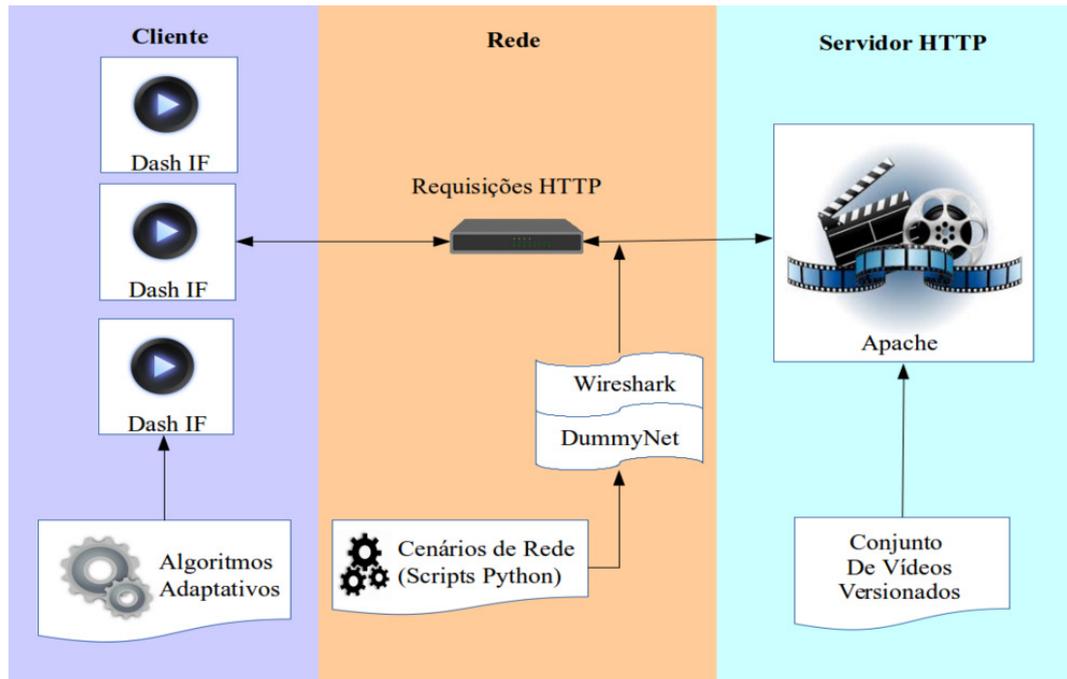


Figura 6.2: Ambiente de experimentação com compartilhamento de recursos.

experimentos pode ser visto na Tabela 5.1.

O cenário ganha uma característica de cenário extremo devido a disponibilização de representações com taxas de bits de uma qualidade razoável. A escolha dessas representações está de acordo com a velocidade das redes de acesso como argumentado no Capítulo 5, porém nestes experimentos avalia-se o impacto de conjuntos de vídeo com essas representações em ambientes de compartilhamento de largura de banda. Além disso, avalia-se o impacto da utilização da taxa de fuga no versionamento.

As avaliações realizadas foram desenvolvidas em duas etapas. Na primeira etapa avaliou o impacto que a inclusão da taxa de fuga, no conjunto de representações disponíveis, produz na estratégia base desse estudo, chamada de Adaptech (AKHSHABI et al., 2012). As avaliações realizadas com a estratégia Adaptech quando a taxa de fuga foi incorporada ao conjunto de representações do vídeo são identificadas com o nome Adaptech+Fuga, e foram consideradas métricas associadas mais diretamente a QoE, i.e duração e quantidade de interrupções.

Na segunda etapa do estudo, avaliou-se a estratégia proposta neste trabalho, chamada de Adaptech-FR, estendendo-se a avaliação para medidas quantitativas de desempenho, i.e Taxa de bits, e para o uso dos recursos de rede quando as estratégias são utilizadas. A estratégia Adaptech-FR considera i) a existência de uma representação do vídeo codificada com uma taxa de bits inferior aquela que a capacidade da rede de acesso conseguiria

transferir, chamada de taxa de fuga, e ii) que o acesso a essa taxa deve ser feito somente em circunstâncias especiais, evitando assim a possível degradação de outras métricas.

A Figura 6.3 mostra o impacto sobre o número de interrupções quando o versionamento feito tem uma representação com taxa de bits definida pela taxa de fuga estipulada para o vídeo. Independente do número de clientes compartilhando o canal, e da categoria de vídeo transmitido, verifica-se uma redução significativa nessa métrica quando a estratégia Adaptech+Fuga é utilizada. Em um cenário de uso mais extremo da rede, Figura 6.3(b), a redução chegou a 67,7%, quando o vídeo da categoria Esporte era distribuído, uma redução de 52,3% foi observada quando o vídeo da categoria Filme era distribuído. A presença da taxa de fuga impactou a métrica mais acentuadamente quando o vídeo da categoria Animação foi distribuído. A redução no número de interrupções nesse caso foi de 68,1%.

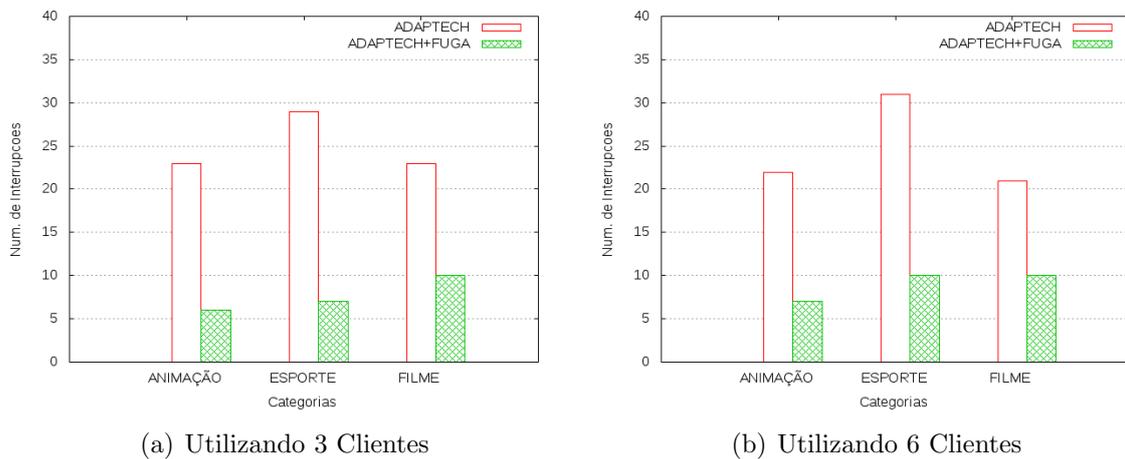


Figura 6.3: Número de Interrupções por Categoria

Na Figura 6.4 apresenta-se a evolução da frequência relativa das interrupções ao longo do tempo na categoria de Esporte, utilizando respectivamente o versionamento sem taxa de fuga e com taxa de fuga. Observa-se uma concentração em torno de 1.0, indicando o esvaziamento iminente do *buffer*, Figura 6.4(a). Quando a Taxa de fuga é utilizada (Figura 6.4(b)) verifica-se uma mudança na concentração dos eventos de esvaziamento, que ficam em torno de 0,4 a 0,6, havendo assim, uma nítida suavização das vezes em que a probabilidade alcança seu valor máximo. A faixa de valores entre 0,4 e 0,6 constitui o espaço de otimização do limiar que caracteriza a iminência das interrupções. Nos experimentos realizados optou-se por uma escolha conservadora, tendo-se definido o limiar T_{etta} igual a 0,4.

É importante observar que a quantidade de interrupções (Figura 6.3), para o versionamento sem taxa de fuga, está refletida em um número de vezes maior com que a

frequência relativa das Interrupções é igual a 1.0 (Figura 6.4).

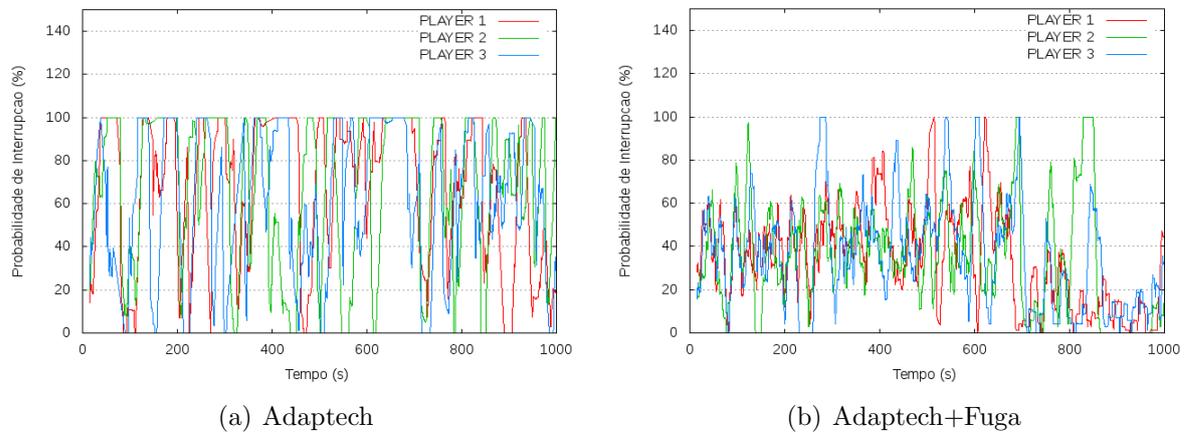


Figura 6.4: Iminência de interrupções ao longo do Tempo.

Outro fator importante de avaliação da QoE é a duração das interrupções. As interrupções prolongam a sessão de acesso, impactando de forma negativa na retenção da audiência. A Figura 6.5 apresenta o aumento médio das sessões provocado pelas interrupções quando um canal é compartilhado por três clientes, Figura 6.5(a), e quando o canal é compartilhado por seis clientes, Figura 6.5(b). Respectivamente, para os experimentos com três e com seis clientes, verificou-se uma redução de 61,7% e 48,7%, quando o vídeo da categoria Animação era distribuído, uma redução de 73,5% e 67,4% foi observada quando o vídeo da categoria Esporte era distribuído e uma redução de 35,8% e 49,7% quando o vídeo da categoria Filme era distribuído. A presença da taxa de fuga impactou a métrica mais acentuadamente quando o vídeo da categoria Esporte foi distribuído, tanto no cenário com três clientes quanto com seis clientes.

Verifica-se também que a categoria de Esporte, quando não utiliza taxa de fuga, apresenta o maior tempo médio de duração total das interrupções em cada sessão, esse comportamento é devido aos segmentos do vídeo da categoria de Esporte ter uma quantidade maior de bytes que os das outras categorias.

A utilização da taxa de fuga permitiu uma maior continuidade de reprodução, entretanto o acesso por períodos longos a representação com baixa qualidade afeta outras métricas que também estão associadas a percepção de uma boa qualidade de experiência. O acesso a representações de menor qualidade é resultado em parte das condições extremas a qual a rede foi submetida, mas também do comportamento conservador do algoritmo base, que demanda condições bastante favoráveis da rede para realizar acesso a representações com melhor qualidade. Esse cenário demandou as melhorias implementadas no algoritmos base, e seu resultados são discutidos nas avaliações que seguem.

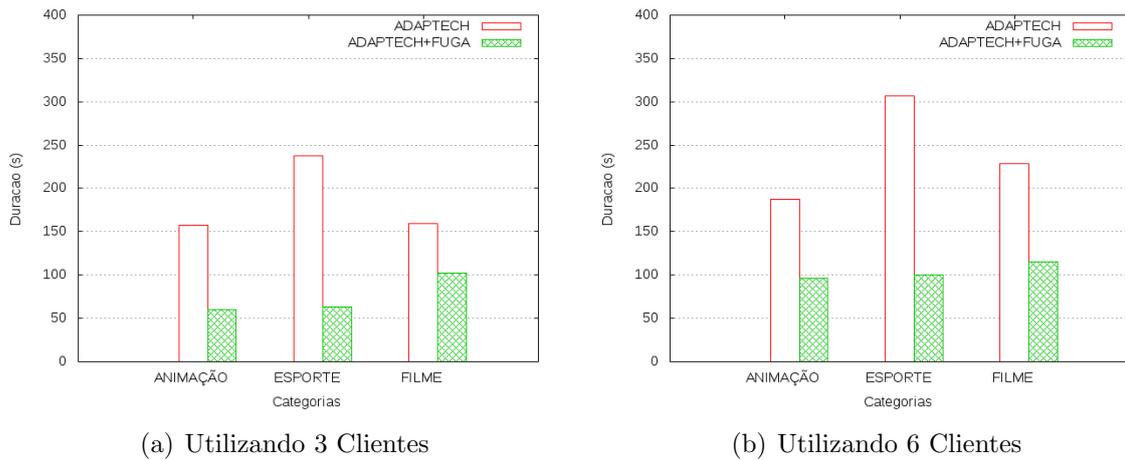


Figura 6.5: Duração das Interrupções por Categoria

Na Figura 6.6 apresenta-se a taxa média de bits registrada para cada cliente durante as sessões de vídeo quando três clientes, Figura 6.6(a) e seis clientes, Figura 6.6(b), estão acessando o mesmo vídeo. Observa-se que incluir uma taxa de fuga no versionamento permite que a taxa média de bits fique muito baixa, isso revela a necessidade de se controlar o acesso a essa taxa para equilibrar outras métricas. Verifica-se assim, que a estratégia Adaptech-FR consegue aumentar a taxa de bits média, em relação à Adaptech+Fuga.

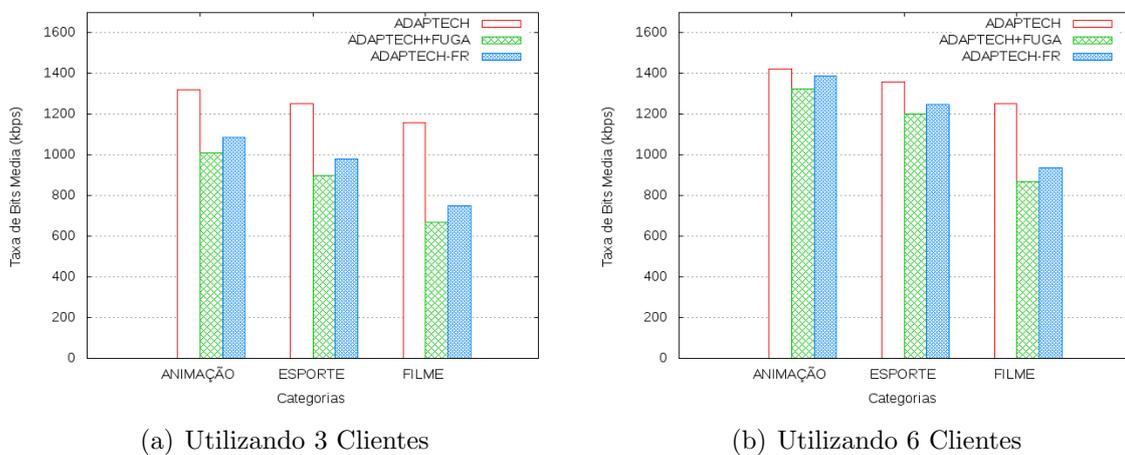


Figura 6.6: Taxa Média de Bits por Categoria

O aumento da taxa de bits pode ser potencializado com a escolha de uma taxa de fuga ótima para o versionamento. Neste estudo, mostra-se que é possível ofertar melhor QoE utilizando uma estratégia sem desconsiderar a taxa mas que reduza o peso de fatores que mais afetam a QoE que são as interrupções, em duração e quantidade. Observa-se também, Figura 6.6(b), que o Adaptech-FR se aproxima muito da taxa média alta que alcança o Adaptech. Aumentando, em relação a taxa média do Adaptech+Fuga, Figura 6.6(a), em 7,9% quando o vídeo da categoria Animação é distribuído, 9,2% quando o vídeo da

categoria Esporte é distribuído e 12,2%, quando o vídeo da categoria Filme é distribuído.

Nas figuras 6.6 e 6.8 apresentam-se as medições realizadas para o número de interrupções e para a duração das interrupções com as três estratégias de acesso ao conteúdo e cenários de rede com 3 (três) e 6 (seis) clientes. Os resultados mostram um aumento na duração e no número de interrupções com utilização da estratégia Adaptech-FR, em comparação com a estratégia Adaptech+Fuga, o número de interrupções e a duração total delas na sessão aumenta em média 59% e 34,1%. Entretanto, o desempenho da estratégia Adaptech-FR é melhor que aquele verificado pela estratégia Adaptech, registrando a redução média nas interrupções de 42% e 43,8%, respectivamente, quando três e seis clientes compartilhavam o canal. Além disso, verificou-se uma redução média da duração das sessões em 45,5% quando 3 (três) clientes compartilhavam o canal, e de 44,8% quando seis clientes compartilhavam o canal.

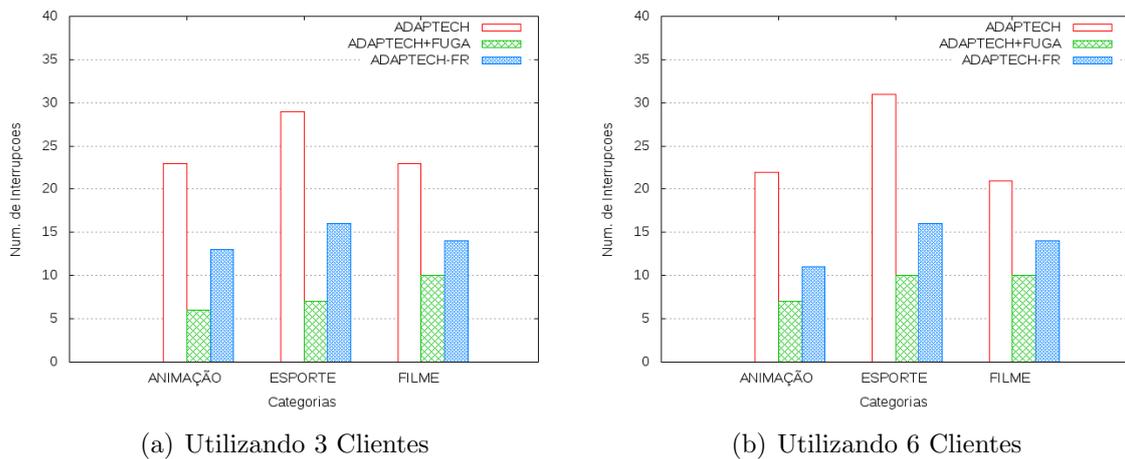


Figura 6.7: Número de Interrupções por Categoria

O acesso controlado a taxa de fuga reduz o impacto da abordagem conservadora de acesso as taxas mais altas sob condições ideais, que ainda está presente na estratégia Adaptech-FR. Por outro lado, identifica-se que essa mesma ação gera um equilíbrio maior entre essas métricas e a taxa de bits média, que, conforme discutido anteriormente, apresenta valores melhores que o verificado quando não há restrição de acesso a taxa de fuga.

A seguir discute-se a instabilidade das estratégias avaliadas. A instabilidade captura os efeitos de mudanças prematuras na dinâmica do streaming, ou seja a relação entre a requisição de uma representação com uma taxa de bits alta e posteriormente um retorno a taxa de bits menores, e vice versa. A métrica é afetada pelas características da estratégia, se conservadora ou agressiva. Uma abordagem conservadora busca representações de melhor qualidade somente quando as condições da rede são claramente favoráveis, enquanto que em abordagens mais agressivas condições mínimas de rede já são suficientes

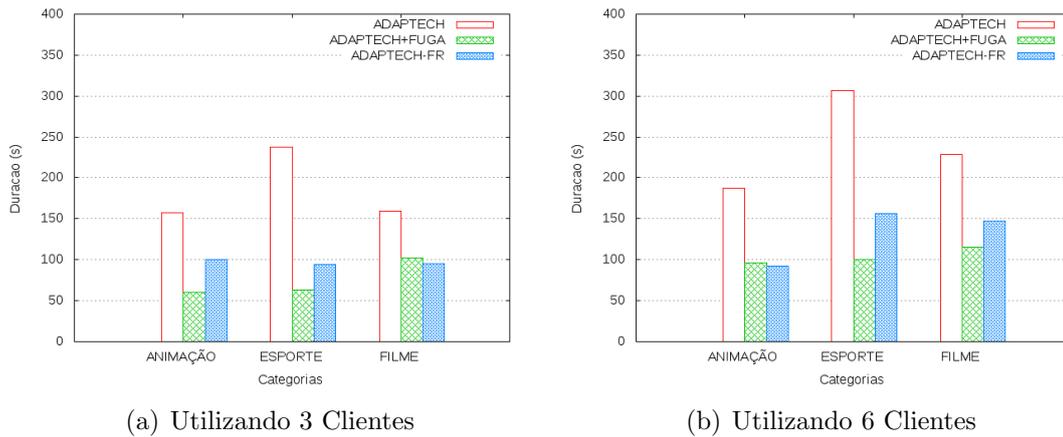


Figura 6.8: Duração das Interrupções por Categoria

para se buscar representações de melhor qualidade. Esses cenários são potencializados por possível descompasso entre o conjunto de representações disponíveis e a capacidade do canal de acesso.

A Figura 6.9 apresenta a instabilidade registrada para as estratégias Adaptech, Adaptech+Fuga, e Adaptech-FR. A estratégia Adaptech-FR apresenta valores intermediários para a instabilidade quando comparado com as estratégias Adaptech e Adaptech+Fuga. Esse comportamento deve-se ao acesso controlado a taxa de fuga presente somente na avaliação feita para Adaptech-FR. Por se tratar de uma representação com taxa de bits bem menor que a mínima desejada, a amplitude de uma troca envolvendo a taxa de fuga, contribuí de forma significativa para o aumento da instabilidade, ver Equação 6.4.

Nesse cenário, considerando-se a distribuição do vídeo da categoria Animação, Figura 6.9(b), que tem taxa de fuga e taxa mínima desejada de 460 kbps e 1660 kbps, respectivamente, a instabilidade em uma distribuição sem a taxa de fuga, estratégia Adaptech, é de 0,061, enquanto que esse valor chega a 0,519 quando a distribuição inclui uma taxa de fuga, estratégia Adaptech+Fuga. Esses valores sugerem que o acesso a taxa de fuga causa um impacto significativo na instabilidade, conforme calculado pela Equação 6.4. Verifica-se que um único acesso a taxa de fuga, a partir da taxa mínima desejada, contribui com 7,8 para a instabilidade da sessão de vídeo. Por outro lado, no caso do acesso as representações com taxas padronizadas, envolvendo apenas taxas iguais ou superiores a taxa mínima desejada, a instabilidade gerada por um aumento(redução) da qualidade, é de apenas 0,722. Ao controlar o acesso a taxa de fuga, a estratégia Adaptech-FR reduz a instabilidade do sessão de vídeo em até 42,7%, que é o caso verificado quando o vídeo da categoria Animação foi distribuído, Figura 6.9(b).

Além disso, ao dispor de uma representação com taxa de bits menor que a vazão da

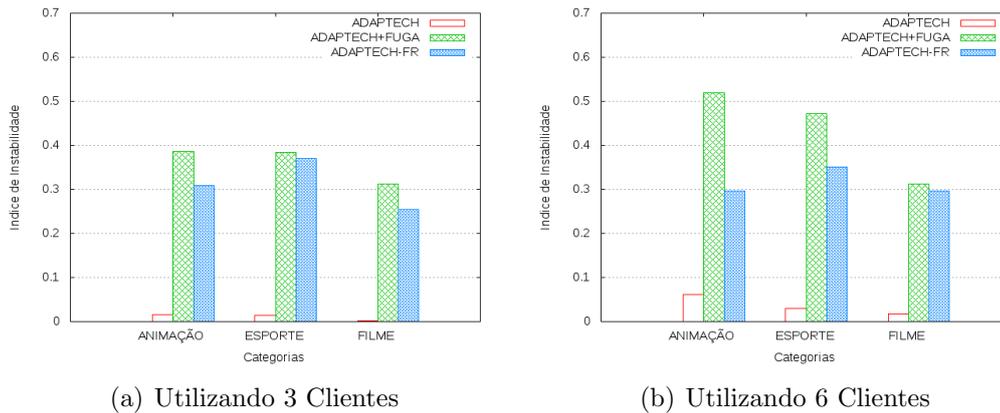


Figura 6.9: Índice de Instabilidade por Algoritmo

rede, a estratégia Adaptech-FR abre a possibilidade de alívio das condições de congestionamento permitindo que em momentos oportunos haja acesso com maior frequência as representações com taxas de bits mais altas. Essa dinâmica gera ainda um efeito apreciado pelos usuários que é a redução de ocorrência de instabilidade de amplitude negativa, que se dá quando a representação escolhida tem taxa de bits menor que a última representação acessada, e aumenta a ocorrência de instabilidade por amplitude positiva, que se traduz em melhoria da qualidade do vídeo.

O aumento desse tipo de ocorrência permite que a popularidade das representações com taxas de bits de maiores sejam acessadas por mais tempo, considerando o tempo total da sessão. Na Figura 6.10, apresenta-se a popularidade das taxas mais altas acessadas pelos algoritmos utilizando, respectivamente, 3 (três) e 6 (seis) clientes na categoria Animação. De qualquer modo, as taxas mais acessadas são as primeiras, pelo fato de se tratar de um algoritmo que se baseia na ocupação do *buffer*, que nestes cenários está abaixo do limiar mínimo a maior parte do tempo. Mas, o que deve ser observado de fato é que a utilização da estratégia Adaptech-FR potencializa o acesso as taxas mais altas, ou seja, permite que as taxas de melhor qualidade tenham uma maior popularidade em relação ao Adaptech. Verifica-se através da Figura 6.10(b) que o aumento de acesso as taxas de maior qualidade são de 0,9% à 5,4% e 4,1% à 11,6% para 3260 e 3660 kbps, respectivamente.

O aumento das trocas para uma melhor qualidade, de acordo com o descrito em (SEUFERT et al., 2013), não representa um fator degradante de QoE, o usuário não tem problemas com a melhoria da qualidade, mesmo que de forma abrupta. Porém, a realidade não é a mesma quando existe uma diminuição das taxas.

A estratégia Adaptech apresenta a menor instabilidade entre as três estratégias avalia-

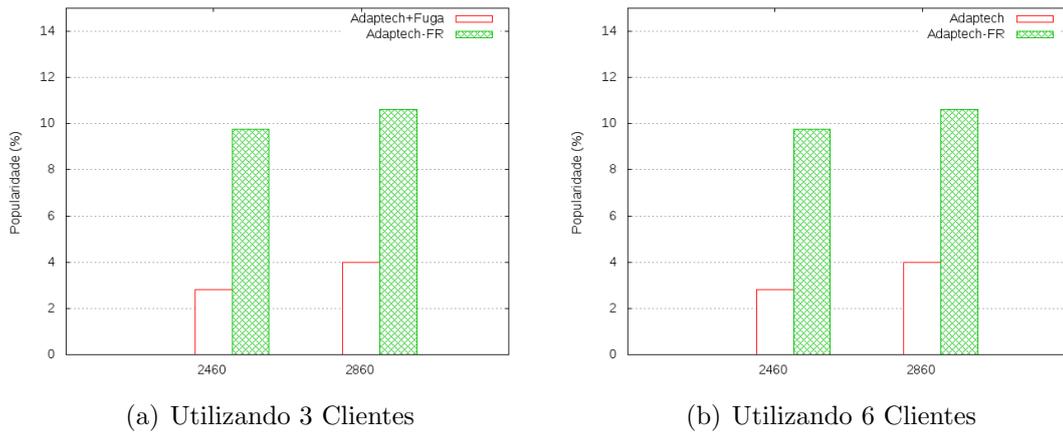


Figura 6.10: Popularidade das Taxas de Bits mais Altas.

das. Entretanto, ressalta-se que i) o cenário de rede em que ocorreu a avaliação, condições de rede favoráveis a mudança são pouco frequentes; ii) o descompasso entre o versionamento e as condições de rede é potencializado pela característica moderada da estratégia. Em outras palavras, a estratégia Adaptech apresenta baixa instabilidade devido a inexistência das tais condições favoráveis para acesso as representações com taxas de bits mais alta, e, por outro lado, o descompasso entre a vazão da rede e a taxa de bits mínima desejável, obriga a estratégia a permanecer acessando essa taxa impedindo que se registre uma maior ocorrência de instabilidade de amplitude negativa.

Da mesma forma que a instabilidade pode levar a uma interpretação errônea para a Adaptech, a injustiça, nas figuras 6.11(a) e 6.11(b) pode levar, observa-se que a estratégia Adaptech foi forçada a permanecer na mesma taxa e isso aconteceu em todas as sessões por um período significativo. Através do experimento do Adaptech+Fuga verifica-se que o mesmo algoritmo possui um outro comportamento, justamente porque com a taxa de fuga, ele pode impulsionar o acesso a taxas mais altas em um cliente enquanto que em outro cliente acessa a taxa de fuga.

Com a estratégia Adaptech-FR, a possibilidade de acesso as taxas mais altas é aliada a uma redução no índice de injustiça entre a Adaptech+Fuga e a Adaptech-FR de 70,3% e 20% quando o vídeo da categoria Animação é distribuído, 94,4% e 26% quando o vídeo da categoria Esporte é distribuído e 56,2% e 9,5% quando o vídeo da categoria Filme é distribuído.

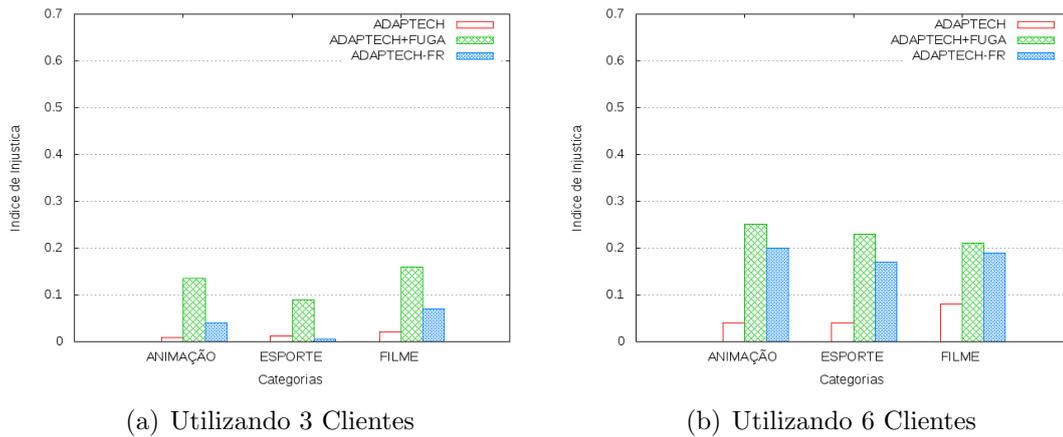


Figura 6.11: Índice de Injustiça por Categoria.

6.4 Discussões Sobre o Capítulo 6

Muitos estudos apontam a importância de se evitar eventos de esvaziamento de *buffer*, para reduzir os efeitos das interrupções de reprodução na QoE do usuário. Mas, a maioria dos trabalhos estudados, cuja classificação quanto aos parâmetros utilizados baseia-se no *buffer*, preocupam-se apenas com o estado atual do *buffer*. Isso pode ser suficiente em um cenário que não exista compartilhamento entre múltiplos clientes. Mas, este cenário tem ficado cada vez comum, por isso é preciso estudar formas de melhorar a QoE quando há compartilhamento. Além disso, também é necessário estudar um tipo de versionamento que seja capaz de minimizar os problemas de interrupções no referido cenário, pois mesmo quando o versionamento é adequado para o perfil de acesso da rede podem ocorrer problemas, pois em um cenário de compartilhamento o número de clientes vai determinar a largura de banda disponível para cada um.

Verificou-se nos experimentos que um versionamento adequado para a largura de banda da rede utilizada não é suficiente quando compartilhada entre múltiplos clientes. Muitas vezes a vazão tornou-se insuficiente para alcançar a taxa mínima desejada. Para isso, recomendou-se a taxa de fuga, como forma de escape para evitar o esvaziamento do *buffer*.

A estratégia proposta visou justamente minimizar os efeitos de interrupções que podem ser causados pelo esvaziamento do *buffer*, através da utilização da taxa de fuga e do controle de acesso à mesma. Essa estratégia introduz a taxa de fuga, que pode ser otimizada, assim como todas as representações dependendo das restrições de largura de banda e número de clientes. Introduz também a ideia de monitoramento do *buffer*, que ao invés de utilizar o nível atual do *buffer*, realiza um monitoramento durante um período

e verifica a frequência relativa das interrupções para dar uma noção maior do comportamento do *buffer*. É importante destacar que o mecanismo também potencializa o acesso as taxas mais altas disponíveis.

Capítulo 7

Considerações Finais

O HAS é o estado da arte em termos de tecnologia de distribuição de *streaming* de vídeo. Essa tecnologia é implementada sobre o protocolo HTTP e por isso aproveita toda a infra estrutura da Internet atual, inclusive o controle de congestionamento e o controle de fluxo da camada de transporte TCP, diferente dos algoritmos adaptativos tradicionais que são implementados usando UDP (*push-based*). Em contrapartida, o DASH não possui ciência quanto à utilização da rede, se está compartilhando o mesmo canal de acesso com outros clientes, por exemplo. Desta forma, um dos maiores desafios do DASH é estimar com precisão a vazão, identificando variações curtas e longas de largura de banda disponível nos instantes que precedem a busca de um segmento. E esse desafio aumenta quando adiciona-se a exigência do usuário quanto à qualidade.

Nesta dissertação buscou-se compreender o funcionamento de um sistema DASH, o processo de preparação do *streaming* para este tipo de sistema e os aspectos que influenciam na QoE do usuário. Além disso, propôs-se uma estratégia de adaptação conjunta cujo objetivo é melhorar a continuidade do vídeo em cenários de compartilhamento, minimizando assim a quantidade de interrupções de reprodução, que é um dos fatores mais degradantes da QoE no *streaming* de vídeo. A estratégia é conjunta no sentido de contar não apenas com o algoritmo de adaptação no cliente, mas também determinar recomendações de versionamento que sejam adequadas ao perfil de rede considerado prevendo uma situação de escassez extrema de recursos de rede.

Realizou-se, inicialmente, uma análise comparativa entre os diferentes tipos de versionamentos e o desempenho das estratégias de adaptação existentes e por último realizou-se uma estudo em cenários com escassez de recursos de rede provocada pelo compartilhamento do *streaming* e do canal entre vários clientes. Nos experimentos utilizou-se conjun-

tos de vídeos com diferentes configurações de FPS, granularidade e categorias e avaliou-se o impacto destas variáveis, aliadas a diferentes cenários, no desempenho dos algoritmos adaptativos.

O estudo inicial foi dividido em duas partes. Na primeira parte estudou-se o desempenho de 3 algoritmos de classes diferentes, baseados na vazão da rede: agressivo, conservador e moderado e um algoritmo baseado em níveis de *buffer*, chamado Adaptech. Foi também recomendada a utilização de um versionamento compatível ao perfil de velocidade da rede acessada pelo usuário, não deixando disponíveis versões com taxa de bits maiores que a largura de banda máxima oferecida pelo perfil de rede utilizado. Para essa primeira parte utilizou-se um conjunto com FPS de 7 e outro com FPS de 30, e observou-se que a taxa de bits média nos conjuntos que possuíam um FPS de 30 foi maior que os de FPS 7, na maioria das vezes, porém essa diferença foi sutil. O adaptech revelou-se o melhor em termos de continuidade de reprodução.

Na segunda parte, analisou-se o desempenho do Adaptech, visto que garantiu uma melhor continuidade. Cada conjunto de vídeo possuía uma granularidade diferente (80 e 400). Foi observado que diferentes granularidades estão diretamente relacionadas ao número de versões geradas e essa quantidade de versões pode influenciar negativamente na velocidade de convergência para a taxa alvo. Impactando na taxa de bits média da sessão de vídeo.

O segundo estudo foi realizado com conjuntos de vídeos de diferentes categorias: Animação, esporte e filme, em cenários de compartilhamento de recursos entre múltiplos clientes. O algoritmo proposto deriva-se do Adaptech e chama-se Adaptech-FR e considera a frequência dos esvaziamentos que ocorreram no *buffer* durante os últimos 10 segundos. A interrupção de reprodução é identificada por vários autores como o parâmetro mais degradante da QoE, neste contexto. Por isso, minimizar a quantidade de vezes em que o *buffer* esvazia é crucial.

Realizou-se um estudo de métricas como: taxa de bits, número de interrupções, instabilidade e justiça. De forma, a observar o desempenho de três abordagens diferentes: o adaptech, o adaptech com o versionamento recomendado (Adaptech+Fuga) e o adaptech-FR com o versionamento recomendado. Neste estudo constatou-se que a QoE não pode ser melhorada apenas através de uma estratégia de adaptação robusta, é necessário um versionamento adequado para o tipo de perfil de velocidade de acesso contratado.

As maiores dificuldades encontradas durante este trabalho foram em relação ao processo de preparação da mídia, que demandou um tempo considerável, em torno de 8h

para cada conjunto de versionamento, quando não ocorressem contratempos. Foram necessários inúmeros ajustes para se chegar aos conjuntos estruturados.

Como trabalhos futuros pretende-se ainda fazer um estudo mais aprofundado da taxa de fuga mais adequada para um determinado tipo de versionamento. A estratégia proposta impulsiona mais pesquisa no sentido de maximizar a QoE, não tratando apenas de interrupções mas também do número de trocas de qualidade, que é outro fator importante para a QoE. O mais interessante seria o sistema DASH como um todo pudesse calcular a QoE e a estratégia ajustasse as taxas ao QoE mais adequado, ou ainda, se a partir da QoE quantificada o sistema adequasse o versionamento oferecendo assim, apenas qualidades possíveis para o usuário e não afetasse drasticamente a sua experiência.

Referências Bibliográficas

AKAMAI. 2015. Disponível em: <<http://www.akamai.com/dl/akamai/akamai-soti-q114.pdf>>. Acesso em: 14 mai. 2015.

AKHSHABI, S. et al. An experimental evaluation of rate-adaptive video players over http. *Signal Processing: Image Communication*, Elsevier, v. 27, n. 4, p. 271–287, 2012.

ALBERTI, C. et al. Automated qoe evaluation of dynamic adaptive streaming over http. *Quality of Multimedia Experience (QoMEX), 2013 Fifth International Workshop on*, p. 58–63, Jul 2013.

ANATEL. 2015. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/>>. Acesso em: 12 jan. 2015.

APPLE Corporation. 2015. Disponível em: <<http://developer.apple.com/library/mac/documentation/NetworkingInternet/Conceptual/StreamingMediaGuide/StreamingMediaGuide.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2015.

BEGEN, A.; AKGUL, T.; BAUGHER, M. Watching video over the web: Part 1: Streaming protocols. *Internet Computing, IEEE*, v. 15, n. 2, p. 54–63, Maio 2011. ISSN 1089-7801.

CETIC.BR. 2015. Disponível em: <<http://cetic.br/>>. Acesso em: 17 set. 2015.

CISCO: Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast update, 2014-2019. 2015. Disponível em: <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.html>. Acesso em: 12 fev. 2015.

DASH IF: Cliente de referência. 2013. Disponível em: <<http://dashif.org/reference/players/javascript/index.html>>. Acesso em: 30 set. 2013.

DUBIN, R.; HADAR, O.; DVIR, A. The effect of client buffer and mbr consideration on dash adaptation logic. *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), IEEE 2013*, IEEE, p. 2178–2183, Abril 2013. ISSN 1525-3511.

ESSAILI, A. E. et al. Quality-of-experience driven adaptive http media delivery. *Communications (ICC), 2013 IEEE International Conference on*, IEEE, p. 2480–2485, Jun 2013. ISSN 1550-3607.

- FFMPEG. 2013. Disponível em: <<http://www ffmpeg.org/>>. Acesso em: 10 set. 2013.
- HESSE, S. Design of scheduling and rate-adaptation algorithms for adaptive http streaming. *SPIE Optical Engineering+ Applications*, SPIE, p. 88560M-88560M, Set 2013.
- HUANG, T.-Y.; JOHARI, R.; MCKEOWN, N. Downton abbey without the hiccups: Buffer-based rate adaptation for http video streaming. *Proceedings of the 2013 ACM SIGCOMM Workshop on Future Human-centric Multimedia Networking*, ACM, p. 9-14, Ago 2013.
- IST: Comunicação áudio e vídeo: Comparativo entre mp3, aac e ogg vorbis. 2015. Disponível em: <http://www.img.lx.it.pt/~fp/cav/ano2006_2007/MEEC/Trab_24-/Comparativo%20Audio_ficheiros/page0002.htm>.
- ITEC: Itec - dynamic adaptative streaming over http. 2015. Disponível em: <http://www-itec.uni-klu.ac.at/dash/?page_id=207>. Acesso em: 11 mar. 2014.
- JIANG, J.; SEKAR, V.; ZHANG, H. Improving fairness, efficiency, and stability in http-based adaptive video streaming with festive. *Proceedings of the 8th International Conference on Emerging Networking Experiments and Technologies*, ACM, p. 97-108, Dez 2012.
- JULURI, P.; TAMARAPALLI, V.; MEDHI, D. Sara: Segment aware rate adaptation algorithm for dynamic adaptive streaming over http.
- LEE, J. Y. B. In: _____. *Scalable Continuous Media Streaming Systems*. [S.l.]: John Wiley and Sons - Ltd, 2005. p. 1-23. ISBN 9780470015391.
- LOZANO, J. et al. Adaptive qoe measurement on videostreaming ip services. *Network and Service Management (CNSM), 2011 7th International Conference on*, p. 1-4, Out 2011.
- MILLER, K. et al. Adaptation algorithm for adaptive streaming over http. *Packet Video Workshop (PV), 2012 19th International*, p. 173-178, Maio 2012.
- MOK, R. K. P. et al. Qdash: A qoe-aware dash system. *Proceedings of the 3rd Multimedia Systems Conference*, ACM, p. 11-22, Fev 2012.
- MOLTCHANOV, D. Service quality in p2p streaming systems. *Computer Science Review*, Elsevier, v. 5, n. 4, p. 319-340, 2011.
- MP4BOX. 2013. Disponível em: <<http://gpac.wp.mines-telecom.fr/mp4box/mp4box-documentation/>>. Acesso em: 10 set. 2013.
- MSS: Microsoft smooth streaming. 2014. Disponível em: <<http://www.iis.net/learn/media/smooth-streaming>>. Acesso em: 30 abr. 2014.
- MUELLER, C.; LEDERER, S.; TIMMERER, C. An evaluation of dynamic adaptive streaming over http in vehicular environments. *Proceedings of the 4th Workshop on Mobile Video*, ACM, p. 37-42, 2012.

- MUELLER, C.; LEDERER, S.; TIMMERER, C. A proxy effect analysis and fair adaptive algorithm for multiple competing dynamic adaptive streaming over http clients. *Visual Communications and Image Processing (VCIP), 2012 IEEE*, p. 1–6, Nov 2012.
- OREBAUGH, A. et al. Wireshark & ethereal network protocol analyzer toolkit (jay beale's open source security). In: _____. [S.l.]: Syngress Publishing, 2006. ISBN 1597490733.
- OSMF Player. 2014. Disponível em: <<http://www.osmf.org>>. Acesso em: 29 abr. 2014.
- OYMAN, O.; SINGH, S. Quality of experience for http adaptive streaming services. *Communications Magazine, IEEE*, v. 50, n. 4, p. 20–27, Abril 2012. ISSN 0163-6804.
- REDBULL Playstreets: Redbul content pool. 2015. Disponível em: <[https://www-redbullcontentpool.com/content/international](https://www.redbullcontentpool.com/content/international)>. Acesso em: 13 jan. 2015.
- RENNER, A. *Arquitetura de um Decodificador de Audio*. 99 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRG, 2011.
- RIZZO, L. Dummynet: A simple approach to the evaluation of network protocols. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, ACM, v. 27, n. 1, p. 31–41, jan. 1997. ISSN 0146-4833.
- ROMERO, L. R. *A Dynamic Adaptive HTTP Streaming Video Service for Google Android*. 120 p. Dissertação (Mestrado) — KTH, Communication Systems, CoS, 2011.
- SEUFERT, M. et al. A survey on quality of experience of http adaptive streaming. *Communications Surveys Tutorials, IEEE*, n. 1, p. 469–492, 2013.
- SINGH, K.; HADJADJ-AOUL, Y.; RUBINO, G. Quality of experience estimation for adaptive http/tcp video streaming using h.264/avc. *Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 2012 IEEE*, IEEE, p. 127–131, Jan 2012.
- SINTEL - Open Source Movie. 2013. Disponível em: <<http://durian.blender.org/>>. Acesso em: 21 out. 2013.
- STOCKHAMMER, T. Dynamic adaptive streaming over http –: Standards and design principles. *Proceedings of the Second Annual ACM Conference on Multimedia Systems*, ACM, 2011.
- TEARS Of Steel: Open source movie. 2014. Disponível em: <<https://mango.blender.org/>>. Acesso em: 21 out. 2014.
- THANG, T. C. et al. Adaptive streaming of audiovisual content using mpeg dash. *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, IEEE, v. 58, n. 1, p. 78–85, Fev 2012. ISSN 0098-3063.
- TIAN, G.; LIU, Y. Towards agile and smooth video adaptation in dynamic http streaming. *Proceedings of the 8th International Conference on Emerging Networking Experiments and Technologies*, ACM, p. 109–120, 2012.
- TONI, L. et al. Optimal set of video representations in adaptive streaming. *Proceedings of the 5th ACM Multimedia Systems Conference*, ACM, p. 271–282, Mar 2014.

VCODEX. 2015. Disponível em: <<http://www.vcodex.com/h264.html>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

VENKATARAMAN, M.; CHATTERJEE, M.; CHATTOPADHYAY, S. Evaluating quality of experience for streaming video in real time. *Global Telecommunications Conference, 2009. GLOBECOM 2009. IEEE*, p. 1–6, Nov 2009. ISSN 1930-529X.

VOD. 2015. Disponível em: <<http://vod.icomp.ufam.edu.br/datasets/>>. Acesso em: 30 setembro. 2015.