

Universidade Federal de Juiz de Fora
Instituto de Ciências Exatas
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

Wagner de Almeida Junior

Avaliação de Transmissão ao Vivo de Grandes Eventos pela Internet

Juiz de Fora
2015

Wagner de Almeida Junior

Avaliação de Transmissão ao Vivo de Grandes Eventos pela Internet

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Juiz de Fora, na área de concentração em Redes de Computadores, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: Alex Vieira Borges

Coorientador: Ítalo Scotá Cunha

Juiz de Fora

2015

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

de Almeida Junior, Wagner.

Avaliação de Transmissão ao Vivo de Grandes Eventos pela Internet /
Wagner de Almeida Junior. – 2015.

59 f. : il.

Orientador: Alex Vieira Borges

Coorientador: Ítalo Scotá Cunha

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto
de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computa-
ção, 2015.

1. Palavra-chave. 2. Palavra-chave. 3. Palavra-chave. I. Sobrenome,
Nome do orientador, orient. II. Título.

Wagner de Almeida Junior

Avaliação de Transmissão ao Vivo de Grandes Eventos pela Internet

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Juiz de Fora, na área de concentração em Redes de Computadores, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Aprovada em: 4 de Setembro de 2015

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alex Vieira Borges - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Professor Dr. Ítalo Scotá Cunha - Coorientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Professor Dr. Heder Soares Bernardino
Universidade Federal de Juiz de Fora

Professor Dr. Artur Ziviani
Laboratório Nacional de Computação Científica

Professor Dr. Fabrício Benevenuto
Universidade Federal de Minas Gerais

À minha mãe Maria Cristina, meu exemplo e fortaleza

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é fruto de um longo processo de aprendizado e estudo, que contou com a ajuda e o apoio de diversas pessoas. Possivelmente eu não conseguiria, neste espaço agradecer à todos que tornaram possível essa realização. Agradeço primeiramente a Deus por manter minha força mesmo nos momentos mais difíceis.

A toda minha família, em especial meus pais Wagner e Cristina pelo apoio constante e dedicação durante toda minha formação.

A minha esposa Paula pela paciência, companheirismo, amor e compreensão.

Aos meus orientadores Alex e Ítalo que, com muita paciência e disposição, tornaram possível essa tarefa que por vezes parecia impossível.

Aos amigos que fiz no mestrado, por tudo que passamos juntos. A companhia de vocês tornou a jornada bem menos sofrida e mais divertida.

Aos amigos e colegas de trabalho do IF Sudeste MG, em especial o diretor Alexandre Ziviani, que tornou possível que eu realizasse este trabalho. Também ao Cleiton e Daniel que seguraram a barra na minha ausência e todos os outros que colaboraram direta ou indiretamente.

Aos meus professores que colaboraram com a minha formação, especialmente a Herlon Camargo que foi o grande responsável por iniciar minha caminhada acadêmica e profissional e Marco Gromato, que me inspirou e incentivou a realização do mestrado.

Agradeço às equipes de tecnologia da globo.com por disponibilizarem os dados que foram a base deste trabalho.

Aos que não citei nominalmente mas também fizeram parte dessa conquista, muito obrigado.

“Do. Or do not. There is no try.”
(Yoda, The Empire Strikes Back)

RESUMO

A transmissão de conteúdo de mídia pela Internet é uma tendência que vem crescendo atualmente. Especialmente, o cenário de transmissão de vídeo sob demanda (VoD) já é bastante consolidado. Um novo desafio que surge é a transmissão de vídeo ao vivo, especialmente de conteúdo capaz de atrair um grande número de espectadores como eventos de grande escala. Neste trabalho nós caracterizamos a transmissão ao vivo pela Internet de dois eventos esportivos de grande escala. Esses eventos foram transmitidos gratuitamente por um dos maiores provedores de conteúdo da América Latina através de um portal *web* acessado pelo protocolo HTTP. Nos baseamos em registros de acesso dos servidores *web* do provedor para extrair as informações usadas nas caracterizações. Nós quantificamos o impacto da transmissão de um evento de grande escala no provedor de conteúdo e a qualidade de serviço recebida pelos usuários finais. Mostramos que os servidores de vídeo recebem carga substancial e que a carga varia significativamente entre jogos, o que dificulta o provisionamento de capacidade. Além disso apresentamos um mapa da difusão de acesso por região do Brasil com base em observações sobre a mídia recebida pelos clientes.

Palavras-chave: Eventos de grande escala. Transmissão ao vivo. Transmissão por HTTP.

ABSTRACT

Streaming media on internet is currently a growing trend. In particular, video-on-demand (VoD) scenario is already quite consolidated. Although, live streaming still facing challenges, specially during large-scale events, which may attract a large number of viewers. In this work, we characterize two large-scale Internet live streaming sport events. These events were streamed free of charge through a web portal accessed via HTTP protocol by one of the largest content provider in Latin America. Our characterization relies on access logs we have obtained from the content provider's web server. We quantify the impact of a large-scale event transmission on content provider servers. We also characterize the quality of service end users receive. Our results show that video servers receive substantial network load during a large-scale event. Moreover, this network load can vary significantly among distinct matches, which difficult capacity provisioning. In addition we present a map of the Brazilian Internet access distribution based on observations about the media content received by customers.

Key-words: Large-scale events. Live streaming. HTTP streaming.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Árvore de distribuição da CDN.	16
Figura 2 – Arquitetura P2P em Árvore.	19
Figura 3 – Arquitetura P2P em Malha.	20
Figura 4 – Unicast.	22
Figura 5 – Broadcast.	22
Figura 6 – Multicast.	22
Figura 7 – Anycast.	22
Figura 8 – <i>Anycast</i> DNS.	23
Figura 9 – Codificador e segmentador de vídeo.	24
Figura 10 – Múltiplas qualidades.	24
Figura 11 – Arquitetura do sistema monitorado.	25
Figura 12 – Arquitetura de um Servidor Nginx.	26
Figura 13 – Exemplo de linha de arquivo de registro.	33
Figura 14 – Distribuição do tempo entre requisições de listas de reprodução e duração da sessão durante a Copa das Confederações.	36
Figura 15 – Cinco jogos com maiores pico de acessos simultâneos durante a Copa das Confederações.	37
Figura 16 – Cinco jogos com maiores picos de volume de transmissão de dados durante a Copa das Confederações.	38
Figura 17 – Distribuição do tamanho dos segmentos de mídia do jogo entre Brasil e Uruguai.	39
Figura 18 – Distribuição do tamanho dos segmentos de mídia do jogo entre Brasil e Espanha.	39
Figura 19 – Quantidade de usuários total e por localização do servidor do jogo entre Uruguai e Itália.	40
Figura 20 – Distribuição do tempo entre requisições de listas de reprodução durante a Copa do Mundo.	41
Figura 21 – Cinco jogos com maiores picos de acessos simultâneos durante a Copa do Mundo.	42
Figura 22 – Cinco jogos com maiores picos de volume de transmissão de dados durante a Copa do Mundo.	43
Figura 23 – Distribuição do tamanho dos segmentos de mídia do dia 01/07 às 13:00.	44
Figura 24 – Distribuição do tamanho dos segmentos de mídia do dia 13/06 às 16:00.	44
Figura 25 – Quantidade de usuários total e por localização do servidor do jogo entre Costa Rica e Grécia.	45
Figura 26 – Distribuição do tamanho dos segmentos de mídia por provedores no jogo Brasil e Espanha.	47

Figura 27 – Tamanho do bloco de mídia por estado ordenado por IDH durante a Copa das Confederações.	48
Figura 28 – Relação Espectadores/habitantes por estado ordenado por IDH durante a Copa das Confederações.	49
Figura 29 – Distribuição do tamanho dos segmentos de mídia por provedores durante a Copa do Mundo.	51
Figura 30 – Tamanho do bloco de mídia por estado ordenado por IDH durante a Copa do Mundo.	52
Figura 31 – Relação Espectadores/habitantes por estado ordenado por IDH durante a Copa do Mundo.	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo dos <i>logs</i> da Transmissão da Copa das Confederações.	30
Tabela 2 – Resumo dos <i>logs</i> da Transmissão da Copa do Mundo.	32
Tabela 3 – Resumo das configurações dos servidores usados nas análises dos registros.	34
Tabela 4 – Maiores provedores de Internet conectados a cada PoP durante a Copa das Confederações.	46
Tabela 5 – Análise do tráfego por cidade de MG, RJ e SP durante a Copa das Confederações.	49
Tabela 6 – Maiores provedores de Internet conectados a cada PoP durante a Copa do Mundo.	50
Tabela 7 – Análise do tráfego por cidade de MG, RJ e SP durante a Copa do Mundo.	54

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Contribuições	13
1.2	Organização da Dissertação	14
2	INFRA-ESTRUTURA DE DISTRIBUIÇÃO DE CONTEÚDO	15
2.1	Redes de Entrega de Conteúdo	15
2.2	Redes <i>Peer-to-Peer</i>	17
2.2.1	Distribuição de vídeo <i>Peer-to-Peer</i>	18
2.3	<i>Anycast</i>	20
2.4	<i>Streaming</i> Dinamicamente Adaptável - DASH	22
2.5	Arquitetura do Sistema Monitorado	24
2.5.1	Servidor Web Nginx	25
3	TRABALHOS RELACIONADOS	27
4	CONJUNTO DE DADOS E METODOLOGIA	29
4.1	Dados da Copa das Confederações 2013	29
4.2	Dados da Copa do Mundo 2014	30
4.3	Metodologia	31
5	AVALIAÇÃO DE GRANDES EVENTOS NA INTERNET . .	35
5.1	Caracterização da carga nos servidores	35
5.1.1	Copa das Confederações 2013	35
5.1.2	Copa do Mundo 2014	40
5.2	Caracterização da transmissão recebida pelos clientes	46
5.2.1	Copa das Confederações 2013	46
5.2.2	Copa do Mundo 2014	50
5.3	Discussão Geral	53
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	55
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

Vivemos em um período de transição na forma de consumo de programação televisiva. O telespectador atual não se contenta apenas em receber uma programação pré-definida e genérica, ele quer escolher o que, quando e como assistir. Por essa razão, existe a tendência de migração de espectadores de sistemas tradicionais de televisão, como cabo e satélite, para serviços de transmissão de conteúdo sob demanda através de *streaming* na Internet.

A popularização de conteúdo sob demanda pela Internet já é um cenário consolidado. Vários serviços como Netflix, iTunes, YouTube e HBOGO [20] possuem milhões de usuários e a transmissão de conteúdo de entretenimento em tempo real é responsável por 64,5% do tráfego de pico da Internet na América do Norte [29].

Um novo desafio que surge desse cenário é o *streaming* de conteúdo ao vivo de grandes eventos. Transmissões ao vivo possuem características específicas que as diferem das transmissões de mídia armazenada, como por exemplo baixa tolerância a atrasos. Com um número expressivo de aplicações comerciais emergindo, diversos mecanismos como *streaming* adaptável, uso de redes par-a-par e redes de distribuição de conteúdo (CDNs) [25] vêm sendo utilizados para tornar possível a distribuição de mídia ao vivo em grande escala.

No entanto, ainda são necessários grandes investimentos em infraestrutura—com atenção especial ao planejamento de capacidade e provisionamento eficiente de recursos—para atender à demanda crescente por esse tipo de conteúdo, especialmente considerando a transmissão ao vivo de eventos de grande escala. Alguns desses eventos atraem um número muito grande de espectadores, impondo aos sistemas dos provedores de conteúdo e à infraestrutura de rede uma carga de trabalho difícil de prever e que pode exigir mais recursos do que aqueles já provisionados.

Atualmente passam pelo Brasil diversos eventos de grande escala que atraem a atenção do mundo. Em particular, eventos esportivos como a Copa do Mundo e as Olimpíadas tem potencial para atrair grande interesse. De fato, tanto a Copa das Confederações da FIFA ¹ de 2013 quanto a Copa do Mundo da FIFA de 2014 apresentaram números relevantes em relação a *streaming* ² e mensagens em mídias sociais ³. Por se tratar também de um grande evento esportivo, espera-se que a transmissão dos jogos olímpicos de 2016 alcance popularidade similar.

¹ Fédération Internationale de Football Association - <http://www.fifa.com>

² <http://variety.com/2014/digital/news/world-cup-sets-new-internet-video-streaming-record-1201221997/>

³ <http://www.theguardian.com/technology/2014/jul/15/twitter-world-cup-tweets-germany-brazil>

Uma tarefa desafiadora no planejamento de capacidade de provedores de conteúdo é prever o volume de tráfego e provisionar banda de rede suficiente para eventos futuros. O volume de tráfego e provisionamento são diferentes para cada provedor, dependendo de questões como localização geográfica, parcerias de rede e número de clientes. As cargas também são diferentes para propriedades específicas do evento como horário e popularidade dos times. O provisionamento de recursos deve ainda considerar requisitos de aplicação, como baixa latência de distribuição.

Neste trabalho, apresentamos a caracterização da carga de trabalho dos servidores de um dos maiores provedores de conteúdo do Brasil durante a transmissão ao vivo de todos os jogos da Copa das Confederações da FIFA 2013 e da Copa do Mundo da FIFA 2014. Nosso trabalho é baseado em dados coletados nos servidores de vídeo de um dos maiores e mais conhecidos provedores de conteúdo da América Latina, o Globo.com. Nosso objetivo é entender qual é o impacto de eventos dessa magnitude na carga imposta aos servidores do provedor de conteúdo e na infra-estrutura de rede, bem como avaliar a qualidade de serviço entregue aos usuários.

Nossos resultados mostram que eventos esportivos tem potencial de atrair centenas de milhares de espectadores simultâneos. O tráfego gerado por transmissões de eventos ao vivo impõe desafios de infraestrutura, planejamento e previsão de carga até mesmo para um grande provedor; por exemplo, observamos que o provedor reajustou a qualidade da mídia disponível durante a transmissão de um jogo devido à alta carga. Além disso, pudemos observar que as regiões mais desenvolvidas do Brasil obtiveram maior qualidade na transmissão dos jogos. Isso pode ser relacionado à qualidade no acesso à Internet como um todo nessas regiões.

1.1 Contribuições

Nossa primeira contribuição é apresentar uma caracterização profunda do *streaming* e da carga de trabalho à qual o provedor de conteúdo é submetido durante um grande evento. Nessa linha, caracterizamos o número de usuários de cada jogo, a taxa de mídia distribuída e a qualidade da mídia. Nossa segunda contribuição é caracterizar a qualidade de serviço recebida pelos clientes e relacioná-la a dados geográficos e sócio-indicadores. Acreditamos que nossos resultados podem ser úteis para provedores de conteúdo ajudando a direcionar decisões de provisionamento de infra-estrutura e planejamento da capacidade das redes dos provedores de conteúdo visando o *streaming* de grandes eventos.

Parte do trabalho desenvolvido nessa dissertação foi apresentado no XXXIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC), sob o título “Caracterização da Transmissão de um Grande Evento Esportivo” [1], no dia 21 de maio de 2015.

1.2 Organização da Dissertação

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma: o capítulo 2 descreve o sistema de *streaming* do provedor de conteúdo. O capítulo 3 mostra uma análise sucinta de trabalhos relacionados ao nosso estudo. No capítulo 4 apresentamos o conjunto de dados disponível e a metodologia usada na análise. No capítulo 5 mostramos os resultados de nossas análises dos dados e inferências obtidas com o estudo dos mesmos. Por fim, o capítulo 6 conclui o trabalho discutindo os resultados obtidos e indicando trabalhos futuros que consideramos pertinentes.

2 INFRA-ESTRUTURA DE DISTRIBUIÇÃO DE CONTEÚDO

Neste capítulo apresentamos conceitos de arquiteturas de rede usadas distribuição de conteúdo, com foco específico em transmissão de vídeo. Além disso serão detalhados os principais sistemas em uso atualmente na Internet. Por fim será detalhada a arquitetura do sistema monitorado neste trabalho.

A seção 2.1 apresenta as redes de entrega de conteúdo, um sistema tradicional baseado em servidores de distribuição geograficamente espalhados, de maneira a diminuir a distância entre o cliente e o conteúdo. Esse sistema é bastante eficiente porém com custo elevado. Na seção 2.2 será mostrada a arquitetura de redes P2P, um sistema descentralizado, dinâmico e de difícil gerenciamento e também as principais maneiras de organizar as redes P2P especificamente para distribuição de vídeo ao vivo. A seção 2.3 fala sobre os principais métodos de transmissão usados para distribuição de conteúdo, *Unicast*, *Broadcast*, *Multicast* e, mais especialmente *Anycast*. A seção 2.4 mostra o sistema de codificação e transmissão de vídeo chamado DASH, que é usado por grandes provedores de conteúdo como o YouTube. Finalmente, a seção 2.5 apresenta a arquitetura do sistema usado pelo provedor Globo.com, que é objeto deste estudo.

2.1 Redes de Entrega de Conteúdo

As redes de entrega de conteúdo (CDNs) [34] foram projetadas como alternativas para distribuição de conteúdo na Internet visando maximizar o uso de banda minimizando a latência dos clientes e a carga dos servidores. As CDNs mantêm múltiplos pontos de presença (POPs) com servidores distribuídos geograficamente que armazenam cópias do mesmo conteúdo, de forma que a requisição de um cliente seja atendida pelo servidor mais próximo [26].

A figura 1 mostra um exemplo de distribuição de conteúdo de uma CDN. O servidor de origem distribui uma cópia do conteúdo para outros nós da CDN, localizados no Brasil, Estados Unidos e Inglaterra. Os clientes então buscam o conteúdo do nó mais próximo na CDN. Desse modo, os clientes brasileiros recebem o conteúdo armazenado no Brasil e não do servidor de origem, que pode estar localizado em qualquer lugar do mundo.

O uso de uma arquitetura em árvore permite que a distribuição de conteúdo seja expandida para um número potencialmente ilimitado de clientes, usando mais nós na CDN e mais níveis na árvore [33]. O servidor de origem também não fica sobrecarregado porque não atende a requisições diretas dos clientes, comunicando-se apenas com os nós da CDN. A qualidade percebida pelo cliente também é maior, uma vez que as requisições são feitas a servidores mais próximos. Dessa forma além do caminho de rede ser mais curto, há menor chance de o tráfego passar por regiões de congestionamento na Internet. Por fim, se os nós da CDN forem bem posicionados, o tráfego de determinado conteúdo deverá passar

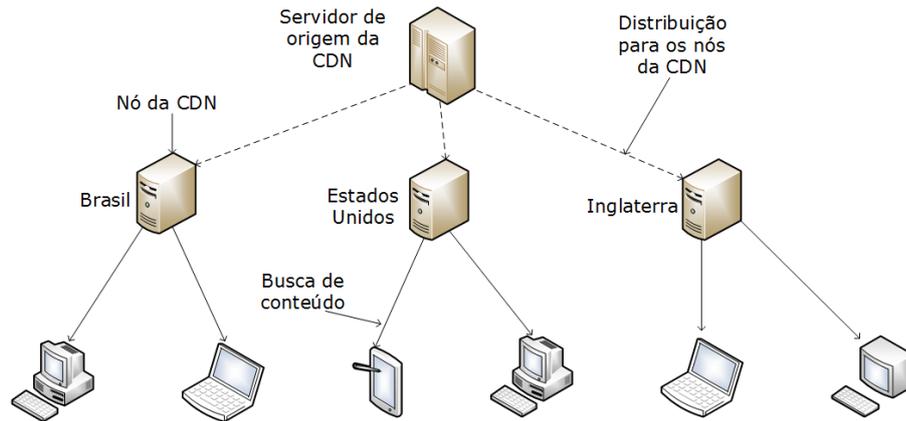


Figura 1 – Árvore de distribuição da CDN.

por cada parte da rede apenas uma vez, reduzindo os custos dos provedores.

Para que a distribuição dos clientes em árvores funcione, é usada uma técnica chamada de redirecionamento de DNS [33]. Se um cliente deseja buscar conteúdo localizado no endereço *http://www.cdn.com/content.ts*, inicialmente ele usa o protocolo DNS para descobrir o servidor responsável pelo endereço *cdn.com*, depois entra em contato com esse servidor e faz uma requisição para resolução do endereço. O servidor de nomes, que é gerenciado pela CDN, não retorna o mesmo endereço para todos os clientes. No exemplo da figura 1, se um cliente no Brasil solicitar a resolução do nome, o IP informado será o do nó da CDN localizado no Brasil, da mesma maneira um cliente localizado nos Estados Unidos irá receber o IP do nó localizado em seu país.

Embora a localização geográfica seja um critério para avaliação do desempenho da rede, ela não é o único parâmetro para definição de distância [33]. O caminho de rede entre o cliente e o servidor deve ser o mais curto e de maior capacidade possível para o nó da CDN. A carga trafegada pelo nó também deve ser avaliada, e um servidor sobrecarregado deve ser evitado, podendo ser necessário balancear a distribuição dos clientes mapeando-os para nós mais afastados porém menos sobrecarregados.

A maioria das empresas não monta sua própria CDN, uma vez que a implementação e manutenção de uma rede desse tipo é bastante dispendiosa. Por esse motivo existem serviços de provedores pagos de CDNs. Esses serviços armazenam conteúdos maiores como arquivos de vídeo, imagens e áudio. As empresas mantêm suas páginas *Web* e as vinculam ao conteúdo armazenado nos provedores de CDNs. Além de melhorar o desempenho nos clientes, essa estratégia diminui a carga nos servidores das empresas responsáveis pelo conteúdo.

Outra vantagem do uso de uma CDN compartilhada acontece no caso dos surtos de demanda conhecidos como *flash crowds* [15]. Tais surtos podem acontecer devido à grandes eventos que façam com que *sites* acostumados a cargas relativamente estáveis

sejam repentinamente o foco de um grande número de clientes. Como a maioria dos *sites* não está preparada para lidar com aumentos maciços no tráfego, o resultado é a falha. Usando uma CDN, um *site* tem acesso a uma capacidade de atendimento de conteúdo muito grande. Se um provedor cliente da CDN estiver experimentando um *flash crowd*, ele pode usar a capacidade da CDN para lidar com essa carga extra temporária, uma vez que ela pode aumentar rapidamente a capacidade de atendimento a um *site*.

O primeiro grande provedor de CDNs, iniciado em 1998 e atual líder de mercado é a Akamai ¹, que fornece distribuição de conteúdo paga para serviços como MSN ², MTV Networks ³, Adobe TV ⁴ e NBA ⁵.

2.2 Redes *Peer-to-Peer*

Em uma arquitetura de rede tradicional no modelo cliente/servidor, os nós da rede possuem características distintas e bem definidas. O cliente faz requisições ao servidor e aguarda respostas. O servidor disponibiliza conteúdo para os clientes e é responsável pelo armazenamento desse conteúdo e do recebimento, processamento e resposta de requisições. Esse modelo possui organização centralizada e fácil gerenciamento, mas o custo para alcançar boa escalabilidade é elevado.

As redes Peer-to-Peer (P2P) são redes descentralizadas e auto organizáveis nas quais cada participante, referido como *peer* ou nó realiza funcionalidades de servidor e cliente simultaneamente [22]. Em geral, os nós de uma rede P2P são computadores pessoais comuns, e não necessariamente servidores de alto desempenho. Diferente das CDNs, não há infraestrutura dedicada e normalmente também não há ponto de controle central, qualquer participante da rede pode realizar as funções de distribuição e recebimento de conteúdo.

Ao contrário dos sistemas do modelo cliente/servidor, o custo para obter boa escalabilidade em redes P2P é baixo. O processamento e o consumo de banda são divididos entre os nós participantes e a rede pode crescer de maneira eficiente, uma vez que todos os *peers* são também provedores de conteúdo. Os nós possuem autonomia para entrar e deixar a rede, mas a estrutura P2P também é mais tolerante a falhas, já que um nó pode assumir o papel de outro nó que tenha saído.

No entanto, a descentralização do sistema torna difícil a administração e um provedor de conteúdo pode não ser capaz de determinar o modo como o conteúdo é propagado na rede. Vírus e *malwares* em geral também podem ser transmitidos na arquitetura P2P, e é difícil estabelecer a autenticidade dos dados trafegados [36].

¹ <http://www.akamai.com>

² <http://www.msn.com>

³ <http://www.viacom.com/brands/pages/mtv.aspx>

⁴ <http://tv.adobe.com>

⁵ <http://www.nba.com>

2.2.1 Distribuição de vídeo *Peer-to-Peer*

A arquitetura P2P oferece infraestrutura de baixo custo, alta disponibilidade e que permite que os próprios participantes sejam responsáveis por repassar os dados. Dessa forma é mais do que natural usar esse sistema para transmissão de arquivos grandes, como conteúdos de vídeo.

Existem duas formas de transmissão de vídeo: sob demanda (*video-on-demand* ou VOD), quando o conteúdo já está pré-armazenado e codificado; e ao vivo, que é transmitido e visualizado logo depois de ser produzido. Em uma transmissão sob demanda o conteúdo está disponível para ser consumido a qualquer momento. O usuário pode executar ações como pausar, retomar, avançar e retroceder a transmissão. *Sites* como Youtube ⁶ e Netflix ⁷ realizam esse tipo de transmissão.

Nas transmissões ao vivo, foco deste trabalho, o conteúdo é consumido à medida em que é produzido. Os pacotes da mídia tem tempo de vida pequeno e devem chegar ao receptor em tempo hábil para serem reproduzidos [38]. Ao contrário das transmissões sob demanda, transmissões ao vivo ocorrem em tempo real e por isso devem ter início rápido e a menor percepção de atraso possível do espectador. Outra questão importante é a sincronia entre os *peers*, que devem receber o mesmo conteúdo. Hei et al.[11] e Huang et al. [12] discutem propostas para distribuição de vídeo ao vivo usando sistemas P2P.

De forma simples, um sistema de distribuição de vídeo P2P pode ser organizado conforme duas topologias principais: Baseada em árvore e baseada em malha.

Nas redes em árvore, a estrutura é hierárquica e a origem da informação está na raiz da árvore. Os dados são transmitidos de nó pai para nó filho sem que estes tenham necessariamente feito uma requisição, como é mostrado na figura 2. Esse mecanismo de encaminhamento automático, chamado *push*, é realizado em todos os nós da rede e garante que o conteúdo será transmitido da raiz até as folhas da árvore.

O principal problema do uso dessa arquitetura para distribuição de vídeo é sua baixa tolerância à dinamicidade inerente às redes P2P, onde os nós podem entrar e sair a qualquer momento, uma característica denominada *churning*. Caso haja a saída de um nó que não seja folha, a árvore precisa ser reconstruída para que o fluxo de transmissão continue. Outro problema é que um nó próximo à raiz que sofra limitações de banda pode se tornar um gargalo do sistema. Por fim, a capacidade de *upload* dos nós folha é desperdiçada nessa arquitetura. Janotti et al. [13] e Moraes et al. [23] apresentam sistemas que utilizam a topologia em árvore.

Na topologia em malha o nó de origem do conteúdo divide um fluxo de vídeo em partes chamadas *chunks* que são distribuídas pela rede de maneira aleatória, sem um fluxo

⁶ <http://www.youtube.com>

⁷ <http://www.netflix.com>

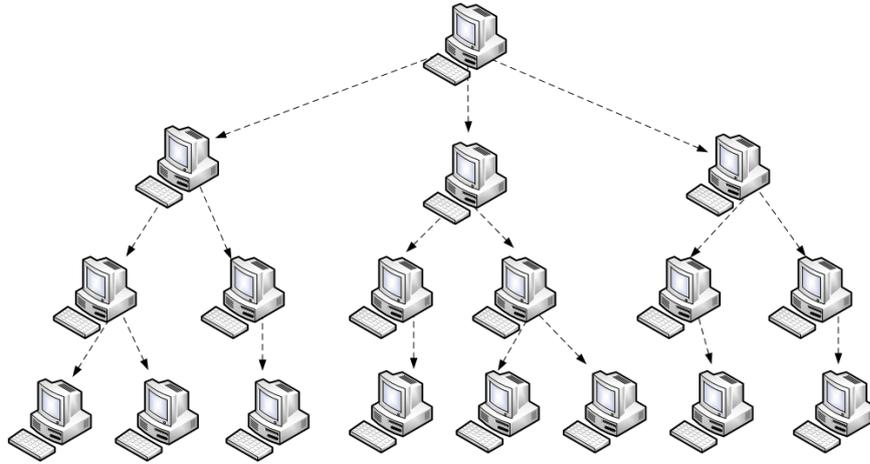


Figura 2 – Arquitetura P2P em Árvore.

específico de transmissão de conteúdo [3]. Através de um mapa de *chunks*, cada nó informa aos seus parceiros qual parte do conteúdo ele possui. O conteúdo é transmitido de acordo com a demanda dos nós, através de um mecanismo orientado a requisições chamado *pull*. É possível também transmitir o conteúdo através do método *push*, basta que os vizinhos conheçam as necessidades uns dos outros.

Se comparada à topologia em árvore, essa estrutura é mais resistente ao *churning*, já que a dependência entre parceiros é menor [9]. Além disso, todos os participantes contribuem com sua banda de *upload*, diminuindo a possibilidade de existência de gargalo relacionado à largura de banda.

Os principais sistemas P2P de transmissão de vídeo ao vivo como SopCast ⁸, PPStream ⁹ e PPLive ¹⁰ usam a topologia em malha [23].

Embora a arquitetura P2P possa parecer ideal para transmissão de grandes volumes de dados, incluindo a transmissão de vídeo ao vivo, alguns problemas impediram uma maior popularização no uso desse sistema. O atraso no início da transmissão devido à necessidade de propagação do conteúdo na rede pode chegar às dezenas de segundos [19] e a capacidade baixa de *upload* dos *peers* também afeta a qualidade de experiência geral dos usuários, uma vez que a maioria dos sistemas de *streaming* P2P suporta taxas de codificação de vídeo de apenas até 400Kbps [19]. Caso apenas um número pequeno de nós esteja interessado em determinado conteúdo, sua disponibilidade e qualidade também

⁸ <http://www.sopcast.org>

⁹ <http://www.pps.tv>

¹⁰ <http://www.pptv.com>

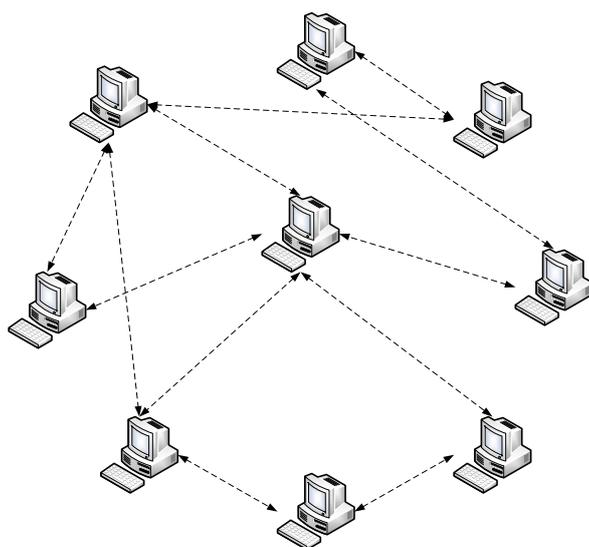


Figura 3 – Arquitetura P2P em Malha.

são reduzidas. Por fim, a arquitetura P2P gera um grande prejuízo para os provedores de Internet (ISPs), uma vez que o custo tráfego de *download/upload* de seus clientes é totalmente absorvido pelos ISPs.

2.3 Anycast

Os principais e mais usados protocolos de roteamento da Internet se baseiam em um esquema de tráfego ponto a ponto chamado de *Unicast* [18]. Nesse modelo, a cada nó da rede é atribuído um endereço IP único e a comunicação flui sempre entre um par de emissor e receptor. Dois computadores não podem ser configurados com o mesmo IP em uma rede *Unicast*.

Através das tabelas de roteamento, os roteadores mantêm mapeados todos os IPs do mundo e as rotas mais curtas entre eles. Os pacotes são trafegados entre roteadores cada vez mais próximos do destino final até que cheguem no endereço para o qual foram enviados. Esse caminho pode ser verificado através da ferramenta Traceroute ¹¹.

Usando *unicast*, um emissor se comunica com exatamente um receptor (figura 4). Se um emissor deseja enviar mensagens para múltiplos receptores, será necessário enviar múltiplas mensagens *unicast*, cada uma endereçada a um destinatário específico, sendo necessário que o emissor conheça os endereços IP de todos os receptores.

Para transmitir dados para vários usuários pode ser usado o modo de transmissão de *broadcast*. Nesse modo é usado um endereço IP específico para identificar todos os nós

¹¹ <http://www.traceroute.org>

de uma rede. Se um pacote está endereçado a um IP de *broadcast*, todos os nós conectados à rede irão recebê-lo (figura 5). Como o uso de *broadcast* pode impactar no desempenho da rede devido ao grande número de pacotes trafegados, não há implementação e uso desse esquema a nível de Internet.

No caso de aplicações em tempo real com múltiplos participantes divididos em grupos de tamanhos razoáveis, tanto o uso de *Unicast*, quanto o uso de *Broadcast* é dispendioso e ineficiente [33]. Especificamente para a transmissão de vídeo ao vivo, a melhor alternativa é o uso do *Multicast*.

O *multicast* identifica grupos lógicos de computadores de maneira que uma mensagem única pode ser enviada para todo o grupo (figura 6). Nesse esquema, os roteadores usam o protocolo de gerenciamento de grupos da Internet (IGMP [7]) para identificar os grupos e seus membros e repassar as mensagens para suas respectivas subredes. Não é necessário que os roteadores armazenem informações sobre todos os membros de um grupo *multicast*, basta que eles saibam que ao menos um membro do grupo está em determinada rede.

Cada nó da rede pode pertencer a diversos grupos *multicast* e podem entrar e sair do grupo a qualquer momento. Os grupos são identificados por endereços IP especiais na faixa entre 224.0.0.0 e 239.255.255.255.

Embora existam vários métodos de uso desse esquema de roteamento [8, 24, 37], ele ainda não está amplamente implementado na Internet.

Por fim, como alternativa a esses modos de transmissão, muitos sistemas de vídeo ao vivo usam *anycast*. Esse nome é dado à prática de tornar um único serviço disponível em dois ou mais lugares diferentes. O serviço deve ser consistente ao tratar uma requisição, independente do local escolhido pelo sistema de roteamento [2].

No *anycast* é usada uma técnica de endereçamento e roteamento na qual pacotes de um único emissor são roteados para os nós topologicamente mais próximos em um grupo de potenciais receptores (figura 7).

A figura 8 mostra um exemplo do uso do *anycast*, no qual os servidores DNS “A”, “B” e “C” respondem pelo endereço 10.10.10.10. Um cliente configurado para usar esse endereço para a resolução de nomes pode solicitar o serviço de qualquer um desses servidores, entretanto o roteamento usando *anycast* fará os pacotes trafegarem pelo roteador “R1” até o servidor “A”, que é aquele topologicamente mais próximo do cliente. Se houver falha no roteador “R1” ou no servidor “A”, os pacotes do cliente serão automaticamente roteados para “R2” e “R3”, e assim por diante. Adicionalmente, “A” será removido das tabelas de roteamento e só voltará a ser usado quando estiver reestabelecido.

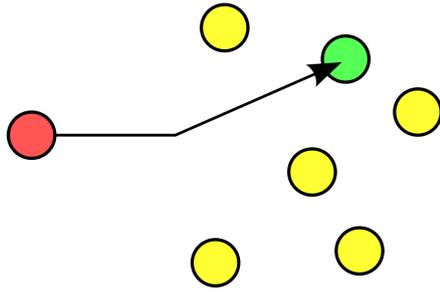


Figura 4 – Unicast.

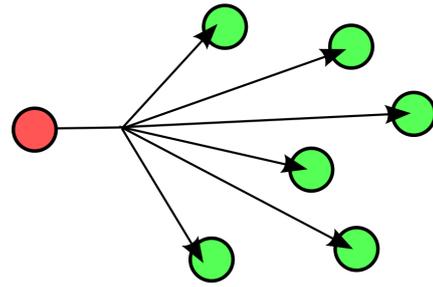


Figura 5 – Broadcast.

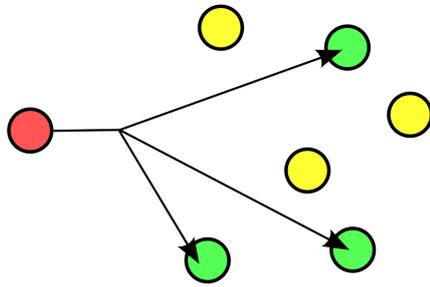


Figura 6 – Multicast.

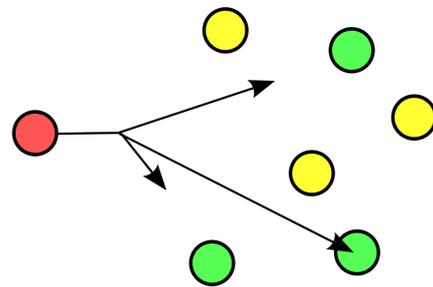


Figura 7 – Anycast.

Esse modo de transmissão possui diversas aplicações em potencial. Partdridge et al. [27] propõe o uso de *anycast* para a descoberta da localização de um serviço e configuração automática de endereço de DNS em *hosts*. Por exemplo, um usuário baixando um arquivo via FTP não precisa escolher manualmente o melhor servidor disponível se um conjunto de servidores espelhados estiver configurado com um mesmo endereço *anycast* [16]. Da mesma forma, um endereço *anycast* pode ser configurado como endereço lógico de um servidor DNS, possibilitando dessa forma a configuração automática dos *hosts* independente de sua localização.

A implementação do *anycast* não é trivial, mas seu uso possui vantagens como: diminuição da latência devido à proximidade entre cliente e servidor; resiliência de rede, uma vez que o sistema é tolerante à falha individual de seus nós; maior gerenciamento se comparado às redes P2P; menor custo se comparado à CDN e facilidade de implantação se comparado ao *multicast*.

2.4 *Streaming* Dinamicamente Adaptável - DASH

Atualmente, a maioria dos servidores de *streaming* de vídeo, como os servidores do Globo.com, YouTube e Netflix, entregam conteúdo usando HTTP. O uso de HTTP traz consigo a flexibilidade inerente desse ambiente e supera limitações de sistemas de

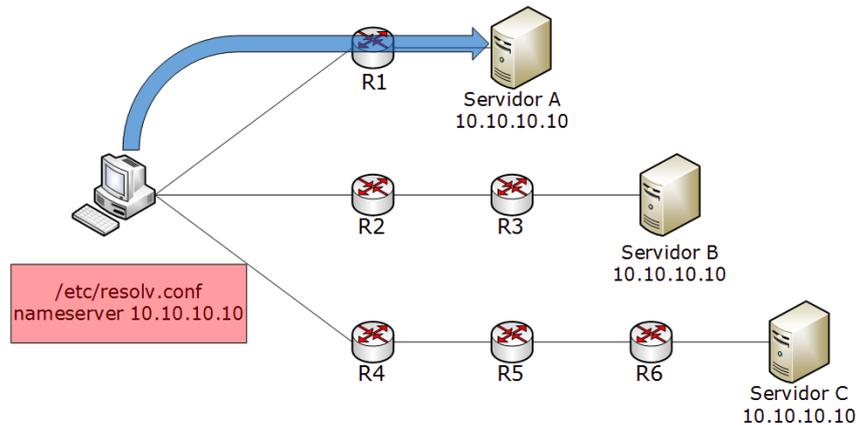


Figura 8 – *Anycast* DNS.

streaming em P2P. Por exemplo, transmissão por HTTP requer somente um navegador padrão para visualizar conteúdos de vídeo, sem necessidade de *software* adicional, estando assim disponível em múltiplas plataformas como *Smart TVs*, *Smartphones* e *Tablets*. Além disso, não é necessário manter portas adicionais além das portas TCP ou UDP padrões abertas em *firewalls* e NATs [32].

Tais sistemas podem disponibilizar múltiplas taxas de codificação com diferentes níveis de qualidade usando *Dynamic Adaptive Streaming over HTTP* (DASH ou MPEG-DASH [32]). O DASH funciona dividindo o conteúdo de mídia em sequências de pequenos segmentos de arquivos, cada um contendo um intervalo curto de transmissão de conteúdo de mídia. O conteúdo é disponibilizado em uma variedade de taxas de codificação e enquanto é executado o cliente automaticamente seleciona entre as alternativas disponíveis o próximo segmento a ser baixado e executado com base nas condições da rede local. O cliente seleciona o segmento com maior taxa de codificação possível de ser baixado sem que haja atraso na transmissão da mídia. Dessa forma um cliente DASH pode adaptar a execução da mídia de maneira transparente recebendo a transmissão em uma boa qualidade com menos travamentos.

A transmissão de um evento ao vivo pela Internet não ocorre estritamente em tempo real. É possível observar na figura 9 que é necessário um pré-processamento envolvendo a codificação dos dados de som e imagem. A partir dessa codificação, o DASH divide o arquivo de mídia em múltiplos segmentos de diversas qualidades e gera arquivos de índice em formato *.m3u8*, também chamados de listas de reprodução (figura 10).

Para receber o conteúdo, os clientes primeiro solicitam a lista de reprodução

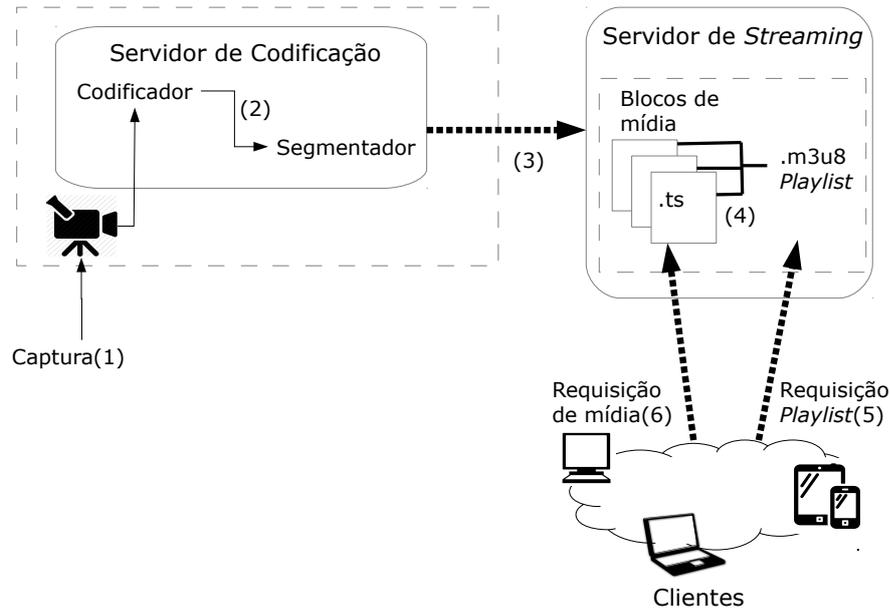


Figura 9 – Codificador e segmentador de vídeo.

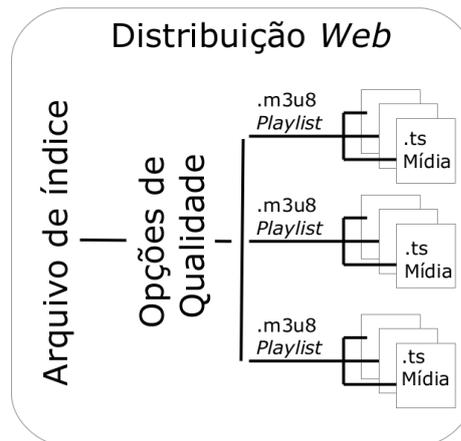


Figura 10 – Múltiplas qualidades.

referente a ele e então solicitam segmentos da mídia. Cada vez que um segmento é recebido, o cliente pode acessar o servidor e fazer uma nova requisição. O cliente controla a taxa de codificação (e a qualidade da mídia) requisitada ao servidor de acordo com os recursos de rede disponíveis localmente.

2.5 Arquitetura do Sistema Monitorado

A arquitetura do sistema de transmissão de vídeo ao vivo do provedor de conteúdo Globo.com, monitorado nesse trabalho, utiliza *Anycast* e DASH.

Como mostramos na figura 11, a infra-estrutura de *streaming* ao vivo possui dois pontos de presença (PoPs) em duas cidades pólo do Brasil: Rio de Janeiro e São Paulo.

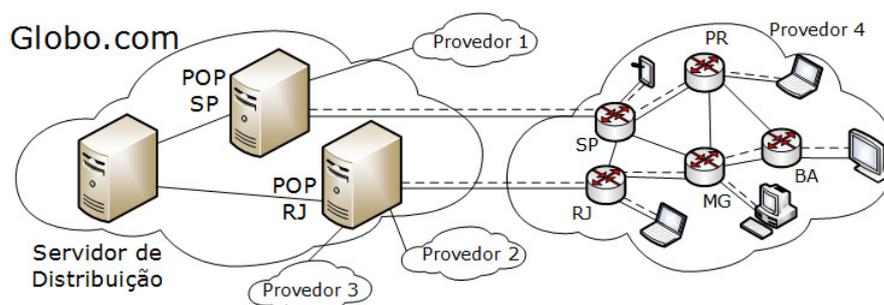


Figura 11 – Arquitetura do sistema monitorado.

Em cada um desses pontos de distribuição, o provedor de conteúdo é conectado a um ponto de troca de tráfego (PTT) local e a várias redes comerciais. As requisições recebidas em um ponto de distribuição são balanceadas entre os diversos servidores disponíveis em cada um dos pontos de distribuição.

No caso dos servidores do Globo.com, um prefixo IP é anunciado a partir de múltiplos locais e o servidor DNS decide para qual PoP encaminhar cada cliente, considerando a configuração dos protocolos de roteamento e possivelmente a disponibilidade do servidor anunciante [3]. Dessa forma, o cliente ao acessar o endereço `http://www.globo.com` pode ser roteado para o PoP localizado no Rio de Janeiro ou para o PoP localizado em São Paulo, de maneira transparente e otimizando o tráfego.

O sistema de transmissão de vídeo do Globo.com já foi utilizado para transmissão ao vivo de vários eventos de grande escala, como a Copa das Confederações, Copa do Mundo, Rock in Rio e várias edições do Big Brother Brasil.

2.5.1 Servidor Web Nginx

Os servidores do Globo.com executam o Nginx ¹², um servidor *Web* de alto desempenho desenvolvido para tratar o problema C10K ¹³.

Em comparação com o Apache ¹⁴, servidor *Web* de código aberto mais tradicional e amplamente usado na Internet, o Nginx se destaca por consumir menos memória e suportar melhor altas cargas de trabalho. Isso acontece, porque o Apache cria processos e *threads* para gerenciar conexões. Mais especificamente, para cada nova conexão é criada uma nova *thread*. Por isso, embora seja possível configurar o número máximo de processos, essa configuração vai ser limitada de acordo com a memória e a capacidade de processamento disponível no sistema. Muitos processos podem potencialmente consumir toda a memória RAM, fazendo o servidor usar espaço de *swap* em disco, o que diminui drasticamente o desempenho. Nesse caso, o Apache pode ainda ser configurado de forma a recusar conexões

¹² <http://nginx.org/>

¹³ <http://www.kegel.com/c10k.html>

¹⁴ <http://httpd.apache.org/>

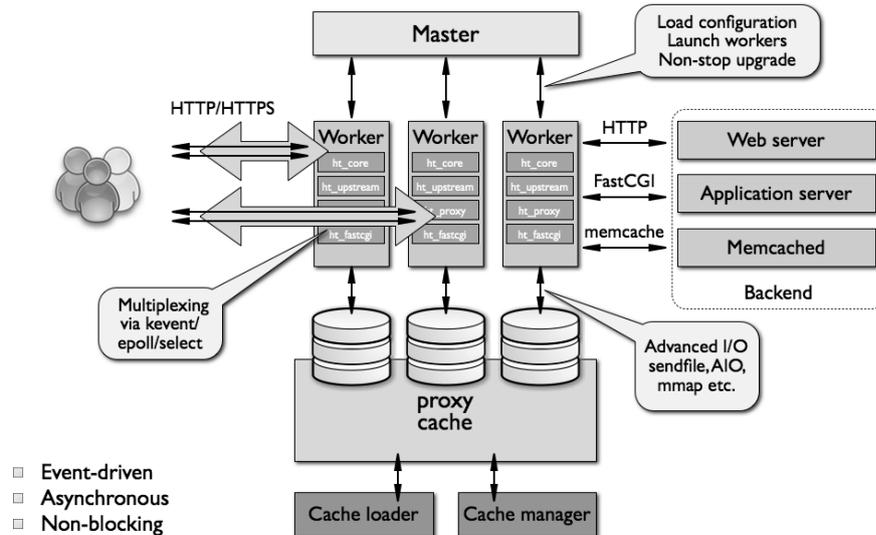


Figura 12 – Arquitetura de um Servidor Nginx.

adicionais, tornando o serviço indisponível para novos clientes.

O Nginx funciona de maneira diferente do apache em relação à manipulação de *threads*. Ao invés de criar novos processos para cada requisição, são configurados processos "trabalhadores" (*workers*) para cada processo principal do Nginx (Em geral um processo trabalhador para cada CPU). Cada um desses processos usa somente uma *thread* e pode gerenciar milhares de conexões. Esse gerenciamento é feito de maneira assíncrona com apenas uma *thead*, não usando programação *multi-thread*.

A figura 12¹⁵ mostra o uso de três processos *workers* derivados do processo *master* do servidor. O Nginx pode atuar como servidor *Web*, servidor de aplicação e *cache proxy*, e possui integração com funções do kernel Linux e Windows.

A versão 2.4 do Apache inclui o módulo MPM event, que gerencia alguns tipos de conexões de maneira assíncrona, similar ao Nginx. Entretanto, esse módulo ainda cria novos processos à medida que novas conexões vão surgindo; a diferença é que o uso de memória é mais eficiente já que são criadas menos *threads*.

Publicado em 2004, o Nginx já é responsável por 12,4% (22,2 milhões) dos servidores web ativos em Junho de 2015¹⁶, incluindo serviços de alta visibilidade como Netflix, Hulu, Pinterest, WordPress.com e GitHub.

¹⁵ <http://www.aosabook.org/en/nginx.html>

¹⁶ <http://news.netcraft.com/archives/2015/06/25/june-2015-web-server-survey.html>

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Com o crescimento da Internet, também observamos um crescimento em sua complexidade. Eventos antes bem compreendidos podem não corresponder à realidade atual, face a escala que estes podem tomar. Por exemplo, há menos de 10 anos, grandes eventos de mídia ao vivo alcançavam cerca de 3,5 milhões de requisições de usuários em um período de quatro semanas [35]. Hoje em dia, uma única transmissão, como a final de um campeonato de futebol, ou o discurso de um presidente, pode atrair a atenção de dezenas de milhões de usuários em menos de uma hora ¹.

Um dos primeiros trabalhos a caracterizar transmissões de vídeo ao vivo na Internet, em 2002, foca no comportamento dos usuários que assistiam às transmissões [35]. Especificamente, os autores analisaram a transmissão de um canal ao vivo na Internet e modelaram características dos seus usuários, como por exemplo, o tempo que eles permaneciam assistindo à transmissão ao vivo. Diferentemente daquele trabalho, em nosso trabalho estamos interessados em características do tráfego e seu impacto nos servidores dos provedores de conteúdo.

Seguindo essa mesma linha, em 2004 Sripanidkulchai e Maggs [31] fazem uma caracterização de um sistema de transmissão de mídia ao vivo através de uma grande rede de distribuição de conteúdo. Num período de três meses foram coletadas 70 milhões de requisições para 5000 conteúdos de mídia distintos em mais de 200 países, em um dos trabalhos de maior extensão até a presente data. No entanto, das requisições analisadas, apenas 1% eram de conteúdo em vídeo e 7% de todo o conteúdo disponível era desse tipo.

Grande parte das soluções para transmissão ao vivo na Internet utilizam distribuição em redes com arquitetura descentralizada (e.g., redes Par-a-Par, ou P2P) para melhorar sua escalabilidade. Por consequência, há uma série de trabalhos que avaliam tais sistemas e seus usuários [4, 11, 14, 21]. Nesses trabalhos, os autores focam no comportamento dos usuários e no desempenho da rede.

Nesses trabalhos são apresentados conceitos de arquitetura dos sistemas de transmissão de vídeo ao vivo. Os problemas técnicos e questões econômicas envolvidas na implantação de um serviço de transmissão P2P são discutidos por Jiangchuan et al. [14]. Marfia et al. [21] apresentam as principais soluções do mercado para transmissão P2P e discutidos quais são os melhores para uso em sistemas de IPTV.

Alguns desses trabalhos mostram que existem eventos de grande interesse que foram transmitidos em arquitetura P2P. Em alguns casos, os sistemas atenderam quase 200 mil usuários simultâneos [11], mas a maioria não apresenta caracterizações de sistemas reais de transmissão ao vivo.

¹ <http://gigaom.com/2009/02/07/cnn-inauguration-p2p-stream-a-success-despite-backlash/>

Mais recentemente, Chen et al. [4] fazem uma caracterização da distribuição do tempo de audiência de diferentes vídeos em um sistema P2P de vídeo sob demanda, com base em dados coletados de 100 milhões de sessões de *streaming* de 100 mil vídeos armazenados diferentes.

O sistema que avaliamos, assim como a maioria dos sistemas de transmissão de vídeo atuais (e.g. YouTube, Netflix, Twitcam), não utiliza distribuição P2P, optando pela simplicidade do *streaming* por HTTP. Apesar dessa simplicidade, os problemas de escalabilidade devem ser trabalhados, o que motiva estudos de caracterização de carga para o adequado provisionamento de capacidade.

Também com foco em grandes eventos, Erman e Ramakrishnan [6] fazem uma caracterização do tráfego de dados de usuários presentes no *Superbowl* de 2013, o maior evento esportivo dos Estados Unidos. Os autores observam que aproximadamente 20% do tráfego total durante o evento foi de *streaming* de vídeo, sendo a transmissão ao vivo do jogo responsável por 72% desse tráfego. Porém, ao contrário do nosso trabalho, eles avaliam apenas a parcela do tráfego que passa por uma rede de telefonia celular com aproximadamente 75 mil usuários. Além disso, eles analisam todo o tipo de tráfego, não só o *streaming* de vídeo.

Outros trabalhos focam a caracterização e modelagem do comportamento de usuários em sistemas de transmissão sob demanda de vídeo pré-armazenado. Por exemplo, alguns estudos abordaram propriedades do comportamento e padrões de interação destes usuários. Costa et al. [5] e Rocha et al. [28] avaliam os perfis de uso, com foco na interatividade do sistema por parte dos usuários, caracterizando por exemplo, o tempo de permanência e o padrão de execução das mídias.

Ainda sobre vídeo pré-armazenado, Gill et al. [10] analisaram, durante um período de três meses, o tráfego do maior provedor de conteúdo sob demanda da Internet. Embora o principal foco do trabalho fossem os padrões de acesso e comportamento dos usuários, ainda foram propostas soluções para diminuir a carga do provedor entregando uma melhor experiência para os usuários.

Transmissões ao vivo, um dos focos do trabalho atual, têm características inerentemente diferentes de transmissões sob demanda. Logo, consideramos os esforços nesta direção complementares ao nosso. Entretanto, apesar de existir uma série de trabalhos que estudam, caracterizam e modelam aspectos de transmissão de vídeo ao vivo na Internet, poucos focam no impacto gerado por grandes eventos. Mais ainda, a maioria dos trabalhos é voltada para a análise do comportamento dos usuários. Neste trabalho nós focamos na carga imposta aos servidores e na qualidade de serviço aos clientes.

4 CONJUNTO DE DADOS E METODOLOGIA

Neste capítulo apresentamos o conjunto de dados analisado e a metodologia usada para obtenção dos resultados deste estudo. Na seção 4.1 fazemos uma breve introdução sobre a Copa das Confederações de 2013, apresentando os jogos analisados e o resumo da quantidade de clientes e volume de dados trafegado. Da mesma forma, na seção 4.2 apresentamos as principais informações e resultados relativos à Copa do Mundo de 2014. Descrevemos o formato dos dados recebidos e a metodologia adotada para obtenção dos resultados do trabalho na seção 4.3.

4.1 Dados da Copa das Confederações 2013

A Copa das Confederações é um torneio de futebol masculino preparatório para a Copa do Mundo e foi realizado no Brasil entre 15 e 30 de Junho de 2013. Oito seleções estiveram presentes no torneio: o anfitrião Brasil, a campeã mundial Espanha e os campeões continentais Itália, Uruguai, México, Japão, Nigéria e Taiti. A competição foi dividida em duas fases. Na primeira fase as oito equipes foram divididas em dois grupos. Na segunda as duas equipes de cada grupo com melhor desempenho se classificaram para uma disputa de semi-final seguida pela disputa de terceiro lugar e pela final. Ao final da competição, a seleção do Brasil sagrou-se campeã.

O evento foi amplamente transmitido por redes de televisão aberta, por emissoras de rádio e pela Internet. Durante o torneio aconteceram 16 partidas. Foram coletados dados durante todos os dias em que ocorreram jogos desse torneio. Entretanto, focamos nossas análises no período entre uma hora antes e uma hora depois da ocorrência de cada jogo. Embora haja coleta de dados fora desse período, o volume de tráfego e o número de clientes é insignificante, aproximando-se de zero na maioria dos casos.

A tabela 1 mostra resultados agregados para todo o período monitorado de cada jogo. Analisamos todas os jogos e verificamos que eles receberam a audiência de entre aproximadamente 27.000 e 465.000 IPs únicos. Além disso, durante a transmissão de um único jogo, observamos até 180.000 IPs únicos simultâneos. Observamos também mais de 115 Terabytes transferidos durante o jogo de maior volume de dados trafegados e picos de até aproximadamente 15 Gigabytes/s nesse mesmo jogo. Esta quantidade de clientes e volume de tráfego são mais expressivos que os dados analisados anteriormente em outros trabalhos relacionados como [6, 11, 14, 21, 30].

O nginx (seção 2.5.1) permite o uso de identificadores de sessão em seus *logs*. Entretanto, a equipe técnica do Globo.com nos informou que o identificador de sessão foi desabilitado nos servidores durante a maior parte dos jogos. Como não é possível identificar sessões de usuários através dos *logs* em todos os jogos (i.e., identificar quais requisições correspondem à exibição de um vídeo para um usuário), consideramos que

cada IP seja referente a um cliente. Notamos que esta abordagem pode subestimar a quantidade de usuários assistindo às transmissões em redes com NAT.

Tabela 1 – Resumo dos *logs* da Transmissão da Copa das Confederações.

Data	Hora	Jogo	IPs Únicos (Milhares)		
			RJ	SP	Total
15/06 - Sáb	16h	Brasil x Japão	93	149	242
16/06 - Dom	16h	México x Itália	38	84	122
16/06 - Dom	19h	Espanha x Uruguai	33	82	115
17/06 - Seg	16h	Taiti x Nigéria	72	114	186
19/06 - Qua	16h	Brasil x México	157	309	466
19/06 - Qua	19h	Itália x Japão	70	112	182
20/06 - Qui	16h	Espanha x Taiti	94	173	267
20/06 - Qui	19h	Nigéria x Uruguai	37	68	105
22/06 - Sáb	16h	Japão x México	10	17	27
22/06 - Sáb	16h	Brasil x Itália	61	110	171
23/06 - Dom	16h	Nigéria x Espanha	33	55	88
23/06 - Dom	16h	Uruguai x Taiti	32	55	87
26/06 - Qua	16h	Brasil x Uruguai	147	293	440
27/06 - Qui	16h	Espanha x Itália	156	230	386
30/06 - Dom	13h	Uruguai x Itália	72	119	191
30/06 - Dom	19h	Brasil x Espanha	126	214	340

4.2 Dados da Copa do Mundo 2014

A Copa do Mundo FIFA de 2014 é o maior e mais importante torneio internacional de futebol masculino. Criada em 1930, a competição acontece a cada quatro anos. A edição de 2014 foi a vigésima e ocorreu entre 12 de junho e 13 de julho. O Brasil, anfitrião da competição pela segunda vez, foi escolhido para receber o torneio no dia 30 de outubro de 2007.

Classificaram-se para a Copa do Mundo 32 seleções que disputaram as vagas em torneios continentais. Durante a Copa aconteceram 64 jogos em 12 cidades-sede espalhadas pelo Brasil. A competição teve uma fase de grupos, seguida por oitavas-de-final, quartas-de-final, semi-finais, disputa de terceiro lugar e final. Ao final da competição, a seleção da Alemanha sagrou-se campeã.

Todos os jogos do evento foram transmitidos por redes de televisão aberta e paga, por emissoras de rádio e pela Internet. Foram coletados dados da transmissão pela Internet durante todos os dias em que ocorreram jogos. Assim como na Copa das Confederações, focamos nossas análises no período entre uma hora antes e uma hora depois da ocorrência de cada jogo devido ao volume de tráfego e quantidade de clientes reduzida fora dessa faixa de horário.

O conjunto de dados referente à Copa do Mundo está resumido na tabela 2. Cada jogo da competição recebeu a audiência de aproximadamente 100 a 700 mil IPs únicos, sendo até 320 mil simultâneos. Observamos também um volume total trafegado de até 300 TB e picos de até 60 GB/s em um único jogo. Os valores observados na Copa do Mundo são consideravelmente superiores àqueles previamente apresentados na Copa das Confederações. Acreditamos que esse resultado era esperado devido à diferença na popularidade e escala dos eventos; entretanto, a diferença de quase 400% na quantidade de clientes e volume de tráfego representou um desafio para o provedor de conteúdo naquele que foi possivelmente o evento transmitido ao vivo pela Internet de maior audiência no Brasil.

Assim como ocorreu durante a Copa das Confederações, não foram usados identificadores de sessão nos *logs* dos servidores nginx. Dessa forma consideramos mais uma vez que cada IP único corresponde a um cliente. Ressaltamos novamente que essa abordagem pode subestimar a quantidade de clientes devido ao NAT. Caso houvesse o identificador de sessão ou não houvesse NAT, a quantidade de clientes únicos seria maior, no entanto nosso estudo da carga do servidor é baseado também no volume de tráfego, que acreditamos ser mais relevante para o provedor e não é afetado pelo NAT.

4.3 Metodologia

Os dados analisados neste trabalho foram retirados de registros de acesso gerados automaticamente pelos servidores nginx do provedor de conteúdo Globo.com durante as transmissões da Copa das Confederações em Junho de 2013 e da Copa do Mundo entre Junho e Julho de 2014. Os arquivos contendo esses registros foram posteriormente armazenados e cedidos para estudo pelo Globo.com.

Devido ao grande volume de dados, foi necessário armazenar os arquivos em formato compactado através da ferramenta *gzip*¹. Os arquivos gerados por essa ferramenta são compactados no formato .gz descrito nas RFCs (*Request for Comments*) 1951² e 1952³. O *gzip* é uma ferramenta eficiente para compactação de arquivos de texto grandes, podendo alcançar taxas de compressão de 70 a 90% nesses arquivos⁴.

Durante a transmissão da Copa das Confederações foram gerados e armazenados 74 GB de arquivos texto compactados, divididos em aproximadamente 25 arquivos por jogo. Já durante a Copa do Mundo, o volume de registros foi bem maior, chegando a somar 1.3 TB de arquivos compactados e em média 80 arquivos por jogo. Os arquivos

¹ <http://www.gzip.org/>

² <https://www.ietf.org/rfc/rfc1951.txt>

³ <https://www.ietf.org/rfc/rfc1952.txt>

⁴ <https://developers.google.com/web/fundamentals/performance/optimizing-content-efficiency/optimize-encoding-and-transfer?hl=en>

Tabela 2 – Resumo dos *logs* da Transmissão da Copa do Mundo.

Data	Hora	Jogo	IPs Únicos (Milhares)		
			RJ	SP	Total
12/06 - Qui	17h	Brasil x Croácia	165	248	413
	13h	México x Camarões	204	275	479
13/06 - Sex	16h	Espanha x Holanda	263	363	626
	18h	Chile x Austrália	249	330	579
14/06 - Sáb	13h	Colômbia x Grécia	87	103	190
	16h	Uruguai x Costa Rica	100	111	211
	18h	Inglaterra x Itália	126	141	267
	22h	Costa do Marfim x Japão	78	85	163
15/06 - Dom	13h	Suíça x Equador	70	76	146
	16h	França x Honduras	96	105	201
	19h	Argentina x Bósnia	105	116	221
16/06 - Seg	13h	Alemanha x Portugal	276	333	609
	16h	Irã x Nigéria	180	219	399
	19h	Gana x Estados Unidos	110	120	230
17/06 - Ter	13h	Bélgica x Argélia	150	204	354
	16h	Brasil x México	109	150	259
	18h	Rússia x Coreia do Sul	68	80	148
18/06 - Qua	13h	Austrália x Holanda	250	323	573
	16h	Espanha x Chile	276	348	624
	18h	Camarões x Croácia	121	135	624
19/06 - Qui	13h	Colômbia x Costa do Marfim	87	91	178
	16h	Uruguai x Inglaterra	110	115	225
	19h	Japão x Grécia	74	80	154
20/06 - Sex	13h	Itália x Costa Rica	185	229	414
	16h	Suíça x França	161	193	354
	19h	Honduras x Equador	60	68	128
21/06 - Sáb	13h	Argentina x Irã	94	106	200
	16h	Alemanha x Gana	95	105	200
	18h	Nigéria x Bósnia	91	100	191
22/06 - Dom	13h	Bélgica x Rússia	50	53	103
	16h	Coreia do Sul x Argélia	61	66	127
	18h	Estados Unidos x Portugal	108	115	223
23/06 - Seg	13h	Austrália x Espanha	289	426	715
	13h	Holanda x Chile			
	17h	Croácia x México	180	244	424
	17h	Brasil x Camarões			
24/06 - Ter	13h	Itália x Uruguai	198	280	478
	13h	Costa Rica x Inglaterra			
	16h	Japão x Colômbia	133	185	318
25/06 - Qua	17h	Grécia x Costa do Marfim			
	13h	Nigéria x Argentina	220	293	513
	13h	Bósnia x Irã			
	17h	Honduras x Suíça	141	176	317
26/06 - Qui	17h	Equador x França			
	13h	Estados Unidos x Alemanha	240	269	509
	13h	Portugal x Gana			
	17h	Coreia do Sul x Bélgica	121	145	266
28/06 - Sáb	17h	Argélia x Rússia			
	13h	Brasil x Chile	113	138	251
	17h	Colômbia x Uruguai	102	107	209
29/06 - Dom	13h	Holanda x México	85	86	171
	17h	Costa Rica x Grécia	105	101	206
30/06 - Seg	13h	França x Nigéria	192	224	416
	17h	Alemanha x Argélia	218	272	490
01/07 - Ter	13h	Argentina x Suíça	303	400	703
	17h	Bélgica x Estados Unidos	190	242	432
04/07 - Sex	13h	França x Alemanha	173	250	423
	17h	Brasil x Colômbia	99	130	229
05/07 - Sáb	13h	Argentina x Bélgica	98	115	213
	17h	Holanda x Costa Rica	128	142	270
08/07 - Ter	17h	Brasil x Alemanha	148	176	324
09/07 - Qua	17h	Holanda x Argentina	280	297	577
12/07 - Sáb	17h	Brasil x Holanda	165	193	358
13/07 - Dom	16h	Alemanha x Argentina	153	185	338

```
111.111.111.111 - [17/Jun/2014:13:00:44 -0300] xxx.yyy.zzz.com GET /aaa/bbb/ccc_264/88ae620f-
f373-5d18-944f-eadf34236d51_3.ts HTTP/1.1 (200) 0.020 s 116560 b
http://endereco.servidorx.com/futebol/copa-do-mundo/temporeal/17-06-2014/belgica-argelia/ - - [HIT] - s -
Mozilla/5.0 (Windows NT 5.1) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/35.0.1916.153 Safari/537.36
```

Figura 13 – Exemplo de linha de arquivo de registro.

foram identificados por data e PoP de origem (Rio de Janeiro ou São Paulo).

Conforme informado pela equipe do Globo.com, devido à exigência da FIFA parte do conteúdo em vídeo das transmissões da Copa do Mundo foi armazenado em formato criptografado. Dessa forma, dos 1.3 TB de dados compactados gerados, aproximadamente 170 GB divididos em 900 arquivos correspondem a registros de arquivos nesse formato. Esses arquivos não foram separados por data e contém dados de todos os jogos da Copa do Mundo. Embora a mídia estivesse armazenada em formato criptografado, o formato dos registros era o mesmo dos arquivos não criptografados, permitindo assim que os dados fossem trabalhados simultaneamente.

Nos arquivos de registros estão contidas informações sobre todas as requisições feitas pelos clientes aos servidores. Essas requisições podem ser de dois tipos: arquivos de lista de reprodução e arquivos de mídia. Os primeiros são menores e solicitados pelos clientes sempre antes das requisições de mídia, em intervalos maiores. Já os últimos podem ser de dois tipos: vídeo ao vivo e vídeo armazenado.

A figura 13 exemplifica uma linha em um arquivo de registro referente a uma requisição de mídia. Entre as informações mais relevantes podemos observar:

- **111.111.111.111**: é o endereço IP do cliente que faz a requisição;
- **[17/Jun/2014:13:00:44 -0300]**: Data, hora e *timezone*;
- **xxx.yyy.zzz.com**: Endereço raiz da localização do arquivo solicitado no servidor;
- **GET /aaa/bbb/ccc_264/***: Tipo de requisição (GET), localização do arquivo e nome do arquivo(*);
- **HTTP 1.1 (200)**: Protocolo usado e código recebido na requisição;
- **0,020 s**: Tempo de resposta da requisição em segundos;
- **116560 b**: Tamanho do arquivo requisitado em *Bytes*;
- **http://endereco.servidorx.com/***: Endereço a partir do qual o cliente acessou o arquivo;
- A parte final é denominada *user agent* e apresenta informações sobre o cliente, mais especificamente sobre o navegador usado.

Tabela 3 – Resumo das configurações dos servidores usados nas análises dos registros.

Servidor	Processador	Memória	Disco
1	AMD Opteron 6238 de 2.0 GHz com 16 núcleos	32 GB	HD de 2.5 TB
2	Intel Xeon X5650 de 2.67 GHz com 6 núcleos	16 GB	HD de 1 TB
3	Intel Core i7 3770 de 3.40GHz com 4 núcleos	32 GB	SSD de 500 GB

Esses registros possuem informações de acesso durante as 24 horas de todos os dias em que aconteceram os dois eventos. Devido à quantidade reduzida de dados relevantes em períodos fora do horário dos jogos, nossas análises foram feitas considerando um período de uma hora antes do início dos jogos até uma hora depois do término do tempo regulamentar.

As principais métricas que buscamos obter foram relacionadas à carga dos servidores durante os jogos. Por exemplo, descobrimos o número de conexões simultâneas, o volume total de dados trafegado, a taxa de transmissão de dados, a duração média de uma sessão e o balanceamento de cargas entre os servidores do provedor.

Dentro das limitações impostas pelo conjunto de dados, obtivemos também métricas relacionadas aos clientes. Nosso principal interesse foi em relação à qualidade do conteúdo recebido, mas também buscamos métricas relacionadas aos principais provedores de acesso e às diferenças na qualidade do acesso por região do Brasil.

As informações sobre localização geográfica foram obtidas através da base de dados Maxmind GeoIP ⁵. Usando essa base fomos capazes de identificar o estado brasileiro em que se localizavam os clientes através da resolução dos IPs. Para a resolução de AS (Autonomous Systems ou Sistemas Autônomos) [33] e consequente descoberta de provedores de acesso usados pelos clientes, usamos a ferramenta *whois.cymru* ⁶.

Para o processamento dos dados foram usados três servidores localizados na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). A tabela 3 resume as configurações dos computadores usados neste estudo. Devido à limitação de espaço de armazenamento, foi necessário trabalhar com os dados compactados. Outra dificuldade associada ao grande volume de dados contidos nos arquivos foi a limitação de memória dos computadores, que fez com que fosse necessário dividir o processamento dos dados na maioria dos casos.

O sistema operacional usado nos computadores foi o Ubuntu Linux versão 12.04 Server ⁷. A extração dos dados dos registros foi feita usando uma combinação de *scripts* desenvolvidos na linguagem *Python* ⁸ versão 2.7 e ferramentas de linha de comando *Unix* ⁹ como *Shell Script*, *AWK* e *SED*.

⁵ <https://www.maxmind.com/pt/geoip2-services-and-databases>

⁶ <http://www.team-cymru.org/IP-ASN-mapping.html>

⁷ <http://www.ubuntu.com/server>

⁸ <https://www.python.org/>

⁹ <http://www.unix.org/>

5 AVALIAÇÃO DE GRANDES EVENTOS NA INTERNET

Neste capítulo apresentamos os resultados da caracterização da transmissão de dois grandes eventos ao vivo pela Internet, a Copa das Confederações 2013 e a Copa do Mundo 2014. Nosso foco principal foi a análise da carga imposta aos servidores do Globo.com. A seção 5.1 mostra esse aspecto da transmissão, com dados como a duração estimada de uma sessão de usuário, a quantidade de IPs únicos que fizeram requisições simultâneas aos servidores, o volume de dados trafegados durante os principais jogos e o balanceamento da carga entre os dois PoPs do provedor localizados no Rio de Janeiro e em São Paulo. Dividimos a caracterização de cada evento em seções separadas. Na seção 5.1.1 mostramos as informações relativas à Copa das Confederações. Já na seção 5.1.2 apresentamos os dados da Copa do Mundo e fazemos uma comparação entre os eventos.

Na seção 5.2 fazemos, com base apenas nos registros dos servidores, uma caracterização dos clientes. Verificamos quais são os principais provedores de acesso dos espectadores dos dois eventos e as diferenças de qualidade da mídia recebida por clientes desses provedores. Além disso buscamos mapear o acesso à Internet por região do Brasil, correlacionando difusão do acesso e qualidade da mídia com IDH da região. A seção 5.2.1 traz os dados referentes à Copa das Confederações, e a seção 5.2.2 mostra os resultados da Copa do Mundo comparando-os com os anteriores.

5.1 Caracterização da carga nos servidores

Nesta seção, apresentamos os resultados da caracterização da carga de trabalho imposta aos servidores durante as transmissões ao vivo dos jogos da Copa das Confederações e da Copa do Mundo. Para analisar a carga nos servidores, caracterizamos a quantidade de conexões atendidas, a taxa de transmissão média e o volume total de dados trafegados pelos servidores.

5.1.1 Copa das Confederações 2013

Entre os registros da Copa das Confederações, apenas os arquivos dos quatro primeiros jogos possuíam identificadores de sessões de usuários. Nesses jogos é possível determinar precisamente o número de clientes conectados ao servidor, independente do uso ou não de NAT na rede. Para os demais registros, realizamos uma estimativa da duração da sessão baseada no tempo entre requisições de arquivos de lista de reprodução. A equipe do Globo.com nos informou que a identificação de sessão foi desabilitada devido a problemas de desempenho.

A figura 14 compara a distribuição acumulada da duração de sessão em um jogo com identificador e a distribuição acumulada do tempo entre chegadas de requisições para listas de reprodução em um jogo sem identificador de sessão. Observamos que ambos os

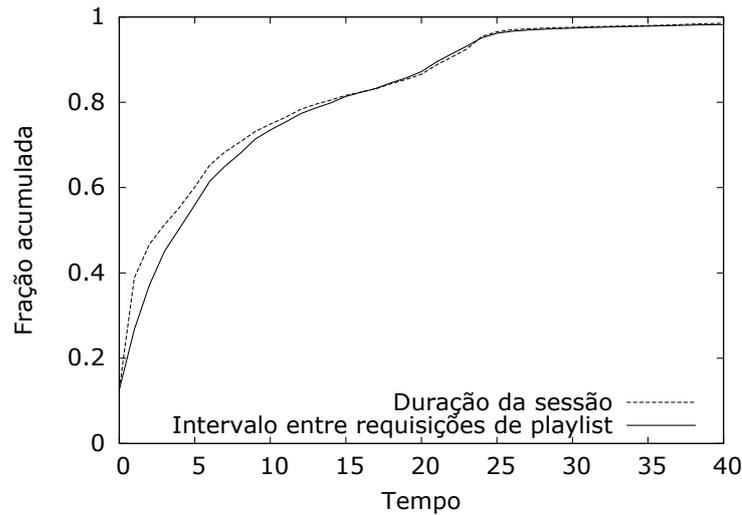


Figura 14 – Distribuição do tempo entre requisições de listas de reprodução e duração da sessão durante a Copa das Confederações.

tempos são semelhantes e, mais ainda, menores que 30 segundos em 99% das requisições. Embora o valor médio do tempo de requisição tenha sido de aproximadamente 4.5 segundos, observamos que clientes fazem requisições de listas de reprodução na escala de segundos. Dessa forma, esperamos que a carga no servidor e qualidade da mídia recebida pelo cliente não variem significativamente em um intervalo de 30 segundos. Além disso, esperamos que cada cliente ativo troque informações com o servidor pelo menos uma vez a cada intervalo de 30 segundos, e.g., para requisitar a próxima lista de reprodução que contém os próximos segmentos de mídia da transmissão ao vivo.

Usamos essas observações para definir que sessões de usuários terminam após 30 segundos sem requisição de listas de reprodução. Por essa razão nós calculamos métricas sobre o estado do sistema num instante de tempo agregando dados em intervalos de 30 segundos (*snapshots*).

Para avaliar melhor a carga dos servidores relativa ao número de conexões de clientes, nós categorizamos os jogos de acordo com o pico de carga, calculado como o máximo de requisições de clientes simultâneas durante cada jogo. A figura 15 mostra os cinco jogos com os maiores picos de sessões simultâneas. Analisamos o período entre uma hora antes do início até uma hora depois do fim do tempo regulamentar do jogo. Destacamos na imagem o início, o intervalo e o final das partidas (já considerando períodos de acréscimo típicos e excluindo partidas que tiveram disputa de pênaltis). Dessas cinco partidas apenas Brasil e Espanha, que fizeram a final do torneio, se enfrentaram em um domingo; todos os outros jogos aconteceram em dias de semana entre 16:00 e 18:00, conforme mostrado na tabela 1.

Observamos que, apesar da diferença do número de clientes, o comportamento deles é bastante similar nesses jogos. Em todos os cinco, a média de espectadores cresce

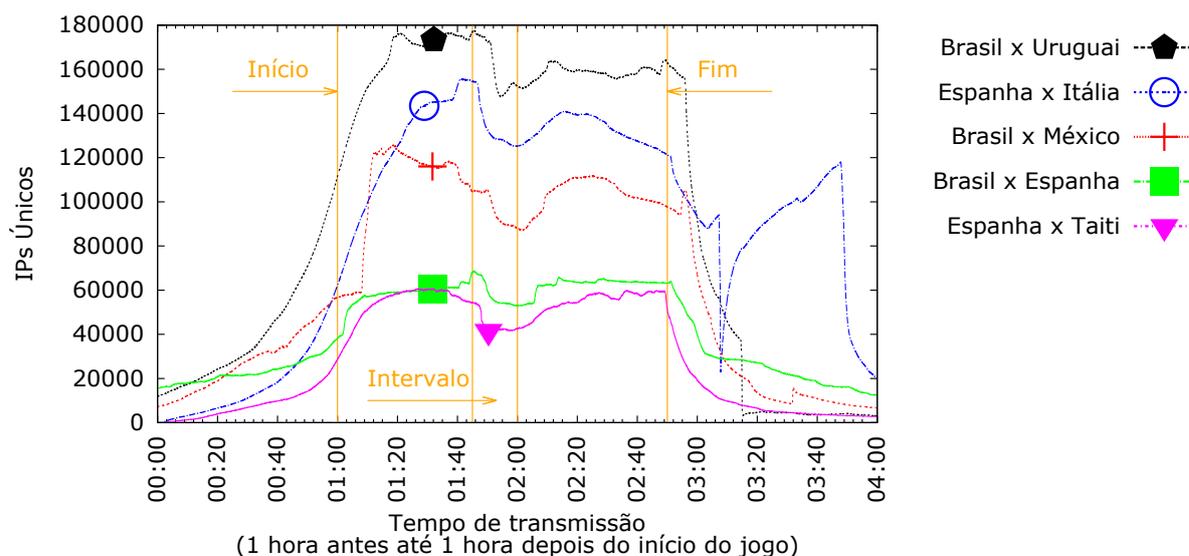


Figura 15 – Cinco jogos com maiores pico de acessos simultâneos durante a Copa das Confederações.

até os 20 primeiros minutos de partida e se mantém relativamente estável até o intervalo do jogo, aos 45 minutos. Da mesma forma, no segundo tempo, a média de usuários cresce nos primeiros 20 minutos e se mantém estável até o final. Por essa razão consideramos que os períodos entre 20 e 45 minutos de cada tempo da partida são os períodos de carga mais estável.

Uma tendência interessante que nós verificamos foi a queda no número de usuários que ocorre entre o primeiro e o segundo tempo. Nos três jogos de maior carga, há uma queda de, em média, 9% entre o número de clientes conectados no período de pico do primeiro tempo e o número de clientes conectados no pico do segundo tempo. Esse foi o comportamento observado na maioria dos jogos. O jogo entre Brasil e Espanha apresentou um crescimento de aproximadamente 1,8% entre o primeiro e o segundo tempo. Observamos alguns jogos com esse comportamento, e podemos restringir a variação normal no número de clientes do primeiro para o segundo tempo nas partidas de média e alta carga dentro do intervalo de -10% a $+2\%$. Vale a pena destacar ainda que o jogo entre Espanha e Itália foi o único entre os cinco de maior volume no qual aconteceram disputas de pênaltis após a duração regulamentar da partida. Por isso, também foi o único a apresentar uma grande quantidade de acessos na última hora do período analisado.

A quantidade de usuários conectados se mantém alta mesmo durante os períodos de intervalo em todos os jogos. Durante esses períodos é feita a transmissão de melhores momentos e comentários da partida, além de propagandas comerciais. Dessa forma, embora haja uma queda no acesso, o provedor continua gerando conteúdo que é consumido pelos clientes.

Observamos que, de fato, a Copa das confederações atraiu um grande número de

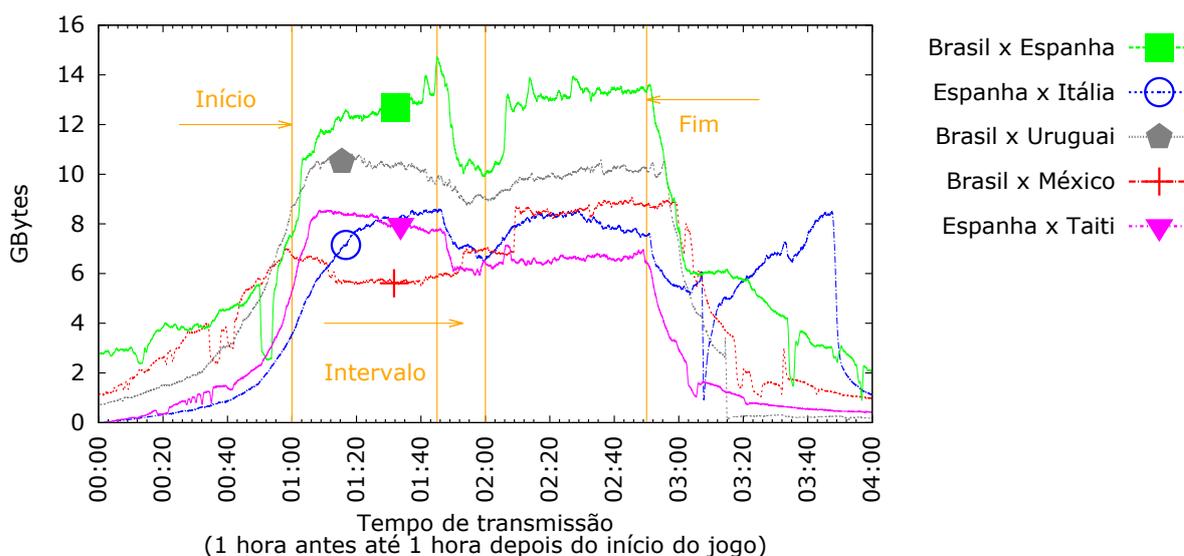


Figura 16 – Cinco jogos com maiores picos de volume de transmissão de dados durante a Copa das Confederações.

espectadores. Isso gerou uma grande carga para os servidores, que tiveram que atender a até aproximadamente 180 mil requisições simultâneas. É possível perceber ainda um maior interesse em jogos do Brasil, o anfitrião e equipe local, e em jogos da Espanha, a então primeira colocada no *ranking* FIFA. Brasil e Espanha tiveram média de 332 e 240 mil IPs únicos por partida, respectivamente. Além disso, todos os jogos entre os cinco com maiores números de espectadores envolveram pelo menos uma das duas equipes.

Analisamos também a carga através do volume de tráfego de dados relativo aos eventos ao vivo. A figura 16 mostra o volume de tráfego para os cinco jogos com maiores picos de volume de dados transferidos. Conforme esperado, na maioria dos jogos o formato da curva de volume de dados é bastante similar à curva de número de usuários. Observamos ainda que, durante o período de transmissão das partidas mostradas na figura 16, incluindo os intervalos, o tráfego foi bastante intenso. Em particular, a taxa de transferência se aproximou de 15 GB/s, nunca sendo menor que 5 GB/s e o total de dados trafegados durante os jogos chegou a aproximadamente 115 TB não sendo menor do que 57 TB.

Notamos que o jogo com maior volume de tráfego de dados (entre Brasil e Espanha) não foi o mesmo com maior quantidade de clientes (entre Brasil e Uruguai). Isso aconteceu porque as opções disponíveis de qualidade da transmissão do vídeo foram reduzidas para que o provedor de conteúdo conseguisse atender à demanda não prevista de clientes. Além disso, o jogo entre Brasil e México apresentou formato de curva diferente se compararmos as figuras 15 e 16. Apesar do número de clientes no segundo tempo de jogo da partida ter sido menor do que no primeiro, o volume de dados trafegados foi maior. Estes resultados indicam que a taxa de transmissão pode variar muito entre jogos e durante um mesmo jogo. Isto implica que a qualidade da transmissão pode ser ajustada ativamente pelo

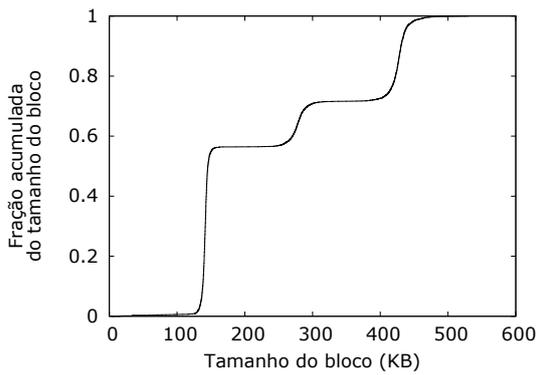


Figura 17 – Distribuição do tamanho dos segmentos de mídia do jogo entre Brasil e Uruguai.

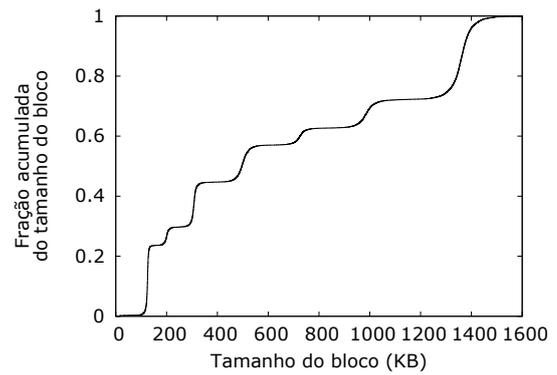


Figura 18 – Distribuição do tamanho dos segmentos de mídia do jogo entre Brasil e Espanha.

provedor de acordo com a carga no servidor.

Para analisar a qualidade de vídeo e áudio fornecidos pelo Globo.com observamos o tamanho médio das requisições de segmentos de mídia de todas as partidas. Omitimos a distribuição geral e focamos em alguns jogos que representam os comportamentos mais comuns. Em geral, observamos que há uma grande variação no tamanho médio de segmentos entre os jogos. Por exemplo, entre os cinco jogos de maiores picos de acessos simultâneos, nos dois primeiros o tamanho dos segmentos é menor. Conseqüentemente, a qualidade da transmissão nesses dois foi menor.

A figura 17 mostra a distribuição do tamanho dos segmentos de mídia transmitidos pelo servidor durante o jogo com maior número de espectadores (entre Brasil e Uruguai). Nesse dia, a transmissão com melhor resolução tinha blocos menores que 500 KB. Em contrapartida, no dia do jogo com maior volume de dados trafegados (entre Brasil e Espanha, figura 18) a qualidade do vídeo é maior, com segmentos de até 1400 KB. A figura 18 mostra que, além de maior taxa de codificação, há um número maior de taxas de codificação disponíveis. Devido a variações de desempenho entre diferentes *codecs* de vídeo, é impossível precisar exatamente qual é a qualidade da mídia que está sendo recebida pelos clientes com base somente no tamanho dos segmentos da mídia.

Destacamos que o tamanho dos segmentos é função da banda disponível no servidor e da banda disponível na rede do cliente. O servidor oferece várias opções de qualidade de mídia e tenta servir sempre a melhor possível. Se não há banda disponível, o servidor deve reduzir a qualidade da mídia e conseqüentemente o tamanho do bloco de vídeo. Por parte dos clientes, se há disponibilidade de banda na rede, a qualidade de mídia solicitada via DASH é maior, recebendo assim blocos de arquivos maiores.

Além dos cinco jogos com maior carga, outro jogo que nos chamou a atenção foi o realizado entre Uruguai e Itália, mostrado na figura 19. Esse jogo, ao contrário dos demais,

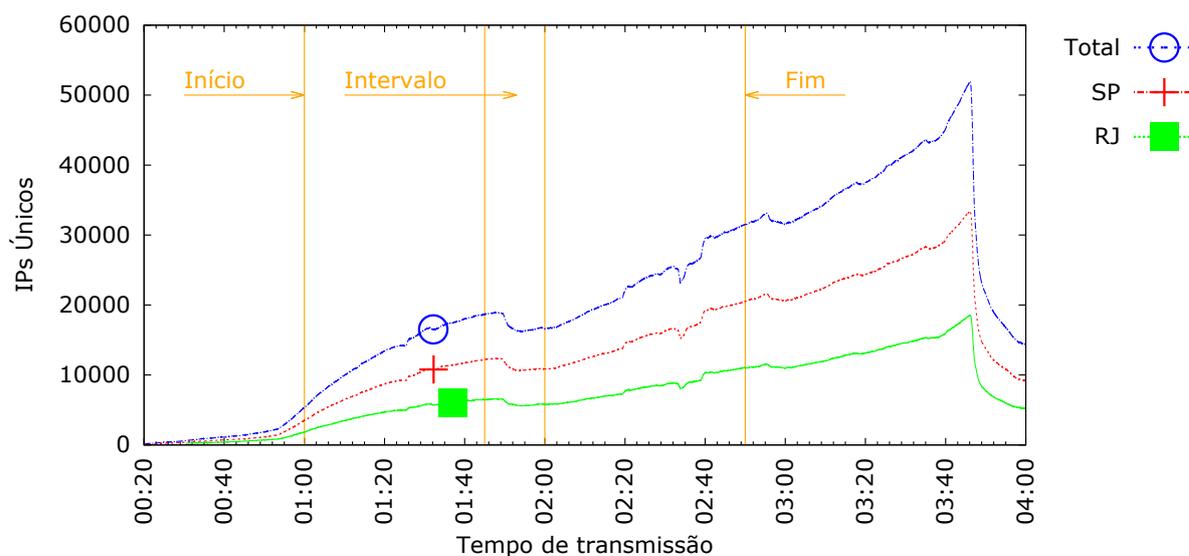


Figura 19 – Quantidade de usuários total e por localização do servidor do jogo entre Uruguai e Itália.

apresentou crescimento da carga ao longo de toda a sua duração. Ressaltamos que essa partida foi a única realizada em um domingo às 13 horas. Portanto, conjecturamos que seu comportamento anormal se deve a essa diferença no horário e dia de transmissão. Devido à curta duração e poucas partidas realizadas durante o campeonato, não há parâmetros de comparação que nos permitam confirmar essa especulação. Notamos que no jogo entre Uruguai e Itália houve disputa de pênaltis e acreditamos que por isso a carga no servidor continuou aumentando após o término do jogo.

Em uma análise mais profunda, dividimos o tráfego durante a transmissão deste jogo recebido pelos dois pontos de distribuição do Globo.com. Nosso intuito foi o de verificar se houve alguma anomalia em algum ponto de distribuição que pudesse impactar na análise como um todo. No entanto, o comportamento foi o mesmo nos dois pontos de distribuição de mídia ao vivo.

Ainda na figura 19 mostramos que o número de clientes conectados aos servidores localizados no Rio de Janeiro é significativamente menor do que nos servidores localizados em São Paulo. Essa diferença aconteceu em todas as partidas, variando entre 70% e 120% de carga extra em São Paulo. É importante observar essa discrepância, uma vez que no planejamento atual do sistema, informado pelo Globo.com, a quantidade de banda disponível nos pontos de distribuição é praticamente a mesma.

5.1.2 Copa do Mundo 2014

Durante o processamento dos dados da Copa do Mundo, verificamos que os arquivos de registro de nenhum dos jogos possuía identificador de sessão, ao contrário do que observamos durante a Copa das Confederações. Isso já era esperado tendo em vista que

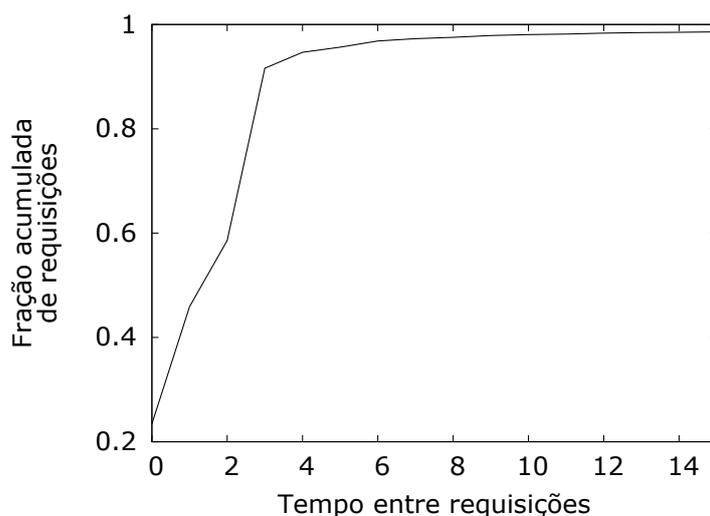


Figura 20 – Distribuição do tempo entre requisições de listas de reprodução durante a Copa do Mundo.

durante a transmissão anterior, essa identificação já havia sido desabilitada. Dessa forma, ficou impossível identificar o número exato de clientes se considerarmos a existência de redes sob NAT.

Diferente do evento anterior, as configurações desta transmissão fizeram com que os tempos entre as requisições de listas de reprodução fossem reduzidos. Verificamos que o intervalo entre as requisições de arquivos de lista de reprodução, como mostrado na figura 20, foi bem menor do que o observado previamente, não passando de 8 segundos em 99% dos casos. Conjecturamos que isso aconteceu porque o número de requisições durante a Copa do Mundo foi muito maior do que durante a Copa das Confederações, acentuando ainda mais o impacto do NAT. Ressaltamos que essa observação não afeta o panorama geral dos nossos resultados, uma vez que o volume de dados não é alterado por essa métrica. A principal implicação dessa diferença entre os dados é que o número total de espectadores pode ter sido maior do que o apresentado neste trabalho.

Observamos ainda em nossos testes que o agrupamento de dados em janelas de intervalos variando entre 10 e 120 segundos apresentavam resultados similares, com diferenças médias abaixo de 10%. Dessa forma, com base em nossos dados anteriores, calculamos métricas sobre o estado do sistema num instante de tempo agregando dados em intervalos de 30 segundos, assim como os dados da Copa das Confederações.

Da mesma forma que na Copa das Confederações, organizamos os jogos da Copa do Mundo conforme os picos de requisições simultâneas de usuários e observamos o intervalo de tempo de uma hora antes e uma hora após o tempo regulamentar dos jogos. A figura 21 agrupa os cinco jogos de maiores picos de acesso destacando o início, intervalo e fim do tempo de jogo.

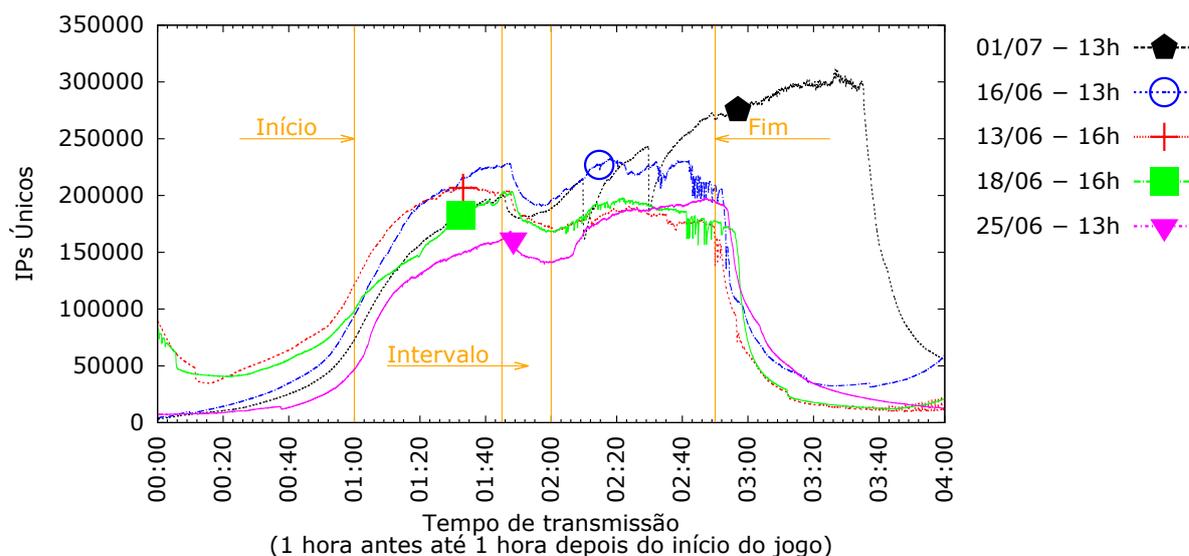


Figura 21 – Cinco jogos com maiores picos de acessos simultâneos durante a Copa do Mundo.

Devido à escala da competição, os jogos aconteceram em diversos horários, no período da tarde e da noite, geralmente iniciando às 13:00, 16:00, 19:00 ou 22:00. Entretanto verificamos que os cinco jogos de maior pico iniciaram às 13:00 ou 16:00, o que coincide com horário comercial.

Muitos jogos aconteceram também simultaneamente, como mostramos na tabela 2. Embora parte dos arquivos de registros possuam identificações claras de a qual jogo a requisição se refere, a maioria não possui esse tipo de identificação e, por isso, agrupamos os jogos por faixa de horário. Entendemos que a visualização da carga geral no período dos jogos é mais importante para o provedor de conteúdo do que a indentificação exata desses jogos.

Diferente da Copa das Confederações, durante a Copa do Mundo todos os jogos foram transmitidos pelo sistema de televisão aberta e durante os jogos do Brasil foi decretado feriado ou horário comercial reduzido em todo o país. Isso se refletiu na redução do interesse pela transmissão dos jogos do Brasil pela Internet. Assim, em nenhum dos horários com maiores picos de acesso foram transmitidos jogos da seleção anfitriã. Os times que mais apareceram nos horários de picos de acesso foram os finalistas Alemanha e Argentina. Na figura 21 mostramos apenas os horários analisados, o detalhamento dos jogos desses horários pode ser visto na tabela 2.

Assim como aconteceu durante a Copa das Confederações, o comportamento dos clientes durante a transmissão da Copa do Mundo foi bastante parecido nas cinco partidas de maiores picos. A média de clientes segue crescente nos primeiros 20 minutos, apresentando queda durante o intervalo e novo aumento durante os 20 minutos iniciais do segundo tempo, sofrendo uma queda rápida após o final dos jogos.

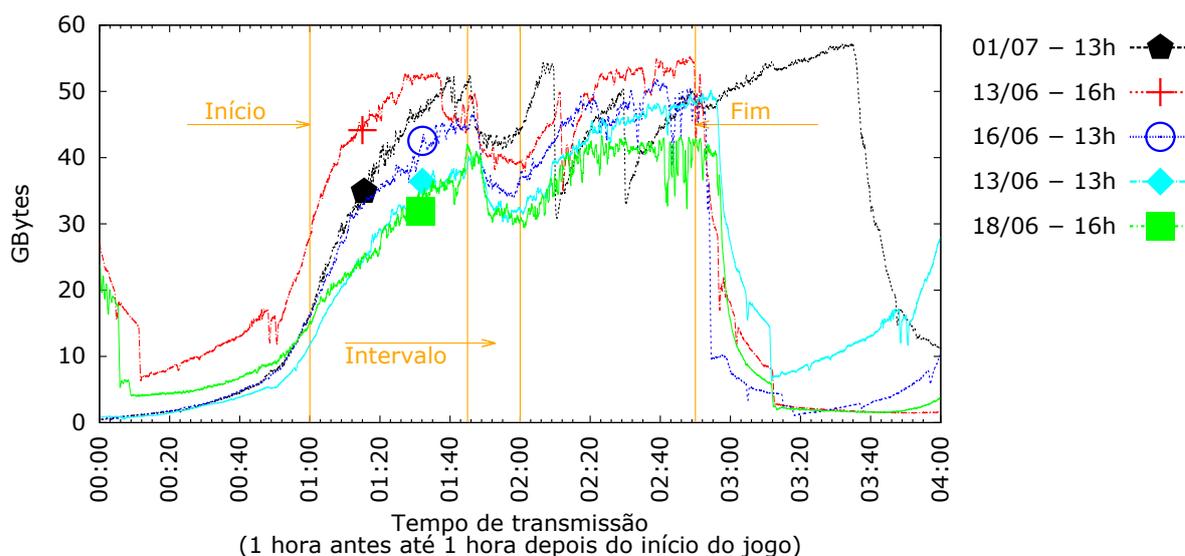


Figura 22 – Cinco jogos com maiores picos de volume de transmissão de dados durante a Copa do Mundo.

Ao contrário dos dados anteriores, não observamos quedas expressivas entre as médias do número de usuários no primeiro e segundo tempos. Em alguns casos observamos aumentos de até aproximadamente 43%. O número de IPs únicos durante os picos também se mantém mais próximo nesse evento, variando aproximadamente 77% entre o primeiro e o quinto jogo de maior pico. Se considerarmos apenas os 90 minutos regulamentares de jogo, essa diferença cai para aproximadamente 47%. A mesma variação entre o jogo de maior pico e o jogo de menor pico, considerando apenas os cinco mais relevantes, durante o evento anterior foi de aproximadamente 200%.

No horário de maior pico, no dia 01/07 às 13:00, aconteceu apenas um jogo entre Argentina e Suíça. Entre os cinco jogos, este foi o único no qual aconteceu uma disputa de prorrogação após o tempo regulamentar e o pico de acesso desse horário (aproximadamente 320 mil requisições simultâneas) aconteceu exatamente durante a prorrogação. Ainda durante esse jogo, observamos duas quedas súbitas na quantidade de IPs únicos, próximo das 2:10 e das 2:30 de transmissão. Verificamos que durante esses períodos houve um aumento de quase 100% no número de requisições que retornaram o código de erro 404¹. Especulamos que pode ter acontecido alguma falha no processo de codificação da mídia ou ajuste por parte do provedor tendo em vista o crescimento constante no número de requisições.

Conforme esperado, a transmissão pela Internet da Copa do Mundo superou o número de espectadores da Copa das Confederações, mesmo concorrendo com a transmissão pelo sistema de televisão aberta. A maior quantidade de requisições simultâneas de clientes

¹ O erro 404, ou Não Encontrado, é uma resposta do protocolo HTTP indicando que o cliente foi capaz de se comunicar com o servidor, mas o conteúdo requisitado não foi encontrado.

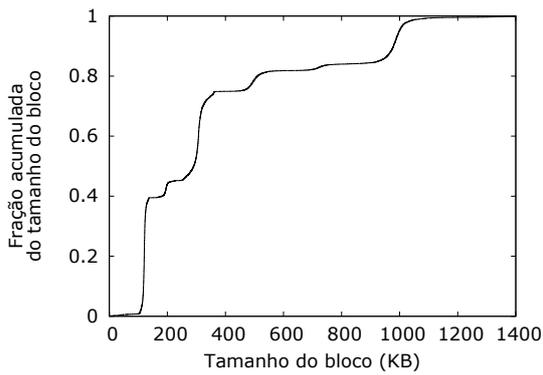


Figura 23 – Distribuição do tamanho dos segmentos de mídia do dia 01/07 às 13:00.

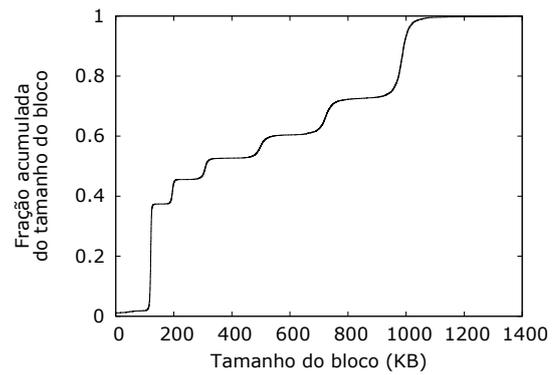


Figura 24 – Distribuição do tamanho dos segmentos de mídia do dia 13/06 às 16:00.

da Copa do Mundo sofreu um aumento de aproximadamente 77% em relação ao pico do evento anterior. A média de IPs únicos por jogo, no entanto, aumentou apenas aproximadamente 36%. Isso reforça nossa teoria sobre a maior presença de NAT.

O volume de tráfego gerado pelos cinco maiores jogos é mostrado na figura 22. Assim como nos dados anteriores, o formato das curvas seguem o mesmo das curvas de clientes vistas na figura 21. Comparando com a Copa das Confederações, a transmissão da Copa do Mundo apresentou um volume de dados muito maior. Enquanto o maior pico no primeiro evento foi de aproximadamente 15 GB/s, no último esse pico se aproximou dos 60 GB/s, um crescimento de 300%. Além disso, a menor taxa de transferência observada durante a transmissão dos cinco jogos de maior volume de dados da Copa do Mundo não ficou abaixo dos 13 GB/s, valor muito próximo dos picos do evento anterior. O total de dados trafegados atingiu os 300 TB em um único jogo, e não foi menor do que 150 TB nos cinco jogos da figura 21.

Dessa vez, o jogo de maior número de espectadores foi também o de maior volume de dados trafegados. Isso indica que houve maior controle por parte do provedor nos ajustes da qualidade da mídia distribuída. Também não observamos variações de qualidade entre o primeiro e segundo tempos de jogo.

A única alteração nos cinco horários de maior volume em relação aos de mais clientes foi a inclusão do horário das 13:00 do dia 13/06, período em que só aconteceu um jogo entre México e Camarões. O aumento do tráfego de dados em um jogo com menor audiência indica que esse jogo foi transmitido em maior qualidade. De fato, verificamos essa diferença ao comparar a distribuição do tamanho dos blocos de mídia desse horário (figura 24) com a mesma distribuição no horário do jogo de maior número de clientes (figura 23). A curva mais deslocada para a direita nos permite confirmar que, em média, o tamanho dos segmentos no período das 13:00 do dia 01/07 foi menor do que os do horário

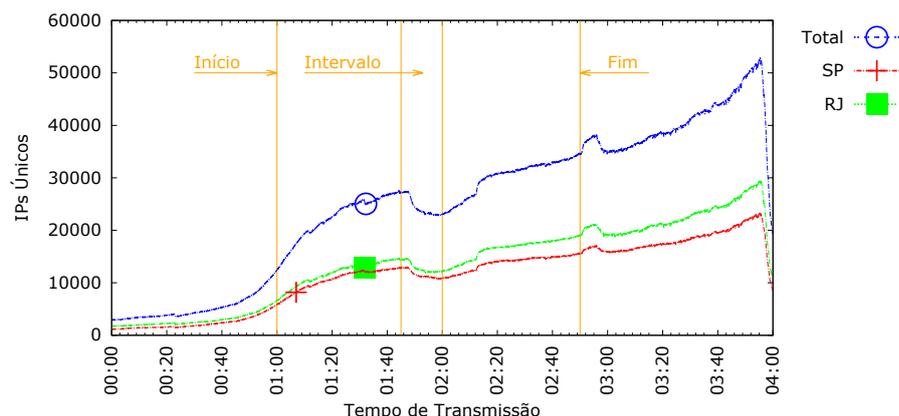


Figura 25 – Quantidade de usuários total e por localização do servidor do jogo entre Costa Rica e Grécia.

das 13:00 no dia 13/06, indicando assim que a qualidade da transmissão deste foi maior do que a daquele.

Comparando os resultados obtidos na Copa do Mundo com aqueles vistos da Copa das Confederações, constatamos que o tamanho dos blocos de arquivo de mídia sofreu menos variações. Não houve grandes discrepâncias como as observadas nas figuras 17 e 18. Acreditamos que as informações obtidas na transmissão do primeiro evento foram úteis para que o provedor pudesse alocar melhor os recursos, sendo capaz de entregar uma melhor experiência ao usuário.

Destacamos ainda, na figura 25 a divisão do tráfego por ponto de presença do provedor. Nossa primeira observação é quanto ao formato da curva que reflete o tempo de chegada dos usuários. Esse jogo das oitavas-de-final, disputado por Costa Rica e Grécia, aconteceu às 17:00 do dia 29/06. Notamos que este foi o único jogo observado nos dois eventos no qual o tráfego do PoP localizado no Rio de Janeiro superou o tráfego do PoP de São Paulo. Em geral, a diferença entre o número de clientes conectados aos servidores nas duas localidades foi menor, alcançando uma variação máxima de 50% de carga extra em São Paulo com exceção desse jogo.

Ressaltamos também que o número de clientes segue aumentando até o período de uma hora após o tempo regulamentar de jogo. Isso se deve à prorrogação e disputa de penáltis. O formato da curva é similar àquele observado na figura 19, onde também houve disputa de penáltis.

Acreditamos que com base na carga observada durante a transmissão da Copa das Confederações, o provedor de conteúdo tenha ajustado o balanceamento de carga entre seus pontos de presença a fim de obter uma melhor otimização no uso de seus recursos.

5.2 Caracterização da transmissão recebida pelos clientes

Nesta seção caracterizamos a distribuição dos clientes entre os principais provedores de acesso à Internet no Brasil, correlacionando isto com a qualidade da mídia recebida, região geográfica e indicadores sócio-econômicos. Procuramos analisar o comportamento da rede e a distribuição dos usuários por provedores de acesso à Internet durante a transmissão das partidas. Para isso observamos os principais sistemas autônomos (ASes) correspondentes aos endereços IP dos espectadores.

5.2.1 Copa das Confederações 2013

Inicialmente buscamos descobrir os principais provedores de acesso responsáveis pelos clientes que assistiram ao evento pela Internet. Conforme descrito na seção 4.3, utilizamos a ferramenta *whois.cymru* para fazer a consulta de a qual Sistema Autônomo (AS) estava conectado cada IP único que acompanhou o jogo de maior número de espectadores (entre Brasil e Uruguai). A tabela 4 resume nossos resultados.

Dividimos a tabela 4 entre clientes conectados aos servidores do Rio de Janeiro e São Paulo, respectivamente. É possível observar que no Rio de Janeiro há uma ampla predominância de acesso pelos clientes da Telemar, com cerca de 52% do total de IPs. Mostramos apenas três provedores na coluna do Rio de Janeiro porque não houve um quarto provedor que concentrasse mais do que 1% dos clientes. Isso destaca ainda mais a grande predominância de poucos provedores responsáveis por muitos clientes nessa região. Em São Paulo a divisão entre os principais ISPs não apresenta discrepâncias como no Rio de Janeiro. Há quatro provedores principais e predominância da Global Village Telecom (GVT) com cerca de 35% do total de espectadores.

Tabela 4 – Maiores provedores de Internet conectados a cada PoP durante a Copa das Confederações.

RJ		SP	
Telemar	52%	GVT	35%
NET	27%	Brasil Telecom	18%
Embratel	5%	Telefonica	18%
		NET	11%

Os dados apontam que quatro empresas atendem a cerca de 82% de todos os acessos ao servidor de mídia através do PoP São Paulo. No Rio de Janeiro, esse percentual é ainda maior, chegando a aproximadamente 84% de concentração de IPs em apenas três empresas. Destacamos que o provedor NET foi o único com grande número de IPs que apareceram tanto nos servidores do PoP Rio de Janeiro quanto nos do PoP São Paulo.

Essa grande concentração de acesso em poucos provedores reflete o cenário brasileiro, onde o mercado é dominado por poucos. Caso haja falha em algum dos seis ISPs citados

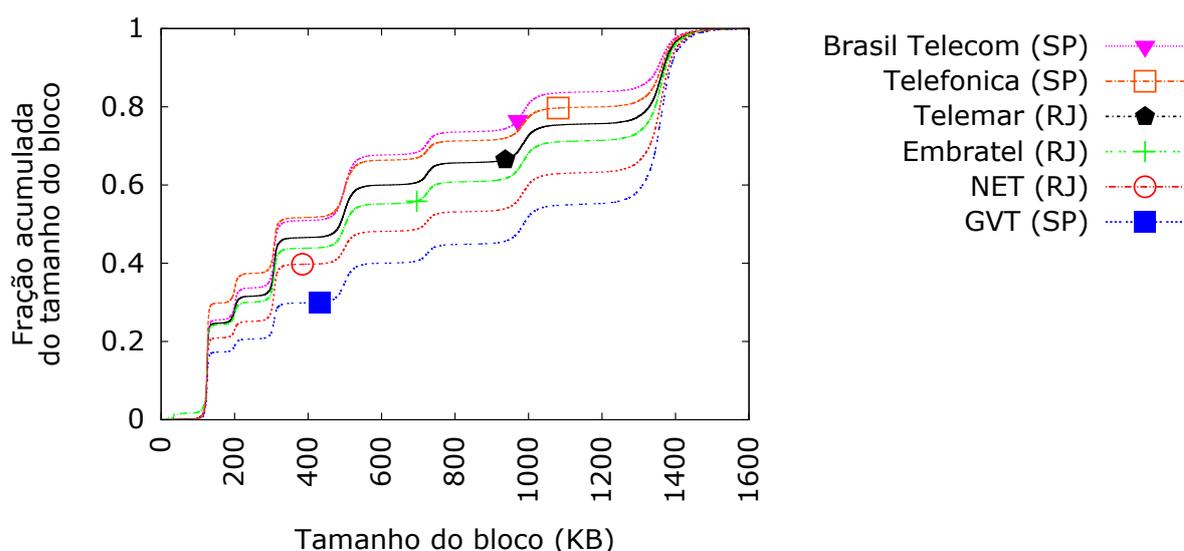


Figura 26 – Distribuição do tamanho dos segmentos de mídia por provedores no jogo Brasil e Espanha.

durante o evento, a provedora de conteúdo perderia uma quantidade relevante de seus clientes. Em um cenário ainda pior, falhas em mais de um desses provedores poderiam levar à indisponibilidade regional generalizada.

Analizamos o jogo entre Brasil e Espanha para verificar a qualidade da mídia recebida pelos clientes dos principais provedores observados. Esse jogo foi o que apresentou maior volume de dados trafegados e uma variação maior de taxas de codificação da mídia (figura 18).

A figura 26 apresenta função de distribuição acumulada do tamanho dos blocos de mídia recebidos pelos clientes por ISP. É possível perceber que GVT, NET e Embratel, em geral, recebem blocos maiores de segmentos de mídia, se comparados a Telemar, Brasil Telecom e Telefônica. Isso indica que os clientes dos primeiros provedores recebem um conteúdo de melhor qualidade do que os clientes dos outros provedores. Notamos que no Rio de Janeiro, embora a Telemar agrupe a maior quantidade de clientes, a qualidade recebida é inferior à dos clientes atendidos por Embratel e NET.

Durante o jogo de maior quantidade de espectadores, os provedores com maior e menor média de tamanho do bloco estão conectados ao PoP São Paulo. São eles, respectivamente GVT, com média de aproximadamente 875 KB e Brasil Telecom, com média de aproximadamente 560 KB. Apesar de não termos informações para tirar conclusões sobre estas observações, elas motivam estudos sobre diversidade de rotas e provisionamento de capacidade nas redes dos provedores de acesso brasileiros.

Encerramos nossa caracterização apresentando um mapa regional da qualidade da mídia distribuída para diferentes regiões do Brasil. Usamos as bases de dados GeoIP e GeoIPCity da Maxmind, conforme exposto na seção 4.3, para identificar em quais regiões

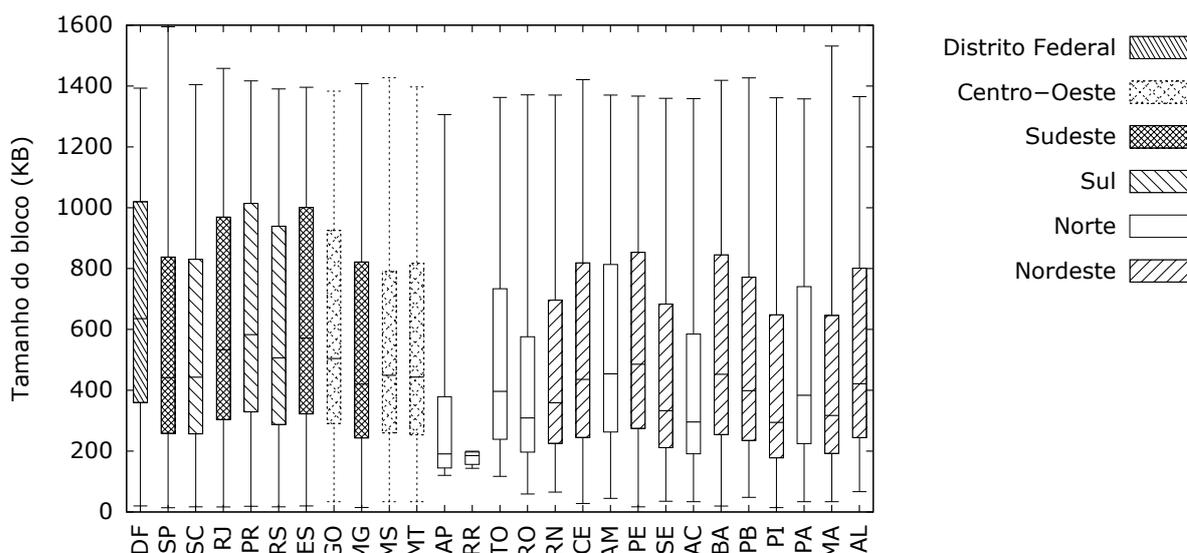


Figura 27 – Tamanho do bloco de mídia por estado ordenado por IDH durante a Copa das Confederações.

estavam localizados os IPs dos clientes do Globo.com. Também utilizamos dados de população e índice de desenvolvimento humano (IDH) disponibilizados pelo IBGE ².

A figura 27, organiza informações sobre o tamanho dos blocos de mídia recebidos por clientes agrupados em cada estado do Brasil em formato *boxplot*. Ordenamos os estados no eixo x pelo IDH em ordem decrescente. Mostramos nesta figura o tamanho máximo e mínimo do bloco de mídia observado em cada estado, identificado pelo limite superior e inferior de cada linha. A barra representa a mediana e os quartis superior e inferior da distribuição dos tamanhos de blocos de mídia.

Observamos que, à exceção de Roraima, que teve uma amostragem pequena de IPs, todas as regiões apresentaram grande variação no tamanho dos blocos. A região Nordeste apresenta distribuição heterogênea, tendo estados com variados perfis de qualidade. Por fim, a região Norte é a que possui indicadores de qualidade de acesso em banda larga mais baixos. Não observamos, entretanto, correlação direta entre o IDH e o tamanho dos blocos.

Usamos o número de espectadores para estimar a difusão da banda larga no Brasil. A figura 28 mostra uma relação percentual entre espectadores e habitantes de cada estado. Novamente ordenamos os estados no eixo x pelo IDH em ordem decrescente. Verificamos maior relação espectadores/habitantes nos estados das regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste bem como forte relação com o IDH. Essa relação também é observada na pesquisa nacional por amostra de domicílios (PNAD), realizada pelo IBGE em 2011 ³ e pode indicar maior penetração de acesso à banda larga nessas regiões.

² <http://www.ibge.gov.br/estadosat/>

³ <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/acessoainternet2011/default.shtm>

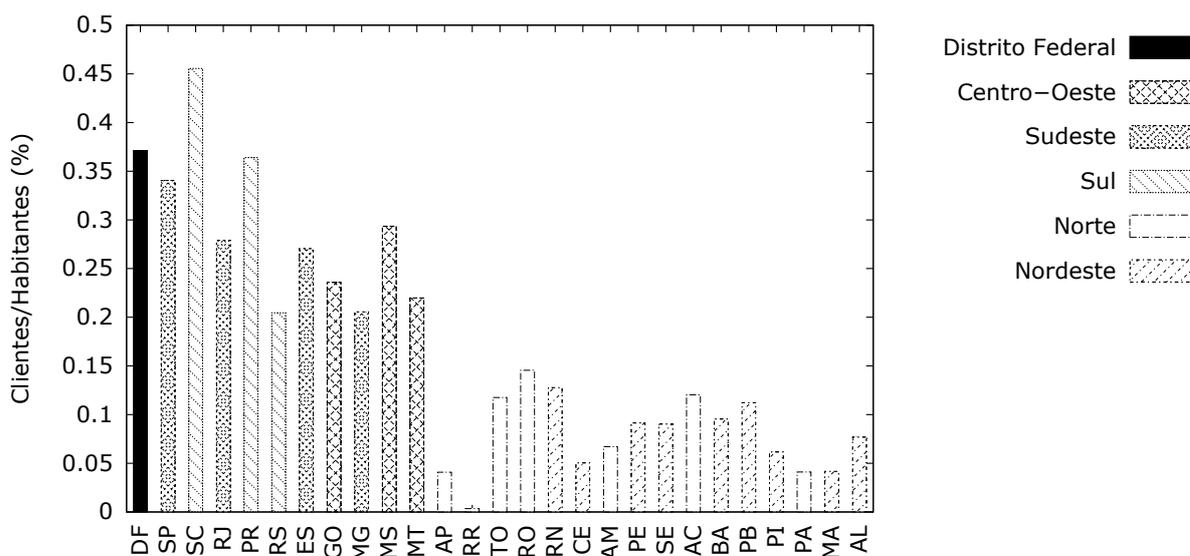


Figura 28 – Relação Espectadores/habitantes por estado ordenado por IDH durante a Copa das Confederações.

Tabela 5 – Análise do tráfego por cidade de MG, RJ e SP durante a Copa das Confederações.

Estado	Cidade	População	IPs únicos	IPs/População(%)	Tamanho médio do bloco(KB)
MG	Belo Horizonte	2.375.151	14.012	0,58	620
	Uberlândia	654.681	3.990	0,61	482
	Juiz de Fora	550.710	2.272	0,41	522
	Montes Claros	390.212	575	0,15	348
RJ	Rio de Janeiro	6.320.446	29.049	0,46	663
	Petrópolis	298.017	403	0,14	500
	Volta Redonda	262.259	214	0,08	545
	Macaé	229.624	497	0,22	476
SP	São Paulo	11.895.893	54.256	0,46	585
	Campinas	1.154.617	6.586	0,57	598
	Ribeirão Preto	658.059	3.048	0,46	524
	Sorocaba	637.187	2.116	0,33	613

Aprofundamos a caracterização regional focando em cidades de três estados da região sudeste que apresentaram médias de tráfegos distintas entre suas capitais e algumas cidades pólo. A tabela 5 mostra os resultados dessa análise. Detalhamos as informações sobre as cidades com maior número de IPs resolvidos pelo banco de dados Maxmind GeoIP. Conseguimos identificar em quais municípios estavam cerca de 85% dos IPs do jogo entre Brasil e Uruguai. Em geral, as cidades de maior população receberam blocos de mídia maiores do que as cidades com menos habitantes.

Observamos, nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo, uma grande concentração de clientes nas capitais. Acreditamos que isso se deve à extensão das regiões metropolitanas dessas cidades. O estado de Minas Gerais apresentou distribuição geográfica dos clientes menos discrepante, com menor concentração na capital. Embora logicamente as cidades com maiores populações sejam aquelas com mais clientes, não encontramos proporção clara entre o número de habitantes e a quantidade de espectadores.

5.2.2 Copa do Mundo 2014

Mostramos a identificação dos principais provedores de acesso dos clientes que assistiram à Copa do Mundo pelo Globo.com na tabela 6. Usamos o horário onde aconteceu o maior pico de acessos simultâneos, conforme mostramos na figura 21.

Os principais provedores responsáveis pelos clientes conectados ao PoP de São Paulo se mantiveram em relação à Copa das Confederações no ano anterior, havendo apenas uma mudança na ordem dos provedores uma vez que a Telefônica ultrapassou GVT e Brasil Telecom em quantidade de espectadores. A concentração de acesso se manteve dividida entre os quatro provedores mostrados na tabela 6, chegando a acumular cerca de 70% dos IPs únicos que acompanharam o evento.

Tabela 6 – Maiores provedores de Internet conectados a cada PoP durante a Copa do Mundo.

	RJ		SP
NET	29%	Telefônica	22%
Telemar	28%	GVT	22%
GVT	20%	Brasil Telecom	15%
		NET	11%

Em relação aos IPs conectados ao PoP Rio de Janeiro, a principal diferença em comparação ao evento anterior foi a presença da GVT com cerca de 20% da concentração de IPs de clientes. Além de ser uma quantidade relevante, destacamos que durante a Copa das Confederações não observamos IPs de clientes da GVT conectados ao PoP Rio de Janeiro. O acesso se manteve concentrado com cerca de 77% dos IPs divididos entre apenas três provedores.

Tanto para o PoP Rio de Janeiro quanto para o PoP São Paulo, a concentração em poucos provedores diminuiu. Enquanto na Copa das Confederações verificamos concentrações de respectivamente 84% e 82% , durante a Copa do Mundo esses valores caíram para 70% e 77% respectivamente. Entretanto, a distribuição de clientes ainda é enviesada para os ISPs mais populares do país. Conforme afirmamos anteriormente, isso indica que em âmbito nacional, falhas em poucos provedores de acesso podem se refletir em uma grande redução no número de espectadores.

Há uma quantidade considerável de IPs que estavam conectados ao PoP São Paulo durante a Copa das Confederações e migraram para o PoP Rio de Janeiro durante a Copa do Mundo. Nesse caso, 12% do total de IPs observados durante o evento mais recente migrou de PoP. Ainda deste total, 11% se mantiveram conectados a São Paulo nos dois eventos.

Os IPs que migraram do PoP Rio de Janeiro na Copa das Confederações para o PoP São Paulo na Copa do Mundo também representaram 12% do total. E ainda 8% se mantiveram conectados ao Rio de Janeiro durante os dois eventos.

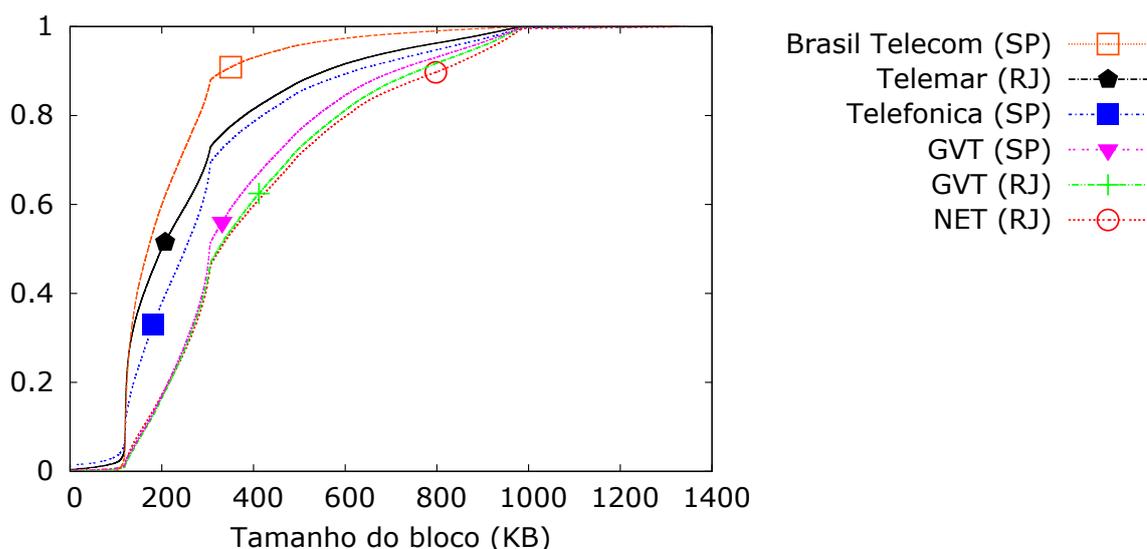


Figura 29 – Distribuição do tamanho dos segmentos de mídia por provedores durante a Copa do Mundo.

Esses números indicam que a Copa do Mundo recebeu um grande número de IPs não observados na Copa das confederações e, conseqüentemente, atraiu novos espectadores. Indicam ainda que houve troca de IPs entre PoPs, o que pode representar acordo entre o provedor de conteúdo e os ISPs, em uma tentativa de balanceamento de carga.

Para verificar a qualidade da mídia recebida pelos clientes dos provedores observados durante a Copa do Mundo, analisamos o jogo do dia 01/07 às 13h, que foi o que apresentou maior volume de dados trafegados e maior pico de taxa de transmissão (figura 22). Mostramos na figura 29 a distribuição da fração acumulada do tamanho dos blocos de mídia por provedor.

Observamos que o tamanho dos blocos de mídia foi menor do que o observado anteriormente (na figura 26), além disso a distribuição não apresentou “degraus” característicos de uma divisão clara da taxa de transmissão da mídia. Embora a diferença seja pequena, GVT e NET mantiveram-se como os provedores com os maiores blocos de dados e, conseqüentemente, melhor qualidade de acesso, se comparados aos outros provedores. Brasil Telecom se manteve como o provedor com os menores blocos, apresentando média de aproximadamente 215 KB e NET foi o provedor de maior média, com aproximadamente 420 KB.

Em uma análise mais profunda, mostramos na figura 30 as informações sobre o tamanho dos blocos de mídia recebidos por clientes durante a Copa do Mundo organizadas no formato *boxplot* e agrupados por estado do Brasil. Assim como anteriormente, os estados no eixo x estão ordenados de maneira decrescente pelo IDH.

Se compararmos com os dados da figura 27, observamos que na maioria dos casos os limites superior e inferior foram mantidos. Entretanto a variação entre os quartis foi

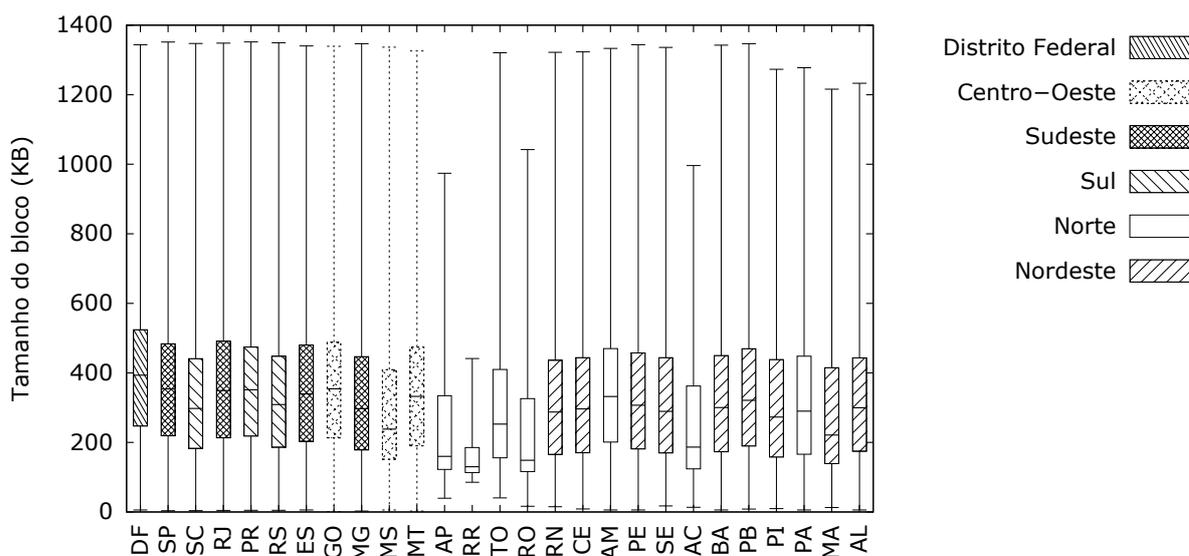


Figura 30 – Tamanho do bloco de mídia por estado ordenado por IDH durante a Copa do Mundo.

bem menor, assim como a mediana do tamanho dos blocos. Apesar de isso confirmar que o tamanho médio dos blocos foi menor, não relacionamos isso a uma queda na qualidade na transmissão. Comparando os dois jogos de maior volume de dados em cada evento, observamos um aumento muito maior no volume total de tráfego de dados (até 200%) do que no número de clientes (77%), além um aumento de 300% na taxa de transmissão de pico e um aumento de 143% no número total de requisições de mídia. Por essas razões concluímos que o conteúdo de vídeo sofreu uma fragmentação maior durante a Copa do Mundo, sendo dividido em mais blocos de tamanhos menores. Acreditamos que isso não comprometeu a qualidade final da mídia recebida pelos clientes.

Em geral, devido à diminuição no tamanho dos blocos, a média entre os estados se manteve próxima. As regiões de maior IDH apresentaram médias suavemente maiores e a região Norte apresentou novamente indicadores de qualidade de acesso mais baixos.

Repetimos a estimativa da difusão da banda larga por região do Brasil. Mostramos na figura 31 a relação percentual entre clientes e habitantes de cada região. Novamente observamos maior relação espectadores/habitantes nos estados das regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste bem como forte relação com o IDH. Possivelmente confirmando que essas regiões recebem melhor acesso à banda larga.

Em comparação com os dados anteriores, não verificamos grande variação, à exceção de um aumento relativo significativo no percentual cliente/habitante do Distrito Federal e uma redução no mesmo percentual verificado em Santa Catarina. Embora a variação relativa seja significativa, o percentual absoluto se manteve baixo. Embasados por dados do IBGE ⁴, acreditamos que nossa análise consiga apresentar uma caracterização fiel à

⁴ <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/acessoainternet2011/default.shtm>

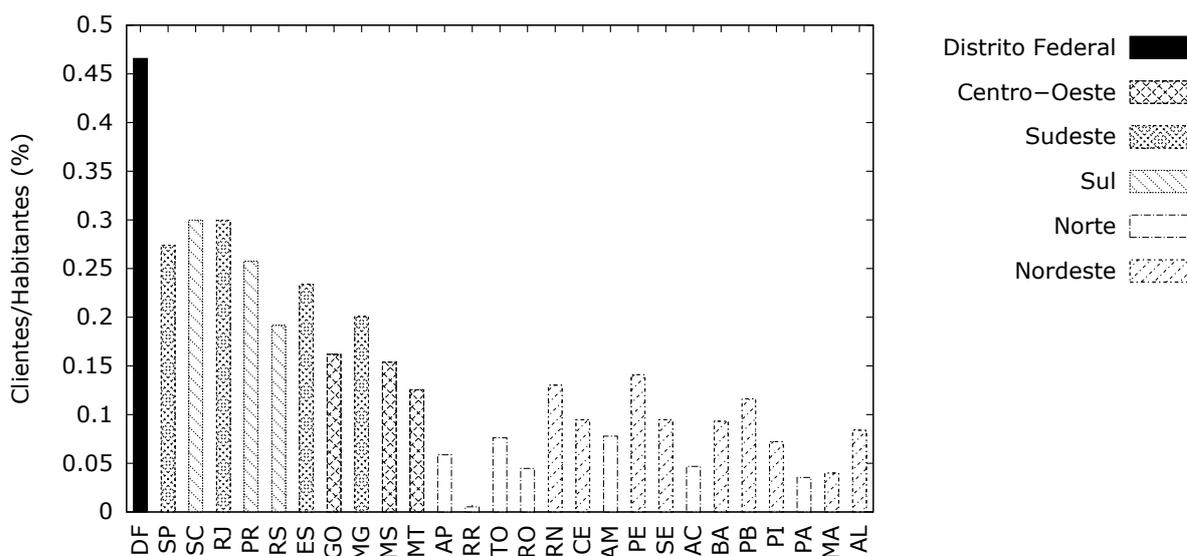


Figura 31 – Relação Espectadores/habitantes por estado ordenado por IDH durante a Copa do Mundo.

realidade se compararmos as regiões. No entanto, a variação entre as mesmas regiões se compararmos os resultados dos dois eventos, é muito pequena para que possamos elaborar conclusões.

A tabela 7 mostra informações de tráfego e difusão em cidades de três estados da região sudeste durante a Copa do Mundo. Assim como na tabela 5, destacamos as cidades com maior número de IPs resolvidos. Dessa vez a porcentagem de resolução do banco de dados Maxmind GeoIP foi de 75% para os municípios. Essa diminuição na porcentagem da resolução deve-se possivelmente ao uso de uma base gratuita e não completamente atualizada.

Ao contrário do que observamos anteriormente, o tamanho dos blocos não apresentou variações significativas. Isso se deve principalmente, como já foi discutido, à redução geral desse tamanho durante a Copa do Mundo.

Assim como na Copa das Confederações, observamos que as capitais apresentaram maior porcentagem na relação IPs/população. Entretanto, ao contrário do que observamos previamente, as cidades com mais habitantes não apresentaram maior valor nessa relação. Por exemplo, verificamos em Niterói uma taxa de penetração maior do que em São Gonçalo, município com maior número de habitantes.

5.3 Discussão Geral

Observamos que a experiência adquirida durante a transmissão da Copa das Confederações motivou diversos ajustes feitos pelo provedor de conteúdo durante a Copa do Mundo. Embora as transmissões desses dois grandes eventos tenham apresentado

Tabela 7 – Análise do tráfego por cidade de MG, RJ e SP durante a Copa do Mundo.

Estado	Cidade	População	IPs únicos	IPs/População(%)	Tamanho médio do bloco(KB)
MG	Belo Horizonte	2.375.151	21.304	0,90	330
	Uberlândia	654.681	4.550	0,70	315
	Juiz de Fora	550.710	2.202	0,43	260
	Contagem	603.442	1.950	0,32	328
RJ	Rio de Janeiro	6.320.446	33.098	0,52	370
	Niterói	487.562	3.787	0,77	386
	São Gonçalo	999.728	1.720	0,17	333
	Duque de Caxias	855.048	977	0,11	341
SP	São Paulo	11.895.893	75.016	0,63	356
	Campinas	1.154.617	7.152	0,62	361
	Guarulhos	1.221.979	2.814	0,23	372
	Ribeirão Preto	658.059	2.729	0,41	350

diversos pontos em comum, houve algumas diferenças relevantes.

Apesar de ambos terem sido eventos de grande escala, atraindo a audiência de milhares de espectadores, a diferença de escala entre eles foi considerável. Por exemplo o número total de IPs únicos que acompanharam a transmissão do segundo evento foi muito maior do que no primeiro.

O volume de dados trafegado também foi superior durante a Copa do Mundo, embora o tamanho médio das requisições tenha sido menor. Isso indica que houve um ajuste por parte do provedor no sentido de diminuir o tamanho dos blocos de mídia ainda que a taxa de transmissão tenha sido consideravelmente maior.

Houve uma diminuição na discrepância entre os clientes conectados aos PoP Rio de Janeiro e São Paulo. Verificamos também uma migração de IPs e ISPs conectados a esses dois PoPs. Isso indica que houve uma tentativa de balanceamento de carga durante a Copa do Mundo que não aconteceu na Copa das Confederações.

Embora todas essas mudanças tenham sido implementadas com base somente na observação da transmissão da Copa das Confederações, acreditamos que as caracterizações que apresentamos podem levar ao desenvolvimento de modelos de predição de carga. Tais modelos permitirão que provedores de conteúdo possam realizar o provisionamento e alocação de recursos previamente e de maneira mais precisa.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Transmissão de vídeo ao vivo na Internet é cada vez mais comum. Grandes eventos são difundidos ao vivo e, potencialmente, atraem um grande número de espectadores. Esse novo panorama, com transmissões que, de repente, atraem um número de clientes acima do esperado impõe desafios para provisionamento de capacidade de provedores de serviço na Internet.

Neste trabalho apresentamos uma caracterização da carga de trabalho de servidores do Globo.com durante transmissões ao vivo dos jogos de dois grandes eventos de futebol, a Copa das Confederações 2013 e a Copa do Mundo 2014. Nós avaliamos a arquitetura de serviços do Globo.com que, em alguns jogos, suporta carga muito elevada. Por exemplo, as transmissões avaliadas atendem até 320 mil sessões simultâneas e disseminam até 300 TB de dados em um único jogo com taxas de transmissão instantâneas que chegam a 60 GB/s.

Além disso, o número de espectadores e, conseqüentemente, a carga imposta aos servidores varia significativamente. Por exemplo, observamos variações de até 1600% entre os jogos com maior e menor carga. Isso ocorre, principalmente, em função da relevância do jogo, e do dia e horário da transmissão. Essa variação de carga pode levar a problemas de provisionamento. De fato, observamos que durante a transmissão da Copa das Confederações houve uma limitação na qualidade da mídia em alguns jogos para adequar o consumo de banda e o número inesperado de clientes aos recursos existentes.

Comparamos a carga dos servidores durante a transmissão dos dois eventos. Verificamos que durante a Copa do Mundo, o provedor atendeu a uma quantidade de clientes e houve um volume de tráfego muito maiores do que durante a Copa das Confederações. Isso aconteceu devido à diferença de escala e popularidade dos dois eventos. Concluimos que no segundo evento o provedor se mostrou mais preparado para suportar a alta carga devido à experiência adquirida durante a transmissão do primeiro. Observamos que houve tentativa de balanceamento de carga para atenuar a sobrecarga de um dos PoPs e evitar a subutilização do outro.

Caracterizamos também a qualidade da mídia recebida pelos usuários em função de seus provedores de acesso à Internet. Observamos que grandes provedores de Internet banda larga no Brasil direcionam grande parte de seus clientes para o mesmo ponto de distribuição do Globo.com. Espectadores assinantes dos maiores provedores de acesso à Internet avaliados não foram necessariamente os que receberam mídia na menor qualidade. Também avaliamos a qualidade da mídia recebida pelos usuários em função de sua localização geográfica e IDH do estado. Nossos resultados mostram que a qualidade da mídia e a fração da população assistindo ao jogo pela Internet são correlacionadas com o IDH.

Verificamos que, durante a Copa do Mundo, embora o tamanho médio dos blocos

de mídia tenha sido reduzido, a taxa de transmissão e o total de requisições aumentaram significativamente. Dessa forma acreditamos que a qualidade da transmissão tenha sido igual ou superior à da Copa das Confederações.

Em suma, nossos resultados confirmam os desafios para o provisionamento de capacidade em servidores de vídeo durante grandes eventos. Em trabalhos futuros pretendemos estudar técnicas para prever a carga durante grandes eventos. Também pretendemos avaliar o impacto da transmissão de grandes eventos ao vivo na infra-estrutura de rede, correlacionando a carga nos servidores com medições de rota obtidas com *traceroute*.

REFERÊNCIAS

- [1] ALMEIDA, W.; SANTOS, B.; BORGES, A.; CUNHA, I.; ALMEIDA, J.; *Caracterização da Transmissão de um Grande Evento Esportivo*. Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, 2015
- [2] ABLEY, J.; LINDQVIST, K.; *Operation of Anycast Services*. RFC 4786, 2006.
- [3] CESARIO, M.V. *Uso de anycast para balanceamento de carga na Globo.com*. Disponível em: <http://pt.slideshare.net/marcuscesario/apresentacao-anycast-sbrc201205>, Talks and Tutorial, SBRC 2012.
- [4] CHEN, Y.; ZHANG, B.; LIU, Y.; ZHU, W. *Measurement and Modeling of Video Watching Time in a Large-Scale Internet Video-on-Demand System*. Multimedia, IEEE Transactions, 2087-2098, 2013
- [5] COSTA, C.; CUNHA, I.; BORGES, A.; RAMOS, C.; ROCHA, M.; ALMEIDA, J.; RIBEIRO-NETO, B. *Analyzing client interactivity in streaming media*. WWW '04: Proceedings of the 13th international conference on World Wide Web, 534-543, 2004
- [6] ERMAN, J.; RAMAKRISHNAN, K.K. *Understanding the Super-sized traffic of the Super Bowl*. IMC '13 Proceedings of the 2013 conference on Internet measurement conference, 353-360, 2013
- [7] FENNER, W. *Internet Group Management Protocol, Version 2*. RFC 2236, 1997.
- [8] FENNER, B.; HANDLEY, M.; HOLBROOK, H.; KOUVELAS, I. *Protocol Independent Multicast-Sparse Mode (PIM-SM)*. RFC 4601, 2006.
- [9] FERREIRA, F.H.C. *Caracterização da Dinâmica de Participantes e Comunidades em um Sistema P2P de Transmissão de Vídeo ao Vivo*. 2013
- [10] GILL, P.; ARLITT, M.; LI, Z.; MAHANTI, A. *Youtube traffic characterization: a view from the edge*. Proceedings of the 7th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement, 15-28, 2007
- [11] HEI, X.; LIANG, C.; LIANG, J.; LIU, Y. *A Measurement Study of a Large-Scale P2P IPTV System*. IEEE Transactions Multimedia, 1672-1687, 2007
- [12] HUANG, Y.; FU, T.Z.; CHIU, D.M.; LUI, J.C.; HUANG, C. *Challenges, Design and Analysis of a Large-scale P2P-VoD System* Proceedings of the ACM SIGCOMM 2008 Conference on Data Communication
- [13] JANOTTI, J.; GIFFORD, D.K.; JOHNSON, K.L.; KAASHOEK, M.F.; O'TOOLE, J.W.; FRANS, M.; JAMES, K. *Overcast: Reliable Multicasting with an Overlay Network*. Proceedings of the 4th conference on Symposium on Operating System Design & Implementation, 4-14, 2000.
- [14] JIANGCHUAN, L.; SANJAY, G.; LI, B.; ZHANG, H. *Opportunities and Challenges of Peer-to-Peer Internet Video Broadcast*. Proceedings of the IEEE, 11-24, 2008
- [15] JUNG, J.; KRISHNAMURTHY, B.; RABINOVICH, M.; *Flash crowds and denial of service attacks: characterization and implications for CDNs and web sites*. WWW '02 Proceedings of the 11th international conference on World Wide Web, 293-304, 2002

- [16] KATABI, D.; WROCLAWSKI, J. *A Framework for Scalable Global IP-anycast*. SIGCOMM, 2000.
- [17] KING, A.; HUFFAKER, B.; DAINOTTI, A.; et al. *A coordinated view of the temporal evolution of large-scale internet events.*, Springer, Volume 96, 53-65, 2014
- [18] KUROSE, J.F.; ROSS, K.W.; *Computer Networking: A Top-Down Approach*. 6th edition, 2013.
- [19] LIU, Y.; GUO, Y.; LIANG, C. *A survey on peer-to-peer video streaming systems*. Journal of Peer-to-peer Networking and Applications, Springer 2008.
- [20] MAHANTI, A. *The Evolving Streaming Media Landscape*. Internet Computing, IEEE, volume 18, 4-6, 2014
- [21] MARFIA, G.; SENTIVELLI, A.; TEWARI, S.; GERLA, M.; KLEINROCK, L. *Will IPTV ride the peer-to-peer stream?* Communications Magazine, Special Issue on Peer-to-Peer Streaming, IEEE, 2007
- [22] MILOJICIC, D.S.; KALOGERAKI, V.; LUKOSE, R.; NAGARAJA, K.; PRUYNE, J.; RICHARD, B; ROLLINS, S.; XU, Z. *Peer-to-Peer Computing* Technical Report, 2003.
- [23] MORAES, I.M.; CAMPISTA, M.E.M.; COSTA, L.H.M.K. ; DUARTE, O.C.M.B. ; DUARTE, J.L. ; PASSOS, D.G. ; DE ALBUQUERQUE, C.V.N. ; RUBINSTEIN, M.G. *On the Impact of User Mobility on Peer-to-Peer Video Streaming*. Wireless Communications IEEE, Volume 15, 54-62, 2008.
- [24] MOY, J. *Multicast Routing Extensions for OSPF*. Commun. of the ACM, vol 37, 61-66, 1994.
- [25] NYGREN, E.; SITARAMAN, R.K.; SUN, J. *The Akamai Network: A Platform for High-Performance Internet Applications*. ACM SIGOPS Operating Systems Review, vol. 44, no. 3, 2010.
- [26] PALLIS, G.; VAKALI, A.; *Insight and Perspectives for Content Delivery Networks*. Communications of the ACM Volume 49, 101-106, 2006.
- [27] PARTRIDGE, C.; MENDEZ, T.; MILLIKEN, W. *Host Anycasting Service*. RFC 1546, 1993.
- [28] ROCHA, M.; MAIA M.; CUNHA I.; ALMEIDA J.; CAMPOS S. *Scalable media streaming to interactive users*. Proceedings of the 13th annual ACM international conference on Multimedia, 966-975, 2005.
- [29] SANDVINE *Global Internet Phenomena Report 2H2015*. 2015 Disponível em: <http://www.sandvine.com/trends/global-internet-phenomena>
- [30] SHAFIQ, M.Z.; JI, L.; LIU, A.; PANG, J.; VENKATARAMAN, S.; WANG, J. *A first look at cellular network performance during crowded events* Proceedings of the ACM SIGMETRICS/international conference on Measurement and modeling of computer systems, 17-28, 2013

- [31] SRIPANIDKULCHAI, K.; MAGGS, B. *An analysis of live streaming workloads on the Internet*. Proceedings of the ACM Sigcomm Conference on Internet Measurement, 41-54, 2004.
- [32] STOCKHAMMER, T. *Dynamic Adaptive Streaming over HTTP – Standards and Design Principles*. MMSys '11 Proceedings of the second annual ACM conference on Multimedia systems, 133-144, 2011.
- [33] TANENBAUM, A.S.; WETHERALL, D. *Redes de Computadores*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.
- [34] VAKALI, A.; PALLIS, G. *Content delivery networks: Status and trends*. IEEE Internet Computing 68–74 2003.
- [35] VELOSO, E.; ALMEIDA, V.; MEIRA, W.; BESTAVROS, A. SHUDONG, J. *A hierarchical characterization of a live streaming media workload*. Proceedings of the 2nd ACM SIGCOMM Workshop on Internet measurement, 117-130, 2002
- [36] VIEIRA, A.B.; *Transmissão de mídia contínua ao vivo em P2P: modelagem, caracterização e implementação de mecanismo de resiliência a ataques*. 2010
- [37] WAITZMAN, D.; PARTRIDGE, C.; DEERING, S. *Distance Vector Multicast Routing Protocol*. RFC 1075, 1988.
- [38] ZHOU, I.; CHIU, D.M.; LUI, J. *A Simple Model for Analyzing P2P Streaming Protocols*. IEEE International Conference, 2007.