

Transmissões de Vídeo ao Vivo Geradas por Usuários: Uma Análise*

Thiago Silva¹, Jussara Almeida¹, Dorgival Guedes¹

¹Departamento de Ciência da Computação
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
31.270-010 – Belo Horizonte – MG – Brasil

{thiagohs, jussara, dorgival}@dcc.ufmg.br

Abstract. *We evaluate in this paper the cost-benefit ratio of alternative live streaming strategies, using a characterization results to drive an event-driven simulator (built for this purpose). Our results indicate that a conventional “pure” Peer-to-Peer strategy may not provide acceptable quality of service. Using this strategy, on average, only 31% of the transmission’s duration presented a continuity index above of 95%. In contrast, a hybrid strategy (proposed in this paper), in which users first join the centralized server, moving into the P2P network after a certain threshold, may lead to a better compromise in terms of quality of service for clients, and resource consumption for server. Using a specific case of this strategy, 90% of the all transmission’s duration presented a continuity index above of 95%.*

Resumo. *Avaliamos neste trabalho o custo-benefício de estratégias alternativas para transmissão de fluxo de vídeo ao vivo. Para essa avaliação usamos o resultado de uma caracterização, para construir um simulador baseado em eventos. Nossos resultados indicaram que uma estratégia Par-a-Par “pura” pode não prover uma qualidade de serviço aceitável. Em média, apenas 31% do tempo a estratégia P2P pura proporciona um índice de continuidade acima de 95%. Já uma estratégia híbrida (proposta neste trabalho), em que os usuários primeiro se conectam em um servidor centralizado, movendo-se em seguida para uma rede P2P após certo intervalo de tempo, pode oferecer um melhor compromisso, em termos de qualidade de serviço para os usuários, e consumo de recursos para o servidor. Usando um caso específico desta estratégia, em 90% da duração de todas as transmissões apresenta-se um índice de continuidade acima de 95%.*

1. Introdução

Nos últimos anos assistimos a uma grande revolução com relação às formas de criação e distribuição de vídeo na Internet. Com a popularização das câmeras digitais e o aumento médio das velocidades de acesso à Internet, a geração e distribuição de vídeos na rede mundial de computadores aumentou consideravelmente. Não somente a oferta de conteúdo aumentou como também a procura pelos mesmos. Foi mostrado que a visualização de conteúdo como seriados de TV, pequenos vídeos (como os disponíveis

*Esta pesquisa é parcialmente financiada pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para a Web - INCTWeb (MCT/CNPq 573871/2008-6) e pelo Projeto REBU (CTInfo/CNPq 55.0995/2007-2)

no YouTube¹), animações e outras aplicações que geram tráfego através do consumo de vídeo já representam mais de 60% de todo tráfego da Internet ².

Com o surgimento da Web 2.0, serviços Web agora contam com a colaboração de usuários para aumentar a quantidade de conteúdo oferecida a seus clientes. Essa criação de conteúdo de forma colaborativa se mostra um importante fator na popularidade de diversos serviços como YouTube, Flickr³ e Delicious⁴.

No passado, a realização de transmissão de vídeo ao vivo era acessível somente a grandes empresas de distribuição de mídia, e para isso era necessário um alto investimento financeiro. Atualmente, existem vários serviços gratuitos para distribuição de fluxos de vídeo ao vivo na Internet baseados na Web 2.0. Exemplos desses serviços são Justin.tv⁵, Ustream.tv⁶ e YahooLive. Nota-se que o interesse por esse tipo de serviço vem crescendo. Um dos precursores, Justin.tv, atraiu 11 milhões de visitantes em novembro de 2008. Seus concorrentes Ustream e Mogulus, atraíram 5,6 e 2,1 milhões respectivamente [Jones 2008].

Para garantir o bom funcionamento desse tipo de sistema é necessário uma quantidade considerável de banda de rede. Isso acontece porque esses sistemas operam em uma arquitetura de rede cliente-servidor, sendo necessário o estabelecimento de uma conexão exclusiva, entre cada cliente com a fonte da aplicação. Com isso, para se manter uma infra-estrutura capaz de oferecer um serviço de qualidade, principalmente para atender vários usuários simultâneos, é necessário um alto investimento financeiro. Isso torna desejável o estudo de arquiteturas de redes alternativas, que possibilitem manter o mesmo serviço a um custo menor. Para realização dessa tarefa um passo essencial é entender o comportamento dos espectadores nesse tipo de aplicação.

Assim, utilizamos as informações obtidas através de uma caracterização, apresentada em [Silva et al. 2009], para construir um simulador baseado em eventos, que por sua vez foi utilizado para avaliar o custo-benefício de alternativas para transmissão de vídeo ao vivo baseadas em arquitetura de rede Par-a-Par (P2P). Os resultados indicaram que uma arquitetura P2P “pura”⁷, apesar de ser a estratégia mais econômica em termos de utilização de banda de rede do servidor, pode não prover uma qualidade de serviço aceitável. Durante, em média, apenas 31% da duração das transmissões essa estratégia proporciona um índice de continuidade acima de 95%.

Já uma estratégia híbrida (que possui duas variações: híbrida e híbrida controlada), onde os clientes primeiramente se conectam a um servidor centralizado, movendo-se em seguida para uma rede P2P após certo intervalo de tempo, se mostrou uma alternativa interessante. A utilização da estratégia híbrida, no seu melhor caso, possibilita que o índice de continuidade fique 90% da duração das transmissões acima de 95%. No entanto a desvantagem dessa estratégia é que se demanda uma maior quantidade de banda de rede em relação às estratégias P2P pura e híbrida controlada. No geral ao se comparar as vantagens e desvantagens de todas as estratégias consideradas, levando em conta todas as métricas analisadas, a estratégia híbrida foi a alternativa que proporcionou uma melhor

¹<http://www.youtube.com>. Todas as urls foram acessadas pela última vez em Junho de 2009.

²<http://www.cachelogic.com> (Velocix)

³<http://www.flickr.com>

⁴<http://www.delicious.com>

⁵<http://www.justin.tv>

⁶<http://www.ustream.tv>

⁷Arquitetura de rede P2P baseada em malha (*mesh-pull*) para transmissão de fluxo de vídeo ao vivo.

relação entre qualidade de serviço e consumo de recursos da fonte do sistema.

O restante do trabalho está organizado da seguinte forma: A seção 2 descreve os principais trabalhos relacionados. Na seção 3 apresentamos as alternativas para transmissão de fluxo de vídeo ao vivo consideradas neste trabalho. Na seção 4 apresentamos a metodologia utilizada nas avaliações realizadas. Na seção 5 apresentamos os resultados dos experimentos realizados. E na seção 6 finalizamos com algumas considerações finais.

2. Trabalhos relacionados

Vários estudos avaliaram sistemas que oferecem fluxo de vídeo. Considerando os trabalhos que mais se relacionam à nossa proposta é possível realizar uma classificação em três classes de trabalhos. A primeira trata de análises de sistemas para transmissão de fluxo de vídeo armazenado gerado por usuários. Esses trabalhos objetivam, entre outros aspectos, identificar melhorias para o sistema estudado. Representam essa classe de trabalhos [Gill et al. 2007] e [Maia et al. 2008].

Já a segunda classe de trabalhos destinou-se a realizar análises de desempenho e funcionamento de sistemas para transmissão de fluxo de vídeo ao vivo. A maioria dos trabalhos nesta categoria enfatiza sistemas baseados em arquiteturas P2P, com foco particular em características das redes sobrepostas que a constituem. Alguns representantes dessa classe [Hei et al. 2007] e [Li et al. 2007].

E por fim, a terceira classe de trabalhos realizou comparações entre diferentes estratégias para transmissão de vídeo ao vivo. Em [Venkataraman et al. 2006] foi realizado uma comparação entre uma arquitetura baseada em P2P não estruturada com uma estruturada. Os autores mostraram que é possível montar uma arquitetura P2P estruturada de forma simples e com algoritmos escaláveis, mantendo sua robustez.

Em [Wang et al. 2007] os autores propõem uma arquitetura híbrida entre uma arquitetura P2P estruturada e não estruturada. A ideia chave dessa estratégia é encontrar parceiros estáveis no sistema para formar uma árvore de transmissão. Os autores alcançaram boas melhorias com o auxílio de sua estratégia híbrida. Em [Zhou and Liu 2005] também foi proposta uma estratégia híbrida, porém focou-se na transmissão de vídeo armazenado.

Nosso trabalho se diferencia dos demais pois consideramos um sistema que oferece conteúdo gerado e transmitido apenas pelos usuários, sendo ainda um sistema baseado na Web 2.0. Além disso, analisamos a substituição da arquitetura de rede do sistema considerado, C/S, por uma P2P, bem como propomos e avaliamos duas novas estratégias para transmissão de fluxo de vídeo ao vivo. Até onde podemos verificar, nosso trabalho é um estudo pioneiro com tais características.

3. Alternativas para transmissão

A seguir será descrito todas alternativas para transmissão de fluxo de vídeo ao vivo consideradas neste trabalho. Em todas alternativas assumi-se que todos os clientes possuem banda de rede suficiente, para receber os fluxos de vídeo na mesma taxa de codificação do vídeo. Todos os nodos possuem capacidade de armazenamento e processamento suficientes, para a visualização do conteúdo. O servidor sempre possui banda de rede e recursos físicos suficientes, para atender os participantes nele conectados. Os nodos não utilizam sua banda de rede em outras atividades, durante sua estadia em alguma transmissão.

3.1. Estratégia P2P pura

Foi modelado um sistema de distribuição de vídeo ao vivo baseado em uma arquitetura de rede P2P do tipo malha. Nesse tipo de sistema existe um participante especial, o servidor, de onde se origina o fluxo a ser transmitido para os participantes da rede. Um novo participante, ao se conectar ao sistema, adquire do servidor $|n|$ nodos participantes do sistema. O participante contata os $|n|$ nodos recebidos. Caso seja de interesse, o nodo contatado pelo novo cliente o adiciona à sua lista de parceiros e começa a interagir na troca de dados. Cada participante reconhece e troca dados apenas com nodos com os quais já foram estabelecidas parcerias. O subconjunto inicial de participantes é obtido aleatoriamente entre todos os membros do sistema, com o auxílio de um mecanismo independente de inicialização (*bootstrap*). A parceria é realizada caso o número máximo de vizinhos $|v|$ ainda não tenha sido atingido, independente se os nodos possuem banda de rede suficiente para essa tarefa. Nenhum sistema P2P específico é modelado, porém a base utilizada em nosso modelo (*mesh-pull*), se assemelha a vários sistemas, por exemplo, o PPLive.

Na seleção de parceiros, para se obter um segmento de um fluxo de vídeo, foi implementado uma heurística que se assemelha à apresentada em [Zhang et al. 2005]. Primeiramente calcula-se o número de potenciais fornecedores para um determinado segmento. Como um segmento com menos potenciais fornecedores é mais difícil de se recuperar a tempo de reproduzi-lo, o algoritmo escolhe o parceiro identificado que possua esse segmento mais raro, e que ainda será reproduzido. Caso haja empate o sistema escolhe o parceiro com maior banda de rede.

Quando um participante perde um vizinho, ou deseja aumentar sua taxa de recebimento do fluxo de vídeo, ele pode requisitar ao servidor uma lista de nodos adicionais, onde, a seleção desses nodos também é feita aleatoriamente. Na simulação os participantes identificam a necessidade de aumentar sua taxa de recebimento de fluxo de vídeo, de acordo com uma análise da qualidade da transmissão. Essa análise, que é realizada a cada 20 segundos, se baseia na métrica continuidade, que será descrita da seção 4.1. Caso a continuidade esteja abaixo de 80% os participantes podem também solicitar novos participantes do sistema, a fim de formar novas parcerias. Esses procedimentos são realizados por todos participantes da transmissão, exceto o servidor que é um nodo especial. O servidor não solicita parceiros, como também somente envia fluxo de vídeo e nunca recebe. Ainda nesse modelo assumi-se que, todos os clientes compartilham um *buffer* de 2 minutos de conteúdo recém capturado da rede.

3.2. Estratégia Cliente/Servidor

Nesse modelo existe uma entidade (servidor), que é responsável pela geração e transmissão do fluxo de vídeo a todos os participantes. Os nodos, ao entrarem no sistema para visualização de algum canal, se conectam diretamente ao servidor. O servidor é o único responsável pela distribuição do fluxo de vídeo da transmissão. O servidor transmite um fluxo exclusivo para cada cliente.

3.3. Estratégia híbrida

O elevado índice de baixos tempos de duração de sessões, que pode representar mudanças de canais, impõe desafios significativos na construção de sistemas P2P para prover infraestrutura para esse tipo de serviço [Cha et al. 2009]. Como foi analisado para um popular sistema de transmissão de vídeo P2P, o tempo inicial de configuração⁸ pode variar

⁸intervalo entre a escolha do canal e a visualização efetiva de seu conteúdo.

de 10 a 20 segundos para canais populares e mais de 2 minutos para os não populares [Hei et al. 2007]. Além disso, as redes P2P não oferecem uma estrutura estável. Quando um nó deixa a rede (interrompe a visualização de alguma transmissão), outros nós da rede podem ser desconectados ou sofrerem perda de qualidade no recebimento do conteúdo. Com um alto índice de sessões de curta duração esse tipo de situação tende a ser mais frequente.

Dado o alto índice de sessões com curta duração, identificado no estudo apresentado em [Silva et al. 2009], propomos uma nova estratégia, denominada **estratégia híbrida**. Na estratégia híbrida os clientes primeiramente se conectam a um servidor centralizado (situação denominada **fase 1**), e após um certo intervalo de tempo $|\omega|$ são redirecionados a uma rede P2P (situação denominada **fase 2**). O servidor (fonte) é único e deve atuar tanto na rede centralizada como na rede P2P. O objetivo dessa estratégia é proporcionar uma melhoria na qualidade de serviço do sistema.

Simultaneamente ao permanecer na fase 1, os usuários se registram numa rede P2P e efetuam parcerias, deixando todas as configurações prontas a ponto de iniciar a solicitação de pacotes de vídeo nessa nova rede. Após o período $|\omega|$ o espectador passa a participar integralmente em uma rede P2P, com mesmo modelo P2P definido na seção 3.1 e com o mesmo modelo de participação de usuários (que será definido adiante), caso ele ainda permaneça no sistema.

Como os usuários formam parcerias na rede P2P durante sua estadia na fase 1, espectadores que se localizam na rede P2P podem solicitar segmentos de vídeo a usuários que estão conectados na arquitetura C/S.

3.4. Estratégia híbrida controlada

Uma variação dessa estratégia híbrida é denominada **estratégia híbrida controlada**. O princípio básico da estratégia híbrida controlada é limitar a banda de rede utilizada pela fonte da transmissão. Essa é a única diferença com relação à estratégia híbrida normal, apresentada na seção anterior.

Nosso mecanismo de controle de banda atua de duas maneiras, dependendo da situação que se está sendo aplicando o controle. Para garantir o limite máximo de usuários conectados na fase 1, o mecanismo se baseia no número de clientes simultâneos nessa fase em um dado momento. Caso o número atual de clientes conectados simultaneamente nessa fase seja maior que o permitido $|L|$, o cliente conecta-se diretamente à fase 2.

4. Metodologia de avaliação

No decorrer desta seção apresentaremos a metodologia utilizada nas avaliações realizadas neste trabalho.

4.1. Métricas de avaliação

Para a realização de nossas avaliações consideramos três métricas:

- **Continuidade:** métrica que é relacionada com a qualidade observada ao longo da transmissão. Essa métrica se baseia em um índice, que indica o número de segmentos do fluxo de vídeo (*chunks*) que chegam antes ou no momento de serem reproduzidos, semelhante à métrica utilizada em [Zhang et al. 2005]. Esse índice é denominado Índice de Continuidade.

- **Atraso:** métrica que é referente ao atraso de inicialização. O atraso de inicialização representa o intervalo de tempo entre a entrada de um usuário no sistema, até a recepção do primeiro segmento do fluxo de vídeo por esse usuário, incluindo atrasos devido às eventuais formações de parcerias. Esse atraso não leva em consideração o tempo de “bufferização”, nem mesmo o tempo que a aplicação gasta até efetivamente exibir a imagem. O objetivo é analisar o impacto que uma determinada estratégia poderia trazer na aquisição do primeiro segmento de vídeo.
- **Contribuição:** métrica que é relacionada ao número de fluxos de vídeo (δ), fornecidos pelos nodos do sistema. Essa medida de banda de rede é apresentada neste trabalho no estado normalizado, por exemplo, contribuição = 1δ quer dizer que um cliente contribuiu o equivalente a 1 fluxo de vídeo, na mesma taxa de codificação em que foi gerado.

4.2. Modelo de simulação

Nossa simulação utiliza informações de um de nossos trabalhos prévios, que apresentou uma caracterização de um sistema para transmissão de vídeo ao vivo, que possibilita a participação dos usuários na criação e transmissão de vídeos [Silva et al. 2009].

O simulador de rede J-SIM⁹ foi utilizado para a realização das simulações aqui tratadas. Foram desenvolvidos e implementados novos componentes para o simulador, que são responsáveis por simular todas as entidades participantes de um sistema de transmissão de fluxo de vídeo ao vivo baseado em uma arquitetura P2P pura, como também baseado em uma arquitetura cliente/servidor. O componente referente à arquitetura de rede P2P estrutura os participantes em uma rede baseada em malha, baseando-se no modelo *mesh-pull*, assemelhando-se às redes de sistemas populares como o Coolstreaming e PPLive.

4.2.1. Modelo de rede

As topologias constam de participantes normais e um especial, denominado servidor. Em todos os casos analisados consideramos uma rede heterogênea em termos da banda de rede disponível nos nodos.

4.2.2. Modelo dos participantes

Em todas as estratégias os participantes entram na transmissão em um intervalo de tempo uniformemente distribuído ao longo da transmissão. O tempo de permanência de um nodo na transmissão é descrito por uma distribuição Lognormal ($\mu = 4,421$, $\sigma = 1,527$).

Para a P2P pura consideramos também que os participantes possuem um limite de paciência com relação ao atraso de inicialização sendo: $\min(2 \times p, T)$ ($|p|$ = tempo de permanência em uma transmissão¹⁰ e $|T|$ = intervalo de tempo máximo de espera). Não foi definido um limite de paciência para a estratégia C/S, pois assumimos que a arquitetura cliente/servidor simulada não apresentaria demoras excessivas no início do atendimento

⁹<http://www.j-sim.org>

¹⁰intervalo que um usuário estaria disposto a visualizar o conteúdo transmitido pelo canal.

Tabela 1. Cenários considerados nas simulações

Cenário	B_{alta}	B_{baixa}
1	4δ	1δ
2	2δ	1δ
3	1δ	$0,5\delta$
4	$0,5\delta$	$0,25\delta$

ao espectador, uma vez que o servidor sempre possuiria recursos para atender a todas as solicitações.

Os participantes podem ser classificados em duas categorias em função da banda de saída disponível, definido por dois parâmetros: $|B_{alta}|$, $|B_{baixa}|$. Consideramos também a utilização do parâmetro $|\theta|$ (que informa a porcentagem de nodos com banda de rede de saída baixa - $|B_{baixa}|$ - no sistema). Esse parâmetro é utilizado para a criação de variações de um determinado cenário, como será abordado na próxima seção. Além disso, consideramos que todos os nodos em todas as estratégias (exceto a C/S), possuem conhecimento da banda de rede dos seus parceiros.

4.3. Cenários de avaliação

Consideramos 4 cenários em nossa avaliação. Todos os cenários apresentam duas variações de larguras de banda de rede. A banda variada é referente à banda de saída do usuário. Todos os cenários sofrem quatro variações. Essas variações tentam representar degradações que o sistema poderia sofrer, variando entre 0%, 25%, 50% e 75%. A variação da degradação ocorre na menor banda de rede ($|B_{baixa}|$), considerada pelo cenário, representada por $|\theta|$. A tabela 1 resume os cenários considerados nas simulações.

Referenciaremos um cenário, com sua devida degradação, de acordo com o exemplo: cenário 2 ($|\theta|=0\%$) e cenário 2 ($|\theta|=75\%$) que referencia o cenário 2 (cujos nodos com melhor banda de saída possuem $|B_{alta}|=2\delta$ e os com pior banda de saída $|B_{baixa}|=1\delta$), para 0% e 75% de variação de nodos com a menor banda de rede de saída nesse cenário.

4.4. Experimento

Utilizamos uma configuração de rede com 1000 participantes, sendo um deles o servidor. Consideramos transmissões de fluxo de vídeo ao vivo. O servidor produz fluxo de vídeo a uma taxa de 6 *chunks* por segundo, cada *chunk* possui 7220 bytes.

Cada participante se conecta a um número máximo de vizinhos ($|v|=30$). Inicialmente, um participante tenta se conectar diretamente a 50% do número máximo de vizinhos permitido e pode realizar novas parcerias durante a sua participação no sistema, podendo isso acontecer por pedidos de outros nodos, ou por necessidade de incrementar a quantidade de dados recebidos da rede.

Todas as transmissões simuladas duraram 30 minutos, esse valor foi escolhido para representar a duração de uma transmissão típica do sistema analisado na caracterização apresentada em [Silva et al. 2009], que é de 26,3 minutos.

Definições de outros parâmetros utilizados nas simulações são: $|T| = 120$ segundos; $|\omega|=1, 2$ e 5 minutos; $L = 40$.

Para garantir uma maior precisão em nossos resultados, executamos cada experimento realizado cinco vezes. Todos os resultados que serão apresentados referem-se a um

valor médio dessas cinco execuções. Por exemplo, em relação ao índice de continuidade no intervalo 100 segundos é feita a média de todos os índices de continuidade obtidos nesse mesmo instante, para todas as simulações e todos os nodos. Foi calculado o intervalo de confiança (*IC*) com 90% de confiança para cada valor médio identificado. No entanto optamos por não mostrar os *ICs* junto aos resultados para se obter uma visualização mais clara dos mesmos, já que a variação sobre a média permaneceu não sofreu grandes oscilações, como veremos a seguir:

- Para a métrica **continuidade** o maior *IC* em relação à média foi de 9,8 (a média de todos *ICs* foi de 1,01 com $\sigma=0,8$).
- Para a métrica **contribuição** aplicada no cliente o maior *IC* em relação à média foi de 1,8 (a média de todos *ICs* foi de 0,09 com $\sigma=0,1$). Já o maior *IC* em relação à média, para essa mesma métrica aplicada no servidor, foi de 7,1 (a média de todos *ICs* foi de 1,7 com $\sigma=1,12$).
- Na métrica **atraso** o maior *IC* em relação à média foi de 39,2 (a média de todos *ICs* foi de 2,32 com $\sigma=6,3$).

5. Resultados

Nesta seção apresentamos os resultados da análise de aplicabilidade e desempenho, da utilização de estratégias de arquiteturas de rede alternativas para suportar um serviço semelhante ao do caracterizado.

5.1. Qualidade média das transmissões

Os valores médios dos índices de continuidade obtidos para todas as estratégias no cenário 1 apresentaram bons resultados na maior parte do tempo, não sofrendo grandes variações ao longo do tempo. Com isso, no texto mostraremos gráficos apenas dos resultados referentes aos cenários 2, 3 e 4.

A estratégia C/S foi superior em relação a essa métrica, uma vez que para todos os cenários o índice de continuidade ficou sempre acima de 95%. O custo dessa superioridade está relacionado com uma maior demanda de banda de rede no servidor, como será abordado na seção 5.4. As outras alternativas também podem apresentar um resultado satisfatório, por exemplo, no cenário 1, a maioria das alternativas apresentaram resultados aceitáveis.

A fim de se obter um índice de continuidade aproximado ao apresentado pela estratégia C/S, e ainda economizando banda de rede, a opção mais recomendada é a híbrida com $|\omega|=5$ minutos, que em 90% do tempo o índice de continuidade ficou acima de 95%, para todos os casos e cenários. A segunda alternativa que proporcionou o maior índice de continuidade médio foi também a híbrida, porém com $|\omega|=2$ minutos, que em 53% do tempo o índice de continuidade ficou acima de 95%. A híbrida com $|\omega|=2$ minutos é ainda a alternativa que apresenta a melhor relação entre o índice de continuidade e economia de recursos, como será abordado posteriormente. No entanto com a utilização dessa estratégia não é possível, por exemplo, realizar um planejamento de utilização de recursos de forma eficiente. Caso isso seja necessário deve-se considerar a utilização da estratégia híbrida controlada. A variação da híbrida controlada que obteve melhores resultados foi a que considerou $|\omega|=5$ minutos, que em 39% da duração das transmissões o índice de continuidade ficou acima de 95%.

No geral percebemos que, exceto no cenário 1, uma rede P2P pura não apresentou resultados satisfatórios referentes à qualidade da transmissão. Esse resultado também é válido para a estratégia híbrida controlada com os valores de $|\omega|$ sendo 1 e 2 minutos.

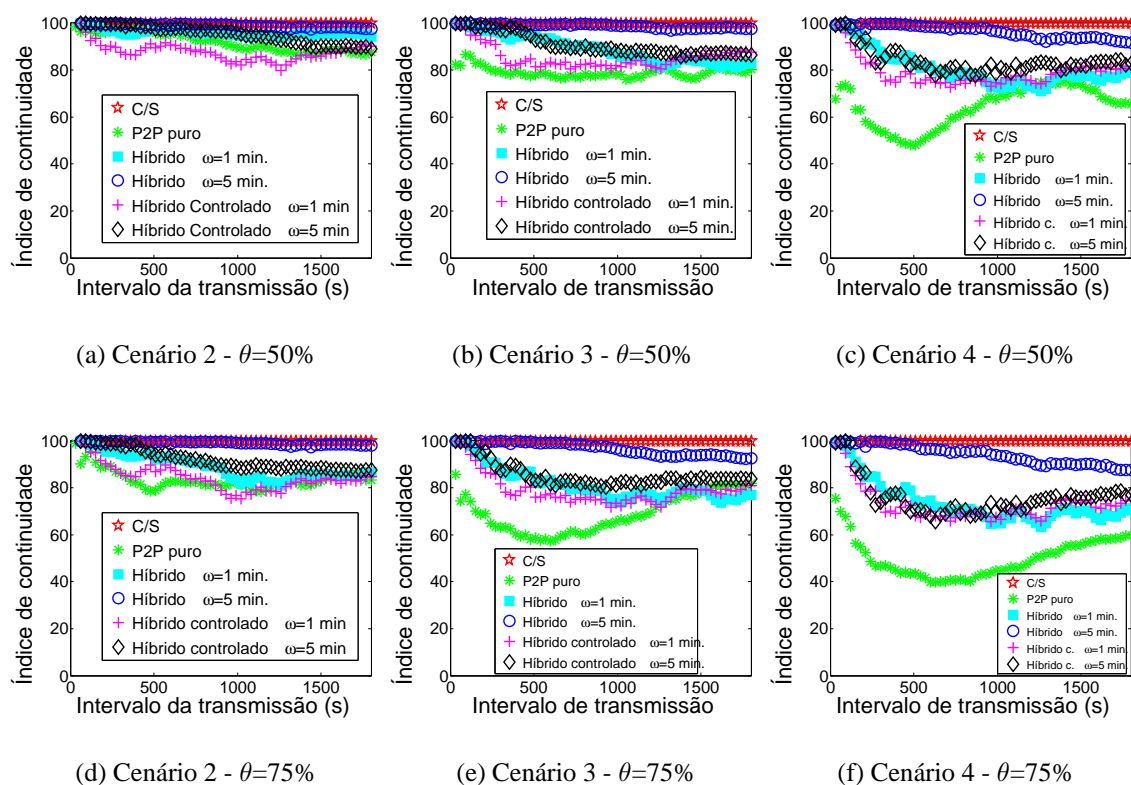


Figura 1. Índice de continuidade

A Figura 1 mostra os índices de continuidade observados no decorrer da transmissão para os cenários 2, 3 e 4 para $|\theta|=50\%$ e $|\theta|=75\%$. De acordo com essa figura podemos observar que em várias situações (exceto para a estratégia C/S) a continuidade decai ao longo da transmissão, até chegar a um ponto de certa estabilidade. Esse fenômeno possui uma explicação para cada estratégia utilizada, apesar de que em todos os casos existe uma relação com o número de usuários simultâneos na transmissão. No caso da estratégia P2P pura os primeiros nodos que entram na transmissão tendem a formar parcerias e receber partes do vídeo provenientes do servidor (fonte), o que explica o bom índice de qualidade nos primeiros instantes da transmissão. No decorrer da transmissão novos usuários entram no sistema, o que resulta no aumento da formação de parcerias e recebimento de segmentos de vídeo a outros parceiros, além do servidor. Com isso, aumenta-se as chances de se solicitar pacotes a participantes com baixa condição de oferecer boa qualidade de serviço, como também fica-se mais susceptível aos efeitos do tempo de permanência na transmissão de curta duração, como abordado na seção 3.3.

No caso da estratégia híbrida isso pode ser explicado pelo fato de que existiram espectadores que permaneceram na transmissão por um período superior a $|\omega|$. Assim, no decorrer da transmissão o número de usuários que permanece na fase 2 tende a ser maior (principalmente para os menores valores de $|\omega|$), fazendo com que a qualidade geral seja inferior, sendo explicada com a mesma justificativa apresentada para a estratégia P2P pura.

Para comprovar esse fato, mostraremos a diferença do número de usuários simultâneos na fase 2 da estratégia híbrida, com relação às três variações de $|\omega|$ consideradas, no cenário 3 para $|\theta|=50\%$. Ao se utilizar $|\omega|=1$ minuto, essa diferença foi em média 24,5% ($\sigma=9$) maior do que ao se utilizar $|\omega|=2$ minutos. Esse valor sobe pra 60,6% ($\sigma=12,02$), quando comparamos os resultados da utilização de $|\omega|=1$ minuto com os da utilização de $|\omega|=5$ minutos. Quanto maior o valor de $|\omega|$ mais se diminui o número de usuários na fase 2, o que aumenta o índice de continuidade (como pode ser observado na Figura 1e), mas que por sua vez aumenta o número de clientes conectados na fase 1 (como pode ser observado na Figura 2a e 2b), o que provoca o aumento na utilização da banda de rede do servidor.

Já no caso da estratégia híbrida controlada o decréscimo do índice de continuidade ocorre até aproximadamente o intervalo de 600 segundos, e em seguida tende a se estabilizar. Com o auxílio da Figura 2a, que mostra o número de espectadores ao longo da transmissão para todas as estratégias no cenário 3 com $|\theta|=50\%$ e $|\omega|=5$ minutos, pode-se observar que na estratégia híbrida controlada o número de usuários na fase 1 e 2 tende a se estabilizar em aproximadamente 600 segundos, explicando a estabilidade da continuidade.

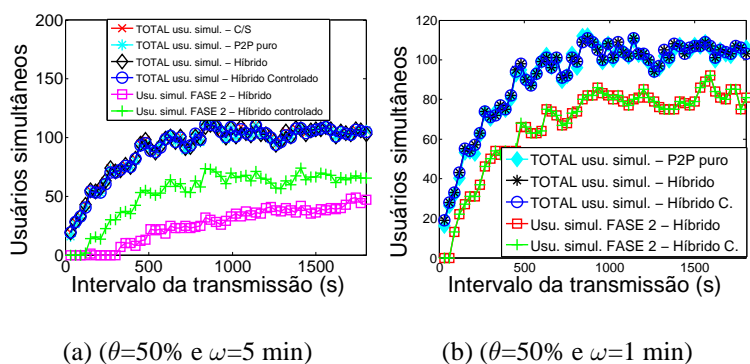


Figura 2. Usuários simultâneos no cenário 3

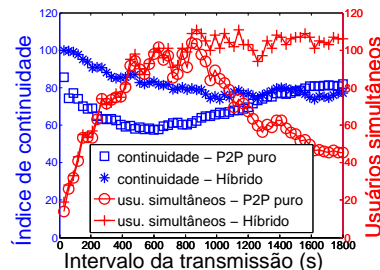


Figura 3. Índice de continuidade x Usuários simul. (Cen.3 $|\theta|=75\%$)

Pode-se ainda observar que, em alguns cenários, com a utilização da estratégia P2P pura (principalmente $|\theta|=50\%$ e $|\theta|=75\%$), obteve-se uma considerável melhora de continuidade a partir de certo intervalo da transmissão. Essa situação é ilustrada com o auxílio da Figura 1e e 1f. Observa-se nessa figura a ocorrência de uma considerável melhora de continuidade, a partir aproximadamente do intervalo de 600 segundos da transmissão. Uma explicação para esse fenômeno é que muitos participantes não conseguiram entrar no sistema, devido principalmente à baixa qualidade de serviço apresentada por essa estratégia em cenários com pouca banda de rede disponível, como os cenários 3 e 4 nos piores níveis de degradação considerados. Isso fez com que o número de participantes simultâneos diminuísse ao longo do tempo, o que consequentemente aumentou o índice de continuidade geral. Pode-se observar essa situação com o auxílio da Figura 3, que mostra o índice de continuidade e o número de usuários simultâneos ao longo da transmissão apresentado pelo cenário 3 com $|\theta|=75\%$.

Observa-se que no final da transmissão a continuidade apresentou certa estabilidade para todas as estratégias. Em alguns casos, como os ilustrados nas Figuras 1d e 1e, os índices de continuidade da estratégia P2P pura e das híbridas apresentaram um resultado semelhantes no final da transmissão. No entanto, quando comparamos o número de

clientes simultâneos no final da transmissão nessas estratégias, como pode ser observado na Figura 3, percebemos que o número de usuários simultâneos na estratégia híbrida é consideravelmente maior do que na estratégia P2P pura.

Em suma constatamos que a estratégia P2P pura não é a mais indicada para suportar usuários com tempo de permanência muito curtos, apresentando resultados com relação ao índice de continuidade insatisfatórios para a maioria dos cenários (em média, apenas 31% do tempo a estratégia P2P pura proporciona um índice de continuidade acima de 95%). Já as estratégias híbridas se mostraram uma alternativa interessante à P2P pura. Nessa métrica a alternativa mais indicada, em substituição da C/S é a híbrida com $|\omega|=5$ minutos. Outras alternativas de destaque são a híbrida com $|\omega|=2$ minutos e híbrida controlada com $|\omega|=5$ minutos (deve-se considerar essa alternativa caso seja desejável realizar um planejamento de carga mais preciso).

5.2. Atraso de inicialização no sistema

Nessa seção será avaliado a latência que os clientes gastam, em média, para receber o primeiro pacote contendo um segmento de vídeo, com o auxílio da métrica atraso.

O nosso caso base de comparação será a arquitetura C/S, em que o atraso de inicialização é considerado 0 (zero), ou seja, estamos desconsiderando o atraso da transmissão de pacotes na rede e assumindo que essa arquitetura não adiciona atrasos extras para a recepção do primeiro segmento de vídeo. Uma opção compatível com o atraso de inicialização da arquitetura C/S é a estratégia híbrida, uma vez que todos os nodos participantes dessa estratégia inicialmente se conectam numa arquitetura C/S. A estratégia híbrida obteve esse resultado em troca de uma maior utilização da banda de rede do servidor, quando comparado com a estratégia P2P pura, uma vez que todos os nodos nessa estratégia obtêm os primeiros segmentos de vídeo a partir da fonte.

Os atrasos de inicialização enfrentados pelos nodos das transmissões que operaram com suporte da estratégia P2P pura, como também da estratégia híbrida controlada, foram classificados em 4 faixas, como pode ser notado na Tabela 2.

Tabela 2. Atraso de inicialização enfrentados por todos os casos, de todos os cenários, ao se utilizar a estratégia P2P pura e Híbrida Controlada

Estratégia	Atraso de Inicialização %			
	$X = 0s$	$0 < X \leq 5s$	$5s < X \leq 10s$	$X > 10s$
P2P pura	15,2 ($\sigma=12,1$)	69,3 ($\sigma=15,9$)	9,4 ($\sigma=12,3$)	6 ($\sigma=2,7$)
Híbrida C. $\omega=1min.$	49,3 ($\sigma=0,08$)	50,6 ($\sigma=0,06$)	0,013 ($\sigma=0,03$)	0,05 ($\sigma=0,05$)
Híbrida C. $\omega=2min.$	44,3 ($\sigma=0,4$)	53,9 ($\sigma=0,4$)	0,6 ($\sigma=0,3$)	1,21 ($\sigma=0,5$)
Híbrida C. $\omega=5min.$	28,51 ($\sigma=0,4$)	66 ($\sigma=5,4$)	1,7 ($\sigma=1,9$)	3,75 ($\sigma=1,5$)

Como foi possível observar na Tabela 2 6% do usuários na estratégia P2P pura apresentaram atraso de inicialização acima de 10 segundos (sendo o maior atraso observado de 53,4 segundos). Especificamente com relação ao atraso devido mudanças de canais, [Salvador 2006] mostrou que os atrasos a partir de 5 segundos são considerados insatisfatórios em um sistema de IPTV, indicando que os resultados apresentados pela estratégia P2P pura podem não ser desejáveis.

Na estratégia híbrida controlada, à medida que o limite de permanência na fase 1 dessa estratégia aumenta, o atraso de inicialização enfrentados pelos usuários também se eleva, como é possível observar na Tabela 2. Como na estratégia híbrida controlada existe

um limite de usuários simultâneos se beneficiando do servidor, quanto maior o limite de permanência na fase 1 utilizado pela estratégia, menos usuários terão acesso a essa fase ao entrarem no sistema. Isso faz com que esses nodos se conectem diretamente fase 2 (arquitetura P2P), estando sujeito aos atrasos de inicialização impostos pela rede dessa fase.

Observamos que a híbrida controlada apresentou um resultado superior à estratégia P2P pura em todos os casos, principalmente para os resultados obtidos com a utilização dos valores de $|\omega|$ valendo 1 e 2 minutos. No entanto a melhor estratégia, com relação a essa métrica, em substituição à estratégia C/S foi a híbrida, para qualquer valor de $|\omega|$, uma vez que apresenta resultados semelhantes à mesma.

5.3. Contribuição dos clientes no sistema

Nessa seção utilizamos a métrica contribuição para avaliar as contribuições realizadas pelos nodos ao funcionamento do sistema. Em todos os cenários observamos que no geral os nodos não contribuíram mais do que receberam. Foi possível constatar também que os nodos participantes da estratégia P2P pura contribuíram mais ao sistema do que os nodos das estratégias híbridas. A estratégia que proporcionou a maior economia média foi a híbrida com $|\omega|=5$ minutos. A estratégia híbrida controlada para $|\omega|=1$ minuto foi a segunda alternativa mais econômica, apresentando um resultado próximo ao da estratégia híbrida com $|\omega|=5$ minutos. Observamos também que as outras variações de $|\omega|$, tanto para a estratégia híbrida como para a híbrida controlada, apresentaram bons resultados.

A Figura 4¹¹ mostra a função cumulativa de probabilidade referente à contribuição dos clientes para o cenário 2, 3 e 4 para $|\theta|=75\%$. O eixo x dessa figura representa o número de vezes que um cliente contribuiu no sistema em relação ao que ele recebeu, por exemplo, se a contribuição do cliente for igual a 2, quer dizer que esse cliente contribuiu o equivalente a 2 vezes do que foi recebido por ele.

Os espectadores participantes de uma transmissão suportada pelas estratégias híbridas geralmente contribuem menos no sistema do que a estratégia P2P pura. Isso se explica pelo fato dos clientes nessas estratégias permanecerem parte, ou todo o seu tempo de permanência na transmissão, conectado diretamente a uma arquitetura cliente/servidor, apenas solicitando pacotes ao servidor, que em contrapartida acaba utilizando uma maior quantidade de banda de rede. Isso reduz o número de pedidos de segmentos de vídeo a outros participantes, fazendo com que os usuários contribuam menos para o sistema. Essa situação é ilustrada com o auxílio da Figura 4a. No entanto observa-se que em algumas situações, como a representada nas Figuras 4b e 4c, que os nodos da arquitetura P2P pura contribuíram, na maioria dos casos, menos ao sistema do que os nodos das estratégias híbridas. Isso se explica devido ao fato de que nesses casos, o índice de continuidade observado na transmissão suportada pela estratégia P2P pura foi, na maior parte do tempo, muito inferior ao valor observado com a utilização das estratégias híbridas. Um índice de continuidade baixo possui relação com a baixa contribuição dos nodos ao sistema.

Analisando todos os cenários e variações percebemos que na estratégia P2P pura os nodos contribuíram mais no sistema, aproximadamente 46% dos nodos em média contribuíram mais da metade que receberam. Observamos ainda que a estratégia híbrida com $|\omega|$ valendo 5 minutos e a híbrida controlada com $|\omega|$ igual a 5 minutos, foram as que proporcionaram as maiores economias de banda de rede de saída dos clientes. Nota-se

¹¹sendo mostrado até a contribuição de 3 vezes ao que foi recebido pelo cliente, a fim de enfatizar as partes mais expressivas das curvas mostradas.

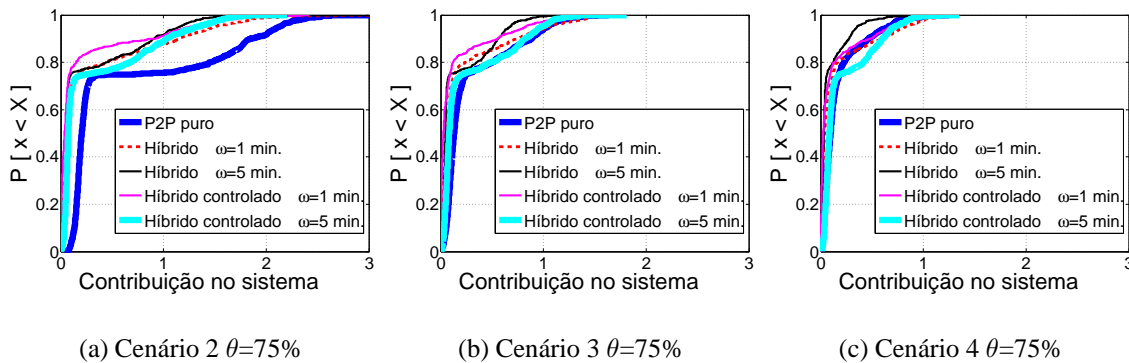


Figura 4. Contribuição dos clientes no sistema

também que as outras variações dessas estratégias também apresentaram bons resultados. No pior resultado observado (híbrida $\omega=1$ minuto) em média 83% dos nodos contribuíram menos da metade do que receberam. Já no melhor caso (híbrida $\omega=5$ minutos) 94% dos nodos contribuíram menos da metade do que receberam.

5.4. Contribuição do servidor no sistema

Nessa seção analisamos a contribuição do servidor (fonte) realizada no sistema. Foi possível comprovar que, a estratégia que proporcionou a maior economia de banda de rede para o servidor foi a P2P pura. Mostraremos também que a estratégia que demandou a maior quantidade de banda de rede foi a C/S, e que a estratégia híbrida mesmo no caso onde $|\omega|$ valia 5 minutos proporcionou uma economia de banda em relação à estratégia C/S (valor médio de 22,4%).

A estratégia híbrida controlada, na maioria dos casos, foi mais econômica em relação à híbrida. Apesar disso a estratégia híbrida, em alguns casos, apresentou um melhor custo-benefício. Um exemplo seria onde $|\omega|$ valeu 2 minutos, tanto para a estratégia híbrida, como para a híbrida controlada. Nessa situação a economia de banda de rede proporcionada pela estratégia híbrida controlada foi de aproximadamente 20% a mais em relação à híbrida, porém o valor médio do índice de continuidade proporcionado pela estratégia híbrida, foi superior, em valores médios, a três vezes ao valor obtido pela estratégia híbrida controlada.

A Figura 5 ilustra a contribuição da fonte em todas as estratégias consideradas para o cenário 3 $|\theta|=0\%$ e $|\omega|$ valendo 1, 2 e 5 minutos. Observa-se que a contribuição realizada pela fonte na estratégia C/S é maior do que em todas as outras estratégias.

Observa-se também, ainda com o auxílio da Figura 5, que o servidor na arquitetura P2P pura tende a contribuir menos ao sistema com o aumento no número de clientes simultâneos na transmissão. Isso aconteceu devido ao fato de que, com um maior número de nodos no sistema as opções para se obter um determinado segmento de vídeo são maiores, com isso o servidor tende a se tornar menos requisitado. Isso resulta em uma maior contribuição dos nodos participantes do sistema. Já na estratégia C/S a contribuição efetuada foi proporcional ao número de clientes simultâneos na transmissão, pois nessa estratégia o servidor proporciona um fluxo de vídeo exclusivo para cada cliente. Na estratégia híbrida, quanto maior o valor de $|\omega|$, maior é a quantidade de banda de rede demandada à fonte da transmissão. Isso acontece porque quanto maior o valor de $|\omega|$,

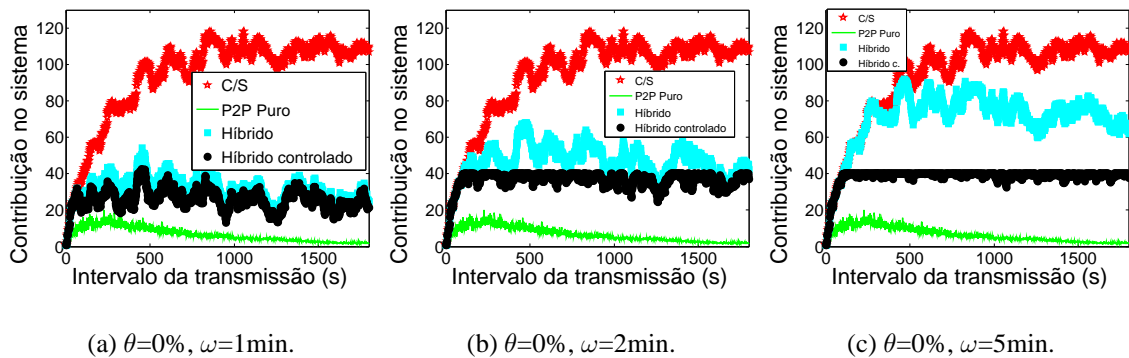


Figura 5. Contribuição da fonte no sistema, cenário 3

dessa estratégia, mais clientes participam simultaneamente da fase 1. E na estratégia híbrida controlada a contribuição realizada pelo servidor foi no máximo equivalente ao limite definido neste trabalho ($L = 40$).

A Tabela 3 apresenta os resultados da economia de banda de rede proporcionada por todas as estratégias, quando comparadas com a estratégia C/S. Os resultados dessa tabela leva em consideração todos os cenários e todos os valores de $|\theta|$. Como podemos observar a estratégia P2P pura foi a que proporcionou a maior economia de banda rede, 91,9%. No entanto essa expressiva economia possui também um elevado custo associado, como mostramos nas seções anteriores, os clientes nessa estratégia obtiveram, em valores médios, os menores índices de continuidade, contribuíram mais e apresentaram elevados atrasos de inicialização no sistema. Com isso, mesmo com essa economia proporcionada ao servidor essa estratégia pode não ser a mais indicada.

Ainda com base na Tabela 3, podemos observar, que a economia de banda de rede proveniente da estratégia híbrida, quando comparada com a estratégia C/S, é inversamente proporcional ao valor de $|\omega|$. Quanto maior o valor de $|\omega|$, menor a economia. Isso também se explica devido ao maior número de clientes simultâneos na fase 1, dessa estratégia, com o aumento do valor de $|\omega|$. No entanto, como foi possível observar nos resultados referentes à métrica continuidade, com o aumento do valor de $|\omega|$ percebe-se que essa métrica apresenta uma melhora proporcional e esse valor.

Apesar de a estratégia híbrida proporcionar uma economia de banda de rede em relação à estratégia C/S, é válido questionar se essa economia valeria a pena para todos os casos. Se analisarmos, por exemplo, o caso onde consideramos $|\omega|=5$ minutos, que proporcionou o melhor índice de continuidade, a economia de banda proporcionada foi de apenas 22% em média (Tabela 3). Nem todos os casos essa economia proporcionada justifica a manutenção de duas arquiteturas de rede (C/S e P2P), necessárias para o funcionamento dessa estratégia. Para esses casos deve-se considerar, por exemplo, a redução de $|\omega|$ (que reduz a utilização da banda de rede do servidor, em troca da diminuição da qualidade da transmissão), ou até mesmo a utilização da estratégia híbrida controlada, que garante um limite de utilização máxima da banda de rede do servidor.

Como na estratégia híbrida controlada o gasto do servidor é limitado, o ganho dessa abordagem está relacionado ao limite de utilização máximo definido. Especificamente em nosso caso, a economia proporcionada por essa estratégia em relação à estratégia C/S foi menor com o aumento do valor de $|\omega|$. No entanto essa redução não é significativa se

Tabela 3. Economia de banda de rede proporcionada em comparação com a estratégia C/S

Estratégia	Economia em relação à estratégia C/S (σ)
P2P pura	91,9% (10, 8)
Híbrida $\omega=1$ min.	63,9% (17, 4)
Híbrida $\omega=2$ min.	47,1% (17, 6)
Híbrida $\omega=5$ min.	22,4% (13)
Híbrida Controlada $\omega=1$ min.	69,2% (16, 7)
Híbrida Controlada $\omega=2$ min.	57,2% (17, 4)
Híbrida Controlada $\omega=5$ min.	54,8% (17, 2)

compararmos os resultados obtidos com $|\omega|=2$ e $|\omega|=5$ minutos. Isso se explica pelo fato de que nesses casos, atinge-se o limite L na maior parte do tempo, significando que foi atingido a economia mínima em relação à estratégia C/S na maior parte do tempo, para $|\omega|$ valendo 2 e 5 minutos nessa estratégia.

Com relação à economia proporcionada pela estratégia híbrida controlada em relação à estratégia híbrida percebemos que, quanto maior o valor de $|\omega|$, maior a economia. Observamos uma expressiva melhora, favorável à estratégia híbrida controlada (média de 43% [$\sigma=13,18$]), para o caso onde ambas as estratégias consideraram $|\omega|=5$ minutos.

A estratégia híbrida controlada sempre possibilita uma economia de banda em relação à estratégia híbrida, mesmo em situações que a estratégia híbrida utiliza um valor de $|\omega|$ menor do que o utilizado na estratégia híbrida controlada. Por exemplo, ao se considerar $|\omega|=1$ minuto na estratégia híbrida e $|\omega|=5$ minutos na estratégia híbrida controlada o valor da economia média proporcionada pela estratégia híbrida controlada foi em média de 10% ($\sigma=6,4$).

Como mostrado na seção 5.1, a estratégia híbrida com $|\omega|=5$ minutos foi a que apresentou o melhor índice de continuidade em relação a todos os cenários considerados. Porém percebemos, com auxílio das análises apresentadas nesta seção, que essa estratégia é a que proporciona a menor economia de recursos do servidor. Apesar da economia proporcionada ser significativa, ela pode não ser suficiente. Percebemos também que a estratégia híbrida com $|\omega|=2$ minutos é a estratégia que proporciona o melhor custo-benefício em termos de economia de recursos e qualidade da transmissão. No entanto essa estratégia não permite a realização de um bom planejamento de carga, que só é possível com a utilização de sua variação, a estratégia híbrida controlada. Considerando somente a estratégia híbrida controlada, o caso onde se obteve o melhor custo benefício, entre economia de recursos e qualidade do sistema, foi o que considerou $|\omega|=5$ minutos.

6. Considerações finais

Até o nosso conhecimento esse é o primeiro estudo destinado a realizar uma análise comparativa de soluções alternativas, baseadas em arquiteturas de rede P2P, para transmissão de vídeo ao vivo. Utilizamos as informações obtidas através de uma caracterização, realizada em um sistema para transmissão de fluxo de vídeo ao vivo baseado na Web 2.0, para construir um simulador baseado em eventos, que por sua vez foi utilizado em nossa avaliação.

De acordo com os resultados obtidos, foi possível perceber que uma arquitetura P2P “pura” foi a estratégia mais econômica em termos de utilização de banda de rede do

servidor. Porém essa estratégia, na maioria dos casos, não apresentou uma qualidade de serviço aceitável.

Percebemos ainda que a utilização da estratégia híbrida, no seu melhor caso, possibilitou que o índice de continuidade ficasse 90% da duração das transmissões acima de 95%. No entanto a desvantagem dessa estratégia é que se demanda uma maior quantidade de banda de rede em relação às estratégias P2P pura e híbrida controlada. Apesar disso foi capaz de economizar, no pior caso, em média 22% de banda de rede quando comparado com a estratégia C/S. No geral ao se comparar as vantagens e desvantagens de todas as estratégias consideradas, levando em conta todas as métricas analisadas (continuidade, atraso e contribuição), a estratégia híbrida, principalmente para $|\omega|=2$ e 5 minutos, foi a alternativa que proporcionando uma melhor relação entre qualidade de serviço e consumo de recursos do sistema. Porém, caso um melhor planejamento de carga seja necessário, deve-se considerar a utilização da estratégia híbrida controlada, sendo a variação de melhor resultado a que considerou $|\omega|=5$ minutos.

Referências

- Cha, M., Rodriguez, P., Crowcroft, J., Moon, S., and Amatriain, X. (2009). Watching television over an ip network. In *IMC '08: Proceedings of the 8th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement*, pages 71–84, New York, NY, USA. ACM.
- Gill, P., Arlitt, M., Li, Z., and Mahanti, A. (2007). Youtube traffic characterization: a view from the edge. In *IMC '07: Proc. of the 7th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement*, pages 15–28, NY, USA. ACM.
- Hei, X., Liang, C., Liang, J., Liu, Y., and Ross, K. (2007). A Measurement Study of a Large-Scale P2P IPTV System. *Multimedia, IEEE Transactions on*, 9(8):1672–1687.
- Jones, B. (2008). Live video takes off on sites like justin.tv and ustream.tv. Website - USA Today. http://www.usatoday.com/money/industries/technology/2008-12-09-live-video_N.htm. Último acesso em Junho de 2009.
- Li, B., Xie, S., Keung, G., Liu, J., Stoica, I., Zhang, H., and Zhang, X. (2007). An empirical study of the coolstreaming+ system. *Sel. Areas in Comm., IEEE Jour.*, 25(9):1627–1639.
- Maia, M., Almeida, V., and Almeida, J. (2008). Vídeo gerados por usuários: Caracterização de tráfego. In *XXVI Simp. Brasi. de Redes de Comp., SBRC 2008*, Rio de Janeiro, Brasil.
- Salvador, C. E. P., editor (2006). *Proc. of the Fifth IASTED Intern. Conf. on Comm. Systems and Networks*. IASTED/ACTA Press.
- Silva, T., Mota, V., Valadão, E., Almeida, J., and Guedes, D. (2009). Caracterização do Comportamento dos Espectadores em Transmissões de Vídeo ao Vivo Geradas por Usuários. In *Proc. Brazilian Symp. on Computer Networks (SBRC), Recife, PE, Brazil*.
- Venkataraman, V., Yoshida, K., and Francis, P. (2006). Chunkyspread: Heterogeneous unstructured tree-based peer-to-peer multicast. In *Network Protocols, 2006. ICNP '06. Proceedings of the 2006 14th IEEE International Conference on*, pages 2–11.
- Wang, F., Xiong, Y., and Liu, J. (2007).mtreebone: A hybrid tree/mesh overlay for application-layer live video multicast. In *ICDCS '07*, pages 49–49.
- Zhang, X., Liu, J., and shing Peter Yum, T. (2005). Coolstreaming/donet: A data-driven overlay network for peer-to-peer live media streaming. In *in IEEE Infocom*.
- Zhou, M. and Liu, J. (2005). A hybrid overlay network for video-on-demand. In *Comm., 2005. ICC 2005. 2005 IEEE Inter. Conf. on*, volume 2, pages 1309–1313 Vol. 2.