

# Incentivos em Redes *Peer-to-Peer* de Fluxo de Mídia com Distribuição Sincronizada

Daniel A. G. Manzato, Nelson L. S. da Fonseca

Instituto de Computação – Universidade Estadual de Campinas  
Caixa Postal 6176 – 13084-971 – Campinas – SP – Brazil

{dmanzato,nfonseca}@ic.unicamp.br

**Resumo.** *O uso de redes peer-to-peer nos serviços de vídeo sob demanda é uma alternativa viável para o problema de escalabilidade do modelo cliente-servidor. Entretanto, um de seus desafios é o comportamento egoísta dos usuários, que não cooperam no compartilhamento de fluxos. Um outro problema é o curto tempo de permanência dos usuários, que gera interrupções na entrega dos fluxos com sensibilidade temporal. Este trabalho introduz um mecanismo de incentivo para atacar esses problemas, de forma que a rede se torne escalável, a qualidade de fluxo recebida maximizada e os problemas de interrupções reduzidos.*

**Abstract.** *Peer-to-peer networks are more scalable than client-server networks to provide video on demand services. However, one of the challenges in peer-to-peer networks is the selfish behavior of non-cooperative users. Another challenge is the short time users stay connected to the system, which causes disruptions of the delivery of time-constrained content. This paper introduces an incentive mechanism to tackle both problems, aiming to increase scalability and the quality of reception as well as to decrease the number of disruptions.*

## 1. Introdução

A arquitetura cliente-servidor, utilizada na distribuição de fluxos nos sistemas de vídeo sob demanda, não é escalável. Apesar dos esforços realizados nos últimos anos, ela ainda gera uma grande quantidade de tráfego de rede, processamento e consumo de memória de forma centralizada nos servidores. A consequência disso é que o alto custo demandado por uma grande quantidade de clientes utilizando o serviço simultaneamente torna o serviço viável apenas a grandes sites comerciais.

As redes *peer-to-peer* têm como característica explorar os recursos ociosos nas estações clientes. Trata-se de uma organização de serviços na qual cada estação armazena o seu próprio conteúdo e o compartilha com as demais. Esta abordagem é altamente escalável, permite a implementação de multicast em nível de aplicação e apresenta custo reduzido quando comparada às arquiteturas cliente-servidor. Sendo assim, as redes *peer-to-peer* são cada vez mais consideradas para provisão de vídeo sob demanda, podendo complementar ou substituir a arquitetura cliente-servidor.

Em redes *peer-to-peer* para serviços de fluxo de mídia (do Inglês, *streaming media*), pode-se classificar os serviços em dois tipos: fluxo ao vivo e fluxo sob demanda. No primeiro tipo, o conteúdo é distribuído de forma sincronizada entre clientes, muitas vezes através de árvores que implementam multicast em nível de aplicação. No segundo tipo,

o conteúdo é distribuído sob demanda e de forma assíncrona, podendo diferentes clientes servir diferentes partes de um mesmo fluxo para uma determinada requisição.

A distribuição de vídeo em redes *peer-to-peer* apresenta, também, desafios. Um dos problemas encontrados é o comportamento egoísta dos usuários, que procuram tirar o máximo de proveito dos recursos da rede, cooperando com o mínimo na distribuição dos fluxos. Estudos realizados em redes *peer-to-peer* de compartilhamento de arquivos mostraram que menos de 30% de clientes altruístas sustentam a maioria de todas as requisições da rede [Adar and Huberman 2000]. No contexto de serviços de vídeo sob demanda, nos quais há sensibilidade temporal do conteúdo distribuído, níveis maiores de colaboração são imprescindíveis para viabilizar o sistema [Habib and Chuang 2005].

Um outro problema encontrado é o curto tempo de permanência dos clientes na rede, o que demanda esforços para contornar as interrupções causadas nas entregas de fluxo com sensibilidade temporal quando as desconexões ocorrem. Tal problema é particularmente importante em multicast na camada de aplicação, pois dependendo da posição de um nó nas árvores multicast, diversos clientes podem ser afetados quando ele desconecta da rede. Faz-se necessário, então, o uso de mecanismos de incentivo que estimulem os clientes a cooperarem e também a permanecerem conectados durante intervalos mais longos, de forma a reduzir os problemas de desconexão.

Este artigo introduz um novo mecanismo de incentivo para sistemas *peer-to-peer* de fluxo de mídia ao vivo, a fim de tornar o sistema escalável, maximizar a qualidade recebida, bem como amenizar os problemas decorrentes das rupturas em árvores de distribuição. O presente trabalho responde as seguintes questões: (1) qual é a percentagem de usuários cooperativos necessária para se obter uma qualidade de serviço aceitável? (2) com um mecanismo de incentivo em que todos os clientes cooperam incondicionalmente, quanto se deve exigir de cada um, em termos de cooperação? (3) faz-se vantajoso aumentar os tempos de permanência dos clientes de forma que as rupturas em árvores causadas por suas desconexões sejam minimizadas?

O restante deste documento está organizado da seguinte maneira. Na Seção 2, descreve-se o sistema utilizado. Na Seção 3, introduz-se o novo mecanismo de incentivo proposto. Na Seção 4, avalia-se o mesmo. Na Seção 5, trabalhos relacionados são descritos e, finalmente, na Seção 6, as conclusões são apresentadas.

## 2. Sistema CoopNet

Uma arquitetura *peer-to-peer* de fluxo de mídia ao vivo chamada CoopNet que complementa, ao invés de substituir, a arquitetura cliente-servidor foi proposta em [Padmanabhan et al. 2003]. Esta abordagem é interessante uma vez que a tendência é que os fluxos de vídeo fiquem concentrados em *clusters* de servidores. Além disso, problemas típicos de localização de dados e de nós *bootstrapping* são resolvidos através da existência de uma entidade central, o que facilita a distribuição dos dados na rede como, por exemplo, a distribuição de música de uma rádio on-line.

Para se minimizar os problemas de rupturas em árvores decorrentes da constante entrada e saída de clientes no sistema, utilizou-se múltiplas árvores de distribuição e codificação em múltiplos descritores (do Inglês, *Multiple Description Coding* ou MDC). Neste tipo de codificação, o fluxo original é decomposto em vários sub-fluxos que são codificados separadamente, chamados de descritores. As duas principais propriedades deste

método são: cada descritor possui a mesma importância que os demais, ao contrário da codificação em camadas, na qual se tem dados base e dados de melhoria, e a qualidade do fluxo decodificado é proporcional ao número de descritores recebido.

Dessa forma, utilizando uma árvore de distribuição diferente para o transporte de cada descritor, tem-se que o fluxo não é totalmente interrompido quando uma desconexão ocorre. Ao contrário, apenas um subconjunto dos descritores deixa temporariamente de ser entregue, ocasionando uma queda momentânea na qualidade de fluxo recebida. Adicionalmente, adotou-se uma sugestão feita em [Castro et al. 2003] que indica que cada cliente deve ser admitido como nó interior em uma única árvore, sendo nó folha nas  $n - 1$  demais. Com isso, consegue-se construir árvores o mais disjuntas possíveis, diversificando os caminhos de rede para aumentar a tolerância a falhas, bem como para melhor aproveitar as bandas de saída dos clientes (já que se um nó fosse folha em todas as  $n$  árvores, a sua banda de saída não seria aproveitada).

Em [Padmanabhan et al. 2004], os autores evoluíram o sistema para suportar heterogeneidade dos clientes e controle de congestionamento. Para viabilizar esta melhoria, utilizou-se o conceito de codificação em múltiplos descritores em camadas (do Inglês, *Layered Multiple Description Coding* ou LMDC). Esta reúne o tratamento de tolerância a falhas – oferecido pela codificação em múltiplos descritores – com o tratamento de adaptabilidade de qualidade – oferecido pela codificação em camadas [Chou et al. 2003]. Dessa forma, os clientes com banda restrita recebem apenas os descritores da camada base, enquanto que os demais recebem adicionalmente os descritores das camadas de melhoria.

Além da aplicação de LMDC, outra contribuição de [Padmanabhan et al. 2004] foi o protocolo de adaptação de banda proposto, que é implementado de forma integrada ao mecanismo de redundância de dados e caminhos de rede. Nele, os nós pais e filhos atuam de forma conjunta na inferência dos locais de congestionamento. Além disso, os clientes utilizam-se da importância relativa de cada descritor de cada camada e também da estrutura das árvores de distribuição para se adaptarem às mudanças de bandas, de maneira que o impacto nos seus nós inferiores seja minimizado. Em linhas gerais, o referido protocolo opera da seguinte forma:

1. Descarte tráfego, de entrada ou de saída, quando houver congestionamento no respectivo *link*;
2. Adicione tráfego, de entrada ou de saída, quando não tiver ocorrido congestionamento no respectivo *link* durante um determinado período de tempo.

As variações de banda dos clientes neste tipo de sistema ocorrem através da obtenção ou repasse de um maior ou menor número de descritores. No caso da banda de entrada (consumida), o cliente inscreve-se em mais ou menos árvores para receber os respectivos descritores. No caso da banda de saída (cooperada), admite mais ou menos nós abaixo de si para repassar o descritor da árvore em que foi admitido como nó interior. Como o gerenciamento das árvores de distribuição é centralizado, o servidor é contatado para todos os eventos de chegada, partida, descarte e adição de tráfego dos clientes, mantendo todas as informações de conexão relacionadas.

Apesar da evolução do referido sistema, nenhum mecanismo de incentivo foi proposto e sistematicamente avaliado. A introdução de um mecanismo de incentivo para redes *peer-to-peer* de fluxo de mídia ao vivo é a principal contribuição do presente tra-

balho. Para agregá-lo ao sistema CoopNet, modificou-se o protocolo de adaptação de banda descrito, de forma a se reaproveitar toda a estrutura de suporte à heterogeneidade e controle de congestionamento já existente.

### 3. Um Novo Mecanismo de Incentivo

De acordo com [Obreiter and Nimis 2003], o padrão de incentivo escambo (*Barter Trade*) é o mais apropriado para serviços de natureza síncrona, como é o caso dos sistemas *peer-to-peer* de fluxo de mídia ao vivo, nos quais o cliente coopera enquanto estiver conectado à rede. Com relação aos demais padrões de incentivo existentes – por exemplo, comunidade (*Community*), sistema bancário (*Banking*) e notas bancárias (*Banknotes*) –, o padrão escambo possui grandes vantagens tais como anonimato, persistência, escalabilidade e localização. O que o inviabiliza, na maioria dos casos, é a necessidade de se efetuar as remunerações enquanto se está usufruindo das cooperações. Não obstante, essa restrição não é um empecilho para os referidos sistemas: o repasse de descritores, que é a cooperação esperada dos clientes, pode ser estimulado enquanto eles obtêm o fluxo distribuído. Encerrada a transmissão deste fluxo, nenhuma cooperação adicional é exigida, até mesmo porque ela não é mais necessária.

O mecanismo proposto no presente artigo tem como incentivo primário o padrão escambo, de forma a aumentar a cooperação dos clientes e, conseqüentemente, a escalabilidade da rede. Decorre que, tendo o sistema mais recursos provenientes dos clientes, pode-se oferecer uma melhor qualidade a eles, pois haverá maior espaço para novas admissões nas árvores de distribuição. Assim, pretende-se aliviar o problema decorrente do comportamento egoísta dos clientes.

Para incentivar os clientes a ficarem mais tempo conectados, deve-se oferecer algo que lhes interesse. O padrão escambo já oferece um fluxo de qualidade proporcional ao montante de cooperação disponibilizado. Logo, uma opção seria amenizar as taxas de cooperação impostas por este último àqueles clientes que ficarem conectados por mais tempo. Entretanto, esta abordagem introduz um déficit de recursos no sistema. Para compensar este déficit, aumenta-se as taxas de cooperação daqueles clientes que acabaram de chegar ou que estão conectados há pouco tempo.

Assim, incluiu-se no mecanismo proposto um incentivo secundário, baseado em reputação, que modifica as taxas de cooperação do incentivo primário. As reputações dos clientes são diretamente proporcionais a seus tempos de permanência e suas taxas de cooperação, inversamente proporcionais a suas reputações. Com isso, espera-se amenizar o problema das rupturas em árvores, quando necessário, através do estímulo aos clientes para permanecerem mais tempo no sistema. Neste esquema, a reputação máxima é a dos servidores, de onde provêm todos os fluxos.

A seguir, descreve-se o mecanismo proposto. Seja  $R_i$  a reputação do cliente  $i$  e  $R_s$  a reputação do servidor. Tem-se que  $0 \leq R_i \leq R_s = 1$ .

Seja  $B_{Si}$  a banda de saída do cliente  $i$  disponibilizada para fins de cooperação,  $B_{Ei}$  a sua banda de entrada utilizada para a recepção do fluxo na qualidade desejada e  $TC_i$  a sua taxa de cooperação. Pode-se modelar a relação entre as bandas cooperada e consumida através da seguinte equação:

$$B_{Si} = TC_i \cdot B_{Ei}.$$

O incentivo primário é implementado de forma que esta relação seja respeitada para cada cliente do sistema, ou seja, que não se consuma mais banda do que se tem direito, de acordo com a cooperação efetuada, e que não se coopere mais do que o necessário, de acordo com a qualidade desejada. Para a implementação do incentivo secundário, basta variar as taxas de cooperação de cada cliente de acordo com suas reputações, o que é feito da seguinte forma. Se o cliente  $i$  acabou de se conectar, tem-se que  $R_i = 0$  e, portanto,  $TC_i$  assume o seu valor máximo. Isso significa que a banda de saída a ser cooperada por este cliente para uma determinada banda de entrada é máxima. Por outro lado, após um determinado tempo de conexão, definido por um *threshold*  $TR$  (Tempo Requerido de Cooperador Estável), tem-se que  $R_i = R_s = 1$ , o que significa que o cliente  $i$  tornou-se um “cooperador estável” daquela rede, e  $TC_i$ , por sua vez, assume o seu valor mínimo. Em outras palavras, este cliente “paga” o mínimo pelo serviço usufruído.

Enquanto o tempo de permanência do cliente  $i$  não ultrapassar  $TR$ , calcula-se  $R_i$  de forma proporcional ao cliente mais antigo da rede que ainda não tenha se tornado “cooperador estável”. Seja  $t_*$  o tempo de conexão deste último e  $t_i$  o tempo de conexão do cliente  $i$ . Dessa forma, a reputação é calculada através da seguinte equação:

$$R_i = t_i / (t_* + 1).$$

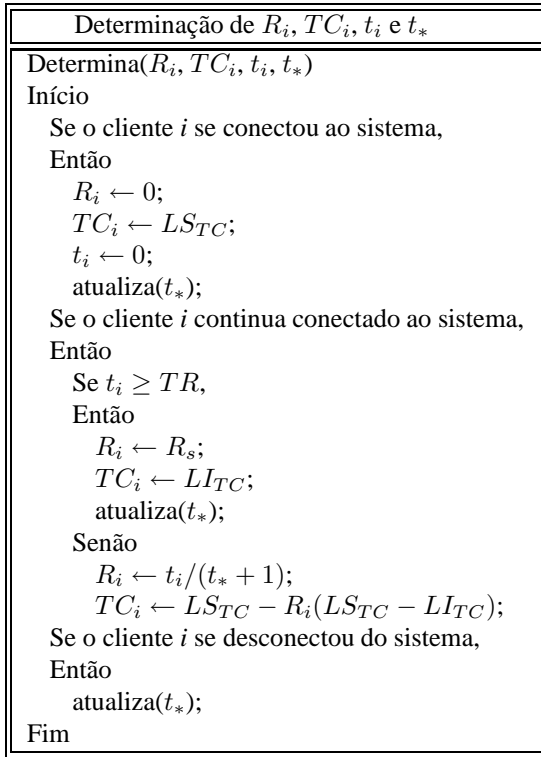
Adicionou-se uma unidade ao denominador desta equação a fim de que  $R_i$  somente seja igual a  $R_s$  após  $t_i \geq TR$ . Seja  $LI_{TC}$  e  $LS_{TC}$  os limites inferior e superior das taxas de cooperação praticadas no sistema, respectivamente. Pode-se calcular a taxa de cooperação do referido cliente através da seguinte equação:

$$TC_i = LS_{TC} - R_i(LS_{TC} - LI_{TC}).$$

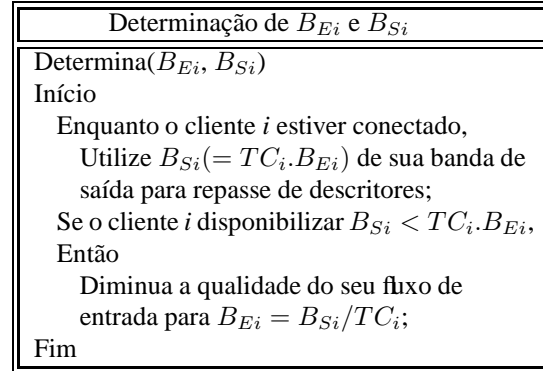
O mecanismo de incentivo proposto no presente trabalho é constituído pelos incentivos primário e secundário descritos acima. A Figura 1 apresenta o algoritmo responsável pela determinação de  $R_i$ ,  $TC_i$ ,  $t_i$  e  $t_*$ . A Figura 2 apresenta o algoritmo responsável pelo balanceamento de  $B_{Ei}$  e  $B_{Si}$ , baseado em  $TC_i$ . Estes algoritmos são executados a cada chegada e partida de clientes, bem como periodicamente para os clientes já conectados no sistema. A atualização de  $t_*$  pode ocorrer sempre que um cliente conecta, desconecta ou é promovido a “cooperador estável”. Nota-se a necessidade de se determinar os parâmetros  $LI_{TC}$ ,  $LS_{TC}$  e  $TR$  de forma a calibrar o funcionamento do mecanismo proposto, o que será discutido na Seção 4.

Para se agregar o mecanismo de incentivo proposto ao sistema CoopNet, modificou-se o protocolo de adaptação de banda presente neste último, descrito na Seção 2. O novo protocolo passou a operar da seguinte forma:

1. Descarte tráfego de entrada quando houver congestionamento no *link* de entrada *ou* quando  $B_{Si} < TC_i \cdot B_{Ei}$ ;
2. Descarte tráfego de saída quando houver congestionamento no *link* de saída *ou* quando  $B_{Si} > TC_i \cdot B_{Ei}$ ;
3. Adicione tráfego de entrada após um determinado período de tempo sem congestionamento no *link* de entrada *e* com  $B_{Si} > TC_i \cdot B_{Ei}$ ;
4. Adicione tráfego de saída após um determinado período de tempo sem congestionamento no *link* de saída *e* com  $B_{Si} < TC_i \cdot B_{Ei}$ .



**Figura 1. Determinação dos parâmetros  $R_i, TC_i, t_i$  e  $t_*$  do mecanismo de incentivo proposto.**



**Figura 2. Determinação dos parâmetros  $B_{Ei}$  e  $B_{Si}$  do mecanismo de incentivo proposto, baseados em  $TC_i$ .**

O cliente  $i$  pode determinar a qualidade desejada de fluxo recebida ou a sua banda de saída a ser cooperada.

Os algoritmos das Figuras 1 e 2 são executados no servidor, determinando periodicamente para cada cliente os resultados das inequações acima indicadas. Como o servidor já está envolvido em todas as operações de descarte e adição de tráfego do protocolo de adaptação original, a implementação das cláusulas adicionais descritas é simples e viável.

Por fim, reaproveitou-se as políticas do protocolo de adaptação original que tomam as decisões a respeito de quais descritores adicionar ou descartar, além da inferência dos locais de congestionamento. Estas, juntamente com o mecanismo de incentivo proposto, no novo protocolo de adaptação modificado, escolhem de quais árvores um determinado cliente deve se desconectar ou, ainda, em quais nós um determinado cliente órfão deve se conectar, nas diferentes árvores.

#### 4. Avaliação do Mecanismo Proposto

Nesta seção, avalia-se a eficácia do mecanismo de incentivo proposto em tornar o sistema escalável, maximizar a qualidade recebida e amenizar os problemas decorrentes das rupturas em árvores de distribuição. Para isso, detalha-se como a avaliação foi conduzida. Em seguida, discute-se a determinação de parâmetros necessária que foi mencionada na Seção 3. Por último, os resultados obtidos são apresentados.

#### 4.1. Configuração das Simulações

Um simulador de redes *peer-to-peer* de fluxo de mídia ao vivo (com distribuição sincronizada) foi desenvolvido. Usou-se a arquitetura proposta em [Padmanabhan et al. 2003, Padmanabhan et al. 2004], na qual múltiplas árvores de distribuição e codificação em múltiplos descritores são consideradas como forma de se prover robustez e adaptabilidade à heterogeneidade dos clientes. Utilizou-se o protocolo de admissão *top-down* também proposto em [Padmanabhan et al. 2003, Padmanabhan et al. 2004], e o novo protocolo de adaptação de banda, descrito na seção anterior, foi implementado. O tamanho de fluxo utilizado é 128 Kbps, o número de árvores de distribuição consideradas 16 e a probabilidade de congestionamento nos *links*  $P = 0.1$  [Padmanabhan et al. 2003, Padmanabhan et al. 2004].

Para modelar as variações de tráfego, utilizou-se processos de chegada *Poisson* não estacionários constituídos pela concatenação de períodos estacionários de 15 minutos [Veloso et al. 2002], com taxas variando entre 5 e 20 chegadas por minuto [Sripanidkulchai et al. 2004]. Nas situações de *flash crowd*, utilizou-se processos de chegada *Poisson* com taxa fixada em 80 chegadas por segundo [Padmanabhan et al. 2003].

O tempo de permanência foi modelado por uma distribuição *lognormal* com parâmetros  $\mu = 5.74$  e  $\sigma = 2.01$  [Veloso et al. 2002]. Em particular, para se modelar o tempo extra de conexão em decorrência do uso do incentivo secundário do mecanismo proposto, utilizou-se uma segunda *lognormal* com os mesmos parâmetros da primeira, sendo o tempo sorteado por esta somado ao tempo original.

Para reproduzir a heterogeneidade dos clientes, criou-se diferentes classes de conexão, cada qual com suas bandas de entrada e saída e com as respectivas probabilidades de ocorrência, as quais foram obtidas a partir de informações de acesso da Internet no Brasil [Teleco 2005]. As seguintes classes foram criadas: acesso discado, ADSL 150 Kbps, ADSL 350 Kbps, ADSL 600 Kbps, ADSL 1 Mbps, HFC 150 Kbps, HFC 300 Kbps, HFC 600 Kbps e HFC 1200 Kbps. A única delas cujos clientes sorteados nunca ficam o tempo extra de permanência é a de acesso discado, que corresponde a 10% do total.

As seguintes métricas foram coletadas nas simulações:

**Qualidade de fluxo recebida:** representa a média dos números de descritores recebidos pelos clientes, entre todos os clientes servidos durante o período de simulação.

**Capacidade de admissão do sistema:** representa a média dos somatórios dos números de novos clientes que podem ser admitidos em cada árvore de distribuição, para todas as árvores que compõem o sistema, durante o período de simulação.

**Probabilidade de bloqueio do sistema:** representa a probabilidade de um cliente chegar no sistema e não ser admitido em nenhuma árvore de distribuição.

**Taxa de rupturas em árvores:** representa a média das taxas de rupturas sofridas pelos clientes, entre todos os clientes servidos durante o período de simulação.

#### 4.2. Determinação dos Parâmetros do Mecanismo Proposto

Conforme mencionado na Seção 3, os parâmetros  $LI_{TC}$ ,  $LS_{TC}$  e  $TR$ , que regem o funcionamento do mecanismo de incentivo proposto, precisam ser determinados. Esta determinação foi realizada experimentalmente e teve como objetivo proporcionar um entendimento inicial do algoritmo proposto. Pretende-se, futuramente, implementar uma

determinação dinâmica dos referidos parâmetros, de forma que o sistema se ajuste automaticamente a diferentes configurações.

Variou-se os parâmetros a serem determinados até que as qualidades de fluxo recebidas fossem maximizadas. Os valores utilizados para os parâmetros  $LI_{TC}$  e  $LS_{TC}$  nas diferentes combinações de experimentos estiveram no intervalo  $[0.2, 2.0]$ , ou seja, banda cooperada equivalente a valores entre 20% e 200% da banda consumida. Outros valores fora desse intervalo foram inicialmente testados, mas notou-se que a qualidade recebida ficava insatisfatória. Os valores utilizados para o parâmetro  $TR$  foram baseados na média dos tempos de permanência dos clientes, que é 2345.02s. Dessa forma, para cada par de limites inferior e superior considerado, variou-se os valores 2345s ( $1 \times 2345s$ ), 4690s ( $2 \times 2345s$ ), 7035s ( $3 \times 2345s$ ), ..., 35175s ( $15 \times 2345s$ ) para este parâmetro. Tempos menores que 2345s e maiores que 35175s também foram testados, mas não apresentaram bons resultados.

Observou-se que a qualidade recebida é máxima quando a taxa de cooperação é fixada em 1 (limites inferior e superior iguais). Quando ela varia, os limites inferior e superior que maximizam as qualidades são aqueles cujas médias mais se aproximam de 1 (0.2 e 1.8, 0.4 e 1.6, 0.6 e 1.4, e assim por diante). A explicação para esses fatos pode ser dada de forma intuitiva. Com taxas menores que 1, a oferta de bandas cooperadas é menor do que a respectiva demanda, ou seja, os clientes consomem mais banda do que cooperam em troca. Neste caso, falta recursos no sistema para atender todas as requisições e, conseqüentemente, os clientes são admitidos em um número menor de árvores do que suas bandas de entrada permitiriam, degradando a qualidade recebida. Por outro lado, com taxas maiores que 1, tem-se uma oferta maior que a demanda. Não obstante, apesar de sobrem recursos no sistema, os clientes muitas vezes não conseguem obter o número descritores de fluxo que suas bandas de entrada permitiriam porque não possuem bandas de saída suficientes para “pagar” a taxa estipulada, ou seja, exige-se mais dos clientes do que o necessário, em termos de cooperação.

Dos pares de limites inferior e superior que maximizam as qualidades, os melhores são aqueles que permitem uma menor variação das taxas de cooperação, ou seja, apresentam uma menor distância entre si (0.9 e 1.1, por exemplo). Acredita-se que isso ocorra devido à discretização das bandas consumidas e cooperadas no cálculo das mesmas, realizado pelo mecanismo de incentivo proposto, conforme visto anteriormente. Conseqüentemente, há sempre um resíduo de banda que não é utilizado por não ser suficientemente grande para acomodar um novo descritor (servido ou recebido). Além disso, quanto maior for a faixa de variação permitida à taxa de cooperação, um número maior de descritores poderá ser afetado por este arredondamento, o que explica a degradação da qualidade recebida conforme a distância entre os limites inferior e superior aumenta.

Entende-se esse prejuízo como sendo o custo de utilização do mecanismo proposto. Por esse motivo, será considerada posteriormente, em todas as análises comparativas, a configuração com a utilização do incentivo secundário e com  $LI_{TC} = 1$  e  $LS_{TC} = 1$ . Apesar não prover, na prática, um incentivo para os clientes ficarem mais tempos conectados, já que a taxa de cooperação não varia em função do tempo de permanência, a referida configuração representa o desempenho máximo que o mecanismo proposto poderia atingir, dando uma idéia do quanto se poderia ganhar, idealmente, sem a dedução do seu custo de utilização.



Os melhores valores encontrados para os três parâmetros do mecanismo de incentivo proposto podem ser vistos na Tabela 1.

**Tabela 1. Valores selecionados para os parâmetros  $LI_{TC}$ ,  $LS_{TC}$  e  $TR$  do mecanismo de incentivo proposto.**

$n$	$LI_{TC}$	$LS_{TC}$	$TR$	$n$	$LI_{TC}$	$LS_{TC}$	$TR$
1	0.5	1.5	16415	8	1	1.05	2345
2	0.6	1.4	14070	9	1	1.1	2345
3	0.7	1.3	11725	10	1	1.2	2345
4	0.8	1.2	9380	11	1	1.3	2345
5	0.9	1.1	7035	12	1	1.4	2345
6	0.95	1.05	4690	13	1	1.5	2345
7	1	1	2345				

### 4.3. Resultados Obtidos

Nesta seção, os cenários e experimentos realizados são detalhados. Em seguida, os benefícios dos incentivos primário e secundário são discutidos, cada qual em sua sub-seção.

#### 4.3.1. Cenários e Experimentos Realizados

Para a avaliação do mecanismo de incentivo proposto, dois cenários foram criados: *24h* e *5mFC*. No primeiro, o sistema é submetido a condições normais de tráfego (sem *flash crowd*) durante o período de vinte e quatro horas, mantendo o número de usuários praticamente estável após o equilíbrio. No segundo cenário, o sistema é submetido a uma situação de *flash crowd* intensa durante os cinco primeiros minutos de simulação, na qual o número de usuários admitidos cresce rapidamente. O objetivo desses dois cenários é avaliar os benefícios proporcionados ao sistema pelo mecanismo de incentivo proposto, tanto em situações de *flash crowd* quanto em condições normais de tráfego. Para isso, as seguintes métricas foram consideradas: qualidade de fluxo recebida, capacidade de admissão do sistema, probabilidade de bloqueio e taxa de rupturas em árvores.

Em ambos os cenários criados, realizou-se uma análise comparativa entre (1) a não utilização de nenhum mecanismo de incentivo; (2) a utilização somente do incentivo primário; e (3) a utilização dos incentivos primário e secundário simultaneamente. Para cada um desses três grupos, incluiu-se experimentos com diferentes variações, que podem ser vistas na Tabela 2.

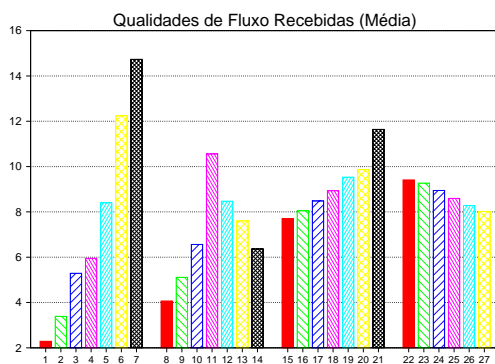
#### 4.3.2. Benefícios do Incentivo Primário do Mecanismo Proposto

Todos os gráficos introduzidos nesta sub-seção e na seguinte apresentam o mesmo eixo das abscissas; cada valor deste corresponde ao índice do experimento indicado na Tabela 2. As Figuras 3 e 4 apresentam, respectivamente, as médias dos números de descritores recebidos pelos clientes durante suas permanências no sistema, para cada experimento dos cenários *24h* e *5mFC*. Analisando inicialmente o primeiro grupo de experimentos (sem incentivo, de 1 a 7), pode-se constatar que a percentagem real de altruísmo sugerida pela literatura (30%) não provê um nível satisfatório de qualidade recebida: cerca de 6

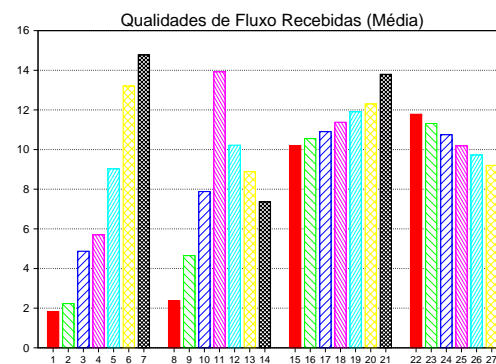
**Tabela 2. Cenários 24h e 5mFC: diferentes experimentos ( $e$ ) realizados nestes cenários, pertencentes aos grupos (1) sem incentivo, variando a percentagem dos clientes que cooperam; (2) escambo, variando a taxa de cooperação (TC); e (3) reputação, variando  $LI_{TC}$ ,  $LS_{TC}$  e  $TR$ .**

Primeiro Grupo			Terceiro Grupo				
$e$	Incentivo	Cooperam	$e$	Incentivo	$LI_{TC}$	$LS_{TC}$	$TR$
1	Sem Incentivo	0%	15	Reputação	0.5	1.5	16415
2	Sem Incentivo	10%	16	Reputação	0.6	1.4	14070
3	Sem Incentivo	25%	17	Reputação	0.7	1.3	11725
4	Sem Incentivo	30%	18	Reputação	0.8	1.2	9380
5	Sem Incentivo	50%	19	Reputação	0.9	1.1	7035
6	Sem Incentivo	75%	20	Reputação	0.95	1.05	4690
7	Sem Incentivo	100%	21	Reputação	1	1	2345
Segundo Grupo			22	Reputação	1	1.05	2345
$e$	Incentivo	TC	23	Reputação	1	1.1	2345
8	Escambo	0.3	24	Reputação	1	1.2	2345
9	Escambo	0.5	25	Reputação	1	1.3	2345
10	Escambo	0.75	26	Reputação	1	1.4	2345
11	Escambo	1	27	Reputação	1	1.5	2345
12	Escambo	1.25					
13	Escambo	1.5					
14	Escambo	2					

descritores em 16. Para se obter uma qualidade superior a pelo menos a metade da máxima disponível (8 descritores em 16), seria necessário que pelo menos 50% dos clientes cooperassem, o que não ocorre na prática. Na situação hipotética de 100% dos clientes cooperando com suas bandas de saída integralmente, teria-se uma qualidade de fluxo de cerca de 15 descritores (experimento 7) e, finalmente, com nenhum cliente cooperando (experimento 1), o sistema degeneraria para a arquitetura cliente-servidor, apresentando uma qualidade de fluxo de cerca de 2 descritores.



**Figura 3. Cenário 24h: médias dos números de descritores recebidos para cada experimento deste cenário.**



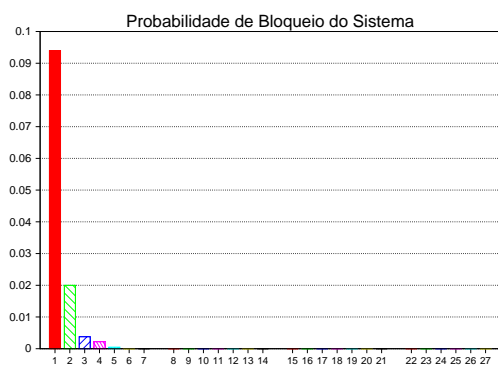
**Figura 4. Cenário 5mFC: médias dos números de descritores recebidos para cada experimento deste cenário.**

Analisando o segundo grupo de experimentos (somente escambo, de 8 a 14), pode-se constatar que o valor da taxa de cooperação que maximiza a qualidade recebida é 1.

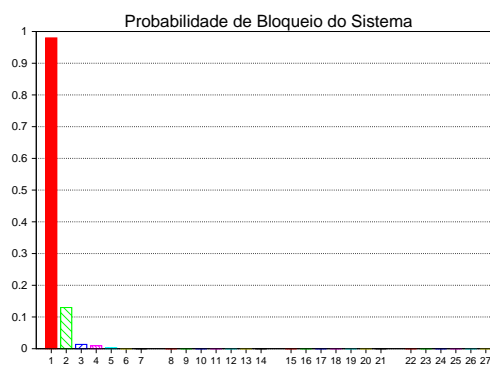
Este fato comprova a discussão realizada anteriormente sobre o ponto de equilíbrio entre a oferta e a demanda de recursos no sistema. Além disso, a qualidade recebida com a utilização somente do incentivo primário, com taxa de cooperação 1 (experimento 11), é cerca de 11 no primeiro cenário e aproximadamente 14 no segundo, significando uma melhoria de qualidade de quase o dobro, no primeiro caso, e de mais que o dobro, no segundo caso, com relação à recebida com 30% de usuários cooperando sem nenhum incentivo (experimento 4).

No terceiro grupo de experimentos (com reputação, de 15 a 27), pode-se notar que quanto maior a variação permitida para a taxa de cooperação (limites inferior e superior mais distantes entre si), menor é a qualidade recebida pelos clientes, o que representa o custo de utilização do mecanismo proposto. Comparando o caso de maior variação (experimento 15) com a situação teórica onde o incentivo secundário ocorre mesmo sem nenhuma variação (experimento 21), tem-se que o custo é de cerca de 4 descritores em 16. Mesmo com uma pequena variação permitida para as taxas de cooperação (experimentos 20 e 22), ocorre de imediato uma queda na qualidade que corresponde a cerca de 50% do custo mencionado (aproximadamente 2 descritores em 4), ou seja, a escolha dos limites inferior e superior pode variar o custo de utilização do mecanismo em 2 descritores.

Para completar o estudo dos benefícios obtidos com o incentivo primário, as métricas probabilidade de bloqueio e capacidade de admissão do sistema foram também analisadas. As Figuras 5 e 6 apresentam, respectivamente, as probabilidades de bloqueio para cada experimento dos cenários *24h* e *5mFC*.



**Figura 5. Cenário 24h: probabilidades de bloqueio do sistema para cada experimento deste cenário.**



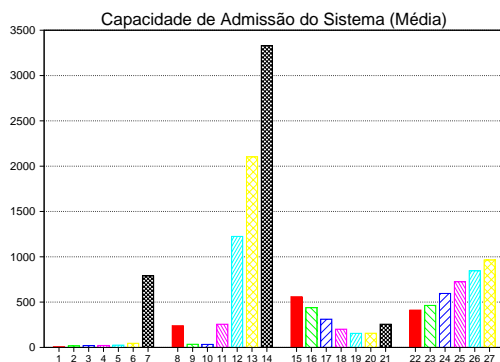
**Figura 6. Cenário 5mFC: probabilidades de bloqueio do sistema para cada experimento deste cenário.**

O principal fato a ser observado nesses gráficos é que, ao contrário do que ocorreu no primeiro grupo de experimentos (sem incentivo, de 1 a 7), todos os clientes foram admitidos no segundo grupo (somente escambo, de 8 a 14) e no terceiro grupo (com reputação, de 15 a 27). Considerando que no cenário *5mFC* a taxa de chegada foi elevada, representando uma situação de *flash crowd*, a ausência de qualquer bloqueio nos grupos onde o incentivo primário do mecanismo proposto estava habilitado evidencia que o mesmo de fato aumentou a escalabilidade do sistema. No primeiro grupo, somente não ocorreu bloqueio quando a percentagem de usuários que cooperam era superior a 50% (experimentos 6 e 7), situações que não condizem com a realidade, segundo a literatura [Adar and Huberman 2000]. Para os casos nos quais ocorreu bloqueio (experimentos

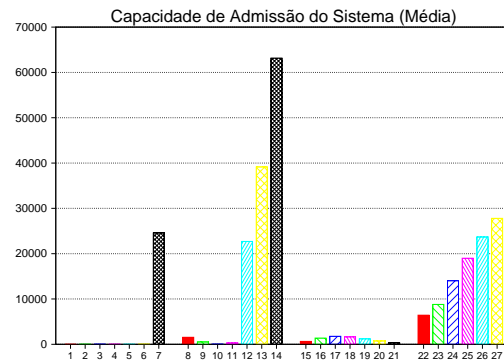
de 1 a 5), pode-se notar a diferença entre as taxas de chegadas de ambos os cenários pela escala do eixo das ordenadas dos gráficos: as probabilidades de bloqueio foram cerca de 10 vezes maiores no cenário *5mFC*.

Outro ponto a ser observado nesses gráficos é a comparação entre os seguintes casos: (1) 30% dos usuários cooperando com 100% dos seus recursos (experimento 4) e (2) 100% dos usuários cooperando com 30% da banda consumida (experimento 8). Caso somente a métrica qualidade de fluxo recebida fosse levada em consideração nesta análise, o primeiro caso seria o melhor, já que apresenta valores maiores. Não obstante, considerando que a métrica probabilidade de bloqueio indicou que nem todos os clientes foram atendidos no primeiro caso, o segundo caso passa a ser o mais interessante. Neste último, apesar dos clientes terem recebido qualidades inferiores, todos eles foram atendidos, o que reforça o benefício proporcionado pelo incentivo primário, em termos de escalabilidade do sistema, mesmo com baixas taxas de cooperação. Esta conclusão está de acordo com a apresentada em [Habib and Chuang 2005], que mencionou que baixos níveis de cooperação (30% de clientes cooperando) inviabilizariam a maioria dos sistemas *peer-to-peer*, exercendo um prejuízo particular às aplicações de distribuição de conteúdo com sensibilidade temporal.

Finalmente, as Figuras 7 e 8 apresentam, respectivamente, as médias das capacidades de admissão do sistema para cada experimento dos cenários *24h* e *5mFC*. Analisando os experimentos de 15 a 21, onde os limites inferior e superior são equidistantes do ponto de equilíbrio 1, pode-se constatar que ocorreu uma utilização eficiente dos recursos acumulados no sistema. Além das qualidades recebidas terem sido boas (Figuras 3 e 4), aparentemente não sobrou e nem faltou recursos na maioria dos casos, o que pode ser notado a partir da comparação destes experimentos com o experimento 11 (utilização ideal dos recursos), tanto no cenário *24h* quanto no cenário *5mFC*.



**Figura 7. Cenário *24h*: médias das capacidades de admissão do sistema para cada experimento deste cenário.**

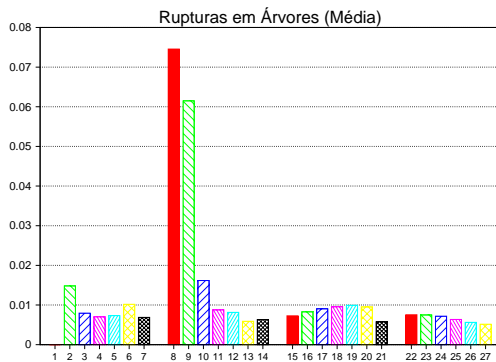


**Figura 8. Cenário *5mFC*: médias das capacidades de admissão do sistema para cada experimento deste cenário.**

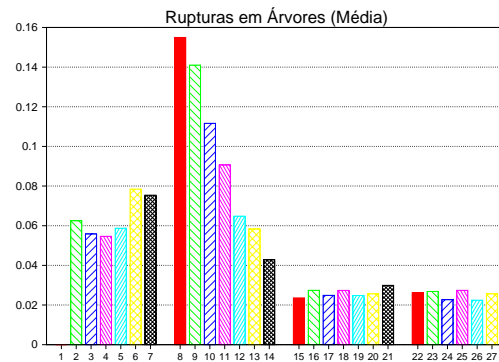
Apesar da utilização eficiente de recursos, há no terceiro grupo de experimentos (com reputação, de 15 a 27) o custo de utilização do mecanismo proposto, que reduz a qualidade recebida de 2 a 4 descritores. Pode-se concluir apenas que a utilização do incentivo primário faz-se essencial no contexto da aplicação estudada, considerando os valores reais de altruísmo fornecidos pela literatura, quando nenhum incentivo é utilizado.

### 4.3.3. Benefícios do Incentivo Secundário do Mecanismo Proposto

As Figuras 9 e 10 apresentam, respectivamente, as médias das taxas de rupturas em árvores sofridas pelos clientes durante suas permanências no sistema, para cada experimento dos cenários *24h* e *5mFC*. Analisando, inicialmente, o cenário *24h*, nota-se que os valores obtidos não foram muito diferentes, nas situações normais de tráfego (sem *flash crowd*), entre os experimentos considerados, ou seja, com poucos usuários chegando e saindo do sistema, o aumento do tempo de permanência deles não afetou muito as rupturas em árvores ocorridas. Pode-se ter uma idéia deste baixo ganho obtido comparando-se os experimentos 11 e 21, que têm o aumento de tempo como diferença entre si (ambos possuem a taxa de cooperação fixada em 1).



**Figura 9. Cenário 24h: médias das taxas de rupturas em árvores para cada experimento deste cenário.**



**Figura 10. Cenário 5mFC: médias das taxas de rupturas em árvores para cada experimento deste cenário.**

Analisando agora o cenário *5mFC*, percebe-se que as situações de *flash crowd* têm grande impacto na métrica em questão. Diferentemente do que ocorreu no cenário *24h*, nota-se aqui uma sensível queda na taxa de rupturas quando o tempo de permanência é aumentado (experimentos de 15 a 27). Em particular, comparando novamente os experimentos 11 e 21, pode-se constatar uma queda de 67% na taxa de rupturas, ou seja, de 0.09 (1 ruptura a cada 11 segundos) para 0.03 (1 ruptura a cada 33 segundos). Além disso, comparando o experimento 21 com os demais do terceiro grupo (com reputação, de 15 a 27), tem-se que, apesar das diferenças nas qualidades recebidas, conforme visto na Figura 4, a taxa de rupturas pouco variou em função dos diferentes limites inferior e superior adotados. Dessa forma, pode-se afirmar que todos os experimentos deste grupo tiveram um benefício similar, devido ao aumento do tempo de permanência dos clientes.

Usou-se o experimento 11 do segundo grupo (somente escambo) como referência pelos seguintes motivos: ele é o que maximiza as qualidades recebidas, bem como o que apresenta árvores com larguras e profundidades equivalentes às formadas pelos experimentos do terceiro grupo (com reputação, de 15 a 27), nos quais as médias das taxas de cooperação (dadas pelos limites inferior e superior) se aproximam de 1. Já no primeiro grupo (sem incentivo, experimentos de 1 a 7), os experimentos 6 e 7 são duas boas referências para a métrica em questão, uma vez que não apresentaram bloqueios. Nota-se que as taxas de rupturas nestes dois casos estão próximas daquela constatada no experimento 11. Dessa forma, o ganho de 67% mencionado também pode ser aproximadamente

considerado como relativo ao primeiro grupo.

Resta a seguinte dúvida: os resultados obtidos no cenário *5mFC* foram diferentes dos obtidos no cenário *24h* por causa do aumento das taxas de chegada ou por causa do curto tempo de simulação executado (cinco minutos)? Em outras palavras, poderiam os resultados obtidos no gráfico da Figura 10 terem sido favorecidos pelo curto tempo de simulação considerado? Para investigar esta questão, manteve-se as taxas de chegada e variou-se os tempos de simulação em períodos maiores. As métricas analisadas anteriormente – qualidade de fluxo recebida, capacidade de admissão do sistema e probabilidade de bloqueio – se mostraram, nos novos cenários, muito parecidas com o que se obteve no cenário *5mFC*. Em particular, os ganhos obtidos em termos da diminuição das taxas de rupturas em árvores também ficaram em torno dos 67% constatados anteriormente. Este fato comprova que o fator responsável pelas quedas nas taxas de rupturas foi somente o aumento das taxas de chegada, o que elevou o número de usuários chegando e saindo do sistema.

## 5. Trabalhos Relacionados

Acredita-se que o presente trabalho seja o primeiro a investigar o aumento do tempo de permanência dos clientes em uma rede *peer-to-peer* de fluxo de mídia como forma de se minimizar as interrupções causadas pelas desconexões no fluxo distribuído.

Em [hua Chu and Zhang 2004], um esquema similar ao considerado aqui foi proposto para se modelar explicitamente o grau de altruísmo dos clientes, utilizando um parâmetro  $K$  que equivale ao parâmetro  $TC$  aqui considerado. No entanto, enquanto em [hua Chu and Zhang 2004] utilizou-se a banda excedente para permitir que clientes com *links* restritos recebam uma qualidade superior à determinada por suas cooperações, no presente trabalho usou-se esta banda excedente para permitir que os clientes com maiores tempos de conexão cooperem menos (taxas de cooperação menores que 1), estimulando tempos de sessão maiores.

Em [Ngan et al. 2004], um esquema baseado em reputação foi utilizado como forma dos clientes “lembrarem” daqueles que se recusaram a cooperar no passado, oferecendo uma chance de retaliação futura no protocolo de admissão, dado que as árvores multicast são reconstruídas periodicamente e nós inferiores podem se tornar superiores depois de um tempo. Outra proposta interessante, dessa vez no contexto de redes *peer-to-peer* de fluxo de mídia sob demanda, foi a apresentada em [Habib and Chuang 2005]. Considerou-se um esquema de incentivo baseado em reputação e percentil que reflete, de forma relativa aos demais, o quanto cada usuário já cooperou na rede. Assim, criou-se uma maneira de prover serviços diferenciados àqueles que cooperam mais. Finalmente, de maneira relacionada ao padrão escambo utilizado, pode-se citar uma das mais populares aplicações *peer-to-peer* de compartilhamento de arquivos, o BitTorrent [Cohen 2003].

Um outro sistema *peer-to-peer* de fluxo de mídia ao vivo, parecido com o utilizado (CoopNet), pode ser citado: SplitStream [Castro et al. 2003]. Múltiplas árvores de distribuição e codificação em múltiplos descritores foram utilizadas. A principal diferença entre SplitStream e CoopNet é que o primeiro constrói as árvores de distribuição de forma distribuída, enquanto que o segundo utiliza uma entidade central para controlar tanto as árvores quanto as políticas do protocolo de admissão.

## 6. Conclusões

Este trabalho introduziu um novo mecanismo de incentivo para sistemas *peer-to-peer* de fluxo de mídia ao vivo, com o objetivo de tornar o sistema escalável, maximizar a qualidade recebida e amenizar os problemas decorrentes das rupturas em árvores de distribuição. As três questões levantadas na Introdução são agora respondidas. Segundo a literatura, apenas 30% dos clientes cooperam quando nenhum mecanismo de incentivo é utilizado. Conforme visto nas simulações, tal nível de altruísmo não é suficiente para prover uma qualidade recebida de pelo menos a metade da ideal. Além disso, as probabilidades de bloqueio mostram que nem todos os clientes que chegam são atendidos, mesmo no cenário sem *flash crowd*, o que revela a falta de escalabilidade do sistema quando poucos cooperam. Respondendo a questão sobre a percentagem de usuários cooperativos necessária para se obter uma qualidade de serviço aceitável, seria necessário que 50% dos clientes cooperassem, o que não condiz com a realidade [Adar and Huberman 2000].

Já com a utilização do incentivo primário, todos os clientes cooperam e, conseqüentemente, nenhum bloqueio ocorreu, bem como as qualidades recebidas foram maximizadas. Conseguiu-se níveis de qualidade de quase o dobro, para os casos sem *flash crowd*, e de mais que o dobro, para os casos com *flash crowd*. Dessa forma, com relação ao incentivo primário, conclui-se que o seu uso se faz essencial para viabilizar os serviços de vídeo sob demanda nas redes *peer-to-peer*, de forma que a escalabilidade do sistema seja aumentada e as qualidades recebidas melhoradas. Respondendo a questão sobre quanto se deve exigir de cada cliente quando todos eles cooperam, deve-se exigir exatamente a mesma quantidade de banda que consomem, de forma que a oferta e a demanda de recursos na rede fiquem em equilíbrio (taxa de cooperação igual a 1).

Com relação ao incentivo secundário, constatou-se, primeiramente, que ele apresenta um custo de utilização na qualidade recebida, que varia de 2 a 4 descritores em 16. Em seguida, mostrou-se que os benefícios obtidos com ele, em termos da diminuição das taxas de rupturas em árvores, são notáveis apenas nas situações de *flash crowd*, nas quais as taxas de chegada são altas. Nestes casos, conseguiu-se reduzir as taxas de rupturas em torno de 67%, dobrando-se os tempos de permanência dos clientes na média. Respondendo a questão sobre ser vantajoso ou não aumentar os tempos de permanência dos clientes de forma que as rupturas em árvores sejam minimizadas, isso é verdadeiro somente quando as taxas de chegada forem suficientemente altas a ponto do ganho obtido compensar o custo incorrido, como foi o caso do cenário com *flash crowd*. Assim, quando as rupturas em árvores forem numerosas o suficiente para provocar distorções na reprodução do fluxo, então o incentivo secundário oferece uma boa solução ao problema, fazendo com que os clientes recebam um fluxo que, apesar de ter menor qualidade (2 a 4 descritores a menos), seja mais estável.

Uma outra possível utilização para o incentivo secundário seria o propósito econômico de se manter os clientes mais tempo conectados no sistema. Assim como ocorre na televisão analógica gratuita, quem paga os custos de distribuição são os anunciantes, que sempre almejam uma maior audiência. Da mesma forma, em um sistema de distribuição de fluxo digital como o estudado, poderia-se, por um lado, ter os anunciantes arcando com os servidores centrais de onde o serviço e as árvores de distribuição se originam; por outro, os clientes da rede *peer-to-peer* cooperando sempre, a partir do incentivo primário, e permanecendo mais tempo conectados, a partir do incentivo secundário. Enquanto o

primeiro fator proporcionaria uma maior escalabilidade ao sistema de maneira que mais clientes pudessem ser atendidos, o segundo satisfaria os interesses econômicos dos anunciantes, que teriam uma maior audiência e, conseqüentemente, ficariam mais motivados a continuar mantendo o serviço.

## Referências

- Adar, E. e Huberman, B. A. (2000). Free riding on gnutella. *First Monday*, 5(10).
- Castro, M., Druschel, P., Kermarrec, A. M., Nandi, A., Rowstron, A., e Singh, A. (2003). SplitStream: High-bandwidth Multicast in a Cooperative Environment. Nos Anais da Conferência *19th ACM Symposium on Operating Systems Principles (SOSP'03)*, páginas 298–313, Bolton Landing, NY, USA. ACM Press.
- Chou, P. A., Wang, H. J., e Padmanabhan, V. N. (2003). Layered Multiple Description Coding. Nos Anais da Conferência *Packet Video Workshop*, Nantes, France.
- Cohen, B. (2003). Incentives build robustness in bittorrent. Nos Anais da Conferência *First Workshop on the Economics of Peer-to-Peer Systems*.
- Habib, A. e Chuang, J. (2005). Service differentiated peer selection: An incentive mechanism for peer-to-peer media streaming. *IEEE Transactions on Multimedia*.
- hua Chu, Y. e Zhang, H. (2004). Considering altruism in peer-to-peer internet streaming broadcast. Nos Anais da Conferência *14th international workshop on Network and operating systems support for digital audio and video (NOSSDAV '04)*, páginas 10–15, New York, NY, USA. ACM Press.
- Ngan, T.-W. J., Wallach, D. S., e Druschel, P. (2004). Incentives-compatible peer-to-peer multicast. Nos Anais da Conferência *2nd Workshop on Economics of Peer-to-Peer Systems*.
- Obreiter, P. e Nimis, J. (2003). A taxonomy of incentive patterns – the design space of incentives for cooperation. Nos Anais da Conferência *Second International Workshop on Agents and Peer-to-Peer Computing (AP2PC'03)*, Springer LNCS 2872, Melbourne, Australia.
- Padmanabhan, V. N., Wang, H. J., e Chou, P. A. (2003). Resilient Peer-to-Peer Streaming. Nos Anais da Conferência *11th IEEE International Conference on Network Protocols*, página 16, Atlanta, GA, USA. IEEE Computer Society.
- Padmanabhan, V. N., Wang, H. J., e Chou, P. A. (2004). Supporting Heterogeneity and Congestion Control in Peer-to-Peer Multicast Streaming. Nos Anais da Conferência *Third International Workshop on Peer-to-Peer Systems (IPTPS)*, San Diego, CA, USA.
- Sripanidkulchai, K., Maggs, B., e Zhang, H. (2004). An Analysis of Live Streaming Workloads on the Internet. Nos Anais da Conferência *4th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement*, páginas 41–54, Taormina, Sicily, Italy. ACM Press.
- Teleco (2005). Teleco. <http://www.teleco.com.br/>. (Data de Acesso).
- Veloso, E., Almeida, V., Meira, W., Bestavros, A., e Jin, S. (2002). A Hierarchical Characterization of a Live Streaming Media Workload. Nos Anais da Conferência *2nd ACM SIGCOMM Workshop on Internet measurment*, páginas 117–130, Marseille, France. ACM Press.