

# Esquemas para Troca Rápida de Canais em Sistemas IPTV

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

<sup>1</sup>Instituto de Computação – Universidade Estadual de Campinas  
Campinas – SP – Brazil

{dmanzato,nfonseca}@ic.unicamp.br

**Resumo.** *Um dos principais desafios a serem superados em sistemas IPTV é a redução do tempo de início de reprodução dos fluxos, particularmente nas operações de troca de canais. Enquanto este problema não existe na televisão convencional, ele é relevante em sistemas IPTV, devido à limitação de banda de rede e emprego de buffers. Este trabalho propõe três novos esquemas para troca rápida de canais em sistemas IPTV que minimizam as ocorrências de latências causadas pelo uso de buffers e estruturas de distribuição.*

**Abstract.** *One of the main challenges in IPTV systems is the reduction of startup delays, especially in channel switchings. While this problem does not exist in traditional television, in IPTV systems it is relevant, due to bandwidth limitation as well as to buffering. This paper proposes three novel schemes for fast channel switching that reduce the occurrences of latencies caused by buffering and overlay structures.*

## 1. Introdução

Os serviços IPTV podem ser oferecidos tanto por uma arquitetura IP privada quanto por uma arquitetura pública. No primeiro caso, denominado IPTV comercial e prestado pelas empresas de telecomunicação, o sistema apresenta abrangência limitada [Albuquerque et al. 2006], devido à conectividade da rede privada. No segundo caso, denominado IPTV cooperativo, utiliza-se a infra-estrutura já existente da Internet e, conseqüentemente, consegue-se uma abrangência global [Albuquerque et al. 2006], com a transmissão de canais de TV de todo o mundo. No IPTV cooperativo, emprega-se tipicamente redes *peer-to-peer* para a distribuição dos fluxos de vídeo, já que elas promovem escalabilidade explorando os recursos ociosos dos clientes [Manzato and da Fonseca 2008].

Apesar da crescente popularização dos serviços IPTV, há ainda desafios nesta área a serem superados [Manzato and da Fonseca 2008, Hei et al. 2007]. Um dos principais problemas é a redução do tempo de início de reprodução dos fluxos, em particular nas operações de troca de canais [Manzato and da Fonseca 2008]. Este problema não existe na televisão convencional porque as trocas de canais simplesmente selecionam, através da frequência de transmissão, um conteúdo que já está disponível nas premissas do usuário. Em sistemas IPTV, por outro lado, devido à limitação da banda de rede dos usuários, transmite-se apenas parte do conteúdo servido pela rede. Além disso, emprega-se estruturas de distribuição e *buffers*, que buscam amenizar os problemas decorrentes de flutuações de banda de rede e de falhas nas conexões; essas técnicas, apesar de garantirem a continuidade da reprodução dos fluxos, ocasionam latências de recepção, tornando desagradável a utilização do sistema, principalmente quando se tem diversos canais e se deseja fazer uma

navegação rápida entre eles [Manzato and da Fonseca 2010]. Como muitos usuários da televisão convencional apreciam a possibilidade de trocar de canais rapidamente [Hei et al. 2007], os serviços IPTV demandam a redução das latências de reprodução de dezenas de segundos para apenas alguns segundos [Manzato and da Fonseca 2008].

Este trabalho propõe três novos esquemas para troca rápida de canais em sistemas IPTV, denominados *Rápido*, *Lento* e *Imediato*, que minimizam as ocorrências de latências causadas pelo uso de estruturas de distribuição e *buffers*. Emprega-se a codificação em múltiplos descritores (MDC) [Chou et al. 2003] para geração de sub-fluxos com qualidades básicas para cada canal, que são transmitidos através de múltiplas árvores de distribuição. Através da combinação de um conjunto de sub-fluxos, é possível prover aos usuários um canal com qualidade máxima ou múltiplos canais com qualidades básicas, o que é suficiente para se verificar a programação transmitida em cada canal. Quando um usuário seleciona um canal que já está sendo recebido simultaneamente, a troca de canais é imediata. Em trabalho anterior dos autores [Manzato and da Fonseca 2010], demonstrou-se os benefícios desta abordagem através da avaliação de um único esquema para troca rápida de canais, chamado *Linear*, que foi comparado a um sistema que não utiliza nenhum esquema. No presente trabalho, os novos esquemas propostos são comparados ao anterior e também ao caso no qual nenhum esquema é empregado. Apesar de existirem outras propostas na literatura que adotam a transmissão redundante de fluxos com qualidades básicas [Banodkar et al. 2008], é de conhecimento dos autores que o trabalho apresentado em [Manzato and da Fonseca 2010] foi o primeiro a adotar a codificação em múltiplos descritores e múltiplas árvores de distribuição para este fim.

O restante desse artigo está organizado da seguinte forma. Na Seção 2, apresenta-se os esquemas propostos. Na Seção 3, descreve-se os experimentos de simulação realizados. Na Seção 4, avalia-se os esquemas propostos e, na Seção 5, conclui-se o trabalho.

## 2. Esquemas para Troca Rápida de Canais

Nesta seção, apresenta-se os esquemas para troca rápida de canais propostos.

### 2.1. Visão Geral

A principal idéia por trás dos esquemas propostos é que um usuário não precisa receber fluxos com qualidades máximas para verificar o que está sendo transmitido em cada canal. Assim como em um navegador de arquivos para fotos, onde se pode visualizar rapidamente múltiplas imagens através de *thumbnails*, em um serviço IPTV pode-se prover fluxos com qualidades básicas, que serão suficientes para a identificação do conteúdo transmitido. Dado que esses fluxos apresentam larguras de banda reduzidas, pode-se transmitir múltiplos canais simultaneamente. Com uma pequena adaptação no reprodutor de mídia, pode-se fazer com que o mesmo mantenha múltiplos *buffers* alimentados de forma contínua e prontos para a reprodução imediata dos respectivos canais. Com isso, consegue-se proporcionar ao usuário uma navegação instantânea para o conjunto de canais selecionados e transmitidos redundantemente; esse conjunto pode variar de acordo com a largura de banda dos descritores e a capacidade da banda de rede dos usuários.

Os esquemas propostos baseiam-se em apenas dois componentes: múltiplas árvores de distribuição e codificação em múltiplos descritores. O uso de estruturas em árvores em sistemas IPTV é comum e preferível às topologias em *mesh* [Manzato and da Fonseca 2008, Manzato and da Fonseca 2010]. A codificação em múltiplos descritores já foi

empregada na área de transmissão de vídeo para diversos fins, tais como redundância de dados e de caminhos de rede [Padmanabhan et al. 2003], adaptação à heterogeneidade dos clientes [Padmanabhan et al. 2004, Manzato and da Fonseca 2006a, Manzato and da Fonseca 2006b] e implementação de mecanismos de incentivo em sistemas autônomos [Manzato and da Fonseca 2006a, Manzato and da Fonseca 2006b]. No presente trabalho, utiliza-se a codificação em múltiplos descritores para dividir cada canal em múltiplos sub-fluxos (ou descritores), que apresentam qualidades básicas e são transmitidos aos usuários através de múltiplas árvores de distribuição. Contando apenas com esses dois componentes, os esquemas propostos podem ser facilmente adotados tanto em sistemas IPTV cooperativos quanto em comerciais.

Para se empregar os esquemas propostos em sistemas IPTV cooperativos, basta disponibilizar os fluxos com qualidades básicas aos usuários conectados. Isso significa que um determinado usuário precisa ter a possibilidade de ser admitido em pelo menos uma árvore de distribuição de cada canal, além da possibilidade de ser admitido em todas as árvores de distribuição de um determinado canal selecionado, quando não estiver navegando [Manzato and da Fonseca 2008]. Em sistemas IPTV comerciais, duas adaptações são necessárias: o fluxo de cada canal deve ser gerado pela codificação em múltiplos descritores e cada grupo *multicast* existente precisa ser subdividido em múltiplas árvores de distribuição, uma para a transmissão de cada descritor. Dado que nesses sistemas é comum o uso de *multicast* na camada de rede [Cha et al. 2008], a sobrecarga de gerenciamento das múltiplas árvores fica distribuída entre os diversos roteadores existentes. Dessa forma, todos os clientes têm acesso a todos os descritores de todos os canais, apesar de só receberem um subconjunto dos mesmos em um dado instante de tempo.

A partir da disponibilidade dos descritores de todos os canais existentes, ofertados através das múltiplas árvores de distribuição, pode-se selecionar um subconjunto deles para ser transmitido ao usuário, através de sua banda de entrada. Dependendo se o usuário estiver navegando em canais ou não, a seleção dos descritores enviados a ele pode variar. Sendo assim, define-se dois estados nos quais cada usuário do sistema pode estar: “assistindo a programação” e “navegando em canais”. No primeiro estado, a banda de entrada é usada principalmente para a recepção dos descritores do canal selecionado, enquanto que no segundo estado a banda de entrada é usada principalmente para a recepção de descritores de canais diferentes, ou seja, os diversos fluxos de canais com qualidades básicas.

Para diminuir as chances de se ter latência no início de uma operação de troca de canais, reserva-se, adicionalmente, no estado “assistindo a programação”, uma parte da banda de entrada do usuário para que um subconjunto seletivo de fluxos com qualidades básicas seja também transmitido. Esses fluxos representam os canais com maior probabilidade de serem requisitados naquele estado. Evidentemente, há um balanço entre se prover uma melhor qualidade para o fluxo do canal selecionado ou disponibilizar mais canais com qualidades básicas, aumentando-se as chances de acerto quando uma operação de troca de canais for iniciada. Reserva-se também, no estado “navegando em canais”, uma parte da banda para se manter parcialmente a recepção do canal antigo, pois caso o usuário volte a selecioná-lo durante a navegação, ele já estará disponível e com uma qualidade intermediária: superior àquela do fluxo com qualidade básica e inferior àquela recebida no estado “assistindo a programação”. De acordo com [Cha et al. 2008], há

uma probabilidade de 17% do usuário voltar ao canal antigo após uma operação de troca de canais. Essa tendência ocorre principalmente em virtude de comerciais, ocasião na qual o usuário decide verificar o que está passando nos demais canais. É importante notar que um aumento na percentagem da banda reservada para o canal antigo não melhora as chances de se ter trocas imediatas, pois basta um único descritor disponível para isso; ao contrário, o referido aumento reflete em uma maior qualidade de fluxo para quando o canal antigo for retomado.

Sabe-se, também, que 56–60% das trocas de canais são realizadas para canais adjacentes, sendo 69–72% destas para canais superiores e 28–31% para canais inferiores [Qiu et al. 2009, Cha et al. 2008]. Essa informação sugere que parte da banda reservada para navegação em ambos os estados seja preenchida por canais adjacentes ao selecionado, nas devidas proporções para os superiores e inferiores. As trocas não adjacentes, que correspondem a 40–44%, também sugerem que parte da banda reservada para navegação em ambos os estados seja preenchida por canais populares, com altas probabilidades de serem selecionados. Levando-se essas estatísticas em consideração, os esquemas propostos aplicam três estratégias para seleção de descritores de navegação, que visam aumentar as chances de se ter trocas imediatas: canal antigo, canais populares e canais adjacentes.

Sempre que um novo canal for requisitado em uma troca, se pelo menos um descritor dele estiver disponível nas dependências do usuário, então a troca será imediata, pois o conteúdo já se encontra pronto para reprodução nos *buffers* do reprodutor de mídia. Por outro lado, se nenhum descritor daquele canal estiver disponível, então haverá latência, em decorrência do período de tempo necessário para o usuário ser admitido na respectiva árvore de distribuição, em adição ao período de tempo de buferização para que os quadros de vídeo daquele descritor estejam prontos para reprodução. Como a probabilidade do usuário trocar de canal é maior no estado “navegando em canais”, privilegia-se, neste estado, a diversidade de canais, em detrimento da qualidade do fluxo assistido. Ao contrário, no estado “assistindo a programação”, privilegia-se a qualidade do fluxo assistido, em detrimento da diversidade de canais, dado que a probabilidade de se ter trocas é menor. Sendo assim, os esquemas propostos buscam endereçar tanto a usabilidade quanto a qualidade de serviço do sistema. A seguir, cada esquema é detalhado.

## 2.2. Esquema Linear

Quando o usuário está no estado “assistindo a programação” e inicia uma operação de troca de canais, a maior parte da sua banda de entrada é liberada, dispensando um subconjunto dos descritores do canal assistido. No espaço que se abre, ele começa a receber descritores adicionais de navegação de outros canais. Para implementar essa operação, o usuário deixa um conjunto de árvores de distribuição e é admitido em outro conjunto, mudando o seu estado para “navegando em canais”. Toda vez que o usuário entrar no estado “navegando em canais” ou requisitar uma nova troca de canais, um *timer* individual é iniciado, que conta o tempo decorrido desde a última troca de canais. Durante um período inicial, i.e., o valor do *timer* está no intervalo  $[0, TransitionStartTime)$  segundos, nenhuma alteração ocorre nos descritores recebidos por aquele usuário. Durante o período seguinte, i.e., enquanto o valor do *timer* estiver no intervalo  $[TransitionStartTime, TransitionFinishTime]$ , uma transição gradual de volta ao estado “assistindo a programação” acontece. Se o *timer* alcançar o valor  $TransitionFinishTime$  segundos,

o estado é alterado para “assistindo a programação”; caso contrário, o usuário permanece no estado “navegando em canais”. Ambos os parâmetros  $TransitionStartTime$  e  $TransitionFinishTime$  podem ser configurados.

No esquema *Linear* [Manzato and da Fonseca 2010], a transição gradual de estados consiste em aumentar, linearmente em função do tempo, o número de descritores recebidos para o canal selecionado, até que a qualidade do fluxo alcance o valor máximo, que é aquele permitido no estado “assistindo a programação”. Para isso, eventos de atualização ocorrem a cada  $TransitionUpdatePeriodicity$  segundos, durante o intervalo de tempo  $[TransitionStartTime, TransitionFinishTime]$ . O parâmetro  $TransitionUpdatePeriodicity$  também pode ser configurado. Seja  $T$  o número de eventos de atualização no intervalo ( $T = \lfloor (TransitionFinishTime - TransitionStartTime) / TransitionUpdatePeriodicity \rfloor$ ),  $t$  o número discreto do evento de atualização corrente ( $0 \leq t \leq T$ ) e  $M$  o número máximo de descritores recebidos no estado “assistindo a programação”. O número de descritores recebidos para o canal selecionado,  $n$ , no tempo discreto corrente,  $t$ , é dado por:

$$n(t) = 1 + \lfloor (t/T) * (M - 1) \rfloor \quad (1)$$

O número de descritores varia no intervalo  $[1..M]$ , dado que pelo menos um descritor do canal selecionado precisa ser fornecido ao usuário a todo instante. Para que a banda de rede agregada não exceda a banda de entrada do usuário, libera-se gradualmente os descritores dos canais não selecionados. Se o usuário estiver no meio da transição de estados e requisitar uma nova troca de canais, então os descritores complementares do canal atual são liberados e novos descritores de navegação são requisitados. No final da transição, o usuário está recebendo todos os descritores do canal selecionado, tem seu estado alterado de volta para “assistindo a programação” e todos os descritores do canal antigo já foram liberados.

Na liberação dos descritores dos canais não selecionados, dispensa-se primeiro os  $n - 1$  descritores do canal antigo, de forma que se tenha pelo menos um descritor disponível desse canal para garantir uma troca imediata caso ele seja selecionado novamente. Em seguida, libera-se gradualmente os descritores de navegação com menor probabilidade de serem selecionados, de forma que não se tenha menos descritores de navegação do que o estabelecido para o estado “assistindo a programação”. Por fim, libera-se o último descritor do canal antigo, momento no qual a transição se completa e o usuário volta para o estado “assistindo a programação”. Enquanto a transição do estado “navegando em canais” para o estado “assistindo a programação” é gradual e disparada por um período de tempo decorrido, no qual o usuário tenha permanecido no mesmo canal, a transição inversa é imediata e disparada pelo evento de início de uma operação de troca de canais.

### 2.3. Esquema Rápido

No esquema *Rápido*, a transição do estado “assistindo a programação” para o “navegando em canais” ocorre de forma similar à do esquema *Linear*, com o usuário iniciando uma operação de troca de canais. Adicionalmente, a transição inversa também ocorre gradualmente e no mesmo intervalo  $[TransitionStartTime, TransitionFinishTime]$  segundos. A diferença do esquema *Rápido* é que o número de descritores recebidos para

o canal selecionado é aumentado, durante a transição gradual, seguindo uma taxa Lognormal. Seja  $C$  um fator que define a inclinação da taxa Lognormal utilizada; o número de descritores recebidos para o canal selecionado,  $n$ , no tempo discreto corrente,  $t$ , é dado por:

$$n(t) = 1 + \left\lfloor \left( \frac{\ln(C * t + 1)}{\ln(C * T + 1)} \right) * (M - 1) \right\rfloor \quad (2)$$

Como no esquema *Linear*, os descritores dos canais não selecionados são liberados gradualmente, seguindo a mesma ordem descrita previamente. O valor de  $C$  é variado entre 0.5 e 2000, originando duas instâncias do esquema *Rápido*. No esquema *Rápido 1*, o valor de  $C$  foi definido de forma que um aumento de 80% dos descritores se completa na primeira metade do intervalo. No esquema *Rápido 2*, o valor de  $C$  foi definido de forma que um aumento de 80% dos descritores se completa nos primeiros 10% do intervalo.

Ambas as variações do esquema *Rápido* visam melhorar a qualidade de fluxo obtida no estado “navegando em canais” em comparação ao esquema *Linear*, mantendo o máximo possível a redução do número de trocas de canais com latência. Para isso, a liberação dos descritores de navegação é antecipada durante a transição gradual de estados, de forma que haja mais banda de rede para acomodar os descritores adicionais do canal selecionado.

#### 2.4. Esquema Lento

No esquema *Lento*, as transições de estado também ocorrem de forma similar às do esquema *Linear*. A diferença do esquema *Lento* é que o número de descritores recebidos para o canal selecionado é aumentado, durante a transição gradual, seguindo uma taxa que é o inverso da função Lognormal adotada no esquema *Rápido*. O número de descritores recebidos para o canal selecionado,  $n$ , no tempo discreto corrente,  $t$ , é dado por:

$$n(t) = 1 + \left\lfloor \left( 1 - \left( \frac{\ln(C * (T - t) + 1)}{\ln(C * T + 1)} \right) \right) * (M - 1) \right\rfloor \quad (3)$$

Os descritores dos canais não selecionados são liberados gradualmente, seguindo a mesma ordem do esquema *Linear*. O valor de  $C$  novamente é variado entre 0.5 e 2000, originando duas instâncias do esquema *Lento*. No esquema *Lento 1*, o valor de  $C$  foi definido de forma que um aumento de 20% dos descritores se completa na primeira metade do intervalo. No esquema *Lento 2*, o valor de  $C$  foi definido de forma que um aumento de 20% dos descritores se completa nos primeiros 90% do intervalo.

Ambas as variações do esquema *Lento* visam reduzir ainda mais o número de trocas de canais com latência alcançado pelo esquema *Linear*, mantendo o máximo possível a qualidade de fluxo obtida no estado “navegando em canais”. Para isso, a liberação dos descritores de navegação é postergada durante a transição gradual de estados, de forma que haja uma maior chance de pelo menos um descritor do canal selecionado estar disponível quando uma troca de canais ocorrer.

#### 2.5. Esquema Imediato

No esquema *Imediato*, não há transição gradual de estados. Quando um usuário está no estado “navegando em canais” e o intervalo de tempo inicial  $[0, TransitionStartTime)$

segundos tiver transcorrido, durante o qual nenhuma alteração nos descritores recebidos é efetuada, os descritores de navegação são liberados de uma vez, incluindo os descritores do canal antigo. Adicionalmente, os descritores adicionais do canal selecionado são requisitados todos de uma vez. Por fim, o estado do usuário é imediatamente trocado de volta para “assistindo a programação”. A transição do estado “assistindo a programação” para o “navegando em canais” ocorre da mesma forma que nos esquemas anteriores. Neste esquema, os parâmetros *TransitionFinishTime* e *TransitionUpdatePeriodicity* não são usados.

O número de descritores requisitados para o canal selecionado,  $n$ , no tempo  $t = \text{TransitionStartTime}$ , é dado por:

$$n(t) = M \quad (4)$$

O parâmetro *TransitionStartTime* é variado entre 5, 30 e 60 segundos, originando três instâncias do esquema *Imediato*. No esquema *Imediato 1*, a transição imediata ocorre no mesmo momento em que a transição gradual dos esquemas anteriores se inicia. No esquema *Imediato 2*, a transição ocorre em um momento correspondente à metade da transição gradual dos outros esquemas. No esquema *Imediato 3*, a transição ocorre no mesmo momento em que a transição gradual dos esquemas anteriores finaliza.

Enquanto o objetivo do esquema *Imediato 1* é similar ao dos esquemas *Rápidos*, o objetivo do esquema *Imediato 3* é similar ao dos esquemas *Lentos*. Adicionalmente, eles ponderam os benefícios de se ter ou não uma transição gradual de estados. Eles também indicam limites superiores para se antecipar ou postergar a liberação dos descritores de navegação, respectivamente. O esquema *Imediato 2* representa um balanço intermediário entre os anteriores.

### 3. Experimentos de Simulação

Um simulador de eventos discretos para sistemas IPTV foi desenvolvido. É de conhecimento dos autores que nenhum simulador existente que implemente as operações básicas de serviços IPTV, tais como chegadas e partidas de usuários e trocas de canais, esteja disponível para uso. De fato, segundo [Qiu et al. 2009], há uma defasagem na literatura no que diz respeito ao entendimento dos padrões reais de comportamento dos usuários de sistemas IPTV. Essa defasagem é causada principalmente pela dificuldade de se conseguir *traces* reais de sistemas IPTV existentes: mesmo quando anonimizados, eles contém muitas informações comerciais e particulares dos usuários para serem publicamente disponibilizados. A ferramenta de geração de tráfego sintético desenvolvida em [Qiu et al. 2009], construída a partir de modelos estatísticos derivados de *traces* reais, não estava disponível para uso na ocasião do presente trabalho. Sendo assim, implementou-se um simulador que reproduz as operações básicas de serviços IPTV a partir dos modelos estatísticos e exemplos numéricos existentes em [Cha et al. 2008, Qiu et al. 2009].

As taxas de chegada foram modeladas através de um processo não estacionário composto por seqüências de processos de chegada Poisson estacionários, cada uma delas tendo a duração de 15 minutos [Veloso et al. 2002, Sripanidkulchai et al. 2004]. As taxas de cada seqüência variaram entre 5 e 2000 chegadas por minuto e foram definidas, para cada período estacionário, de forma a se aproximar o número total de usuários no sistema

com o que se tem em um sistema real, conforme os dados disponibilizados em [Cha et al. 2008]. Com isso, reproduziu-se os padrões diários de uso de um sistema real, que apresentam dois grandes picos por volta de 3PM e 10PM, tendo um pico menor por volta de 8AM [Cha et al. 2008]. Os tempos de sessão seguiram uma distribuição lognormal com parâmetros  $\mu = 6.351$  e  $\sigma = 2.01$  [Velooso et al. 2002], tendo em média 4320 segundos (1.2 horas) [Cha et al. 2008]. Para se modelar os tempos de permanência em canais, usou-se uma amostragem de valores reais disponibilizada pelos autores de [Cha et al. 2008], a partir da qual se construiu um histograma. A média e a mediana desses valores são, respectivamente, 14.8 minutos e 8 segundos. O tempo total simulado foi de 7 dias, gerando mais de 62 milhões de eventos de troca de canais analisados.

O número de canais utilizado foi 105, de acordo com [Cha et al. 2008]. As popularidades e as probabilidades de transição entre eles foram derivadas de informações e dados obtidos em [Cha et al. 2008, Qiu et al. 2009]. Diferenciou-se as trocas de canais que resultaram em permanência ou somente em passagem pelo novo canal selecionado; para isso, usou-se um limite de tempo de 60 segundos para a separação, conforme adotado em [Cha et al. 2008]. Para simular a heterogeneidade de banda de rede dos usuários, criou-se diferentes classes de conexão, cada qual tendo a sua própria banda e probabilidade de ocorrência, definidas de acordo com estatísticas de provedores brasileiros de acesso à Internet [Teleco 2010]. As classes são: ADSL 1 Mbps, ADSL 2 Mbps, ADSL 4 Mbps, ADSL 8 Mbps, HFC 500 Kbps, HFC 3 Mbps, HFC 6 Mbps e HFC 12 Mbps. A largura de banda dos fluxos variou entre 300 Kbps, 1024 Kbps e 2048 Kbps [Hei et al. 2007]. O número de árvores utilizadas variou entre 16 e 32 [Padmanabhan et al. 2003, Padmanabhan et al. 2004]. Para se modelar o tempo de início de reprodução de um canal (latência de reprodução), composto pelo período de tempo necessário para admissão em árvore de distribuição e buferização dos quadros de vídeo, usou-se uma distribuição uniforme no intervalo [5, 20] segundos [Liu et al. 2008, Hei et al. 2007].

Dado que a maioria dos eventos de troca de canais ocorre em torno de 4 segundos após a última troca [Cha et al. 2008], o valor do parâmetro *TransitionStartTime* foi definido em 5 segundos. Seguindo o limite de tempo de 60 segundos para diferenciação das trocas de canais que resultaram em permanência ou somente em passagem pelo novo canal selecionado [Cha et al. 2008], definiu-se o valor do parâmetro *TransitionFinishTime* em 60 segundos. O parâmetro *TransitionUpdatePeriodicity* foi definido em 1 segundo. No estado “assistindo a programação”, definiu-se a fração da banda total do usuário reservada para navegação em 50%. No estado “navegando em canais”, definiu-se a fração da banda total reservada para recepção do canal antigo em 50%. Em ambos os estados, a fração da banda de navegação utilizada para receber canais adjacentes foi definida em 56%, ficando o restante designado para receber canais populares. Da banda utilizada para receber canais adjacentes, definiu-se que 70% seria utilizado para canais superiores e 30% para inferiores [Qiu et al. 2009, Cha et al. 2008].

As seguintes métricas foram coletadas nas simulações: (i) *Trocas de canais com latência*, que são as percentagens de eventos de troca de canais que resultaram em espera; (ii) *Qualidades de fluxo*, que são as médias dos números de descritores recebidos pelos usuários durante suas sessões.

#### 4. Avaliação dos Esquemas Propostos

Nesta seção, avalia-se os esquemas para troca rápida de canais propostos. Uma análise comparativa é realizada com cenários que empregam ou não algum esquema; adicionalmente, os diferentes esquemas são comparados ao *Linear*. Como o objetivo é investigar o desempenho de cada esquema em diferentes situações de contenção de banda de rede, a largura de banda dos fluxos dos canais existentes e o número de árvores de distribuição utilizadas foram variados. A Tabela 1 ilustra as configurações dos diferentes cenários considerados, bem como as variações dos esquemas avaliados em cada cenário. O cenário *S1024T16* é usado como referência de caso médio de contenção de banda de rede.

**Tabela 1. Cenários considerados, variando a largura de banda do fluxo (Str.) e o número de árvores utilizadas (Trs.); e esquemas avaliados, variando o fator Lognormal ( $C$ ) e o limite de tempo para transição de estados ( $t$ ).**

(a) Cenários.

Cenário	Str.	Trs.
S300T16	300	16
S300T32	Kbps	32
S1024T16	1024	16
S1024T32	Kbps	32
S2048T16	2048	16
S2048T32	Kbps	32

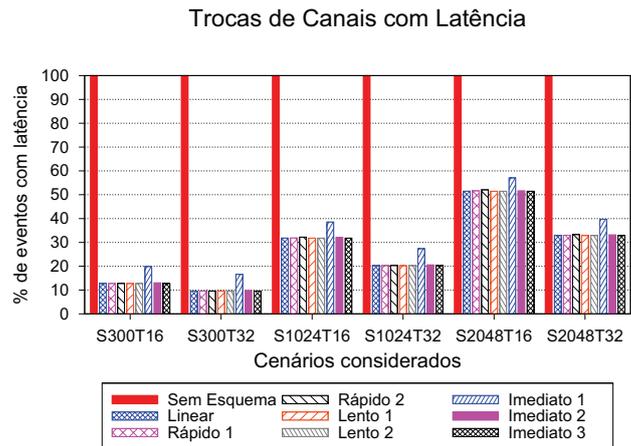
(b) Esquemas.

Esquema	Variação
Sem Esquema	N/A
Linear	N/A
Rápido 1	$C = 0.5$
Rápido 2	$C = 2000$
Lento 1	$C = 0.5$
Lento 2	$C = 2000$
Imediato 1	$t = 5s$
Imediato 2	$t = 30s$
Imediato 3	$t = 60s$

##### 4.1. Trocas de Canais com Latência

A Figura 1 ilustra as percentagens de eventos de troca de canais com latência, para cada cenário e esquema considerado. Quando nenhum esquema para troca de canais é empregado, não há redução do número de eventos com latência. Quando qualquer um dos esquemas é empregado, nota-se que quanto menor é a largura de banda dos fluxos e maior o número de árvores de distribuição, maior é a redução do número de eventos com latência. Isso ocorre porque, em todos os esquemas, o número de canais de navegação que cada usuário pode receber é determinado pela largura de banda de cada descritor, que é proporcional à largura de banda do fluxo e inversamente proporcional ao número de árvores utilizadas; quanto mais descritores de navegação forem usados, maior será a probabilidade de um canal selecionado já estar disponível para reprodução. Considerando a eficácia dos esquemas separada por estratégia empregada (canal antigo, canais populares e canais adjacentes), todos os novos esquemas apresentaram a mesma distribuição de *hits* do esquema *Linear*, discutida em [Manzato and da Fonseca 2010]. Devido a limitações de espaço, esta discussão é omitida no presente trabalho, que enfatiza as diferenças gerais entre o esquema *Linear* e os demais propostos.

Nota-se que todos os novos esquemas, exceto o *Imediato 1*, apresentam resultados similares aos do esquema *Linear* em todos os cenários, considerando a redução do número de eventos com latência. Comparando ao caso no qual nenhum esquema é empregado, uma redução de cerca de 68% é alcançada no caso médio (cenário *S1024T16*, largura de banda do fluxo de 1024 Kbps e 16 árvores de distribuição). No melhor caso



**Figura 1. Percentagens de eventos de troca de canais com latência, para cada cenário e esquema considerado.**

(cenário *S300T32*, largura de banda do fluxo de 300 Kbps e 32 árvores de distribuição), uma redução de cerca de 90% é observada. No pior caso (cenário *S2048T16*, largura de banda do fluxo de 2048 Kbps e 16 árvores de distribuição), uma redução de cerca de 48% é obtida.

O esquema *Imediato 1* apresenta uma redução 7% menor que a dos demais esquemas. A razão é que, em um curto período de tempo (5 segundos após a última troca de canais), ele libera a maioria dos descritores de navegação de uma só vez, não aproveitando os benefícios do estado “navegando em canais”. Apesar da maioria das trocas de canais ocorrer nos primeiros 5 segundos após a última troca de canais, há ainda uma parcela delas ocorrendo após este período. Este é o motivo pelo qual os esquemas *Imediato 2* e *Imediato 3* têm desempenho melhor que o *Imediato 1*, com relação aos resultados desta métrica. Mesmo não empregando a transição gradual de estados, os esquemas *Imediato 2* e *Imediato 3* apenas liberam os descritores de navegação após 30 e 60 segundos decorridos desde a última troca de canais, respectivamente.

Dado que o principal objetivo dos esquemas *Lento 1*, *Lento 2*, *Imediato 3* e, parcialmente, o *Imediato 2* era reduzir o número de eventos com latência em comparação ao esquema *Linear*, todos eles falharam nesta meta. Na verdade, apenas uma redução de cerca de 0.04% foi alcançada, o que não é relevante. Considerando que a postergação dos descritores de navegação ocasiona um impacto nas qualidades de fluxo, estes esquemas tendem a não mais superar o desempenho do esquema *Linear*.

#### 4.2. Qualidades de Fluxo

As Figuras 2 e 3 descrevem os números médios de descritores recebidos pelos usuários nos estados “navegando em canais” e “assistindo a programação”, respectivamente, enquanto que a Figura 4 apresenta resultados gerais desta métrica para ambos os estados. Na Figura 4, nota-se que o número de descritores recebidos quando nenhum esquema é empregado é maior do que quando há qualquer esquema empregado; este número varia de acordo com a contenção de banda de rede (quanto maior for a contenção, haverá mais usuários que não conseguirão receber todos os descritores de todos os canais). Quando

qualquer esquema proposto é empregado, ocorre uma pequena redução do número de descritores recebidos. A explicação disso é que, em todos os esquemas, parte da banda de rede do usuário é empregada para a recepção dos descritores de navegação. Logo, esta métrica aponta o custo de utilização dos esquemas propostos, que varia de acordo com a contenção de banda de rede: quanto maior for a contenção, maior será a redução das qualidades de fluxo. Para o esquema *Linear*, o custo ocasiona uma redução média de 20.08% no caso médio (cenários com largura de banda do fluxo de 1024 Kbps). No melhor caso (cenários com largura de banda do fluxo de 300 Kbps), há uma redução média de 4.49%. No pior caso (cenários com largura de banda do fluxo de 2048 Kbps), ocorre uma redução média de 34.86%.

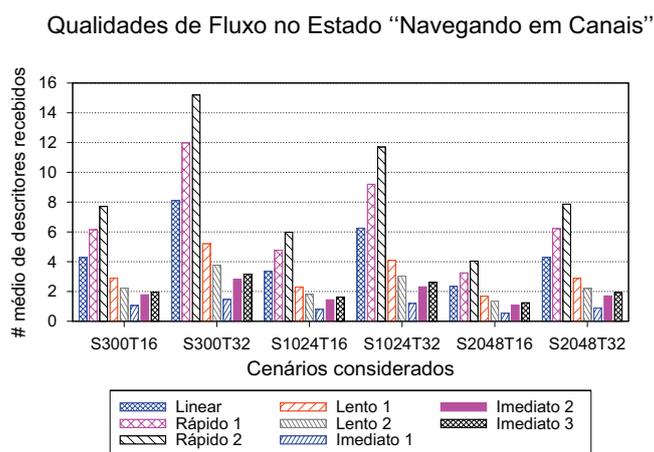


Figura 2. Números médios de descritores recebidos pelos usuários no estado “navegando em canais”, para cada cenário e esquema considerado.

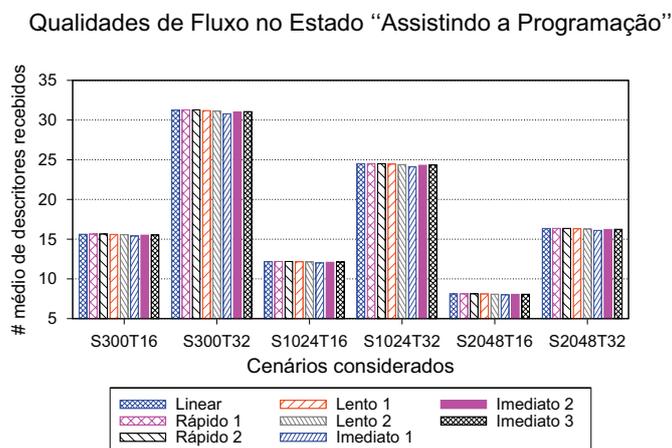
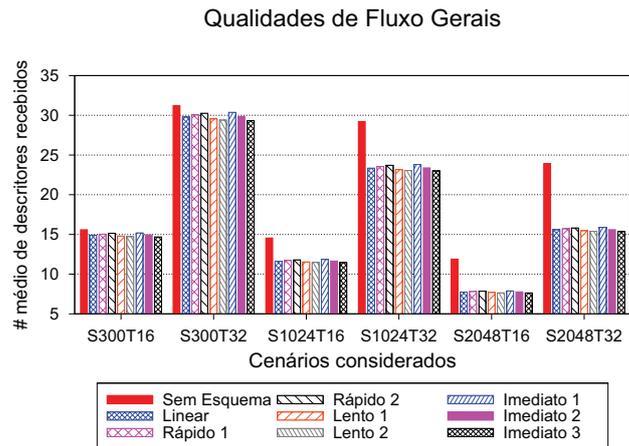


Figura 3. Números médios de descritores recebidos pelos usuários no estado “assistindo a programação”, para cada cenário e esquema considerado.

Analisando os novos esquemas propostos, nota-se, nas Figuras 2 e 3, que os esquemas *Imediatos* produziram as piores qualidades de fluxo dentre todos os esquemas avaliados. Para ilustrar, no cenário *S1024T16* e no estado “navegando em canais”, os esquemas *Imediato 1*, *Imediato 2* e *Imediato 3* tiveram qualidades de fluxo 76.05%, 56.89%



**Figura 4. Números médios de descritores recebidos pelos usuários em ambos os estados, para cada cenário e esquema considerado.**

e 51.5% menores que a do esquema *Linear*, respectivamente. A única razão pela qual os esquemas *Imediato 2* e *Imediato 3* tiveram uma qualidade de fluxo um pouco melhor que a do esquema *Imediato 1* é devido à transição postergada de estados para o “assistindo a programação”, o que permitiu que a estratégia de canais antigos tivesse uma maior atuação enquanto o usuário ainda estava no estado “navegando em canais”. Apesar disso, dado que esses três esquemas tiveram as piores qualidades de fluxo e não diminuíram o número de eventos com latência em comparação ao esquema *Linear*, eles não apresentam benefícios sobre este último. Na verdade, os resultados obtidos justificam a transição gradual de estados empregada nos outros esquemas, que ajuda a reduzir o número de eventos com latência e também a melhorar as qualidades de fluxo recebidas.

O segundo pior grupo de esquemas apresentando baixas qualidades de fluxo é composto pelos esquemas *Lento 1* e *Lento 2*. Para ilustrar, no cenário *S1024T16* e no estado “navegando em canais”, eles produziram qualidades de fluxo 31.14% e 45.81% menores que a do esquema *Linear*, respectivamente. Seguindo o raciocínio anterior, dado que estes dois esquemas tiveram baixas qualidades de fluxo e não diminuíram o número de eventos com latência em comparação ao esquema *Linear*, eles não apresentam vantagens sobre este último.

Os esquemas *Rápido 1* e *Rápido 2* produziram, no estado “assistindo a programação”, as mesmas qualidades de fluxo que as do esquema *Linear*. Entretanto, no estado “navegando em canais”, eles alcançaram qualidades de fluxo consideravelmente maiores que as do esquema *Linear*. Para ilustrar, no cenário *S1024T16*, os esquemas *Rápido 1* e *Rápido 2* apresentaram qualidades de fluxo 42.81% e 78.74% maiores que a do esquema *Linear*, respectivamente. Dado que o objetivo de ambos os esquemas era melhorar a qualidade de fluxo no estado “navegando em canais” em comparação ao esquema *Linear*, bem como manter o máximo possível a redução do número de eventos com latência, eles alcançaram suas metas. Adicionalmente, o esquema *Rápido 2* superou o *Rápido 1* em todos os cenários, tendo sido o melhor esquema avaliado. O ganho mencionado de 78.74% em comparação ao esquema *Linear* é no caso médio (cenário *S1024T16*, largura de banda do fluxo de 1024 Kbps e 16 árvores de distribuição). No melhor caso (cenário *S300T32*,

largura de banda do fluxo de 300 Kbps e 32 árvores de distribuição), o esquema *Rápido 2* teve um ganho de 87.65%. No pior caso (cenário *S2048T16*, largura de banda do fluxo de 2048 Kbps e 16 árvores de distribuição), o ganho foi de 72.65%. Logo, em comparação ao esquema *Linear*, pode-se dizer que o esquema *Rápido 2* conseguiu manter a mesma redução do número de eventos com latência (68%, na média), bem como melhorar em 78.74% (na média) a qualidade de fluxo durante as operações de troca de canais (estado “navegando em canais”).

Dado que a probabilidade de um usuário estar no estado “navegando em canais” é consideravelmente menor do que estar no estado “assistindo a programação”, as grandes variações observadas na Figura 2 são amenizadas pelas variações sutis vistas na Figura 3, resultando na métrica geral ilustrada na Figura 4. Apesar deste trabalho ter focado na melhoria das qualidades de fluxo *nas operações de troca de canais*, é importante considerar a métrica geral ao avaliar o custo de utilização dos esquemas propostos [Manzato and da Fonseca 2010]. Seguindo esta lógica, o esquema *Rápido 2* resulta em uma redução média de 18.85% no caso médio (cenários com largura de banda do fluxo de 1024 Kbps). No melhor caso (cenários com largura de banda do fluxo de 300 Kbps), a redução média é de 3%. No pior caso (cenários com largura de banda do fluxo de 2048 Kbps), a redução média é de 33.9%. Logo, considerando que estes custos são menores do que aqueles do esquema *Linear*, pode-se dizer que o esquema *Rápido 2* é uma opção interessante de ser adotada em sistemas IPTV para troca rápida de canais.

## 5. Conclusão

Neste trabalho, três novos esquemas para troca rápida de canais em sistemas IPTV foram propostos, com o objetivo de reduzir as ocorrências de eventos com latência e manter ao máximo as qualidades de fluxo recebidas. Os novos esquemas foram comparados a um sistema sem nenhum esquema empregado e também ao esquema *Linear*, proposto em um trabalho anterior dos autores.

De acordo com os resultados obtidos, todos os esquemas propostos, com exceção do *Imediato 1*, produziram uma redução do número de eventos com latência similar à do esquema *Linear*. Quanto às qualidades de fluxo, apenas os esquemas *Rápido 1* e *Rápido 2* alcançaram melhorias em comparação ao esquema *Linear*.

Dentre todos os esquemas avaliados, somente o *Rápido 1* e o *Rápido 2* cumpriram com suas metas de superar o desempenho do esquema *Linear*. Adicionalmente, o esquema *Rápido 2* superou o *Rápido 1* em todos os cenários, tendo sido o melhor esquema avaliado. Em comparação ao esquema *Linear*, o *Rápido 2* foi capaz de manter a mesma redução do número de eventos com latência (68%, na média), bem como melhorar em 78.74% (na média) as qualidades de fluxo obtidas durante as operações de troca de canais. Considerando que o custo de utilização do esquema *Rápido 2* é menor que o do *Linear*, pode-se concluir que o esquema *Rápido 2* é uma opção interessante de ser adotada em sistemas IPTV para troca rápida de canais.

## Referências

Albuquerque, C. V., Proença, T., and Oliveira, E. (2006). Tvoip: Tv sobre ip arquiteturas para transmissão em larga escala. In *Proceedings of the 24th Brazilian Symposium on Computer Networks (SBRC 2006)*.

- Banodkar, D., Ramakrishnan, K. K., Kalyanaraman, S., Gerber, A., and Spatscheck, O. (2008). Multicast instant channel change in iptv systems. In *Proceedings of the Third International Conference on COMMunication System softWARE and MiddlewaRE (COMSWARE '08)*, pages 370–379. IEEE.
- Cha, M., Rodriguez, P., Crowcroft, J., Moon, S., and Amatriain, X. (2008). Watching television over an ip network. In *Proceedings of the 8th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement (IMC '08)*, pages 71–84, New York, NY, USA. ACM.
- Chou, P. A., Wang, H. J., and Padmanabhan, V. N. (2003). Layered multiple description coding. In *Proceedings of the Packet Video Workshop*.
- Hei, X., Liang, C., Liang, J., Liu, Y., and Ross, K. W. (2007). A measurement study of a large-scale p2p iptv system. *IEEE Transactions on Multimedia*, 9(8):1672–1687.
- Liu, J., Rao, S. G., Li, B., and Zhang, H. (2008). Opportunities and challenges of peer-to-peer internet video broadcast. *Proceedings of the IEEE*, 96(1):11–24.
- Manzato, D. A. G. and da Fonseca, N. L. S. (2006a). An incentive mechanism for peer-to-peer networks with media streaming. In *Proceedings of the 49th IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2006)*, pages 1–6.
- Manzato, D. A. G. and da Fonseca, N. L. S. (2006b). Incentivos em redes peer-to-peer de fluxo de mídia com distribuição sincronizada. In *Proceedings of the 24th Brazilian Symposium on Computer Networks (SBRC 2006)*, pages 1167–1182.
- Manzato, D. A. G. and da Fonseca, N. L. S. (2008). Peer-to-peer iptv services. In *Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Enabling the Future Service-Oriented Internet*.
- Manzato, D. A. G. and da Fonseca, N. L. S. (2010). A channel switching scheme for iptv systems. In *Proceedings of the 53rd IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2010)*, pages 1–6.
- Padmanabhan, V. N., Wang, H. J., and Chou, P. A. (2003). Resilient peer-to-peer streaming. In *Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP)*, pages 16–27. IEEE Computer Society.
- Padmanabhan, V. N., Wang, H. J., and Chou, P. A. (2004). Supporting heterogeneity and congestion control in peer-to-peer multicast streaming. In *Proceedings of the Third International Workshop on Peer-to-Peer Systems (IPTPS)*, pages 54–63. Springer.
- Qiu, T., Ge, Z., Lee, S., Wang, J., Xu, J., and Zhao, Q. (2009). Modeling user activities in a large iptv system. In *Proceedings of the 9th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement (IMC '09)*, pages 430–441, New York, NY, USA. ACM.
- Sripanidkulchai, K., Maggs, B., and Zhang, H. (2004). An analysis of live streaming workloads on the internet. In *Proceedings of the 4th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement (IMC '04)*, pages 41–54. ACM Press.
- Teleco (2010). Teleco. <http://www.teleco.com.br/>. (Access Date).
- Veloso, E., Almeida, V., Meira, W., Bestavros, A., and Jin, S. (2002). A hierarchical characterization of a live streaming media workload. In *Proceedings of the 2nd ACM SIGCOMM Workshop on Internet measurement (IMW '02)*, pages 117–130. ACM Press.