

# Janelas para seleção de blocos visando à adaptação do protocolo bittorrent para vídeo sob demanda\*

## *On windows-based piece-selection strategies towards the bittorrent adaptation for vod systems*

Carlo Kleber da Silva Rodrigues<sup>1</sup>  
Ananda Gorck Streit<sup>2</sup>

### Resumo

Diferentes técnicas de seleção de blocos têm sido desenvolvidas a fim de adequar o protocolo BitTorrent para o serviço de Vídeo sob Demanda. Nesse contexto, este artigo apresenta quatro abordagens baseadas em janelas de seleção de blocos recentemente publicadas na literatura. Além da explicação e análise individual de cada uma dessas abordagens, são realizadas comparações de desempenho baseadas nos resultados observados. No final, também são propostas sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

**Palavras-chave:** Bittorrent. Vídeo sob demanda. Peer-to-peer. Multimídia.

### Abstract

Different piece-selection techniques have been recently proposed in the literature. They have the goal of adapting the BitTorrent Protocol for the Video-on-Demand (VoD) service. Within this context, this work presents four approaches based on the deployment of piece-selection windows. Besides explaining and individually analysing each of the approaches, we also have a competitive comparison among all of them, considering the outcomes that have been observed in the experiments. Lastly, proposals for future work are also included herein.

**Keywords:** BitTorrent. Video-on-Demand. Peer-to-peer. Multimedia.

---

\* Artigo recebido em 05/03/2012

Aprovado em 23/04/2012

<sup>1</sup> Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Paraíba (1993), mestrado em Sistemas e Computação pelo Instituto Militar de Engenharia (2000) e doutorado em Engenharia de Sistemas e Computação pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2006). Atua como engenheiro no Centro de Desenvolvimento de Sistemas (CDS) do Exército Brasileiro e é professor do Centro Universitário de Brasília – UniCEUB.

<sup>2</sup> Aluna de graduação do Curso de Bacharel em Ciência da Computação do UniCEUB e bolsista do CNPq em Projeto de Iniciação Científica.

## 1 Introdução

O protocolo BitTorrent (COHEN, 2003) é reconhecido como um dos mecanismos mais eficientes para a replicação de conteúdo em redes Peer-to-Peer (P2P) na Internet (LEGOUT et al., 2006). Esse protocolo, no entanto, não foi desenvolvido para suportar serviços de Vídeo sob Demanda (Video on Demand - VoD).

O protocolo BitTorrent estabelece que um vídeo a ser transmitido seja dividido em blocos de mesmo tamanho, que são requisitados pelo usuário de uma forma não sequencial e sem considerar quaisquer limiares de tempo. Para poder assistir a um vídeo, é preciso então que o usuário aguarde o download de todo o arquivo, o que impossibilita a implementação de um serviço de VoD (BHARAMBE et al., 2006; PANDEY; PATIL, 2010; VLA-VIANOS et al., 2006).

Diversas propostas de adaptação do protocolo BitTorrent para suportar serviços de VoD foram desenvolvidas (CARLSSON; EAGER, 2007; HOFFMANN et al., 2011; LIU et al., 2008; MOL et al., 2008; SHAH, PÂRIS, 2007). Muitas dessas propostas utilizam o conceito de janelas com o objetivo de restringir a seleção de blocos a um subconjunto do conjunto total de blocos do arquivo de vídeo. De forma geral, uma janela engloba blocos que estão próximos de serem reproduzidos e sua movimentação ocorre em função da atualização do ponto de reprodução do arquivo.

Pesquisas (HOFFMANN et al., 2009, 2010, 2011) também têm sido desenvolvidas para adaptar o protocolo BitTorrent para ambientes interativos. Nesse cenário, o usuário, além de reproduzir o arquivo de vídeo durante o seu download, pode também executar ações interativas como play, stop e pause. Essa implementação baseia-se na utilização de janelas que podem pular de um lado para o outro dentro do conjunto de blocos do arquivo.

À luz do exposto, o presente trabalho tem como objetivo principal apresentar e analisar competitivamente as mais recentes abordagens da literatura voltadas para a adaptação do protocolo BitTorrent para o serviço de VoD. Aqui são exclusivamente consideradas as abordagens baseadas no emprego de janelas de seleção de blocos.

O restante deste texto tem a organização explicada a seguir. A Seção 2 explica brevemente o protocolo BitTorrent. Na Seção 3, são apresentadas quatro abordagens

para seleção de blocos baseadas no emprego de janelas. A Seção 4 realiza análises de performance dessas abordagens. A Seção 5 traz uma síntese crítica, considerando conjunta e comparativamente as abordagens vistas. Por fim, conclusões e direcionamentos para trabalhos futuros aparecem na Seção 6.

## 2 Protocolo bittorrent

O protocolo BitTorrent consiste em um sistema de transmissão de arquivos que atua de forma distribuída na rede. Os usuários, denominados *peers*, compartilham os custos de transferência de um arquivo ao colaborarem com a sua transmissão, proporcionando alta escalabilidade ao sistema.

Os *peers* participantes da transmissão de um arquivo podem estar no estado *leecher* ou no estado *seed*. Um *peer* no estado *seed* já possui o arquivo que está sendo transmitido pela rede, sendo apenas responsável por atender requisições (*upload*). Por outro lado, um *peer* no estado *leecher* é aquele que, além de atender pedidos, faz requisições para outros *peers* do sistema (*download*). Portanto, um *leecher* ainda não possui o arquivo desejado por inteiro.

Um usuário interessado em receber um arquivo precisa contatar uma entidade centralizada conhecida como *tracker*. A responsabilidade do *tracker* é passar uma lista randômica dos participantes da transmissão e recepção desse arquivo. A partir dessa lista de *peers*, são estabelecidas conexões TCP bidirecionais e realizadas requisições.

Basicamente, essas requisições são realizadas em partes do arquivo, também conhecidas como blocos. A ordem em que esses blocos são requisitados é estabelecida pela política do mais raro, uma estratégia que prioriza a requisição de blocos menos replicados no sistema. Outra política introduzida pelo protocolo BitTorrent busca incentivar a cooperação mútua entre os *peers*, inibindo a existência de *peers* egoístas, os quais não contribuem com a transmissão do arquivo pela rede.

Sob esse cenário, os *peers* transmitem os seus blocos aos vizinhos que recentemente ofereceram a ele as maiores taxas de *download*. Para esses *peers* selecionados, é realizado um desbloqueio (*unchoking*). Para os outros que não foram selecionados, mas que também tinham interesse em ser, é realizado um bloqueio (*choking*).

Um *leecher* também pode ser selecionado por meio do desbloqueio otimista (*optimistic unchoking*). Esse desbloqueio é realizado de forma aleatória, independentemente de taxa de transmissão. Dessa forma, um *peer* é estimulado a conhecer outros que podem oferecer melhores conexões.

Entende-se que essa política de bloqueio e desbloqueio de vizinhos, também conhecida como *tit-for-tat*, proporciona um bom nível de reciprocidade entre os *peers*. Observa-se, portanto, uma tendência do sistema em alcançar um equilíbrio dinâmico (LEGOUT et al., 2006; SHAH; PÂRIS, 2007).

### 3 Abordagens baseadas em janelas

Nesta parte do trabalho, são apresentadas quatro técnicas baseadas em janelas para a seleção de blocos de um arquivo. Para efeito de exposição, considera-se *janela* o subconjunto de blocos do arquivo previstos para reprodução em um curto espaço de tempo, ou seja, representa o subconjunto de blocos de alta prioridade do arquivo. Considera-se também que a recuperação dos blocos pode ocorrer de forma sequencial ou de acordo com a estratégia do mais raro.

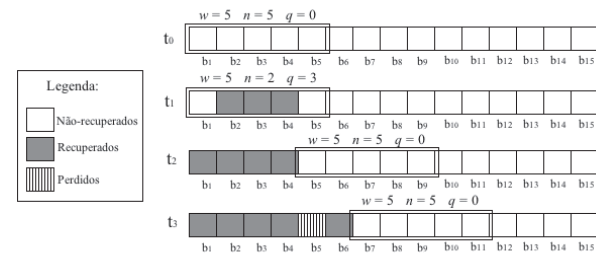
#### 3.1 Abordagem janela fixa (JF)

A abordagem Janela Fixa (JF) (SHAH; PÂRIS, 2007) caracteriza-se por possuir uma quantidade fixa de  $w$  blocos em seu interior. Inicialmente, esses  $w$  blocos representam essencialmente um subconjunto do arquivo que ainda não foi recuperado pelo usuário. Porém, à medida que o *download* avança, os  $w$  blocos contabilizados nessa janela podem tanto representar blocos que já foram recuperados, como blocos que ainda não foram recuperados.

Assim, a abordagem Janela Fixa (JF) possui um tamanho constante  $w = n + q$  blocos, onde  $n$  é o número de blocos não recuperados, e  $q$  é o número de blocos que se encontram dentro da janela e que já foram recuperados pelo usuário.

Basicamente, a janela pode deslizar em dois instantes distintos: i) quando o primeiro bloco da janela é recuperado; ou ii) quando esse bloco atinge o seu prazo limite de reprodução. O prazo mencionado representa o tempo limite para recuperação de um bloco. Alcançando esse tempo, o bloco que não foi recuperado torna-se inutilizável.

Figura 1 – Abordagem Janela Fixa



Fonte: do Autor

A Figura 1 exemplifica o comportamento de uma janela da abordagem JF em quatro tempos diferentes. O arquivo é dividido em 15 blocos de mesmo tamanho e a janela possui um tamanho  $w = 5$  blocos. No tempo  $t_0$ , a janela compreende os blocos  $b_1, b_2, b_3, b_4$  e  $b_5$ , que ainda não foram recuperados, assim  $w = n$ . No tempo  $t_1$ , os blocos  $b_2, b_3$  e  $b_4$  foram recuperados. É no tempo  $t_2$ , quando o bloco  $b_1$  é recebido pelo usuário, que a janela desliza até o primeiro bloco não recuperado,  $b_5$ . No tempo  $t_3$ , o bloco  $b_5$  foi perdido e a janela desliza novamente até o primeiro bloco não recuperado,  $b_7$ .

#### 3.2 Abordagem janela elástica (JE)

Como o próprio nome sugere, a abordagem Janela Elástica (JE) (SAVOLAINEN et al., 2008; VLAVIANOS et al., 2006; ZHOU et al., 2007) caracteriza-se por uma janela que pode crescer ou diminuir conforme o progresso do *download* do arquivo.

Portanto, o tamanho da janela JE é dinâmico, compreendendo  $w = n + q$  blocos, onde  $n$  é o número de blocos não recuperados, e  $q$  é o número de blocos que se encontram dentro da janela e que já foram recuperados pelo usuário.

Para ilustrar o comportamento dessa janela, três momentos são considerados: i) Momento de Crescimento (MC): quando a quantidade de blocos da janela aumenta; ii) Momento Constante (MCT): quando o tamanho da janela não é alterado; iii) Momento de Decréscimo (MD): quando a quantidade de blocos da janela diminui. Também se considera que:

O tamanho  $w$  da janela elástica possui um limite  $w_{max}$  para o seu crescimento. Esse limite pode representar um número previamente estabelecido pelo protocolo, como ocorre no trabalho de Savolainen et al. (2008), ou

pode representar o fim do arquivo, como ocorre nos trabalhos de Vlavianos et al. (2006) e de Zhou et al. (2007).

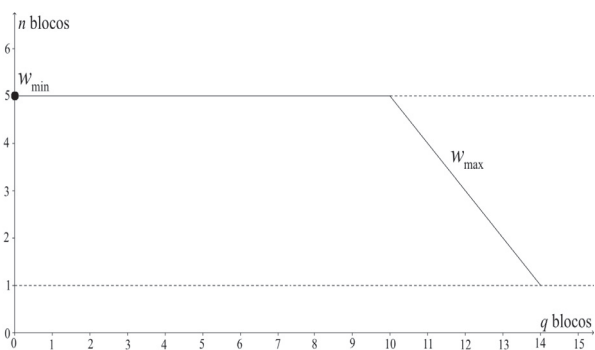
O tamanho  $w$  da janela elástica possui um tamanho mínimo  $w_{min}$ . Esse tamanho representa a quantidade de blocos que a janela compreende no início do *download* do arquivo.

A quantidade  $n$  de blocos não recuperados dentro da janela possui um limite máximo  $n_{max}$  e um limite mínimo  $n_{min}$ . Como a janela sempre englobará ao menos um bloco não recuperado,  $n_{min}$  é igual a 1. Dessa forma, o valor de  $n$  pode variar no intervalo  $[1, n_{max}]$ .

A quantidade  $q$  de blocos recuperados dentro da janela pode variar no intervalo  $[0, w_{max} - n_{min}]$ .

A Figura 2 exemplifica graficamente os limites de tamanho  $w_{max}$  e  $w_{min}$  assumidos pela janela  $w$  em função de  $n$  e  $q$ . Nessa figura, considera-se que  $w_{max} = 15$  e  $n_{max} = 5$ . Portanto,  $n$  pode ter valores no intervalo  $[1, 5]$ , e  $q$  pode ter valores no intervalo  $[0, 14]$ . O ponto  $(0, 5)$  representa o valor mínimo da janela  $w_{min}$ . A reta é constante enquanto  $n = n_{max}$  e  $w < w_{max}$ . Porém, a reta passa a ser decrescente quando  $w$  atinge  $w_{max}$ . Observa-se que o menor tamanho que a janela  $w$  pode assumir também representa o maior valor de  $n$ , ou seja,  $w_{min} = n_{max} = 5$ . Além disso, observa-se que  $n$  irá diminuir de tamanho apenas quando  $w$  atingir o seu tamanho máximo  $w_{max}$ .

**Figura 2** – Tamanho da janela  $w$  de acordo com os valores  $n$  e  $q$



Fonte: do Autor

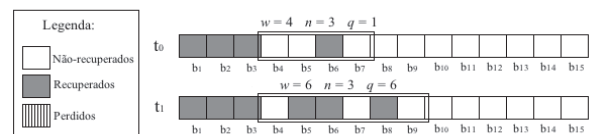
Dessa forma, a janela inicial, antes do *download* do arquivo começar, possui um tamanho  $w = n_{max}$ . Esses valores podem ser alterados de acordo com a sequência em que os momentos MC, MCT e MD ocorrerem no decorrer do *download*. Essa sequência não é previsível e, além disso, nem todos os momentos irão obrigatoriamente ocorrer.

Para ocorrer o MC, três requisitos devem ser atendidos. Primeiro, o tamanho da janela deve ser menor que o seu limite, ou seja,  $w < w_{max}$ . Segundo, a quantidade de blocos não recuperados deve ser igual ao seu valor máximo, ou seja,  $n = n_{max}$ . Terceiro, a janela não deve englobar o último bloco do arquivo.

No caso de acontecer um deslizamento, a janela somente irá aumentar de tamanho se, além de cumprir esses três requisitos, passar a englobar um bloco que já havia sido recuperado em outro instante. Dessa forma, ao ocorrer o MC, o tamanho de  $n$  se mantém igual a  $n_{max}$  e o valor de  $q$  aumenta.

A Figura 3(a) exemplifica o momento de crescimento da abordagem JE. O arquivo está dividido em 15 blocos. Considera-se que  $w_{max} = 6$  e  $n_{max} = 3$ . No tempo  $t_0$ , a janela possui um tamanho  $w = 4$ , que é menor que  $w_{max}$ . Além disso, a quantidade de blocos não recuperados  $n = 3$  é igual ao valor  $n_{max}$ . A janela também não engloba o último bloco do arquivo  $b_{15}$ . Todos os requisitos do MC são cumpridos, permitindo que a janela aumente a sua quantidade de 4 para 6 blocos, quando passa para o tempo  $t_1$ . Percebe-se que  $n$  mantém o seu valor e o valor de  $q$  aumenta de 1 para 3.

**Figura 3(a)** – Abordagem Janela Elástica: Momento de Crescimento

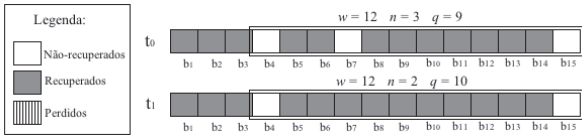


Fonte: do Autor

Duas situações podem resultar no MCT. A primeira situação ocorre quando a janela desliza e os valores de  $n$  e  $q$  não são alterados. A segunda situação, considerada apenas para janelas que recuperam blocos de forma não sequencial, ocorre quando  $w$  alcança o seu limite  $w_{max}$  e apenas os blocos acima de  $w_1$ , isto é, do primeiro bloco da janela, são recuperados. Nessa situação, a quantidade de blocos  $n$  diminui e de  $q$  aumenta de forma compensatória.

A Figura 3(b) exemplifica a segunda situação do MCT. Nesta figura, o arquivo é dividido em 15 blocos, o limite  $w_{max}$  é o final do arquivo e  $n_{max} = 3$ . No tempo  $t_0$ , a janela engloba 3 blocos não recuperados e 9 blocos recuperados. No tempo  $t_1$ , a janela passa a englobar 2 blocos não recuperados e 10 blocos recuperados. Nos dois instantes, a janela possui 12 blocos em seu interior.

**Figura 3(b)** – Abordagem da Janela Elástica: Momento Constante



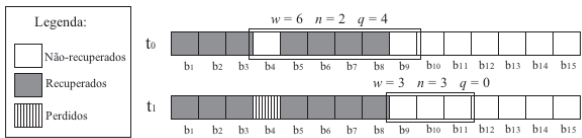
Fonte: Do Autor

Finalmente, o MD, na abordagem JE, ocorre em apenas uma situação. Essa situação é caracterizada pela diminuição do valor de  $q$  no deslizamento da janela. O valor de  $n$  pode se manter o mesmo ou aumentar, porém esse aumento não pode compensar a diminuição de  $q$ .

Figura 3(c) exemplifica esse momento. O arquivo é dividido em 15 blocos, sendo  $w_{\max} = 6$  e  $n_{\max} = 3$ . No instante  $t_0$ , a janela compreende 6 blocos, de  $b_4$  até  $b_9$ , chegando ao seu limite de tamanho. Nesse caso,  $n$  não consegue mais alcançar o seu valor máximo. No instante  $t_1$ , o bloco  $b_4$  é perdido e, portanto, a janela desliza até o bloco  $b_9$ . Nesse instante, a janela deixa de compreender blocos recuperados. Assim, o seu tamanho passa de 6 para 3 blocos.

O MD não pode ser confundido com o fenômeno Diminuição de Finalização (DF). Esse fenômeno representa o momento em que a janela engloba o último bloco do arquivo e começa a deslizar, diminuindo o seu tamanho. Nem sempre esse momento ocorre; porém, quando ocorre, não representa o momento de decréscimo da janela. Esse fenômeno pode ocorrer em qualquer tipo de janela.

**Figura 3(c)** – Abordagem Janela Elástica: Momento de Decréscimo



Fonte: do Autor

### 3.3 Abordagem janela adaptativa (JA)

Na abordagem Janela Adaptativa (JA) (BORGHOL et al., 2010), a janela altera o seu tamanho dinamicamente de acordo com o ponto de reprodução do objeto e com a quantidade de blocos contíguos já recuperados pelo usuário.

Nesse cenário, para determinar o tamanho  $w$  da janela adaptativa, cada *peer* computa o tamanho de sua

janela a cada seleção de blocos, utilizando a seguinte expressão (BORGHOL et al., 2010):

$$w = \max [k (d - r - \theta), 0] + w_{\min}$$

Onde:  $w_{\min}$  representa o valor mínimo pré-estabelecido para a janela;  $\theta$  é o limite mínimo de blocos contíguos estabelecidos pelo algoritmo; a variável  $d$  corresponde ao último bloco contíguo recuperado; a variável  $r$  é o ponto de reprodução do objeto, ou seja, o seu valor corresponde à posição do bloco que está sendo visualizado em determinado instante; e  $k$  é um coeficiente que determina o quanto a janela vai crescer com relação à diferença  $d - r - \theta$ .

Três momentos podem ser observados nessa janela: i) Momento de Crescimento (MC): quando a quantidade de blocos da janela aumenta; ii) Momento Constante (MCT): quando o tamanho da janela não é alterado; iii) Momento de Decréscimo (MD): quando a quantidade de blocos da janela diminui.

Inicialmente, a Janela da Abordagem(JA) possui um tamanho  $w = w_{\min}$  blocos. As alterações em seu tamanho acontecem de acordo com a sequência dos momentos MC, MCT e MD no decorrer do *download*. Essa sequência não é previsível e, além disso, nem todos os momentos irão obrigatoriamente aparecer.

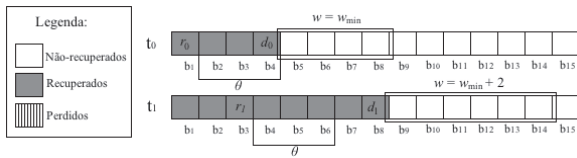
A ocorrência dos MC, MCT e MD na abordagem JA determina o tamanho da janela independentemente dos tipos de blocos em seu interior. Na verdade, quando a janela varia de tamanho, altera-se o valor máximo de blocos não recuperados  $n$  pelo usuário. Na abordagem JE, por outro lado, a ocorrência desses momentos é determinada exclusivamente pelo tipo de blocos no interior da janela e, ao invés de alterar  $n_{\max}$ , fica dependente desse limite.

O MC, na abordagem JA, pode ocorrer quando a velocidade de recuperação de blocos consecutivos aumenta com relação à velocidade de reprodução do arquivo, ou seja, o valor de  $d$  aumenta em uma velocidade maior do que o valor de  $r$ . Porém, o tamanho da janela aumenta apenas quando a diferença  $d - r$  for maior que o limite  $\theta$  estabelecido.

Observe a Figura 4. É definido que  $w_{\min} = 4$ ,  $\theta = 3$  e que o arquivo é dividido em 15 blocos de mesmo tamanho. No instante  $t_0$ , o tamanho da janela é igual a  $w_{\min}$  já que  $(d_0 - r_0) = \theta$ . Porém, do instante  $t_0$  ao instante  $t_1$ , ocorre um aumento no valor de  $d$  bem maior do que o

aumento ocorrido no valor de  $r$ , a ponto de  $(d_1 - r_1) > \theta$ . Logo, a janela aumenta de 4 blocos para 6 blocos.

**Figura 4** – Abordagem Janela Adaptativa: Momento de Crescimento



Fonte: do Autor

O MCT, na abordagem JA, acontece quando a velocidade de recuperação de blocos consecutivos é igual à velocidade de reprodução do vídeo ou quando a janela possui o tamanho mínimo  $w_{min}$  e a diferença  $d - r$  não é suficiente para aumentar o tamanho da janela.

Por fim, na abordagem JA, o MD pode ocorrer quando a velocidade de recuperação de blocos consecutivos diminuir com relação à velocidade de reprodução do objeto. Porém, a diminuição da janela ocorrerá apenas se o seu tamanho não for igual a  $w_{min}$ .

Além disso, a Janela da Abordagem -JA assume duas formas diferentes, a saber: i) Janela Adaptativa Fixa (JA-F); ii) Janela Adaptativa Elástica (JA-E). A abordagem JA-F é uma combinação das características da abordagem JF com a abordagem JA. Assim, nessa forma, a janela contabiliza os blocos recuperados e não recuperados em seu interior. Porém, ela não possui um tamanho fixo. Altera dinamicamente o seu tamanho de acordo com a taxa de *download* do *peer*.

Por outro lado, a abordagem JA-E é uma combinação das características da abordagem JE com a abordagem JA. Portanto, nessa forma, a janela pode alterar o seu tamanho tanto por conta da taxa de recebimento dos blocos pelo *peer*, como por conta dos tipos de blocos (recuperado e não recuperado) em seu interior. Observa-se também que a alteração de tamanho pela abordagem JA irá alterar o tamanho mínimo da janela  $w_{min}$  da abordagem JE e, consequentemente, o valor  $n_{max}$ .

Essas duas formas, JA-F e JA-E, são utilizadas em momentos diferentes. Para o estado de inicialização, caracterizado pelo tempo entre o início do *download* e o início da reprodução do vídeo, a janela assume a forma JA-F. Assim, busca-se diminuir o tempo de inicialização para a reprodução do vídeo. Porém, assim que a reprodução é iniciada, a janela assume a forma da abordagem

JA-E, a fim de garantir maior diversidade de blocos ao sistema.

### 3.4 Abordagem janelas autônomas – JAT

A abordagem Janelas Autônomas (JAT) (HOFFMANN et al., 2009, 2010, 2011) caracteriza-se pela divisão do arquivo em dois subconjuntos que estão previstos para serem reproduzidos em breve, isto é, pela divisão do arquivo em duas janelas.

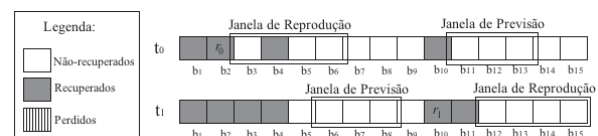
Nesse caso, o conjunto do arquivo irá possuir, em posições diferentes, mais de um subconjunto de blocos de alta prioridade. Nessa abordagem, as janelas possuem um tamanho fixo, da mesma forma que na janela da abordagem JF.

Essa abordagem aparece como uma alternativa para VoD em um ambiente interativo, onde os usuários realizam ações como *play*, *stop*, *pause*. Uma das janelas, denominada janela de reprodução, pode acompanhar a reprodução do arquivo, compreendendo os blocos que estão próximos do ponto de reprodução. A outra janela, denominada janela de previsão, pode acompanhar a sequência de ações prováveis do usuário, compreendendo blocos localizados em posições subsequentes ou antecedentes do ponto de reprodução do objeto.

A Figura 5 ilustra o comportamento das janelas da abordagem JAT em um ambiente interativo, considerando dois instantes diferentes. O arquivo é dividido em 15 blocos de mesmo tamanho. A janela de reprodução possui um tamanho  $w = 4$ , e a janela de previsão possui um tamanho  $w = 3$ . No instante  $t_0$ , o bloco  $b_2$  está sendo reproduzido, a janela de reprodução engloba os blocos  $b_3, b_4, b_5$  e  $b_6$ , e a janela de previsão engloba os blocos  $b_{11}, b_{12}$  e  $b_{13}$ .

Ainda considerando-se a Figura 5, do instante  $t_0$  ao instante  $t_1$ , o usuário executa uma ação interativa, avançando o ponto de reprodução do arquivo para o bloco  $b_{10}$ . Nesse momento, a sequência de ações previstas para o usuário determina que a janela de previsão deve passar a englobar os blocos  $b_6, b_7$  e  $b_8$ . A janela de reprodução passa a englobar os blocos  $b_{12}, b_{13}, b_{14}$  e  $b_{15}$ .

**Figura 5** – Abordagem Janelas Autônomas



Fonte: do Autor

## 4 Avaliação de performance das abordagens de janela

Nesta seção, são apresentadas comparações entre as performances das abordagens de janelas vistas na seção anterior.

### 4.1 Janela fixa e janela elástica

Os experimentos realizados no trabalho de Savolainen et al. (2008) apresentam uma análise competitiva entre as abordagens JF e JE. Foram considerados dois protocolos que se utilizam da abordagem JE, a saber, *BiToS* (VLAVIANOS et al., 2006) e *Stretching* (SAVOLAINEN et al., 2008) e também, um protocolo da abordagem JF, a saber, *Fixed-size* (SHAH; PÂRIS, 2007).

As simulações dos três protocolos foram realizadas em um cenário *flash-crowd* com uma população de 100 *peers*, no intuito de compartilhar a transmissão de um arquivo de vídeo de 25 MB. Segundo Borghol et al. (2010), esse tipo de cenário caracteriza-se por possuir um único *seed*, pois todos os *peers* participantes da transmissão do arquivo entram no sistema quase que simultaneamente e progridem de forma similar no *download* do arquivo. Nessas simulações, a capacidade de *upload* do *seed* inicial é igual a 1 Mbps, enquanto que os *peers* possuem 512 kbps de *upload* e 1 Mbps de *download*.

Duas métricas foram consideradas: i) *Throughput*: porcentagem de utilização da capacidade de *upload* ou *download* do sistema; ii) *Buffering time*: tempo entre o início do *download* e o início da reprodução do vídeo. O início de reprodução é definido como o tempo em que o *peer* finaliza o *download* dos primeiros *N* blocos, quando *N* é o tamanho do *buffer* inicial.

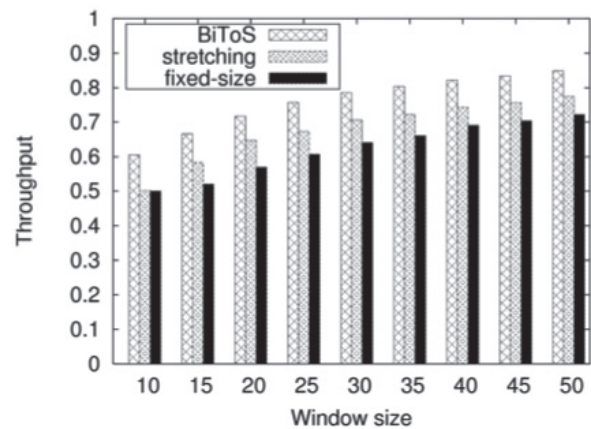
Observando a Figura 6(a), conclui-se que, com relação à métrica *Throughput*, a abordagem JF normalmente possui uma performance inferior em comparação com a abordagem JE. Focando na análise da abordagem JE, o protocolo *BiToS*, que limita o crescimento de sua janela apenas quando ela atinge o final do arquivo, possui uma performance superior a do protocolo *Stretching*, que limita o crescimento de sua janela a um valor específico.

Com relação à métrica *Buffering time*, a Figura 6(b) sugere que, após um determinado tamanho, a abordagem JF fornece os menores tempos de inicialização com relação à abordagem JE. Na abordagem JE, o protocolo *BiToS* oferece um maior tempo de inicialização em

comparação com o protocolo *Stretching*.

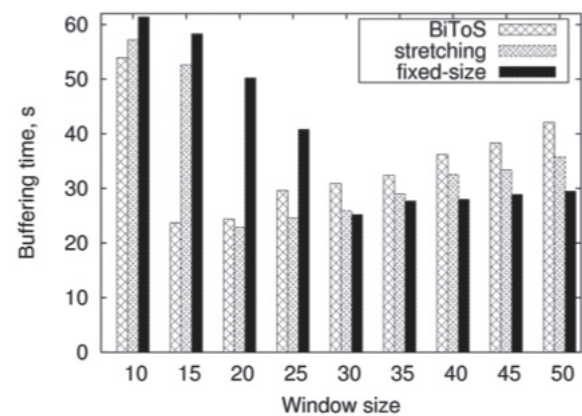
Portanto, fica claro que a proposta *Stretching*, para as duas métricas avaliadas, apresenta resultados satisfatórios, demonstrando um bom compromisso entre a utilização da capacidade do sistema e o tempo de inicialização da reprodução.

Figura 6(a) – *Throughput* em função do tamanho da janela



Fonte: Savolainen et al., 2008

Figura 6(b) – *Buffering time* em função do tamanho da janela



Fonte: Savolainen et al., 2008

### 4.2 Janela fixa, janela elástica e janela adaptativa

As simulações apresentadas em Borghol et al. (2010) apresentam, de forma competitiva, a análise das abordagens JF, JE e JA, considerando três métricas diferentes:

*Initial Buffer Duration*: tempo entre o início do *download* e o início da reprodução do vídeo.

*Uplink Utilization*: fração da capacidade de *upload* utilizada pelos *peers* durante a duração dos seus *downloads*.

**Success Ratio:** quantidade de blocos recebidos em tempo para a sua reprodução em função da quantidade de blocos do arquivo de vídeo.

Nessas simulações, são considerados os protocolos Fixed (SHAH; PÂRIS, 2007), para a abordagem JF, Bitos (VLAVIANOS et al., 2006), para a abordagem JE, e Adaptive (BORGHOL et al., 2010), para a abordagem JA.

Os experimentos são realizados em dois cenários flash-crowd com uma população de 200 peers. No primeiro cenário, a taxa de upload ( $U$ ) sobre a taxa de reprodução ( $PBR$ ) é igual a 1,25; no segundo cenário, a taxa de taxa de upload ( $U$ ) sobre a taxa de reprodução ( $PBR$ ) é de 2.

As simulações também são realizadas em dois cenários Poisson. Nesse tipo de cenário, o processo de entrada dos peers no sistema segue uma distribuição de Poisson com uma taxa de chegada  $\lambda$ . Dessa forma, os peers não irão possuir um progresso similar no download do arquivo, já que entrarão no sistema em momentos diferentes (BORGHOL et al., 2010). Nos dois cenários Poisson,  $U/PBR = 1,25$  e as taxas de chegadas dos peers no sistema  $\lambda$  são de 0,01 e 0,1 peers por segundo, respectivamente.

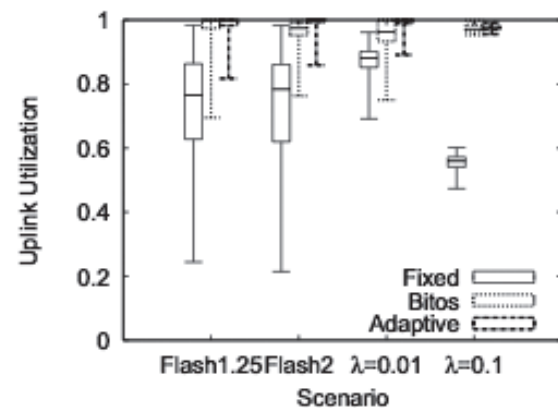
O arquivo de vídeo possui tamanho de 300 MB, dividido em 1200 blocos de 256 kB de tamanho e, além disso, a sua taxa de reprodução é igual a 800 kbps. Nessas simulações, a capacidade de upload do seed é igual a 6 Mbps, enquanto que os peers possuem 1 Mbps de upload e 2 Mbps de download. Por fim, considera-se que os peers deixam o sistema assim que eles finalizam o seu download.

As Figuras 7(a) e 7(b) mostram que a abordagem JF não proporciona uma boa utilização da capacidade de upload nos cenários flash-crowd e, conseqüentemente, a média alcançada pela métrica Success Ratio é baixa quando  $U/PBR = 1,25$ . A principal razão desse resultado é a conservação de um limite de tamanho fixo pela janela durante o download do arquivo. Com relação à abordagem JE, a métrica Success Ratio apresenta, nos cenários Poisson, resultados baixos e com significativas variações entre os peers. A métrica Uplink Utilization possui resultados satisfatórios na abordagem JE.

De acordo com a Figura 7(c), a métrica Initial Buffer Duration é similar em todas as abordagens nos cenários flash-crowd, quando todos os peers estão sincronizados. Nos cenários Poisson, as abordagens JF e JA apresentam um tempo de buffer pequeno. Isso ocorre porque os peers não permitem que o limite da janela aumente até que, pelo menos, o primeiro bloco da janela seja recuperado.

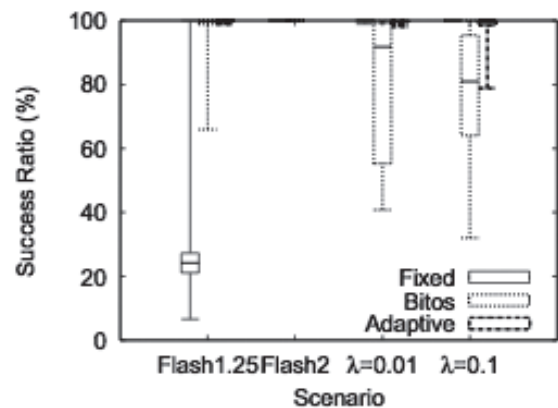
Observa-se que esse resultado ocorre com a abordagem JA porque ela assume a forma JA-F antes do início da reprodução do vídeo. O protocolo Adaptive alcança, nas condições apresentadas, o melhor desempenho, demonstrando uma alta utilização da capacidade de upload do sistema, um pequeno tempo de buffer antes do início da reprodução, e uma baixa quantidade de blocos perdidos pelos peers.

Figura 7(a) – Uplink Utilization



Fonte: Borghol et al., 2010

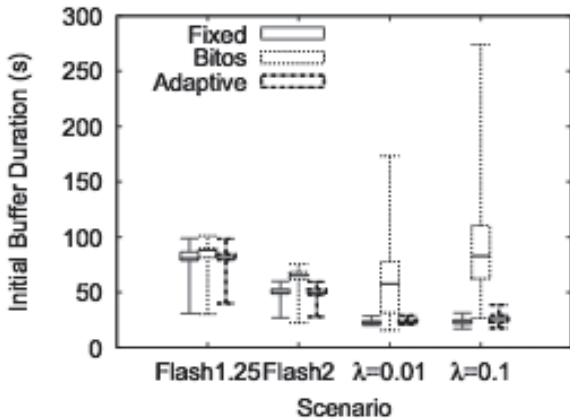
Figura 7(b) – Success Ratio



Fonte: Borghol et al., 2010



Figura 7(c) – Initial Buffer Duration



Fonte: Borghol et al., 2010

### 4.3 Janela fixa, janela elástica e janelas autônomas

Em Hoffmann et al. (2011), são realizadas simulações para a análise competitiva das abordagens JF, JE e JAT. São considerados:

02 (dois) protocolos com a abordagem JE, a saber, *BiToS* (VLAVIANOS et al., 2006) e *Zhou-Chui-Lui* (ZHOU et al., 2007);

01 (um) protocolo com a abordagem JF, a saber, *Shah-Pâris* (SHAH; PÂRIS, 2007); e

02 (dois) protocolos com a abordagem JAT, a saber, *BIP-F* e *BIP-S* (HOFFMANN et al., 2011).

Além disso, duas variantes são consideradas para o protocolo *BIP-F*: *BIF-FG*, quando a janela de reprodução recupera os blocos de forma sequencial; e *BIP-FR*, quando a janela recupera os blocos em função da sua raridade. Considera-se, também, uma variante do protocolo *BIP-S*: *BIP-SB*, que admite a existência de um *buffer* para prevenir um número excessivo de interrupções durante a reprodução do vídeo devido à falta de blocos consecutivos.

A Tabela 1 define as métricas utilizadas nos experimentos. Dois tipos de cargas de trabalho foram utilizadas: uma sintética e outra real. As cargas de trabalho real referem-se aos *logs* de comportamento de usuários do sistema multimídia RIO, capturados durante um curso do CEDERJ (SOUZA; SILVA et al., 2006). Um usuário do sistema RIO pode executar as seguintes ações interativas: *play*, *stop*, *pause*, *salto para frente* e *salto para trás*. As cargas sintéticas são geradas, usando o modelo de comportamento de usuário apresentado no trabalho de De Vielmond et al. (2007).

Tabela 1 – Métricas

Métricas	Cálculo das Métricas
Número Médio de Interrupções ( $D$ )	$D = (\sum_{i=1}^U D_i) / U$ , onde $D_i$ é o número de interrupções que ocorreram no usuário $i$ e $U$ é o total de usuários do sistema. Essas interrupções decorrem da ausência de blocos.
Tempo Médio de Retorno ( $TR$ )	$TR = (\sum_{i=1}^U TR_i) / U$ , onde $TR_i$ é o tempo médio de retorno relativo ao usuário $i$ e $U$ é o total de usuários do sistema. É o tempo necessário para retomar a reprodução após uma interrupção.
Tempo Médio para Iniciar Reprodução ( $TI$ )	$TI = (\sum_{i=1}^U [TI_i]) / U$ , onde $TI_i$ é o tempo relativo ao usuário $i$ e $U$ é o total de usuários do sistema.
Taxa de Download ( $TxD$ )	$TxD = (\sum_{i=1}^U [TxDi]) / U$ , onde $TxD_i$ é a taxa média de <i>download</i> referente ao usuário $i$ e $U$ é o total de usuários do sistema.
Taxa de Upload ( $TxU$ )	$TxU = (\sum_{i=1}^U [TxUi]) / U$ , onde $TxUi$ é a taxa média de <i>upload</i> referente ao usuário $i$ e $U$ é o total de usuários do sistema.
Tempo Médio de Download ( $TD$ )	$TD = (\sum_{i=1}^U [TD_i]) / U$ , onde $TD_i$ é o tempo relativo ao usuário $i$ e $U$ é o total de usuários do sistema.

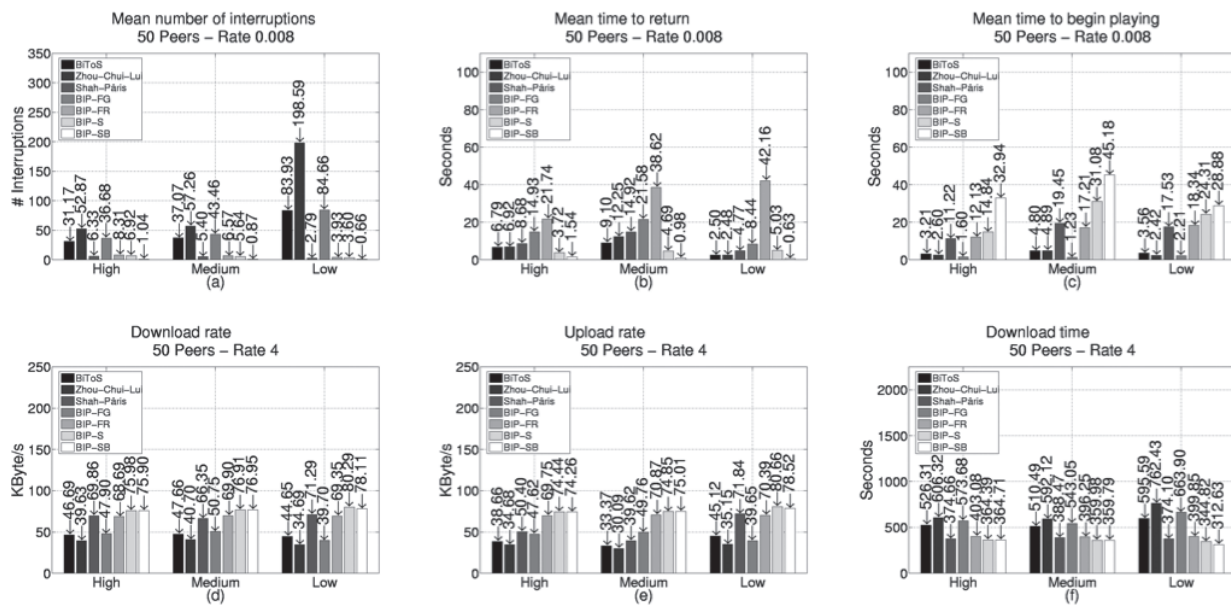
Fonte: Hoffmann et al., 2011

Para gerar essas cargas sintéticas, foram utilizados 391 *logs* reais com sessões de 20-30 minutos. No modelo de simulação, o comportamento dos usuários é representado por meio das cargas reais, e as cargas sintéticas são usadas pelos algoritmos *BIP-F* e *BIP-S* para prever as ações interativas futuras do usuário. As cargas são estatisticamente diferentes, permitindo cobrir um amplo espectro de análise.

As cargas são classificadas em função do nível de interatividade  $I$ , estimado como o número médio de requisições por sessão. A classificação utilizada é: interatividade alta ( $15 < I < 40$ ); interatividade média ( $5 < I < 16$ ); e interatividade baixa ( $0 < I < 6$ ).

Nas simulações, as análises são realizadas em função desses três níveis de interatividade: o arquivo de vídeo possui tamanho igual a 1800 segundos, o número de *seeds* é igual a 1, e a capacidade dos *peers* e do *seed*, tanto para *download* quando para *upload*, é igual a 100 kB/s. Além disso, a chegada de *peers* no sistema segue um processo de *Poisson* com taxa de  $\lambda = 4$  e 0,008 *peers* por segundo.

Figura 8 – Análise comparativa entre as abordagens JF, JE e JAT.



Fonte: Hoffmann et al., 2011

A Figura 8(a) demonstra que a abordagem JE apresenta o maior número de interrupções. Além disso, na abordagem JAT, apenas quando a janela de reprodução recupera os blocos de forma sequencial, como ocorre no protocolo *BIP-FG*, o número de interrupções é alto. Todos os outros protocolos que implementam a estratégia de seleção de blocos raros alcançaram bons resultados, aumentando o seu número de interrupções de acordo com o grau de interatividade do sistema.

Na Figura 8(b), a avaliação da métrica Tempo Médio de Retorno (*TR*) demonstra que os protocolos que implementam um mecanismo de recuperação sequencial, dentro da sua janela, possuem um tempo de retorno baixo quando um bloco é perdido. Além disso, nos protocolos *BIP-S* e *BIP-SB*, a janela de previsão garante poucas interrupções e, portanto, o menor tempo de retorno é alcançado. Apesar de o protocolo *BIP-FR* possuir uma janela de previsão, a recuperação dos blocos raros ocorre dentro e fora das janelas de reprodução e de previsão, ocasionando um tempo de retorno alto.

A Figura 8(c) sugere que os protocolos que recuperam blocos sequencialmente possuem a melhor performance para a métrica Tempo Médio Para Iniciar Reprodução (*TI*). O protocolo *BIP-SB* possui um dos piores desempenhos por conta da utilização de um *buffer*.

Por fim, as Figuras 8(d), 8(e) e 8(f) demonstram que os protocolos que utilizam o mecanismo de recupe-

ração de blocos de acordo com a sua raridade possuem uma performance superior para as métricas Taxa de *Download* (*TxD*), Taxa de *Upload* (*TxU*) e Tempo Médio de *Download* (*TD*), respectivamente. A melhor performance é observada nos protocolos *BIP-S* e *BIP-SB*.

Assim, com relação à abordagem JAT, entende-se que a recuperação de blocos fora das duas janelas, como ocorre no protocolo *BIP-F*, introduz uma complexidade adicional e, assim, não é eficiente. Além disso, bons resultados podem ser alcançados pela abordagem JAT, em um sistema interativo, com relação à métrica Tempo Médio de Retorno (*TR*), já que a recuperação de blocos segue um modelo de previsão do comportamento do usuário.

As análises também demonstraram que, para qualquer abordagem, a recuperação de blocos raros é mais eficiente do que a de forma sequencial. Por fim, conclui-se que as abordagens JF e JAT possuem as melhores performances.

## 5 Síntese crítica

A Tabela 2 resume as principais características das abordagens vistas neste trabalho. Essas características aparecem em função da quantidade de janelas, do tamanho das janelas e do tamanho máximo e mínimo alcançado pelas janelas de cada uma das abordagens.

Observa-se, por exemplo, que a abordagem JF caracteriza-se por uma janela de tamanho fixo durante o *download* de todo o arquivo. As abordagens JE e JA correspondem a uma janela que dinamicamente varia de tamanho de acordo com o progresso de *download* do usuário. A abordagem JAT trata sobre o desenvolvimento de duas janelas fixas, aparecendo como uma interessante alternativa para serviços de VoD em ambientes interativos.

**Tabela 2** – Características das abordagens de janelas para a seleção de blocos

Abordagem	Quantidade de janelas	Tamanho da janela	Tamanho máximo da janela	Tamanho mínimo da janela
Janela Fixa (JF)	1	Fixo	$w$	$w$
Janela Elástica (JE)	1	Dinâmico	$w_{max}$	$w_{min} = n_{max}$
Janela Adaptativa (JA)	1	Dinâmico	$w_{max}$	$w_{min}$
Janelas Autônomas (JAT)	2	Fixo	$w$	$w$

Fonte: do Autor

Especificamente, a janela da abordagem JF, por conta do seu tamanho fixo, pode restringir o recebimento de blocos a uma quantidade cada vez menor do arquivo. Sob o ponto de vista do tempo, essa situação é uma vantagem, pois, cada vez mais, a seleção de blocos que serão reproduzidos em breve é priorizada. Sob o ponto de vista da raridade, essa situação é uma desvantagem, pois a janela começa a focar menos na diversidade de blocos do sistema.

Diferentemente da abordagem JF, a abordagem JE não determina uma quantidade fixa de blocos em seu interior. A janela dessa abordagem apenas se comportaria da mesma forma que a da JF se  $w_{max} = n_{max}$ . Além disso, no MC, a quantidade  $n$  de blocos não recuperados se mantém igual a  $n_{max}$ , aumentando apenas o valor de  $q$ . Portanto, mesmo quando blocos são recuperados no seu interior, não há uma restrição de blocos não recuperados.

Dessa forma, percebe-se que a janela da abordagem JE tende a proporcionar diversidade ao sistema. Porém, com o seu crescimento, blocos com menores prioridades de tempo podem ser requisitados em detrimento de outros com maiores prioridades.

Ainda analisando a abordagem JE, quando a janela atinge o seu limite de tamanho e ocorre a diminuição

da variável  $n$  e o aumento da variável  $q$ , no MCT, observa-se que a janela restringe a requisição de blocos a uma quantidade cada vez menor. Assim, estimar um limite específico para o crescimento da janela pode proporcionar um bom equilíbrio entre a diversidade do sistema e as exigências de tempo.

A variação de tamanho das janelas das abordagens JA e JE ocorre por motivos diferentes. Na abordagem JE, a causa está relacionada com os tipos de blocos (recuperado e não recuperado) em seu interior. No entanto, na abordagem JA, quando a janela assume a forma JA-F, a causa está apenas relacionada com o ponto de reprodução do objeto e com a quantidade de blocos contíguos já recuperados. Porém, quando a janela assume a forma JA-E, a causa está tanto relacionada com os tipos de blocos em seu interior como com o ponto de reprodução do objeto e com a quantidade de blocos contíguos já recuperados.

Com relação à abordagem JAT, a possibilidade de utilização de janelas que deslizam por motivos diferentes é uma das maiores vantagens dessa técnica. Como desvantagem, entende-se que, aumentando a quantidade de subconjuntos de blocos com alta prioridade, aumenta-se a quantidade de blocos para serem requisitados pelo *peer*, podendo resultar em uma baixa performance e em uma maior complexidade do algoritmo

## 6 Conclusão

Este trabalho realizou a análise competitiva de quatro recentes propostas de adaptação do protocolo BitTorrent para o serviço de VoD. Essas propostas baseiam-se no emprego de janelas para seleção de blocos do arquivo a ser recebido pelo usuário e são assim denominadas: Janela Fixa (JF), Janela Elástica (JE), Janela Adaptativa (JA) e Janelas Autônomas (JAT). Os principais resultados observados são mencionados a seguir.

A abordagem JE, quando possui o tamanho máximo da janela diferente do tamanho do arquivo, é mais eficiente que as abordagens JF e JE, considerando o tamanho máximo da janela igual ao tamanho do arquivo, pois demonstra um equilíbrio maior entre a utilização da capacidade total do sistema e o tempo de inicialização de reprodução.

Para serviços de VoD em ambientes não interativos, a abordagem JA é mais eficiente que as abordagens JF e JE.

Em ambientes interativos, a abordagem JAT alcança resultados promissores em comparação com as abordagens JF e JE. A razão dessa melhor performance pode ser justificada pela utilização de duas janelas que deslizam por motivos diferentes.

Recuperar blocos em mais de dois subconjuntos do arquivo aumenta a complexidade do sistema e pode comprometer o desempenho da reprodução do vídeo.

Como trabalhos futuros, é possível, por exemplo, considerar: i) a análise da abordagem JA com um tamanho máximo de janela diferente do tamanho do arquivo; ii) a análise de variantes da abordagem JAT; iii) a realização de simulações competitivas em ambientes interativos entre as abordagens JA e JAT.

### Referências

- BHARAMBE, A. R.; HERLEY, C.; PADMANABHAN, V. N. Analyzing and improving a bittorrent network's performance mechanisms. In: IEEE INFOCOM 2006, Barcelona. Barcelona, 2006.
- BORGHOL, Y.; ARDON, S.; CARLSSON, N.; MAHANTI, A. Toward efficient on-demand streaming with bittorrent. In: IFIP NETWORKING, 2010, Chennai. Chennai, 2010.
- CARLSSON, N.; EAGER, D. L. Peer-assisted on-demand streaming of stored media using bittorrent-like protocols. In: IFIP/TC6 NETWORKING, 2007, Georgia. Georgia, 2007.
- COHEN, B. Incentives build robustness in bittorrent. In: FIRST WORKSHOP ON ECONOMICS OF PEER-TO-PEER SYSTEMS, 2003, Berkeley. Berkeley, 2003.
- HOFFMANN, L. J. H.; RODRIGUES, C. K. S.; LEÃO, R. M. M. Acesso interativo para aplicações P2P de streaming de vídeo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES E COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS, 27., 2009, Recife. Recife, PE, 2009.
- HOFFMANN, L. J. H.; RODRIGUES, C. K. S.; LEÃO, R. M. M. BIVoD: Um novo protocolo para acesso interativo em sistemas de vídeo sob demanda. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS – SBRC, 28., 2010, Gramado. Gramado, RS, 2010.
- HOFFMANN, L. J. H.; RODRIGUES, C. K. S.; LEÃO, R. M. M. BitTorrent-Like protocols for interactive access to VoD systems. *European Journal of Scientific Research*, v. 58, n. 4, p. 550-569, 2011.
- LEGOUT, A.; URVOY-KELLER, G.; MICHIARDI, P. Rarest first and choke algorithms are enough. In: ACM SIGCOM CONFERENCE ON INTERNET MEASUREMENT, 6., 2006, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, 2006. p. 203-216.
- LIU, B.; CUI, Y.; CHANG, B.; GOTOW, B.; XUE, Y. BitTube: case study of a web-based peer-assisted video-on-demand system. In: IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MULTIMEDIA (ISM'08), 2008, Berkeley. Berkeley, 2008.
- MOL, J. J. D.; POUWELSE, J. A.; MEULPOLDER, M.; EPEMA, D. H. J.; SIPS, H. J. Give-to-Get: free-riding-resilient Video-on-Demand in P2P systems. In: SPIE MMCN. Delft, Netherland, 2008.
- PANDEY, R. R.; PATIL, K. K. Study of BitTorrent based Video on Demand systems. *International Journal of Computer Applications*, v. 1, n. 11, 2010.
- SAVOLAINEN, P.; RAATIKAINEN, N.; TARKOME, S. Windowing BitTorrent for Video-on-Demand: not all is lost with Tit-for-Tat. In: IEEE GLOBECOM, 2008, New Orleans. New Orleans, LA, 2008.
- SHAH, P.; PÂRIS, J. F. Peer-to-Peer multimedia streaming using BitTorrent. In: IEEE INTERNATIONAL PERFORMANCE, COMPUTING, AND COMMUNICATIONS CONFERENCE – IPCCC, 2007, New Orleans, New Orleans, Louisiana, 2007. p. 340-347.
- SILVA, E. S. et al. Multimedia supporting tools for the CEDERJ – Distance learning initiative applied to the computer systems course. In: ICDE WORLD CONFERENCE ON DISTANCE EDUCATION, 22., 2006, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, 2006.
- VIELMOND, C. C. L. B.; LEÃO, R. M. M.; SOUZA S. Um modelo HMM hierárquico para usuários interativos acessando um servidor multimídia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES, 2007, Belém. Belém, Pará, 2007. 1 v.
- VLAVIANOS, A.; ILIOFOTOU, M.; FALOUTSOS, M. BiToS: enhancing bittorrent for supporting streaming applications. In: IEEE GLOBAL INTERNET SYMPOSIUM, 9., 2006 Barcelona. Barcelona, 2006.
- ZHOU, Y.; CHIU, D. M.; LUI, J. C. S. A simple model for analyzing P2P streaming protocols. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON NETWORK PROTOCOLS – ICNP, 2007, Beijing. Beijing, 2007. p. 226-235.