

Método para Atenuar a Degradação da Qualidade em Vídeo *Streaming* sobre IP

Carlos A. G. da Silva, Eduardo P. Ribeiro e Carlos M. Pedroso

Resumo—A transmissão de vídeo *streaming* sobre IP é uma aplicação com perspectiva de grande crescimento. Em muitos casos, o controle sobre a qualidade de serviço nas redes de acesso é limitada, o que tende a reduzir a qualidade de reprodução de vídeo. Em paralelo, sistemas de comunicação multiabrigados permitem o uso de diferentes interfaces para transmissão de dados. A disponibilidade de mais de uma interface para acesso à Internet é cada vez mais comum, com destaque para as tecnologias de acesso sem fio WIFI e de redes móveis. Neste artigo é proposto um método de transmissão de vídeo sobre sistemas multiabrigados utilizando envio de pacotes redundantes para reduzir o impacto do aumento do atraso fim-a-fim na qualidade de reprodução do vídeo. A eficiência do método é demonstrada a partir de simulações computacionais com vídeos codificados com o codec H.264. Os resultados mostram uma redução significativa da degradação da qualidade de reprodução com pequeno custo de transmissão redundante.

Palavras-Chave—Vídeo Streaming, qualidade percebida, transmissão redundante.

Abstract—Video streaming over IP is one of the applications with highest growth rate. In many cases, the quality of service in access networks is limited, which tends to reduce the quality of video playback. In parallel, multihoming communication systems allow the use of several interfaces for transmission. The availability of more than one interface for Internet access is increasingly common, especially with technologies as WIFI and mobile networks. This paper introduces a method for video streaming using multihoming to send redundant packets to reduce the impact of network impairments in viewer's perceived quality. The efficiency of the method is demonstrated from computer simulations with videos encoded with H.264. The results show a significant reduction in quality degradation with small cost of redundant transmission.

Keywords—Video Streaming, perceived quality, redundancy.

I. INTRODUÇÃO

Com a evolução das tecnologias de transmissão de dados e o aumento conjunto dos meios de acesso à Internet, houve aumento de oferta e procura de serviços de transmissão de vídeo. Um dos fatores fundamentais que afetam a qualidade da transmissão de vídeo sobre a rede IP é o atraso fim-a-fim [1]. O incremento neste atraso pode comprometer a qualidade dos serviços de voz, vídeo-conferência e vídeo. O *throughput* também é um dos fatores fundamentais que impactam na qualidade de tais sistemas [2], que está aumentando progressivamente de forma a atender os requisitos de transmissão de vídeo.

Em função do aumento da diversidade dos meios de acesso à Internet surgiu a possibilidade de incorporar múltiplas

interfaces de rede em um único dispositivo. Tais sistemas são chamados multiabrigados. Um sistema é multiabrigado quando ele possui mais de uma interface de rede, física ou lógica, disponível para comunicação. Do ponto de vista da camada de transporte, cada interface representa um caminho diferente para que seja realizado o acesso à rede. Através de mecanismos de monitoramento e de troca de caminhos, é possível aumentar a resiliência e estabilidade de uma conexão, garantindo a continuidade dos serviços mesmo no caso do caminho principal se tornar indisponível.

Os protocolos de camada de transporte mais utilizados atualmente são o TCP (*Transmission Control Protocol*) e o UDP (*User Datagram Protocol*), sendo que o UDP é aplicado na transferência de vídeo e aplicações de tempo real. No entanto, os protocolos TCP e UDP não possuem capacidade de explorar a disponibilidade de múltiplas interfaces.

O protocolo SCTP (*Stream Control Transmission Protocol*) foi especificado pelo IETF (*Internet Engineering Task Force*) na RFC4960 [3]. O SCTP possui como principais características o suporte a sistemas multiabrigados (*multihoming*) e a transmissão por múltiplos fluxos (*multistreaming*). Por padrão, o SCTP utiliza um caminho para transmissão, chamado caminho primário, e deixa os demais em redundância. A RFC4960 especifica que os caminhos secundários podem ser utilizados para a retransmissão de pacotes, ou para *backup* em caso de falha do caminho principal. No entanto, os múltiplos caminhos também podem ser explorados para obter uma melhor qualidade para aplicações, que é o caso da proposta apresentada neste artigo. Por padrão, o SCTP realiza a troca de caminho primário caso seja detectada a perda de 6 segmentos. Um segmento é considerado perdido se a confirmação de recepção não for recebida até um certo tempo limite (RTO, *retransmission time out*). Quando um segmento é declarado perdido, o RTO é dobrado. O valor mínimo inicial para o RTO é de 1 segundo. Desta forma, o tempo mínimo para troca de caminho primário é de 63 segundos. Este valor é muito grande para permitir a exploração dos diversos caminhos para mitigar os efeitos da degradação do atraso fim-a-fim do caminho primário na qualidade de reprodução na transmissão de vídeo.

Existem na literatura propostas para utilizar o atraso de propagação como critério de seleção de caminho primário, chamadas de estratégias *delay-centric* [4] [5]. O atraso fim-a-fim é estimado através do RTT (*Round Trip Time*), que é o intervalo de tempo entre a transmissão da mensagem e o recebimento da respectiva confirmação. Esse tipo de mecanismo já foi aplicado anteriormente para obter melhor qualidade na transmissão de voz [6]. No entanto, o uso de estratégias de seleção de caminho baseadas no atraso fim-a-

fim para melhorar o desempenho da transmissão de vídeo em tempo real é um tópico de pesquisa relevante.

Neste artigo é proposto um método para utilizar os caminhos secundários para transmissão de informação redundante, de forma a mitigar os efeitos da degradação do atraso fim-a-fim do caminho primário. Os vídeos utilizados são codificados usando o MPEG 4 *part 10*, também conhecido como H.264/AVC (*Advanced Video Coding*), que é um dos padrões mais utilizados atualmente. A avaliação de desempenho foi realizada utilizando dados de atraso fim-a-fim obtidos em redes de acesso reais, com a transmissão simulada de vídeos em diversos cenários. Foram realizados testes utilizando as tecnologias de acesso WIFI/Ethernet, ADSL e 3G. A qualidade do vídeo foi estimada utilizando-se a relação sinal ruído de pico (PSNR, *Peak Signal-to-Noise Ratio*) e o índice de similaridade estrutural (SSIM, *Structural Similarity Index*).

Além desta seção de introdução, este artigo está organizado da seguinte forma. A seção II apresenta os trabalhos relacionados. Nas seções III e IV são apresentados os conceitos fundamentais a respeito de sistemas multiabrigados e codificação de vídeo MPEG4. A seção V apresenta o método proposto. Os resultados da avaliação de desempenho utilizando simulação computacional são apresentados na seção VI. Finalmente, as conclusões são apresentadas na seção VII.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Em [7] são exploradas características do SCTP com *Partial Reliability* (PR-SCTP) [8] para retransmissão de dados prioritários utilizando vídeo codificado com MPEG-4. O método impõe um limite de tempo para retransmissão de pacotes, de acordo com o atraso máximo tolerado para reprodução do vídeo, o que tende a inibir o gerenciamento da rede.

O PR-SCTP é usado também por [9] onde é proposto um modelo probabilístico para antecipar possíveis retransmissões utilizando caminhos secundários, prevendo assim possíveis perdas de pacotes, e reduzindo as consequências da perda pelo caminho primário.

Okamoto et al. [10] propõem a transmissão duplicada (*bi-casting*) de segmentos SCTP que contenham informação de intervalos de confirmação (*ACK gaps*). Assim, a perda destes pacotes em um dos caminhos não reduz o desempenho da transmissão. Eles demonstraram a vantagens desta estratégia em um experimento com enlaces sem fio.

Em [11] os autores propõem a utilização do CMT (*Concurrent Multipath Transfer*) que permite a transmissão simultânea utilizando todos os caminhos disponíveis e o PR-CMT (*Partial Reliability*) que além de permitir a transmissão simultânea de vídeo *streaming* é aplicado uma política de confiabilidade parcial para retransmissão de dados. Os resultados indicaram que o uso do PR-CMT apresentou melhores níveis de PSNR do que o CMT convencional.

Em [12] é proposto um método de transmissão com redundância total utilizando múltiplos caminhos simultaneamente. O método proposto utiliza pelo menos o dobro da largura de banda para envio dos dados. Os autores não apresentaram avaliação de qualidade do vídeo recebido.

III. SISTEMAS MULTIABRIGADOS - SCTP

O protocolo SCTP foi projetado para transportar mensagens de sinalização de telefonia sobre redes IP [3], mas seu uso pode ser estendido a uma gama maior de aplicações. O SCTP é um protocolo de camada de transporte capaz de realizar a transmissão confiável ou não confiável, oferecer suporte à múltiplos fluxos em uma única conexão e também permite o uso de múltiplas interfaces de rede para aumentar a resiliência da conexão.

O mecanismo de troca de caminho padrão utiliza a perda de pacotes como critério para mudança de caminho. Normalmente o protocolo utiliza o caminho primário para transmissão de dados principal. Uma mensagem de pulsação (ou *heartbeat*) é enviada periodicamente em todos os caminhos secundários. Um caminho é marcado como ativo depois que existe uma resposta do endereço requisitado, caso contrário é marcado como inativo. As mensagens de *heartbeat* podem ser enviadas em intervalo de tempo configurável, sendo 30 segundos a configuração padrão.

O SCTP detecta perdas de pacotes monitorando o atraso de ida e volta (RTT, *Round Trip Time*), que é obtido pela diferença de tempo entre a transmissão da mensagem e o recebimento da confirmação de chegada no caminho primário e pelas mensagens de (*heartbeat*) nos caminhos secundários. Para evitar variações bruscas do RTT, é calculado o SRTT (*Smoothed Round Trip Time*), utilizando uma média móvel exponencial (EMA, *Exponential Moving Averages*) definida a seguir:

$$SRTT_i = (1 - \alpha).SRTT_{i-1} + \alpha.RTT_i \quad (1)$$

onde tipicamente $\alpha = 1/8$ [3].

A variância do RTT, chamada RTTVAR, é calculada da seguinte forma:

$$RTTVAR_i = (1 - \beta).RTTVAR_{i-1} + \beta. |SRTT_i - RTT_i| \quad (2)$$

onde tipicamente $\beta = 1/4$ [3].

O protocolo SCTP detecta perdas utilizando um temporizador, chamado RTO (*Retransmission Timeout*). Caso a confirmação da transmissão da mensagem não seja recebida dentro deste tempo limite, ela será considerada perdida. Por padrão, $RTO = SRTT + 4.(RTTVAR)$.

Quando uma perda é detectada, um contador é incrementado. A variável PMR (*Path Maximum Retransmission*) representa o número máximo de perdas toleradas pelo SCTP. Caso o número de perdas ultrapasse o PMR, um novo caminho será escolhido como primário. O SCTP utiliza como padrão $PMR=5$, e seu valor inicial é 0. Para concluir sobre a inatividade do caminho primário é necessário um tempo da ordem de 63 a 360 segundos. Isto é inviável para aplicações de vídeo e interatividade [13].

IV. O PADRÃO MPEG

O H.264 [14] é um padrão de codificação de vídeo, resultado de um projeto de cooperação entre a VCEG (*Video Coding Experts Group*) da ITU (*International Telecommunication Union*) e o *Moving Picture Expert Group* (MPEG) da ISO/IEC (*International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission*). Um dos grandes propósitos do desenvolvimento do padrão H.264 foi fornecer uma boa qualidade no vídeo com metade da taxa de transmissão em relação aos padrões anteriores [15].

O H.264 explora redundâncias espaciais e temporais para compactar o vídeo. A redundância espacial define-se como semelhanças em um mesmo quadro. A redundância temporal define-se como semelhança entre quadros. A estrutura do MPEG é formada por três tipos diferentes de quadros: quadro I (*intra*), codificados sem a referência de outros quadros e compactados somente espacialmente. O quadro P (*predictive*) é codificado a partir de um quadro I ou quadro P anterior. O quadro B (*bi-directionally*) utiliza informações do quadro P ou I anterior e do próximo quadro I ou P como referência para sua codificação. Um grupo de figuras (*GoP - Group of Pictures*) tem início com um quadro I, que é seguido de diversos quadros B e P. Para representação da estrutura de composição de quadros, é comum utilizar a notação (M, N), onde M representa a quantidade de quadros por GoP e N representa a quantidade de quadros B consecutivos, por exemplo, (12, 2) denota uma estrutura de quadros para um grupo de figuras formado pela sequência de quadros *IBBPBBPBBPBB*, repetida continuamente ao longo do vídeo. Como o quadro I é utilizado como referência para geração dos demais quadros do mesmo GoP, ele é mais importante para reprodução do vídeo que os demais quadros.

V. MÉTODO PROPOSTO

O algoritmo de troca de caminho primário padrão do SCTP é capaz de prover redundância de caminhos, mas não ajuda a prevenir problemas de degradação de qualidade na transmissão de vídeo sobre IP. Os algoritmos de troca de caminho primário baseados no atraso efetivamente previnem a degradação na qualidade, mas seu uso pode causar problemas de estabilidade em função da constante troca de caminhos.

Desta forma, propomos o uso do algoritmo de troca de caminho primário padrão do SCTP em conjunto com um mecanismo de envio de informação redundante utilizando os caminhos secundários. O método proposto foi projetado para explorar a característica de compactação temporal utilizada pelo padrão MPEG.

A quantidade de informação redundante a ser enviada é estimada a partir do RTT do caminho primário obtido através do *heartbeat*. Para permitir o uso com sistemas de vídeo, propomos reduzir o período de envio do *heartbeat* para um segundo. Como o tamanho da mensagem de pulsação é de 56 bytes, o consumo de banda seria de 448 bps. Isto não impacta no desempenho dos enlaces porque o consumo de banda das mensagens de *heartbeat* não é significativo em

comparação à largura de banda necessária para transmissão de vídeo. Considerando um vídeo que demande 1Mbps, as mensagens de *heartbeat* representariam 0,045% do tráfego.

O cálculo da quantidade de informação redundante é feito a partir de uma média móvel exponencial, de acordo com a Equação (1). O atraso fim-a-fim é estimado tomando-se a metade do valor do SRTT. O percentual de informação redundante a ser transmitido no segundo seguinte é obtido através de uma função de mapeamento utilizando a diferença entre o valor do atraso fim-a-fim estimado e um valor de tempo limite, dado por $\delta = \tau - \text{SRTT}/2$. Foram analisadas três funções de mapeamento: linear, parabólica e exponencial, representadas respectivamente nas equações 3, 4 e 5.

$$P_{linear}(\delta) = \begin{cases} \frac{\tau - \delta}{\tau} & \delta \geq 0 \\ 1 & \delta < 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$P_{quad}(\delta) = \begin{cases} \left(\frac{\tau - \delta}{\tau}\right)^2 & \delta \geq 0 \\ 1 & \delta < 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$P_{exp}(\delta) = \begin{cases} e^{-\lambda\delta} & \delta \geq 0 \\ 1 & \delta < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Uma vez determinado o percentual de informação redundante a ser enviado no segundo seguinte, deve ser realizada a seleção de quais pacotes devem ser transmitidos. Os pacotes serão enviados considerando-se que os quadros I são mais prioritários. Os quadros P são a prioridade seguinte, mas estabelecendo maior prioridade para os quadros P mais próximos dos quadros I do GoP. Os quadros tipo B são os quadros menos prioritários para transmissão de informação redundante.

Os pacotes enviados de forma redundante são recebidos na rede de destino assim como todos os pacotes do vídeo enviados pelo caminho primário da rede emissora. Os pacotes recebidos em duplicidade são verificados e eliminados pelo receptor.

VI. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Foram coletadas amostras de atraso em redes de acesso do tipo ADSL, 3G e WIFI. Este cenário de possibilidades de conexão à Internet foi escolhido por representar opções normalmente disponíveis ao usuário. A rede ADSL em teste é operada pela GVT (*Global Village Telecom*), a rede 3G é operada pela Claro. A rede WIFI é a rede do Departamento de Engenharia Elétrica da UFPR, que utiliza o padrão IEEE802.11g e está conectada à uma rede Ethernet não congestionada, que por sua vez conecta-se com a Internet através de um enlace com taxa de 20 Gbps.

Em todos os casos, os dados foram coletados em horários comerciais para refletir o uso regular do sistema. O atraso de propagação foi obtido monitorando o envio de pacotes ICMP (*Internet Control Message Protocol*) ECHO REQUEST/REPLY utilizando o programa *ping*, com um computador conectado na rede de acesso sendo testada e um servidor de vídeo localizado na Internet. O servidor escolhido foi 198.45.48.71 (*NetFlix*).

Os experimentos realizados para validação do método envolvem a simulação da transmissão de vídeos, com a remontagem no cliente e a avaliação da qualidade. Os testes foram realizados supondo que o cliente possui dois caminhos ativos, com as opções WIFI-3G e WIFI-ADSL. Os resultados foram analisados utilizando intervalos de confiança.

Para avaliação de qualidade do vídeo recebido, foi utilizado o Evalvid. O Evalvid é um *framework* e um conjunto de ferramentas utilizados para avaliação da qualidade de vídeo [16].

Inicialmente o vídeo é codificado para o formato H.264 usando a ferramenta *ffmpeg*. Foi utilizado o padrão de GoP (12,2). Em seguida, a ferramenta *MP4Box* foi utilizada para produzir um *container* para transmissão do vídeo. O valor do MTU (*Maximum Transfer Unit*) foi de 1460 bytes. O aplicativo *mp4trace* realiza a transmissão do vídeo e gera arquivos com as informações de todos os quadros e pacotes a transmitir. Esses arquivos carregam as informações importantes que descrevem o vídeo codificado como o tempo de geração, o tamanho e o tipo de quadro ao qual pertence o pacote. Utilizando-se estes dados, é realizada a simulação de transmissão, considerando-se a informação de atraso previamente coletada. A capacidade de canal utilizada nos testes foi de 100 Mbps.

TABELA I
CARACTERÍSTICAS DOS VÍDEOS UTILIZADOS.

Vídeo	Quadros	Formato	Resolução	fps
<i>Akiyo</i>	300	CIF	352x288	25
<i>Coastguard</i>	300	CIF	352x288	25
<i>Football</i>	130	CIF	352x288	25
<i>Bridge Close</i>	2001	CIF	352x288	25
<i>Big Buck Bunny</i>	721	HD	1920x1080	30

Os vídeos utilizados foram *Akiyo*, *Coastguard*, *Football*, *Bridge Close* e *Big Buck Bunny* [18] em formato YUV 4:2:0, todos disponíveis publicamente e utilizados para pesquisa na área. As características dos vídeos são descritas na Tabela I.

Foram conduzidos extensos experimentos iniciais para compreender os efeitos dos parâmetros de configuração do método. Os experimentos iniciais envolveram o estudo da constante α para o cálculo do SRTT de acordo com a Equação (1), da alteração do formato da equação de mapeamento linear descrito na Equação (3), incluindo a sua modificação com a variação da inclinação da curva, bem como a variação do tamanho do GoP. Estes resultados estão apresentados em [17], e não são apresentados neste artigo devido ao espaço disponível. Para o cálculo do SRTT foi utilizado $\alpha = 0,9$, o limite para buffer anti-jitter foi de $\tau = 200ms$ e a função de mapeamento exponencial foi configurada com $\lambda = 1/25$.

O α em 0,9 foi escolhido a partir de simulações realizadas com o vídeo *Akiyo* para diferentes valores. Testes realizados utilizando WIFI como caminho primário e ADSL como secundário mostram que com $\alpha = 0,9$ a quantidade média de informação redundante foi de 21,10% do total e 23,17%, 23,96%, 23,04% e 21,71%, respectivamente, para α igual a 1/2, 1/4, 1/6 e 1/8. Esta mesma abordagem é observada no ganho de qualidade, onde com $\alpha = 0,9$ obteve-se uma melhora de em média 3,65 dB, seguidos por 3,51 dB, 3,26 dB, 2,97 dB e 2,76 dB, respectivamente para os valores de α de

1/2, 1/4, 1/6 e 1/8. O desempenho da transmissão de outros vídeos é semelhante, bem como se for usado com caminho secundário a rede 3G.

Para avaliação da qualidade de vídeo foram utilizadas duas métricas objetivas, o PSNR e SSIM. O PSNR representa a relação sinal ruído em função do erro quadrático MSE (*Mean Square Error*), onde quanto mais semelhante a imagem transmitida em relação a recebida, maior será o PSNR. O SSIM é uma métrica que compara cada quadro da sequência do vídeo original transmitido e o vídeo degradado recebido para quantificar a degradação sofrida. O mapeamento entre os valores de PSNR e SSIM são indicados na Tabela II.

TABELA II
MAPEAMENTO ENTRE VALORES DO PSNR E SSIM [19].

PSNR (dB)	SSIM	Significado
$PSNR \geq 45$	$SSIM \geq 0,99$	Excelente
$33 \leq PSNR < 45$	$0,95 \leq SSIM < 0,99$	Bom
$27,4 \leq PSNR < 33$	$0,88 \leq SSIM < 0,95$	Razoável
$18,7 \leq PSNR < 27,4$	$0,5 \leq SSIM < 0,88$	Pobre
$18,7 < PSNR$	$0,5 < SSIM$	Ruim

A. Resultados

Os resultados indicados apresentam os valores médios obtidos para as métricas PSNR e SSIM, com a execução de 40 transmissões simuladas dos vídeos em estudo.

A Tabela III apresenta os resultados obtidos para todos os vídeos em estudo. São apresentados os resultados utilizando-se os modelos de mapeamento linear, quadrático e exponencial. Para cada vídeo, como referência, é apresentado o valor do PSNR e SSIM para a transmissão utilizando apenas a rede WIFI, sem o uso de redundância.

Observa-se que em todos os casos ocorreu uma melhoria na qualidade do vídeo. Os melhores ganhos de PSNR são obtidos através do uso da transmissão 100% de redundância, podendo ser considerado o padrão “ouro”.

O objetivo do método proposto neste trabalho é obter um ganho próximo do padrão ouro, com menor uso de redundância. As médias de ganho foram 3,06 dB, 3,01 dB e 2,88 dB também respectivamente para as funções de mapeamento linear, quadrática e exponencial na utilização do WIFI+ADSL. Na média entre os vídeos utilizados o percentual de redundância transmitido foi de 26,19%, 19,80% e 15,67%, respectivamente para função linear, quadrática e exponencial.

O uso do caminho secundário ADSL apresentou melhores ganhos decorrente de menores níveis de atraso que o 3G. O desempenho da função de mapeamento exponencial, mesmo apresentando menores ganhos em relação ao linear e quadrático de no máximo 0,24 dB, representa um melhor custo benefício devido ao baixo percentual de redundância utilizado. Na média a função exponencial reduziu em aproximadamente 10% e 4% do percentual observado com o uso das funções linear e quadrática, respectivamente.

A avaliação da transmissão de vídeo *streaming* utilizando CMT e PR-CMT apresentado em [11] resultou um valor médio de PSNR máximo de 35,70 dB com o vídeo Highway com resolução 176x144. Foi realizada a simulação do mesmo

TABELA III
MÉDIAS OBTIDAS DE PSNR E SSIM PARA TRANSMISSÃO REDUNDANTE
RELATIVA COM $\alpha = 0,9$.

Vídeo / Transmissão	Método	PSNR (dB)	SSIM	Ganho (dB)	%	
Akiyo	SCTP Padrão	39,38	0,931			
	Wifi + 3G	Red. Total	43,45	0,980	4,07	100,0%
		Linear	42,83	0,975	3,45	26,79%
		Exponencial	42,65	0,972	3,27	16,13%
	Wifi + ADSL	Quadrático	42,72	0,973	3,34	20,39%
		Red. Total	43,73	0,983	4,35	100,0%
		Linear	43,08	0,978	3,70	26,79%
	Wifi + ADSL	Exponencial	42,94	0,977	3,56	16,13%
		Quadrático	43,07	0,979	3,69	20,39%
		SCTP Padrão	33,64	0,881		
Coastguard	Wifi + 3G	Red. Total	36,84	0,955	3,20	100,0%
		Linear	36,32	0,944	2,68	26,79%
		Exponencial	36,14	0,940	2,50	16,13%
	Wifi + ADSL	Quadrático	36,23	0,942	2,59	20,39%
		Red. Total	37,03	0,959	3,39	100,0%
		Linear	36,43	0,946	2,79	26,79%
	Wifi + ADSL	Exponencial	36,28	0,943	2,64	16,13%
		Quadrático	36,39	0,945	2,75	20,39%
		SCTP Padrão	33,73	0,870		
	Football	Wifi + 3G	Red. Total	37,19	0,951	3,46
Linear			36,59	0,938	2,86	30,24%
Exponencial			36,41	0,933	2,68	18,57%
Wifi + ADSL		Quadrático	36,52	0,936	2,79	23,49%
		Red. Total	37,37	0,955	3,64	100,0%
		Linear	36,77	0,943	3,04	30,24%
Wifi + ADSL		Exponencial	36,53	0,936	2,80	18,57%
		Quadrático	36,70	0,941	2,97	23,49%
		SCTP Padrão	33,83	0,876		
Bridge Close		Wifi + 3G	Red. Total	37,14	0,925	3,31
	Linear		36,80	0,921	2,97	24,91%
	Exponencial		36,57	0,917	2,74	14,60%
	Wifi + ADSL	Quadrático	36,71	0,919	2,88	18,49%
		Red. Total	37,16	0,925	3,33	100,0%
		Linear	36,81	0,921	2,98	24,91%
	Wifi + ADSL	Exponencial	36,57	0,917	2,74	14,60%
		Quadrático	36,72	0,919	2,89	18,49%
		SCTP Padrão	41,77	0,950		
	Big Buck Bunny	Wifi + 3G	Red. Total	45,68	0,987	3,20
Linear			44,93	0,981	2,68	22,23%
Exponencial			44,73	0,979	2,50	12,91%
Wifi + ADSL		Quadrático	44,82	0,979	2,59	16,26%
		Red. Total	45,84	0,988	3,39	100,0%
		Linear	45,10	0,982	2,79	22,23%
Wifi + ADSL		Exponencial	44,89	0,980	2,64	12,91%
		Quadrático	45,00	0,981	2,75	16,26%

vídeo utilizando o método redundante, e os resultados indicam um PSNR médio de 37,10 dB, com um custo de 5,89% de informação redundante transmitida pelo caminho secundário.

VII. CONCLUSÕES

Neste artigo propomos o uso de sistemas multiabrigados para transmissão de pacotes redundantes utilizando caminhos secundários para reduzir os efeitos do aumento do atraso de propagação na qualidade de vídeo *streaming* sobre IP. O método proposto utiliza o SRTT para calcular a quantidade de informação redundante a ser enviada. O método foi testado através de simulações computacionais, realizando a transmissão de diversos vídeos em um cenário típico utilizando uma rede WIFI como caminho primário e redes 3G e ADSL como caminho secundário. Os resultados apresentados indicam que o método proposto efetivamente previne a degradação

da qualidade. A função de mapeamento exponencial exigiu uma menor quantidade de informação redundante enviada e resultou em níveis de qualidade levemente inferiores ao modelo de mapeamento linear.

Embora os testes tenham utilizado o padrão de codificação H.264 espera-se que bons resultados possam ser obtidos nas demais versões do MPEG ou em outros algoritmos de codificação que explorem as características de redundância temporal para compactação.

REFERÊNCIAS

- [1] FCC2015. Measuring Broadband America. A Report on Consumer Wireline Broadband Performance in the U.S. - Federal Communications Commission / State of U.S. Broadband. On-line: <http://www.fcc.gov/measuring-broadbandamerica/2015/February>. 2015.
- [2] Maisonneuve, J., Deschanel, M., Heiles, J., Li, W., Liu, H., Sharpe, R., e Wu, Y. "An overview of IPTV standards development". In *IEEE Transactions on Broadcasting*, v. 55, n. 2, pages 315–328, 2009
- [3] Stewart, R. Stream Control Transmission Protocol. RFC 4960 (Proposed Standard). On line: <http://www.ietf.org/rfc/rfc4960.txt>, 2007.
- [4] Kelly, A., Muntean, G., Perry, P., e Murphy, J. "Delay-centric handover in SCTP over WLAN". In *Transactions on Automatic Control and Computer Science*, v. 49, n. 63, pages 1-6, 2004.
- [5] Kashihara, S., Nishiyama, T., Iida, K., Koga, H., Kadobayashi, Y., e Yamaguchi, S. "Path selection using active measurement in multi-homed wireless networks". In *International Symposium on Applications and the Internet*, pages 273–276, 2004.
- [6] Fitzpatrick, J., Murphy, S., e Murphy, J. "An approach to transport layer handover of VoIP over WLAN", *IEEE Consumer Communications and Networking Conference*, v. 2, pages 1093–1097, 2006.
- [7] Molteni, M. e Villari, M. Using SCTP with partial reliability for MPEG-4 multimedia streaming. In Proc. European BSD Conf. Amsterdam, 2002.
- [8] Stewart, R., Ramalho, M., Xie, Q., Tuexen, M., e Conrad, P. Stream control transmission protocol (SCTP) partial reliability extension. RFC 3758, 2004.
- [9] Sanson, H., Neira, A., Loyola, L., e Matsumoto, M. "PR-SCTP for real time H.264/AVC video streaming". In *12th International Conference Advanced Communication Technology (ICACT)*, pages 59–63, 2010.
- [10] Okamoto, K., Yamai, N., Okayama, K., Kawano, K., Nakamura, M., e Yokohira, T. "Performance improvement of SCTP communication using selective bicasting on lossy multihoming environment", *38th Computer Software and Applications Conference (COMPSAC) IEEE*, pages 551–557, 2004.
- [11] Xu, C., Fallon, E., Qiao, Y., Zhong, L., e Muntean, G. "Performance evaluation of multimedia content distribution over multihomed wireless networks". *IEEE Transactions Broadcasting*, v. 57, n. 2, pages 204–215, 2011.
- [12] Tarabuta, R., Potorac, A., e Balan, D. "Full redundant transmission of multicast stream via unicast network". *4th International Symposium Electrical and Electronics Engineering (ISEEE)*, pages 1–5, 2013.
- [13] Wallace, T. e Shami, A. A review of multihoming issues using the stream control transmission protocol. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, v. 14, n. 2, pages 565–578, 2012.
- [14] Recommendation H.264. ITU-T International Telecommunication Union. February 2014.
- [15] Wiegand, T., Sullivan, G., Bjontegaard, G., e Luthra, A. "Overview of the H.264/AVC video coding standard". *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, v. 13, n.7, pages 560–576, 2003.
- [16] Klauke, J., Rathke, B., e Wolisz, A. "Evalvid—a framework for video transmission and quality evaluation". *Computer Performance Evaluation, Modelling Techniques and Tools*, pages 255–272, Springer, 2003.
- [17] Fonçatti, A. A. F. e Eloy, A. B. Avaliação de método para melhoria da qualidade de vídeo streaming sobre IP utilizando envio redundante de informações. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, 2014.
- [18] ASU (2014). YUV video sequences. Arizona State University (ASU). On-line: <http://trace.eas.asu.edu/yuv/>.
- [19] Zinner, T., Abboud, O., Hohlfeld, O., Hossfeld, T., e Tran-Gia, P. "Towards QoE management for scalable video streaming". *21th ITC Specialist Seminar on Multimedia Applications-Traffic, Performance and QoE*, pages 64–69, 2010.