

MMFA: Uma Abordagem para Distribuição de Vídeo Baseada em Redes Definidas por Software

Nadyan Surriel Pscheidt¹, Guilherme Piêgas Koslovski¹
Maurício Aronne Pillon¹, Charles Christian Miers¹

¹Departamento de Ciência da Computação – Universidade do Estado de Santa Catarina
Centro de Ciências Tecnológicas – Joinville – SC – Brasil

nadyan_sp@hotmail.com, {guilherme.koslovski, mauricio.pillon, charles.miers}@udesc.br

Resumo. *Aplicações de vídeo pressionam infraestruturas de redes de computadores que, com a mesma acurácia e qualidade, precisam tratar quantidades cada vez maiores de dados. A gerência de fluxos de rede, através de Software Defined Network (SDN), mostra-se como uma alternativa promissora para otimizar o consumo de recursos. Explorar características específicas de aplicações de vídeo, dependentes de fluxo de redes, através da gerência destes fluxos via SDN, permite ganho de escalabilidade sem incremento de infraestrutura. Esse trabalho apresenta a solução MMFA, uma alternativa escalável a aplicações de vídeo, sem alterações na arquitetura nem de clientes nem de servidores. MMFA é agnóstica a aplicação e atua na gerência de fluxos reduzindo tráfego redundante entre servidores e usuários pertencentes a uma mesma rede de distribuição SDN.*

Abstract. *Video applications push computer network infrastructures to handle ever-larger amounts of data with the same accuracy and quality. The management of network flows, through SDN, is a promising alternative to optimize resource consumption. Exploring specific characteristics of video applications, dependent on network flow, through the management of these flows via SDN, allows for scalability gain without infrastructure increment. We presents the MMFA solution, a scalable alternative to video applications, without changes to the architecture of either clients or servers. MMFA is agnostic to the application and acts in the management of flows reducing redundant traffic between servers and users belonging to the same SDN distribution network.*

1. Introdução

A transmissão de vídeos através de uma rede é um serviço que vem sendo cada vez mais requisitado [Juluri et al. 2016, Nayfeh and Sarhan 2013]. Serviços de vídeo em rede têm, por um lado, empresas fornecedoras de conteúdo em vídeo disponibilizando o serviço e, por outro, usuários consumidores conectados em redes com características distintas (largura de banda, latência, entre outras). Empresas precisam fornecer os serviços de forma satisfatória, otimizando a utilização de sua infraestrutura. Devem ainda levar em consideração a demanda variável e irregular do seu serviço, ocasionada pelo interesse momentâneo de seus usuários. Por sua vez, usuários desejam assistir os vídeos disponibilizados no dia/horário escolhido sem preocuparem-se com requisitos da infraestrutura de rede ou demanda momentânea do fornecedor [Juluri et al. 2016]. Esses serviços precisam

suportar: (i) a transmissão de vídeos com qualidade; (ii) diversos usuários simultâneos; (iii) a variabilidade da demanda do serviço; e (iv) otimizar o uso da infraestrutura do fornecedor [Nayfeh and Sarhan 2016].

Serviços de transmissão de conteúdo em vídeo que suportam essas características são denominados de *Video On Demand* (VoD). VoDs podem ser subdivididos em duas categorias: *True Video On Demand* (TVoD), com foco no desejo do usuário, e *Near Video On Demand* (NVoD), com foco no conteúdo. TVoD preocupa-se com interação conteúdo fornecido vs. usuário, iniciando a transmissão individualmente para cada usuário e permitindo operações como congelar imagem, retroceder e avançar. Normalmente, o método de transporte utilizado é o *Unicast*, que faz a entrega dessincronizada, possibilitando a cada usuário assistir um conteúdo diferente ou o mesmo conteúdo em tempos diferentes. NVoD concentra as transmissões, difundindo a mesma porção de vídeo a vários usuários e, conseqüentemente, restringindo o desejo individual do usuário, como pausa ou retrocesso do vídeo [Yu 2016, Nayfeh and Sarhan 2016]. Esse tipo de serviço se assemelha mais com uma transmissão de TV a cabo, na qual vários usuários recebem o mesmo conteúdo ao mesmo tempo. Normalmente o tipo de conexão utilizado é a *Multicast*, com isso o conteúdo é transmitido de forma sincronizada para todos os usuários. Essa categoria se assemelha ao *Live Streaming* [Yu 2016]. Os protocolos de transferências de vídeos mais conhecidos são: *Real-time Transport Protocol* (RTP), *Real Time Streaming Protocol* (RTSP) e *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP). No contexto de NVoD, foco deste trabalho, o protocolo de aplicação RTP é mais apropriado, pois é o único a executar sobre o protocolo de transporte *User Datagram Protocol* (UDP). Em sistemas NVoD, caso um pacote seja entregue em um tempo que não condiz com sua reprodução, é preferível seu descarte à sua reprodução [Jain 2011]. Embora com focos distintos, ambos fornecem transmissão de vídeos sob demanda e têm recebido mais adeptos a cada dia.

O crescimento da quantidade de usuários e novas características advindas com estes serviços influenciaram a forma de gerenciamento e da organização da infraestrutura de redes. Infraestruturas rígidas não atendem mais as necessidades destes serviços. A disponibilidade de conteúdos multimídia de alta qualidade (SD, HD ou Ultra HD) tem impacto direto no aumento de dados trafegados na rede. A saturação da infraestrutura de rede compromete o desempenho causando atrasos indesejáveis na transmissão do vídeo, normalmente, devido a congestionamento nos enlaces de comunicação [Nayfeh and Sarhan 2016]. Em parte, o consumo de recursos de infraestrutura de redes, no que cabe a VoD, é consequência da redundância de pacotes, pois um mesmo vídeo é transmitido simultaneamente a vários usuários [Goya 2014].

A flexibilidade da infraestrutura de redes passa pelo tratamento diferenciado do Plano de Controle. Redes SDN dissociam o Plano de Dados do Plano de Controle [Lara et al. 2014]. Desta forma, esse paradigma auxilia na resolução de algumas limitações presentes nas infraestruturas de rede atuais tornando possível a programação do Plano de Controle. Esse módulo de controle que foi extraído do *hardware* e implementado externamente em *software* é denominado Controlador, enquanto o Plano de Dados fica a cargo do *hardware* de rede, como o switch [Kreutz et al. 2015]. O *OpenFlow* é um dos protocolos mais conhecidos na área e tornou-se padrão em redes SDNs. No contexto de VoD, o uso de SDN possibilita a personalização da transmissão de vídeo, sem a modificação do serviço, tanto no lado do servidor (fornecedor),

quanto no lado do cliente (usuário). A personalização da transmissão de vídeo com a otimização na infraestrutura é possível através da modificação das tabelas de fluxo do *switch* [Masoudi and Ghaffari 2016]. Esta abordagem permite o roteamento de pacotes de acordo com o conteúdo, assim, entregando pacotes para os usuários simultâneos, segundo sua demanda, e sem necessidade de duplicação e/ou redundância dos pacotes.

Neste contexto, a principal contribuição deste artigo é a criação e definição da solução *Multimedia Flow Aggregator* (MMFA), uma abordagem para distribuição de vídeo baseada em SDN. Esta abordagem atua na transmissão e distribuição de vídeos de forma diferenciada, ligando fornecedores de conteúdo e usuários sem modificação, aplicando as características de redes SDN com o propósito de otimizar o uso da infraestrutura de redes. MMFA considera a variabilidade de solicitações focando na redução da utilização da largura de banda e carga do enlace, sem perda de qualidade na transmissão do vídeo. Os resultados obtidos demonstram o incremento de escalabilidade do serviço de transmissão de vídeo, sem a necessidade de incorporação de novos componentes na infraestrutura de rede nem perda de desempenho ou qualidade de entrega.

O artigo está organizado do seguinte modo: A Seção 2 define o problema a ser abordado pela solução proposta. A Seção 3 descreve os principais trabalhos relacionados na área de VoD utilizando SDN. Na Seção 4 é descrita a solução proposta, denominada MMFA, assim como as tecnologias utilizadas na sua implementação. Em seguida, a Seção 5 contém a descrição dos experimentos e seus resultados. Por fim, a Seção 6 apresenta as considerações e trabalhos futuros.

2. Definição do problema

A transmissão de vídeos em sistemas NVoD baseia-se no princípio de transmissão *multicast*. Do ponto de vista do fornecedor do serviço, usuários são únicos, independente da proximidade geográfica ou lógica (mesmo *gateway*, por exemplo) existente entre eles. Sem levar em conta estas informações de proximidade e com o intuito de garantir o serviço de qualidade, os protocolos inundam a infraestrutura de rede com tráfego redundante. Usuários localizados em uma mesma rede local, portanto, com um único e compartilhado acesso à Internet, são alimentados por dois fluxos distintos com o mesmo conteúdo.

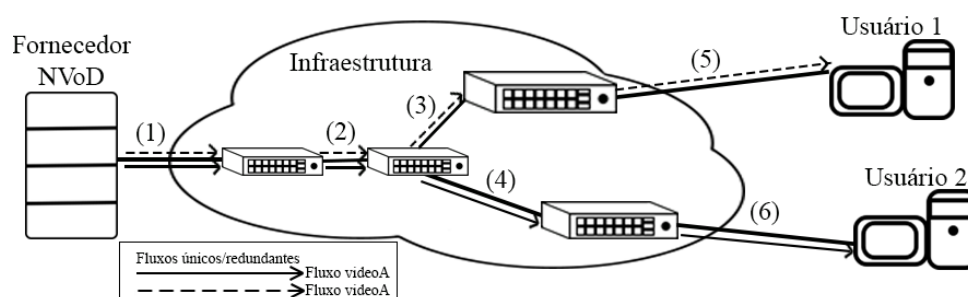


Figura 1. Fluxos redundantes. Fonte: Adaptado de [Goya 2014]

À direita da Figura 1, pode-se observar a presença de dois usuários (*Usuário 1* e *Usuário 2*), que requisitam, simultaneamente, a transmissão de um mesmo vídeo a um único fornecedor, representado por *Fornecedor NVoD* (mais à esquerda). A infraestrutura física entre o fornecedor do serviço e seus usuários, contida dentro da nuvem, é constituída por quatro *switches*, sendo dois deles compartilhados pelos *Usuários 1* e *2*. As flechas representam os fluxos, diferenciando-os de redundante (contínuo) ou único (tracejado). Nos

enlaces (1) e (2), o mesmo pacote de vídeo trafega pelo mesmo enlace em fluxos distintos, um com destino final o *Usuário 1* e o outro o *Usuário 2*. Isso já não ocorre, nos enlaces (3) à (6), pois eles estabelecem um caminho único entre o fornecedor e os usuários. Portanto, o problema de tráfego redundante desnecessário é caracterizado nos enlaces (1) e (2), exatamente os enlaces compartilhados pelos dois usuários. O tráfego redundante reduz a capacidade de tratamento de fluxos do *switch*, podendo, em alguns casos, causar congestionamento e consequente perda de pacotes e/ou atrasos. Uma alternativa para reduzir ou eliminar os fluxos redundantes é o gerenciamento da infraestrutura no âmbito do Plano de Controle (SDN).

3. Trabalhos relacionados

A popularização do princípio de Redes Definidas por Software, rapidamente, foi associada às necessidades existentes na área de transmissão de vídeos. No contexto de otimização de fluxo, via SDN, voltados para a transmissão de conteúdo em vídeo, destacam-se [Diorio and Timóteo 2015, Yu et al. 2015, Cetinkaya and Sayit 2016]. Embora o foco destes trabalhos coincida, as abordagens de otimização são distintas.

Em [Diorio and Timóteo 2015], a transmissão multimídia é abordada utilizando o conhecimento centralizado do controlador SDN sobre a rede, processando os fluxos desses conteúdos diferentemente dos fluxos dos demais. É proposta uma plataforma de processamento que fornece mecanismos para simplificar o encaminhamento dos fluxos de vídeo, considerando as capacidades de banda da rede em questão. A proposta de [Cetinkaya and Sayit 2016] consiste em uma arquitetura que incorpora ao controlador SDN o protocolo *Application Layer Traffic Optimization* (ALTO). ALTO otimiza o desempenho de sistemas de transmissão de vídeos em *Content Delivery Networks* (CDNs). O uso integrado de SDN e de ALTO beneficia as aplicações permitindo trocar pacotes com diferentes provedores de conteúdo de forma otimizada. Por fim, [Yu et al. 2015] aplica as propriedades de redes SDN diferenciando os tráfegos. Devido ao controle centralizado e a dissociação entre o Plano de Controle e o de Dados, o serviço do provedor de conteúdo pode ser adequado melhorando o desempenho das suas transmissões de vídeo. Em suma, [Yu et al. 2015] aproveita-se de SDN para propor uma abordagem de roteamento adaptável com suporte a *Quality of Service* (QoS) e, consequentemente, melhorando a qualidade da transmissão de vídeos.

Os trabalhos citados atuam na transmissão de conteúdo em vídeo, porém com abordagens distintas. A comparação entre as abordagens, que resultou as observações da Tabela 1, assumiu a ótica do problema descrito na Seção 2. Portanto, a transmissão de vídeos com qualidade, para diversos usuários simultâneos, com variabilidade na demanda do serviço e com o uso otimizado da infraestrutura foi modelada com a observação dos seguintes aspectos: (i) controle da largura de banda, capacidades (ii) de escalabilidade de usuários simultâneos e (iii) de agregação de fluxos.

Trabalho	Largura de Banda	Usuários Simultâneos	Agregação de Fluxos
[Diorio and Timóteo 2015]	diferenciação de fluxos	usuário único	não agrega fluxos
[Cetinkaya and Sayit 2016]	não atua	estrutura como uma CDN	não agrega fluxos
[Yu et al. 2015]	não atua	usuário único	não agrega fluxos

Tabela 1: Comparativo entre trabalhos relacionados. Fonte: Elaborado pelo Autor (2017)

A comparação dos trabalhos correlatos, sob a ótica do problema de transmissão de conteúdo em vídeo, permite concluir que o foco principal dos trabalhos está na garantia da qualidade do serviço ao usuário final. No entanto, nenhum deles, preocupa-se com a otimização da infraestrutura de rede, o que, consequentemente, também incrementaria a qualidade de serviços dos usuários. A largura de banda é vista somente como um limitador, no caso de [Diorio and Timóteo 2015], se utilizando da diferenciação de fluxo para otimizar o recurso de rede e sobrepor esta limitação. Nos demais casos estudados, o problema é amenizado apoiando-se no roteamento para abrir caminho para seus pacotes. No que se refere a usuários simultâneos, nenhum deles trata a existência de usuários com interesses semelhantes e fluxos simultâneos em enlaces compartilhados. Não foi identificado nos trabalhos estudados a preocupação em identificar a possibilidade de agregação de fluxos. Esta análise prévia da literatura indica a lacuna científica existente no contexto de transmissão de conteúdo em vídeo com foco na otimização da infraestrutura de redes.

4. *Multimedia Flow Aggregator (MMFA)*

A transmissão de conteúdo em vídeo do tipo NVoD caracteriza-se pela transmissão de um mesmo conteúdo de forma sincronizada a múltiplos usuários simultâneos. O conteúdo disponibilizado pelo fornecedor é transferido aos usuários, muitas vezes, em infraestruturas de rede compartilhadas. Neste contexto, foi definida uma abordagem que aproveita-se das características peculiares do NVoD e do compartilhamento da infraestrutura de rede para reduzir o número de pacotes trafegados na rede, denominada MMFA (*Multimedia Flow Aggregator*). A MMFA atua junto aos fluxos de rede, otimizando o uso da infraestrutura através de um mecanismo de identificação e agregação de fluxos redundantes em um mesmo enlace.

Uma solução de transmissão de conteúdo em vídeo NVoD consiste na existência de f fornecedores de conteúdo ($f \geq 1$), s switches ($s \geq 1$), u usuários ($u \geq 0$) e e enlaces ($e = u * s + 1$). Uma transmissão (t) caracteriza-se pela transferência de conteúdo em vídeo, no formato de pacotes (p), de um fornecedor (f) a um usuário (u) através n enlaces (e). Isso só ocorre se $t, p, f, u, e, s, n > 0$. A abordagem MMFA acrescenta à modelagem a restrição que os switches (s) compartilhados entre os usuários (u) sejam gerenciáveis e suportem SDN (sg). Então, o novo e é igual a $u * (s + sg) + 1$, onde $(s + sg) > 0$. Comparando a abordagem MMFA com a modelagem existente, pode-se concluir que não há mudanças nos fornecedores nem nos usuários, tornando a implantação mais simples.

A solução MMFA é aplicada nos switches SDN (sg), portanto só atua se $sg > 0$. Um determinado conteúdo é escolhido por m usuários u de um mesmo fornecedor f e é formado por h pacotes p , onde $m, h > 0$. Estes $h * p$ pacotes trafegam através do conjunto de e enlaces. MMFA monitora os fluxos nos sg , avalia o conteúdo de p e, caso o e de destino seja o mesmo, cataloga como fluxo redundante, enviando somente p . Sem MMFA, o número de pacotes repassados no enlace e seria $m * p$. Portanto, MMFA reduz o envio de $(m - 1) * p$ pacotes no enlace e .

4.1. Prototipação

Um protótipo do MMFA foi desenvolvido e implementado. O fornecedor de conteúdo utilizado foi o Servidor Apache. O conteúdo é disposto através de uma página Web e transmitido pelo VLC Player sobre o protocolo RTP. Do lado do usuário, utilizou-se o

navegador Firefox e o cliente *player* VLC para reprodução do conteúdo escolhido. A solução MMFA foi implementada em linguagem Java como um módulo no controlador OpenFlow *Floodlight*. O módulo MMFA intercepta os pacotes, os registra em uma lista e analisa o conteúdo. Caso o conteúdo já esteja na lista, ele conclui que é redundante e cria uma nova regra na tabela de fluxos do *switch*. As requisições redundantes são barradas no controlador, e o usuário receberá o conteúdo em vídeo através da agregação dos fluxos redundantes. As requisições não redundantes são encaminhadas e seguem os fluxos de vídeo. A criação da regra da tabela de fluxos utiliza a lista de requisições, na qual dispõe de informações como o identificador do vídeo, endereço IP do cliente requisitante e porta de saída do *switch* na qual o cliente está conectado. Assim que o controlador recebe uma requisição redundante, um laço de repetição percorre a lista procurando o mesmo identificador de vídeo recebido, adicionando as portas de saída dos clientes (com o mesmo identificador de vídeo) na regra, que posteriormente é escrita no *switch* OpenFlow. Com a regra escrita, o servidor continua encaminhando o vídeo normalmente para o primeiro cliente que o requisitou, porém esse fluxo de pacotes é encaminhado pelo *switch* para todos os clientes que foram identificados com requisições de mesmo identificador de vídeo. A Figura 2 descreve a troca de mensagens entre os nós e as tecnologias utilizadas no protótipo do MMFA.

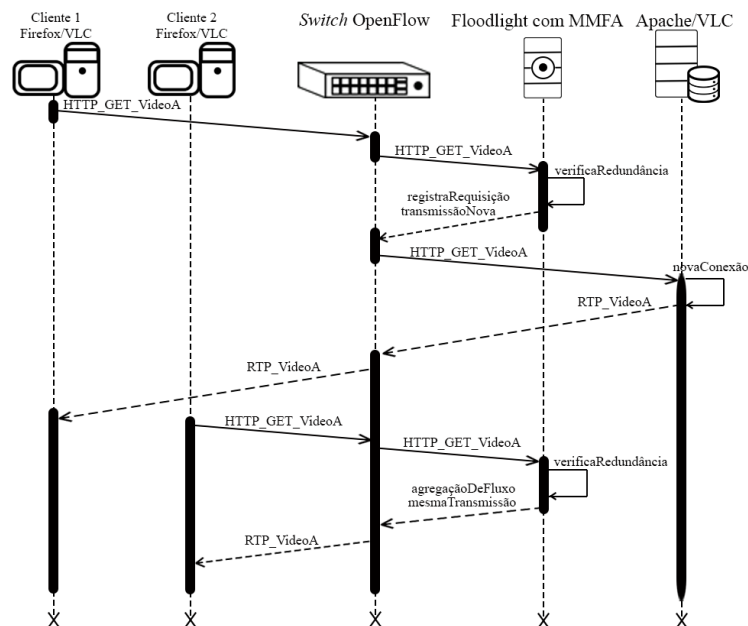


Figura 2. Sequência de eventos MMFA. Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

O exemplo (Figura 2) utilizado aborda uma topologia com dois usuários, que requisitam o mesmo conteúdo. O Usuário 1 requisita um conteúdo *A*, essa requisição é enviada até o *switch*, que, por sua vez, requisita ao controlador a verificação de redundância. Se o fluxo analisado não for redundante, ele é registrado como um novo fluxo na tabela do *switch* e iniciada uma nova conexão com o fornecedor de conteúdo. Assim que a solicitação é tratada pelo fornecedor, a transmissão é iniciada e o conteúdo enviado até o *switch*, que por fim encaminha o conteúdo ao Usuário 1. Com essa primeira conexão estabelecida, o Usuário 2 requisita o mesmo conteúdo, as verificações são efetuadas novamente, e constatado a redundância no fluxo. Com isso, o *switch* apenas encaminha o mesmo fluxo de conteúdo para o Usuário 2, totalizando apenas uma conexão com o servidor, e dois usuários atendidos.

5. Experimentos

O Plano de Testes do protótipo MMFA é constituído de dois cenários, cada um composto por três elementos: (i) um fornecedor de conteúdo (Servidor Apache/VLC *Player*¹), (ii) um *switch* OpenFlow² e (iii) dois e três usuários (Clientes Firefox/VLC *Player*). As métricas de comparação são: tempo de resposta e consumo de banda. As comparações são caracterizadas pela transmissão de conteúdo ora com o MMFA ativado ora desativado, todos na mesma infraestrutura, com o objetivo de quantificar o impacto da abordagem proposta nas métricas. A topologia para os cenários foi criada com a ferramenta de simulação de redes Mininet. O tamanho da amostra é 10 e os gráficos apresentam as médias das execuções, acompanhados do desvio padrão. As sequências de requisições foram divididas em três:

- $fase_1$: o Usuário 1 requisita *VideoA*;
- $fase_2$: o Usuário 2 requisita *VideoA*; e
- $fase_3$: o Usuário 3 requisita *VideoB*.

Após transcorridos os 10 primeiros segundos, a $fase_1$ se inicia, seguida pela $fase_2$, aos 50 segundos e, finalmente, disparando a $fase_3$ aos 90 segundos.

5.1. Cenário 1

O Cenário 1, ilustrado na Figura 3, possui os três elementos descritos no Plano de Testes e segue as três *fases*. O objetivo do experimento é verificar a capacidade do MMFA em agregar fluxos redundantes, no caso, gerados pelos Usuários 1 e 2. O impacto gerado pelas solicitações do Usuário 3 deve ser o mesmo em todos os casos. O resultado esperado é a otimização da infraestrutura quando o MMFA estiver ativo, com redução na utilização da banda e latência. A otimização da latência poderá ser quantificada com a redução no tempo total de transferência.

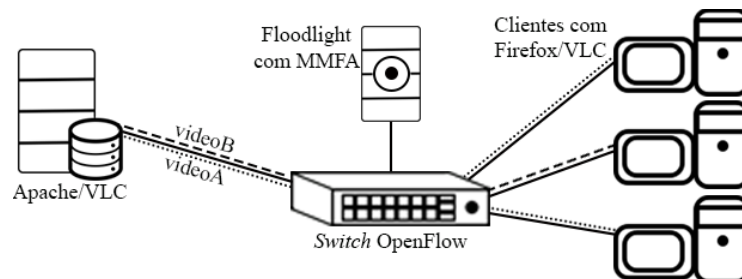


Figura 3. Topologia do primeiro cenário

	Usuário 1		Usuário 2		Usuário 3	
	Tempo (seg)	σ	Tempo (seg)	σ	Tempo (seg)	σ
MMFA desativado	1.194428354	0.02197	1.188755432	0.01402	1.184200267	0.01740
MMFA ativado	1.218026603	0.01692	0.067012619	0.04217	1.204483151	0.02411

Tabela 2: Tempo de resposta - Cenário 1

Os resultados para o critério do tempo de resposta para o Cenário 1 são apresentados pela Tabela 2. Os valores da tabela são expressos em segundos, na coluna 1 tem-se o tempo total de transmissão e na coluna 2 o desvio padrão (σ). Na primeira linha, o MMFA

¹Apache versão 2.4.18 e VLC versão 2.2.6

²OpenFlow versão 1.3

está desativado, reportando ao funcionamento de uma infraestrutura de rede convencional, e na segunda linha, o MMFA está ativado. Observando-se os tempos com o MMFA desativado, os resultados podem ser considerados equivalentes para os três Usuários. Isso porque a diferença entre os tempos está na segunda casa depois da vírgula, 1.19, 1.18 e 1.18 e o desvio padrão varia nesta mesma unidade (0.02, 0.01 e 0.01). O mesmo não ocorre quando o MMFA é ativado. Os tempos dos Usuários 1 e 3 são acrescidos de 0.02, aparentemente, devido ao sobrecusto de verificação de conteúdos. Porém, o atendimento ao Usuário 2 é praticamente instantâneo, atingido 0.06 segundos, o que mostra a eficiência da abordagem MMFA no tempo de transmissão.

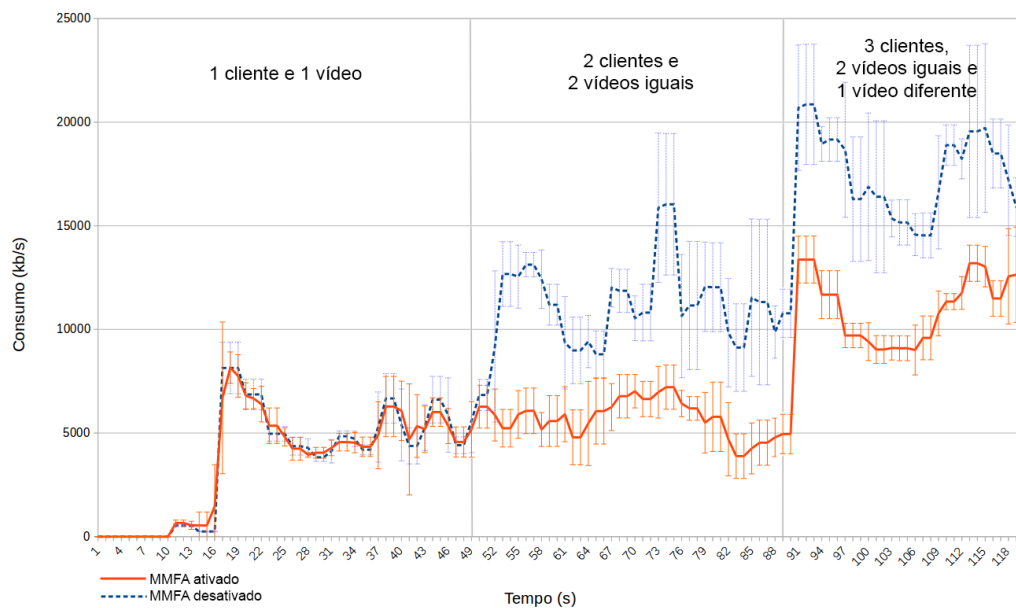


Figura 4. Consumo de banda - Cenário 1

Na Figura 4 são descritos os resultados obtidos no Cenário 1 do ponto de vista de consumo de banda. No eixo x estão os tempos em segundos decorridos e, no eixo y , o consumo de banda mensurado em (kb/s) . As linhas verticais nos tempos 50 e 90 identificam as *fases* 2 e 3, com o início das solicitações dos Usuários 2 e 3. Na *fase*₁, o consumo de banda é o mesmo para o teste com o MMFA desativado (correspondente a redes convencionais) e ativado. Com o disparo da requisição do Usuário 2 (*fase*₂), que deseja visualizar o mesmo vídeo do Usuário 1, o consumo da banda com o MMFA desativado atinge 15.000 kb/s (tempo 75), enquanto o maior consumo de banda com o MMFA ativado não ultrapassa 6.000 kb/s . Na *fase*₃, o consumo de ambos os testes é incrementado, pois o Usuário 3 solicita um vídeo diferente, não permitindo a agregação de fluxos.

5.2. Cenário 2

O Cenário 2 tem por objetivo quantificar a escalabilidade da abordagem MMFA. Para isso, a *fase*₃ do experimento foi modificada. O Usuário 3 passou a requisitar o mesmo vídeo (*VideoA*) dos Usuários 1 e 2. A primeira análise da escalabilidade é a quantificação da sobrecarga da abordagem MMFA. Na Tabela 3 são apresentados os tempos de transmissão para três Usuários, todos com a abordagem MMFA ativa. Na primeira linha, o Cenário 1, onde somente dois dos três Usuários solicitam o mesmo vídeo (*VideoA*) e, na segunda linha, o Cenário 2, onde os três Usuários solicitam o mesmo vídeo.

	Usuário 1		Usuário 2		Usuário 3	
	Tempo (seg)	σ	Tempo (seg)	σ	Tempo (seg)	σ
Cenário 1 - MMFA	1.218026603	0.01692	0.067012619	0.04217	1.204483151	0.02411
Cenário 2 - MMFA	1.246489618	0.03765	0.057044535	0.02182	0.105130000	0.05078

Tabela 3: Tempo de resposta - MMFA com 2 e 3 Usuários Simultâneos

O tempo de transmissão para o Usuário 1 subiu ligeiramente, porém o desvio padrão também. Portanto, não é possível determinar se este aumento ocorreu devido a sobrecarga ou, simplesmente, por causa da instabilidade entre as medidas. A mesma análise é válida para os tempos do Usuário 2. No entanto, o resultado do Usuário 3 seguiu a tendência de quebra brusca, passando de 1.20 para 0.10, demonstrando a eficiência da agregação de fluxos redundantes tanto para 2 quanto para 3 Usuários simultâneos.

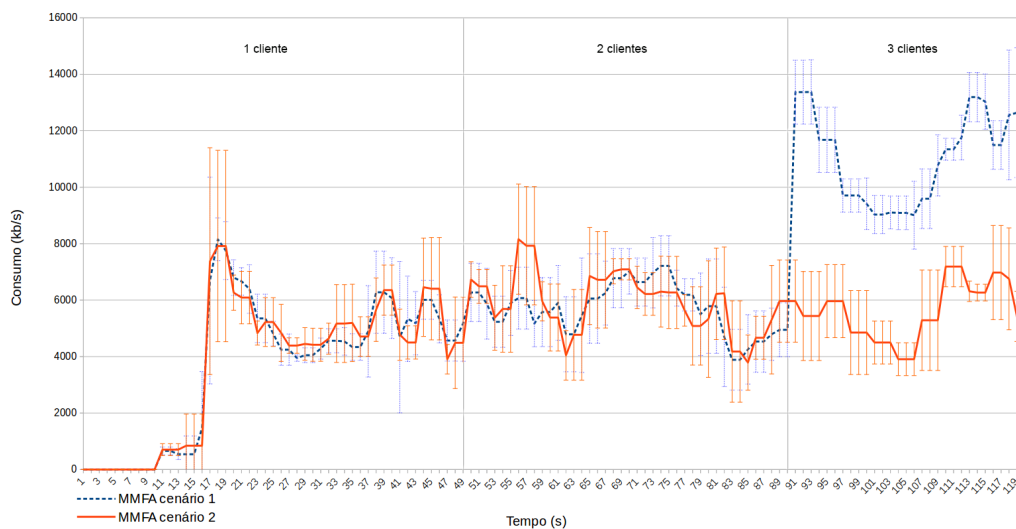


Figura 5. Consumo de banda - MMFA com 2 e 3 Usuários Simultâneos

Os resultados do consumo de banda para o Cenário 2 acompanham os esperados e discutidos no Cenário 1, para as *fases* 1 e 2. Com o disparo da solicitação do Usuário 3, *fase*₃ no tempo 90, o consumo de banda permanece constante, embora o *switch* esteja, neste momento, alimentando três Usuários. Assim como no tempo de transmissão, pode-se comprovar que a abordagem suporta o incremento de Usuários sem gerar sobrecarga na infraestrutura.

6. Considerações finais

O NVoD, muito utilizado na transmissão de conteúdo em vídeo, possui características exploradas pela abordagem MMFA através de SDN. A identificação de conteúdo via controlador SDN e agregação de fluxos permite a otimização da infraestrutura de rede. A abordagem MMFA baseia-se no princípio de agregação de fluxos redundantes com o intuito de reduzir o tráfego em enlaces compartilhados por usuários simultâneos, isso, sem afetar a qualidade do serviço.

Os resultados obtidos com o mecanismo MMFA ativado comprovam que a abordagem é mais eficiente do que sem o mecanismo, o que corresponde a redes convencionais. Em termos de tempos, o acesso a um vídeo passou de ~ 1.21 para ~ 0.06 para o segundo Usuário, no caso, o Usuário que usufruiu dos benefícios do mecanismo. No que se refere ao consumo de banda, o consumo para três Usuários ultrapassou os 20.000 kb/s,

no Cenário 1, enquanto com a ativação do mecanismo MMFA, o consumo não chegou a 14.000 kb/s sob mesmas condições. Como trabalhos futuros, a curto prazo, tem-se como foco a elaboração de testes com um maior número de usuários simultâneos até chegar a saturação de processamento do switch OpenFlow.

Agradecimentos: Os autores agradecem o apoio do Laboratório de Processamento Paralelo e Distribuído (LabP2D) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC).

Referências

- Cetinkaya, C. and Sayit, M. (2016). Video-on-demand system architecture with alto-sdn integration. In *Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSea-Com), 2016 IEEE International*, pages 1–5. IEEE.
- Diorio, R. F. and Timóteo, V. S. (2015). A platform for multimedia traffic forwarding in software defined networks. In *Proceedings of the 21st Brazilian Symposium on Multimedia and the Web*, pages 177–180. ACM.
- Goya, W. A. (2014). Uma solução para o desenvolvimento de aplicações distribuídas visando o gerenciamento automático de recursos no cenário de computação em nuvem. Master's thesis, Universidade de São Paulo.
- Jain, R. (2011). Video streaming over mobile networks: Issues, challenges, and opportunities. Keynote at National Workshop on Wireless Communications and Mobile Networks (WCMN-2011).
- Juluri, P., Tamarapalli, V., and Medhi, D. (2016). Measurement of quality of experience of video-on-demand services: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(1):401–418.
- Kreutz, D., Ramos, F. M., Verissimo, P. E., Rothenberg, C. E., Azodolmolky, S., and Uhlig, S. (2015). Software-defined networking: A comprehensive survey. *Proceedings of the IEEE*, 103(1):14–76.
- Lara, A., Kolasani, A., and Ramamurthy, B. (2014). Network innovation using openflow: A survey. *IEEE communications surveys & tutorials*, 16(1):493–512.
- Masoudi, R. and Ghaffari, A. (2016). Software defined networks: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, 67:1–25.
- Nayfeh, K. K. and Sarhan, N. J. (2013). Design and analysis of scalable and interactive near video-on-demand systems. In *Multimedia and Expo (ICME), 2013 IEEE International Conference on*, pages 1–6. IEEE.
- Nayfeh, K. K. and Sarhan, N. J. (2016). A scalable solution for interactive near video-on-demand systems. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 26(10):1907–1916.
- Yu, H.-F. (2016). Efficient seamless channel transition for near video-on-demand with small receiving bandwidth. *Journal of Information Science & Engineering*, 32(5).
- Yu, T.-F., Wang, K., and Hsu, Y.-H. (2015). Adaptive routing for video streaming with qos support over sdn networks. In *Information Networking (ICOIN), 2015 International Conference on*, pages 318–323. IEEE.