

Distribuição de Vídeo sob Demanda Baseada em Redes de Distribuição de Conteúdo utilizando Redes Orientadas a Conteúdo *

Felipe B. Ramos, Igor D. Alvarenga, Pedro M. Caldas, Otto Carlos M. B. Duarte

¹Grupo de Teleinformática e Automação (GTA)
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

{brasilramos,alvarenga,pedro,otto}@gta.ufrj.br

Abstract. *The Content Distribution Networks were created for efficient content delivery. The recent increase in content demand aggravates the management and performance issues faced by these networks, based on the end-to-end communication model. This paper evaluates the performance of a prototype that delivers video on demand using a Content Oriented Network. In Content Oriented Networks, efficient content delivery becomes a network task and main objective. The performance of the implemented prototype was compared with the TCP/IP protocol stack. The results show that the proposed prototype delivers content efficiently and decreases network overhead by 83%, while maintaining the quality of service perceived by the end consumer. Furthermore, mobility experiments performed verify that the prototype supports mobility of clients, which also allows the reduction of the bandwidth on the physical network while avoiding video stream interruption during network transition.*

Resumo. *As Redes de Distribuição de Conteúdo foram concebidas para entregar conteúdo de forma eficiente. No entanto, o aumento da demanda por conteúdo agrava os problemas de gerenciamento e desempenho dessas redes, que se baseiam no modelo convencional de comunicação fim-a-fim da Internet. Este artigo descreve e avalia o desempenho de um protótipo de entrega vídeo sob demanda utilizando uma Rede Orientada a Conteúdo. Em Redes Orientadas a Conteúdo, a entrega eficiente de conteúdo passa a ser uma tarefa da rede, bem como seu principal objetivo. A proposta foi implementada e comparada com a pilha de protocolos TCP/IP. Os resultados comprovam que o protótipo proposto apresenta maior eficiência na entrega de conteúdo, promovendo redução de 83% na sobrecarga da rede, enquanto mantém a qualidade de serviço percebida pelo consumidor final. Além disso, foram realizados experimentos de mobilidade que comprovam que o protótipo suporta mobilidade de consumidores de conteúdo, de modo a reduzir o uso de banda total na rede física e evitar a interrupção do fluxo de vídeo durante a transição de redes.*

1. Introdução

A Internet atual é baseada no modelo de comunicação fim-a-fim, adequado ao acesso a recursos remotos, ideia sob a qual foi concebida a Internet. No entanto, o padrão de

*Este trabalho foi realizado com recursos da FINEP, FUNTTEL, CNPq, CAPES, FAPERJ e UOL.

uso da Internet não é mais caracterizado por compartilhamento de recursos. A demanda atual é caracterizada por acesso a serviços *online* e busca, produção e distribuição de conteúdo [Schulze and Mochalski 2009]. Os usuários buscam cada vez mais acesso a conteúdo de forma rápida e com qualidade, sem se importar com a origem do mesmo. A pilha TCP/IP não possui mecanismos naturais capazes de garantir qualidade de serviço na entrega de conteúdo através da Internet. Por essa razão, novas alternativas para entrega eficiente de conteúdo como as Redes de Distribuição de Conteúdo (*Content Distribution Networks* - CDNs) e as redes *peer to peer* (P2P) foram criadas. As CDNs e as redes P2P, no entanto, apresentam uma série de problemas de gerenciamento e desempenho.

As CDNs disponibilizam servidores próximos aos consumidores com réplicas dos conteúdos a serem distribuídos, a fim de reduzir a latência de entrega. Contudo, escolha da localização dos servidores, o redirecionamento de clientes para os servidores de réplicas e a distribuição eficiente de cópias de conteúdo entre servidores são problemas complexos. Os sistemas P2P criam redes *ad hoc* de usuários que compartilham fragmentos de conteúdo. Devido à natureza mutável da solução, a disponibilidade dos conteúdos não é garantida. Além disso, sistemas P2P dependem da instalação de aplicações pelo consumidor final e sobrecarregam a rede com mensagens de controle e a abertura de múltiplas conexões. Nesse contexto, surge a ideia de Redes Orientadas a Conteúdo. Nas Redes Orientadas a Conteúdo, o conteúdo é o elemento fundamental, e a entrega eficiente de conteúdo passa a ser uma tarefa de rede.

Este artigo propõe distribuir vídeo sob demanda utilizando Redes Orientadas a Conteúdo (*Content Centric Networking* - CCN) [Jacobson et al. 2009, Zhang et al. 2010]. A CCN é uma rede orientada a conteúdo que se baseia no uso de dados nomeados e *cache* distribuído para obter ganhos de desempenho. A proposta prevê a implementação de uma rede CCN sobreposta à rede dos Provedores de Serviços de Internet (*Internet Service Providers* - ISPs). A rede CCN trabalha em cooperação com as CDNs. Os conteúdos de vídeo disponibilizados pelas CDNs nas interfaces entre as redes dos ISPs e o núcleo da Internet são redistribuídos pela rede CCN até as bordas das redes dos ISPs para o consumidor final, onde pontos de conversão CCN/IP permitem obter o conteúdo demandado via IP. A existência dos pontos de conversão permite que o sistema seja transparente para os consumidores, não exigindo instalação de nenhuma aplicação além de um reprodutor de vídeo convencional. O protótipo da proposta foi implementado e avaliado em uma rede no FITS (*Future Internet Testbed with Security*)¹, uma plataforma de testes para propostas de Internet do Futuro desenvolvida pelo Grupo de Teleinformática e Automação (GTA) [Moraes et al. 2014]. Os resultados mostram que a utilização da rede orientada a conteúdo reduz a carga na rede dos ISPs devido à capacidade da CCN de agregar fluxos de dados, ao mesmo tempo que mantém a taxa de entrega de conteúdo aos clientes. Os resultados comprovam que o esquema proposto suporta mobilidade de clientes, o que pode ser utilizado para promover redução adicional do tráfego na rede física e para melhorar a qualidade de serviço de distribuição de vídeo ao se disponibilizar o conteúdo a partir de pontos de conversão próximos aos consumidores.

A distribuição de vídeo sob demanda (*Video on Demand* - VoD) vai ao encontro das novas tendências de uso da Internet. O serviço Netflix, que disponibiliza conteúdo de vídeo sob demanda é responsável por 30% do tráfego de rede na América do Norte durante

¹<http://www.gta.ufrj.br/fits>

o horário de pico [Frank et al. 2013]. Além disso, as atividades de distribuição contínua de vídeo consomem banda intensamente e a agregação de Dados e Interesses realizada pela CCN proporciona economia do uso de banda. Na distribuição de VoD, esse impacto é potencializado, como mostrado por Fricker *et al.* [Fricker et al. 2012], que fazem uma análise do custo-benefício do uso de memória a fim de se obter economia de banda em redes CCN. Segundo o estudo, a quantidade de *cache* necessária se obter economias de banda consideráveis na distribuição de vídeo sob demanda é várias vezes menor que a quantidade necessária para se obter o mesmo efeito com outros tipos de tráfego, como compartilhando arquivos acessando sites na *web*.

A questão da colaboração entre ISPs e CDNs é abordada por Frank *et al.*, que propõem o protocolo de comunicação NetPaas [Frank et al. 2013]. A proposta foca apenas na questão da comunicação entre ISPs e CDNs, mas não aborda questões importantes, como a redução dos volumes de tráfego nas redes dos ISPs ou o gerenciamento das requisições por conteúdo e alocação de réplicas nas CDNs. Em nCDN [Jiang and Bi 2012], mostra-se através de simulações que o uso de dados nomeados aumenta o desempenho da distribuição de réplicas de conteúdo nas CDNs e estudos sobre *cache* cooperativo de conteúdo de vídeo em CCN mostram uma significativa redução de tráfego inter ISPs [Li and Simon 2011]. Essas propostas tem como foco a questão do aumento de eficiência das CDNs ou estratégias de cacheamento para redução de tráfego inter ISPs, e podem ser consideradas complementares à proposta desse artigo, visto que não abordam a questão da entrega de conteúdo ao consumidor final ou a relação entre CDNs e ISPs.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma. Os trabalhos relacionados à proposta de distribuição de conteúdo utilizando redes orientadas a conteúdo são apresentados mais detalhadamente na Seção 2. As Seções 3 e 4 apresentam as CDNs e as CCNs, enquanto que a proposta de distribuição utilizando a rede CCN é apresentada na Seção 5. O cenário de testes e os resultados das avaliações de desempenho serão apresentados nas Seções 6 e 7, respectivamente. Finalmente, a Seção 8 conclui o artigo.

2. Trabalhos Relacionados

Jiang e Bi propõem a utilização de dados nomeados em redes de distribuição de conteúdo, criando uma rede de distribuição de conteúdo nomeado (nCDN) [Jiang and Bi 2012]. A introdução da orientação a conteúdo nas CDNs permite utilizar múltiplas fontes e múltiplos destinos e facilita o gerenciamento da distribuição de conteúdo, o que melhora o desempenho das CDNs. Para avaliar o desempenho da proposta nCDN, foi feita uma série de simulações utilizando ndnSIM, um simulador de NDN baseado no NS-3 [NS-3 2014]. Os resultados mostram que o uso de CCNs em CDNs melhora consideravelmente sua eficiência em diversos aspectos, como rendimento máximo em situação de sobrecarga, latência, recuperação de falhas de nós ou queda de enlaces (*links*), entre outros. O trabalho, no entanto, privilegia a questão da eficiência da distribuição de conteúdo nas CDNs e não trata o problema de sobrecarga da rede dos ISPs ou a questão do acesso dos clientes aos conteúdos nomeados. A distribuição de conteúdo nas redes dos ISPs utilizando CCN é, portanto, complementar à proposta nCDN, uma vez que distribui o conteúdo nomeado da nCDN, promove redução do tráfego interno à rede dos ISPs e entrega conteúdo de vídeo aos clientes de forma transparente. Além disso, a proposta nCDN foi avaliada apenas mediante simulações e os autores deixaram a implementação de um protótipo como trabalho futuro. Este artigo preenche esta lacuna ao avaliar o desempenho do sistema proposto

a partir de dados reais coletados de uma rede experimental implementada especialmente para esse fim.

Frank *et al.* realizam um estudo sobre a colaboração entre ISPs e CDNs [Frank et al. 2013]. Frank *et al.* defendem que muitas vezes a eficiência da distribuição de conteúdo é prejudicada porque o sistema de distribuição de conteúdo se vale de informações equivocadas sobre a localização dos consumidores ou informações deficientes sobre o estado da rede. O protocolo NetPaaS (*Network Platform as a Service*) é proposto como uma solução capaz de facilitar essa colaboração entre ISPs e CDNs ao permitir uma comunicação efetiva entre ambos os agentes. O NetPaaS permite que as CDNs peçam aos ISPs indicações dos melhores servidores para encaminhar os consumidores e também permite aos ISPs informar sobre recursos disponíveis que possam ser oferecidos às CDNs para expansão da rede de distribuição. Os resultados obtidos indicam que o NetPaaS possibilita uma redução do consumo de banda e do atraso na recepção de conteúdo. Contudo, o NetPaaS não tange o que diz respeito à distribuição do conteúdo disponibilizado. Cabe às CDNs gerenciar esse processo. No esquema de distribuição apresentado, a rede orientada a conteúdo gerencia a distribuição de conteúdo, o que, conforme apresentado por Jiang e Bi, produz uma distribuição mais eficiente do que numa CDN padrão. O esquema apresentado é, portanto, mais abrangente que o NetPaaS, no sentido em não apenas resolve o problema de comunicação entre ISPs e CDNs, como também distribui o conteúdo disponibilizado pelas CDNs e permite acesso dos clientes aos conteúdos através dos pontos de conversão CCN/IP situados nas bordas das redes dos ISPs.

A questão da distribuição de conteúdo dentro de uma rede orientada a conteúdo a fim de reduzir o tráfego inter ISPs é abordada por Li e Simon [Li and Simon 2011]. O artigo propõe uma estratégia de cache cooperativo projetada para o tratamento de vídeos longos oferecidos sob demanda. O artigo defende que a política utilizada nas CCNs, em que cada roteador armazena todo o conteúdo que encaminha é ineficiente. Na proposta, cada roteador CCN é identificado por um inteiro menor que um determinado valor k . Os roteadores encaminham pacotes normalmente, mas armazenam apenas pedaços de conteúdo cujo módulo k corresponde a seu identificador. Os autores mostram através de uma série de simulações que a proposta pode reduzir em até 60% o tráfego inter ISPs sem comprometer a eficiência da CCN na distribuição de conteúdo. Embora também trate da questão da distribuição de vídeo, o trabalho de Li e Simon se foca na redução de tráfego inter ISP e negligencia a questão da entrega de conteúdo aos consumidores finais que não possuem aplicações compatíveis com a pilha CCN. Por esse motivo, a proposta de cache cooperativo apresentada poderia complementar à proposta apresentada nesse artigo, cujo objetivo é entregar conteúdo de vídeo de forma transparente para o consumidor final.

Zhu *et al.* apresentam uma nova perspectiva para soluções de mobilidade através do uso de redes orientadas a conteúdo [Zhu et al. 2013]. Nenhuma das atuais propostas de mobilidade IP foi amplamente aplicada, entre os motivos podem ser citados a inflexibilidade do modelo de comunicação e medidas fracas de segurança diante de um ambiente dinâmico. Nesse cenário, a segurança está dependente de ambos os extremos da comunicação, o que se torna extremamente frágil quando essas extremidades se movimentam. A rede orientada a conteúdo traz novas possibilidades ao desatrelar o conteúdo da localização. São utilizados dados nomeados ao invés de endereços de destino para entrega de informações. Esse novo modelo de comunicação se mostra adequado à mobilidade,

uma vez que a mudança no posicionamento de um elemento de rede não será mais tão significativa. Na rede orientada a conteúdo, todo nó da rede pode vir a fornecer conteúdo. Nosso protótipo implementa o modelo de conectividade móvel proposto por Zhu *et al.*, utilizando a rede orientada a conteúdo para a entrega de vídeo sob demanda.

3. Redes de Distribuição de Conteúdo

A arquitetura atual da Internet tem dificuldades em acompanhar a sua rápida popularização [Jacobson et al. 2009]. Essa situação vem se agravando com a mudança no padrão dos usuários, que passaram a ser também produtores de conteúdo, e a disseminação do uso de serviços vorazes em termos de consumo de banda, como o caso da distribuição contínua de vídeos.

As CDNs buscam disponibilizar os recursos necessários para garantia de qualidade de serviço (*Quality of Service* - QoS) continuamente, independentemente de flutuações da demanda. Normalmente, a escalabilidade das soluções adotadas nas CDNs é garantida pela distribuição de servidores próximos aos consumidores contendo réplicas dos conteúdos a serem distribuídos [Saroiu et al. 2002]. Essa solução, no entanto, recai em problemas complexos de posicionamento de servidores, replicação de conteúdos e gerenciamento das requisições dos clientes.

Os servidores de réplicas devem ser posicionados tão próximos dos consumidores finais quanto possível, de modo a minimizar a latência e o uso de banda. No entanto, o número de servidores a serem distribuídos é restrito, a distribuição geográfica dos usuários é irregular e o servidor de origem tem um posicionamento fixo. É preciso decidir quantas réplicas de determinado conteúdo devem existir e em quais servidores serão hospedadas. Além disso, fatores como a carga de cada servidor de réplicas e a carga total na rede devem ser levados em consideração. Existem abordagens teóricas para a resolução desses problemas, mas elas são extremamente custosas em termos computacionais. Normalmente essas abordagens implicam na resolução de problemas de otimização *NP-difíceis*² e mesmo soluções aproximadas que reduzem o nível de complexidade do problema ainda apresentam custos computacionais elevados [Peng 2004]. No entanto, como a demanda por conteúdos é irregular e mutável, nada garante que o posicionamento dos servidores e réplicas será satisfatório ao longo do tempo, o que incorre em novos custos de instalação de servidores.

Uma vez posicionados servidores de réplicas, é necessário encaminhar cada cliente ao conteúdo desejado. Ao se utilizar a Internet, baseada no modelo de identificação de hospedeiros, para buscar conteúdo, se faz necessário um mapeamento entre “o que se busca” e “onde buscar”. Desse modo, as CDNs necessitam de uma variedade de aplicações inteligentes para administrar a distribuição de cópias de conteúdos e reencaminhar as requisições dos clientes baseado em diversos fatores, como carga dos servidores de réplicas, localização dos conteúdos e dos consumidores. Normalmente, essas soluções são complexas e incorrem em problemas de sobrecarga, como no caso da multiplexação de clientes e roteamento P2P, ou dependem de modificações em estruturas da Internet, como no caso do redirecionamento de DNS ou *anycasting*³ [Peng 2004].

²Problemas em que não há garantias de que a solução possa ser encontrada dentro de um tempo polinomial da ordem do problema.

³Um endereço IP *anycast* identifica um conjunto de receptores. Requisições enviadas para um endereço

4. Redes Orientadas a Conteúdo

A Internet foi concebida originalmente como um meio de acesso à recursos remotos através de um modelo de comunicação fim-a-fim. No entanto a demanda de uso atual é caracterizada por acesso a serviços *online* e busca, produção e distribuição de conteúdo. À vista disso, a comunicação fim-a-fim deixa de representar o modelo ideal de comunicação. Uma das principais propostas de substituto para esse modelo são as redes orientadas a conteúdo. Nas redes orientadas a conteúdo, o foco passa a ser o conteúdo que se deseja, e sua entrega eficiente passa a ser uma tarefa de rede.

Jacobson [Jacobson et al. 2009] e Zhang [Zhang et al. 2010] defendem que, para a dinâmica de entrega de conteúdo ser eficiente, a nomeação de hospedeiros deve ser substituída pela nomeação de conteúdo. A identificação única de cada conteúdo através de um nome desacopla o conteúdo de sua localização, o que permite buscar diretamente os dados sem que haja necessidade de se conhecer seus hospedeiros. A rede CCN é uma rede de dados nomeados baseada nessa primitiva. Cada conteúdo possui um nome formado por prefixos agregáveis, utilizados para facilitar o roteamento de requisições.

A ideia de nomeação de conteúdo não é exclusiva da rede CCN. Outras propostas de redes de dados nomeados (*Named Data Networking* - NDN) foram criadas ao longo do tempo, todas apresentando soluções para problemas da Internet atual. Entre elas figuram DONA [Koponen et al. 2007], LIPSIN [Jokela et al. 2009] e TRIAD [Cheriton and Gritter 2000]. Contudo, a CCN é a mais atual delas e desponta como uma das mais promissoras propostas de Internet do Futuro. Além disso, a CCN possui uma implementação experimental que roda sobre IP, a CCNx [CCNx 2011], que foi utilizada na rede de testes implementada neste artigo.

Em uma CCN, todos os nós podem ser considerados roteadores, uma vez que podem tanto enviar e encaminhar requisições quanto receber e encaminhar conteúdo. Existem apenas dois tipos de pacotes: Interesse e Dados. Um pacote de Interesse é enviado sempre que um nó deseja acessar determinado conteúdo. Pacotes de Dados só são transmitidos em resposta a Interesses. Existe uma paridade entre Interesses e Dados, e a dinâmica do fluxo de informações é regida segundo o envio de Interesses por parte dos consumidores. A rede CCN encaminha os Interesses no sentido dos produtores de conteúdo, o primeiro nó que possui o conteúdo requisitado responde com os Dados correspondentes pelo caminho inverso seguido pelos Interesses.

Os roteadores CCN possuem três estruturas de dados principais: a Base de Informações de Encaminhamento (*Forwarding Information Base* - FIB), o Armazém de Conteúdo (*Content Store* - CS) e a Lista de Interesses Pendentes (*Pending Interest Table* - PIT). O CS armazena temporariamente conteúdo que foi encaminhado pelo roteador, de modo que requisições frequentes de um determinado conteúdo possam ser respondidas localmente. A FIB da CCN é similar à FIB no IP, armazenando regras baseadas em prefixos de nomes, um mapa das interfaces de saída correspondentes e outras regras mais específicas relacionadas a prefixos. Contudo, na CCN a FIB pode relacionar diversas interfaces de saída a um mesmo prefixo, ordenando-as por prioridade. A PIT guarda as interfaces de entrada e saída pelas quais Interesses ainda não respondidos chegaram e fo-

anycast são respondidas pelo receptor mais próximo. A escolha do receptor está sujeita ao critério de proximidade adotado.

ram encaminhados. Interesses referentes a um mesmo dado são agregados e apenas uma requisição é enviada a cada interface de saída. Dessa maneira, apenas um dado é recebido e reencaminhado a todas as interfaces por onde foram recebidos Interesses.

A possibilidade de resposta local de requisições, propiciada pelo armazenamento de conteúdo em cada roteador, e a agregação de fluxos acarretada pelo envio de apenas um Interesse por interface de saída possibilitam reduzir substancialmente o tráfego de rede. Além disso, a natureza dos nomes CCN permite o sequenciamento lógico dos pedaços de conteúdo e uma independência entre envio de Interesses e Dados. Essas características aliadas aos mecanismos de balanceamento de carga, controle de fluxo ponto-a-ponto e de verificação de recebimento de dados inerentes à arquitetura [Jacobson et al. 2009, Guimaraes et al. 2013], tornam a CCN ideal para aplicações como transmissão contínua (*streaming*) de vídeo.

5. Arquitetura da solução proposta

Este artigo propõe a implementação de uma rede CCN superposta à rede IP dos provedores de serviço de Internet para a distribuição de conteúdo. Na solução proposta, a CCN trabalha em cooperação com as CDNs para distribuir VoD. A arquitetura da solução é ilustrada na Figura 1.

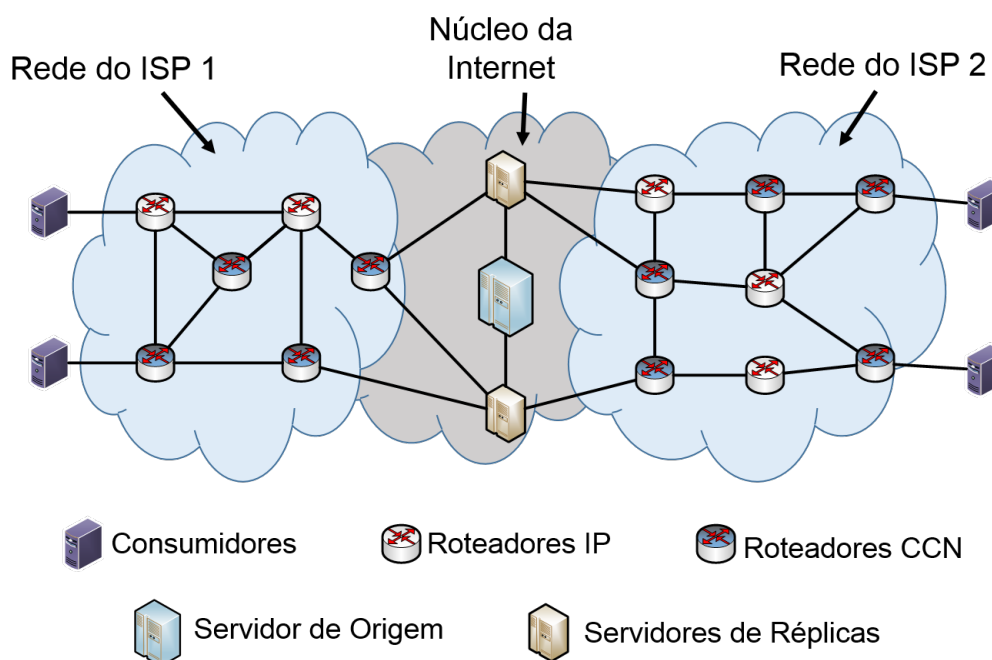


Figura 1. Rede de distribuição CCN sobreposta à rede IP. A rede de distribuição trabalha cooperativamente com as CDNs, distribuindo conteúdo através da rede dos ISPs.

A distribuição do conteúdo na solução proposta é gerenciada pela própria dinâmica da rede CCN: os conteúdos são enviados sob demanda e cópias dos pacotes de dados são armazenadas nos roteadores que os encaminham. A rede CCN distribui os conteúdos até pontos de conversão existentes nas bordas da rede dos ISPs, aos quais os consumidores se conectam via IP a fim de acessar os conteúdos disponibilizados. Essa configuração permite utilizar todas as vantagens da CCN frente ao IP no que diz respeito

à distribuição de conteúdo, ao mesmo tempo em que a distribuição é transparente para o consumidor final.

Os pontos de conversão situados nas bordas da rede são roteadores capazes de traduzir requisições de conteúdo via IP em requisições de conteúdo via CCN. Eles reconstruem o conteúdo a partir dos pedaços de conteúdo nomeado recebidos e o disponibilizam aos clientes via IP, utilizando quaisquer métodos comumente utilizados para distribuição de vídeo, tais como HTTP, RTSP, UDP ou TCP. Esses pontos de conversão concentram todos os pedidos dos consumidores e geram os pedidos de Interesse pelos conteúdos buscados. Os roteadores agregam esses Interesses antes de enviá-los, o que reduz a carga no núcleo da rede dos ISPs. Adicionalmente, a agregação de fluxos de Interesses e Dados isola o núcleo da rede das flutuações na demanda percebidas em suas bordas, pois dispositivos podem se conectar aos pontos de conversão até que sua capacidade de conexão se esgote, sem que fluxos duplicados sejam repassados para o núcleo da rede. No entanto, a distribuição dos conteúdos aos consumidores a partir dos pontos de conversão pressupõe a duplicação de fluxos, pois é feita via IP, em *unicast*. Por esse motivo, os pontos de conversão devem ser instalados próximos às bordas da rede a fim de minimizar o número saltos necessário para se alcançar os consumidores e com isso reduzir o número de enlaces com fluxos duplicados.

Quanto mais roteadores CCN existirem na rede do ISP, maior esse efeito de agregação de pacotes e menor o número de pacotes duplicados que circulam pelos roteadores funcionando puramente com IP [Guimaraes et al. 2013]. Isso cria um incentivo adicional para a expansão da rede CCN implementada e constitui uma grande vantagem quando considerado o crescimento do número de dispositivos móveis, como *smartphones* e *tablets* verificado nos últimos anos.

A rede CCN também pode ser utilizada para prover conteúdo a consumidores que possuam suporte à comunicação com CCNs disponível em seus dispositivos pessoais. Nesse caso, a eficiência da distribuição aumentará, pois a rede CCN formada pelos roteadores da rede dos ISPs será complementada por uma rede *peer to peer* formada pelos dispositivos móveis. A dinâmica da CCN prevê a busca por pedaços de conteúdo no *cache* de quaisquer dispositivos CCN próximos e suporta mobilidade de consumidores. A rede CCN detecta automaticamente esses recursos adicionais e com isso aumenta sua abrangência e eficiência. Dispositivos que possuem recursos limitados, como *smartphones*, podem optar por continuar a usar os pontos de conversão e acessar os conteúdos via conexão IP a fim de economizar recursos como memória e bateria. Ao utilizar uma aplicação IP em vez de uma aplicação CCN para obter conteúdo, os dispositivos ficam isentos de difundir os nomes dos conteúdos que possuem e de enviar pacotes de Dados para responder a Interesse, o que proporciona economias de bateria [Lee and Kim 2011] devido à redução do tráfego de dados.

Dispositivos que possuam suporte à comunicação com CCNs passam a se beneficiar da mobilidade de consumidores inerente à arquitetura CCN. Enquanto que o suporte a mobilidade IP não é trivial devido ao forte acoplamento entre identidade e localização, o modelo de comunicação CCN orientado ao receptor oferece suporte a mobilidade de consumidores de forma direta [Zhu et al. 2013]. Um consumidor pode requisitar dados diretamente da rede sem prévia configuração de endereço ou da conexão. Quando um pacote de interesse é transmitido do consumidor ao produtor de conteúdo, é criado sob

demanda um caminho reverso temporário entre produtor e consumidor, pelo qual são encaminhados os pacotes de dados correspondentes. A duração deste caminho reverso é próxima a duração de intervalo de envio e recebimento no IP, de forma que a mudança de ponto de acesso implica apenas na criação de outro caminho reverso. No entanto, quando um dispositivo muda de rede, as informações na FIB local precisam ser atualizadas, o que, para o caso da mobilidade de consumidores, pode ser resolvido pela retransmissão dos pacotes de interesse [Wang et al. 2013].

6. Cenário de testes

Os testes foram realizados no *Future Internet Testbed with Security* (FITS) [Moraes et al. 2014], uma plataforma de testes interuniversitária para propostas de Internet do Futuro. O FITS é mantido pelo Grupo de Teleinformática e Automação (GTA) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), e possui nós em universidades de vários estados do Brasil e em países da Europa.

O FITS possibilita um ambiente de teste pluralista de larga escala para a experimentação de propostas para Internet do Futuro com condições reais de tráfego da Internet. O FITS permite a criação de múltiplas redes virtuais em paralelo sobre a mesma estrutura física, de forma segura e isolada. O ambiente é flexível e agnóstico aos sistemas operacionais, aplicações e protocolos utilizados na rede virtual, minimizando restrições e trazendo maiores possibilidades de experimentação, quando comparado a outras redes de teste mais restritas.

A distribuição de conteúdo via CCN foi testada em uma rede protótipo criada especialmente para esse fim. A rede protótipo foi concebida com o objetivo de reproduzir em menor escala a dinâmica de uma rede de distribuição sobreposta à rede de um ISP representada na Figura 1. Os experimentos mantêm seu foco na rede CCN sobre a rede do ISP, para tanto o servidor de réplicas na borda da rede de testes já possui a cópia dos conteúdos requisitados e passa a atuar como provedor de conteúdo da rede de testes. A Figura 2 apresenta a arquitetura da rede de testes.

A rede é formada por quatro roteadores, um provedor de conteúdo e nove consumidores. Os Roteadores 1, 2 e 3 representam os pontos de conversão e por isso estão ligados diretamente aos clientes. Cada ponto de conversão está ligado a três clientes. O Roteador 0 está ligado ao provedor de conteúdo e possui conexões redundantes, formando uma malha com os Roteadores 1, 2 e 3.

Cada nó da rede CCN é uma máquina virtual hospedada no FITS rodando CCNx. A CCNx [CCNx 2011] é uma implementação da arquitetura CCN que roda sobre IP criada pelo Centro de Pesquisa de Palo Alto (*Palo Alto Research Center - PARC*), da Xerox, para o desenvolvimento da arquitetura CCN. Os roteadores CCN possuem a CCNx versão 0.8.1 instalada. Nos pontos de conversão, além da CCNx, foi instalado o *VLC media player* versão 2.0.3 e um *plugin* que o torna capaz de converter CCNx para IP. Para realização dos testes, os roteadores foram hospedados em diferentes nós físicos do FITS.

7. Resultados e discussão

As principais vantagens da distribuição de conteúdo utilizando CCN são a redução do consumo de banda gerado pela distribuição de vídeo, o gerenciamento automático de réplicas através do cache e o suporte à mobilidade. Foram realizados testes para se comparar

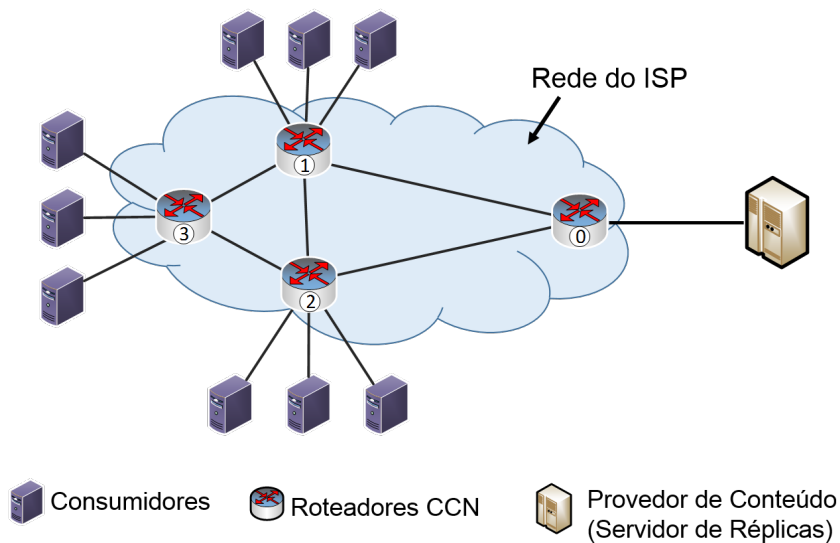
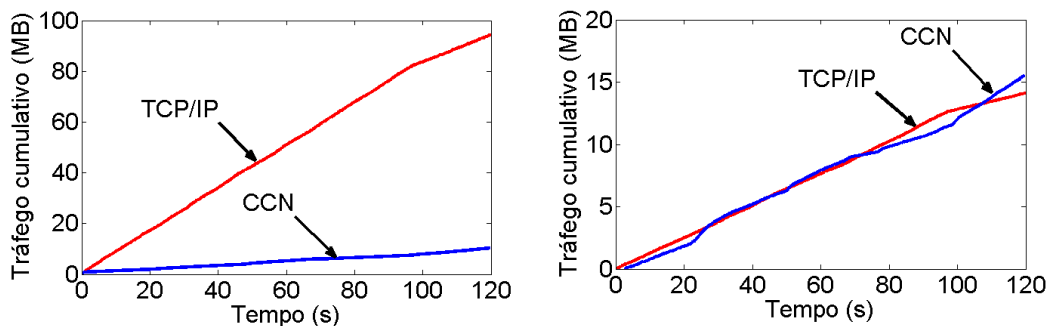


Figura 2. Arquitetura da rede de testes usada: servidor de conteúdo, roteadores CCN atuando como pontos de conversão e consumidores de conteúdo.

o desempenho de uma distribuição via CCN frente a uma distribuição TCP/IP em ambos os casos.

7.1. Análise de tráfego



(a) Consumo de banda no enlace entre o servidor e a rede de distribuição. (b) Consumo de banda de um dos clientes ligados ao Roteador 3.

Figura 3. O consumo de banda na distribuição via CCN é claramente menor nas proximidades do provedor de conteúdo. A taxa de entrega de conteúdo aos clientes, no entanto, é igual na distribuição via CCN e TCP/IP, .

Para se comparar o uso de banda na distribuição de vídeo foi enviado um vídeo de aproximadamente 100 MB dentro de uma janela de dois minutos utilizando-se TCP/IP e a rede CCN. Um vídeo longo foi escolhido para que, dentro de uma janela de tempo longa o suficiente para se ter medidas confiáveis, o vídeo não tivesse sido inteiramente baixado, independente do método utilizado. Essa medida foi escolhida em detrimento da alternativa de se limitar a banda nos enlaces, de modo que todos os enlaces foram mantidos com taxa de transmissão padrão de 1 Gb/s.

Nos testes utilizando CCN, o vídeo foi disponibilizado no servidor como conteúdo nomeado. Durante o teste, o vídeo foi distribuído via CCN até os nós de borda e então

convertido para formato HTTP em tempo real. Nos testes utilizando TCP/IP, o vídeo foi disponibilizado em HTTP diretamente no servidor. A avaliação de desempenho foi feita mediante comparação do uso de banda total em cada enlace, expressado como uma função cumulativa da quantidade de *bytes* trafegados.

A Figura 3 mostra um comparativo da quantidade de *bytes* trafegados nas extremidades do sistema na distribuição via IP e via CCN. A Figura 3(a) apresenta o tráfego nas imediações do servidor de conteúdo, enquanto a Figura 3(b) apresenta o tráfego que chega a um cliente.

Os resultados mostram que o sistema formado pela rede CCN e os pontos de conversão é capaz de reduzir significativamente o tráfego de rede decorrente da distribuição de vídeo, enquanto mantém a taxa de entrega de conteúdo aos clientes. Esse efeito é mais significativo nas imediações do provedor de conteúdo. Os resultados referentes ao tráfego no núcleo da rede são mostrados na Figura 4. Observa-se que o tráfego total na distribuição via CCN é 83% menor que o tráfego gerado na distribuição via IP para o cenário testado.

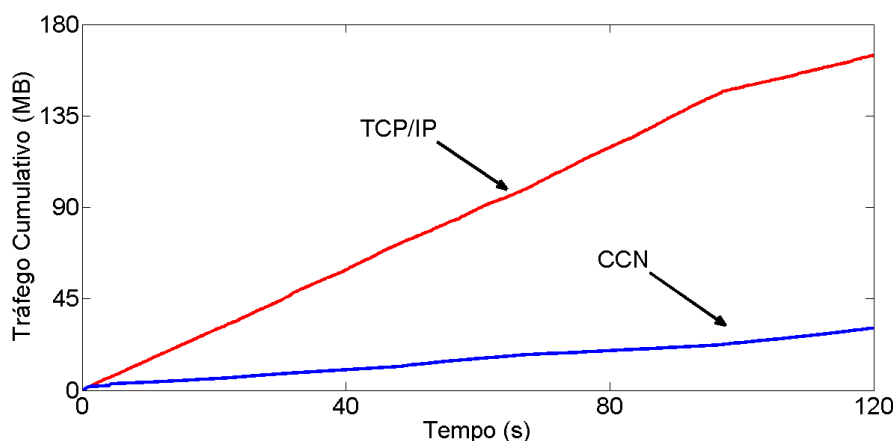


Figura 4. Tráfego cumulativo na rede do ISP. A distribuição via CCN reduz consideravelmente a carga da rede.

7.2. Análise de mobilidade

Para a comparação do desempenho da CCN e de uma rede TCP/IP em termos de mobilidade, foi construída uma rede de testes que possui três roteadores CCN que em escala reduzida representam a rede CCN interna de um ISP, um provedor de conteúdo, dois pontos de acesso sem fio e um dispositivo móvel que representa o cliente. O dispositivo móvel com a CCNx versão 0.8.1 instalado foi conectado a um desses pontos de acesso e buscou reproduzir um vídeo recebido via transmissão contínua utilizando distribuição via IP e via CCN. A ligação entre o Roteador 0 e o provedor de conteúdo representa a conexão do ISP com a rede CDN que contém o vídeo sob demanda. Os pontos de acesso sem fio estão conectados aos Roteadores 1 e 2 que por sua vez estão conectados a rede CCN interna do ISP. Durante a transmissão, o dispositivo foi trocado de rede e conectado ao outro ponto de acesso. A Figura 5 ilustra o procedimento.

O dispositivo móvel foi mudado de rede algumas vezes durante a transmissão do vídeo. Durante a transmissão via TCP/IP, a conexão foi perdida na primeira mudança e a

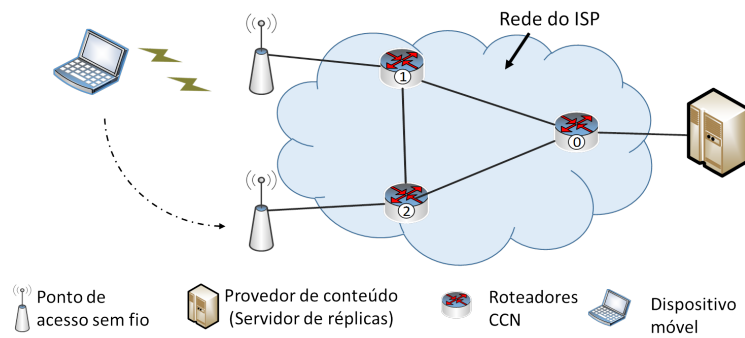


Figura 5. Estrutura da rede utilizada nos testes de mobilidade. Um cliente móvel se conecta à rede CCN através de pontos de acesso sem fio.

reprodução do vídeo foi terminada. Quando o vídeo foi pedido via CCN, sua reprodução continuou ininterruptamente apesar das mudanças de rede, o que mostra o suporte da rede à mobilidade de clientes. A Figura 6 mostra o comportamento das interfaces de rede dos pontos de acesso conectados ao dispositivo móvel durante a transmissão via CCN.

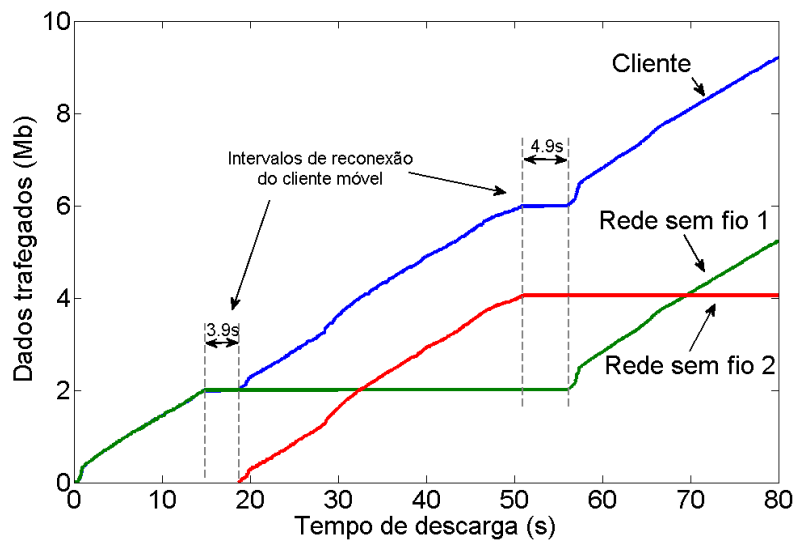


Figura 6. Mobilidade de clientes CCN. O cliente muda da Rede Sem Fio 1 para Rede Sem Fio 2 no instante 15s e retorna à Rede Sem Fio 1 no instante 56s. A entrega de conteúdo continua, apesar do cliente mudar de rede.

O experimento demonstra que a qualidade de serviço na mobilidade em CCNs prevista por Zhu [Zhu et al. 2013] é garantida. Quando o cliente solicita o vídeo a partir de um ponto de acesso que se conecta ao Roteador CCN 1, o interesse é propagado nó a nó até o provedor de conteúdo e o conteúdo é cacheado no sentido inverso do pedido de interesse. Dessa forma, enquanto o cliente muda de ponto de acesso, o conteúdo de pedidos anteriores vai estar sendo atendido pelo provedor de conteúdo e residirá no cache da rede CCN interna do ISP. Quando o cliente reenviar os interesses no outro ponto de acesso, agora conectado ao Roteador CCN 2, esses serão atendidos prontamente pelos Roteadores CCN 0 e 1 que já possuem o conteúdo no cache. Logo, não é necessário o reenvio de pacotes de interesses já requisitados ao provedor de conteúdo, o que evita o

disperdiço de banda entre a CDN e o ISP.

8. Conclusão

Este artigo analisa a distribuição de conteúdo utilizando uma rede CCN sobreposta às redes dos ISPs para distribuir conteúdo de vídeo sob demanda. A rede CCN trabalha em cooperação com CDNs, de modo que um provedor de conteúdo, ou seja, um servidor de réplicas de uma CDN, se conecta à rede CCN. A utilização de conteúdo nomeado desacopla os dados da localização geográfica de seus provedores, o que facilita a distribuição de conteúdo e aumenta sua eficiência.

A distribuição de conteúdo através da rede CCN é transparente para os consumidores na solução proposta, dado que o acesso aos conteúdos é disponibilizado através de pontos de conversão localizados nas extremidades da rede. Quanto mais próximos aos usuários se localizarem os pontos de conversão, mais eficiente a entrega de conteúdo e maior a economia de banda alcançada. Como a distribuição na última milha é feita via IP, não é necessária instalação de nenhuma aplicação específica, modificação ou adaptação dos dispositivos dos usuários finais. O conteúdo distribuído também pode ser obtido diretamente via CCN, o que proporciona suporte à mobilidade de usuários.

Os testes realizados na rede do protótipo desenvolvido demonstram que a utilização da CCN melhora significativamente o desempenho da distribuição de vídeo sob demanda em relação ao uso de banda total na rede. A CCN é especialmente eficiente na redução da carga na rede nas imediações dos servidores, o que propicia o isolamento entre a carga no núcleo da rede e a demanda percebida em suas extremidades. Além disso, os resultados comprovam que o sistema dá suporte à mobilidade de usuários, reproduzindo vídeo continuamente independentemente de mudança de rede.

Referências

- [CCNx 2011] CCNx (2011). Ccnx project. Disponível em <http://www.ccnx.org/> (Acessado em 15/03/2014).
- [Cheriton and Gritter 2000] Cheriton, D. and Gritter, M. (2000). Triad: A new next-generation internet architecture. Technical report, Stanford Computer Science Technical Report.
- [Frank et al. 2013] Frank, B., Poese, I., Lin, Y., Smaragdakis, G., Feldmann, A., Maggs, B., Rake, J., Uhlig, S., and Weber, R. (2013). Pushing cdn-isp collaboration to the limit. *ACM SIGCOMM CCR*, 43(3).
- [Fricker et al. 2012] Fricker, C., Robert, P., Roberts, J., and Sbihi, N. (2012). Impact of traffic mix on caching performance in a content-centric network. In *Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), 2012 IEEE Conference on*, pages 310–315. IEEE.
- [Guimaraes et al. 2013] Guimaraes, P. H. V., Ferraz, L. H. G., Torres, J. V., Alvarenga, I. D., Rodrigues, C. S., and Duarte, O. C. M. (2013). Experimenting content-centric networks in the future internet testbed environment. In *Workshop on Cloud Convergence, ICC*.
- [Jacobson et al. 2009] Jacobson, V., Smetters, D. K., Thornton, J. D., Plass, M. F., Briggs, N. H., and Braynard, R. L. (2009). Networking named content. In *Proceedings of the*

- 5th international conference on Emerging networking experiments and technologies*, pages 1–12. ACM.
- [Jiang and Bi 2012] Jiang, X. and Bi, J. (2012). Named content delivery network. Technical report, Tsinghua University.
- [Jokela et al. 2009] Jokela, P., Zahemszky, A., Esteve Rothenberg, C., Arianfar, S., and Nikander, P. (2009). Lipsin: line speed publish/subscribe inter-networking. In *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, volume 39, pages 195–206. ACM.
- [Koponen et al. 2007] Koponen, T., Chawla, M., Chun, B.-G., Ermolinskiy, A., Kim, K. H., Shenker, S., and Stoica, I. (2007). A data-oriented (and beyond) network architecture. In *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, volume 37, pages 181–192. ACM.
- [Lee and Kim 2011] Lee, J. and Kim, D. (2011). Proxy-assisted content sharing using content centric networking (ccn) for resource-limited mobile consumer devices. *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, 57(2):477–483.
- [Li and Simon 2011] Li, Z. and Simon, G. (2011). Time-shifted tv in content centric networks: the case for cooperative in-network caching. In *Communications (ICC), 2011 IEEE International Conference on*, pages 1–6. IEEE.
- [Moraes et al. 2014] Moraes, I. M., Mattos, D. M., Ferraz, L. H. G., Campista, M. E. M., Rubinstein, M. G., Costa, L. H. M., de Amorim, M. D., Velloso, P. B., Duarte, O. C. M., and Pujolle, G. (2014). Fits: A flexible virtual network testbed architecture. *Computer Networks*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjp.2014.01.002>.
- [NS-3 2014] NS-3 (2014). Ns-3. Disponível em <http://www.nsnam.org/> (Acessado em 15/03/2014).
- [Peng 2004] Peng, G. (2004). Cdn: Content distribution network. arXiv preprint [cs/0411069](https://arxiv.org/abs/cs/0411069).
- [Saroiu et al. 2002] Saroiu, S., Gummadi, K. P., Dunn, R. J., Gribble, S. D., and Levy, H. M. (2002). An analysis of internet content delivery systems. *ACM SIGOPS Operating Systems Review*, 36(SI):315–327.
- [Schulze and Mochalski 2009] Schulze, H. and Mochalski, K. (2009). Internet study 2008/2009. *IPOQUE Report*, 37:351–362.
- [Wang et al. 2013] Wang, L., Waltari, O., and Kangasharju, J. (2013). Mobiccn: Mobility support with greedy routing in content-centric networks. In *GLOBECOM. IEEE Global Communications Conference 2013 : NGN - Next Generation Network*. IEEE.
- [Zhang et al. 2010] Zhang, L., Estrin, D., Burke, J., Jacobson, V., Thornton, J. D., Smetters, D. K., Zhang, B., Tsudik, G., Massey, D., Papadopoulos, C., et al. (2010). Named data networking (ndn) project. Technical Report NDN-0001, Xerox Palo Alto Research Center-PARC.
- [Zhu et al. 2013] Zhu, Z., Afanasyev, A., and Zhang, L. (2013). A new perspective on mobility support.