

Agregação de Tráfego de Redes Celulares como Catalisador de Negócios Inteligentes para Usuários que Demandam Altas Taxas de Transmissão

Mobile Networks Traffic Aggregation as a Catalyst of Smart Business for Users that Require High Transmission Rates

Gleidson Araújo de Souza Campos¹, Danilo Ricardo Barbosa de Araújo¹

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE, Brasil

Correspondência: Gleidson Campos, Departamento de Estatística e Informática – Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) – 52171-900 – Recife – PE – Brasil

Recebido: 08 de outubro de 2016 Aceito: 20 de dezembro de 2016 Publicado: 01 de maio de 2017

DOI: 10.21714/1679-18272016v14Esp2.p319-326

Resumo

As redes móveis permitiram à Internet se tornar ubíqua, ou seja, estar presente em qualquer lugar e momento. Entretanto, no Brasil, a qualidade das redes móveis não é adequada para todas as aplicações. Por outro lado, o uso de agregação de tráfego de redes celulares tem sido usado em alguns países como uma alternativa para viabilizar aplicações com restrições estritas de Qualidade de Serviço (QoS), como no caso da telemedicina, por exemplo. Contudo, há uma lacuna sobre estudos que analisem a viabilidade de usar agregação de enlaces de operadoras que atuam no Brasil e a análise de diferentes estratégias de agregação. Neste sentido, este artigo estuda diferentes possibilidades de agregação de enlaces móveis considerando as necessidades de aplicações específicas. Fundamentado em estudos bibliográficos e simulações, o trabalho propõe estratégias para agregação de tráfego e as aplica na avaliação de duas operadoras que atuam na Região Metropolitana do Recife. Assim, foi elaborada uma análise que indica quais operadoras e conexões devem ser usados para realizar a agregação, tendo como base os requisitos de cada aplicação. Com base nos resultados obtidos, houve um ganho de mais 72% no tempo de transferência de um arquivo quando as políticas adequadas de agregação são consideradas.

Palavras-chave: Agregação de tráfego, Largura de banda, Redes móveis.

Abstract

Mobile networks allowed the Internet to be ubiquitous, that is, anywhere and anytime. However, in Brazil the quality of mobile networks is not good enough for all applications. On the other hand, aggregation of mobile links has been used in several countries as an alternative to provide feasibility for applications that presents strict requirements of Quality of Service (QoS), such as telemedicine. However, there is an absence of previous studies that aims to investigate the suitability of using link aggregation between carriers that act in Brazil and provide an analysis of different strategies for aggregation. Thus, this paper studies different ways to perform mobile broadband link aggregation by considering the requirements of specific applications. Based on the literature review and simulations, this work proposes strategies to bandwidth aggregation and it applies these strategies to analyze two mobile carriers that cover Recife region. Thus, it was performed an analysis that indicates which carrier and which link aggregation is better for each application. According to our results it was obtained a net gain of 72% in the time to download a large file when suitable aggregation approaches were used.

Keywords: Link Aggregation, Bandwidth, Mobile Networks.

Esta obra está licenciada sob uma Licença Creative Commons Attribution 3.0.

1. Introdução

O tráfego da Internet tem crescido muito nos últimos anos, principalmente devido ao aparecimento de novas aplicações que demandam elevadas taxas de transmissão, como a transmissão de vídeo em alta definição, ensino à distância, jogos multiusuário, dentre outros. Estudos demonstram que o crescimento do tráfego de Internet continua em expansão e deve ser aumentado em um fator de 1.000 nos próximos 20 anos (Saleh, 2011). Por outro lado, a Qualidade de Serviço (QoS) oferecida pelas empresas que prestam serviços de Internet pode ser mensurada com base em diversos critérios, tais como: largura de banda; atraso ou latência; flutuação do atraso (*jitter*); e perda de pacotes. Estes critérios podem ser impactados por limitações no cliente, no servidor ou no

meio de transmissão (TANENBAUM, 2013). Os critérios de QoS normalmente são estabelecidos por meio de contrato junto à operadora, mas com regulamentação da Anatel como pode ser visto em (ANATEL, 2002) que propõem os parâmetros básicos de QoS.

No Brasil, até 2015, cerca de 46,3% dos planos de banda larga possuem taxas entre 2 Mbps e 12 Mbps, 24,5% tem taxas acima deste valor, e 29,2% abaixo (Gomes, 2015). De acordo com a Akamai em seu relatório mais recente divulgado no quarto trimestre de 2015 (Akamai, 2016), o Brasil possui uma taxa de transmissão média de 4,1 Mbps, ocupando a posição 88 na escala global, mas com um aumento de 38% em relação ao ano anterior. Essa taxa de transmissão média, permite ao brasileiro, por exemplo, baixar um arquivo de 45 GB em aproximadamente 23 horas. Em outros casos, o enlace do cliente pode ser melhor do que o enlace do servidor e, neste caso, a transferência de arquivos ficará limitada à capacidade de envio do servidor. Ou seja, a conexão do servidor pode até ser maior que a do cliente, mas por estar respondendo a várias requisições ao mesmo tempo, o servidor precisa compartilhar seus recursos. Com relação à latência, há uma parcela inerente à própria propagação no meio físico, mas o problema pode estar relacionado também com atrasos ocorridos nas camadas superiores, como o tempo de processamento nos roteadores ou mesmo o tempo de reposta das aplicações. A flutuação do atraso pode ser um critério crítico em algumas aplicações como na transmissão de áudio e vídeo em tempo real, ou menos crítico para os casos nos quais a informação pode ser armazenada em buffers no cliente e consumida de forma controlada pelas aplicações. Finalmente, a perda de pacotes também é um critério geralmente usado para avaliar QoS, mas em algumas aplicações, notadamente às relacionadas com multimídia, é preferível aceitar pequenos níveis de perda em detrimento da penalização de os outros critérios de QoS que são afetados com retransmissões de pacotes (TANENBAUM, 2013).

Os critérios de QoS podem ser melhorados por meio de medidas diversas, desde a contratação de um serviço de melhor qualidade (e maior custo) até atualizações nos equipamentos dos clientes. Contudo, muitas vezes não há um mecanismo direto e relacionado apenas com novos aportes financeiros para melhoria de QoS. Alguns exemplos podem ilustrar melhor este cenário. Primeiro, a melhor taxa de transmissão comercialmente disponível pelas operadoras de Internet em uma dada região geográfica pode estar aquém dos requisitos de QoS exigidos para transmissão de vídeo em alta definição, por exemplo. Segundo, a latência pode estar sendo majoritariamente afetada pelo meio físico de transmissão disponível, pois sabe-se que as redes móveis tendem a oferecer atrasos maiores do que redes de fibra óptica, por exemplo (Serrano, 2009). Estes exemplos ilustram o fato de que muitas vezes os requisitos de QoS das aplicações podem não ser atendidos mesmo considerando a possibilidade de novos investimentos financeiros por parte dos clientes corporativos ou domésticos. Em tais circunstâncias, os clientes precisariam esperar por uma expansão da infraestrutura de sua operadora.

Uma alternativa técnica apontada recentemente para viabilizar situações de ausência de QoS por parte de uma operadora única é agregar os enlaces de diferentes operadoras para obter uma conexão de melhor qualidade. Esta técnica foi usada, por exemplo, para viabilizar aplicações de telemedicina em regiões rurais da Índia, nas quais não havia viabilidade técnica quando uma operadora única era considerada (Meethal, 2011). A técnica de agregação de enlaces móveis se popularizou em outros países após empresas especializadas passarem a disponibilizar equipamentos próprios para esta finalidade (Peplink, 2016). Estes equipamentos possibilitaram a interligação entre escritórios, viaturas policiais, entretenimento em ônibus, e vários outros serviços relacionados com a necessidade de alta mobilidade mas nos quais operadoras individuais não são satisfatórias. Aqui pode-se destacar, como caso de sucesso em agregação de enlaces móveis, e na linha de negócios inteligentes, a adoção desta estratégia por parte de empresas do ramo de transmissão de conteúdo televisivo. Empresas deste setor geralmente precisam deslocar um carro utilitário (van) com todos os equipamentos necessários para a transmissão por um enlace de micro-ondas ou satélite. A adoção de agregação de enlaces móveis neste nicho de mercado permite a redução de um investimento financeiro (CAPEX) da ordem de milhões de reais para um cenário de investimento da ordem de milhares de reais, considerando o modelo tradicional baseado em vans e a agregação de enlaces móveis, respectivamente. Além disso, a agregação de enlaces também promove maior facilidade no deslocamento, já que basta uma pequena mochila com o equipamento para agregação, modems 3G/4G e a câmera (Borchers, 2012). Logo, este modelo também promove negócios inteligentes na medida em que reduz custos operacionais (OPEX) das empresas beneficiadas, além do custo CAPEX já mencionado.

Contudo, a efetividade da agregação de enlaces depende das características da aplicação-alvo e da infraestrutura disponível de cada operadora individualmente. Para aplicações nas quais a interação é feita com múltiplas conexões, a agregação possibilita que cada conexão seja iniciada por um enlace distinto, diminuindo o tempo total de transferência dos dados. Já para aplicações nas quais há apenas uma conexão lógica, ou uma sessão única, a agregação não oferece bom desempenho já que apenas um dos enlaces será usado concomitantemente (Marsh, 2001). Além disso, se a aplicação-alvo depender muito da latência, a solução mais adequada é escolher enlaces agregados com menor latência, ou mesmo um enlace único que tenha menor latência dentre todos os disponíveis.

Embora a viabilidade técnica de agregação de enlaces móveis tenha sido avaliada por estudos realizados em

diferentes países, não há trabalhos que apontem os benefícios desta técnica para empresas que atuam no Brasil e que dependem das operadoras locais de telefonia móvel. De acordo com o levantamento bibliográfico realizado neste estudo, este é o primeiro trabalho que investiga a efetividade desta técnica quando aplicada a empresas locais e fornece uma avaliação preliminar de diferentes estratégias de agregação. O restante do artigo está distribuído da seguinte forma: na Sessão 2 é feita uma breve revisão de literatura sobre agregação de enlaces móveis; na Seção 3 é descrita a proposta para agregação dos enlaces móveis e o arranjo experimental usado no estudo; na Seção 4 são apresentados e discutidos os resultados obtidos; na Seção 5 é apresentada a conclusão do trabalho e algumas sugestões para investigações futuras.

2. Revisão de Literatura

Nesta seção são apresentados alguns trabalhos relevantes que abordam os alicerces técnicos relacionados com a agregação de tráfego em enlaces móveis e trabalhos que fornecem resultados práticos sobre a aplicação desta técnica em nichos específicos.

O livro (Marsh, 2001) é uma referência completa sobre políticas de roteamento no sistema operacional Linux, incluindo o detalhamento técnico de como utilizar múltiplas rotas para o mesmo destino, que a base teórica para viabilizar a agregação de tráfego nas camadas superiores. Neste livro são apresentadas duas abordagens para agregação. O primeiro método é o tratamento por pacote, no qual cada pacote irá sair por uma rota diferente, dentre as inseridas na agregação. O método por pacote é mais indicado para transmissões que usam o protocolo UDP (*User Datagram Protocol*), uma vez que são enviados pacotes por rotas distintas e eles podem chegar fora de ordem. Como o UDP não possui o conceito de sessão e ordenação, essa maneira de agregar os enlaces funciona melhor. O segundo método é baseado em fluxo e é adequado para aplicações que usam o TCP (*Transmission Control Protocol*) como protocolo de transporte. No método baseado em fluxo, uma sessão iniciada por uma rota terá todos os seus pacotes enviados a partir do mesmo enlace fonte. Outra técnica sugerida por Marsh, e que pode ser aplicada às duas formas de agregação, é a colocação de pesos nas rotas de saída, isso pode ser feito baseado no levantamento prévio de sua latência e taxa de transferência. Com o resultado do levantamento pode-se aplicar pesos nas rotas de forma que enviados X pacotes ou iniciadas X sessões por uma rota para só depois passar para a segunda rota. O uso de pesos auxilia no balanceamento de carga e no aproveitamento adequado da capacidade de cada conexão.

Em (Serrano, 2009) é apresentado um estudo sobre a latência em redes móveis. O estudo demonstra que a maioria do tráfego em redes móveis é uma mistura entre dados sensíveis à latência e dados sensíveis à largura de banda. O estudo aponta que 1% do tráfego é extremamente sensível à latência, 10% das aplicações não tem sensibilidade à latência e a parcela restante possui sensibilidade média à latência. Isso se deve à natureza do tráfego nas redes móveis. Por exemplo, nas aplicações de navegação possuem uma sensibilidade à latência entre 20 e 30% (considerada média), as aplicações de jogos online são totalmente dependentes de latência, e as aplicações P2P são totalmente sensíveis à largura de banda (e não dependem de latência). Este estudo fornece um direcionamento inicial sobre os benefícios potenciais que a agregação de enlaces móveis pode trazer.

Em (MEETHAL, 2011) é apresentado um estudo detalhado sobre diferentes opções de transmissão de dados para implantação de um projeto de telemedicina na Índia. Para este tipo de aplicação, é fundamental a obtenção de uma conexão com taxas de transmissão adequadas entre a van e o hospital. Outro requisito da aplicação é o de que a conexão deve ser sem fio devido à mobilidade. Neste sentido foram consideradas diferentes tecnologias, tais como: IEEE 802.11b/g, WiMax, satélites e redes celulares. IEEE 802.11b/g e WiMax foram descartadas devido a problemas de alcance. O uso de satélites foi descartado por questões de inviabilidade financeira (elevado custo). No contexto das redes celulares foi considerado o uso de redes GPRS, EDGE, CDMA, CDMA 2000 1x e EVDO. A única tecnologia que apresentava taxa de transmissão adequada era a EVDO, porém sua área de cobertura era muito restrita. Portanto, foi necessário realizar a agregação de conexões da rede CDMA 2000 1x. Desta forma, foi possível atingir a taxa de 200 kbps, que foi a opção, dentre as estudadas, mais próxima da taxa recomendada inicialmente, que era de 384 kbps.

Finalmente, o estudo apresentado em (TAKIGUCHI, 2012) sugere que a agregação de enlaces na camada de aplicação promove elevadas taxas de transmissão e alta disponibilidade, pois o método cria um enlace virtual através da junção de várias conexões. A proposta apresentada no artigo faz uso de uma implementação na camada de aplicação, não sendo necessário realizar configurações adicionais nas demais camadas. O método proposto no artigo faz uso de 3 funcionalidades: um controle dinâmico de enlaces que comuta de/para enlace agregado para/de enlace simples. O uso de distribuição dinâmica de dados mantém uma proporção entre os enlaces observando a largura de banda e a divisão das proporções também é baseada na largura de banda. O experimento realizado consistiu no download de um arquivo de 300 MB por meio da agregação de uma rede cabeada e uma rede sem fio 802.11g e agregação de redes sem fio 802.11g e 802.11n. Os resultados do artigo mostram que houve um ganho expressivo com o uso da agregação dos enlaces correspondente à soma dos dois enlaces únicos, ou seja, um ganho total na agregação.

Em (HALEPOTO, 2014) é testado em laboratório o método CMT-SCTP (*Concurrent Multipath Transfer* uma

extensão do *Stream Control Transmission Protocol*). Neste método é possível usar todas as interfaces disponíveis em um dispositivo para comunicação e com o protocolo SCTP também é possível usar os múltiplos caminhos para conexões que usam o protocolo TCP. Não obstante os testes tenham sido bem-sucedidos, é preciso possuir o controle dos dois lados da aplicação (envio e recepção) para o uso do SCTP. Sendo assim, esta técnica não foi considerada no escopo deste artigo, visto que o foco deste estudo é a agregação de enlaces para acesso aos recursos que já estão disponíveis na Internet. Contudo, para o desenvolvimento de aplicações específicas o CMT-SCTP é uma alternativa técnica importante.

Finalmente, em (FILIPPETTI, 2014) são apresentados diferentes tipos de protocolos de roteamento. Neste livro é mostrado como os protocolos de roteamento utilizam diferentes métricas em sua operação, dividindo os protocolos em 3 classes. A classe chamada Distant Vector utiliza a contagem de saltos como métrica (quando menor a quantidade de saltos, melhor). Já a classe chamada *Link State* observa o estado do enlace (como por exemplo, quanto maior a largura de banda, melhor). Por fim, a classe denominada *Hybrid* contém os protocolos que possuem características das duas primeiras classes. O EIGRP (*Enhanced Interior Gateway Routing Protocol*), que até recentemente era um protocolo proprietário da Cisco, é considerado um dos melhores protocolos de roteamento por ser híbrido e apresentar vantagens presentes nos protocolos das duas primeiras classes. O EIGRP também é uma alternativa técnica interessante a ser considerada em trabalhos futuros envolvendo agregação de tráfego em enlaces móveis.

3. Proposta e Arranjo Experimental

Este trabalho propõe uma avaliação da agregação de enlaces de diferentes operadoras de telefonia móvel e estuda o impacto de diferentes políticas de agregação. A Figura 1 fornece uma representação esquemática da proposta. Serão utilizados dois modems de operadoras distintas e um módulo de agregação de tráfego ficará responsável por obter a demanda original por transferência de dados e obter os dados usando os dois modems simultaneamente. Os modems são usados pelo módulo agregador de tráfego respeitando os pesos α e β , que correspondem à preferência pela operadora A ou B, respectivamente. É importante ressaltar que, em um ambiente computacional típico de um cliente doméstico ou corporativo, a aplicação que demanda o uso da Internet utiliza apenas um dos modems por vez, ainda que os modems estejam fisicamente conectados, quando um módulo específico para agregação não é usado para aproveitar ambas as conexões. Este trabalho tem como objetivo principal avaliar o benefício obtido quando os dois modems são usados simultaneamente, incluindo a definição apropriada dos pesos α e β e um estudo de caso com operadoras que atuam na Região Metropolitana do Recife (RMR).

Além disso, este trabalho realiza um estudo sobre o benefício da agregação de tráfego considerando diferentes requisitos de aplicações, relacionadas com as seguintes categorias: navegação, P2P, streaming e jogos online.

A subseção 3.1 detalha a forma como os experimentos foram conduzidos para avaliação dos benefícios da agregação de tráfego de enlaces móveis.

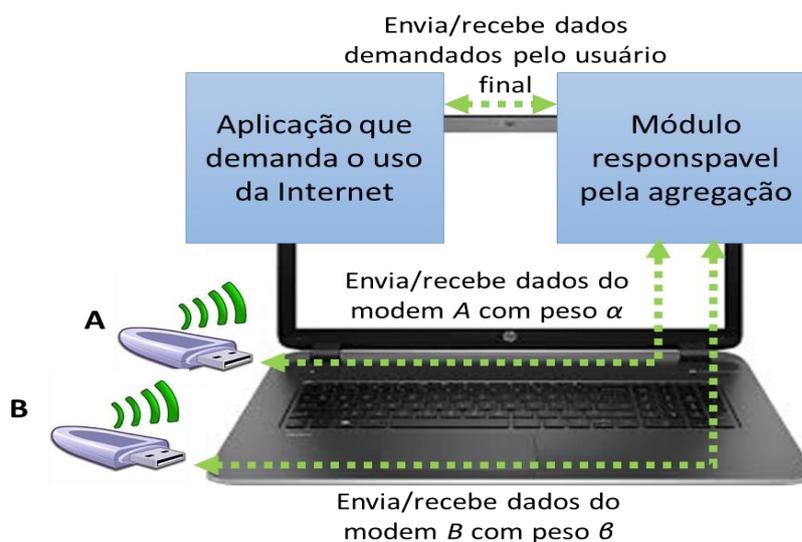


Figura 1: Representação esquemática da proposta para avaliação de agregação de enlaces móveis.

Fonte: Os Autores (2016).

3.1. Arranjo experimental

Os experimentos realizados para avaliação dos benefícios da agregação de tráfego neste artigo foram baseados

na transferência de um arquivo padrão de 24,38 MB de um servidor para a estação cliente, que estava conectada a dois modems e possuía um módulo para agregação do tráfego *downstream* (SpeedBit, 2016).

A avaliação dos pesos α e β foi feita com base nas seguintes variações de cenários:

- Uso do mesmo peso para os modems A e B ($\alpha = \beta$);
- Uso de peso maior para a melhor rota, com base na taxa de transferência obtida por um teste simulado;
- Uso de peso maior para a pior rota, com base na menor taxa de transferência obtida por um teste simulado.

Estes 3 cenários foram considerados para permitir a análise do impacto de escolhas adequadas e inadequadas quando diferentes políticas de agregação são consideradas. Foram usados modems de duas operadoras que atuam na RMR, a saber: modems da operadora Claro e da operadora Tim. Os testes consideraram o uso dos modems individualmente e de ambos combinados. Por questões éticas, nos resultados não há uma indicação biunívoca de qual operadora está relacionada a qual série de dados e os nomes das operadoras foram substituídos por letras, mantendo-se, contudo, a coerência dos resultados.

Ao todo foram realizadas 45 avaliações independentes, sendo 15 para cada operadora individualmente e 15 com os enlaces agregados. Todos os experimentos foram realizados no mesmo dia e no mesmo local e de forma sequencial, ou seja, primeiro foram realizados os 15 testes com a operadora A, imediatamente após os 15 testes com a operadora B e em seguida usando a ferramenta de distribuição do tráfego.

Os experimentos foram realizados em um computador Intelbras Iplug com Windows 7. Para a agregação dos enlaces neste sistema operacional (SO) foram necessários dois passos preliminares. O primeiro consistiu na configuração de duas chaves de registro para permitir o uso de mais de uma conexão ao mesmo tempo no Windows 7, visto que este não é o comportamento padrão do SO (MICROSOFT, 2011). As duas chaves de registro criadas foram chaves DWORD de 32 bits, uma com nome "RandomAdapter" e a segunda com nome "SingleResponse", e a ambas foi atribuído o valor "1". O segundo passo para permitir a agregação de tráfego foi a instalação da ferramenta "Node JS" (NODE.JS, 2016) que permite, por meio da função "Dispatch-Proxy" (Kirszenberg, 2013) a agregação de todas as interfaces de rede disponíveis, e no presente caso os dois modems. É importante ressaltar que o uso de "Dispatch Proxy não aumenta a taxa de transmissão individual dos enlaces, mas permite a obtenção do efeito de agregação de tráfego, por meio da distribuição das conexões entre os enlaces disponíveis, e conseqüentemente um ganho real na taxa de transmissão total do sistema.

4. Resultados

A Figura 2 apresenta um panorama geral de todas as medições realizadas para o envio do arquivo padrão quando as operadoras são usadas individualmente e quando os modems são agregados de forma igualitária. Com base na Figura 2, pode-se observar o seguinte:

1. Uso da operadora A: a taxa de transferência média, usando apenas a operadora A, foi de 236,74 KB/s com desvio padrão de 103,51 KB/s. A transferência do arquivo padrão durou, em média 125s.
2. Uso da operadora B: a taxa de transferência média, usando apenas a operadora A, foi de 529,90 KB/s com desvio padrão de 73,18 KB/s. A transferência do arquivo padrão durou, média 48s.
3. Agregação com pesos iguais: usando a agregação das duas operadoras, a taxa de transferência média foi de 665,64 KB/s, com desvio padrão de 107,5 KB/s. A transferência do arquivo padrão durou, em média, 38 segundos.

É possível notar que a operadora A forneceu uma taxa de transferência inferior quando comparada com a operadora B. Além disso, a agregação das duas operadoras, com pesos iguais, não somou as duas taxas, mas sim parte das duas. Isso se deve ao fato de que são iniciadas várias conexões simultâneas e, conforme alguma operadora entrega os dados requisitados em cada conexão, em seguida ela obtém novas partes do arquivo para transferir. Contudo, cada enlace continua trabalhando dentro de sua limitação e pode ocorrer a situação na qual a operadora que apresenta a maior taxa não possui mais pedaços para transferir e precisar aguardar um tempo relacionado à limitação da operadora com menor taxa. O cenário em que a transferência com as operadoras agregadas demorou mais do que apenas uma operadora individualmente pode ser visto no experimento número 8, por exemplo.

Com base nos resultados apresentados na Figura 2 e comparando apenas as médias, é possível notar que a operadora A tem, aproximadamente, o 44% da taxa média da operadora B. A partir deste fato, foi realizado o experimento de atribuir pesos diferentes para modems diferentes. Como a diferença entre as operadoras é, aproximadamente, metade da taxa de transferência, o arquivo padrão foi dividido logicamente em 3 partes iguais, ou seja, partes de aproximadamente 8,12 MB. A operadora com maior peso (com base na taxa de transferência) ficou responsável por transferir 2/3 do arquivo e a outra operadora ficou responsável por transferir 1/3 do arquivo. A Figura 3 resume os resultados obtidos neste estudo, a saber:

1. Agregação com peso maior para a operadora A: nesta configuração, a operadora A, que teve menor taxa

de transferência média, ficou responsável por 2/3 do arquivo. Com isso, essa operadora fornece 68 segundos, ou 1 minuto e 8 segundos, para transmitir 16,25 MB, enquanto que a operadora B transmitiu o 1/3 restante do arquivo em 15,34 segundos. Desta forma, o tempo total de transferência obtido foi de 1 minuto e 8 segundos, pois as duas operadoras iniciam a transferência ao mesmo tempo, então a operadora B termina sua parte e fica limitada ao término da operadora A.

2. Agregação com peso maior para a operadora B: neste cenário, a operadora B, que tem a maior taxa de transferência ficou responsável por 2/3 do arquivo, enquanto que a operadora A ficou responsável por 1/3 do arquivo. Com isso, a operadora B obteve 30,71 segundos para transferir 16,25 MB, enquanto que a operadora A obteve um tempo um pouco maior de 34,40 segundos para transferir 8,12 MB do arquivo. Com isso, o tempo de transferência total obtido foi de 34,40 segundos que é menor do que o tempo médio obtido com pesos iguais para ambas as operadoras. Esse valor também fica limitado pela conexão de menor velocidade.

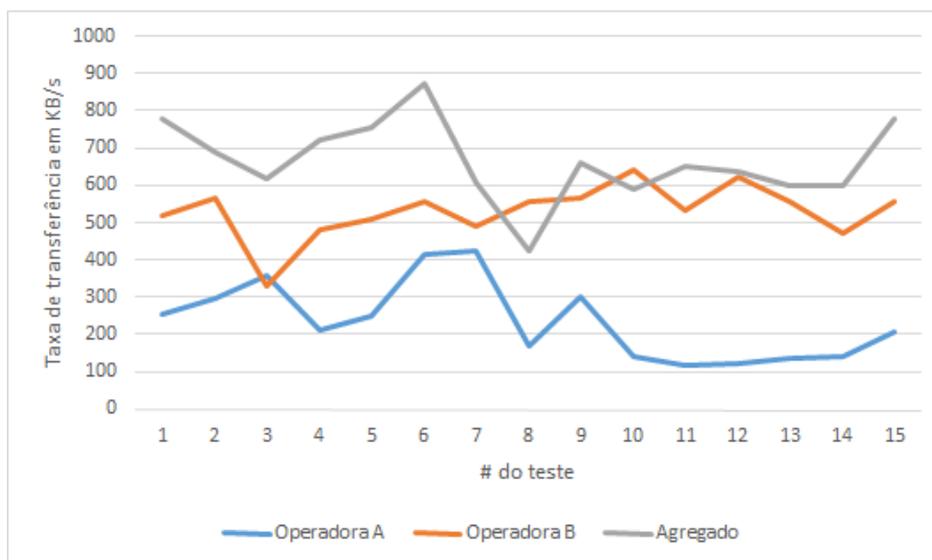


Figura 2: Tempo para download de um arquivo padrão usando as operadoras individualmente e uma agregação de tráfego igualitária.

Fonte: Os Autores (2016).

É possível perceber que, embora a agregação com pesos iguais já ofereça ganhos reais de aproximadamente 25%, é importante analisar o histórico médio de desempenho dos enlaces e aplicar pesos de acordo com a taxa de transferência obtida. Comparando a agregação de pesos iguais e a agregação aplicado os pesos adequados foi possível obter um ganho adicional de 11% apenas devido à configuração correta dos pesos. A Figura 3 apresenta a variação no tempo de transferência quanto aplicado os pesos específicos.

Com base nos experimentos conduzidos e nos resultados obtidos, é possível recomendar, por meio de uma análise qualitativa, o melhor cenário para as aplicações mais usadas nas redes móveis apresentadas na Seção 2, a saber: navegação, P2P, streaming e jogos online:

- **Navegação:** para a navegação é recomendado o uso apenas da operadora B. Isso se deve ao fato de que a navegação trabalha, em sua maioria, com sessões e, neste caso, a agregação de enlaces não traria grandes vantagens, apenas a redundância dos enlaces. Além disso a navegação não exige grandes taxas de transferência, podendo ser usada apenas com um enlace individual.
- **P2P:** embora as conexões P2P façam uso do protocolo TCP para comunicação (SCHULZRINNE, 2007), a sua grande quantidade de conexões iniciadas para transferir um arquivo faz com o sistema possa obter elevados ganhos com a agregação de enlaces, pois as várias conexões criadas serão divididas entre os enlaces agregados. Além disso, para compartilhamento e armazenamento distribuído de dados em redes P2P quanto mais largura de banda melhor, ou seja, é recomendado o uso dos enlaces agregados.
- **Streaming:** aplicações de streaming (Netflix, Youtube, Globo.com) em sua maioria fornecem o conteúdo armazenado em um servidor e o usuário apenas recebe os dados para assistir a transmissão. Com isso, é recomendado o uso do enlace B de forma individual, pois o controle dessa transmissão é por sessão, logo todo o conteúdo irá ser transmitido pelo enlace que iniciou a sessão não fazendo sentido, desta forma, usar a agregação. A escolha pela operadora B se deve ao fato desta operadora ter maior taxa de download nos testes realizados.

- **Jogos on-line:** para os jogos online o fator mais importante é a latência (CGI.BR, 2015) e este fator não foi incluído no escopo desse estudo, sendo assim não há recomendação direta. Contudo, a agregação não consegue atenuar a latência, então não é um cenário recomendado, pois além de não atenuar o atraso, os jogos on-line também fazem uso de sessão, ou seja, uma vez iniciada a sessão por um enlace, está conexão será usada durante toda a transmissão de dados.

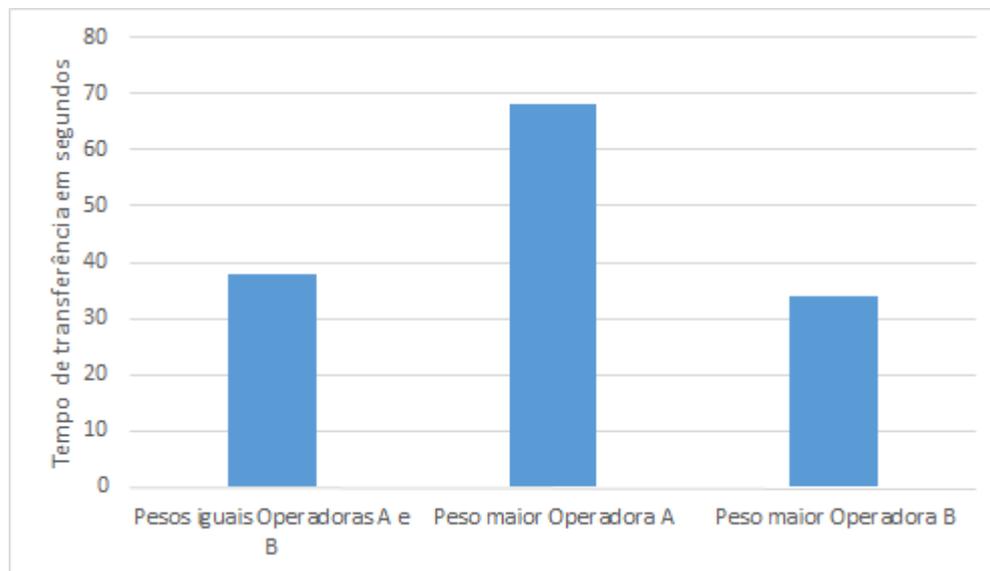


Figura 3: Tempo de transferência após a aplicação de pesos específicos para cada enlace.

Fonte: Os Autores (2016).

Vale a pena reforçar que os resultados obtidos neste trabalho podem ser usados como um direcionador ou fonte de informação adicional para empresas locais que demandam elevadas taxas de transmissão e mobilidade simultaneamente, e estejam cogitando o uso de agregação de enlaces móveis como uma alternativa técnica para viabilizar o seu negócio. Considerando a lacuna existente sobre trabalhos que divulguem o desempenho desta técnica quando aplicada em operadoras da telefonia brasileira, espera-se que este trabalho forneça subsídios iniciais para uma investigação mais aprofundada no futuro.

5. Conclusões

Este artigo apresentou os alicerces teóricos relacionados com a agregação de enlaces móveis e aplicou diferentes políticas de agregação para avaliação dos benefícios obtidos em termos de taxa de transferência para operadoras que atuam na RMR. A partir do que foi exposto neste artigo é possível perceber que a agregação de enlaces permite um ganho real no tempo necessário para a transferência de cerca de 72%, quando comparado a média da operadora com menor taxa com o valor da agregação. Além disso, embora a agregação com pesos iguais já ofereça ganhos reais de aproximadamente 25% na taxa de transferência quando comparada a melhor operadora com a agregação, é importante considerar o desempenho dos enlaces e aplicar pesos de acordo com o desempenho individual obtido. Comparando a agregação de pesos iguais e a agregação aplicado os pesos adequados foi possível ter um ganho adicional de 11% na taxa de transferência apenas devido à configuração adequada dos pesos. Conclui-se, portanto, com base nos resultados deste artigo, que uma avaliação preliminar do desempenho das operadoras locais e dos requisitos das aplicações é imprescindível para determinar a política ideal de agregação, incluindo a definição dos pesos configurados para cada enlace e a abordagem de agregação (como a escolha entre agregação por pacote ou por fluxo/sessão).

Como sugestão de trabalhos futuros, é importante expandir o estudo para avaliar o impacto da agregação de enlaces em outros cenários, como em situações relacionadas com mais de duas operadoras e situações de alta mobilidade e que exijam *handoff* constante, pois a variação no desempenho relativo entre as operadoras pode tornar a seleção de políticas de agregação mais desafiante. Além disso, é importante considerar como critérios de seleção para agregação os outros requisitos de QoS, como latência, de modo a obter estratégias específicas para todos os nichos de aplicação e, conseqüentemente, para todos os ramos de atuação das empresas que demandam serviços de Internet. O uso de software próprio nos modems também é uma linha de investigação interessante em contraponto ao uso de modems pré-programados. Outro ponto importante para futuras pesquisas é considerar o uso de algoritmos de roteamento específicos, como o EIGRP e os avanços no protocolo SCTP (e suas extensões).

Referências

- Saleh, A. A. M.; Simmons, J. M. **Technology and architecture to enable the explosive growth of the Internet**, IEEE Communications Magazine, vol. 49, no. 1, pp. 126-132, 2011.
- TANENBAUM, A. S.; WETHERALL, D. J. **Computer Networks: Pearson New International Edition**. 2013.
- ANATEL. **Proposal for the Definition of a Basic Set of QoS Parameters for World-Wide Use**. SG2 Plenary. 2002.
- GOMES, H.; REIS, T. **Banda larga no Brasil**. Disponível em: <<http://especiais.g1.globo.com/tecnologia/banda-larga-brasil/2015/>>. Acesso em: 07 jun. 2016.
- AKAMAI. **Akamai – State of the Internet report from 2015**. Disponível em: <<https://www.akamai.com/us/en/our-thinking/state-of-the-internet-report/>>. Acesso em: 13 set. 2016.
- MARSH, MATTHEW G. **Policy Routing with Linux**. Sams, 2001.
- SERRANO, C. et al. **Latency in broad-band mobile networks**. In: Vehicular Technology Conference, 2009. VTC Spring 2009. IEEE 69th. IEEE, 2009. p. 1-7.
- PEPLINK. **Markets**. Disponível em: <http://www.peplink.com/market/>. Acesso em 30/06/2016.
- BORCHERS, C. **Bonded Cellular Is ENG's Next Frontier**. Disponível em: <<http://www.tvnewscheck.com/article/58560/bonded-cellular-is-engs-next-frontier>>. Acesso em: 30 jun. 2016.
- MEETHAL, S. P.; JYOTHISH, J. **A low cost connectivity solution for rural mobile telemedicine**. In: Global Humanitarian Technology Conference (GHTC), 2011 IEEE. IEEE, 2011. p. 506-511.
- TAKIGUCHI, T. et al. **A new application-level link aggregation and its implementation on Android terminals**. Wireless Communications and Mobile Computing, v. 12, n. 18, p. 1664-1671, 2012.
- HALEPOTO, I. A.; LAU, F. C. M.; NIU, Z. **Implementation of CMT-SCTP in real internet lab setup**. In: Computer & Information Technology (GSCIT), 2014 Global Summit on. IEEE, 2014. p. 1-6.
- FILIPPETTI, M. **CCNA 5.0 – Guia Completo de Estudo**. Florianópolis: Visual Books, 2014.
- SPEEDBIT. **Dap Home Page**. Disponível em: <<http://www.speedbit.com/dap/>>. Acesso em: 07 jun. 2016.
- MICROSOFT. **Como usar simultaneamente duas conexões a Internet diferentes**. Disponível em: <<https://support.microsoft.com/pt-br/kb/2646791>>. Acesso em: 07 jun. 2016.
- NODE, JS. **Home Page Node JS**. Disponível em: <<https://nodejs.org/en/>>. Acesso em: 07 jun. 2016.
- KIRSZENBERG, A. **Dispatch-proxy**. Disponível em: <<https://github.com/Morhaus/dispatch-proxy>>. Acesso em: 07 jun. 2016.
- SCHULZRINNE, H. **Peer-to-Peer Protocol (P2PP)**. Disponível em: <<http://www1.cs.columbia.edu/~salman/drafts/draft-baset-p2psip-p2pcommon-01.html>>. Acesso em: 30 jun. 2016.
- CGI.BR. **Desempenho da Internet em jogos online é tema de palestra do Nic.br na 8ª edição da Campus Party**. Disponível em: <<http://www.cgi.br>>. Acesso em: 30 jun. 2016.