

QuAGS: Um Mecanismo de Seleção de Gateways Eficiente Baseado na Qualidade dos Enlaces

Clayton R. da Silva, Diego Passos, Igor M. Moraes, Célio V. N. Albuquerque

Resumo—Este artigo propõe um mecanismo de seleção de gateways que provê de forma eficiente o balanceamento de carga entre os múltiplos gateways de uma rede em malha sem fio. O QuAGS (*Quality-Aware Gateway Selection*) seleciona probabilisticamente o gateway a ser usado por uma conexão de um cliente. A probabilidade de seleção de um gateway é calculada a partir da qualidade do caminho do cliente para esse gateway. Portanto, com o QuAGS, gateways que não seriam selecionados levando-se em conta somente a métrica de roteamento podem ser usados por conexões de saída e, assim, aumenta-se o uso dos recursos da rede. O mecanismo proposto é implementado em roteadores sem fio reais. Experimentos em uma rede em malha sem fio operacional mostram que o QuAGS obtém um melhor balanceamento de carga entre os gateways propiciando nos cenários analisados uma vazão média por conexão até 11% maior quando comparada a de outro mecanismo analisado.

Palavras-Chave—Múltiplos gateways, balanceamento de carga, redes em malha sem fio.

Abstract—This paper proposes a gateway-selection mechanism that efficiently provides load balancing among multiple gateways of a wireless mesh network. QuAGS (*Quality-Aware Gateway Selection*) probabilistically selects the gateway to be used by each outgoing client connection. The probability of selecting a given gateway is based on the quality of the client-gateway path. Therefore, with QuAGS, gateways that would not be selected by only taking into account the routing metric can be used for outgoing connections, thus increasing the usage of network resources. The proposed mechanism is implemented in real wireless routers. Experiments in an operational wireless mesh network show that QuAGS obtains a better load balancing among the network gateways, providing, in the analyzed scenarios, an average throughput per connection up to 11% higher than the one provided by an other mechanism of the literature.

Keywords—Multiple gateways, load balancing, wireless mesh networks.

I. INTRODUÇÃO

As redes em malha sem fio [1], [2] são compostas por roteadores sem fio tipicamente estacionários que formam um *backbone*. Esses roteadores cooperam para prover acesso à *Internet* para clientes móveis através de comunicação em múltiplos saltos. Geralmente, um dos roteadores do *backbone* é configurado como gateway para a *Internet*. Nesse cenário, a tendência é que o tráfego se concentre nos enlaces próximos ao gateway [3]. Quanto maior o número de clientes, maior a disputa pelo acesso ao meio nesses enlaces. Como os recursos do gateway são limitados, o número de clientes da rede é limitado pela capacidade do gateway.

Clayton R. da Silva, Diego Passos, Igor M. Moraes, Celio V. N. Albuquerque, Laboratório MidiaCom, Instituto de Computação, Universidade Federal Fluminense. E-mails: {creis,dpassos,igor,celio}@ic.uff.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPq, Capes, Faperj e TBE.

Outro problema característico nas redes em malha é que a vazão máxima obtida por um nó depende da sua distância, em número de saltos, para o gateway [4]. A vazão de um nó mais próximo ao gateway tende a ser maior que a vazão de um nó mais distante. Uma das causas deste problema provém do protocolo CSMA/CA usado pelo padrão IEEE 802.11, geralmente empregado nas redes em malha sem fio. Esse protocolo garante que nós dentro do mesmo raio de transmissão têm a mesma probabilidade de conseguir acesso ao meio. O CSMA/CA, no entanto, não considera que os pacotes podem ter passado por outras disputas pelo meio anteriormente, em virtude da comunicação em múltiplos saltos. Isso gera injustiça entre os clientes, uma vez que os pacotes de clientes mais distantes experimentam mais disputas pelo meio até alcançarem o gateway. Além disso, pode haver desbalanceamento do uso de recursos da rede. Nós mais próximos do gateway fazem parte de caminhos de outros nós para o gateway. Assim, os nós mais próximos encaminham mais pacotes que os nós mais distantes e, por isso, podem ter seus recursos, como bateria e processamento, exauridos. Por outro lado, nós mais distantes, em geral, encaminham apenas pacotes de seus clientes e, assim, podem ser subutilizados.

O uso de múltiplos gateways para a *Internet* é uma técnica utilizada para aumentar a escalabilidade e a justiça em uma rede em malha sem fio [5], [6], [7]. Essa técnica permite o balanceamento do tráfego da rede entre os diferentes gateways e também reduz a injustiça, pois permite que clientes acessem a *Internet* através de um gateway mais próximo. Nesse cenário, os clientes podem experimentar trocas de gateways por causa de dois fatores. Primeiro, os clientes devem ser capazes de escolher o melhor gateway e a melhor rota para ele em função de uma métrica de roteamento. Além disso, os clientes são potencialmente móveis, podendo trafegar por áreas cobertas por diferentes gateways.

Em uma rede em malha sem fio, as trocas de gateway podem ser um problema. Como tais redes, normalmente, são usadas para acesso à *Internet*, os gateways em geral usam a técnica NAT (*Network Address Translation*) [8] para que a quantidade de endereços IP públicos necessários seja baixa [9]. A troca de gateways em redes que utilizam NAT gera mudança no endereço IP de origem dos pacotes que deixam a rede, causando a quebra das conexões TCP ativas durante essa troca. Logo, é necessária uma solução que realize o balanceamento de carga entre gateways de uma rede em malha, evitando a quebra de conexões TCP em virtude do NAT, como através da ferramenta DynTun [9].

Este artigo se foca na solução deste problema. O mecanismo proposto, chamado de QuAGS (*Quality-Aware Gateway Selec-*

tion), seleciona probabilisticamente o *gateway* a ser usado por uma conexão de um cliente. A probabilidade de seleção de cada *gateway* é calculada a partir da métrica do caminho do cliente a esse *gateway*. O objetivo de utilizar probabilidades, e não somente a métrica de roteamento, para a seleção é fazer com que *gateways* que *a priori* não seriam utilizados possam ser selecionados, aumentando o uso dos recursos da rede. O QuAGS é implementado em roteadores sem fio reais, utilizando por base a ferramenta DynTun. Isso garante que não há problemas de quebra de conexão em virtude do NAT. O QuAGS usa a marcação de pacotes e a criação de túneis lógicos dos nós aos *gateways*. Uma nova conexão de um cliente conectado a um nó, com destino externo à rede, seleciona um *gateway* com probabilidade proporcional à qualidade do caminho entre o nó e o *gateway*. O mecanismo é analisado através de testes reais em uma rede experimental. Nos testes realizados, o QuAGS obtém um melhor balanceamento de carga entre os *gateways* da rede para cenários com diferentes cargas de tráfego e condições dos enlaces da rede. Consequentemente, o QuAGS aumenta a vazão média por conexão em até 11%, quando comparado à ferramenta DynTun. Mostra-se também que a qualidade do caminho para os *gateways* sofre menos variações com o QuAGS em virtude do balanceamento de carga.

O restante desse texto está organizado da seguinte forma. A Seção II apresenta os trabalhos relacionados ao uso de múltiplos *gateways* em redes em malha sem fio. A Seção III explica brevemente a ferramenta DynTun, que serviu de base para a implementação do QuAGS. Ainda nessa seção, as diferenças entre os dois trabalhos serão evidenciadas. Na Seção IV, o mecanismo QuAGS é proposto, tendo seus objetivos e suas características discutidos. A Seção V aborda a implementação do mecanismo proposto nos nós de uma rede em malha experimental. Os testes realizados nessa rede e a análise de seus resultados são apresentados na Seção VI. Finalmente, a Seção VII conclui o artigo e apresenta possíveis trabalhos futuros.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

O uso de múltiplos *gateways* para balancear a carga de uma rede em malha sem fio é proposto em vários trabalhos.

Ancillotti *et al.* [5] apresentam duas estratégias adaptativas para balanceamento de carga e seleção de *gateways*, que se baseiam nas diferentes capacidades de cada *gateway*. A MRC (*Maximum Residual Capacity*) propõe que um nó cliente selecione o *gateway* com a máxima capacidade disponível. Assim, outros *gateways* distantes do cliente podem ser escolhidos. Por outro lado, a MNC (*Maximum Normalized Cost*) define que cada nó cliente deve calcular uma função utilidade para cada *gateway*. Quanto maior o custo entre um cliente e o *gateway*, menor a utilidade que o nó associa a ele. O trabalho de Ancillotti *et al.* difere do QuAGS pelo fato do NAT ser executado por um único nó gerenciador da rede que está ligado a todos os *gateways*. O uso desse nó gera dois problemas. Em primeiro lugar, o nó gerenciador é um ponto central de concentração do tráfego da rede, limitando a capacidade de escoamento de tráfego. Além disso o nó

gerenciador é um ponto de falha, pois sem ele a rede se torna inacessível. O QuAGS, por outro lado, age de forma distribuída e transparente para os clientes.

Iqbal *et al.* [6] propõem o LBGD-AODV (Load-Balanced Gateway Discovery AODV), uma modificação no protocolo de roteamento AODV para alcançar balanceamento de carga em redes com múltiplos *gateways*. Quando um novo nó entra na rede, causando mudança na topologia, o algoritmo re-seleciona o melhor *gateway* para cada nó. O algoritmo usa informações como número de saltos e carga de cada *gateway*. No entanto, esse trabalho se diferencia do QuAGS pela escolha do *gateway* para cada nó cliente ser fixa enquanto a topologia não é modificada, ou seja, particionando a rede entre nós conectados a cada *gateway*.

Os trabalhos de Lakshmanan *et al.* [10] e Ito *et al.* [11] ressaltam a importância de um nó cliente poder usar múltiplos *gateways*, sem particionamento, para alcançar o balanceamento de carga entre eles. Em ambos os trabalhos, é necessário um nó central que se conecta à rede cabeada. Por sua vez, todos os *gateways* da rede em malha estão conectados a esse nó central, característica essa que é evitada por este trabalho.

Nandiraju *et al.* [7] propõem um algoritmo que constrói uma lista de *gateways* para cada nó, ordenando-a pela qualidade da rota. Cada nó envia seu tráfego para o *gateway* que possui a rota de maior qualidade. Quando a fila de pacotes de um *gateway* ultrapassa um determinado limiar, ele envia uma mensagem de notificação de congestionamento para os nós conectados a ele. Ao receber essa notificação, um nó seleciona o próximo *gateway* da sua lista, e passa a usá-lo. O problema deste algoritmo é que a rede pode sofrer com a oscilação de tráfego entre seus diferentes *gateways*. O QuAGS busca realizar um balanceamento de carga mais eficiente entre os diferentes *gateways*, evitando que os nós somente realizem trocas quando há saturação.

III. A FERRAMENTA DYN TUN

A principal função da ferramenta DynTun [9] é solucionar o problema da quebra da semântica das conexões TCP que ocorre com a alternância entre múltiplos *gateways* que realizam NAT. O DynTun se baseia na criação dinâmica de túneis lógicos e na marcação de pacotes pertencentes a uma mesma conexão, de forma transparente para o usuário. Suas principais características são: facilidade de desenvolvimento, implantação e modificação; transparência para os clientes; baixo custo de implementação e manutenção; operação de forma autônoma e dinâmica.

Analisando o DynTun, pode-se perceber o potencial do uso dessa ferramenta para prover o balanceamento de carga em redes em malha sem fio. Com o DynTun, se uma conexão com um servidor externo é aberta por um cliente da rede em malha através de um *gateway*, essa conexão sempre usa esse mesmo *gateway* enquanto estiver ativa. Com o uso desta rota entre o cliente e o *gateway*, a qualidade da mesma pode cair, como retrata a Figura 1. Essa figura mostra a variação da

qualidade¹ dos melhores caminhos de um cliente para dois *gateways* diferentes em função do tempo. Essas curvas foram obtidos na rede real utilizada nos testes deste artigo. As quedas observadas na figura ocorrem em função da realização de um dos testes apresentados na Seção VI. Esse fenômeno se deve ao fato do tráfego de dados competir com os pacotes de controle utilizados para avaliar a qualidade dos enlaces, em especial, no caso de protocolos de roteamento que realizam medidas ativas de qualidade [2]. Com o DynTun, mesmo que o *gateway* de melhor qualidade se altere durante o tempo de atividade de uma conexão, a ferramenta irá utilizar o *gateway* originalmente selecionado para essa conexão. Outras conexões abertas neste período, no entanto, poderão selecionar outros *gateways* de melhor qualidade. Portanto, o DynTun realiza indiretamente o balanceamento de carga, mesmo não sendo o seu objetivo principal.

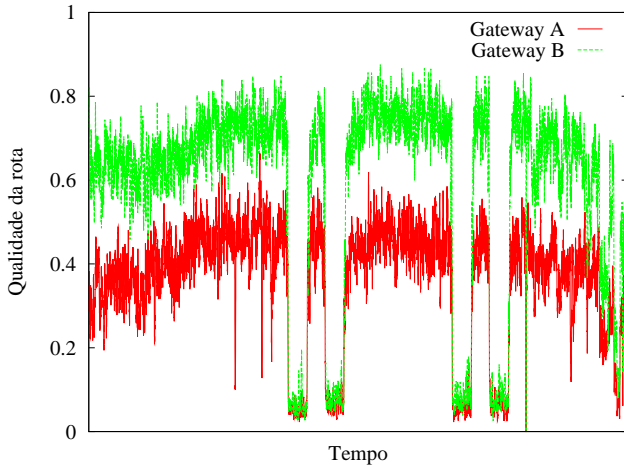


Fig. 1. Qualidade dos melhores caminhos entre um nó e os dois *gateways* da rede de testes.

O mecanismo proposto neste trabalho difere do trabalho original do DynTun por realizar um balanceamento de carga pró-ativo. O mecanismo usa a ferramenta DynTun para se aproveitar da eficiente solução para o problema de quebra da semântica das conexões TCP. Com o DynTun, um cliente sempre seleciona o *gateway* com o caminho de maior qualidade no instante de abertura da conexão. Assim, é possível que *gateways* com caminhos de menor qualidade nunca sejam selecionados por um cliente, o que reduz a eficiência do uso de múltiplos *gateways*. Nesse cenário, tem-se um menor aproveitamento dos recursos da rede e existe a possibilidade de saturação de um subconjunto dos *gateways*. Por outro lado, com o QuAGS, o cliente seleciona probabilisticamente o *gateway* a ser usado por uma conexão com base na qualidade dos caminhos. Assim, *gateways* com caminhos de maior qualidade são selecionados com maior probabilidade, recebendo um número maior de conexões. Porém, *gateways* com caminhos de menor qualidade também podem receber conexões, de forma a não serem subutilizados.

¹No restante deste artigo, o termo qualidade de um *gateway* é usado para se referir de forma abreviada ao custo do caminho entre um cliente e um *gateway*. Portanto, *gateways* de melhor qualidade são aqueles que possuem caminhos de menor custo.

IV. O MECANISMO QUAGS

O mecanismo QuAGS (*Quality-Aware Gateway Selection*) proposto neste artigo utiliza a qualidade dos enlaces para calcular a probabilidade de seleção de um *gateway* e, assim, prover o balanceamento de carga entre os múltiplos *gateways* de uma rede em malha sem fio. Assume-se que redes em malha usam métricas cientes da qualidade dos enlaces [2]. Assim, cada enlace da rede em malha tem uma determinada qualidade, de acordo com a métrica utilizada.

Em geral, usando apenas a métrica de roteamento, um cliente seleciona um *gateway* de acordo com o custo do caminho para alcançá-lo. Nessa situação, é possível que apenas poucos *gateways* sejam usados pelas conexões de saída ou ainda que, durante o seu período de atividade, uma conexão experimente uma mudança de *gateway*. O QuAGS busca solucionar ambos os problemas.

Para lidar com as mudanças de *gateways*, o QuAGS usa a ferramenta DynTun e, assim, todos os pacotes de uma conexão terão a marca do *gateway* escolhido e serão roteados por um túnel lógico até ele, como é detalhado na Seção V. Para prover o balanceamento de carga, o QuAGS define um valor para a probabilidade de seleção associada a cada *gateway*. Com base nesse valor, determina-se qual *gateway* será usado por essa conexão. A probabilidade de seleção de um *gateway* g_j por um cliente c_i é calculada localmente pelo cliente de acordo com a qualidade de g_j . Supondo que q_{c_i, g_j} é a qualidade do *gateway* g_j para o cliente c_i , a probabilidade P_{c_i, g_j} de c_i selecionar g_j é dada por:

$$P_{c_i, g_j} = \frac{q_{c_i, g_j}}{\sum_{k=1}^N q_{c_i, g_k}}. \quad (1)$$

Assim, quanto maior a qualidade do caminho para um dado *gateway*, maior a probabilidade que esse *gateway* seja escolhido no instante do estabelecimento de uma nova conexão. Logo, a carga da rede é balanceada de acordo com a qualidade dos *gateways*. Em geral, um cliente terá a maioria de suas conexões roteadas pelo seu *gateway* de melhor qualidade, que geralmente é aquele mais próximo geograficamente. Porém, algumas conexões deste cliente também usarão outros *gateways*. Consequentemente, os recursos da rede são usados de forma mais eficiente. É importante ressaltar que o cálculo da qualidade do caminho para um dado *gateway* q_{c_i, g_k} depende da métrica usada na rede. Com o passar do tempo, é possível que a qualidade dos enlaces dos *gateways* de melhor qualidade diminua, pois, como dito anteriormente, o tráfego de dados compete com os pacotes de controle usados para medir a qualidade dos enlaces. Logo, a probabilidade de seleção desses *gateways* para novas conexões diminui. Assim, os outros *gateways* terão sua probabilidade incrementada. Ainda assim, nenhum *gateway* é subutilizado, apenas as suas probabilidades de escolha mudam de acordo com a carga da rede. O valor da probabilidade de cada *gateway* é recalculado periodicamente para que as mudanças da métrica dos enlaces se reflitam nas escolhas dos *gateways*. Para atenuar variações, em um dado instante de atualização t , o valor da probabilidade de seleção atual $P_{c_i, g_j}(t-1)$, que foi observado em um instante

de atualização anterior $t - 1$, será substituído pelo valor t observado em $P_{c_i, g_j}(t)$ se, e somente se:

$$|P_{c_i, g_j}(t) - P_{c_i, g_j}(t - 1)| < \varepsilon, \quad (2)$$

onde ε é o erro aceitável do cálculo da probabilidade. Do contrário, $P_{c_i, g_j}(t) = P_{c_i, g_j}(t - 1)$. O parâmetro ε é uma constante que pode ser modificada de acordo com a sensibilidade desejada para a variação do cálculo da probabilidade de seleção.

V. IMPLEMENTAÇÃO

O QuAGS é implementado como um módulo do protocolo de roteamento OLSR. É importante ressaltar que o QuAGS é independente do protocolo de roteamento usado na rede e a escolha do OLSR é somente para fins de implementação do mecanismo. O QuAGS cria túneis IP dinâmicos com a ferramenta *Iproute2* e também utiliza a ferramenta *iptables* e seus módulos *conntrack* e *statistic*.

Com o QuAGS, um nó do *backbone* da rede, chamado deste ponto em diante de ponto de acesso, mantém uma lista de *gateways*. Essa lista contém o endereço IP de cada *gateway* e a qualidade do caminho até ele. Para tanto, foi feita uma pequena modificação no protocolo de roteamento OLSR, para que esta lista fosse guardada. Embora esta mudança tenha sido feita sobre o OLSR-ML [12], diferentes protocolos e métricas de roteamento podem ser utilizados, desde que o valor da métrica seja visível ao QuAGS.

Com a lista de *gateways* e suas respectivas métricas, o QuAGS modifica o *firewall* do ponto de acesso através da ferramenta *iptables* para que cada nova conexão originada em um cliente desse ponto de acesso receba uma marcação, através do módulo *conntrack*, de um determinado túnel. Com base nessa marcação, cada túnel é direcionado a um *gateway*. A marcação de uma nova conexão é feita de acordo com a probabilidade de seleção de cada *gateway*, através do módulo *statistic*. Os pacotes subsequentes dessa conexão receberão a mesma marcação que o primeiro pacote recebeu.

VI. TESTES E RESULTADOS

Para avaliar o desempenho do mecanismo QuAGS, foram realizados testes em uma rede em malha sem fio experimental. Essa rede é composta por 12 roteadores *Linksys WRT54G* distribuídos por salas de dois andares do Instituto de Computação da Universidade Federal Fluminense (UFF). A topologia da rede é apresentada na Figura 2. Os nós A e B são os *gateways*. O protocolo de roteamento adotado pela rede é o OLSR-ML [12]. O erro ε adotado nos testes do QuAGS é de 0,1.

Os testes realizados têm como objetivo analisar o balanceamento de carga de conexões TCP entre os *gateways* com o QuAGS e o DynTun para verificar o impacto desse balanceamento na vazão média das conexões de saída da rede. Nos testes, conexões TCP foram abertas de um cliente conectado ao nó 6 para um servidor externo à rede sem fio. Esse nó foi escolhido devido ao fato de estar aproximadamente localizado à mesma distância em número de saltos dos dois *gateways* da rede. A razão de usar o protocolo TCP é verificar a máxima vazão possível, além de confirmar que o QuAGS mantém a

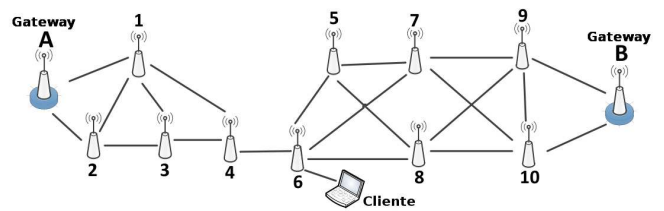


Fig. 2. Topologia da rede dos testes

característica do DynTun de manutenção da semântica das conexões. As conexões TCP foram criadas a partir da ferramenta *iperf*. Em cada rodada de testes, 100 conexões de 120 s de duração são abertas pelo cliente e define-se um número máximo de conexões concorrentes por rodada. Uma rodada pode ter até 2, 4 ou 6 conexões concorrentes. O aumento de carga na rede é gradual, de forma que, no início dos testes, apenas uma conexão é aberta e, ao longo do tempo, novas conexões são abertas em intervalos definidos pelo número máximo de conexões concorrentes de cada rodada. Cada rodada para um dado número de conexões concorrentes é repetida três vezes, uma em cada período do dia (manhã, tarde e noite), durante três dias diferentes. Em cada rodada, o experimento é realizado com o QuAGS e depois com o DynTun. O objetivo dessa estratégia de realização dos testes é reduzir o efeito das condições variáveis da rede nas diferentes horas do dia nos resultados dos experimentos.

A Tabela I contém o percentual de conexões encaminhadas para os *gateways* da rede em cada teste. Cada célula tem estrutura A% / B%, onde A e B são os percentuais de uso de cada *gateway* em cada rodada nos três períodos do dia. Percebe-se que, quase na totalidade dos testes, o QuAGS faz uma distribuição mais balanceada das conexões entre os *gateways* da rede. Também percebe-se que, em aproximadamente 90% dos testes, o *gateway* B é utilizado com maior frequência que o *gateway* A. É importante ressaltar que não houve quebra de conexões devido a mudanças de *gateways* com nenhum dos dois mecanismos em todas as rodadas de teste.

TABELA I
PERCENTUAL DE CONEXÕES QUE USAM OS *gateways* A E B.

Período/Conexões	2	4	6
Manhã (DynTun)	30% / 70%	31% / 69%	26% / 74%
Manhã (QuAGS)	38% / 62%	46% / 54%	32% / 68%
Tarde (DynTun)	0% / 100%	21% / 79%	12% / 88%
Tarde (QuAGS)	15% / 85%	18% / 82%	56% / 44%
Noite (DynTun)	25% / 75%	19% / 81%	23% / 77%
Noite (QuAGS)	37% / 63%	35% / 65%	43% / 57%

O próximo objetivo é verificar o impacto do balanceamento de carga mais eficiente proporcionado pelo QuAGS na vazão da rede. A Figura 3 mostra a vazão média por conexão estabelecida para as rodadas de testes com até 2, 4 ou 6 conexões concorrentes. Para cada rodada, calcula-se um intervalo de confiança para um nível de confiabilidade de 95%, representado por barras verticais.

Pode-se perceber que a vazão média por conexão, em todos

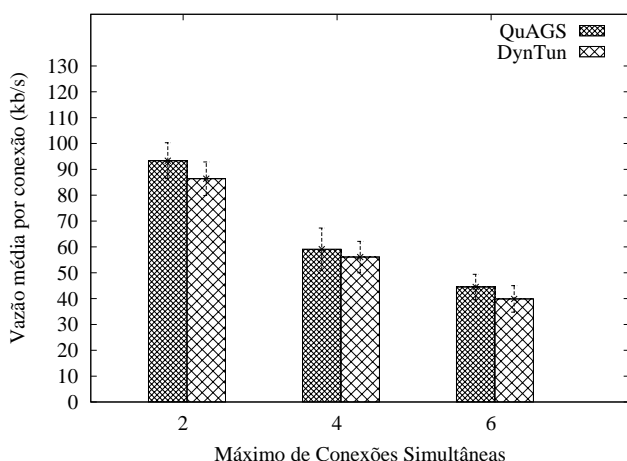


Fig. 3. Vazão média por conexão para diferentes números máximos de conexões concorrentes.

os testes, é superior com o uso do QuAGS. Com o valor máximo de conexões concorrentes, no caso 6, o ganho em relação ao DynTun é de 11%. O ganho com o máximo de 2 conexões concorrentes foi de 8%, e com o máximo de 4 conexões concorrentes foi de 5,5%. Para explicar o melhor desempenho do QuAGS, a rodada de testes realizada no período da tarde para 6 conexões concorrentes é detalhada. Nesse período, a diferença de qualidade da métrica dos caminhos para os dois *gateways* da rede era pequena, como mostram a Figura 1 e os dados da Tabela I. Nesse caso, com o QuAGS 56% das conexões usam o *gateway* A e 44% usam o *gateway* B, apesar da qualidade do *gateway* B ser maior do que a qualidade do do *gateway* A. Como o DynTun faz a seleção de *gateways* com base apenas no valor da métrica de roteamento, o seu balanceamento é menos eficiente: 12% e 88% das conexões usam, respectivamente, os *gateways* A e B, mesmo que a diferença de qualidade entre eles seja pequena. Por ter sido muito mais utilizado com o DynTun, o caminho para o *gateway* B é saturado e somente a partir desse momento o caminho para o *gateway* A é selecionado. Ou seja, quando sua qualidade era superior ao caminho para o *gateway* B. A estratégia de balanceamento do QuAGS, baseada nas métricas de ambos os *gateways*, busca evitar a saturação de um dos *gateways*. Nesse caso, a estratégia do QuAGS se mostrou acertada, pois como a diferença de qualidade entre os *gateways* é pequena, a porcentagem de escolha de cada *gateway* é próxima, mesmo que um tenha qualidade inferior ao outro. Nos outros testes com 6 conexões simultâneas, a diferença entre a qualidade dos *gateways* é maior, mas a distribuição de carga também é mais eficiente com o QuAGS, o que explica o ganho de 11% na vazão média das conexões. As consequências do balanceamento de carga mais eficiente do QuAGS também podem ser avaliadas com base na variação da qualidade dos *gateways*. Nos testes com até 6 conexões concorrentes realizado no período da noite, por exemplo, o melhor *gateway* é trocado 56 vezes com o DynTun. Com o QuAGS, o melhor *gateway* foi trocado apenas 33 vezes no mesmo período. Portanto, o uso do QuAGS tende a tornar a

rede mais estável, de forma a reduzir o efeito de alternância do melhor *gateway*, causada pela saturação do caminho até ele.

VII. CONCLUSÃO

Este trabalho propôs o QuAGS, um mecanismo de seleção de *gateways* para prover balanceamento de carga em redes em malha sem fio. O QuAGS é uma solução de fácil implementação, descentralizada e transparente ao usuário. Com base na qualidade dos caminhos entre um cliente e os *gateways*, determina-se a probabilidade de seleção de um determinado *gateway* por uma nova conexão. Mostrou-se através de experimentos práticos que o QuAGS obtém um balanceamento de carga eficiente entre os *gateways* da rede, o que proporciona um ganho na vazão média das conexões de saída (de até 11% em relação ao DynTun). Concluiu-se também que o QuAGS suaviza o efeito de alternância de conexões entre os múltiplos *gateways*.

Os trabalhos futuros incluem a realização de testes em cenários com mais clientes e mais *gateways* na rede, comparação com outros mecanismos de seleção de *gateways*, o desenvolvimento de um simulador para aumentar a escala dos testes, além do estudo de outras funções para calcular a probabilidade de seleção dos *gateways*.

REFERÊNCIAS

- [1] C. Carrano, C. Magalhaes, D. Saade, and C. Albuquerque, "IEEE 802.11s Multihop MAC: a tutorial," *Communications Surveys & Tutorials*, IEEE, no. 99, pp. 1–16, 2010.
- [2] M. Campista, P. Esposito, I. Moraes, L. Costa, O. Duarte, D. Passos, C. Albuquerque, D. Saade, and M. Rubinstein, "Routing metrics and protocols for wireless mesh networks," *IEEE Network*, vol. 22, no. 1, pp. 6–12, 2008.
- [3] M. Campista, L. Costa, and O. Duarte, "WPR: a proactive routing protocol tailored to wireless mesh networks," in *IEEE GLOBECOM*, 2008, pp. 1–5.
- [4] —, "Privileging long-life packets in multihop wireless networks," in *9th IFIP MWCN*. IEEE, 2007, pp. 136–140.
- [5] E. Ancillotti, R. Bruno, and M. Conti, "Load-balanced routing and gateway selection in wireless mesh networks: Design, implementation and experimentation," in *IEEE WoWMoM*. IEEE, 2010, pp. 1–7.
- [6] M. Iqbal, X. Wang, D. Wertheim, and X. Zhou, "Load balanced multiple gateway support in wireless mesh networks for broadband services," in *18th Annual Wireless and Optical Communications Conference, 2009*. IEEE, 2009, pp. 1–5.
- [7] D. Nandiraju, L. Santhanam, N. Nandiraju, and D. Agrawal, "Achieving load balancing in wireless mesh networks through multiple gateways," in *IEEE MASS*, 2006, pp. 807–812.
- [8] K. Egevang and P. Francis, "The IP network address translator (NAT)," RFC 1631, 1994.
- [9] C. da Silva, D. Passos, J. Duarte, I. Moraes, and C. de Albuquerque, "Dyntun: A tool for providing multihoming support in wireless mesh networks," in *I2TS*, 2010.
- [10] S. Lakshmanan, K. Sundaresan, and R. Sivakumar, "On multi-gateway association in wireless mesh networks," in *2nd IEEE Workshop on Wireless Mesh Networks*, 2006, pp. 64–73.
- [11] M. Ito, T. Shikama, and A. Watanabe, "Proposal and evaluation of multiple gateways distribution method for wireless mesh network," in *Proceedings of the 3rd International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication*. ACM, 2009, pp. 18–25.
- [12] D. Passos, C. de Albuquerque, M. Campista, L. Costa, and O. Duarte, "Minimum loss multiplicative routing metrics for wireless mesh networks," *Journal of Internet Services and Applications*, pp. 1–14, 2011.