

Fatiamento de Rede baseado em Demanda Elástica em Provedores de Internet do Futuro

Rafael L. Gomes^{1,2}, Francisco R. P. da Ponte¹, Arthur Urbano¹,
Luiz F. Bittencourt², Edmundo M. R. Madeira²

¹Centro de Ciência e Tecnologia (CCT) - Universidade Estadual do Ceará (UECE)

{rafaellgom, rodrigo, arthur}@larces.uece.br

²Instituto de Computação (IC) - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

{bit, edmundo}@ic.unicamp.br

Abstract. *Nowadays, the Internet is part of our lives, being an essential way of communication. However, it suffers from limitations that prevent guarantees of Quality of Service (QoS) to the users. Thus, Internet Service Providers (ISPs) need to evolve, adding new technologies and management strategies, such as Network Virtualization (NV), Software Defined Network (SDN) and Network Function Virtualization (NFV), resulting in the Future Internet Service Providers (FISPs). Therefore, FISPs slice their network resources among clients and delivered services, where an algorithm to define the structure of the slice is crucial. Additionally, FISPs should consider the elastic resource utilization of the clients within periods of time through the day. In this context, this paper presents the Per Time Calculation (PETIC) algorithm to define slices based on the daytime bandwidth requirements of the clients. Numerical results suggest that the proposed algorithm defines more suitable slices than the existing approaches.*

Resumo. *Atualmente, a Internet faz parte do cotidiano das pessoas, sendo um meio de comunicação essencial. Contudo, esta sofre de limitações que a impedem de garantir Qualidade de Serviço (Quality of Service - QoS) aos usuários. Portanto, os Provedores de Internet (Internet Service Providers - ISPs) necessitam evoluir, adicionando novas tecnologias e estratégias de gerência, tais como Virtualização de Redes (Network Virtualization - NV), Redes Definidas por Software (Software Defined Network - SDN) e Virtualização de Funções de Rede (Network Function Virtualization - NFV), criando a idéia de Provedores de Internet do Futuro (Future Internet Service Providers - FISPs). Sendo assim, os FISPs fatiam os recursos de rede dentre os clientes e os serviços prestados, onde torna-se crucial um algoritmo para definir a alocação das fatias de rede. Adicionalmente, os FISPs devem considerar a utilização elástica dos recursos de rede pelos clientes ao decorrer do dia. Dentro deste contexto, este artigo apresenta o algoritmo Per Time Calculation (PETIC) para definir o fatiamento da rede baseado nos requisitos de largura de banda dos clientes. Os resultados obtidos sugerem que o algoritmo proposto define fatias de rede mais adequadas que as abordagens existentes.*

1. Introdução

Na última década, os Provedores de Internet (*Internet Service Providers* - ISPs) vêm diversificando a sua prestação de serviço [Liang and Yu 2015], fornecendo diferentes alternativas de acesso à Internet, onde a especificação do serviço é feita em um Acordo de Nível de Serviço (*Service Level Agreement* - SLA). Essas redes de acesso são interconectadas por uma rede de borda em comum antes de alcançar o núcleo da Internet [Doverspike et al. 2010].

Apesar das particularidades dos diferentes tipos de rede de acesso, todas elas precisam lidar com requisitos como baixo atraso, largura de banda (*Bandwidth* - Bw) compatível com a demanda das aplicações, resiliência e os gastos necessários pelo ISP, como por exemplo *Capital Expenditure* (CAPEX) e *Operational Expenditure* (OPEX). Todos esses fatores afetam a Qualidade de Serviço (*Quality of Service* - QoS) e de Experiência (*Quality of Experience* - QoE) dos usuários, os quais ficam frustrados quando o seu acesso a Internet sofre com problemas como lentidão, desconexões constantes, etc.

Atualmente, outra característica vital no acesso a Internet pelos usuários é a demanda elástica por recursos de rede ao decorrer do dia. Este fato ocorre devido a mobilidade urbana dentro das cidades, onde os ISPs necessitam aplicar uma alocação de recursos de rede elástica a fim de prover uma qualidade adequada aos serviços de Internet prestados.

A partir deste cenário, as tecnologias de Virtualização de Redes (*Network Virtualization* - NV), Redes Definidas por Software (*Software Defined Network* - SDN) e Virtualização de Funções de Rede (*Network Function Virtualization* - NFV) tornaram-se tecnologias base para fazer parte dos Provedores de Internet do Futuro (*Future Internet Service Providers* - FISPs) [Bi et al. 2016, Liang and Yu 2015, Han et al. 2015, Bradai et al. 2015, Sama et al. 2015, Nguyen et al. 2015]. A junção das tecnologias de NV, SDN e NFV permitem a divisão dos recursos presentes na infraestrutura de rede em fatias de rede (ou *slices*), onde cada fatia possui uma parte dos recursos de rede, bem como um comportamento particular moldado de acordo com os requisitos exigidos na fatia [Foukas et al. 2017, Vassilaras et al. 2017]. Portanto, os FISPs tendem a aplicar esta abordagem de fatias para melhorar a prestação de serviços, enquanto reduzem o investimento financeiro (CAPEX e OPEX).

A fim de fornecer serviços elásticos, um dos aspectos essenciais é a alocação das fatias de rede, sendo necessário um algoritmo capaz de definir quais componentes da infraestrutura de rede (enlaces e nós) farão parte da fatia para atender os requisitos exigidos pelo cliente. Contudo, ainda não existe uma proposta que atenda aspectos de demanda elástica ao decorrer do dia.

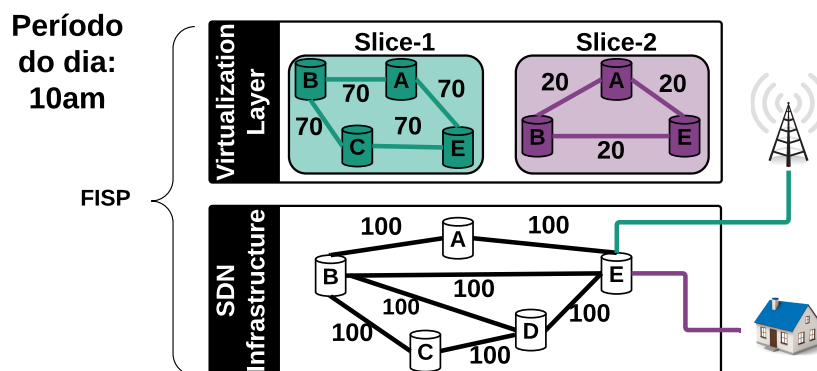
Nesse contexto, este artigo apresenta o algoritmo *Per Time Calculation* (PETIC), o qual aloca as fatias de rede considerando a largura de banda exigida pelos clientes no decorrer do dia. O objetivo do algoritmo é definir a configuração mais adequada para que a fatia de rede criada diminua a utilização de recursos enquanto atende os SLAs firmados com os clientes. O desempenho do algoritmo PETIC foi avaliado e comparado com uma abordagem existente de alocação de valor máximo requisitado para atender demandas. Os resultados sugerem que o algoritmo proposto define fatias de rede mais adequadas para o contexto dos FISPs.

Este artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 descreve o contexto dos FISPs, enquanto que os trabalhos relacionados existentes são apresentados na Seção 3; a Seção 4 introduz o algoritmo proposto; a Seção 5 apresenta o resultado dos experimentos realizados; por fim, a Seção 6 conclui o artigo e cita os trabalhos futuros.

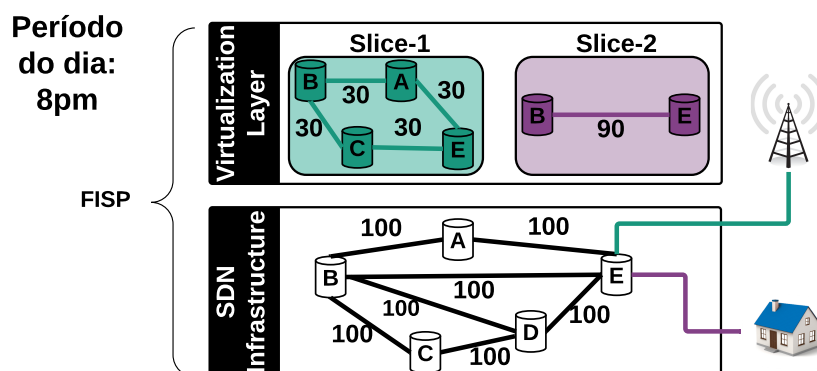
2. Contexto

A integração das abordagens SDN, NV e NFV visa trazer maior flexibilidade e isolamento para os FISPs. Um *network hypervisor* é utilizado para habilitar essa integração, criando fatias de rede customizáveis para atender clientes e prover serviços específicos. Cada fatia de rede é personalizável a partir da configuração do controlador ligado à ela, onde um controlador é responsável por uma fatia de rede. Este controlador pode instanciar as funções de rede presentes no NFV e aplicar essas funções dinamicamente.

A flexibilidade oriunda dessa abordagem permite aos provedores adaptarem as características das fatias de rede em tempo real, moldando-se para atender a demanda atual requisitada. As Figuras 1(a) e 1(b) ilustram tal cenário, onde duas fatias de rede são implantadas para diferentes clientes. Assim, inicialmente cada fatia de rede é moldada de acordo com as características do cliente (Figura 1(a)), e posteriormente são adaptadas para as novas características (Figura 1(b)).



(a) Demanda de Recursos durante o Dia.



(b) Demanda de Recursos durante a Noite.

Figura 1. Ilustração do Contexto

Os parâmetros da fatia de rede englobam algumas métricas, entre elas a largura de banda, que é o foco deste artigo. Nos exemplos ilustrados nas Figuras 1(a) e 1(b), um

cliente negocia um SLA com o FISP, e este implanta o *Slice-1* verde, que possui largura de banda de 70 Mbps em um certo período do dia (Figura 1(a)) e 30 Mbps em outro (Figura 1(b)), atendendo assim a demanda de largura de banda elástica que ocorre no decorrer do dia.

Um algoritmo de alocação é aplicado pelo FISP para definir quais componentes da infraestrutura de rede SDN serão associados a cada fatia de rede a ser implantada a fim de atender um cliente. Portanto, este artigo apresenta um algoritmo para realizar essa tarefa de alocação considerando a demanda elástica de largura de banda ao decorrer do dia especificada no SLA negociado entre cliente e ISP, bem como melhorar a utilização da largura de banda disponível nos ISPs.

3. Trabalhos Relacionados

Nesta seção serão descritos os trabalhos chave relacionados a definição de topologias virtuais e fatias de rede. A Tabela 1 resume os trabalhos descritos, enfatizando a diferença entre eles e a proposta deste artigo. Cada coluna da Tabela 1 especifica uma característica do trabalho: *Contexto* apresenta o ambiente de rede para qual o trabalho foi projetado, enquanto *Critério* é o conjunto de informações nas quais o trabalho se baseia para implantar as redes virtuais ou as fatias de rede.

Nguyen et al. [Nguyen et al. 2015] mostram o *framework* ReServNet, o qual é projetado para a definição multinível de redes virtuais em infraestruturas de redes SDN. O ReServNet foca em um compartilhamento hierárquico de enlaces de rede e a reserva de largura de banda para redes virtuais. Apesar de ser baseado nas abordagens SDN e NV, o *framework* ReServNet não realiza o ajuste dinâmico de recursos alocados para redes virtuais. Este fato faz com que o *framework* não atenda uma das principais necessidades dos FISPs: lidar com a demanda elásticas de recursos para os diversos serviços.

Bradai et al. [Bradai et al. 2015] propõem uma arquitetura para redes celulares móveis baseada em SDN, chamada *Cellular SDN* (CSDN). Esta arquitetura, que tem como base as abordagens SDN e NFV, aplica uma análise de dados da rede em tempo real para otimizar o uso dos recursos de rede e o desempenho das aplicações. O CSDN modifica o plano de controle do SDN a fim de criar um *Knowledge Plane* que realiza essa análise de dados. Portanto, o CSDN não interopera com as abordagens existentes de SDN e NFV, bem como não lida com as questões de largura de banda elástica.

Cheng et al. [Cheng et al. 2012] apresentam um método para gerar um *ranking* de nós mais adequados e um algoritmo guloso para combinar nós de uma rede virtual para nós na infraestrutura de rede. Da mesma forma, Mano et al. [Mano et al. 2014] descrevem um método para otimizar a implantação de redes virtuais sob múltiplos domínios, sem revelar informações privadas de cada domínio. Apesar de ambas as propostas focarem em implantação de redes virtuais, elas são baseadas em contextos específicos (capacidade de gerar *ranking* e múltiplos domínios) e não consideram o aspecto chave deste artigo: a variação na demanda ao decorrer do dia.

Em propostas anteriores, os autores desenvolveram um algoritmo para geração de topologias virtuais de acordo com a confiabilidade de rede desejada: o *Bandwidth and Reliability According to Redundancy* (BRAR) [Gomes et al. 2016]. O algoritmo BRAR define caminhos alternativos com a melhor relação entre a confiabilidade de rede e a

Bw alocada. Contudo, este trabalho, assim como os demais citados, não consideram a variação na demanda de largura de banda ao decorrer do dia. Portanto, a proposta deste artigo evolui as abordagens de alocação de redes virtuais existentes para tratar o comportamento elástico da largura de banda que ocorrem nos FISPs.

Tabela 1. Trabalhos Relacionados

Referência	Contexto	Foco
Nguyen et al. [Nguyen et al. 2015]	SDN	Reserva de Bw
Bradai et al. [Bradai et al. 2015]	SDN	Otimizar os recursos de rede
Cheng et al. [Cheng et al. 2012]	Virtualização	Ranking de adequação
Mano et al. [Mano et al. 2014]	Virtualização	Múltiplos domínios
Gomes et al. [Gomes et al. 2016]	Virtualização e SDN	Confiabilidade e Bw
Algoritmo <i>PETIC</i> (este trabalho)	FISP	Bw Elástica

A partir da revisão literária realizada, não foram encontrados trabalhos que focam no desenvolvimento de um algoritmo que permite aos FISPs lidarem com a largura de banda elástica que ocorre ao decorrer do dia, enquanto tentam melhorar a utilização dos seus recursos de rede, que é o foco da proposta deste trabalho.

4. Proposta

Esta seção descreve o problema que este artigo aborda, bem como o algoritmo *PETIC* proposto para tratar o problema citado. Adicionalmente, é apresentada a métrica para mensurar o impacto da alocação das fatias na infraestrutura de rede, a qual é utilizada como critério para a definição das fatias de rede.

4.1. Descrição do Problema

A demanda elástica por recursos que ocorre ao decorrer do dia influencia diretamente a eficiência dos FISPs em sua prestação de serviços para os mais diversos clientes. Desta forma, os FISPs devem adaptar as características do serviço prestado a fim de gastar menos recursos de rede ao atender os seus clientes (cumprindo os SLAs ativos). Uma característica deste novo cenário é a variação da largura de banda exigida pelos clientes ao decorrer do dia, ou seja, a cada hora (ou faixa de minutos) uma reserva de largura de banda é necessária.

Uma das formas existentes de lidar com esta nova realidade é prover serviços baseados na alocação de fatias de rede sobre uma infraestrutura SDN. Portanto, é necessário um algoritmo para alocar as fatias de rede durante cada período do dia determinado, a partir da demanda de largura de banda de cada cliente do FISP. Pode-se definir esse problema da forma a seguir:

- G é um grafo representando a infraestrutura SDN onde as fatias de rede serão alocadas, ou seja, $G = (N, L)$, onde $N = \{n_1, \dots, n_k\}$ é o conjunto dos k nós e $L = \{l_1, \dots, l_m\}$ é o conjunto dos m enlaces.
- C é o conjunto de c clientes do FISP com SLAs ativos, sendo assim, $C = \{c_1, \dots, c_c\}$.

- T são os s períodos de alocação definidos no SLA com os clientes, a fim de habilitar o ISP a planejar a alocação de recursos. Então, tem-se que $T = \{t_1, \dots, t_s\}$.
- $B_{i,j}$ é a largura de banda requisitada por um cliente i para o período j do dia.
- F é o conjunto de fatias de rede que precisam ser alocadas para atender os clientes do FISP (uma fatia de rede por cliente).
- $F_{i,j}$ representa uma fatia de rede que atende o cliente i no período j (contendo as Bw requisitadas por período).

Sendo assim, o processo de alocação das fatias de rede necessárias para atender os clientes e as especificações dos SLAs (um por cliente) deve gerar o conjunto de fatias de rede de acordo com a Equação 1.

$$F = \sum_{i=1}^{|C|} \sum_{j=1}^{|T|} F_{i,j} \quad (1)$$

Com $F_{i,j} = (\overline{N_{i,j}}, \overline{L_{i,j}})$, onde $\overline{N_{i,j}}$ é um subconjunto dos nós N e $\overline{L_{i,j}}$ é um subconjunto dos enlaces L presentes na infra-estrutura SDN. Portanto, cada enlace da fatia de rede deve possuir uma reserva de largura de banda $B_{i,j}$ a fim de atender o SLA firmado com o cliente i para o período do dia j em questão.

A formalização trata do contexto de planejamento de fatias de rede a partir dos períodos do dia e da BW requisitada pelo cliente, focando no cumprimento do SLA (BW requisitada precisa ser atendida para os períodos do dia). Desta forma, a formalização atual pode ser estendida, como por exemplo agregando um contexto de predição e alocação dinâmica.

A partir do problema descrito, este artigo apresenta um algoritmo que define fatias de rede considerando a demanda de tráfego especificada por período do dia, bem como o impacto da alocação das fatias na infraestrutura de rede.

4.2. Métrica de Adequabilidade

Diversos critérios podem ser usados no processo de alocação de fatias de rede, como por exemplo: largura de banda disponível, consumo de energia, confiabilidade estimada do serviço, dentre outros critérios. Neste artigo foi aplicada uma métrica para mensurar o impacto da alocação das fatias nos enlaces da infraestrutura de rede. Esta abordagem visa maximizar a utilização de recursos de rede, e consequentemente, aumentar o número de clientes (SLAs ativos) que podem ser feitos pelos FISPs.

Portanto, no algoritmo *PETIC*, o custo/peso dos enlaces para o período de tempo t , representado por $l_{w,t}$, segue a Equação (2), onde $l_{Bw,t}$ é a largura de banda disponível no enlace l no período de tempo t e $Bw_{c,t}$ é a largura de banda requisitada pelo cliente c para o período de tempo t . Os enlaces com $l_{Bw,t} < Bw_{c,t}$ são removidos do algoritmo (ou seja, são desconsiderados na busca). A função *exp* representa a função exponencial, a qual é usada para gerar uma queda mais aguda no peso dos enlaces, ou seja, quanto mais largura de banda disponível em relação a requisitada, mais adequado será considerado o enlace.

A estratégia adotada faz o algoritmo dar preferência ao uso de mais um enlace em casos de quase saturação de um enlace que faz parte de um caminho mais curto, isto ajuda

a evitar a saturação completa dos enlaces, bem como habilita a capacidade de aumentar a largura de banda alocada em casos que a fatia de rede do próximo período demande mais largura de banda.

$$l_{w,t} = \exp\left(\frac{l_{Bw,t}}{Bw_{c,t}}\right), \text{ se } Bw_{c,t} \leq l_{Bw,t}; \quad (2)$$

O comportamento da Equação (2) é ilustrado na Figura 2, onde a Figura 2(a) mostra o caso geral e a Figura 2(b) apresenta um caso específico em que o cliente requisita 10Mbps e a largura de banda disponível no enlace varia de 0 a 10 Mbps.

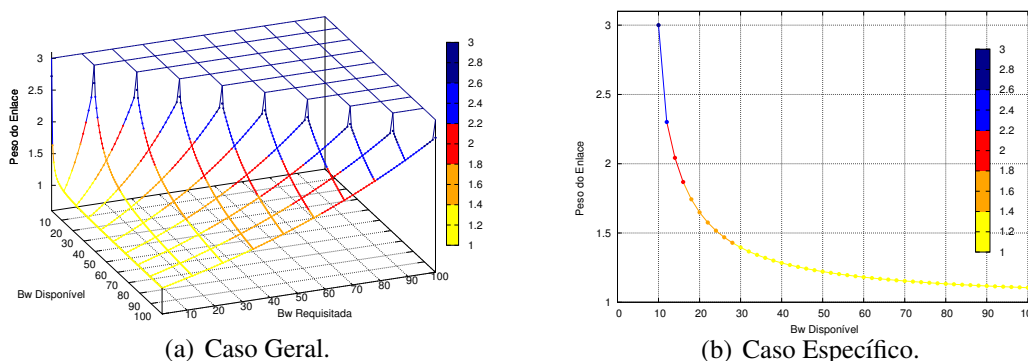


Figura 2. Comportamento da Equação (2).

4.3. Algoritmo PETIC

Esta seção apresenta o algoritmo *PETIC* para a alocação de fatias de rede de acordo com a demanda de largura de banda exigida para os períodos do dia. O algoritmo *PETIC* é um algoritmo guloso determinístico, que tem como base a ideia de busca por fatias de rede mais adequadas, enquanto usa a fatia de rede alocada no período anterior como base para a busca do próximo período. Adicionalmente, utiliza-se a métrica descrita na Seção 4.2 para determinar o peso/custo dos enlaces. Uma visão geral do *PETIC* é apresentada no Algoritmo 1 e um sumário da notação aplicada é apresentado na Tabela 2.

O Algoritmo 1 apresenta o funcionamento do *PETIC* para a análise de uma requisição de um cliente, representado por c . Assim, percorre-se todos os períodos de tempo definidos (T) a fim de analisar a forma mais adequada de alocação das fatias para atender o cliente.

Inicialmente, entre as linhas 2 e 8, atribui-se os pesos/custos dos enlaces para a análise corrente. Se a fatia de rede alocada anteriormente, caso exista (ou seja, não é o primeiro período analisado), pode ser usada como base, incentiva-se a reutilização dos enlaces ao dar um custo muito próximo de zero (representado por ε). Considera-se uma opção para base as fatias de rede que necessitam de largura de banda menor ou igual a anterior, visto que proporcionam um menor número de modificações na infraestrutura alocada ao decorrer do dia.

Posteriormente, as linhas de 10 a 16 iniciam o processo de busca pelo conjunto de enlaces que melhor se adequam para a alocação da fatia de rede. Sendo assim, a variável W controle do custo para alcançar cada um dos k nós da infraestrutura de rede, onde os

Tabela 2. Notação Utilizada

Símbolo	Descrição
G	grafo representando a infraestrutura de rede
c	nó cliente
D	conjunto de destinos o qual deseja-se conectar
L	conjunto de enlaces da infraestrutura de rede
N	conjunto de nós da infraestrutura de rede
l	enlace entre dois nós
$l_{w,t}$	custo/peso do enlace l no período t
C	conjunto de clientes do FISP
$l_{Bw,t}$	largura de banda disponível no enlace l no período t
T	conjunto de períodos do dia (ou <i>slots</i> de tempo) definido no SLA
$Bw_{c,t}$	largura de banda requisitada pelo cliente c para o slot de tempo t
S	controle de nós analisados
W	controle do melhor custo para alcançar os nós durante o processo de busca
F	conjunto de fatias de rede para todos os períodos definidos
ε	quantidade próxima a zero

nós vizinhos diretos do cliente c recebem o custo $l_{w,t}$ (obtido pela função *getLinkInfo*), enquanto que para os demais nós é atribuído um valor ∞ (infinito).

Da linha 17 à 30, o algoritmo percorre os nós existentes ainda não processados (representado por S') verificando se o nó com melhor custo para o nó Min (definido pela função *lower*) pode ser usado para alcançar outros nós com menor custo. Caso o nó considerado mais adequado (Min) possua um custo que não atende a largura de banda requisitada para o período ($Bw_{c,t}$), o algoritmo identifica que não pode atender o cliente em questão, então o processo de busca é interrompido (linha 22). Após a identificação do nó mais adequado, o algoritmo percorre os nós existentes verificando se a partir do nó Min pode-se alcançar os demais nós com um custo menor ($W_j > W_{Min} + l_{w,t}$), contanto que estes possuam pelo menos a largura de banda requisitada ($l_{Bw,t} > Bw_{c,t}$).

Finalmente, entre as linhas 31 e 33, forma-se a fatia de rede tempo $F_{c,t}$, incluindo os enlaces considerados mais adequados para os nós do conjunto de destinos D . Portanto, a partir desse ponto a fatia de rede para o período de tempo t requisitada pelo cliente c é considerada definida.

5. Resultados

Esta seção apresenta os experimentos realizados para avaliar o algoritmo *PETIC* em relação ao processo de definição das fatias de rede. A fim de realizar os experimentos, foi desenvolvido um simulador¹ de alocação de fatias de rede que possibilita a análise dos principais aspectos relacionados à definição de fatias de rede: alocações realizadas com sucesso, eficiência energética do FISP e a disponibilidade de largura de banda na infraestrutura de rede. A Seção 5.1 descreve o cenário usado na avaliação, enquanto a Seção 5.2 discute os resultados e analisa o desempenho dos algoritmos avaliados.

¹<http://bitbucket.org/rafaellgom/allocation-timeslot/>

Algoritmo 1 Algoritmo PETIC

```
1: para todo Período  $t \in T$  faça
2:   para todo Enlaces  $l \in L$  faça
3:     se  $Bw_{c,t-1} \geq Bw_{c,t}$  e  $l \in F_{c,t-1}$  então
4:        $l_{w,t} = \varepsilon$ ;
5:     senão
6:        $l_{w,t} = \exp\left(\frac{l_{Bw,t}}{Bw_t}\right)$ ;
7:     fim se
8:   fim para
9:    $S = N - \{c\}$ ;
10:  para todo Nó  $j \in S$  faça
11:     $W_j = \infty$ ;
12:     $l = \text{getLinkInfo}(c, j)$ ;
13:    se  $(l_{w,t} < \infty)$  e  $(l_{Bw,t} \geq Bw_{c,t})$  então
14:       $W_j = l_{w,t}$ ;
15:    fim se
16:  fim para
17:  enquanto  $S \neq \emptyset$  faça
18:    Nó  $Min = \text{lower}(W)$ ;
19:     $l = \text{getLinkInfo}(c, Min)$ ;
20:    se  $(l_{Bw,t} < Bw_{c,t})$  então
21:      Termina o algoritmo, retornando falha (não é possível atender o cliente);
22:    fim se
23:     $S' = S - \{Min\}$ ;
24:    para todo Nó  $j \in S'$  faça
25:       $l = \text{getLinkInfo}(Min, j)$ ;
26:      se  $(l_{w,t} < \infty)$  e  $(W_j > W_{Min} + l_{w,t})$  e  $(l_{Bw,t} > Bw_{c,t})$  então
27:         $W_j = W_{Min} + l_{w,t}$ ;
28:      fim se
29:    fim para
30:  fim enquanto
31:  para todo Nó  $d \in D$  faça
32:    Incluir em  $F_{c,t}$  os enlaces que fazem parte de  $W_d$ ;
33:  fim para
34: fim para
```

5.1. Configuração do Cenário

Os experimentos utilizaram a topologia da rede Internet2, a qual possui vinte e seis nós e trinta e um enlaces, como ilustrado na Figura 3. Esta topologia existente foi utilizada por ser considerada robusta (do ponto de vista estrutural e de métricas baseadas em centralidade), assim tornando-se uma opção viável para o contexto dos FISPs [Rueda et al. 2017]. Cada enlace da rede Internet foi configurado com 1Gpbs de largura de banda disponível.

Os experimentos visam avaliar a capacidade da proposta de solucionar um conjunto de requisições de alocação de fatias de rede com os seguintes parâmetros: (i) conjunto de nós a serem conectados (escolhidos de forma uniforme); (ii) duração das

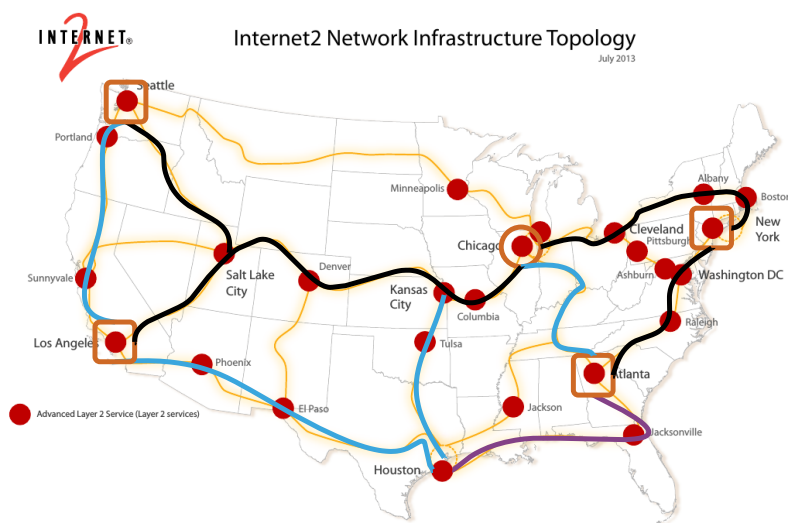


Figura 3. Topologia da rede Internet2.

requisições (valor médio de 50 unidades de tempo); e, (iii) 24 valores de largura de banda (valor médio de 100 Mbps), representando os períodos do dia. Foram gerados aleatoriamente quinhentos conjuntos, onde cada conjunto era composto de cem clientes requisitando 24 fatias de rede, representando os horários do dia (ou seja, o tamanho do conjunto T é 24).

Em geral, modela-se o tráfego de rede aplicando-se um intervalo de tempo de chegada e a duração dos fluxos a partir de uma distribuição exponencial, os quais resultam na demanda de tráfego [Chen 2007]. Sendo assim, neste trabalho a largura de banda requisitada e a duração das requisições são geradas a partir de um processo Poisson, visto que ambos são relacionados à demanda de tráfego.

5.2. Resultados

Nesta seção apresenta-se os resultados dos experimentos realizados, comparando o desempenho do algoritmo *PETIC* com uma abordagem existente atualmente de alocação de recursos pelo máximo de requisição, visando atender integralmente a demanda dos clientes. Para isso, foi implementado o algoritmo *Maximum-Request*, baseado no algoritmo de busca por caminhos largos [Medhi and Ramasamy 2007]. O algoritmo *Maximum-Request* visa encontrar o caminho com maior largura de banda disponível independente do número de enlaces utilizados, apenas focando em atender a largura de banda requisitada pelo cliente. Sendo assim, o *Maximum-Request* não aplica pesos aos enlaces, ele apenas usa o montante de largura de banda disponível como critério no processo de busca. Este algoritmo foi escolhido como base para comparação pois não foram encontradas na literatura propostas no mesmo contexto do *PETIC* (alocação por períodos do dia, considerando especificações de SLA).

O resultado dos experimentos são ilustrados na Figura 4, onde foram avaliadas três métricas:

- Alocações bem sucedidas (Figura 4(a)): o número de requisições solucionadas, ou seja, quantas requisições de VN o algoritmo foi capaz de alocar com a confiabilidade e a largura de banda desejadas;

- Eficiência energética (Figura 4(b)): avalia se o consumo de energia do ISP está sendo eficaz (quanto maior melhor). Assim, a eficiência energética é a quantidade de Bw alocada para o conjunto de fatias de rede pelo montante de energia gasto pela infraestrutura de rede;
- Enlaces saturados (Figura 4(c)): o número de enlaces que ficaram com menos de 10% de largura de banda disponível.

A eficiência energética é modelada seguindo a Equação (3), onde A é o conjunto de fatias de rede alocadas que estão ativas, a_{Bw} é a largura de banda alocada para atender a requisição a e En_C é o consumo de energia atual do FISP (mensurado de acordo com a referência [Mahadevan et al. 2009]).

$$En_{Eff} = \sum_{a \in A} \frac{a_{Bw}}{En_C} \quad (3)$$

A Figura 4(a) ilustra o número de requisições alocadas com sucesso (isto é, que cumprem o SLA). Em geral, o algoritmo *PETIC* solucionou em média, cerca de 20% mais requisições que o algoritmo *Maximum-Request*. Este melhor desempenho ocorre devido a característica do algoritmo *PETIC* em considerar a largura de banda disponível em cada enlace para alocar as fatias de rede de acordo com os períodos do dia, resultando em um melhor balanceamento de alocações por toda a infraestrutura de rede. Como consequência das alocações realizadas, a eficiência energética do FISP é maior (em torno de 25%) quando o algoritmo *PETIC* é aplicado, como pode ser visualizado na Figura 4(b).

De acordo com a Figura 4(c), o algoritmo *PETIC* apresenta uma disponibilidade de largura de banda maior que o algoritmo *Maximum-Request*, visto que o número de enlaces saturados é menor. A aplicação do algoritmo *PETIC* resulta em um número maior de alocações de fatias de rede.

Baseado nos experimentos realizados, os resultados indicam que o algoritmo *PETIC* pode evoluir o processo de alocação de fatias de rede para os FISPs. O algoritmo *PETIC*, além de ter uma disponibilidade de Bw maior do que a abordagem existente, consegue alocar mais requisições (em torno de 20% maior) e eleva a eficiência energética do ISP (em torno de 25%).

6. Conclusão

A aplicação das abordagens NV, SDN e NFV traz flexibilidade e gerenciabilidade para os FISPs, permitindo melhorar o uso da infraestrutura de rede e a prestação de serviço aos seus clientes a partir da definição de fatias de rede. Contudo, a alocação de fatias de rede ainda é um desafio em aberto. Portanto, este artigo propõe um algoritmo de alocação de fatias de rede.

O algoritmo proposto, chamado *PETIC*, foca em alocar as fatias de rede de acordo com a demanda de tráfego requisitada pelos clientes ao decorrer do dia, enquanto reduz a utilização da largura de banda. O algoritmo *PETIC* supera a abordagem existente de alocação superior, atendendo um maior número de clientes (em torno de 20%) e obtendo uma maior eficiência energética (cerca de 25%). Estes fatos habilitam a maximização dos lucros dos FISPs, bem como o fornecimento de serviços de qualidade com preços reduzidos.

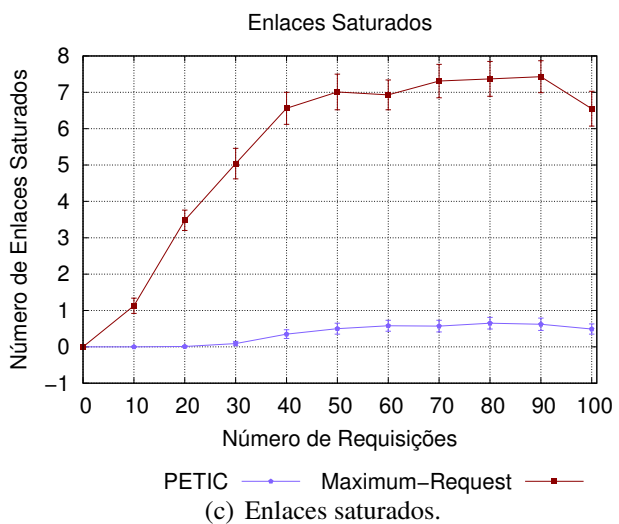
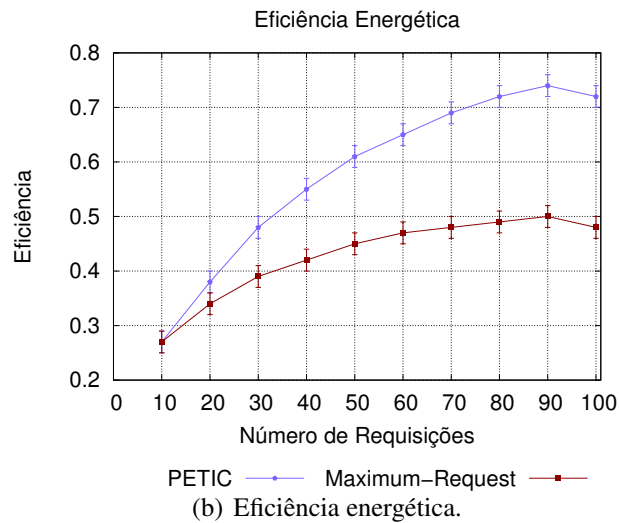
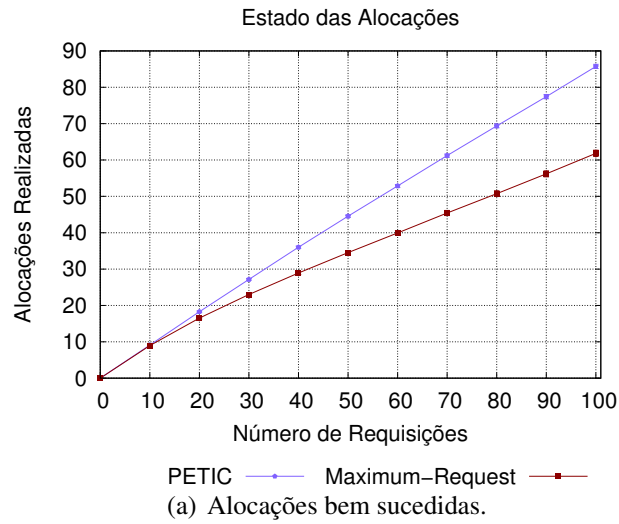


Figura 4. Desempenho dos algoritmos avaliados.

Como trabalhos futuros, pretende-se estender o algoritmo proposto para aplicar mais critérios durante a alocação das fatias de rede, bem como utilizar uma abordagem multicritério, como por exemplo fronteira de Pareto.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a FUNCAP, FAPESP, CAPES e CNPq pelo apoio financeiro.

References

- Bi, J., Zhu, S., Sun, C., Yao, G., and Hu, H. (2016). Supporting virtualized network functions with stateful data plane abstraction. *IEEE Network*, 30(3):40–45.
- Bradai, A., Singh, K., Ahmed, T., and Rasheed, T. (2015). Cellular software defined networking: a framework. *IEEE Communications Magazine*, 53(6):36–43.
- Chen, T. M. (2007). Network Traffic Modeling. pages 326–339.
- Cheng, X., Su, S., Zhang, Z., Shuang, K., Yang, F., Luo, Y., and Wang, J. (2012). Virtual network embedding through topology awareness and optimization. *Computer Networks*, 56(6):1797 – 1813.
- Doverspike, R. D., Ramakrishnan, K. K., and Chase, C. (2010). *Guide to Reliable Internet Services and Applications*, chapter Structural Overview of ISP Networks, pages 19–93. Springer London, London.
- Foukas, X., Patounas, G., Elmokashfi, A., and Marina, M. K. (2017). Network slicing in 5g: Survey and challenges. *IEEE Communications Magazine*, 55(5):94–100.
- Gomes, R. L., Bittencourt, L. F., Madeira, E. R. M., Cerqueira, E. C., and Gerla, M. (2016). A combined energy-bandwidth approach to allocate resilient virtual software defined networks. *Journal of Network and Computer Applications*, 1(1):1–1.
- Han, B., Gopalakrishnan, V., Ji, L., and Lee, S. (2015). Network function virtualization: Challenges and opportunities for innovations. *IEEE Communications Magazine*, 53(2):90–97.
- Liang, C. and Yu, F. R. (2015). Wireless virtualization for next generation mobile cellular networks. *IEEE Wireless Communications*, 22(1):61–69.
- Mahadevan, P., Sharma, P., Banerjee, S., and Ranganathan, P. (2009). Energy Aware Network Operations. In *IEEE INFOCOM Workshops 2009*, pages 1–6.
- Mano, T., Inoue, T., Ikarashi, D., Hamada, K., Mizutani, K., and Akashi, O. (2014). Efficient virtual network optimization across multiple domains without revealing private information. In *2014 23rd International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN)*, pages 1–8.
- Medhi, D. and Ramasamy, K. (2007). *Network Routing: Algorithms, Protocols, and Architectures*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA.
- Nguyen, H. T., Vu, A. V., Nguyen, D. L., Nguyen, V. H., Tran, M. N., Ngo, Q. T., Truong, T.-H., Nguyen, T. H., and Magedanz, T. (2015). A generalized resource allocation framework in support of multi-layer virtual network embedding based on {SDN}.

Computer Networks, 92, Part 2:251 – 269. Software Defined Networks and Virtualization.

Rueda, D. F., Calle, E., and Marzo, J. L. (2017). Robustness comparison of 15 real telecommunication networks: Structural and centrality measurements. *Journal of Network and Systems Management*, 25(2):269–289.

Sama, M. R., Contreras, L. M., Kaippallimalil, J., Akiyoshi, I., Qian, H., and Ni, H. (2015). Software-defined control of the virtualized mobile packet core. *IEEE Communications Magazine*, 53(2):107–115.

Vassilaras, S., Gkatzikis, L., Liakopoulos, N., Stiakogiannakis, I. N., Qi, M., Shi, L., Liu, L., Debbah, M., and Paschos, G. S. (2017). The algorithmic aspects of network slicing. *IEEE Communications Magazine*, 55(8):112–119.