

VALIDA - Uma Plataforma Web para Comissionamento de Largura de Banda de Circuitos Virtuais para Enlaces de Alta Disponibilidade

Mateus V. T. Teixeira, Rafael Emerick Z. de Oliveira, Rafael D. Vencioneck, Luiz G. B. Bueloni, Rodolfo S. Villaça

Resumo— Este artigo apresenta a VALIDA, uma ferramenta para comissionamento ágil de circuito virtual para de redes de acesso, com implementação de baixo custo, capaz de homologar a real capacidade de múltiplos enlaces simultaneamente por meio de uma API REST para auxiliar na descoberta de problemas de desempenho. A VALIDA está em funcionamento no Ponto de Presença da RNP no Espírito Santo (PoP-ES) e sua implementação baseia-se em microsserviços e Nodejs. Por meio de experimentos em ambiente crítico conseguiu-se, não apenas exibir aos administradores do PoP-ES problemas nos enlaces de acesso, mas também realizar testes de carga sem acarretar indisponibilidade ao serviço de conectividade em operação.

Palavras-Chave— Comissionamento de rede, largura de banda disponível, circuito virtual, redes de acesso, microsserviços, nodejs, Containers, Docker.

Abstract— This paper presents VALIDA, a low cost tool for agile commissioning of virtual circuits to access networks infrastructures. VALIDA has low cost of deploy and operation, and is able to homologate simultaneously the real capacity of multiples link using a API REST to facilitate the troubleshooting in networks performance bottlenecks. VALIDA is in operation at the RNP Point of Presence at Espírito Santo (PoP-ES) and its implementation is based on microservices with Nodejs. Through experimentation in a critical and real environment, it was possible not only to expose to the network managers the occupation of the client links to PoP-ES, but also to realize performance evaluations without entailing unavailability of operational connectivity services.

Keywords— Network commissioning, available bandwidth, virtual circuit, access networks, microservices, Nodejs, Containers, Docker.

I. INTRODUÇÃO

O crescimento na demanda por conectividade resulta em grandes desafios enfrentados pelos provedores para garantir as expectativas de disponibilidade, largura de banda e latência na comunicação de dados. Hoje, para interligações de acesso à rede e para entregas de conexões ponto-a-ponto é grande o uso de circuitos virtuais. Esses enlaces tem custos de implementação e de operação mais baixos e permitem uma utilização mais eficiente e econômica da infraestrutura

Rafael Emerick Z. de Oliveira, Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Serra; Mateus V. T. Teixeira, Luiz G. B. Bueloni, Rodolfo S. Silva, Universidade Federal de Espírito Santo, Vitória, E-mail: rafael.emerick@ifes.edu.br; mateusvtt@gmail.com; {luiz.bueloni, rodolfo.villaca}@ufes.br; Rafael D. Vencioneck, Ponto de Presença da RNP no ES, UFES, Vitória. E-mail: rafael.vencioneck.pop-es.rnp.br Este trabalho foi parcialmente financiado e suportado pelo projeto FEST/PoPES-RNP/UFES (PRPPG-UFES-7635/2016 e IFES-PJ00003636)

provedora de conectividade. Além disso, podem ser suportados por meio de infraestrutura própria, ou terceirizada em redes sobrepostas.

Mesmo que formalizadas em contrato, as expectativas e os requisitos de qualidade são cada vez mais complexos para serem auferidos devido a essa sobreposição lógica de infraestruturas. A gestão da qualidade da conexão fica especialmente complexa quando número de conexões contratadas é grande ou existe muita heterogeneidade nas tecnologias utilizadas pelos fornecedores e nas características dos clientes conectados.

No Brasil, pela sua extensão territorial, isso se torna ainda mais desafiador. Essa é a realidade encontrada pelos PoPs (Pontos de Presença) que operam o acesso e distribuição da Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP), para atender nacionalmente a demanda de conectividade, em rede avançada, de diversas instituições de ensino e pesquisa. Por rede avançada, entende-se aquela cuja existência de reserva de banda deva sempre existir, para suportar rajadas dos mais diversos tipos de experimentos científicos concomitantemente com o tráfego de acesso à serviços de Internet.

As infraestruturas das operadoras de redes de serviços de circuito virtual é, em muitos, casos compartilhada além da capacidade não bloqueante de tráfego. A identificação de gargalos provocados por estes compartilhamentos, do ponto de vista do usuário, é algo complexo. Isso porque o incidente de gargalo é estatístico com a utilização geral da rede, e precisa ser identificado dentro do período de alta ocupação, e dificilmente é detectado em horários não comerciais, no qual as janelas de comissionamento são realizadas.

Neste contexto, monitorar a real largura de banda disponível de um enlace de circuito virtual torna-se desafiador. Na maioria dos casos, requer mão de obra e equipamentos especializados e de alto custo. Na escala de centenas de enlaces contratados, por diferentes prestadores de serviço, é necessário alguma forma de comissionamento automático das condições do circuito virtual contratado. Cria-se, assim, a necessidade de implementação da VALIDA, uma ferramenta ágil, escalável, capaz de gerar testes e suportar diferentes formas de avaliação de desempenho, tais como largura de banda, vazão, latência, taxa de pacotes por segundo e taxa de perda de pacotes. Além disso, essa ferramenta deve possuir interface aberta em API REST, que pode ser acionada de forma ágil e orientada a eventos, permitindo assim que haja uma integração com ferramentas automatizadas de tratamento de incidentes.

A seguir, na Seção II, a VALIDA é comparada ao estado da arte, onde sua contribuição será ainda mais evidenciada. A Seção III apresenta o projeto e a implementação da ferramenta VALIDA, enquanto a Seção IV apresenta resultados obtidos com a avaliação da ferramenta em testes de vazão nos enlaces do Ponto de Presença da RNP no Espírito Santo (PoP-ES). Por fim, a Seção V conclui o artigo e aponta oportunidades de trabalhos futuros.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

É sabido que existe uma vasta quantidade de ferramentas de medição e monitoramento, tanto no mercado, com modelos de distribuição abertos ou proprietários, quanto na academia e na literatura. Entretanto, muitos desafios ainda persistem [9] e cabe destacar os diferenciais e as contribuições da VALIDA, especialmente para a medição e monitoramento aplicado ao circuitos virtuais para enlaces de acesso de instituições de ensino e pesquisa aos PoPs da RNP.

O MonIPÊ [6] foi desenvolvido a partir do conjunto de ferramentas que definem o projeto perfSONAR [5]. Este, por sua vez, é utilizado por instituições acadêmicas para troca de dados sobre medições em suas redes. O perfSONAR é uma ferramenta destinada à pesquisadores e tem como premissa apontar, através de diagnósticos, os problemas existentes nestas redes. Tanto o perfSONAR quanto o MonIPÊ são focados em tarefas agendadas, que muitas vezes provocam falsos positivos quando realizadas continuamente, ou necessitam de pessoas especializadas, quando realizadas em janelas de manutenção previamente estabelecidas com o cliente final. O motivo central dessa limitação está na aferição de estatísticas pelos resultados devolvidos pelas aplicações utilizadas. Para o comissionamento pelo MonIPÊ, é necessário disponibilizar uma infraestrutura dedicada para que os resultados de vazão, por exemplo, obtidos pela aplicação corresponda de fato à largura de banda real do circuito contratado.

O uso de microsserviços baseados em *containers* para implementação de ferramentas de medição e monitoramento tem se mostrado uma tendência na literatura, especialmente pela função da possibilidade de transformação destas ferramentas em Funções Virtuais de Monitoramento de Redes (VNMFs, ou *Virtual Network Monitoring Functions*) [7]. O Metherxis é uma VNMF para medição de latência de dispositivos de rede, com precisão de microssegundos, implementada com a tecnologia de microsserviços usando *Linux Containers* como infraestrutura de desenvolvimento. Embora não se apresente como uma VNMF, ConMon [8] descreve funções especializadas na avaliação de desempenho de aplicações implementadas como microsserviços. ConMon também usa essa tecnologia e o conceito de funções de monitoramento em sua implementação, destacando a característica de portabilidade e escalabilidade dos microsserviços como soluções de monitoramento.

Neste contexto destacamos os principais contribuições da VALIDA: i) escalabilidade, obtida pelo uso de microsserviços em sua implementação [3]; ii) operação contínua, com realização de testes sem necessidade de agendamento prévio ou janelas de manutenção; iii) programabilidade dos testes, de acordo com a necessidade do operador, que pode instanciar VNMFs de forma automática em função do problema

detectado; iv) oferta de uma API aberta de programação, que permite a fácil integração da VALIDA com outras ferramentas, tais como *chatbots* e correlacionadores de evento.

III. PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DA VALIDA

Desenvolveu-se uma plataforma de teste cujos principais elementos desenvolvidos são: ValidaWebGui, ValidaJS e ValidaAPI, conforme Figura 1. O ValidaWebGui é a interface web renderizada pelo ValidaJS. Ela permite ao usuário acionar testes e monitorar os resultados em tempo real, por meio de requisições assíncronas por JQuery/Ajax, via qualquer navegador Web moderno. O ValidaJS é a aplicação do lado do servidor que define os parâmetros globais de configuração dos testes, que são armazenados em banco de dados MongoDB, e serve como dados de entrada para o ValidaAPI realizar seu papel. O ValidaJS é responsável por gerar as interfaces customizadas e gerenciar as permissões de acesso aos testes. Ele intermedeia as requisições de teste pela formação das requisições HTTP REST para o ValidaAPI.

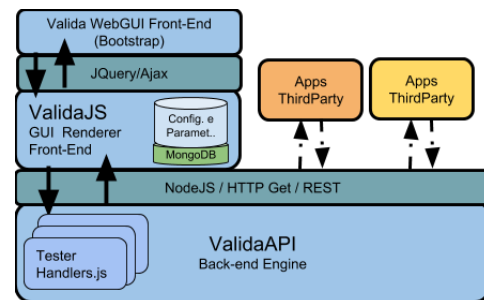


Fig. 1. Arquitetura de software definida para a VALIDA.

O ValidaAPI, por sua característica inteiramente associada à interfaces Web no padrão REST, pode ser instalado em qualquer máquina e gerenciar remotamente os ambientes de execução de testes. Na Figura 2 tem-se a parte complementar da arquitetura de comissionamento da Valida associada a ambiente de execução dos testes, que é a infraestrutura lógica de geração de testes e captura de estatísticas e resultados. O ValidaAPI possui módulos manipuladores de testes que podem ser estendidos para qualquer ferramenta capaz de executar em uma ambiente com *namespace* Linux. Ele trata as solicitações vindas do ValidaJS e gera respostas exclusivamente por comandos GET HTTP no padrão REST. Por isso, além de atender ao ValidaJS, ele pode - se assim for permitido - atender a requisições de aplicações terceiras.

Tanto a ValidaJS quanto a ValidaAPI são aplicações em JavaScript e executam em NodeJS [2]. Essa decisão de projeto se deve, além de padronizar a linguagem desde a interface com o usuário até as aplicações do lado do servidor, ao fato do JavaScript com NodeJS ter um controle assíncrono das solicitações de entrada e saída. Na arquitetura do NodeJS, tem-se um tratamento nativo a entradas/saídas assíncronas. Com isso, viabiliza-se com maior facilidade a execução paralela e independentes de testes, que são tratados em *threads* totalmente independentes e não bloqueantes entre si.

Para a execução de testes são instanciados, em tempo real, *containers* Docker [1] que separam os *namespaces* dos

processos que executam, de fato, os testes. Com isso, viabiliza-se um completo isolamento lógico dos recursos da máquina física, e que múltiplos testes ocorram simultaneamente, compartilhando apenas o poder computacional da máquina física hospedeira. A esses ambientes isolados e customizados de testes dá-se a denominação LDTE (do inglês, *Logical Dedicated Test Environments*), que são um conjunto de aplicações de avaliação de desempenho (tester) encapsuladas em *containers* Docker, com *namespaces* isolados. Caso a aplicação seja do tipo "standalone", como o PING, TRACEROUTE, etc, apenas um *container* é instanciado no LDTE. Caso a aplicação seja do tipo cliente-servidor, como o Iperf, por exemplo, um par de *containers* será instanciado.

A VALIDA é uma plataforma para testes acionados em circuitos críticos, com a infraestrutura de computação instalada em apenas uma das pontas do circuito-virtual. Por essa razão, para viabilizar os comissionamentos é necessário o estabelecimento de uma rede de *loopback*. Essa rede pode ser física, mas para viabilizar testes concomitantes com a utilização do enlace, utiliza-se redes lógicas de *loopback* por meio de VLAN/IP ou por *loopbacks* via protocolos de camadas superiores, em tese. Atualmente, utiliza-se redes de *loopback* com VLANs exclusivas e também como técnicas de roteamento baseado em políticas, devido a característica atual de circuitos virtuais com utilizados no PoP-ES, de quadros *Ethernet*.

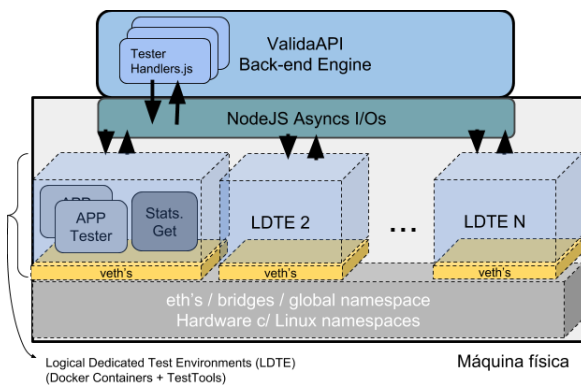


Fig. 2. Estrutura modular da VALIDA.

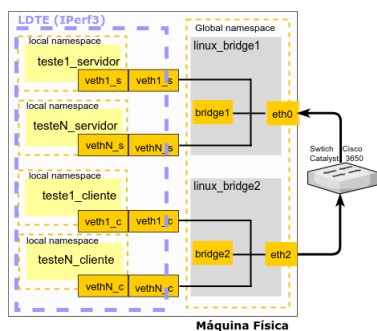


Fig. 3. Loopback lógico para homologação da máquina hospedeira da VALIDA.

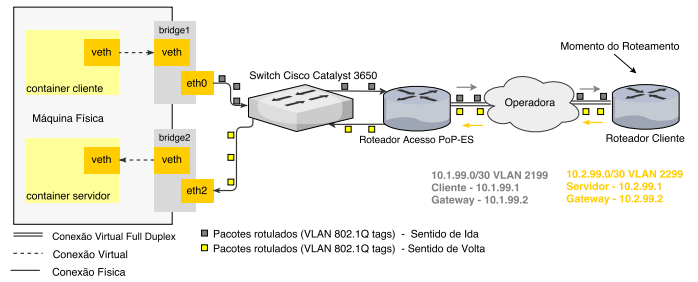


Fig. 4. Arquitetura do Valida em ambiente de execução de testes.

IV. AVALIAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para medir a capacidade total de geração de tráfego da máquina física, utilizou-se um *switch* com portas em *loop* lógico, conforme Figura 3. Após a homologação da máquina física, realizou-se teste de geração de cargas de tráfego, conforme Figura 4. Em ambos os casos, no LDTE, simultaneamente com a aplicação Iperf3, executou-se continuamente consultas SNMP nas interfaces da máquina física, no caso da Figura 3, e nas interfaces dos roteadores das extremidades do circuito virtual, conectados pela operadora na Figura 4.

O tráfego em *loopback* foi encaminhado por VLAN ou por roteamento baseado em política (ACLs). Nos experimentos realizados em ambiente de produção, utilizou-se circuitos reais, realizando-se testes simultâneos em um grupo de circuitos de uma mesma operadora em três horários diferentes do dia para, de fato, homologar a real capacidade dos circuitos contratados. Para evitar indisponibilidades, para os testes em ambiente real, utilizou-se carga TCP de forma contínua, de forma a ocupar a largura de banda total dos circuitos com as vazões complementares à ocupação de banda utilizada pelo tráfego corrente de *uplink* à Internet.

Durante a homologação da máquina de testes gerou-se carga total na taxa de 1000 Mbps, e percebeu-se que o valor máximo capturado pela máquina chegava a cerca de 950Mbps. Depois, verificou-se a escalabilidade desses testes executando-se simultaneamente vários números de pares de cliente-servidor, e para todos os casos, a VALIDA apresentou resultado compatível com a capacidade física da máquina física, nesse cenário. Verificou-se que que no cenário de dez testes simultâneos, a máquina limitou-se a gerar, aproximadamente, 220 Mbps por instância. Para todos esses testes, a ocupação máxima de memória RAM da máquina física foi inferior a 800MB para cinquenta testes simultâneos. A ocupação de CPU, neste caso, foi sempre máxima devido à alta troca de contextos entre os *containers*, e os testes de latência RTT entre as estações ficaram inferiores a 5ms. Portanto, há boa escalabilidade de execução de testes simultâneos, considerando a utilização de uma máquina física de apenas 1 CPU de 2.66 GHz e com 3.6GB de RAM DDR2 800MHz e duas placas *GigabitEthernet*.

A. Análise em Ambiente Operacional

No modelo de avaliação dos enlaces em ambientes de produção optou-se pela realização dos experimentos sob o protocolo TCP, que é adaptativo às condições da rede, uma

vez que a escolha pelo modo de transmissão UDP poderia ocasionar perda da qualidade de experiência percebida pelos clientes do PoP-ES. Para se obter um resultado confiável é necessário garantir que a soma das capacidades dos enlaces avaliados seja menor que o limite físico das interfaces de rede da máquina de comissionamento. Decidiu-se que seriam realizados 9 experimentos simultâneos, distribuídos em 9 clientes que possuem um enlace nominal de 100 Mbps *full duplex*, ficando assim, abaixo da capacidade avaliada na homologação de cerca de 950Mbps.

Nove clientes do PoP-ES foram escolhidos com enlaces contratados de 100 Mbps. Durante a primeira medição notou-se um comportamento anormal nas amostras colhidas de todos os clientes. A partir disso, analisou-se, cada cliente e, inesperadamente, notou-se que dois clientes estavam funcionando além da sua capacidade nominal, ou seja, não haviam limitadores, por parte das operadoras, em função da banda contratada. Este comportamento comprometeria o resultado de todo o grupo de testes, uma vez que a soma das capacidades dos enlaces estava acima do limite estabelecido de 950 Mbps. Optou-se por desmembrar esses dois clientes dos demais. Para tanto, criou-se dois cenários distintos para serem avaliados separadamente, chamados de cenário A: os sete clientes remanescentes e cenário B: os dois clientes que estavam funcionando além do limite contratado.

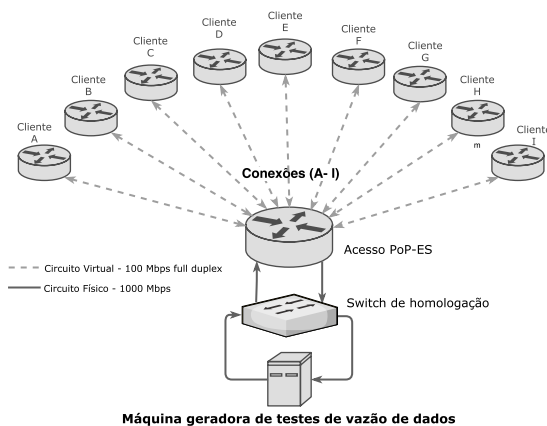
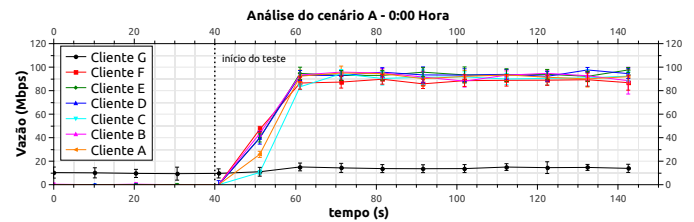


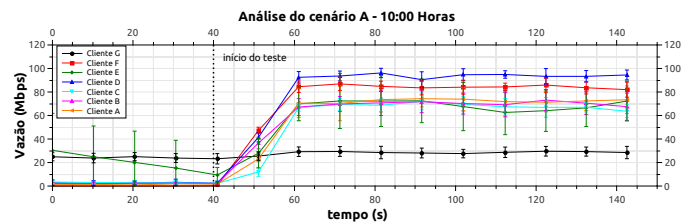
Fig. 5. Esquema de experimentos em ambiente real.

Com intuito de estudar o comportamento da qualidade do enlace ao longo do tempo, executou-se os experimentos em três horários diferentes: 0h (Figura 6(a) e Figura 7(a)), 10h (Figura 6(b) e Figura 7(b)) e 15h (Figura 6(c) e Figura 7(c)). Os dados do microsserviço SNMP foram obtidos diretamente no roteador de acesso do PoP-ES. A Figura 5 é uma instância da Figura 4, que ilustra o esquema de experimentação em ambiente de produção com múltiplos clientes sendo avaliados. Antes do início de cada teste colheu-se quatro amostras do estado atual do tráfego, com intervalo de 10s entre elas, portanto, iniciou-se um teste somente após 40s de leitura do tráfego passante nas interfaces nas pontas do circuito virtual de cada cliente. Cada experimento tem a duração de 100s. Repetiu-se os mesmos, 10 vezes e foram plotados os valores médios, bem como seus respectivos desvios. Todos os testes duraram, excepcionalmente para esse experimento, cerca de

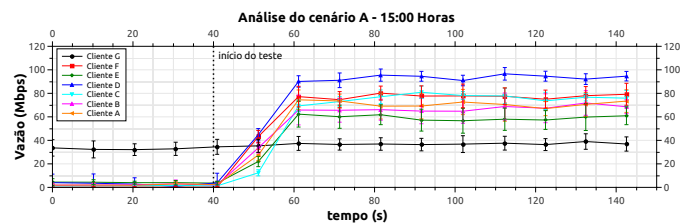
15 minutos. O impacto durante esse período para os links ocorreu apenas no estabelecimento de novas conexões ou em fluxos do tipo UDP, que são minoria do tráfego da Internet, que hoje é fornecido baseado em fluxos TCP [10], [11], [12]. Um comissionamento de largura de banda convencional da VALIDA pode ser realizado em menos de 30 segundos, já que há monitoramento em tempo real do tráfego passante nas interfaces finais do circuito-virtual. Com esse intervalo as sessões TCP não foram afetadas durante o processo de *three-way handshake*.



(a) Testes realizados às 00h00.



(b) Testes realizados às 10h00.



(c) Testes realizados às 15h00.

Fig. 6. Análise comportamental de tráfego em clientes reais no cenário A

Na primeira avaliação, 0h (Figura 6(a)), obteve-se os resultados mais próximos aos valores esperados. Acredita-se que tal comportamento ocorre porque no horário em questão não há sobrecarga na operadora. Por consequência, a mesma consegue atender adequadamente a maioria dos clientes. Vale destacar que, no cenário A, apenas um cliente (Cliente G) ficou fora dos valores esperados. Observou-se que esse cliente era o único que apresentava um tráfego considerável no momento anterior ao teste. Após o início do experimento, houve um pequeno aumento da vazão no cliente G, evidenciando um problema nesse enlace. Possivelmente encontrava-se sobrecarregado, pois não reagiu à injeção de tráfego aplicada e limitou-se a um valor de aproximadamente 15 Mbps.

Por meio da análise do cenário B, Figura 7(a), comprovou-se a hipótese levantada anteriormente: enlaces de dois clientes estavam operando com a capacidade além da contratada. Observou-se que o enlace do cliente I atingiu uma vazão três vezes maior do que o esperado, enquanto o cliente H alcançou um valor 50% superior ao contratado.

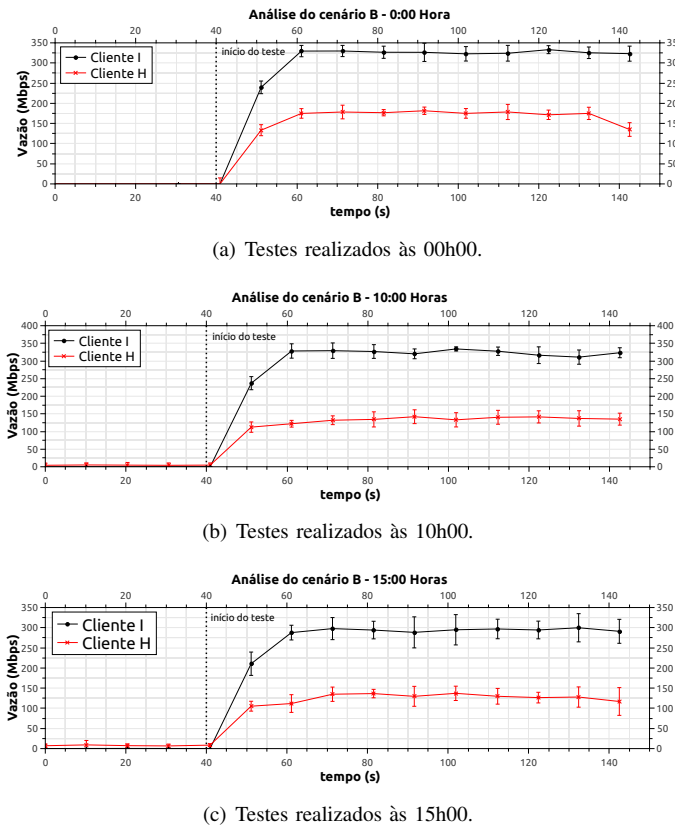


Fig. 7. Análise comportamental de tráfego em clientes reais no cenário B

Na segunda coleta, às 10h, o cenário B (Figura 7(b)) apresentou um comportamento praticamente semelhante ao da análise realizada às 0h. O mesmo não ocorreu no cenário A, onde somente dois clientes (D e F) atingiram resultados satisfatórios. O cliente G manteve-se abaixo do esperado durante todo o teste, enquanto os demais, que haviam alcançado a meta anteriormente, convergiram para um valor de aproximadamente 70 Mbps. Concluiu-se que a operadora (a mesma para todos os clientes da amostra), não conseguiu atender adequadamente a demanda contratada durante o horário analisado.

Na última coleta, realizada às 15h (Figura 6(c)), observou-se, um comportamento semelhante ao da Figura 6(b), exceto por uma pequena redução no tráfego médio no cliente E. O cenário B (Figura 7(c)), também apresentou um resultado similar aos demais. É importante destacar que, apesar do tempo considerável usado para os experimentos (10 testes de 100s), não houve nenhuma queixa, por parte dos clientes, em nenhum dos horários avaliados, acerca da percepção de qualidade do enlace sob validação.

V. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A VALIDA possibilita a realização de testes autônomos, por API REST, em vários enlaces simultaneamente. Torna-se possível a realização de experimentos com a mínima intervenção, de maneira ágil e eficiente, de forma concomitante ao ambiente operacional, sem a necessidade de agendamentos de janela de manutenção e sem interrupção do serviço de conectividade. Os resultados obtidos e os custos envolvidos na implantação foram satisfatórios, uma vez

que utilizou-se apenas equipamentos legados já disponíveis. Nem todos os testes e avaliações puderam ser apresentados neste artigo, mas podem ser consultados em [4]. Concluiu-se que, nos períodos de alta utilização da rede, a operadora avaliada não consegue atender satisfatoriamente a demanda prevista em contrato. Detectou-se um enlace bastante aquém da capacidade contratada e outros dois com a vazão de dados acima do valor contratado. Nos horários comerciais os resultados apresentaram-se diferentes do teste realizado à meia-noite (numa horário possível de janela de manutenção). Verificou-se assim, que testes fora do horário comercial podem não representar a realidade da largura de banda realmente disponibilizada nos horários de pico.

Como possíveis trabalhos futuros encontra-se em implementação um sistema capaz de automatizar rotinas de testes, compilar os resultados e correlacionar eventos de forma a notificar os administradores da rede caso sejam encontradas anomalias. Além disso, é necessário avaliar a viabilidade de se usar a VALIDA em enlaces de 10 Gbps, ou superiores, e avaliar outros microsserviços já implementados, tais como taxa de pacotes por segundo, taxa de erros de conexão e latência de rede e de dispositivos.

REFERÊNCIAS

- [1] Docker - <https://www.docker.com/what-docker>. acessado em 10/05/2018.
- [2] Nodejs - <https://nodejs.org/en/about/>. acessado em 10/05/2018.
- [3] M. Amaral, J. Polo, D. Carrera, I. Mohamed, M. Unuvar, and M. Steinder. Performance evaluation of microservices architectures using containers. In *2015 IEEE 14th International Symposium on Network Computing and Applications*, pages 27–34, Sept 2015.
- [4] M. de Victa Tanure. Uma proposta de validação ágil de circuitos virtuais baseada em microsserviços, 12 2016. Engenharia de Computação. Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).
- [5] A. Hanemann, J. W. Boote, E. L. Boyd, J. Durand, L. Kudarimoti, R. Lapacz, D. M. Swany, S. Trocha, and J. Zurawski. Perfsonar: A service oriented architecture for multi-domain network monitoring. In *Proceedings of the Third International Conference on Service-Oriented Computing, ICSOC'05*, pages 241–254, Berlin, Heidelberg, 2005. Springer-Verlag.
- [6] I. MACHADO, F. VETTER, A. S. MOURA, M. A. STANTON, E. T. L. MELO, G. E. RHODEN, M. VETTER, R. PESCADOR, P. BRANDTNER, and L. CORDEIRO. Monipê service enabling perfsonar deployment in brazilian customer sites through the use of low-cost devices and virtual environment to support monitoring of last mile connectivity. In *Proceedings of the TERENA Networking Conference (TNC 2014)*, pages 1–27. TNC: Networking with the World., 2014.
- [7] D. R. Mafioletti, A. B. Liberatto, R. d. S. Villaça, C. K. Dominicini, M. Martinello, and M. R. N. Ribeiro. Latency measurement as a virtualized network function using metherxis. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, 46(4):14–16, Dec. 2016.
- [8] F. Moradi, C. Flinta, A. Johnsson, and C. Meirusu. Connon: An automated container based network performance monitoring system. In *2017 IFIP/IEEE Symposium on Integrated Network and Service Management (IM)*, pages 54–62, May 2017.
- [9] A. Pekár and M. Chovanec. Survey of the issues surrounding network traffic monitoring. In *11th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM 2015)*, pages 1–8, Sept 2015.
- [10] K. Thompson, G.J. Miller and R.Wilder. Wide-area Internet traffic patterns and characteristics. In *IEEE Network Magazine*, Volume: 11 Issue:6.
- [11] Analyzing UDP usage in Internet traffic - <https://www.caida.org/research/traffic-analysis/tcpudpratio/> acessado em 10/05/2018.
- [12] D. Deeth. Global Internet Phenomena Report 2016: Latin America & North America - <https://www.sandvine.com/blog/2016/06/global-internet-phenomena-report-2016-latin-america-north-america>