

Proposta de Testbed para Experimentação de Plano em Dados em Redes

Diego Pedroso, Bruno Lopes, Cesar Marcondes, Paulo Matias, Emerson Barea

¹Departamento de Computação - Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR

{diego.pedroso, bruno.lopes, marcondes, matias, emerson.barea} @ufscar.br

Resumo. *Testbeds são plataformas fundamentais para a criação e validação de novas tecnologias e arquiteturas de Internet do futuro. Uma vez que oferecem um ambiente totalmente controlável, escalável e próximo das características reais de uma rede como o ambiente da Internet, elas permitem a validação de arquiteturas elaboradas a partir do zero, com novos conceitos baseados em novas tecnologias e voltados principalmente para resolver todas as implicações de segurança e desempenho que desordenam o modelo atual. Para preencher esta lacuna, este trabalho tem como objetivo propor um ambiente onde o experimento tem possibilidade de controlar o plano de dados, utilizando uma API que reduz o tempo de criação e instanciação do experimento, sem restrições funcionais ao usuário, visando fornecer um ambiente representativo de partes da internet.*

1. Introdução e Contexto

O projeto inicial da internet suportava um número reduzido de usuários e esse número vem crescendo até hoje. Além das diversas aplicações da internet, uma das características mais notáveis é sua dimensão atual quando comparada aos seus propósitos iniciais [Kamienski and Sadok 2000]. Para suportar tal crescimento e atender novos requisitos, novas tecnologias têm sido implementadas, como por exemplo, o *Network Address Translation*¹ (NAT), suportando que um conjunto de máquinas acessem a internet compartilhando um, ou poucos, endereços IPs públicos. Apesar de amplamente utilizado, este tipo de tecnologia não resolve definitivamente o problema de escalabilidade da internet.

A simplicidade do modelo TCP/IP² implica em uma rede sem inteligência, o que permitiu a rápida evolução das aplicações e o grande crescimento da rede [Moreira et al. 2009]. Por outro lado, essa limitação em incorporar novos requisitos são consequência da ossificação do projeto inicial da internet, que dificulta modificações funcionais em equipamentos de rede. [Moreira et al. 2009].

As *testbeds*, como o FIBRE [Ciuffo et al. 2016], são plataformas fundamentais para a criação e validação de novas tecnologias e arquiteturas de Internet do futuro, pois, oferecem um ambiente controlável, escalável e próximo das características reais de uma rede como a internet. Essas *testbeds* permitem a validação de arquiteturas elaboradas a partir do zero (*from-scratch*), com novos conceitos, baseada em novas tecnologias e, principalmente, visando solucionar todas as implicações de segurança e desempenho que atravancam o modelo atual. Trabalhos recentes apresentam grande variedade de redes de

¹<https://tools.ietf.org/html/rfc2663>

²<https://tools.ietf.org/html/rfc1180>

experimentação, com características diferentes entre si, porém as contribuições com *testbeds* que controlam o plano de dados são mínimas, visto que não há disponibilização de ambientes que permitam ao experimentador, durante seu experimento, controlar o plano de dados. Buscando preencher essa lacuna, esse trabalho tem por objetivo propor um ambiente onde o experimento tem a possibilidade de controlar o plano de dados juntamente com a reprogramação de interfaces do tipo *Field Programmable Gate Array* (FPGA).

O restante desse trabalho está organizado da seguinte forma: na seção 2 é apresentado o atual estado da arte referente às redes de experimentação. A seção 3 detalha o protótipo da *testbed*, apresenta sua arquitetura e componentes, além de exemplos das funcionalidades do ponto de vista do experimentador. Na seção 4 são apresentados os resultados gerados a partir de um experimento. A seção 5 apresenta o sistema de provisionamento e automação desenvolvido e a seção 6 conclui e propõe trabalhos futuros.

2. Visão Geral das Testbeds e Trabalhos Relacionados

Nesta seção descreveremos trabalhos relacionados às redes de experimentação controladas, bem como as características importantes que as definem. As pesquisas em ambientes que utilizam *testbeds* para gerar resultados tem despontado para dois horizontes [Marcondes et al. 2012], no primeiro deles, os pesquisadores idealizam a internet *from-scratch*, que apresenta arquiteturas onde o modelo de internet atual é totalmente reformulado, e o segundo, apresenta as arquiteturas que implementam melhorias e fomentam a arquitetura vigente.

O PlanetLab [Chun et al. 2003] permite que serviços múltiplos sejam executados de forma compartilhada, e o utilizador consegue realizar experimentos reais usando protocolos de internet já implementados, como por exemplo, o *Peer-to-Peer* (P2P).

A GENI [Berman et al. 2014] é o principal projeto para experimentação em Internet do Futuro, fornecendo um ambiente virtual para redes e sistemas distribuídos de pesquisa em larga escala. O projeto GENI permite aos seus utilizadores conectar recursos de computação usando redes de camada 2 em topologias mais adequadas aos seus experimentos, instalar softwares personalizados e até mesmo sistemas operacionais completos, além de executar seus próprios protocolos de camada 3.

A *testbed Future Internet Testbeds Experimentation Between Brazil and Europe* (FIBRE) [Salmito et al. 2014] é um ambiente de experimentação em redes para pesquisa em larga escala, com foco em experimentos que utilizam *Software-Defined Networking*³ (SDN). A infraestrutura fornecida pelo FIBRE permite que pesquisadores avaliem algoritmos, técnicas e abordagens inovadoras que contribuam para novas arquiteturas e que possam ser utilizadas em modelos para a Internet do futuro. A *testbed* FIBRE permite ao utilizador operar o plano de controle utilizando o protocolo Openflow. Nota-se que as principais redes de experimentação permitem muita flexibilidade ao usuário, provendo controle de aplicações em vários níveis, porém nenhuma delas fornece o controle do plano de dados, que é o foco deste trabalho.

3. Arquitetura e Protótipo da Testbed

Foi desenvolvido dentro do contexto do projeto FIBRE, um protótipo de *testbed* que permite experimentação do plano de dados de uma rede, bem como reprogramação de

³<https://www.opennetworking.org/sdn-definition/>

NetFPGA. Para isso utilizou-se um conjunto de equipamentos fornecidos pela Rede Nacional de Pesquisa⁴ (RNP), dentre eles, 9 máquinas com placas NetFPGA, 5 servidores Whitebox, 2 *switches* com suporte Openflow e 1 servidor de controle e orquestração.

No contexto de *testbeds* existem *softwares* para controle de experimentação, como o Ofelia Control Framework⁵ (OCF), que gerencia componentes de múltiplas infraestruturas virtualizadas em *cloud*. Uma plataforma interessante para experimentação em plano de dados é o Control Monitoring Framework⁶ (OMF), que proporciona amplas possibilidades ao experimentador para criação de um experimento mais seguro, visto que o usuário não precisa ter direitos de administrador no ambiente, permitido executar apenas alguns comandos pré-definidos no experimento, possibilitando controle, auditoria e replicações.

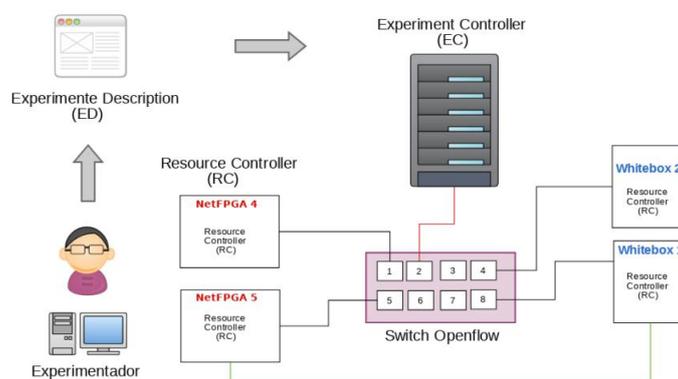


Figura 1. Arquitetura do Arcabouço de Controle.

Para controlar de maneira única os componentes do plano de dados e permitir reprogramação e controle das máquinas, foram desenvolvidos componentes de softwares baseados em OMF que encapsulam funções de baixo nível. Todas máquinas possuem um módulo controlador do OMF denominado *Resource Controller* (RC), esse módulo permite operar ações oriundas do *Experiment Description* (ED), que são comandadas pelo *Experiment Controller* (EC). O OMF permite que o usuário escreva um ED que, por sua vez, é submetido ao EC, que é responsável pelo controle do projeto em nome do usuário. O EC emite solicitações no plano de gerenciamento para configurar os recursos conforme especificado no ED. Uma vez que os pré-requisitos do experimento são atendidos, o EC envia diretivas aos RCs associados a cada recurso. Esses recursos vão desde máquinas NetFPGAs até *switches* Openflow. A configuração dos recursos também é feita pelo RC, seguindo as diretrizes que foram criadas pelo experimentador em seu ED.

A NetFPGA permite modificação de pacotes em trânsito [Goulart et al. 2015], possibilitando o experimentador realizar acelerações em hardware. Equipamentos de rede como roteadores e *switches* operam em quantidades limitadas de arquiteturas e protocolos de rede, e o uso de máquinas com placas NetFPGAs proporcionam alternativas de trabalhar com um *hardware* flexível e altamente controlável. O módulo desenvolvido na NetFPGA permite que o experimentador faça *upload* de arquivos do tipo *bitstream*, que é capaz de reprogramar a placa FPGA a cargo do usuário. Essa funcionalidade da total flexibilidade, uma vez que pode ser utilizada para desenvolvimento de protótipos de

⁴<https://www.rnp.br>

⁵<http://fp7-ofelia.github.io/ocf/>

⁶<http://www.fibre-ict.eu/index.php/cmfm/omf>

pesquisa, implementação e testes de novos protocolos ou sistemas de rede. A Whitebox trabalha como um componente para regular o fluxo de dados de acordo com o controlador SDN. Ao contrário do *Open Virtual Switch (OVS)*, a Whitebox é apenas um *switch* sem um controlador. Para funcionar como switch inteligente, requerem um software de comutação que possa ser configurado pelo controlador SDN, [Manggala et al. 2015]. As máquinas possuem todas suas placas de rede *ethernet* mapeadas em um *switch OVS*, com aceleração via *Data Plane Development Kit (DPDK)*.

Algoritmo 1: Código Simplificado do Experimento Teste.

Entrada: *Setup* em forma de ED do experimento
Saída: O resultado é um *output*, no formato JSON

```

1 início
2   init (netfpga7 - netfpga9) and (whitebox5, whitebox3);
3   set vlan 35 [netfpga7, netfpga9, netfpga8, whitebox5, whitebox3];
4   connect [whitebox5 on netfpga7 (nf2c0)] and [netfpga7 (nf2c1) on whitebox3];
5   (...)
6   reprogram [netfpga7] ← firewall.bit;
7   reprogram [whitebox5, whitebox3] ← controller.p4;
8   (...)
9   configure interface from netfpga8 [nf2c0 100.100.100.1/24];
10  configure interface from netfpga9 [nf2c0 100.100.100.5/24];
11  (...)
12  start iperf in [netfpga8] parameters -u -m 1000 -t 140 -c dest 100.100.100.5;
13  (...)
14  result = (log_iperf_.txt + dump_reg_netfpga.txt + ovs_log.txt + (...));
15 fim
16 retorna result;

```

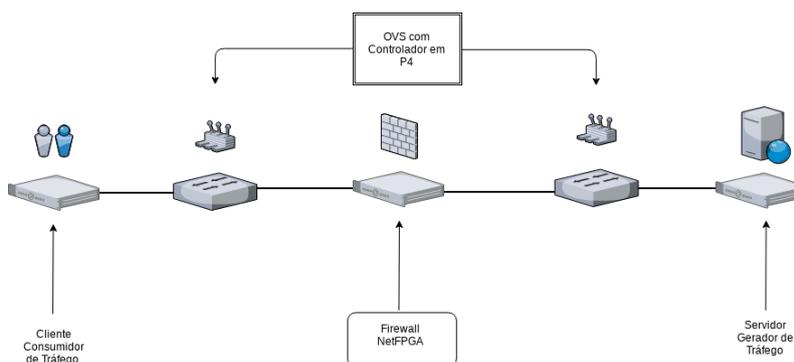


Figura 2. Arquitetura do Experimento Teste.

A Figura 2 representa a topologia lógica arquitetada de acordo com o Algoritmo 1 acima, nota-se que com poucas linhas de código é possível instanciar um experimento utilizando a plataforma para experimentação no plano de dados. A seguir, a seção 6 demonstra os resultados obtidos com este experimento teste.

4. Resultados

Utilizou-se um experimento para demonstrar as funcionalidades da *testbed*, foi instanciado um servidor gerador de tráfego em uma máquina do tipo NetFPGA, com *throughput* total

4Gbps, sendo 1Gbps por porta, esse servidor enviava os dados que seriam consumidos pelo cliente do outro lado da topologia. Os pacotes enviados eram encaminhados através de 2 máquinas do tipo Whitebox. As portas físicas das máquinas eram mapeadas em um único *switch* virtual, que por sua vez, tiveram seus controladores programados na linguagem P4, dessa forma, foi possível controlar como seria o fluxo dos dados.

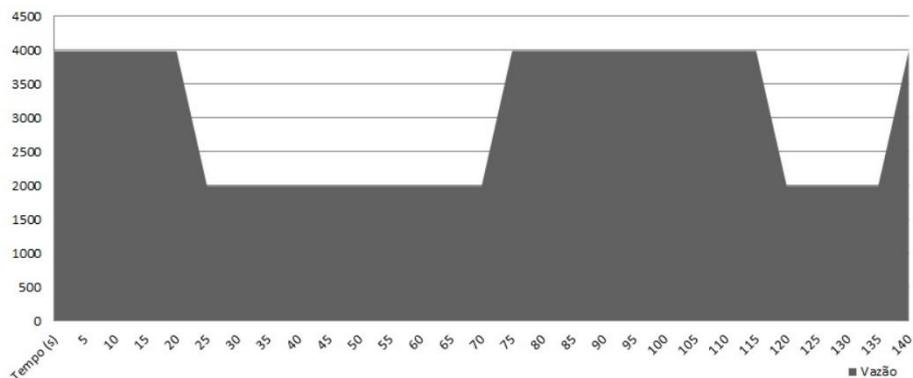


Figura 3. Resultados do Experimento Teste.

O *firewall* NetFPGA processava os pacotes em nível de *hardware*, e bloqueava todos os pacotes com destino à porta 5151, por isso nota-se nos resultados uma grande queda no tráfego nos intervalos de tempo em que o *firewall* é instanciado, visto que metade do fluxo total gerado pelo servidor de tráfego (2Gbps) tinha como destino a porta obstruída.

5. Automação e Provisionamento

Para que as máquinas Whitebox e NetFPGAs operem na *testbed*, é necessário a instalação e configuração de um conjunto de *softwares*. O Ansible⁷ permite que esse conjunto de *softwares* sejam instalados simultaneamente em todas as máquinas, independente do sistema operacional, para tanto, foram desenvolvidos *playbooks* que funcionam como um *cookbook*, onde vários conjuntos de tarefas são executadas em ordem cronológica, fazendo com que os processos de reestruturação e instalação sejam executados em menor tempo.

Instalação Conjunto Softwares	NetFPGA (Média de Tempo em Minutos)	Whitebox (Média de Tempo em Minutos)	Total Instalação Testbed
Usuário	110 (sd:8)	55 (sd:6)	1222 *
Playbook Ansible	45 (sd:2)	23 (sd:1)	45 *

Figura 4. Comparativo de Tempo de Provisionamento da Testbed.

Nota-se grande vantagem ao utilizar o Ansible para instalação e provisionamento devido o fato de todas as instalações serem realizadas simultaneamente, tanto nas máquinas NetFPGAs quanto Whitebox. O tempo médio aproximado de instalação de toda *testbed* utilizando *playbooks* é de 44 minutos, enquanto que o tempo total médio para instalação manual fica em torno de 1.222 minutos.

⁷<https://www.ansible.com>

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Os conceitos abordados neste trabalho permitem que pesquisadores utilizem a *testbed* em experimentos relacionados à internet do futuro, ou de qualquer natureza relacionada a reprogramação de plano de dados em redes. Nota-se que o tempo para desenvolvimento do experimento é menor devido a orquestração pelo OMF, possibilitando que o utilizador não necessite configurar manualmente seu experimento, tornando-o totalmente auditável. Como trabalho futuro, pretende-se criar uma interface web, onde o experimentador poderá configurar seu ambiente de experimentação usando apenas recursos gráficos, e ao final da criação, um *script* ED seria gerado por essa plataforma, facilitando o uso da plataforma para usuários leigos em programação.

Referências

- Berman, M., Chase, J. S., Landweber, L., Nakao, A., Ott, M., Raychaudhuri, D., Ricci, R., and Seskar, I. (2014). Geni: A federated testbed for innovative network experiments. *Computer Networks*, 61:5 – 23. Special issue on Future Internet Testbeds – Part I.
- Chun, B., Culler, D., Roscoe, T., Bavier, A., Peterson, L., Wawrzoniak, M., and Bowman, M. (2003). Planetlab: An overlay testbed for broad-coverage services. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, 33(3):3–12.
- Ciuffo, L., Salmito, T., Rezende, J., and Machado, I. (2016). Testbed fibre: Passado, presente e perspectivas. In *Anais do WPEIF 2016 Workshop de Pesquisa Experimental da Internet do Futuro*, pages 3–6. sn.
- Goulart, P., Cunha, Í., Vieira, M., Marcondes, C., and Menotti, R. (2015). Netfpga: Processamento de pacotes em hardware. *Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores-SBRC 2015*, pages 1–3.
- Kamienski, C. A. and Sadok, D. (2000). Qualidade de serviço na internet. *Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, SBRC, Belo Horizonte/MG*, pages 1–5.
- Manggala, A. W., Tanwidjaja, A., et al. (2015). Performance analysis of white box switch on software defined networking using open vswitch. In *Wireless and Telematics (ICWT), 2015 1st International Conference on*, pages 1–7. IEEE.
- Marcondes, C. A. C., Martins, J., Monteiro, J. A. S., Abelém, A. J. G., Nascimento, V., Machado, I., Salvador, M., and Rothenberg, C. E. (2012). Estado da arte de sistemas de controle e monito-ramento de infraestruturas para experimentação de redes de comunicação. *Minicursos do SBRC, Ouro Preto, MG*, pages 3–7.
- Moreira, M. D., Fernandes, N. C., Costa, L., and Duarte, O. (2009). Internet do futuro: Um novo horizonte. *Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores-SBRC, 2009:1–59*.
- Salmito, T., Ciuffo, L., Machado, I., Salvador, M., Stanton, M., Rodriguez, N., Abelem, A., Bergesio, L., Sallent, S., and Baron, L. (2014). FIBRE - An International Testbed for Future Internet Experimentation. In *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos - SBRC 2014*, page p. 969, Florianopolis, Brasil.