

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

## Experimentação em Redes Definidas por Software empregando a plataforma GENI (Global Environment for Networking Innovations)

Ligia Rodrigues Prete<sup>1</sup>, Christiane Marie Schweitzer<sup>2</sup>; Ailton Akira Shinoda<sup>3</sup>; Rogério Leão Santos de Oliveira<sup>4</sup>

**Resumo** - O presente trabalho contextualiza os problemas existentes nas redes de computadores atuais, e apresenta as Redes Definidas por Software (do inglês Software-Defined Networking - SDN) como uma das principais propostas para a viabilização da Internet do Futuro. Finalmente é apresentada a plataforma de redes SDN, o GENI, que implementa a interface OpenFlow em um cenário de simulação de rede contendo o controlador Floodlight, um *switch* Open vSwitch e oito *hosts*. O objetivo do estudo foi avaliar e constatar os resultados satisfatórios em relação à comunicação e às métricas de total de pacotes, bytes recebidos e taxa média de pacotes empregada nos dispositivos para verificar a atividade do controlador Floodlight em um ambiente laboratorial de rede virtualizado.

**Palavras-chave:** Internet do Futuro, Redes Definidas por Software, GENI.

**Abstract** – This paper contextualizes the problems in today's computer networks, and presents the Software-Defined Networking (SDN) as one of the main proposals for the viability of the Internet of the Future. Finally, it is presented the platform SDN networks, GENI, which implements the OpenFlow interface on a network simulation scenario containing Floodlight controller, a switch Open vSwitch and eight hosts. The aim of the study was to evaluate and observe satisfactory results in relation to communication and total packets metrics, bytes received and average packet rate used in devices to check the activity of the Floodlight controller in a laboratory environment virtualized network.

**Keywords:** Internet of the Future, Software-Defined Networking, GENI.

---

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", ligia.prete@fatec.sp.gov.br

<sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", chris@mat.feis.unesp.br

<sup>3</sup>Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", shinoda@dee.feis.unesp.br

<sup>4</sup>Faculdade de Tecnologia de Jales "Prof. José Camargo", rogerio.leao@fatec.sp.gov.br

## Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

### 1 Introdução

A definição básica da arquitetura da Internet foi desenvolvida há aproximadamente trinta anos. Nesse período, tem-se aprendido sobre redes de computadores e encaminhamento de pacotes. Paralelo a esse surgimento, a Internet vem lidando com contínuas adaptações, causadas pelo seu rápido crescimento e pela quantidade de usuários e aplicações habilitadas sobre sua arquitetura. Essas adaptações demonstram que o projeto inicial já não se ajusta às necessidades atuais na rede. Ainda, a arquitetura atual da Internet apresenta inúmeros problemas não solucionados, impedindo o atendimento dos requisitos destas novas aplicações e serviços (CONTI, 2014).

Diversos especialistas em redes de computadores chegaram a um consenso de que agora consideram extremamente importante realizar estudos de arquiteturas alternativas para Internet do Futuro como uma maneira realmente eficiente de resolver muitos dos problemas prementes (segurança e robustez, eficiência energética na comunicação, mobilidade, escalabilidade, etc.) que atualmente afligem à Internet.

No entanto, essas inovadoras propostas e considerações teóricas na direção dessas soluções deveriam ser suportadas por uma infraestrutura real de rede experimental e testadas em ambientes de larga escala. Estas instalações experimentais desempenhariam o papel de rede para experimentação ou ambiente de teste, possibilitando experimentos para a prova de conceitos de novas arquiteturas, protocolos, tecnologias e serviços (XIE et. al, 2015).

Uma coexistência com a rede de tráfego de produção é essencial para observação e captura de certos aspectos e fenômenos perceptíveis apenas em instalações operacionais e assim, permitir que sejam avaliados os seus impactos sobre a sociedade e a economia.

Felizmente, as agências de fomento de pesquisa ao redor do mundo já perceberam essa necessidade premente e um esforço mundial para desenvolver a próxima geração da Internet. O *National Science Foundation* (NSF) foi um dos primeiros a anunciar o GENI (*Global Environment for Networking Innovations*), que consiste num programa para testar ideias desenvolvidas em infraestrutura de redes futuristas, elaborado como parte de programa FIND (*Future Internet Design*). O esforço NSF foi seguido pelo programa FIRE (*Future Internet Research and Experimentation*) que apoia inúmeros projetos da próxima geração de redes no âmbito do programa da União Europeia, AKARI no Japão, e vários outros programas da mesma forma, especializados na China, Austrália, Coreia, Brasil e outras partes do mundo (FARIAS et. al, 2011).

O trabalho está organizado no seguinte formato: a Seção II apresenta o referencial teórico; Seção III descreve o método, as tecnologias e a topologia proposta; Seção IV analisa os resultados obtidos em uma rede OpenFlow, a partir do controlador Floodlight e, finalmente, a Seção V oferece as considerações finais e descreve as possíveis evoluções de atividades de investigação.

### 2 Referencial teórico

Na comunidade de pesquisa em redes, ao longo do tempo, atentou-se ao crescimento de problemas da Internet, aumentando o interesse em estudar os

### Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

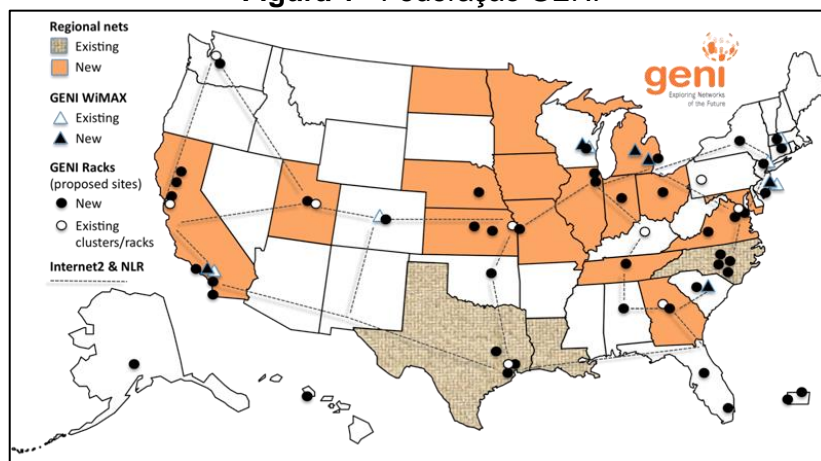
desafios da Internet do Futuro e, com isso, modelar a arquitetura que conduzirá a uma nova geração da Internet.

Ressalvando essas necessidades, algumas iniciativas em pesquisa na Internet do Futuro começaram a surgir em diferentes partes do mundo, conforme a seguir.

## 2.1 GENI

GENI é a principal iniciativa norte-americana em investigação e experimentação em Internet do Futuro, conforme exibido na Figura 1. O GENI é um conjunto de infraestruturas de redes para experimentação dos mais variados modelos tais como: sem fio, óptico e elétrico. O projeto é patrocinado pela NSF desde 2005.

Figura 1– Federação GENI



Fonte: GENI (2016)

O objetivo do GENI é montar um amplo laboratório para experimentações em redes de computadores em larga escala, cuja maior importância é validar novas possibilidades para Internet do Futuro.

Para o GENI (2016), os conceitos principais relacionados à experimentação em Internet do Futuro e que fazem parte do projeto de sua arquitetura são:

- **Programabilidade:** os pesquisadores poderão carregar *software* nos nós do GENI para modificar o seu comportamento;
- **Virtualização e outras formas de compartilhamento de recursos:** qualquer que seja a implementação de máquina virtual sobre um nó GENI, será permitido que múltiplos pesquisadores, simultaneamente, compartilhem a mesma infraestrutura. Cada experimento terá à sua disposição uma fatia isolada, com recursos fim-a-fim alocada dentro da infraestrutura do GENI;
- **Federação:** o GENI será composto por infraestruturas próprias e por outras de apoio, operadas por organizações parceiras ao projeto, criando o conceito de uma federação de recursos e nós, que, na visão de um pesquisador, comportar-se como se fosse uma única infraestrutura;
- **Experimentos baseados em fatias:** cada experimento no GENI será realizado sobre uma plataforma composta de um conjunto de recursos reservados em

### **Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.**

diversas localizações, chamada de uma fatia de recursos. Dentro dessa fatia, o pesquisador poderá remotamente descobrir, reservar, configurar, depurar, operar e gerenciar seus experimentos e recursos disponíveis.

O GENI pode ser visto como a confluência de vários grandes ambientes de teste, oferecendo alternativas para experimentação em redes. Dentre estes ambientes de teste pode-se destacar: PlanetLab, ORBIT e EmuLab (PAUL et al., 2011); (EIDE et al., 2006).

## **2.2 FIRE**

A iniciativa FIRE na Europa visa à pesquisa experimental e ao financiamento de projetos que produzam infraestruturas para experimentação em Internet do Futuro. A meta é que as pesquisas em tecnologias para Internet do Futuro sejam direcionadas à rede ou a serviço e tenham a possibilidade de comparar as soluções correntes com as propostas futuras. Desse modo, afirma-se que o FIRE possui duas dimensões relacionadas que direcionam suas pesquisas e seus investimentos (FIRE, 2010):

- Pesquisa experimental: o objetivo é integrar a pesquisa multidisciplinar e a experimentação em larga escala. A partir daí, definir uma metodologia que direcionará pesquisa experimental na infraestrutura FIRE, baseada em um ciclo interativo que vai da pesquisa, passando pelo projeto e chegando à experimentação;
- Facilidades para testes: o objetivo é oferecer múltiplos ambientes de teste, suportando várias tecnologias e interligadas e federadas entre si para permitir a realização de experimentos envolvendo dois ou mais dos ambientes distintos. Assim, pretende-se que FIRE seja sustentável, renovável, dinâmico e integrado em larga escala. Deverá ainda facilitar a pesquisa experimental na comunidade acadêmica, nos centros de pesquisa e na indústria.

Para o FIRE, as experiências práticas são essenciais para dar credibilidade e levantar o nível de confiança na conclusão da pesquisa. Além disso, a experimentação deve ser executada em larga escala para que seja representativa, convincente, e ainda, para provar a escalabilidade da solução testada. Os projetos de ambiente de teste em destaque aqui, financiados pela iniciativa FIRE (FIRE, 2010), incluem: BonFIRE (Building Service Testbeds on Future Internet Research and Experimentation), CREW (Cognitive Radio Experimentation World) e OFELIA (OpenFlow in Europe: Linking Infrastructures and Applications) (BONFIRE, 2013); (CREW, 2009); (OFELIA, 2011).

## **2.3 Iniciativas brasileiras**

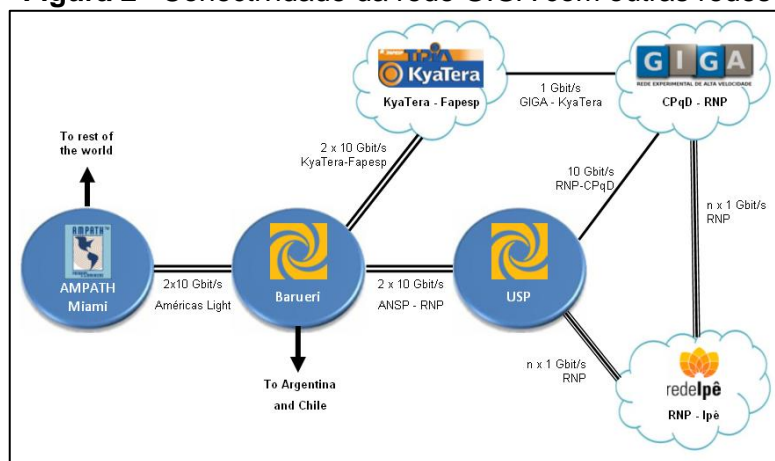
Os parceiros brasileiros contribuem no projeto com a experiência na implantação de instalações de experimentações locais e na participação em diferentes projetos de pesquisa experimental em Internet do Futuro, embora com pouca ou nenhuma coalizão estratégica entre elas. O primeiro desses projetos a destacar-se é o de pesquisa e desenvolvimento GIGA e suas instalações experimentais em grande escala conhecido como Rede GIGA (Rede Experimental de Alta Velocidade), coordenado conjuntamente pelo CPqD (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações) e a RNP (Rede Nacional de Ensino e

### Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

Pesquisa) (SCARABUCCI et al., 2005). O projeto GIGA atualmente se concentra em redes ópticas e as definidas por software.

A rede GIGA conecta mais de 66 laboratórios de 26 instituições da Região Sudeste do Brasil e está conectada com a rede nacional da RNP (GIGA, 2011). Por meio desta, interliga-se com redes de pesquisa e ensino em todo o mundo. A rede GIGA mantém um nó GENI, ou seja, servidores, no CPqD. A Figura 2 apresenta a conectividade da Rede GIGA com outras redes.

**Figura 2–** Conectividade da rede GIGA com outras redes



Fonte: GIGA (2011)

O segundo projeto de destaque é o projeto Web Science (Pesquisa em Ciência da Web) (Webscience, 2010), apoiado pelo CNPq dentro do programa Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT). O projeto Web Science começou efetivamente em 2010 e o subprojeto de Arquiteturas para a Internet do Futuro envolve a RNP, dez universidades brasileiras parceiras: PUC-Rio (Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro), UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro), UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas), UNIRIO (Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro), UFF (Universidade Federal Fluminense), UERJ (Universidade do Estado do Rio de Janeiro), UENF (Universidade Estadual do Norte Fluminense), UFC (Universidade Federal do Ceará), UFRN (Universidade Federal do Rio Grande do Norte), LNCC (Laboratório Nacional de Computação Científica) e cinco universidades internacionais: DERI (Digital Enterprise Research Institute), L3S (L3S Research Center), LIP6 (Laboratoire d'Informatique de Paris VI), LERO (The Irish Software Engineering Research Centre) e U.Waterloo (University of Waterloo), com experiência em redes ópticas e sem fio, estudos de simulação e emulação e de monitoramento de rede. Um dos primeiros objetivos do projeto é estabelecer ilhas experimentais nos laboratórios de cada parceiro e interligá-las na camada 2 por meio das redes Ipê e GIGA.

### 3 Método



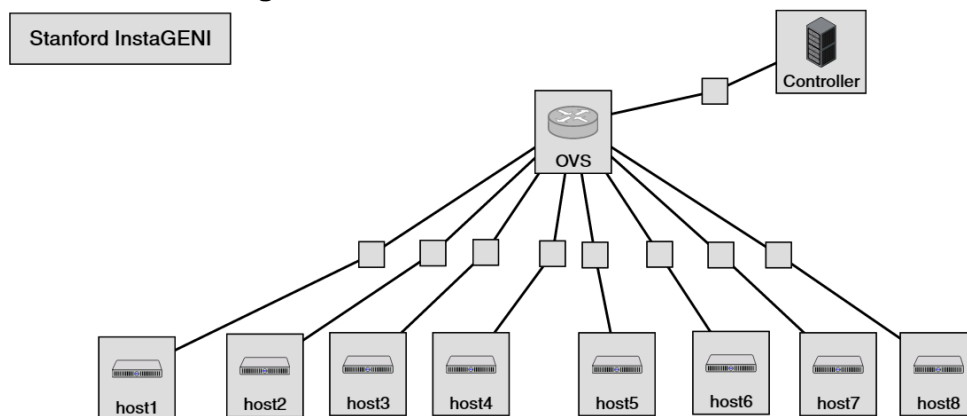
### Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

No ambiente de experimentação GENI foi criado o projeto<sup>5</sup> intitulado como “Projeto Unesp” e a fatia<sup>6</sup> designada como “Fatia Rede Openflow”. Os autores deste trabalho são líderes e membros do projeto. Para os testes da rede foi empregado a agregação<sup>7</sup> da Universidade de Stanford no rack InstaGENI<sup>8</sup>.

Por meio da API<sup>9</sup> de gerenciamento de agregação foram solicitados os recursos no rack InstaGENI:

- a) A topologia de rede empregada apresenta oito *hosts*, um *switch* e um controlador<sup>10</sup> (Figura 3):
  - O *switch* virtual (OVS) é emulado pelo Xen<sup>11</sup>, equipado com o *software* Open vSwitch (versão 2.3.1), sistema operacional Ubuntu14-OVS2.3 e apresentando dez portas Ethernet virtuais de conexão;
  - Os oito *hosts* virtuais (*host1*, *host2*, *host3*, *host4*, *host5*, *host6*, *host7* e *host8*) são emulados pelo Xen. Os *hosts* possuem sistema operacional Ubuntu14-64-STD e uma porta Ethernet virtual para se comunicar com o *switch* OVS;
  - Em relação ao controlador (Controller) será empregado o Floodlight (versão 0.91) e emulado pelo Xen.
- b) A largura de banda para todas as ligações é de 1 Gbits/s.
- c) Para a produção (criação, recepção e análise) do tráfego de dados será aplicado o D-ITG<sup>12</sup> (Distributed Internet Traffic Generator) na versão 2.8.1.
- d) O acesso aos recursos do *switch*, *hosts* e controlador será realizado pelo programa SSH. O GENI fornece chaves públicas e privadas para serem instaladas na máquina que fará o acesso a federação.

**Figura 3–** Plataforma de testes no GENI



Fonte: Elaborado pelo autor

No portal do GENI é exibido as configurações dos componentes de rede no InstaGENI de Stanford (identificação do cliente, identificação do componente, tipo

<sup>5</sup>O projeto organiza pesquisas em GENI, contendo as pessoas e suas experiências.

<sup>6</sup>A fatia é um contêiner para os recursos (computação, links de rede, etc.) usados em um projeto.

<sup>7</sup>Uma agregação fornece recursos para experimentos GENI. Por exemplo, um rack GENI em uma universidade é um agregado.

<sup>8</sup>InstaGENI é uma expansível solução de racks que podem ter vários implantados em um campus, oferecendo suporte de aplicações em nuvem, juntamente com OpenFlow e redes VLAN.

<sup>9</sup>Membros podem solicitar recursos de agregados usando uma API padrão de gerenciamento de agregação.

<sup>10</sup>O controlador concentra a comunicação de todos os elementos programáveis que compõem a rede e oferece uma visão unificada do estado da rede.

<sup>11</sup>O hipervisorXen hospeda as máquinas virtuais.

<sup>12</sup>D-ITG gera tráfego de vários caminhos e é capaz de coletar estatísticas relevantes.

### Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

de *sliver*<sup>13</sup>, nome do *host*, porta de comunicação, sistema operacional, tipo de *hardware*, nó virtual, IP público, endereço MAC do *switch*, interfaces, porta da máquina virtual do servidor, endereço MAC das interfaces, camada 3: endereço IP, tipo e máscara da rede).

## 4 Resultados e Discussão

Foi desenvolvido um sistema de registro para depurar o comportamento do controlador na plataforma GENI. As métricas de total de pacotes, *bytes* recebidos e taxa média de pacotes, foram empregadas nos dispositivos para constatar a atividade do controlador Floodlight.

### 4.1 Configuração do tráfego de dados gerado pelo D-ITG usado na simulação

Durante o experimento foram realizados testes de conectividade entre os *hosts* e emissão de fluxos de dados gerados pelo D-ITG.

O *host* h1 foi escolhido para ser o receptor dos dados enviados dos outros *hosts* emissores (h2, h3, h4, h5, h6, h7 e h8). Para os testes foram criados fluxos para emissão de cada *host* remetente. A Tabela 1 apresenta as configurações do tráfego de dados.

**Tabela 1**– Configuração do tráfego de dados para as simulações

Descrição	Parâmetros
Quantidade de fluxos	10
Protocolo empregado	TCP
Tamanho de cada pacote enviado	512 <i>bytes</i>
Taxa de transferência constante	100 pps (pacotes por segundo)
Duração dos fluxos	30 s (segundos)

**Fonte:** Elaboração do próprio autor

O *host* h1 não será mostrado nos gráficos, uma vez que os seus valores serão semelhantes aos exibidos nos demais *hosts*.

Considerando a configuração do tráfego de dados apresentado na Tabela 1, estimam-se nos resultados de desempenho da rede os valores aproximados a seguir: **Total de pacotes** - em torno de trinta mil pacotes (10 fluxos \* 100 pps \* 30 s). **Bytes recebidos** - em média de quinze *megabytes* recebidos (10 fluxos \* 512 bytes \* 100 pps \* 30 s). **Taxa média de pacotes** - em torno de mil pacotes por segundo (10 fluxos \* 100 pps).

### 4.2 Simulação

Nesta simulação foi analisado como se comporta o controlador Floodlight na sua configuração padrão, ou seja, com os módulos predefinidos para a transmissão de dados entre os *hosts*.

<sup>13</sup>*Sliver* é um ou mais recursos fornecidos por um agregado.

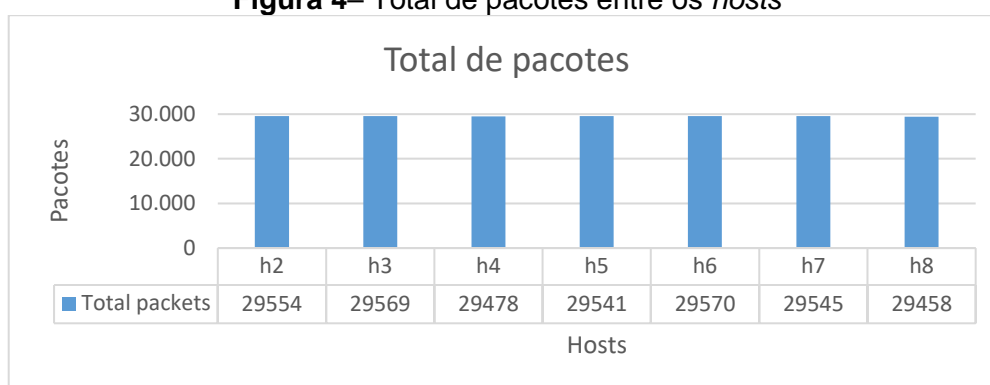
**Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.**

**4.2.1 Análise de desempenho da rede com o tráfego de dados gerado pelo D-ITG**

Após a inicialização do controlador, foi observado com o comando “ovs-ofctl show” que todas as portas dos *switches* se encontram ativas aguardando o tráfego na rede. Nas métricas apresentadas (total de pacotes, bytes recebidos e taxa média de pacotes) o fluxo de dados é transmitido pelos sete *hosts* ao receptor h1 e vice-versa.

Na Figura 4, é verificado o total de pacotes e observa-se que a média destes foi em torno de trinta mil pacotes.

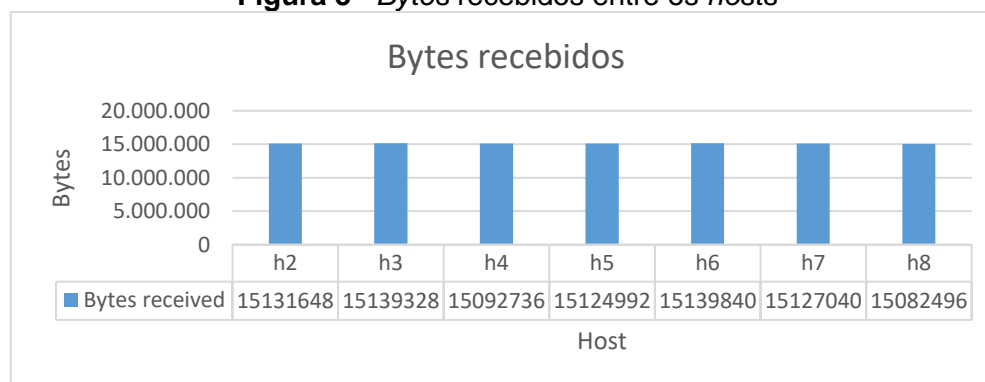
**Figura 4**– Total de pacotes entre os *hosts*



Fonte: Elaborado pelo autor

Do mesmo modo, na Figura 5, é apurada a quantidade de *bytes* recebidos. Observa-se que a média de *bytes* convertido em *megabytes* foi em torno de quinze *megabytes*.

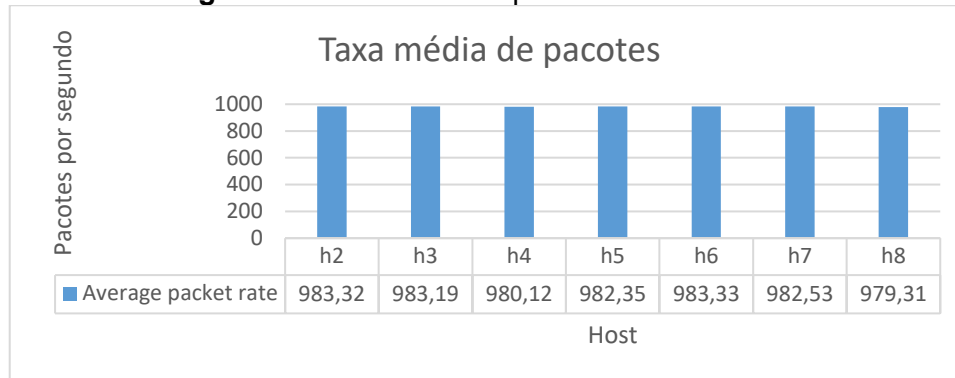
**Figura 5**– Bytes recebidos entre os *hosts*



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 6 apresenta a taxa média de pacotes por segundo e observa-se que a média da taxa de pacotes foi em torno de novecentos e noventa pacotes por segundo.



**Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.****Figura 6**– Taxa média de pacotes entre os *hosts*

Fonte: Elaborado pelo autor

Observando os valores esperados da subseção 4.1 em relação ao desempenho da rede, os resultados apresentados na simulação são satisfatórios, ou seja, não houve relevante perda no comportamento do tráfego de dados entre os *hosts* da topologia proposta (Figura 3).

## 5 Considerações finais

Neste trabalho foi realizado um estudo sobre Internet do Futuro (IF), apresentando o andamento da pesquisa experimental no Brasil e no mundo, e mostrando que, de uma maneira rápida e simplificada, é possível construir infraestrutura para experimento de protocolos baseados em redes OpenFlow. Observa-se ainda que é possível iniciar análise para IF virtualizando todo plano de dados alinhado às necessidades de um ambiente real. O paradigma de SDN, implementado em OpenFlow, permite projetar rapidamente e validar algoritmos inovadores para o controle da rede.

Neste estudo, foi avaliado o controlador Floodlight e testado na plataforma de simulação de Redes Definidas por Software: GENI. Este *testbed*<sup>14</sup> é uma federação que possui um robusto laboratório para experimentações em redes de computadores reais ou virtuais em larga escala.

Considerando o sucesso do paradigma SDN e todos os desafios identificados neste estudo, observa-se que existe um vasto campo para o desenvolvimento de novos projetos de pesquisa focado em SDN.

Trabalhos futuros para este estudo serão solicitar *hosts* não virtualizados na federação GENI para testar o controlador em um ambiente de rede física e, assim, concretizar a sua eficácia.

## Referências

BONFIRE. *Building service testbeds on future internet research and experimentation*. 2013. Disponível em: <<http://www.bonfire-project.eu>>. Acesso em: 20 mar 2016.

<sup>14</sup>*Testbed* é uma plataforma para a realização de testes rigorosos, transparentes e replicável das teorias científicas, ferramentas computacionais e novas tecnologias.

**Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.**

CREW. *Cognitive radio experimentation world*. 2009. Disponível em: <<http://www.crew-project.eu>>. Acesso em: 22 mar 2016.

EIDE, E.; STOLLER, L.; STACK, T.; FREIRE, J.; LEPREAU, J. Integrated scientific workflow management for the emulab network testbed, *Proceedings of the Annual Conference on Usenix '06 Annual Technical Conference in Usenix Association*, Berkeley, CA, USA, p. 33, 2006.

CONTI, M. Present status and future challenges, *Computer Communications*, Italy, volume 37, p. 1-4, 2014.

FARIAS, F. N. N.; JÚNIOR, J. M. D.; SALVATTI, J. J.; SILVA, S.; ABELÉM, A. J. G.; SALVADOR, M. R.; STANTON, M. A. Pesquisa experimental para a internet do futuro: uma proposta utilizando virtualização e o framework openflow, *29º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, Campo Grande-MS, 2011.

FIRE. *Future internet research and experimentation: an overview of european fire initiative and its projects*. Technical report. 2010. Disponível em: <[http://cordis.europa.eu/fp7/ict/fire/docs/fire-brochure-201\\_en.pdf](http://cordis.europa.eu/fp7/ict/fire/docs/fire-brochure-201_en.pdf)>. Acesso em: 18 abr 2016.

GENI. *Global Environment for Network Innovations*. 2016. Disponível em: <<http://www.geni.net>>. Acesso em: 29 mai 2016.

GIGA. *Rede experimental de alta velocidade*. 2011. Disponível em: <<http://www.giga.org.br/rede/infra>>. Acesso em: 10 abr 2016.

XIE J.; GUO D.; HU Z.; QU T.; LV P. Control plane of software defined networks: A survey, *Computer Communications*, China, volume 67, p. 1-10, 2015

OFELIA. *Openflow in europe - linking infrastructure and applications*. 2011. Disponível em: <<http://www.fp7-ofelia.eu>>. Acesso em: 20 abr 2016.

PAUL, S.; PAN, J.; JAIN, R. *Architectures for the future networks and the next generation internet: A survey*. *Comput. Commun.*, vol. 34, 2011, p. 2-42.

SCARABUCCI, R. R.; STANTON, M. A.; BARROS, M. R. X.; SALVADOR, M. R.; ROSSI, S. M.; SIM, F. D.; ROCHA, M. L.; SILVA NETO, I. L.; ROSOLEM, J. B.; FUDOLI, T. R. T.; MENDES, J. M. D.; CASTRO, N. F.; MACHADO, I.; REGGIANI, A. E.; PARADISI, A.; MARTINS, L. Project giga-high-speed experimental ip/wdm network. *Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks & Communities in International Conference*, p. 242-251, 2005.

WEBSCIENCE. *Brazilian institute for web science research*. 2010. Disponível em: <<http://webscience.org.br/files/INCTportugues2010.pdf>>. Acesso em: 10 mai 2016.