

Plataforma de apoyo para la enseñanza de tópicos avanzados en redes de computadores

Resumen. FIBRE (Future Internet Brazilian environment for Experimentation) es un banco de pruebas para experimentación construido en el ámbito de un proyecto financiado por el Llamado Coordinado Brasil-UE en TIC del 2010. El proyecto finalizó en octubre del 2014 sin embargo, en el 2015, las instituciones brasileñas miembros del proyecto, dirigidas por la Red Nacional de Enseñanza e Investigación asumieron la infraestructura dedicada a dicho banco de pruebas para ser ofrecido como un servicio. Actualmente los recursos están garantizados para la operación del banco de pruebas hasta el final del año 2019. Teniendo en consideración todo el conocimiento generado a lo largo de estos nueve años de desarrollo, implementación y uso del FIBRE, fue decidido llevar a cabo dos actividades principales: (i) modernización y automatización de la infraestructura con el fin de disminuir el costo de operación y aumentar la escalabilidad del banco de pruebas en términos de nuevos protocolos, tecnologías de virtualización de redes, aplicaciones orientadas a la nube y redes definidas por software, (ii) entregar a los investigadores una versión del banco de pruebas FIBRE con bajo consumo de recursos, orientada a la experimentación en un contexto local e integrada al FIBRE, la cual pueda contribuir a la enseñanza de tópicos avanzados de redes de computadores. Siendo así, este trabajo presenta una plataforma didáctica que ofrece la posibilidad de que investigadores o estudiantes de diferentes latitudes puedan, desde su computador personal, realizar experimentos con una experiencia de usuario simplificada y que pueden posteriormente ser ejecutados en el ambiente FIBRE federado con el objetivo de publicar resultados de alto valor científico. Con el uso de esta plataforma por parte de la comunidad científica y académica en general, se pretende aproximar a los investigadores y estudiantes del paradigma de las redes definidas por software a través de programas de software de bajo consumo de recursos, flexibles y de fácil instalación, que permiten el desarrollo de pruebas de concepto del mismo modo que se integran con ambientes de experimentación de alta confiabilidad.

Palabras Clave: FIBRE, Banco de pruebas, Redes Definidas por Software, SDN, redes virtuales, Enseñanza de redes de computadores, Emulador de redes de computadores.

Eje temático: Tecnologías en la innovación educativa e investigación.

1. Introducción

La evaluación de nuevas arquitecturas, protocolos, métodos y tecnologías en las investigaciones aplicadas a la Internet del futuro dependen de los recursos dedicados para la experimentación con el fin de buscar soluciones en áreas como desempeño, mediciones, seguridad, movilidad, distribución de contenido etc. Diversas iniciativas y proyectos financiados por gobiernos y por redes de investigación e educación en diferentes países han sido desarrolladas desde 2008 [1], implantando infraestructuras dedicadas para soportar las investigaciones en la Internet del futuro.

El proyecto FIBRE (Future Internet testbeds/experimentation between Brazil and Europe) [2], seleccionado en el 2010 en el 1er llamado Coordinado entre Brasil y Europa en tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), desarrolló y opera un banco de pruebas de gran escala, que actualmente cuenta con la participación de 15 instituciones distribuidas en 15 estados, más el Distrito Federal. En la actualidad es la mayor plataforma para investigaciones aplicadas en la Internet del Futuro en Brasil.

El banco de pruebas FIBRE está compuesto por un conjunto de ambientes con recursos de computación e redes dedicados para las actividades de investigación y experimentación. Estos ambientes son denominados, islas de experimentación, y están conectadas entre ellas por medio de una infraestructura definida por software denominada FIBREnet, como puede ser observado en la Figura 1. Dicha infraestructura compuesta por enlaces de capa 2 (L2) SDN sobrepuestos al *backbone* nacional (Red Ipe). MPLS de la Red Nacional de Enseñanza e Investigación (RNP).

La FIBREnet ofrece programabilidad de los conmutadores OpenFlow a los usuarios a través de la virtualización de estos recursos, permitiendo así la experimentación federada entre las islas. La primera versión de la FIBREnet fue proyectada e implantada entre los años 2011 y 2014. Esta versión contaba con conmutadores OpenFlow 1.0 de 24 puertas de 1Gbps en 7 puntos de presencia (PoPs) de la RNP y 10 enlaces capa 2. Entre 2015 y 2017 esta infraestructura fue expandida para 10 conmutadores y 15 enlaces. El mapa de la red FIBREnet puede ser consultado en la siguiente dirección: <http://fibre.org.br/infrastructure/fibrenet/>.

La Figura 1 ilustra la arquitectura de la FIBREnet. La capa inferior representa los conmutadores (i.e., whiteboxes) físicos distribuidos en PoPs de todo Brasil. La segunda capa, con los enlaces rojos, se refiere a la red virtual que replica la versión anterior de la FIBREnet adicionando flexibilidad, programabilidad y alto grado de desempeño.

Teniendo en consideración todo el conocimiento generado a lo largo de casi una década de desarrollo, implementación y uso del FIBRE, fue decidido llevar a cabo dos actividades principales: (i) modernización y automatización de la infraestructura con el fin de disminuir el costo de operación y aumentar la escalabilidad del banco de pruebas en términos de nuevos protocolos, tecnologías de virtualización de redes, aplicaciones orientadas a la nube y redes definidas por software, (ii) entregar a los

de control tradicional del FIBRE, una capa de red emulada y nodos de computación encapsulados en container. De esta forma la solución como un todo permanece auto contenida sin dependencias de bibliotecas o configuraciones externas.

MiniFIBRE permite a los experimentadores el planeamiento y desarrollo de las aplicaciones, así como la ejecución de pruebas de forma ágil, en un ambiente local, sin tener en consideración las restricciones del tiempo programado para el experimento o los recursos disponibles en el ambiente de experimentación federado.

Una vez que el investigador o el estudiante valide el correcto funcionamiento de la aplicación y necesite de un ambiente más robusto y confiable con un comportamiento determinístico, en el cual los resultados científicos puedan ser reproducidos, MiniFIBRE posibilita la implantación del experimento en el FIBRE con una mínima intervención manual por parte del investigador.

MiniFIBRE se destaca de otros softwares de experimentación como Mininet [4], en el sentido de que ofrece una fuerte integración con un banco de pruebas de alto desempeño e confiabilidad, capaz de permitir la obtención de resultados científicos replicables. Además, esta plataforma expone de forma simplificada el funcionamiento de un banco de pruebas de escala nacional en un computador personal por lo cual puede ser utilizado en instituciones de enseñanza e investigación para el auxiliar el aprendizaje de tópicos avanzados de redes de computadores.

2 Descripción de la plataforma implementada

MiniFIBRE como el nombre sugiere es una versión simplificada del banco de pruebas FIBRE y su arquitectura es dividida en dos niveles: (i) Nivel local y (ii) nivel global. El nivel local es representado por un conjunto de recursos de experimentación (e.g., hipervisor, vlan id, topología de red), los cuales serán asignados al experimentador. El nivel global agrega todos los recursos disponibles en las islas de experimentación y a través de un portal web permite que los usuarios realicen reservas, implanten y accedan a los recursos indicados para su utilización.

El nivel local está dividido en tres componentes: (i) recurso, (ii) controlador de recurso, (iii) bróker local. El recurso es el componente más elemental de una isla de experimentación, un recurso puede ser ejemplificado como un container, un conjunto de conmutadores que forman una topología de red o un identificador de VLAN específico. Cada isla de experimentación ofrece para la plataforma un conjunto distinto de recursos, o sea, las islas poseen recursos diferentes entre sí.

El controlador de recursos es el componente utilizado como un intermediario para implantar, configurar y coleccionar informaciones de un determinado recurso. Cada uno de estos recursos debe poseer un controlador específico para su administración. El controlador de recursos se comunica con el recurso, el cual es controlado a través de APIs específicas (e.g., docker REST API).

Finalmente, el bróker local es responsable por agregar todos los controladores de

recursos y anunciarlos para el nivel global. El bróker se comunica con el nivel global a través de una API llamada AM Liaison como puede ser observado en la Figura 2. Los brókeres locales exponen una API del SFA AM que permite descubrir, agregar y anunciar los recursos locales para el intermediario central. Cada isla debe implantar su bróker para que el investigador tenga la posibilidad de reservar los recursos a través del portal web de experimentación.

El nivel global posee la función de agregar y anunciar los recursos disponibles en la plataforma, realizar las reservas de estos y permitir al investigador utilizarlos. Los principales componentes del nivel central son: (i) portal de experimentación, (ii) clearing house, (iii) bróker central y (iv) controlador del experimento.

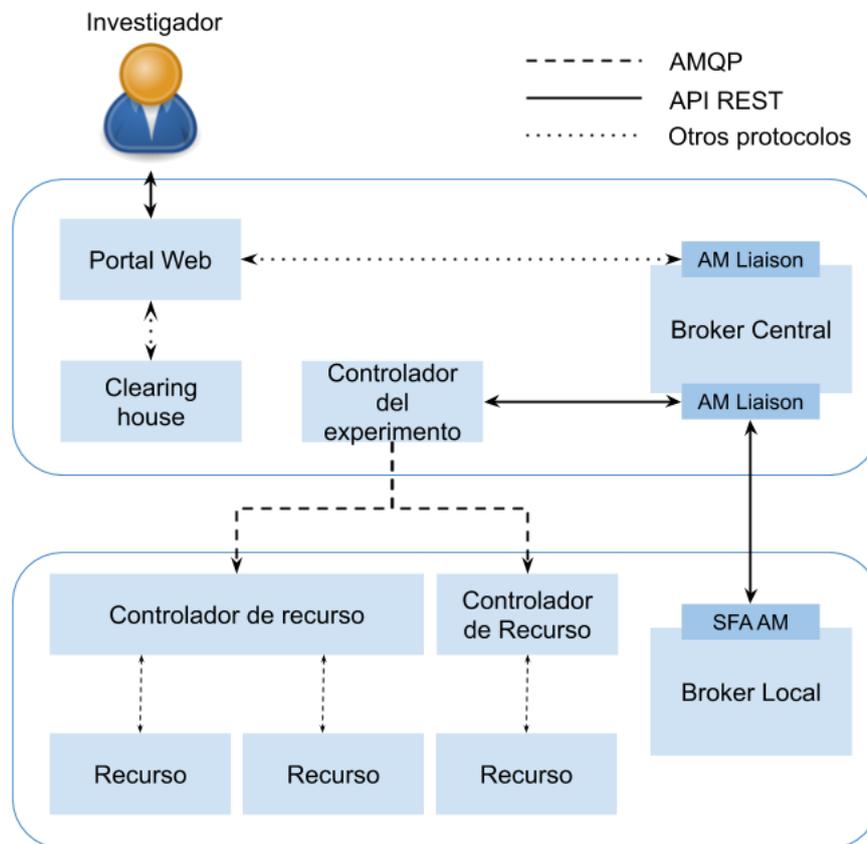
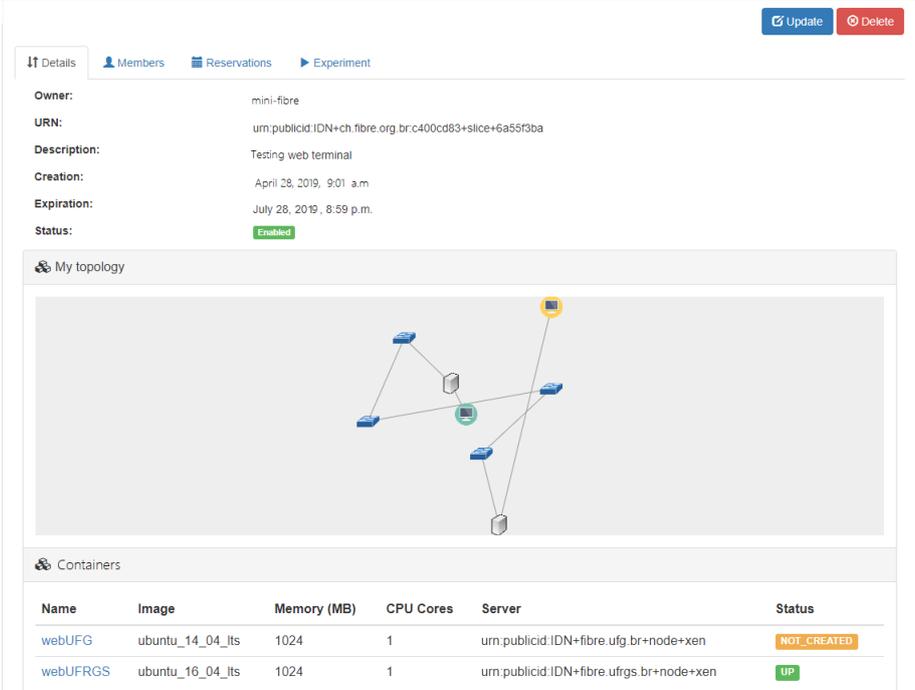


Fig. 2 Diseño de la Arquitectura del Framework de control del MiniFIBRE.

El portal provee una interface gráfica que posibilita que el investigador organice y ejecute los experimentos de manera intuitiva. A través del portal que puede ser observado en la Figura 3, el investigador tiene la posibilidad de instanciar los

Cancún, México, 2 - 4 de septiembre de 2019

containers, crear topologías de red, así como especificar el controlador SDN que será utilizado.



The screenshot shows a web portal interface for managing experiments. At the top right, there are 'Update' and 'Delete' buttons. Below the navigation tabs (Details, Members, Reservations, Experiment), the 'Details' section is active, displaying the following information:

- Owner: mini-fibre
- URN: urn:publicid:IDN+ch.fibre.org.br:c400cd83+slice+6a55f3ba
- Description: Testing web terminal
- Creation: April 28, 2019, 9:01 a.m
- Expiration: July 28, 2019, 8:59 p.m.
- Status: Enabled

Below the details is a section titled 'My topology' which contains a network diagram showing several nodes (routers, switches, servers) connected in a mesh-like structure. At the bottom, there is a 'Containers' table with the following data:

Name	Image	Memory (MB)	CPU Cores	Server	Status
webUFG	ubuntu_14_04_its	1024	1	urn:publicid:IDN+fibre.ufg.br+node+xen	NOT_CREATED
webUFRGS	ubuntu_16_04_its	1024	1	urn:publicid:IDN+fibre.ufrgs.br+node+xen	UP

Fig: 3 Portal web con los detalles da topología y recursos de computación reservados.

De forma transparente el portal genera un modelo OEDL (OMF Experimentation Description Language) que describe formalmente el experimento y posibilita su reproducción por la comunidad científica.

El componente clearing house administra los accesos de usuarios a los segmentos de red y las reservas de los recursos. El bróker central por su parte tiene la responsabilidad de agregar todos los recursos presentes en el nivel local y a través del portal poner a disposición del investigador los recursos de computación y de red presentes en la plataforma.

El controlador de experimentos es la entidad responsable por la orquestación de los experimentos descritos en los scripts OEDL. Un sistema de mensajes (i.e., publish/subscribe) fue adoptado para lidiar con las comunicaciones entre los recursos y las entidades que interactúan con ellos. Los participantes pueden criar tópicos, suscribirse a ellos o publicar usando AMQP 5, un protocolo de la capa de aplicación de especificación abierta para middlewares orientados a mensajes.

3. Flujos de experimentación

Primeramente, el experimentador debe criar un proyecto, para eso un *wizard* de

creación de proyecto guiará al investigador. Seguidamente serán seleccionadas las islas de experimentación que serán utilizadas y después se debe adicionar los nodos de computación que se desean instanciar en cada una de las islas previamente seleccionadas.

Como parámetros deben ser informados el nombre de la máquina, la imagen docker que se desea utilizar, así como la cantidad de memoria RAM que será reservada. El próximo paso es crear la topología de red que será usada en el experimento. Para esto, será utilizado un editor de topología en el que se podrá, de forma amigable, seleccionar conmutadores y los enlaces entre ellos. Finalmente se deberá generar un script OEDL que iniciará el experimento.

Integración con el FIBRE

La principal característica que hace de MiniFIBRE una plataforma única es su capacidad de integración con el FIBRE.

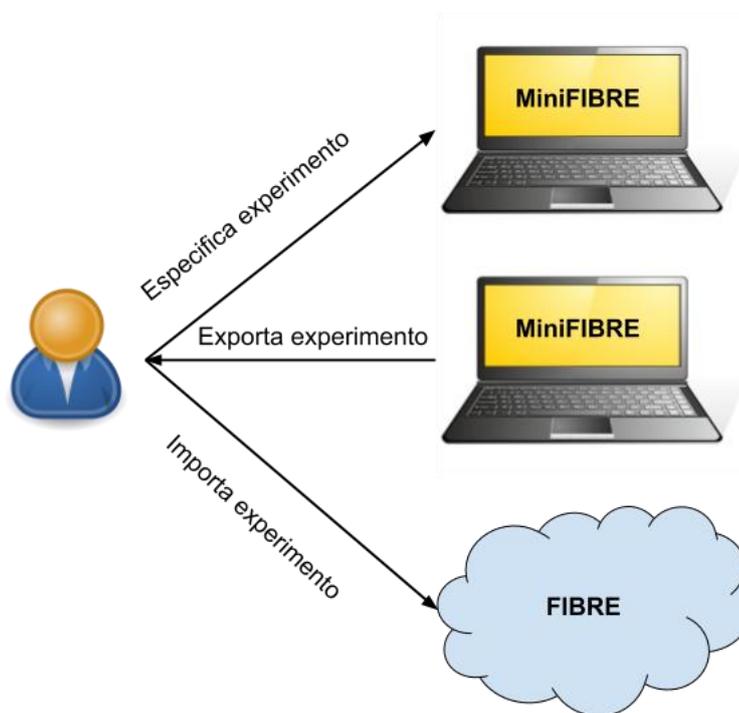


Fig. 4 Proceso actual de integración entre MiniFIBRE y FIBRE

Actualmente esta integración es realizada a través de la generación de un archivo que

describe el experimento realizado por el investigador y que puede ser importado por el FIBRE. La estructura de este archivo es basada en OEDL y posee informaciones como:

- Nombre del proyecto
- Recursos utilizados (conmutadores, enlaces, nodos de computación)
- Descripción de los recursos utilizados (versiones de los protocolos, repositorio de imágenes dockers, identificadores de los segmentos de red, etc.)
- Script de ejecución del experimento

4. Aspectos críticos y relevantes

En la implementación actual de la plataforma MiniFIBRE esta se auxilia de un emulador de red (i.e., Mininet) con capacidad de instanciar nodos virtuales encapsulados en contenedor, como puede ser observado en la Figura 5. Esta característica disminuye el valor científico de los resultados obtenidos del experimento debido a la influencia de elementos no controlados por la plataforma como son, el escalonamiento de los procesos del sistema operacional y la priorización de estos. Es por esta razón que MiniFIBRE ofrece la posibilidad de ejecutar los experimentos en un ambiente con comportamiento determinístico como es el FIBRE.

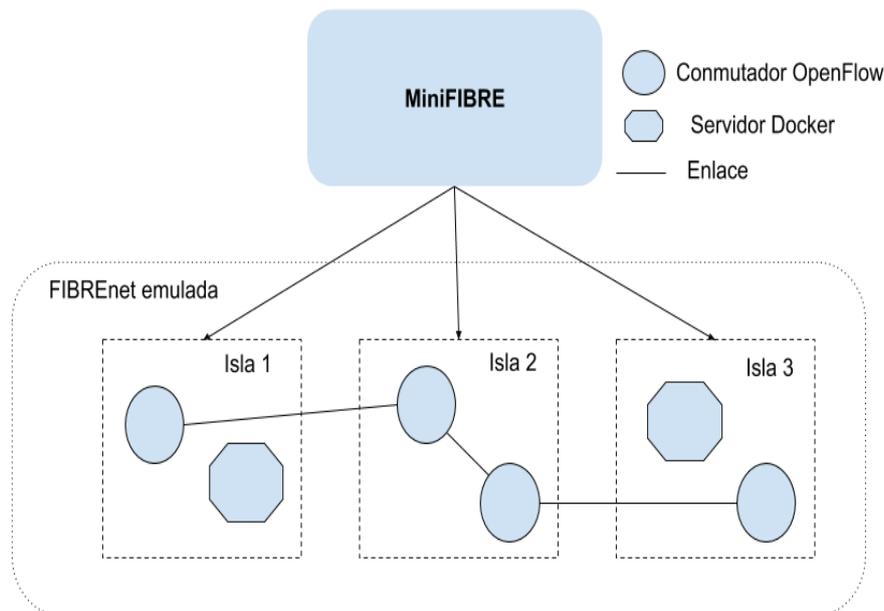


Fig. 5 Representación de MiniFIBRE utilizando un emulador de red.

Otro aspecto relevante se refiere a la magnitud de la topología de red que el investigador tiene a su disposición. Debido a que MiniFIBRE se limita a reproducir la FIBREnet los experimentos en la versión actual de la plataforma son limitados a los recursos físicos del banco de pruebas federado.

5. Resultados obtenidos y trabajos futuros

A lo largo de la evolución del proyecto FIBRE, desde el año 2011 hasta el 2019, la FIBREnet implantó 13 conmutadores, instalados en puntos de presencia de la RNP en diferentes estados, y 15 enlaces de 1Gbps entre ellos, siguiendo la arquitectura original del proyecto FIBRE para la FIBREnet. Esta evolución de la infraestructura, junto a las tareas de automatización para obtener un banco de pruebas flexible y ágil, permitió la construcción del MiniFIBRE. Una plataforma que replica el funcionamiento del FIBRE de forma simplificada y con bajo consumo de recursos.

Con el uso de MiniFIBRE por parte de la comunidad científica se aproxima a los investigadores del concepto y la práctica de las redes definidas por software a través de plataformas de bajo consumo de recursos, flexibles y de fácil instalación, que permiten el desarrollo de pruebas de concepto del mismo modo que se integran con ambientes de experimentación de alta confiabilidad.

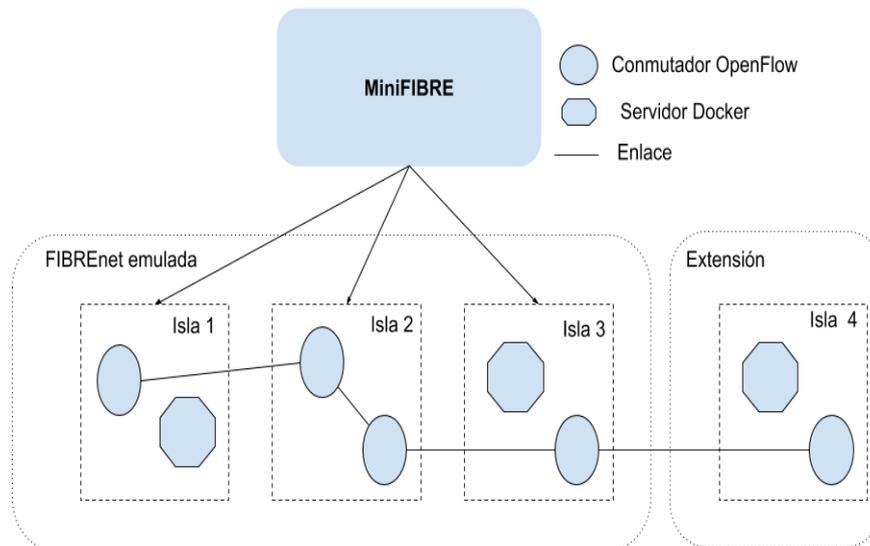


Fig. 6 MiniFIBRE con soporte a islas emuladas.

Proyecciones futuras en el desarrollo de la plataforma MiniFIBRE estarán direccionadas a la implementación de islas emuladas en el proyecto FIBRE, de esta forma el experimentador no estaría restringido al uso de recursos respaldados por una

9a Conferencia de Directores de Tecnología de Información, TICAL2019

y

III Encuentro Latinoamericano de e-Ciencia

"El genoma estudiantil y la metamorfosis digital universitaria"

Cancún, México, 2 - 4 de septiembre de 2019

infraestructura física.

Con el soporte a islas emuladas la topología de red en la plataforma MiniFIBRE podría escalar proporcionalmente a los recursos presentes en el computador del investigador o estudiante como puede ser observado en la Figura 6.

Otro aspecto importante es la implementación de recursos inalámbricos para el desarrollo de aplicaciones en el ámbito de Internet de las cosas (IoT) redes de sensores. Finalmente se pretende hasta el término del año 2019 entregar una versión de MiniFIBRE con soporte a P4 [5].

Referencias

- 1** PAN, J., PAUL, S. e JAIN, R. A survey of the research on future internet architectures. IEEE Communications Magazine, vol. 49, no. 7, págs. 26 a 36, julio de 2011. DOI: 10.1109/MCOM.2011.5936152.
- 2** SALMITO, T., CIUFFO, L., MACHADO I., SALVADOR S., STANTON, M. et al. FIBRE - An International Testbed for Future Internet Experimentation. Simposio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuidos - SBRC 2014, maio 2014, Florianópolis, Brazil. p. 969, 2014.
- 3** T. Rakotoarivelo, M. Ott, G. Jourjon, and I. Seskar. Omf: A control and management framework for networking testbeds. SIGOPS Oper. Syst. Rev., 43(4):54-59, Jan. 2010.
- 4** Bob Lantz , Brandon Heller , Nick McKeown, A network in a laptop: rapid prototyping for software-defined networks, Proceedings of the 9th ACM SIGCOMM Workshop on Hot Topics in Networks, p.1-6, October 20-21, 2010, Monterey, California
- 5** Pat Bosshart , Dan Daly , Glen Gibb , Martin Izzard , Nick McKeown , Jennifer Rexford , Cole Schlesinger , Dan Talayco , Amin Vahdat , George Varghese , David Walker, P4: programming protocol-independent packet processors, ACM SIGCOMM Computer Communication Review, v.44 n.3, July 2014