

Estabelecimento autônomo do canal de serviço de redes ópticas de transporte utilizando redes definidas por software

Ebenézer Nogueira da Silva, Maxwell Eduardo Monteiro, Anilton Salles Garcia

Resumo—Este artigo apresenta uma proposta de solução para autoconfiguração do canal de serviço das redes ópticas de transporte (OTN), utilizando a abordagem de redes definidas por software (SDN). A solução é descrita em termos de sua arquitetura, algoritmos e trocas de mensagens. Um ambiente experimental, baseado em máquinas virtuais, é utilizado para validar a solução, demonstrando sua exequibilidade técnica e sua escalabilidade.

Palavras-Chave— Gerência de Redes, Autoconfiguração, Redes Ópticas de Transporte, Redes Definidas por Software.

Abstract— This paper proposes a solution for auto-configuration of the transport optical networks (OTN) service channel, using software defined networks (SDN). The solution is described in terms of its architecture, algorithms and message exchanges. An experimental setup, based on virtual machines, is used to validate the solution, demonstrating its technical feasibility and scalability.

Keywords— Telecommunication Network Management, Self-configuration, Optical Transport Networks, Software Defined Networks.

I. INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos as redes de telecomunicações têm evoluído para uma maior automatização em sua configuração e operação. Esse paradigma tem sido referenciado na literatura como Redes Autogerenciadas [3] ou Redes Cognitivas [11]. Uma grande quantidade de trabalhos tem se dedicado ao problema de auto-organização de sistemas de telecomunicações via rádio, cunhando o termo Rádio Cognitivo [4], onde se destaca o padrão *Self-organized Networks* (SON) do consórcio *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) [1]. Um dos problemas atacados no padrão SON é o da autoconfiguração (*self-configuration*).

Por outro lado, a produção de trabalhos referentes ao paradigma de autogerenciamento ou redes cognitivas para as redes ópticas de telecomunicações está fortemente concentrada no aspecto da engenharia de tráfego, via plano de controle, como apresentado em [5] e [10], e no ajuste automático do ponto de operação de dispositivos ópticos, a exemplo de [6]. Esses trabalhos consideram que a rede já está configurada e em plena operação. Isso implica em ter os canais de sinalização (controle e gerência) estabelecidos e em operação. O presente trabalho propõe avançar no aspecto da autoconfiguração, apresentando uma maneira de se estabelecer, de forma automática, o canal de serviço e gerência para as camadas

inferiores da rede OTN (*Optical Transporte Network*) [8]. Com o estabelecimento automático do canal de serviço e gerência das camadas inferiores, mais um passo será dado na direção de se ter redes totalmente autogerenciadas e cognitivas.

O artigo é estruturado com a seção II abordando a base teórica envolvida e uma explanação a respeito do problema a ser tratado. A seção III traz a solução que é proposta para o problema apresentado. A seção IV aborda os testes realizados e os resultados alcançados. Por fim, a seção V conclui o artigo e aborda os trabalhos que estão por vir.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO E DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA

As redes OTN estabelecem a visão do *International Telecommunication Union - Technical* (ITU-T) sobre redes ópticas *Wavelength Division Multiplex* (WDM) de classe mundial. Essas redes possuem arquitetura em três grandes camadas: Digital, OCh (*Optical Channel*) e Camadas Ópticas Inferiores (*Media*), conforme apresentado na Fig. 1. A camada Digital é dividida em duas sub-camadas: *Optical Channel Data Unit* (ODU) e *Optical Transport Unit* (OTU).

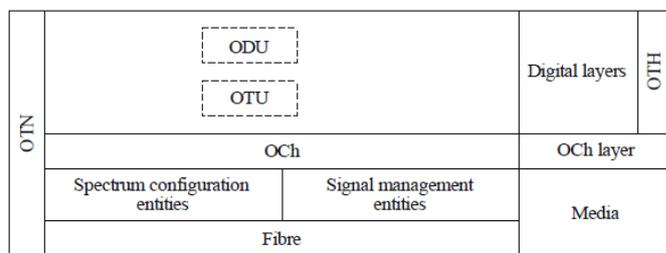


Fig. 1. Arquitetura funcional resumida das Redes OTN (fonte: [8]).

As Camadas Ópticas Inferiores (*Media* – na Fig. 1.) são divididas em: *Optical Multiplex Section* - OMS e *Optical Transmission Section* - OTS. As sub-camadas ODU e OTU são multiplexadas na camada OCh, gerando os sinais OCh-P (OCh - *payload*) e OCh-O (OCh - *overhead*) [8].

A. O Canal Óptico de Serviço da Rede OTN

A separação entre *payload* e *overhead* é efetivada quando os sinais OCh-P e OCh-O são transformados para o domínio óptico, surgindo, respectivamente, o Canal de Transporte e o Canal de Serviço. O *overhead* das camadas ópticas inferiores (OMS e OTS) são transmitidas exclusivamente pelo Canal de

Serviço, cuja implementação física (comprimento de onda efetivo) está associada à camada OTS.

A Fig. 2. mostra a transformação dos sinais OTS-O *source* em um sinal de supervisão do enlace óptico (OSC) e a multiplexação desse (através do OSC Filter) com o sinal OTS-P (este último gerado a partir do OMS-P). O *overhead* da Camada Digital vai agregado dentro dos quadros ODU e OTU, sendo multiplexados no OCh-P (*in band*) [8].

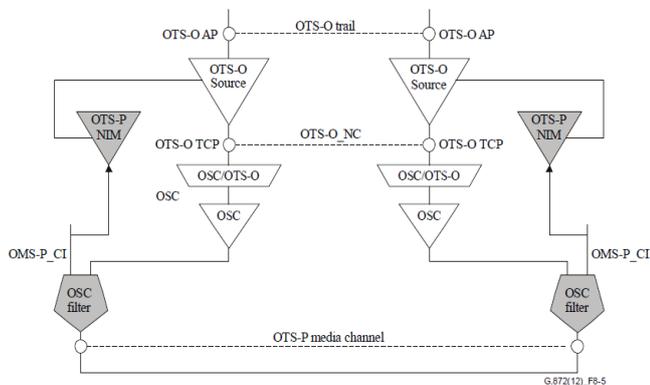


Fig. 2. Esquema do Canal de Serviço OTN (fonte: [8]).

É no *overhead* (OSCOTS_O) que estão os sinais OTN utilizados na gerência e operação da rede. Esses sinais são utilizados para indicar se há alguma falha na rede, se houve desalinhamento do quadro, dentre outros eventos das camadas OMS e OTS. Por isso, seu estabelecimento se torna crucial para o funcionamento da rede OTN.

Ao longo dos anos, as informações associadas ao canal de serviço eram encapsuladas em diferentes protocolos de comunicação de dados, para fossem moduladas em uma portadora óptica. Essas implementações já adotaram protocolos tais como: RS-232, SDLC e PPP. Entretanto, as implementações atuais utilizam o protocolo 802.3u (*Fast Ethernet*) ou alguma tecnologia *Ethernet* mais atual. Essa tendência se deu por conta do barateamento da tecnologia *Ethernet*, sua enorme presença no mercado mundial e sua grande flexibilidade de implementação (tanto no que se refere ao hardware, quanto ao software associado). Outra grande vantagem do *Ethernet* é o conjunto de protocolos de sinalização estabelecidos sobre ele, como, por exemplo, o padrão *Operation, Administration and Maintenance (OAM) Ethernet* (ITU-T Y.1731).

B. Redes Definidas por Software - SDN

Com o surgimento do conceito de Redes Definidas por Software (SDN - *Software Defined Networking*) [2], o uso de tecnologia *Ethernet* se tornou ainda mais vantajoso para algumas situações. A possibilidade de se programar o comportamento de uma rede abriu novas fronteiras, não só na capacidade de transporte de informações, mas na organização da sinalização de rede e na capacidade de operação autônoma dos equipamentos de telecomunicações.

A proposta chamada de Redes Definidas por Software - SDN se baseia na separação entre o plano de transporte e o plano de controle. Com essa separação, o comutador fica apenas responsável por fazer o encaminhamento dos quadros de acordo com sua tabela de fluxos, deixando a inteligência de decisão para um controlador (*software*). O controlador instala e atualiza as tabelas de fluxo em cada comutador, modificando o comportamento de tráfego da rede conforme necessidade. A rede pode contar com um único controlador, centralizando todo o processamento dos fluxos, ou com um conjunto distribuído. Ainda é possível utilizar controladores que sirvam de *backup* para o caso de uma falha no controlador principal.

O protocolo que vem sendo amplamente utilizado para a implementação das SDNs é o OpenFlow. Por meio desse protocolo, o comutador e o controlador podem se comunicar. Utilizando OpenFlow, o comutador envia para o controlador informações sobre os pacotes que não têm correspondência em sua tabela de rotas. Por sua vez o controlador envia de volta para o comutador quais as interconexões ele deve fazer daí por diante.

C. Delimitação do Problema e Trabalhos Relacionados

Uma vez que a portadora óptica esteja operacional (isso pode ser obtido por meio de técnicas explicadas em trabalhos de amplificadores cognitivos [6]), uma importante questão relacionada ao canal de serviço é a necessidade de se delimitar as seções OCh, OMS ou OTS. As seções definem a propagação ou retenção de cada tipo de mensagem de *overhead*, conforme sinalização característica. Cada tipo de *Optical Network Elements (ONE)* implementa uma ou mais camadas da arquitetura OTN, impondo a necessidade de uma decisão sobre quais mensagens ele deve propagar para os vizinhos (*pass-through*) ou reter (*drop*). Nas recomendações da ITU-T não há indicações de qual protocolo ou tecnologia deve ser utilizada no canal de serviço, apenas uma indicação de que entidades de mesma camada devem se comunicar como se possuíssem uma ligação direta (a estilo do que propõe o Modelo OSI de referência – ISO/IEC 7498-1). Para canais de serviço implementados com a tecnologia *Ethernet*, o correto encaminhamento do *overhead* entre os ONEs que formam os pontos de terminação de uma determinada seção pode ser obtido através do uso da tecnologia de *Virtual LAN (VLAN – IEEE 802.1Q)*. Nessa abordagem, é necessário primeiro entender a topologia de rede óptica, para que sejam, manualmente, configuradas VLANs que não entrem em conflito e espelhem as seções OCh, OMS e OTS existentes. Outra questão é que um sinal recebido em cada ONE deve ser entregue a um software local de encaminhamento para que uma decisão de propagação ou retenção de mensagem seja tomada. Esse conjunto de atividades exige uma prévia configuração manual e estática, além de ser uma operação lenta, já que todos os sinais devem ser analisados pelo software local de encaminhamento.

Há na literatura trabalhos científicos que tratam da operação automática de redes ópticas utilizando SDN e o protocolo LLDP (*Link Layer Discovery Protocol*) para o descobrimento da topologia [7] e [9]. No entanto, as soluções apresentadas tratam da autoconfiguração de circuitos ópticos (levantamento de topologia) ou da autorrecuperação de

circuitos afetados por falhas, tendo seu foco no Plano de Controle da rede óptica. Ambos partem da hipótese que o canal de serviço já está operando.

A contribuição apresentada neste trabalho é da automatização do processo de estabelecimento do canal de serviço, garantindo a criação automática das seções OCh, OMS e OTS, por meio da utilização de tecnologia SDN. Dessa forma, demais processos de autoconfiguração tornam-se possíveis.

III. A SOLUÇÃO PROPOSTA

Como premissas deste trabalho, cada ONE possui uma placa microprocessada, chamada de Supervisora, que processa os sinais OTN e um comutador *Ethernet* com suporte ao OpenFlow 1.0 ou superior. O comutador receberá e enviará os quadros *Ethernet* representando a sinalização do canal de serviço. Os quadros são modulados em uma portadora óptica no comprimento de onda 1510 nm, conforme norma da ITU-T.

A. Arquitetura da Solução

Um controlador OpenFlow fica hospedado em um dos ONEs, que também hospeda um servidor DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol* – RFC 2131). Todos os ONEs, incluindo o que possui o controlador, executam o Agente de Autoconfiguração, software desenvolvido neste trabalho. A comunicação entre os comutadores OpenFlow em cada ONE e o controlador é feita, inicialmente, por meio de uma VLAN administrativa padrão, presente em qualquer implementação de comutador *Ethernet*. Por meio dessa VLAN administrativa cada ONE também obtém seu endereço IP (*Internet Protocol* – RFC 791). A Fig. 3. mostra como é a arquitetura que está sendo proposta.

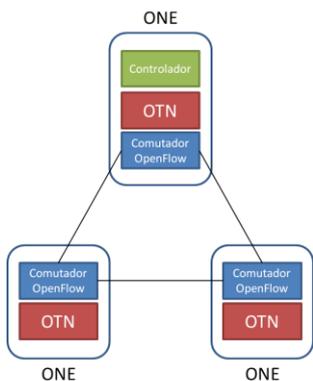


Fig. 3. Arquitetura da rede.

B. Processo de distribuição de VLANs

O processo inicia-se pela atribuição de endereço IP a cada ONE, feita via DHCP. Entre as configurações recebidas pelo ONE está a do TFTP (Trivial FTP – RFC 1350), que será utilizada como endereço do controlador OpenFlow. Após receber um endereço IP, cada ONE executa seu Agente de Autoconfiguração. Esse agente configura o endereço do controlador no comutador local, dando início ao funcionamento da tecnologia OpenFlow. Após a conexão dos comutadores em

cada ONE, o controlador inicializa o módulo de LLDP, através do qual receberá as informações de topologia da rede. A placa Supervisora também utiliza o LLDP para informar a qual porta do comutador está conectada. Além da descoberta da topologia, cada ONE faz o levantamento de seu inventário, identificando quais camadas OTN ele possui. A coleta e o envio dessas informações de inventário para o controlador são de responsabilidade do Agente de Autoconfiguração. O envio do inventário é feito através do *Protocol Data Unit (PDU)* do LLDP, campo *System Description TLV* (IEEE 802.1 AB).

De posse das informações de topologia da rede e inventário de cada ONE, um algoritmo para a atribuição de VLANs é executado e gera quais rotas (seções) devem ser estabelecidas e quais regras de encaminhamento de sinalização OTN devem ser adicionadas a tabela de fluxos de cada comutador. Com as regras de encaminhamento definidas, o controlador as adiciona a cada comutador, permitindo assim que cada ONE tenha o correto procedimento de encaminhamento das mensagens de sinalização.

C. O Algoritmo de Configuração do Canal de Serviço

Passo 1: montam-se as rotas entre os ONEs que possuem a mesma camada. Todos os ONEs possuem a camada OTS, portanto para cada conexão entre os comutadores é criada uma rota para a camada OTS. Já a camada OMS pode, ou não, existir em um ONE. Assim o algoritmo percorre a lista dos ONEs que possuem a camada OTS e faz uma busca em profundidade até encontrar outro ONE que também possua a camada OTS. Essa busca é feita para cada porta do comutador até encontrar o primeiro ONE que possua a camada OTS.

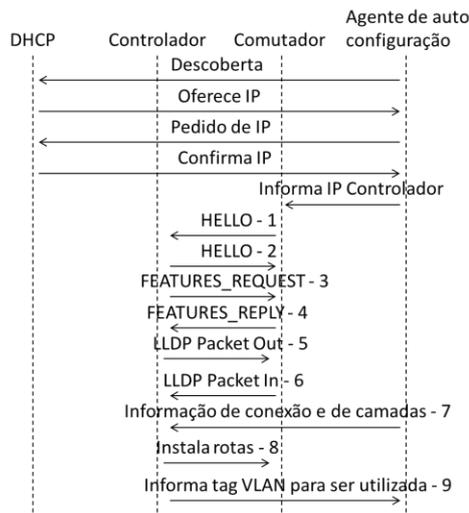


Fig. 4. Diagrama de troca de mensagens.

Passo 2: atribui-se os rótulos de VLAN às rotas. Para isso, utiliza-se uma estrutura de dados para armazenar quais rótulos de VLAN já estão em uso em cada comutador. Para cada rota, das camadas OTS e OMS, percorre-se os comutadores que a compõem e atribui-se a essa rota o menor rótulo de VLAN que ainda não foi utilizada por nenhum comutador que compõe a rota.

Passo 3: cria-se as regras que serão inseridas na tabela de fluxos de cada comutador. Para os comutadores que estão no

início e final da rota, a regra é encaminhar os quadros para a porta em que a placa supervisora está conectada. Já para os comutadores intermediários, o quadro é encaminhado para a porta em que o próximo comutador da rota está conectado.

Passo 4: instala-se as regras estabelecidas para cada comutador. Utilizando o protocolo OpenFlow adiciona-se as regras às tabelas de fluxo de cada comutador.

Passo 5: o controlador informa aos ONEs qual o rótulo de VLAN deve ser utilizada para cada camada que ele possui.

Após esse processo, todas as VLANs estarão atribuídas e será possível enviar os quadros entre os ONEs que estão na mesma VLAN. A Fig. 4. mostra o diagrama de sequência do estabelecimento do canal de serviço. A Fig. 5. exibe o log das mensagens trocadas para o estabelecimento do canal de serviço. Cada mensagem da Fig. 5. refere-se a um dos passos do diagrama de sequência da Fig. 4. por meio da numeração em frente à mensagem.

```

1 19:11:49.565202 IP (tos 0xc0, ttl 64, id 41750, offset 0, flags [DF], proto 1, len 8) 192.168.56.1.56569 > 192.168.56.101.6633: Flags [P.], version 1.0, type HELLO, length 8, xid 0x0000113d
2 19:11:49.567769 IP (tos 0xc0, ttl 64, id 33918, offset 0, flags [DF], proto 1, len 8) 192.168.56.101.6633 > 192.168.56.1.56569: Flags [P.], version 1.0, type HELLO, length 8, xid 0x664b545a
3 19:11:49.567975 IP (tos 0x0, ttl 64, id 33919, offset 0, flags [DF], proto 1, len 8) 192.168.56.101.6633 > 192.168.56.1.56569: Flags [P.], cksum 0xf1, version 1.0, type FEATURES_REQUEST, length 8, xid 0x664b545b
4 19:11:49.568233 IP (tos 0xc0, ttl 64, id 41753, offset 0, flags [DF], proto 1, len 224) 192.168.56.1.56569 > 192.168.56.101.6633: Flags [P.], cksum 0xff, version 1.0, type FEATURES_REPLY, length 224, xid 0x664b545b
5 19:11:49.580555 IP (tos 0x0, ttl 64, id 33922, offset 0, flags [DF], proto 1, len 75) 192.168.56.101.6633 > 192.168.56.1.56569: Flags [P.], cksum 0x5e, version 1.0, type PACKET_OUT, length 75, xid 0x664b545e
6 19:11:49.580895 IP (tos 0xc0, ttl 64, id 11261, offset 0, flags [DF], proto 1, len 69) 192.168.56.1.56570 > 192.168.56.101.6633: Flags [P.], cksum 0x00, version 1.0, type PACKET_IN, length 69, xid 0x00000000
7 19:11:49.582269 IP (tos 0x0, ttl 64, id 2481, offset 0, flags [DF], proto 1, len 48) 192.168.56.102.45116 > 192.168.56.101.4545: Flags [P.], cksum 0xda41, version 1.0, type PACKET_OUT, length 48, xid 0x00000000
8 19:11:49.594099 IP (tos 0x0, ttl 64, id 33928, offset 0, flags [DF], proto 1, len 80) 192.168.56.101.6633 > 192.168.56.1.56569: Flags [P.], cksum 0x249, version 1.0, type FLOW_MOD, length 80, xid 0x00000000
9 19:11:49.785619 IP (tos 0x0, ttl 64, id 54549, offset 0, flags [DF], proto 1, len 48) 192.168.56.101.4545 > 192.168.56.102.45116: Flags [P.], cksum 0xf249, version 1.0, type PACKET_IN, length 48, xid 0x00000000

```

Fig. 5. Log da troca de mensagens.

D. Vantagens da Solução Proposta

A solução apresentada tem como principal vantagem estabelecer automaticamente, em poucos segundos, as seções OCH, OMS e OTS dos ONEs de uma rede. Outra grande vantagem é o uso de tecnologias, tais como VLAN, DHCP e OpenFlow, aderentes às atualmente utilizadas nos ONEs presentes no mercado de telecomunicações.

O uso do OpenFlow melhora o desempenho do processo de encaminhamento de mensagens de sinalização, tornando desnecessária a existência de um software local de encaminhamento no ONE.

IV. EXPERIMENTO E RESULTADOS OBTIDOS

A. Setup utilizado

Para testar a proposta foi utilizado um ambiente simulado utilizando o virtualizador *VirtualBox*. As máquinas virtuais foram utilizadas para simular as placas de processamento de sinais OTN e o controlador. Dois tipos de máquinas virtuais foram utilizados. Para o ONE que hospeda o controlador foi utilizada a distribuição linux Ubuntu server 14.04 com 512 Mb de memória RAM. Para os demais ONEs utilizou-se a distribuição linux CorePlus 6.2 com 128 Mb de memória RAM.

Para simular o comutador OpenFlow foi utilizado o OpenV Switch 2.0.2. Como controlador OpenFlow optou-se por utilizar o controlador Ryu, que é desenvolvido em Python.

Os testes foram realizados em um computador com as seguintes configurações:

- Processador Intel Core i5 3.4 GHz;
- Memória RAM de 8 Gb;
- Sistema operacional Ubuntu 14.04.

B. Testes realizados

Foram feitos testes com três configurações de redes diferentes. Para cada configuração testou-se o estabelecimento do canal de serviço com 04, 08, 16 e 32 ONEs. As três configurações testadas foram: estrela (Fig. 6.), anel com ramificação (Fig. 7.) e anel (Fig. 8.).

Na configuração em estrela, todos os ONEs tinham as camadas OTS e OMS. Na configuração em anel com ramificação os ONEs que faziam parte do anel tinham apenas a camada OTS e os ONEs da extremidade tinham as camadas OTS e OMS. Na configuração em anel metade dos ONEs tinham as camadas OTS e OMS e a outra metade apenas a camada OTS, sendo que os dois tipos de ONEs eram intercalados.

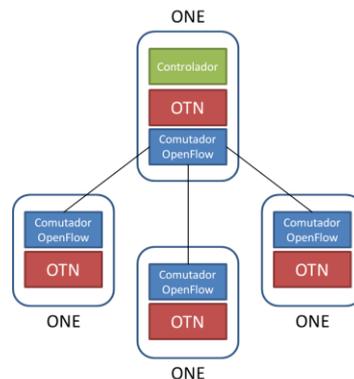


Fig. 6. Configuração em estrela.

Cada topologia foi testada 10 vezes e mediu-se o tempo necessário para estabelecer o canal de serviço. O tempo contabilizado foi desde a inicialização do controlador até a inclusão das regras na tabela de rotas dos comutadores. Para medir esse tempo foi utilizada a biblioteca *time* do Python.

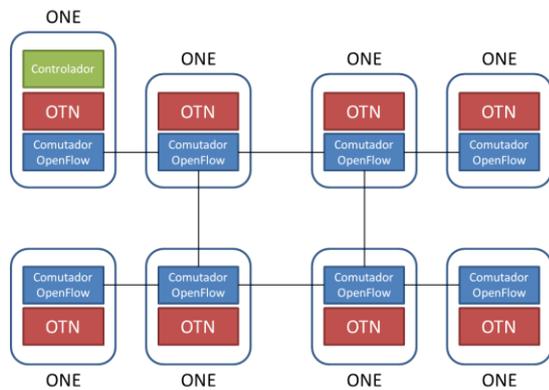


Fig. 7. Configuração em anel com ramificação.

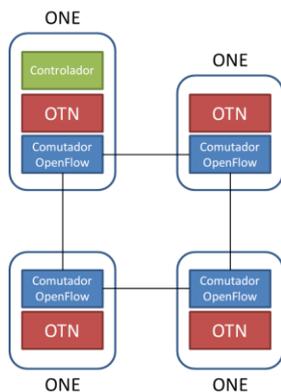


Fig. 8. Configuração em anel.

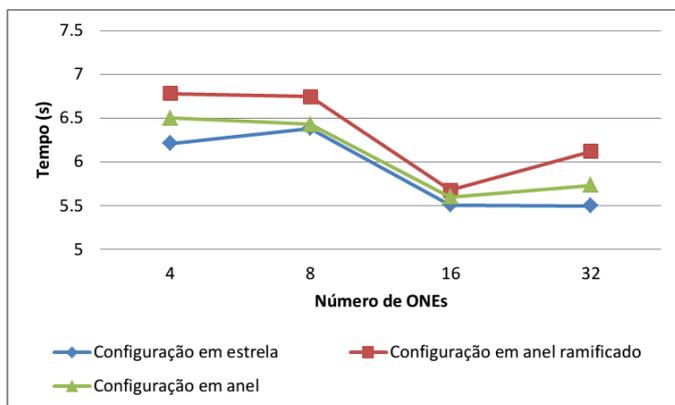


Fig. 9. Gráfico do tempo para estabelecer o canal de serviço.

Na Fig. 9. é mostrado o tempo médio para o estabelecimento do canal de serviço em cada topologia testada. O desvio padrão das amostras para a configuração estrela foram, de 4 para 32 ONEs: 0,16, 0,35, 1,48 e 0,77. Para a configuração anel ramificado o desvio padrão foi, de 4 para 32 ONEs: 0,25, 0,37, 1,55 e 0,61. Na configuração anel o desvio padrão foi, de 4 para 32 ONEs: 0,29, 0,34, 1,34 e 0,89. É possível perceber que o tempo não tende a uma escalada exponencial com o aumento do número de ONEs. Também não apresenta diferença significativa com relação ao tipo de

topologia testada. O tempo gasto para o estabelecimento das VLANs é da ordem de 7 segundos, o que é absolutamente mais rápido que o processo manual utilizado atualmente.

V. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A solução aqui apresentada para autoconfiguração do canal de serviço das redes ópticas de transporte articula tecnologias tradicionais (DHCP e VLAN) e atuais (OpenFlow), se posicionando como uma alternativa tecnicamente viável para atuais ONEs. Com arquitetura simples e baixo custo em termos de troca de mensagens, a solução também se mostrou escalável, uma vez que cenários experimentais evidenciaram que a complexidade da topologia da rede e o número de nós não afetam significativamente o desempenho do processo proposto. Outro ganho da proposta foi eliminar a necessidade de um software local de encaminhamento de sinais, tornando mais ágil a decisão de propagação ou retenção de mensagens que chegam a um ONE.

Como próximos passos, os autores avaliam a agregação do processo de autoconfiguração da portadora óptica, antes da utilização da solução aqui descrita. Outro passo a ser dado é estudar o comportamento da solução proposta em cenários de falhas intermitentes dos ONEs e diante de uma mudança de inventário do ONE, modificando sua relação com as camadas OMS e OTS.

REFERÊNCIAS

- [1] 3GPP Web Site - <http://www.3gpp.org/technologies/key-words-acronyms/105-son>. Acessado em 28/04/2015
- [2] FEAMSTER, Nick; REXFORD, Jennifer; ZEGURA, Ellen. The road to SDN: an intellectual history of programmable networks. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, v. 44, n. 2, p. 87-98, 2014.
- [3] JENNINGS, Brendan et al. Towards autonomic management of communications networks. Communications Magazine, IEEE, v. 45, n. 10, p. 112-121, 2007.
- [4] MITOLA, Joseph; MAGUIRE JR, Gerald Q. Cognitive radio: making software radios more personal. Personal Communications, IEEE, v. 6, n. 4, p. 13-18, 1999.
- [5] MONROY, I. Tafur et al. Cognitive heterogeneous reconfigurable optical networks (CHRON): enabling technologies and techniques. In: 2011 13th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON), 2011.
- [6] OLIVEIRA, Juliano R. et al. Demonstration of EDFA cognitive gain control via GMPLS for mixed modulation formats in heterogeneous optical networks. In: Optical Fiber Communication Conference. Optical Society of America, 2013. p. OW1H.2
- [7] OLIVEIRA, Juliano R. et al. Experimental Testbed of Reconfigurable Flexgrid Optical Network with Virtualized GMPLS Control Plane and Autonomic Controls Towards SDN. In: Microwave & Optoelectronics Conference (IMOC), 2013 SBMO/IEEE MTT-S International.
- [8] OTN - ITU-T G.872. - <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11786>. Acessado em 27/04/2015.
- [9] SIQUEIRA, M. et al. An Optical SDN Controller for Transport Network Virtualization and Autonomic Operation. In: Globecom Workshops (GC Wkshps), 2013 IEEE.
- [10] SIRACUSA, D. et al. A control plane framework for future cognitive heterogeneous optical networks. In: Transparent Optical Networks (ICTON), 2012 14th International Conference on. IEEE, 2012. p. 1-4.
- [11] THOMAS, Ryan W. et al. Cognitive networks: adaptation and learning to achieve end-to-end performance objectives. Communications Magazine, IEEE, v. 44, n. 12, p. 51-57, 2006.