

# PROPOSTA DE ARQUITETURA OTN SWITCH SEGUNDO AS RECOMENDAÇÕES ITU-T

Matheus Brunoro Dilem<sup>1</sup>, Rafael Campanharo Favoreto<sup>1</sup>, Rodrigo Stange Tessinari<sup>1</sup>, Luiz Guilherme Bergamaschi Bueloni<sup>1</sup> e Anilton Salles Garcia<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo.

**Resumo**—Este artigo apresenta uma proposta de arquitetura para o equipamento OTN *Switch*, com enfoque nas funcionalidades apresentadas pelas Recomendações ITU-T, especialmente a ITU-T G.798. São exploradas as principais características do OTN *Switch*: multiplexação e comutação de sinais nos domínios óptico e elétrico. Essas funcionalidades tornam a OTN mais flexível e dinâmica, aproximando-a cada vez mais da próxima geração de redes de transporte. É apresentada uma simulação preliminar da arquitetura proposta utilizando um framework de simulação para redes OTN desenvolvido utilizando-se o simulador OMNeT++.

**Palavras-Chave**—OTN *Switch*, OTN, ROADM, Multiplexing, OMNeT++.

**Abstract**—This paper presents an architecture proposal for OTN *Switch* equipment, focusing on functionality provided by ITU-T Recommendations, especially the ITU-T G.798. It explores the main features of OTN *Switch*: multiplexing and switching of signals in optical and electrical domains. These features make the OTN more flexible and dynamic, approaching it to the next generation transport networks. It is presented a preliminary simulation of the proposed architecture using a simulation framework for OTN networks developed using the OMNeT++ simulator.

**Keywords**— OTN *Switch*, OTN, ROADM, Multiplexing, OMNeT++.

## I. INTRODUÇÃO

Muito se discute sobre o futuro das redes de transporte e dos novos desafios enfrentados pelas tecnologias emergentes. O constante aumento da demanda por serviços de telecomunicações gera a necessidade de expansão da infraestrutura atual. Nesse cenário, a tecnologia de redes ópticas de transporte de nova geração desponta como promissora no escopo de redes de núcleo, sendo capaz de oferecer altas taxas e prover mecanismos consistentes de gerenciamento e controle [1].

No processo evolutivo de uma tecnologia nem sempre as normas regulamentadoras acompanham com a mesma velocidade o ritmo de desenvolvimento dos fabricantes de equipamentos, e nem sempre é possível adaptar e prover todas as funcionalidades especificadas nas normas.

A tecnologia OTN (*Optical Transport Network*) é também conhecida como “Empacotador Universal”, dada a sua capacidade e eficiência em transportar os mais distintos clientes, provenientes das tecnologias mais comuns e utilizadas na atualidade, partindo desde as mais tradicionais, como o *Synchronous Digital Hierarchy* (SDH)/*Synchronous Optical Network* (SONET), o *Asynchronous Transfer Mode*

(ATM) e o *Fiber Channel* (FC), até tecnologias ainda não completamente padronizadas, como, por exemplo, o 100G Ethernet. Tais sinais clientes são mapeados em unidades de dados dos canais ópticos (*Optical Channel Data Unit – ODU*) que são capazes de acomodar sinais de taxas inferiores a 1 Gbps, utilizando uma ODU flexível, denominado ODUflex, até taxas de 100 Gbps, seguindo padronização estabelecida pela normas da ITU-T, (*International Telecommunication Union -Telecommunication Standardization Sector*).

Nota-se nos documentos disponibilizados pelos grandes fabricantes e operadores relacionados um distanciamento entre as normas internacionais sobre OTN e a operação cotidiana vista, por exemplo, por um operador de rede [2]. De acordo com a necessidade de padronização e interoperabilidade, é um desafio aproximar as duas visões. Do ponto de vista dos fabricantes, caminha-se na direção do mapeamento de redes de pacotes sobre a tecnologia OTN, a qual vem sendo adaptada por meio de novos equipamentos, como o OTN *Switch*, que promete comutação de unidades de dados (ODUs) em diferentes níveis hierárquicos, tornando a rede de transporte óptico mais flexível e eficiente.

A ITU-T, por sua vez, vem atualizando suas recomendações, em uma tentativa de manter sua tecnologia atualizada e de acordo com as movimentações do mercado. Tal esforço é percebido pela quantidade de atualizações, correções e adições de novas funcionalidades percebidas nos últimos anos, principalmente nas recomendações relacionadas à OTN, ITU-T G.709 e ITU-T G.798.

Atualmente, pesquisadores e desenvolvedores da área de redes de transporte se voltam para o desenvolvimento do OTN *Switch*. Em [3] [4] são apresentadas as principais características do OTN *Switch* com seus benefícios e a flexibilidade da comutação e multiplexação de sinais ODU. Em [1] é apresentada uma arquitetura para o OTN *Switch*, sem descrever a especificação das funcionalidades referentes a cada componente, juntamente com os sinais de gerência OTN que compete a cada módulo. Fato semelhante ocorre em [5] [6], onde não são atribuídas as funcionalidade de adaptação, terminação de trilha e conexão à arquitetura apresentada.

Com isso, surge a necessidade de especificação de uma arquitetura que norteie tal desenvolvimento e que ao mesmo tempo esteja de acordo com as normas padronizadoras da ITU-T. Este artigo apresenta, então, uma proposta de arquitetura para o equipamento OTN *Switch* baseado nas padronizações apresentadas em [11].

Na Seção II são apresentados os principais conceitos envolvidos na tecnologia do OTN *Switch*, que são a comutação óptica, a comutação elétrica e a multiplexação de sinais ODU. Na Seção III é apresentada a proposta de arquitetura e sua representação em funcionalidades da ITU-T G.798. Na Seção IV a arquitetura é colocada em teste através de sua implementação em ambiente simulado, e por fim, na Seção V, são apresentadas as principais conclusões do trabalho.

## II. OTN SWITCH

No início dos anos 2000, as recomendações existentes para OTN abordavam apenas o tratamento de sinais clientes cujas taxas de *bit* se baseiam no SDH/SONET. Com o aumento da demanda e, conseqüentemente, da necessidade de prover recursos para novas tecnologias, foi incorporado na OTN a capacidade de transmissão de sinais com taxas de 100 Gbps. Além disso, foi incorporado o transporte de sinais cliente com taxas de 1,25 Gbps e inferiores [16].

A capacidade de acomodar diversos tipos de sinais clientes, com variadas taxas de transmissão, em sinais ODU e, posteriormente, em comprimentos de onda, associada à capacidade de comutação de seus sinais tanto em nível óptico, como em nível elétrico, faz da OTN uma importante tecnologia de rede de transporte de próxima geração. Surge então o OTN *Switch*, capaz de aliar em um mesmo equipamento toda a flexibilidade e dinamicidade da OTN, realizando a multiplexação de sinais de baixa ordem (menor taxa) em sinais de alta ordem (maior taxa), e comutação de comprimentos de onda e de *slots* de tempo.

### A. Comutação óptica

Os OXC (*Optical Cross-Connect*) e os ROADM (*Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer*) são ambos conhecidos por disponibilizarem funcionalidade de comutação no nível óptico, sem necessidade de conversão óptico-elétrico-óptico (O-E-O). Adicionalmente, os ROADM podem realizar a adição/extração (ADD/DROP) de sinais ópticos ao sinal WDM, também sem a necessidade de conversão O-E-O. A comutação óptica, de acordo com [11], só é possível utilizando uma matriz de conexão, denominada (no nível óptico) OCh\_C.

Utilizando essas funcionalidades, é possível realizar “roteamento” e proteção às faixas de comprimentos de onda ou a comprimentos de onda individuais, adicionando à rede, importantes ferramentas de engenharia de tráfego.

Segundo [7], as características que agregaram maior flexibilidade no roteamento de comprimento de onda são *colorless* (independência de comprimento de onda), *directionless* (independência de direção), *contentionless* (livre de bloqueio de canais) e *gridless* ou *flexgrid* (grade espectral flexível).

### B. Comutação elétrica

Semelhante à comutação óptica, a comutação elétrica é realizada com a configuração da matriz de conexão da ODU\_C, estabelecendo ligações entre diferentes portas de um mesmo equipamento (ou entre equipamentos distintos). Essa característica possibilita um segundo grau de flexibilidade, além daquela anteriormente citada.

### C. Multiplexação de sinais ODU

Apesar da transmissão na OTN ser realizada apenas em taxas pré-estabelecidas (a saber, 2,5 Gbps; 10 Gbps; 40 Gbps e

100 Gbps), com o uso da técnica de multiplexação por divisão de tempo (TDM), é possível transportar sinais clientes com taxas diferentes às taxas padrão de maneira eficiente, abrangendo, inclusive, sinais cujas taxas são inferiores a 2,5 Gbps, sendo os mesmos acomodados em ODU de baixa ordem e, após a multiplexação, acomodados em ODU de alta ordem.

## III. PROPOSTA DE ARQUITETURA OTN SWITCH

Uma representação da arquitetura para o OTN *Switch* proposta neste artigo é ilustrada na Figura 1. É proposto que o equipamento seja subdividido em seis diferentes módulos, que processam e/ou tratam os sinais nos domínios elétrico e óptico: CIC, ODU *Switch*, NIC, WSS, OIC e *Controller Card*.

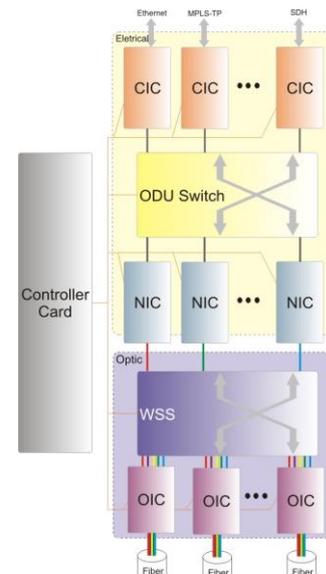


Fig. 1. Arquitetura OTN Switch.

O CIC (*Client Interface Card*) é responsável por adaptar/recuperar um sinal cliente ingressando/saindo na rede OTN. Diferentes tipos de sinais clientes, com diferentes características, podem se comunicar com o equipamento, como, por exemplo, 10G-100G Ethernet, MPLS-TP, FC, SDH, e até mesmo sinais OTN de menores taxas.

O módulo “ODU *Switch*” se encarrega da comutação elétrica dos sinais ODU internos ao OTN *Switch*. Essa comutação é implementada por conexões de subrede (SNC – *SubNetwork Connection*) as quais podem ser configuradas de forma automática por um plano de controle (OpenFlow, GMPLS, etc.), ou por intervenção do operador da rede. Adicionalmente, o módulo ODU *Switch* é capaz de proteger de sinais ODU, fazendo uso do protocolo APS (*Automatic Protection Switching*) [8].

O NIC (*Network Interface Card*) é responsável por prover um caminho fim-a-fim elétrico, inserir informações de gerenciamento e correção de erros (FEC – *Forward Error Correction*), além de fornecer a funcionalidade de, quando necessário, um ou mais estágios de multiplexação ODU. É na NIC que acontece a conversão O-E-O.

O módulo WSS (*Wavelength Selective Switch*), em conjunto com os módulos OIC (*Optical Interface Card*), assume o papel dos tradicionais ROADM. No WSS, um sinal óptico pode ser roteado, protegido, adicionado/extraído em/de um agregado de sinais WDM. Por sua vez, o OIC realiza o tratamento do sinal óptico, ou seja, a (de)multiplexação dos

diferentes canais ópticos em uma fibra, amplificação e compensação de dispersão.

A Placa Controladora, ou *Controller Card*, é o sexto módulo que compõe a arquitetura proposta para o OTN *Switch*. Esse módulo realiza as funções de gerenciamento do equipamento (EMF) e comunicação (MCF) com entidades do plano de gerência, plano de controle ou com a rede de comunicação de dados (DCN).

De acordo com [9], cada equipamento é composto por blocos funcionais, que representam as camadas da arquitetura OTN definidas em [10]. Esses blocos funcionais são exaustivamente detalhados em [11]. Existem três tipos de funções atômicas (AF): terminação de trilha (TT), a função de adaptação (A) e função de conexão (C). Quanto ao sentido de fluxo do sinal, classifica-se em: quanto ao envio ou recepção, So (*source*) e Sk (*sink*), respectivamente. Maiores informações acerca dos distintos tipos de AF são disponibilizados em [12].

A arquitetura de OTN *Switch* proposta neste artigo foi projetada de forma a incorporar as funcionalidades desejadas e os pré-requisitos existentes nas normas. Dessa forma, os módulos apresentados, são internamente compostos por esses blocos funcionais, exercendo a detecção de erros, correlação de defeitos e tomando as devidas ações consequentes, para o correto funcionamento da rede.

Nas seções seguintes são apresentadas as composições internas de cada um dos módulos que juntos formam o OTN *Switch*.

**A. CIC – Client Interface Card**

Uma CIC realiza funções de adaptação de um sinal cliente para um sinal ODUk (k = 0, 1, 2, 2e, 3, 4 e flex), funções essas que desempenham o papel de justificação e mapeamento do sinal cliente, além de funções de terminação de trilha da ODUk, cujo papel é realizar o monitoramento do sinal ODU (de baixa ordem). Na Figura 2, é ilustrado um exemplo de CIC trabalhando com um sinal cliente 10GE, adaptando-o em um sinal ODU2e.

A CIC de 10GE apresenta uma interface com o cliente, de onde é esperado o envio e recebimento de quadros Ethernet à taxa aproximada de 10 Gbps. Na interface à direita da Figura 2, são enviados e recebidos quadros ODU2e.

Por último, todo módulo CIC possui uma interface de comunicação com a *Controller Card*, denominado nas normas de Ponto de Gerenciamento (MP – *Management Point*), por onde trafegam informações referentes ao gerenciamento e controle do CIC.

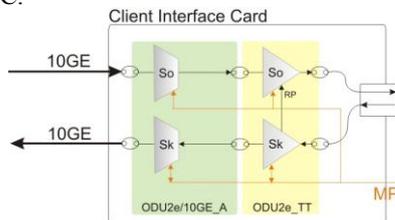


Fig. 2. CIC de um sinal cliente 10GE.

**B. Controller Card**

A *Controller Card* implementa as funcionalidades de gerenciamento e controle do dispositivo. Dentre essas funcionalidades, destacam-se: Gerência de Falhas, Gerência de Configuração e Gerência de Desempenho, funções de comunicação com o mundo externo ao equipamento, base de dados e funções de controle, como instanciações de novas SNCs e Descoberta Automática das conexões existentes [13].

A arquitetura interna do *Controller Card* segue o especificado [17] [18] [19], e sua representação é apresentada na Figura 3.

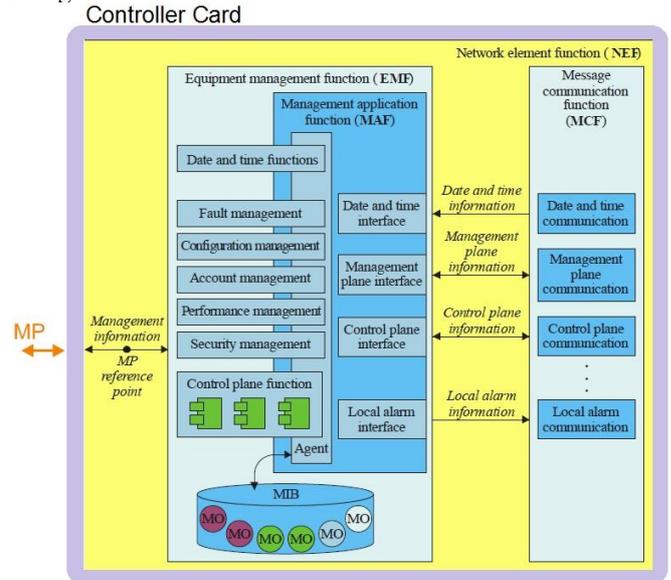


Fig. 3. Na *Controller Card* são implementadas as funcionalidades de gerência e controle.

**C. ODU Switch**

O ODU *Switch*, ilustrado na Figura 4, é composto exclusivamente pela função de conexão ODU\_C, descrita na Recomendação ITU-T G.798. Apesar de a ODU\_C vir sendo alterada a cada nova versão da G.798, e não ter suas funcionalidades definidas em sua totalidade, as principais primitivas necessárias ao funcionamento do OTN *Switch* já se encontram padronizadas, a constar: sinais relacionados com a proteção e ao protocolo APS, e sinais de configuração da matriz de comutação (ODUk\_C\_MI\_MatrixControl). Tais sinais são resumidos na Figura 5.

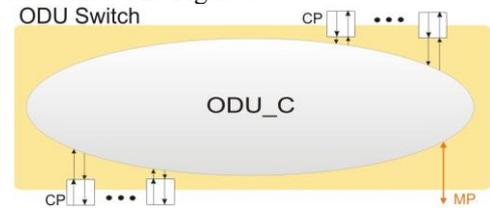


Fig. 4. ODU *Switch*.

O módulo ODU *Switch* possui conexões com a *Controller Card* e com os CICs e NICs. Tais conexões são indicadas, respectivamente, na Figura 4 pelos MPs (*Management Point*) e CPs (*Connection Point*), descritos em [12].

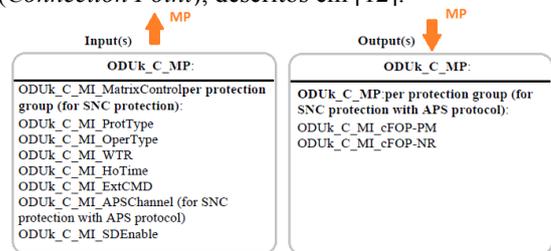


Fig. 5. Sinais utilizados na configuração do ODU *Switch*.

**D. NIC – Network Interface Card**

A NIC é composta pelas funções atômicas que implementam as camadas OTN OCh, OTU e ODU (alta ordem). Existem duas variações de NIC, com e sem capacidade de multiplexação. Os NIC com multiplexação são representados de acordo com a Figura 6.

Variações a parte, o funcionamento básico é o mesmo. Considerando o sentido de transmissão (Cliente-Rede), os quadros ODU são recebidos diretamente do módulo ODU Switch.

Os quadros ODU recebidos pela NIC são processados e preparados pelos seus blocos funcionais para sua conversão e transmissão no domínio óptico. Acompanhando a Figura 7 da direita para a esquerda tem-se: detecção de erro de alinhamento do quadro ODU (OTUk\_ODUk\_A), monitoramento trecho-a-trecho elétrico (OTUk\_TT), inserção da palavra de alinhamento e dos bytes de FEC (OCh\_OTUk\_A), conversão do sinal elétrico em um sinal óptico (OCh\_TT). No caso de uma NIC com multiplexação, existem dois estágios adicionais, representados pela adaptação ODUkP\_ODUj\_A e pela terminação de trilha ODUk\_TT.

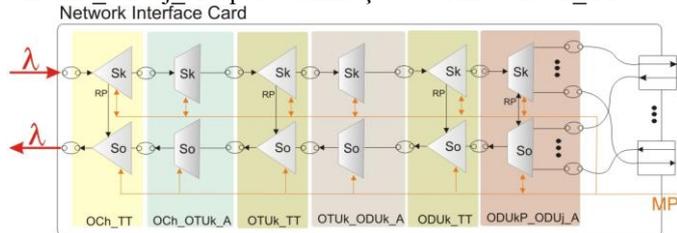


Fig. 6. NIC com multiplexação.

Assim como os demais módulos até então apresentados, a NIC possui uma interface com o Controller Card, pelo qual são recebidas informações de configuração e são reportadas métricas de desempenho e falhas.

E. Módulo WSS (Wavelength Selective Switch)

O módulo WSS é, funcionalmente, muito semelhante ao módulo ODU Switch, como pode ser visto na Figura 7. A diferença primordial entre esses dois módulos é seu domínio de atuação. O WSS é composto por uma função de conexão OCh\_C, que realiza a comutação e a proteção dos sinais no domínio óptico. Tal comutação é realizada com alterações físicas internas ao equipamento, como, por exemplo, alterações nas propriedades reflexivas de um cristal líquido.

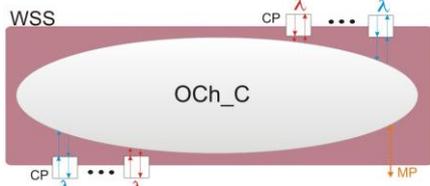


Fig. 7. Módulo WSS.

F. OIC – Optical Interface Card

A estrutura funcional do módulo OIC é apresentada na Figura 8. Funcionalmente o OIC é composto pelas funções atômicas relacionadas com as camadas de multiplexação óptica (OMS) e de transmissão do sinal WDM (OTS).

Adotando o sentido de transmissão do sinal (Cliente-Rede), canais ópticos distintos e independentes entre si, transportando um ou mais sinais elétricos, são multiplexados (OMS\_OCh\_A), têm seu nível de potência monitorado e opcionalmente equalizado (OMS\_TT e OTS\_OMS\_A, respectivamente), para, finalmente, ser multiplexado com um canal de supervisão (OTS\_TT). O canal de supervisão (OSC) é utilizado na transmissão (out-of-band) de informações de supervisão das camadas ópticas.

Fisicamente, o OIC compreende um conjunto de (de)multiplexadores, amplificadores (pré e booster), módulos

de compensação de dispersão, fotodetectores e uma placa geradora do canal de supervisão.

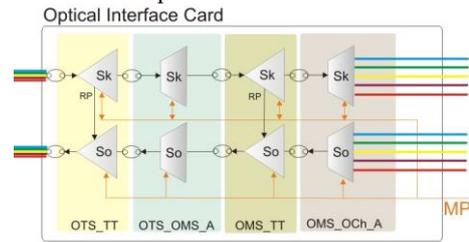


Fig. 8. Módulo OIC.

IV. IMPLEMENTAÇÃO E SIMULAÇÃO DO OTN SWITCH NO SIMULADOR OMNET++.

Nesta seção é apresentada a modelagem de simulação da arquitetura apresentada na Seção III deste artigo.

Desde 2008 os autores deste artigo vêm trabalhando no desenvolvimento de um framework para simulação de redes OTN utilizando-se o simulador OMNeT++ [14]. Dentre as funcionalidades já integradas ao framework, pode-se citar a Descoberta Automática de topologia da rede, baseada em [13] e um protótipo de Plano de Controle GMPLS [15]. A arquitetura proposta neste artigo adiciona importantes funcionalidades ao framework OTN, tornando-o mais flexível com a possibilidade de realização de comutação e multiplexação de vários clientes no domínio elétrico.

A. Equipamentos OTN

As redes simuladas são compostas por equipamentos que são modelados no OMNeT++ tomando por base as funções atômicas implementadas de acordo com as Recomendações ITU-T. Além disso, são modelados equipamentos auxiliares, dentre eles, um gerente, com arquitetura similar ao Controller Card mostrado na Seção III-B.

Neste artigo é dada ênfase à modelagem de um novo equipamento, denominado OTN Switch (Figura 9). Cabe observar que o equipamento é modelado de acordo com a arquitetura proposta na Seção III, apresentando inclusive os mesmos nomes dos componentes. Internamente, cada um dos componentes mostrados na Figura 9 corresponde aos módulos descritos na Seção III e, por limitações de espaço, tem seu detalhamento omitido.

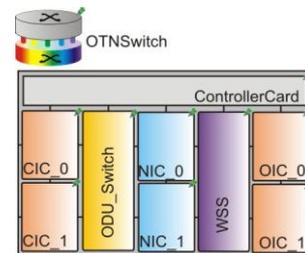


Fig. 9. Equipamento OTN Switch modelado no OMNeT++.

B. Rede Simulada

Com a modelagem do equipamento OTN Switch no simulador OMNeT++, é possível simular várias topologias de rede. Como exemplo, é utilizada uma topologia de rede com sete equipamentos OTN Switch e cinco clientes conectados na rede (Figura 10). A rede possui links de 100 Gbps e atende a clientes com taxa de 10 Gbps (dois clientes 10GE e três clientes STM-64). É importante ressaltar que, embora implementados, os módulos WSS e OIC não são considerados nos testes realizados, com isso, apenas a parte elétrica da rede é, de fato, avaliada.

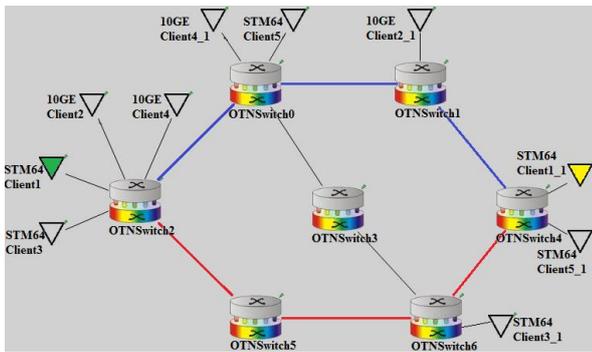


Fig. 10. Rede de teste.

Na rede de teste (Figura 10), tem-se o cliente 1 (verde) transmitindo um sinal STM-64 para o cliente 1\_1 (amarelo) através do caminho em azul. Tal sinal é protegido na funcionalidade ODU\_C interna ao ODU Switch dos elementos OTNSwitch2 e OTNSwitch4, seguindo o protocolo APS, e o caminho em vermelho é usado para proteção. A Figura 11 ilustra o recebimento de um sinal quando a rede está operando normalmente.

```

*** Event #3873578 T=5.278703170602 Cenario_1.cSTM64_Client1_1
Message received without failures
*** Event #3873579 T=5.278703170602 Cenario_1.cSTM64_Client1_1
cSTM64_Client: Signal STM64 arrived.
*** Event #3873580 T=5.278703170602 Cenario_1.cSTM64_Client1_1
Message received without failures
    
```

Fig. 11. Rede operando de forma normal.

No teste realizado, é simulado um erro de TTI (*Trail Trace Identifier*) a cada 5 segundos. Com isso, o sinal enviado pelo cliente 1 no caminho em azul é cancelado e a rede passa a enviar um sinal AIS (*Alarm Indication Signal*), de acordo com as recomendações da ITU-T. O sinal AIS recebido pelo cliente 1\_1 pode ser visto na Figura 12.

```

!cODUKP_CBRxb_A_Sk: Signal ODU frame received.
!cODUKP_CBRxb_A_Sk: Signal ODU frame decapsulated - ODU_C
*** Event #3884067 T=5.290894170996 Cenario_1.cSTM64_Client1_1
Message received without failures
*** Event #3884068 T=5.290894170996 Cenario_1.cSTM64_Client1_1
cSTM64_Client Warning! Signal AIS should be STM64.
*** Event #3884069 T=5.290894170996 Cenario_1.cSTM64_Client1_1
Message received without failures
    
```

Fig. 12. Sinal AIS enviado devido a uma falha na rede.

Ao detectar a presença de falhas na rede, a proteção do sinal ODU é ativada e o fluxo de sinais passa a ser recebido pelo caminho de proteção (em vermelho), como ilustrado na Figura 13.

```

!cODUKP_CBRxb_A_Sk: Signal detected ODU frame decapsulated - ODU_C
*** Event #4003628 T=5.437186175724 Cenario_1.cSTM64_Client1_1
Message received without failures
*** Event #4003629 T=5.437186175724 Cenario_1.cSTM64_Client1_1
cSTM64_Client: Signal STM64 arrived.
*** Event #4003630 T=5.437186175724 Cenario_1.cSTM64_Client1_1
Message received without failures
    
```

Fig. 13. Recebimento de um sinal protegido.

V. CONCLUSÕES

Neste artigo foi apresentada uma proposta de arquitetura para o equipamento OTN Switch. São apresentadas suas principais características, funcionalidades e seus módulos internos. Apesar da simulação ainda estar em um estágio inicial, é demonstrada a correta troca de informações por clientes utilizando uma rede composta por equipamentos OTN Switch. Entretanto, os autores entendem que testes mais

robustos são necessários a fim de validar a arquitetura proposta, testes que estão no *roadmap* de trabalhos futuros.

VI. TRABALHOS FUTUROS

O próximo passo a ser desenvolvido é a realização de mais cenários de teste, com a inserção dos módulos WSS e OIC, a fim de validar em sua plenitude a arquitetura proposta. Devido às características de flexibilidade, configurabilidade e gerenciabilidade do equipamento OTN Switch, outros futuros passos da linha de pesquisa consistem em desenvolver novas soluções de plano de controle e gerência, de forma a aperfeiçoar a utilização de recursos da rede, estabelecer conexões dinâmicas sob demanda, prover proteção e restauração, aumentando consideravelmente o grau de automação dos processos e, conseqüentemente, reduzindo a intervenção humana.

REFERÊNCIAS

- [1] White Paper: *Optical Transport Network Switching*, Nokia Siemens Networks, 2011.
- [2] Martin Carroll, Josef Roese, Takuma Ohara, *The Operator's View of OTN Evolution*, IEEE Communications Magazine, Setembro 2010.
- [3] M. Fukutoku et al., *Optimized multi-layer optical network using in-service ODU/wavelength path re-grooming*, OFC/NFOEC 2011, NMC5, Março 2011.
- [4] T. Ohara, *Standardization Issues and Solutions toward Flexible/Elastic Optical Networks*, OECC 2012, Julho 2012.
- [5] White Paper: Andrew Schmitt, *Integrated OTN Switching Virtualizes Optical Networks*, Infonetics Research, Inc, Junho 2012.
- [6] J. Pedro, J. Santos, R. M. Morais, *Dynamic Setup of Multi-Granular Services over Next-Generation OTN/DWDM Networks: Blocking versus Add/Drop Port Usage*, ICTON 2012, Julho 2012.
- [7] M.R. Nascimento, E.C.Magalhães e V.G Oliveira, *Estudo Comparativo de Arquiteturas de ROADMs para Redes Ópticas de Próxima Geração*, SBrT, Setembro 2012.
- [8] ITU-T, *Telecommunication Standardization Sector of ITU. G.873.1. Optical Transport Network (OTN): Linear protection*. Julho 2011.
- [9] ITU-T, *Telecommunication Standardization Sector of ITU. G.798.1. Types and characteristics of optical transport network equipment*. Janeiro 2013.
- [10] ITU-T, *Telecommunication Standardization Sector of ITU. G.872. Architecture of optical transport networks*. Outubro 2012.
- [11] ITU-T, *Telecommunication Standardization Sector of ITU. G.798. Characteristics of optical transport network hierarchy equipment functional blocks*. Dezembro 2012.
- [12] ITU-T, *Telecommunication Standardization Sector of ITU. G.805. Generic functional architecture of transport networks*. Março 2000.
- [13] F.F.Ferrai, A.M.Frasson e A.S.Garcia. *Descoberta Automática em Redes Ópticas de Transporte*, MOMAG, Agosto 2010.
- [14] A.Varga, *The Omnet++ discrete event simulation system*, *Proceedings of the European Simulation Multiconference*, Junho 2001.
- [15] F.P.Favoreto, A.S.Garcia, M.T.A.Torres, R.S.Tessinari e M.E.V.Segatto, *Plano de controle GMPLS para Redes Ópticas de Transporte*, SBrT, Setembro 2009.
- [16] ITU-T, *Telecommunication Standardization Sector of ITU. G.709. Interfaces for the Optical Transport Network (OTN)*. Fevereiro 2012.
- [17] ITU-T, *Telecommunication Standardization Sector of ITU. G.874. Management aspects of optical transport network elements*. Julho 2010.
- [18] ITU-T, *Telecommunication Standardization Sector of ITU. G.874.1. Optical transport network (OTN): Protocol neutral management information model for the network element view*. Outubro 2012.
- [19] ITU-T, *Telecommunication Standardization Sector of ITU. G.7710. Common equipment management function requirements*. Fevereiro 2012.