

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

RAFAEL CAMPANHARO FAVORETO

**Uma Proposta de Solução para Levantamento do Inventário dos
Elementos de Rede em Redes Ópticas de Transporte.**

VITÓRIA

2014

RAFAEL CAMPANHARO FAVORETO

**Uma Proposta de Solução para Levantamento do Inventário dos
Elementos de Rede em Redes Ópticas de Transporte.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Anilton Salles Garcia

Co-Orientador: Prof. Dr. Maxwell Eduardo Monteiro

VITÓRIA

2014

RAFAEL CAMPANHARO FAVORETO

**Uma Proposta de Solução para Levantamento do Inventário dos
Elementos de Rede em Redes Ópticas de Transporte.**

Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 22 de agosto de 2014.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Anilton Salles Garcia – Orientador
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Maxwell Eduardo Monteiro – Co-Orientador
Instituto Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Antônio Manoel Ferreira Frasson
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Joaquim Celestino Júnior
Universidade Estadual do Ceará

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial Tecnológica,
Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

F275p Favoreto, Rafael Campanharo, 1984-
Uma proposta de solução para levantamento do inventário dos elementos de rede em redes ópticas de transporte / Rafael Campanharo Favoreto. – 2014.
128 f. : il.

Orientador: Anilton Salles Garcia.
Coorientador: Maxwell Eduardo Monteiro.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) –
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Redes de computadores – Inventários. 2. Redes de computadores – Gerência. 3. Sistemas de transmissão de dados. 4. Redes ópticas de transporte. 5. Tecnologia OTN (Optical Transport Network). I. Garcia, Anilton Salles. II. Monteiro, Maxwell Eduardo. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. IV. Título.

CDU: 621.3

DEDICATÓRIA

A minha esposa, meus pais e a toda minha família, por todo o apoio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que ilumina minha consciência, me impulsiona na busca do conhecimento e sempre coloca meus pés no chão.

À minha esposa e companheira, pela compreensão, apoio e dedicação no decorrer do curso.

Aos meus amigos Rodrigo Stange, Luiz Guilherme, Matheus Dilem, Ramon Schiavo e tantos outros com quem tive o prazer de dividir momentos ímpares durante o decorrer da graduação, projeto de pesquisa e mestrado.

Ao meu orientador e co-orientador Prof. Dr. Anilton Salles Garcia e Prof. Dr. Maxwell Eduardo Monteiro pelos ensinamentos que extrapolam o campo acadêmico e profissional e pelas primordiais contribuições na elaboração da presente dissertação.

Aos membros da banca, Prof Dr. Antônio Manoel Ferreira Frasson e Prof. Dr. Joaquim Celestino Júnior, pelo tempo dedicado à avaliação deste trabalho.

À Padtec pelos projetos desenvolvidos em parceria com a UFES, oferecendo a oportunidade de conhecer na prática tecnologias de ponta utilizadas no mundo das telecomunicações.

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, PPGEE, e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pela oportunidade e suporte financeiro que permitiram a realização deste trabalho.

Aos familiares que torceram pela minha vitória e me acompanharam nessa jornada, e contribuíram direta e indiretamente com orações e boas intenções.

RESUMO

As demandas por serviços de telecomunicações multimídia, garantia de QoS (*Quality of Service*) e mecanismos de gerenciamento e controle direcionam a evolução da rede de núcleo para adoção da tecnologia OTN (*Optical Transport Network*) como solução de rede de transporte.

Para conduzir a evolução da tecnologia OTN a ITU-T (*International Telecommunication Union – Telecommunications Standardization Sector*) estabelece uma série de recomendações, dentre elas, as específicas para o plano de gerenciamento de redes. Essas, por sua vez, apresentam deficiências no que se referem ao levantamento do inventário dos objetos gerenciados definidos pelas normas da ITU-T.

A ITU-T define a representação dos elementos de rede em caráter funcional, mais especificamente como módulos de Funções Atômicas. Contudo, a falta de clareza na implementação das Funções Atômicas e a carência de integração com as representações físicas dos elementos de rede implica na omissão, por parte dos diversos fabricantes, da implementação dos mecanismos recomendados em norma.

Esta dissertação tem como objetivo geral apresentar uma proposta de solução para o levantamento do inventário dos elementos de rede em redes OTN abrangendo de forma integrada as representações funcional e física do elemento de rede, além de possibilitar aos diversos fabricantes a aderência às normas da ITU-T bem como oferecer ao operador de rede a configuração dos componentes de uma forma mais intuitiva.

Palavras-chave: Inventário ONE, OTN, *OTN Switch*, ITU-T G.874.1, TMF 608, Plano de Gerência, Simulação, OMNeT++.

ABSTRACT

The demand for multimedia telecommunications, QoS (Quality of Service) and mechanisms for management and control services guide the evolution of the core network to adoption the OTN (Optical Transport Network) technology as a solution of the transport network.

The ITU-T establishes a series of recommendations to guide the evolution of the OTN technology, among them, the specific for the Management Plan. On the other hand, these recommendations have deficiencies regarding the inventory of management objects, defined by ITU-T standards.

The ITU-T defines the representation of network elements in a functional mode, as the Atomic Functions modules. However, the lack of explicitness in the implementation and physical representation of Atomic Functions implies in the not adoption of the various standard mechanisms of the ITU-T standards.

This work presents a proposal of solution to survey the inventory of network elements in OTN networks. The proposal covers the functional and physical network element representations, provides an intuitive way to operator configure the network components, and enable manufacture adherence to ITU-T standards.

Keywords: Inventory ONE, OTN, OTN Switch, ITU-T G.874.1, TMF 608, Manager Plan, Simulation, OMNeT++.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1: Diversos componentes físicos são necessários para compor o componente lógico OIC. .	20
Figura 2-1: Funcionalidades correlatas de rede de Telecomunicações dispostas nos planos de Transporte, Gerência e Controle.	30
Figura 2-2: Estrutura OTN (ITU-T G.709 2012).....	31
Figura 2-3: ODUkP/CBRx_A_Sk (ITU-T G.798 2012).	33
Figura 2-4: ODUkP_TT_Sk (ITU-T G.798 2012).	34
Figura 2-5: ODU_C (ITU-T G.798 2012).	34
Figura 2-6: Amplificador óptico (ITU-T G.798.1 2013).....	35
Figura 2-7: Exemplo de elementos de rede em pilhas de camadas OTN (ITU-T G.798.1 2013).	36
Figura 2-8: Arquitetura <i>OTN Switch</i> , (Dilem et al. 2013).	38
Figura 2-9: Função de Gerenciamento de equipamento óptico, adaptada da (ITU-T G.874 2013).	40
Figura 2-10: Escopo da interface G.874.1 (ITU-T G.874.1 2012).....	42
Figura 2-11: Diagrama de classe genérico para camadas de transporte (ITU-T G.874.1 2012).	44
Figura 2-12: <i>Equipment Model overview</i> , (TMF 608 SD1-10 2007).	46
Figura 2-13: Diagrama de Classe EMS: (TMF 608 SD1-10 2007)	47
Figura 3-1: <i>Process Inventory</i> da função de adaptação da camada.	51
Figura 3-2: Processo ODUkP/CBRx_A_Sk adaptado (ITU-T G.798 2012).....	52
Figura 3-3: <i>Process Inventory</i> da função de Terminação de trilha da camada.....	53
Figura 3-4: Processo ODUkP_TT_Sk adaptado (ITU-T G.798 2012)	53
Figura 3-5: <i>Process Inventory</i> da função de conexão da camada.....	54
Figura 3-6: Processo da função ODU_C adaptado.....	55
Figura 3-7: <i>InventoryMI</i> para <i>Racks</i> , <i>Shelfs</i> , <i>Slots</i> e equipamentos.....	56
Figura 3-8: Diagrama de sequência do processo de inventário e configuração de AFs.....	57
Figura 3-9: Modelo proposto da relação das classes G.874.1 e TMF 608.	58
Figura 3-10: Componente CIC representado em classes do modelo proposto.....	59
Figura 3-11: G.874.1/TMF 608 interface na comunicação entre o NE e EMS.	60
Figura 3-12: Diagrama de sequência da operação <i>GetMIBofNE</i> entre MIB e OSS.	61
Figura 3-13: Diagrama de sequência da operação <i>Report NE MIB Changes to the OSS</i> entre MIB e OSS.....	61
Figura 4-1: Exemplo de declaração de um módulo no OMNeT++	65
Figura 4-2: Modelagem do <i>Process Inventory</i> em classes mais genéricas do plano de transporte.	67
Figura 4-3: Módulo bidirecional ODUk_TT (<i>Framework</i> de Simulação OTN UFES).	68
Figura 4-4: Identificação da funcionalidade So de adaptação (<i>Framework</i> de Simulação OTN UFES).	69
Figura 4-5: Povoamento dos parâmetros MI_CPI e MI_API da adaptação <i>Sink</i>	69
Figura 4-6: Povoamento dos parâmetros MI_API e MI_TCPI da terminação de trilha <i>sink</i>	70
Figura 4-7: Caminho de nomenclatura do OMNeT++ para um módulo ODUk_TT_Sk (<i>Framework</i> de Simulação OTN UFES).	70

Figura 4-8: Diagrama de classe implementação MIB.....	72
Figura 4-9: Diagrama de atividades do inventário de ManagedElement, EquipmentHolder, Equipment e das classes OTN.....	73
Figura 4-10: Instanciação da classe ODUk_TTP e relações.....	74
Figura 4-11: Instanciação das classes OMSn_CTP, OCH_CTP e relações.	75
Figura 4-12: Diagrama de atividade da função de conexão elétrica.....	77
Figura 4-13: Módulo cExtInterface.ned	78
Figura 4-14: Módulo cReceiver.ned	78
Figura 4-15: interface para conexão de ODU.....	79
Figura 4-16: Interface de conexão de CICs e NICs.....	79
Figura 5-1: Cenário validação.	82
Figura 5-2: <i>OTN Switch</i> do cenário de validação.	83
Figura 5-3: <i>InventoryMI</i> provenientes do componente CIC ligado ao Cliente2.	84
Figura 5-4: <i>InventoryMI</i> dos equipamentos CIC(39), ODU Switch(36) e WSS(91).	85
Figura 5-5: <i>InventoryMI</i> do equipamento CIC(54) e CIC(53).....	86
Figura 5-6: <i>InventoryMI</i> do equipamento CIC(53)	87
Figura 5-7: <i>InventoryMI</i> dos equipamentos OIC(95) e OIC(94).....	88
Figura 5-8: Envio da mensagem <i>internalMI</i> para instanciação das classes.	89
Figura 5-9: Interfaces <i>socket</i> em Java enviando requisição à MIB e recebendo o XML de inventário.	90
Figura 5-10: Representação em XML da estrutura hierárquica do <i>OTN Switch</i> do exemplo 1.	91
Figura 5-11: Configuração de conexão elétrica entre os equipamentos CIC(39) e CIC(38) no <i>otnSwitch(1)</i>	92
Figura 5-12: Destaque dos blocos funcionais envolvidos na conexão dos equipamentos CIC(38) e CIC(39).....	92
Figura 5-13: Desconexão elétrica dos equipamentos CIC(38) CIC(39)	93
Figura 5-14: Conexão elétrica dos equipamentos CIC(39) ao NIC(53), CIC(38) ao NIC(54) e conexão óptica dos equipamentos NIC(53) ao NIC(54).....	93
Figura 8-1: CIC de um sinal cliente 10 GE, (Dilem et al. 2013).....	100
Figura 8-2: Representação da <i>Controller Card</i> , (Dilem et al. 2013).	101
Figura 8-3: <i>ODU Switch</i> , (Dilem et al. 2013).	101
Figura 8-4: Sinais utilizados na configuração do <i>ODU Switch</i> , (Dilem et al. 2013).	102
Figura 8-5: NIC com multiplexação, (Dilem et al. 2013).	102
Figura 8-6: Módulo WSS, (Dilem et al. 2013).....	103
Figura 8-7: Módulo OIC, (Dilem et al. 2013).....	104
Figura 8-8: Código do <i>Process Inventory</i> na <i>c806AtomicFunctionSink (Framework</i> de simulação OTN UFES).	105
Figura 8-9: Cenário CTP_Sk -> CTP_So.	106
Figura 8-10: Cenário CTP_Sk -> CTP_So.	107
Figura 8-11: Cenário TTP_So -> TTP_Sk.	108
Figura 8-12: Cenário TTP_So -> TTP_Sk.	109

Figura 8-13: Cenário CTP_Sk -> TTP_Sk.....	110
Figura 8-14: Cenário TTP_So -> CTP_So.....	110
Figura 8-15: Cenário TTP_So -> CTP_So e CTP_Sk -> TTP_Sk.....	111
Figura 8-16: <i>rack OTN Switch</i>	113
Figura 8-17: Representação do <i>OTN Switch</i> em classes TMF 608.....	115
Figura 8-18: Representação do CIC em classes do TMF 608.....	116
Figura 8-19: Representação OIC com múltiplos componentes em classes TMF 608.....	117
Figura 8-20: Representação dos componentes físicos do <i>OTN Switch</i> segundo TMF 608.....	118
Figura 8-21: Mapeamento de CIC-4 em classes da recomendação ITU-T G.874.1.....	120
Figura 8-22: Classes <i>ODUk_TrailTerminationPoint</i> e <i>ODUk_Client_ConnectionTerminationPoint</i> , (ITU-T G.874.1 2012).....	121
Figura 8-23: Arquitetura interna do Controller Card (Dilem et al. 2013).....	122
Figura 8-24: Mapeamento PortODU4Line em classes do modelo de informação G.874.1.....	123
Figura 8-25: classes do mapeamento das camadas OCh e OTUk.....	123
Figura 8-26: Representação do ODU Switch em classes da ITU-T G.874.1.....	124
Figura 8-27: UML das Classes referentes à cross conexão ODU.....	125
Figura 8-28: Mapeamento do OIC em classes do modelo da Recomendação ITU-T G.874.1.....	127
Figura 8-29: Classes do mapeamento das camadas OMS e OTS do OIC.....	127
Figura 8-30: Mapeamento do WSS em classes da Recomendação ITU-T G.874.1.....	128
Figura 8-31: <i>OCh_ConnectionTerminationPoints</i> e <i>OCh_TrailTerminationPoints</i> ligados à <i>OCh_Subnetwork</i>	128
Figura 8-32: Classes relacionadas à cross conexão óptica na WSS.....	129

LISTA DE SIGLAS/ACRÔNIMOS

AF – *Atomic Function*

AI – *Adapted Information*

AP – *Access Point*

APS - *Automatic Protection Switching*

ATM – *Asynchronous Transfer Mode*

CBR - *Constant Bit Rate*

CIC - *Client Interface Card*

CMISE - *Common Management Information Service Element*

CORBA - *Common Object Request Broker Architecture*

CP – *Connection Point*

CTP - *Connection Termination Point*

DCN – *Data Communications Network*

DWDM – *Dense Wavelength-Division Multiplexing*

EMF – *Equipment Management Function*

EMS - *Element Management System*

FC - *Fiber Channel*

FCAPS - *Fault, Configuration, Accounting, Performance and Security*

FEC – *Forward Error Correction*

GCC – *General Communications Channel*

GFP - *Generic Framing Procedure*

ISO - *International Organization for Standardization*

ITU-T – *International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector*

MCF – *Management Communication Function*

MI – *Management Information*

MIB – *Management Information Base*

MO – *Managed Object*

MP – *Management Point*

MPLS-TP - *Multi Protocol Label Switching – Transport Profile*

MTNM - *Multi-Technology Network Management*

MTOSI - *Multi-Technology OS Interface*

NE – *Network Element*

NED – *Network Description*

NIC - *Network Interface Card*

NMS - *Network Management System*

OCh – *Optical Channel*

ODU – *Optical Channel Data Unit*

O-E-O – *Óptico-Eléctrico-Óptico*

OIC - *Optical Interface Card*

OMNeT++ - *Objective Modular Network Testbed*

OMS – *Optical Multiplex Section*

ONE – *Optical Network Element*

OPU – *Optical Channel Payload Unit*

OSS – *Operational Support System*

OSC – *Optical Supervisory Channel*

OTN – *Optical Transport Network*

OTS – *Optical Transmission Section*

OTU – *Optical Channel Transport Unit*

OXC – *Optical Cross-connect*

PDH - *Plesiochronous Digital Hierarchy*

PDU - *Power Distribution Unit*

QoS – *Quality of Service*

ROADM – *Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexers*

RP – *Remote Point*

SDH – *Synchronous Digital Hierarchy*

Sk – *Sink*

SNC – *Subnetwork Connection*

SNMP - *Simple Network Management Protocol*

So – *Source*

TCP – *Termination Connection Point*

TDM – *Time-Division Multiplexing*

TMN - *Telecommunication Management Network*

TTP – *Trail Termination Point*

UDP – *User Datagram Protocol*

UML - *Unified Modelling Language*

WDM – *Wavelength-Division Multiplexing*

WSS – *Wavelength Selective Switch*

XML - *eXtensible Markup Language*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	17
1.2	MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA	21
1.3	OBJETIVOS E RESULTADOS ESPERADOS.....	22
1.4	METODOLOGIA	23
1.5	TRABALHOS RELACIONADOS	24
1.6	PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES.....	26
1.7	ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	27
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	28
2.1	REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE (OTN).....	31
2.2	OTN SWITCH.....	37
2.3	GERÊNCIA DE REDES OTN.	39
2.4	MODELO DE DADOS DA RECOMENDAÇÃO ITU-T G.874.1.....	42
2.4.1	Visão geral do modelo	43
2.5	MODELO DE DADOS DA RECOMENDAÇÃO TMF 608.	45
2.5.1	Modelo de Equipamento (<i>Equipment Model</i>).....	45
2.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	48
3	UMA PROPOSTA DE SOLUÇÃO PARA O LEVANTAMENTO DO INVENTÁRIO DOS ELEMENTOS DE REDE EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE.....	49
3.1	O MÓDULO DE INVENTÁRIO E AS MENSAGENS ASSOCIADAS.....	50
3.2	MODELO DE DADOS UNIFICADO ITU-T E TMF	57
3.3	EXTENSÃO DAS PRIMITIVAS DE CROSS CONEXÃO E DE PROPAGAÇÃO DO STATUS DA MIB A ENTIDADES DE GERENCIAMENTO DE NÍVEIS MAIS ALTOS.	60
3.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	63
4	IMPLEMENTAÇÃO.....	63
4.1	O SIMULADOR OMNET++	64
4.2	<i>FRAMEWORK</i> DE SIMULAÇÃO DE REDES OTN DESENVOLVIDO PELO GRUPO DE PESQUISA DO LABTEL UFES.	66
4.3	IMPLEMENTAÇÃO DO <i>PROCESS INVENTORY</i> E DAS MENSAGENS DE INVENTÁRIO....	66
4.4	IMPLEMENTAÇÃO MODELO DE DADOS UNIFICADO ITU-T E TMF.....	71

4.5	CONFIGURAÇÃO DE CROSS CONEXÃO ELÉTRICA E ÓPTICA NO <i>OTN SWITCH</i> POR FUNCIONALIDADES E POR EQUIPAMENTOS.....	76
4.6	INTERFACE DE COMUNICAÇÃO COM NÍVEIS MAIS ALTOS DE GERENCIAMENTO E O OSS. 77	
4.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	80
5	VALIDAÇÃO	80
5.1	CENÁRIO DE VALIDAÇÃO	81
5.2	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	94
6	CONCLUSÃO.....	95
6.1	TRABALHOS FUTUROS.....	96
7	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA:	97
8	APÊNDICES.....	99
8.1	FUNCIONALIDADES DO <i>OTN SWITCH</i> EM TERMOS DE BLOCOS FUNCIONAIS PRESENTES NAS RECOMENDAÇÕES (ITU-T G.798 2012) E (ITU-T G.874 2013).....	99
8.2	CÓDIGO DO PROCESS INVENTORY.....	105
8.3	CENÁRIOS DE CROSS CONEXÃO DE ODUs:	105
8.4	XML DE SAÍDA PARA TESTE DE VALIDAÇÃO:	111
8.5	REPRESENTAÇÃO DOS COMPONENTES FÍSICOS DO <i>OTN SWITCH</i> SEGUNDO TMF 608. 113	
8.6	REPRESENTAÇÃO DAS FUNÇÕES ATÔMICAS DO <i>OTN SWITCH</i> SEGUNDO RECOMENDAÇÃO ITU-T G.874.1.	119

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta os componentes introdutórios do presente trabalho, dentre esses: contextualização e descrição do problema, motivação e justificativa do trabalho, objetivos gerais e específicos, principais resultados esperados, metodologia de desenvolvimento do trabalho, trabalhos relacionados e as principais contribuições decorrentes da proposta apresentada. Este capítulo apresenta ainda a estrutura da dissertação.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

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 multimídia gera a necessidade de expansão da infraestrutura de comunicação atual. A informação de que o tráfego global de dados IP deverá alcançar um ritmo anual de 1,3 Zettabyte em 2016, volume dez vezes maior que em 2008, assombra e motiva os envolvidos na construção e no desenvolvimento da infraestrutura de telecomunicações global (Soares 2012).

As demandas não apontam apenas para o aumento do tráfego, levantam também questões sobre meios de garantia de QoS (*Quality of Service*) que, por sua vez, evocam mecanismos cada vez mais avançados de controle e gerenciamento (Nakano et al. 2009), gerando questionamentos quanto aos mecanismos de configuração, falha, contabilidade, segurança e medidas de desempenho que são essenciais para a evolução da infraestrutura de redes de transporte atual e em desenvolvimento.

Nesse cenário, a tecnologia de redes ópticas de transporte (OTN – *Optical Transport Network*) se apresenta como uma promissora solução no escopo de redes de núcleo, sendo capaz de oferecer grandes taxas e prover mecanismos consistentes de gerenciamento e controle (Tessinari 2011), (Nokia 2012).

A rede OTN é capaz de encapsular diversos *frames* provenientes de diversas fontes em uma estrutura simples. Dados provenientes de *Plesiochronous e Synchronous Digital Hierarchy* (PDH/SDH), *Asynchronous Transfer Mode* (ATM), *Constant Bit Rate* (CBR) e *Generic Framing Procedure* (GFP) podem ser mapeados em unidades de dados ópticos (*Optical Channel Data Unit – ODU*) que variam de 1 a 100 Gbps, seguindo padronização descrita pelas normas vigentes (ITU-T, *International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector*).

A ITU-T estabelece uma série de recomendações, dentre elas, encontram-se aquelas específicas para plano de gerência de redes, tais como a recomendação (ITU-T G.7710 2012), que aborda os requisitos funcionais de gerenciamento de redes, comum a múltiplas tecnologias, e a recomendação (ITU-T G.874 2013), que estabelece os aspectos de gerenciamento específicos para redes OTN. Apesar da especificidade, a recomendação (ITU-T G.874 2013) não explora, na profundidade necessária, os mecanismos de gerência de configuração, deixando em aberto, por exemplo, o controle e configuração de Cross conexão e da multiplexação das ODUs.

A versão pré-publicada em outubro de 2012 da recomendação (ITU-T G.874.1 2012), assim como a versão apresentada em 2002, provê um modelo de informação de gerenciamento, neutro de protocolo, para gerência de elementos de rede OTN. Tal modelo contém as entidades de gerenciamento e suas propriedades que são úteis para descrever funcionalmente um equipamento conforme visão da recomendação (ITU-T G.798 2012). Essa representação parte do princípio de que as Funções Atômicas (sinais gerados pelos blocos funcionais da camada de transporte) estão claramente estabelecidas e são diretamente acessíveis. Assim, as informações de gerência podem ser recuperadas e trocadas através de interfaces definidas na arquitetura TMN (*Telecommunication Management Network*) (ITU-T M.3010 2000).

Outra fonte de normas padronizadoras é o TM Fórum, uma associação comercial global, composta por grandes empresas de telecomunicações e fornecedores de soluções para o setor, que visa desenvolver e aprimorar as melhores práticas para os processos de negócio e processos operacionais das empresas de telecomunicações.

Dentre as normas publicadas pelo TM Fórum, encontra-se a TMF608, que abrange o modelo de informação do *Multi-Technology Network Management* (MTNM) juntamente com as melhorias para a *Multi-Technology OS Interface* (MTOSI) que tem por objetivo definir uma interface aberta e unificada para ser usada entre Sistemas Operacionais de Suporte (OSS – *Operational Support System*). O modelo de informação MTNM tem por finalidade o gerenciamento de redes e serviços e visa cobrir todas as tecnologias, desde a camada 1 até as camadas mais altas do modelo de Referência OSI (*Open System Interconnection*). Destina-se à interface NMS-EMS (*Network Management System – Element Management System*) e seu foco se encontra no gerenciamento de recursos de rede e, eventualmente, gerenciamento de serviços. Também apresenta o modelo de equipamento que representa os diversos componentes físicos gerenciáveis de um elemento de rede tais como placas, ventilador (FAN), painel de fusível, fonte de alimentação, etc. (TMF 513 2008). Trata-se de uma visão mais próxima do operador de rede, pois espelha os elementos físicos perceptíveis por ele.

Neste momento, pesquisadores e desenvolvedores da área de redes de transporte, se voltam para o desenvolvimento de um novo equipamento denominado *OTN Switch* (Knudsen-baas 2011), (Nokia 2012), (Schmitt 2012), (A. Colmenero (NORDUnet), R. Lund (NORDUnet) 2013) e (Perrin 2010). O *OTN Switch* surge como mecanismo 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 (Dilem et al. 2013). Consequentemente, surge a necessidade de se ter uma gerência mais sofisticada para esse complexo dispositivo.

Como decorrência, o inventário dos elementos a serem gerenciados é de fundamental importância para o gerenciamento de redes. Com base nesse inventário são executadas as principais tarefas da Gerência de Redes ISO/ITU, permitindo o monitoramento, provisionamento, controle e planejamento de redes. Contudo, existem recomendações da ITU-T que estabelecem mecanismos de gerenciamento, partindo de informações geradas pelos componentes operacionais de um equipamento OTN, componentes esses definidos como Funções Atômicas (AF – *Atomic Function*) (ITU-T G.798 2012).

Muitas vezes, as funções atômicas (AFs) estão espalhadas por diferentes elementos físicos, dificultando o entendimento das normas quanto ao gerenciamento do equipamento. Um exemplo apresentado na Figura 1-1, onde o componente lógico OIC (*Optical Interface Card*), presente em (Dilem et al. 2013), é composto por multiplexadores, demultiplexadores e amplificadores em uma solução desenvolvida por um fabricante.

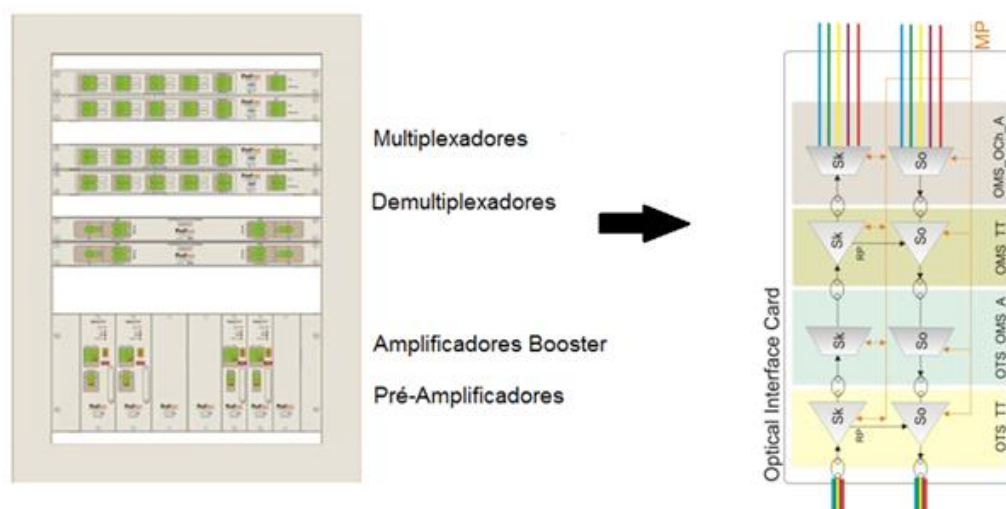


Figura 1-1: Diversos componentes físicos são necessários para compor o componente lógico OIC.

A entidade de gerência embarcada no equipamento, o chamado ONE (*Optical Network Element*), precisa de estruturas de dados que suportem as informações geradas pelas Funções Atômicas. Essas estruturas são sugeridas pela (ITU-T G.874.1), abordando a visão funcional do equipamento, e pelo TMForum, abordando uma visão física do Equipamento (TMF 608).

Entretanto, a falta de clareza na implementação das Funções Atômicas e a carência de integração com as representações físicas dos equipamentos implica na omissão, por parte dos diversos fabricantes, da implementação dos mecanismos recomendados em norma. É o que acontece no caso do gerenciamento do *OTN Switch*, onde falta um modelo que comporte, além dos artefatos de gerenciamento OTN, os conceitos de portas, cartões de interface e placas de linha, conforme a arquitetura proposta por (Dilem et al. 2013).

1.2 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA

A representação funcional dos dispositivos de acordo com as normas ITU-T contribui para a interoperabilidade, suporte ao processo de correlação de alarmes e mapeamento dos objetos gerenciados em protocolos de gerência específicos como SNMP (*Simple Network Management Protocol*), XML (*Netconf/Yang*) e CMISE (*Common Management Information Service Element*) (ITU-T G.874.1 2012), dentre outros benefícios.

Entretanto, não é verdade que as normas internacionais oferecem recursos suficientes para construção padronizada de funcionalidades e, por vezes, deixam diversas lacunas em campos que não se restringem apenas na implementação.

Uma abordagem mais aprofundada do inventário, no escopo das redes OTN, pode fomentar novas publicações e, por conseguinte, normas padronizadoras mais completas.

Pelo que foi percebido no esforço de pesquisa bibliográfica realizada no escopo desta dissertação, há um grande distanciamento entre o que é especificado nas normas internacionais sobre OTN e a operação cotidiana vista, por exemplo, por um operador de rede (Carroll 2010). De acordo com a necessidade de padronização e interoperabilidade é um desafio aproximar esses dois mundos.

A expansão do modelo de informação e da arquitetura de gerência para a manipulação de *Placa/Slot/Shelf/Rack* e o modelo ITU-T G.874.1 oferece ao operador de rede diferentes opções de configuração de dispositivos. Em alguns casos fornece a ele a opção de visões que possibilitem a configuração de uma forma mais intuitiva.

No mundo prático, caminha-se na direção do mapeamento de redes de pacotes sobre a tecnologia OTN, e, nesse contexto, o *OTN Switch* promete comutação de unidades de dados (ODUs) em diferentes níveis hierárquicos, tornando a rede óptica de transporte mais flexível (Nokia 2012).

A padronização da comunicação de inventário entre placas e portas, que implementam funções atômicas, com o módulo de gerência do elemento de rede

(*Network Element* – NE), possibilita economia de escala, aumento na coesão e diminuição do acoplamento nos elementos do NE.

1.3 OBJETIVOS E RESULTADOS ESPERADOS

No contexto do elemento de rede OTN, o presente trabalho tem como objetivo geral propor uma solução para o levantamento do inventário dos elementos de rede, de forma a diminuir a carência de integração com as representações funcional e física dos elementos de rede e fomentar a aderência, por parte dos diversos fabricantes, às normas internacionais.

Como objetivos específicos, o presente trabalho visa:

- Que a proposta de solução para o levantamento do inventário do NE OTN contribua para a padronização das mensagens de inventário entre os componentes do plano de transporte unidade de gerenciamento do NE.
- Que a proposta de solução para o levantamento do inventário do NE OTN subsidie, através de mensagens de inventário, a instanciação das classes presentes no modelo ITU-T G.874.1;
- Que a proposta de solução para o levantamento do inventário do NE OTN subsidie, através de mensagens de inventário, a instanciação dos componentes físicos, equipamentos, *Racks*, *Slots* e *Shelfs*.
- Que o modelo de informação do NE OTN proposto suporte a cross conexão óptica e elétrica em diferentes níveis de representação: (ITU-T G.874.1 e Componentes/Equipamentos);
- Que o modelo de informação do NE OTN proposto possa oferecer ao Sistema Operacional de Suporte (OSS), ao operador de rede e ao plano de controle um modelo de informação flexível e coerente que possibilite a configuração de equipamentos através de comandos de configuração à determinado componente ou equipamento, ou diretamente nas instâncias dos modelos da ITU-T G.874.1.

1.4 METODOLOGIA

Para chegar ao objetivo da dissertação, é utilizada a seguinte metodologia:

- Revisão da literatura, compreendendo as seguintes fontes:
 - Estudo das recomendações da ITU-T em especial as referentes à gerência de redes OTN, dentre as quais incluem a recomendação (ITU-T G.7710 2012), (ITU-T G.874 2013) e (ITU-T G.874.1 2012);
 - Estudo das recomendações do TM Fórum em especial a relacionada ao modelo de informação de equipamento TMF 608;
 - Estudo de fundamentos em livros e estado da arte em periódicos, *White papers* e documentos públicos de empresas desenvolvedoras;
 - Pesquisa bibliográfica em revistas, periódicos e anais de congressos e conferências.
- Desenvolvimento de solução para a padronização das mensagens de inventário entre os componentes do plano de transporte unidade de gerenciamento do NE.
- Desenvolvimento de solução de integração entre as visões ITU-T G.874 e TMF 608, contemplando mecanismos de configuração de cross conexão óptica e elétrica OTN.
- Desenho e de uma proposta para o processo de inventário dos objetos gerenciados no EMF OTN.
- Desenvolvimento de uma solução para externalizar as informações de inventário ITU-T G.874.1 e TMF 608 ao Sistema Operacional de Suporte (OSS), bem como promover interface de configuração de cross conexão óptica e elétrica.
- Implementação da solução de inventário proposta no *framework* de simulação de redes OTN desenvolvido pelo grupo de pesquisa do Labet UFES.

- Validação da solução através do inventário do equipamento *OTN Switch* no *framework* de simulação de redes OTN desenvolvido pelo grupo de pesquisa do Labtel UFES.

1.5 TRABALHOS RELACIONADOS

No atual estágio de desenvolvimento da tecnologia OTN pesquisadores e desenvolvedores da área de redes de transporte se voltam para o desenvolvimento do *OTN Switch* (Knudsen-baas 2011), (Nokia 2012), (Schmitt 2012), (A. Colmenero (NORDU.net), R. Lund (NORDU.net) 2013) e (Gumaste et al. 2010). Contudo, é escassa, em periódicos, *White papers* e documentos públicos de empresas desenvolvedoras, a abordagem de mecanismos de gerência e controle desse complexo dispositivo, tão pouco de mecanismos para inventário do elemento de rede OTN.

Entende-se que a cross-conexão é uma lacuna importante a ser preenchida na representação do *OTN Switch*, trazendo consigo uma série de conceitos auxiliares. Nesse contexto, o artigo (Rafel et al. 2001) afirma que se precisa de novos níveis de gerenciamento e supervisão para garantir propriedades de operação e qualidade de entrega de dados.

O artigo (Rafel et al. 2001) apresenta uma solução de modelo funcional para a cross conexão de comprimentos de onda, tudo isso antes mesmo da publicação da recomendação ITU-T G.874.1 de 2002. Propõe, ainda, uma arquitetura com abordagem para a cross conexão óptica, operação e roteamento (OXC) focado na necessidade do operador de rede a fim de atender requisitos sobre adaptabilidade, escalabilidade, modularidade e transparência. Contudo, o modelo de dados simples, baseado em matrizes, não suporta a complexa estrutura de cross conexão com funcionalidades de proteção empregadas nas redes OTN atuais (Knudsen-baas 2011).

No trabalho de (Knezevic et al. 2011) é apresentada uma proposta de mapeamento da funcionalidade de cross conexão de ODU em modelo do protocolo SNMP, onde as conexões entre as entidades são representadas por tuplas em uma estrutura de

índice de interfaces, correlacionando os TTP's (*Trail Termination Point*) e CTP's (*Connection Termination Point*). O trabalho de (Knezevic et al. 2011) tem como propósito geral correlacionar as entidades da ITU-T G.874.1 em tabelas do SNMP a fim de formar a base de informação de gerenciamento (*Management Information Base – MIB*).

Quanto à configuração e modelo de dados, o artigo (Knezevic et al. 2011) não prevê que o parâmetro de taxa de dados K pode assumir valores diversos, ou seja, que uma ODUk_Subnetwork possa suportar diferentes taxas (ITU-T G.798 2012), tão pouco apresenta solução para multiplexação de ODU, elementos de fundamental importância no *OTN Switch* (Knudsen-baas 2011). O autor assume, e espera, que os dados envolvidos na cross conexão estejam previamente instanciados na MIB na forma de objetos gerenciados apresentada na recomendação ITU-T G.874.1 de 2002. Tal mapeamento, no entanto, precisa ser revisto para que seja compatível com o modelo de classes da nova MIB G.874.1 de 2013.

Em (Doverspike & Yates 2012) o autor discorre a respeito das mudanças nas tecnologias de redes ópticas ocasionadas pelo transporte do protocolo IP sobre essas redes, solução também apresentada em (Nokia 2012). Demonstra ainda que os sistemas de gerenciamento vigentes não estão preparados para suportar a cross conexão de pacotes nas camadas mais altas. O autor baseia sua avaliação sobre a estrutura atualmente implementada das camadas de redes ópticas, e nos atuais gerenciamentos de rede e controle implementados. Em decorrência da avaliação de sistemas em operação o autor exclui os modelos de referência da ITU-T, onde já são abordados fatores como a cross conexão de ODU presente na (ITU-T G.874.1, 2013). Porém, apresenta lacunas importantes que ainda precisam ser abordadas, dentre elas, que os passos para estabelecer a configuração de um circuito podem ser demasiadamente grandes para serem feitos por operadores de rede.

No esforço de pesquisa desta dissertação, observa-se um grande abismo entre as funções atômicas (AF) (internas ao equipamento) e as classes da recomendação ITU-T G.874.1 que as representam na MIB, conforme deficiência apontada em (Knezevic et al. 2011), sendo esperado que os protocolos de gerenciamento sejam mapeados diretamente da ITU-T G.874.1. Porém, não é trivial tal mapeamento, pois questões como a instanciação das conexões e identificação dos *Connections Points*

(CPs) e *Termination Connection Points* (TCPs) na gerência da configuração de conexão ainda não foram abordadas e sequer existe uma informação de gerenciamento (*Management Information* – MI) específica para isso.

Esta dissertação relaciona-se com o conjunto de trabalhos desenvolvidos pelo grupo de pesquisas do LabTel na UFES que visam o desenvolvimento da tecnologia de redes OTN por meio e pesquisas e desenvolvimento nas áreas do plano de transporte, de controle e gerência em redes OTN.

A tecnologia do *OTN Switch* envolve ações complexas nos três planos, a saber: (Dilem 2014) relacionado ao plano de transporte, (Bueloni 2014) está relacionado ao plano de controle e a presente dissertação relaciona-se com o plano de gerência, sendo, por tanto, aplicável também ao *OTN Switch*.

A seguir são sumarizadas as principais lacunas verificadas no esforço de pesquisa desta dissertação:

- Escassez de bibliografia que aborda mecanismos de gerência e controle do OTN Switch e de mecanismos para inventário do elemento de rede OTN;
- Falta de níveis de gerenciamento e supervisão para garantir propriedades de operação e qualidade de entrega de dados;
- Falta de modelo de dados que suporte a complexa estrutura de cross conexão, funcional e física, empregadas nas redes OTN atuais;
- Falta de mecanismos que tornem a operação de rede mais intuitiva ao operador de rede;
- Falta de Informação de gerenciamento para a instanciação das conexões e identificação dos CPs e TCPs na gerência da configuração de conexão.

1.6 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES

As principais contribuições trazidas por esta dissertação são:

- A padronização das mensagens de inventário entre os componentes do plano de transporte e unidade de gerenciamento do NE.
- Modelo de informação capaz de representar os blocos funcionais OTN em instâncias de classes do modelo de informação ITU-T G.874.1 bem como os componentes físicos, *Racks*, *Slots* e *Shelfs* e equipamentos em instâncias de classes presentes no modelo de equipamentos do TMF 608;
- Modelo de informação capaz de suportar a cross conexão óptica e elétrica em diferentes níveis de representação: (ITU-T G.874.1 e Componentes/Equipamentos);
- Protótipo de simulação da proposta de inventário no *framework* de simulação de redes OTN desenvolvido pelo grupo de pesquisa do Labtel UFES.
- Estudo de caso *OTN Switch* no protótipo de simulação da proposta de inventário no *framework* de simulação de redes OTN com funcionalidades de inventário e cross conexão óptica e elétrica em diferentes níveis de representação (ITU-T G.874.1 e Componentes/Equipamentos TMF 608).
- Artigo científico “*Proposal for Automatic Initialization and Configuration of the Control Channel for Optical Control Plane*” publicado no *International Workshop on ADVANCES in Infrastructures and Services*.

1.7 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

Esta dissertação fundamenta-se sobre os conceitos de gerenciamento de redes de telecomunicações e de Redes Ópticas de Transporte, apresentados no capítulo 2. Esse capítulo aborda também os modelos base para a construção do modelo de informação proposto no presente trabalho dispostos nas Recomendações ITU-T G.874.1 e TMF 608.

Outro item apresentado no Capítulo 2 é a arquitetura do *OTN Switch* desenvolvida pelo grupo de pesquisas do LabTel, arquitetura essa, importante para o

entendimento e desenvolvimento da validação da solução de inventário proposta nesta dissertação.

O Capítulo 3 apresenta a proposta de solução de inventário do elemento de rede óptica OTN. O foco principal está na padronização das mensagens de inventário entre os componentes do plano de transporte e unidade de gerenciamento do NE. Também é proposto um modelo de informação capaz de representar os blocos funcionais OTN bem como os componentes físicos, *racks*, *slots* e *shelves* e equipamentos, e extensão das primitivas de cross conexão óptica e elétrica para diferentes níveis de representação: (ITU-T G.874.1 e Componentes/Equipamentos);

O Capítulo 4 apresenta os componentes técnicos envolvidos na implementação da proposta no *Framework* de Simulação de Redes OTN desenvolvido pelo grupo de pesquisa do LabTel UFES. Já o capítulo 5 apresenta a validação da proposta com o inventário do equipamento *OTN Switch*.

O Capítulo 5 sumariza as conclusões a respeito dos principais desafios encontrados na elaboração da dissertação e pesquisa, da proposta e resultados obtidos e a respeito dos trabalhos futuros. O Capítulo 7 contempla as referências bibliográficas abordadas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Uma rede de telecomunicações consiste em muitas peças complexas de hardware e software que interagem umas com as outras. Quando centenas ou milhares desses componentes são montados em conjunto por alguma organização para formar uma rede, não é nada surpreendente que ocasionalmente eles apresentem defeitos, que elementos de rede sejam mal configurados, que recursos da rede sejam utilizados excessivamente ou que componentes da rede simplesmente ‘quebrem’. O administrador da rede, cuja tarefa é mantê-la ‘viva e atuante’ deve estar habilitado a reagir a esses contratemplos e evidentemente necessita de ferramentas que o auxiliem a monitorar, administrar e controlar a rede. (Kurose & Ross 2011).

As Redes Ópticas de Transporte compartilham dessas características, de modo que, nesse contexto, o inventário dos artefatos gerenciáveis é o primeiro passo para a

construção de ferramentas que auxiliem o administrador da rede a monitorar, administrar e controlar redes OTN.

A *International Organization for Standardization* (ISO) criou um modelo de gerenciamento de rede que é útil para situar os cenários de gerenciamento em um quadro mais estruturado. São definidas cinco áreas de gerenciamento de rede, também conhecidas como FCAPS (*Fault, Configuration, Accounting, Performance and Security*) (ISO/IEC 10040 1998):

- Gerenciamento de falhas (*Fault management*), cujo objetivo é registrar, detectar e reagir às condições de falha da rede;
- Gerenciamento de configuração (*Configuration management*), que permite que um administrador de rede saiba quais dispositivos fazem parte da rede administrativa e quais são suas configurações de hardware e software;
- Gerenciamento de contabilidade (*Accounting management*), que permite que o administrador da rede especifique, registre e controle o acesso de usuários e dispositivos aos recursos da rede, defina quotas de utilização, cobrança por utilização e alocação de acesso privilegiado;
- Gerenciamento de desempenho (*Performance management*), cuja meta é qualificar, medir, informar, analisar e controlar o desempenho (por exemplo, utilização e vazão) de diferentes componentes da rede;
- Gerenciamento de segurança (*Security management*), cuja meta é controlar o acesso aos recursos da rede de acordo com alguma política definida (Kurose & Ross 2011).

As áreas de gerenciamento FCAPS, estruturadas pela ISO, são englobadas dentro de um conceito mais abrangente de gerenciamento de rede, o conceito de divisão por planos. Segundo (Farrel n.d.) os componentes funcionais podem ser agrupados em um plano no provimento de funcionalidades correlatas. Nesse sentido, no contexto de sistemas de telecomunicações, os componentes funcionais podem ser agrupados em três planos distintos: plano de transporte ou de dados, plano de controle e plano de gerência, Figura 2-1.

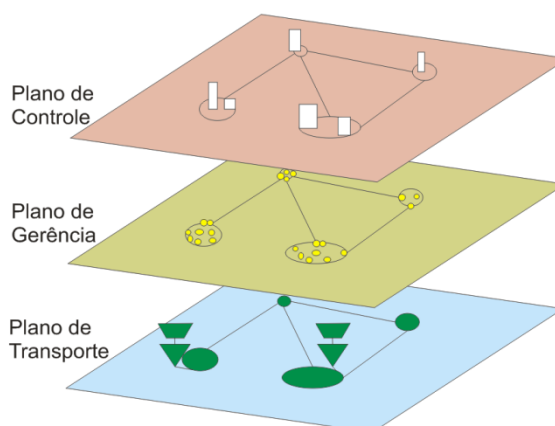


Figura 2-1: Funcionalidades correlatas de rede de Telecomunicações dispostas nos planos de Transporte, Gerência e Controle.

O plano de transporte é responsável pelo transporte de carga útil, ou seja, transporte de dados do cliente. O plano de controle é responsável pela configuração automática da rede para que os dados possam ser transportados corretamente, já o plano de gerência é responsável pela interface homem-máquina com os outros planos, de modo que o administrador da rede possa interagir com o ambiente de rede configurando-o de acordo com as suas necessidades.

Para que o plano de gerência exerça suas funcionalidades é necessário que os artefatos do plano de transporte estejam representados como objetos gerenciados no plano de gerência. Para tanto, é essencial que se defina solução de inventário dos artefatos do plano de transporte em objetos gerenciados. A presente dissertação tem por objetivo apresentar uma proposta de solução para o inventário do elemento de rede no domínio das redes ópticas de transporte, justificando a apresentação dos principais conceitos presentes em redes OTN, apresentados na seção 2.1, gerenciamento de rede OTN, seção 2.3, e dos modelos de informação de gerenciamento presentes nas recomendações ITU-T G.874.1, seção 2.4, e TMF 608, seção 2.5.

Dentro do escopo das redes OTN o conceito *OTN Switch*, apresentado na seção 2.2, é utilizado como estudo de caso da proposta de inventário, pois, o grande número de componentes e a complexidade envolvida inviabiliza o processo de inventário manual. Já que esse equipamento implementa toda a pilha de camadas OTN, ele se torna o caso mais complexo do inventário, servindo como caso geral para validar a solução de inventário para qualquer outro elemento de rede OTN.

2.1 REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE (OTN).

Uma rede óptica de transporte é composta por um conjunto de elementos de rede conectados por fibras ópticas e capazes de fornecer funcionalidade de transporte, multiplexação, roteamento, gerenciamento, supervisão e capacidade de sobrevivência dos canais ópticos. De forma a conduzir o desenvolvimento de elementos de rede óptica a ITU-T define um modelo em camadas, apresentado na recomendação ITU-T G.709 (ITU-T G.709 2012), onde a cada camada é atribuída uma ou mais funcionalidades em uma estrutura cliente servidor, Figura 2-2.

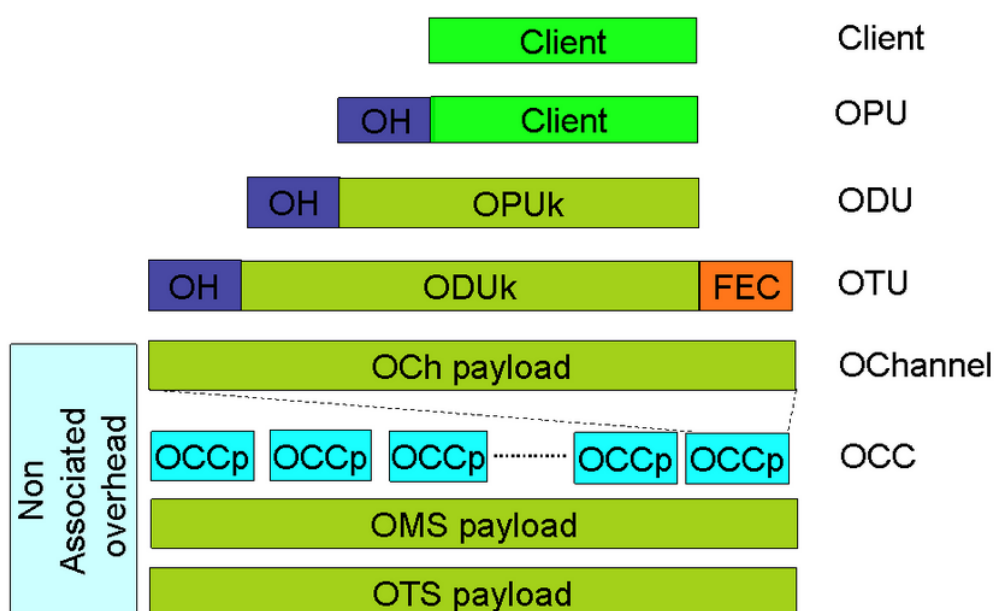


Figura 2-2: Estrutura OTN (ITU-T G.709 2012)

A camada OPU é responsável por realizar o tratamento do sinal digital do cliente, encapsulando e efetuando as operações de justificação.

A camada ODU é responsável por prover as funcionalidades de transporte de um caminho digital para o cliente. É a camada que realiza a multiplexação TDM (*Time Division Multiplex*) do sinal cliente, oferecendo proteção, supervisão de caminho fim a fim, monitoração de *Tandem Connection* e supervisão da qualidade do sinal.

A camada OTU (*Optical Channel Transport Unit*) provê alinhamento de quadros e adiciona o código de correção de erros – FEC (*Forward Error Correction*). Cada OTU, por sua vez, é mapeado em um OCh (*Optical Channel*).

A camada OCh é responsável por fornecer um caminho óptico para transportar o sinal cliente pela rede OTN. Esse caminho, caracterizado por um comprimento de onda, está entre duas terminações ópticas, uma na fonte realizando a conversão do sinal elétrico para óptico e outra no final da trilha realizando a conversão do sinal óptico para elétrico.

A camada OMS (*Optical Multiplex Section*) é responsável por multiplexar/demultiplexar diversos comprimentos de onda, cada um transportando um canal óptico em uma fibra.

A camada OTS (*Optical Transport Section*) é a responsável por gerar o canal de supervisão e transmiti-lo juntamente com o sinal multiplexado proveniente da camada OMS. Esse canal de supervisão é usado para transmitir as informações de cabeçalho das três camadas ópticas de um modo separado dos canais de dados.

Enquanto a recomendação (ITU-T G.709 2012) define as interfaces da rede OTN em termos da hierarquia de transporte óptico e digital, especificando a estrutura dos *frames*; a taxa de bits, os formatos para mapeamento dos sinais clientes, e os esquemas de multiplexação dos sinais ópticos e digitais, a recomendação (ITU-T G.798 2012) descreve os blocos funcionais que compõem as funções de adaptação e de terminação de trilha das camadas OTN.

O bloco funcional de adaptação para ODU de um sinal *constant bit rate*, *ODUkP_CBRx_A_Sk*, é especificado, segundo a recomendação (ITU-T G.798 2012), de forma simbólica, Figura 2-3a, explicitando suas entradas e saídas Figura 2-3b e em forma de conjunto de processos, Figura 2-3c.

É importante que se note a comunicação da funcionalidade *ODUkP_CBRx_A_Sk* com a unidade de gerenciamento, pelo ponto de gerenciamento *ODUkP/CBRx_A_Sk_MP*, constatando a ausência de informações de inventário.

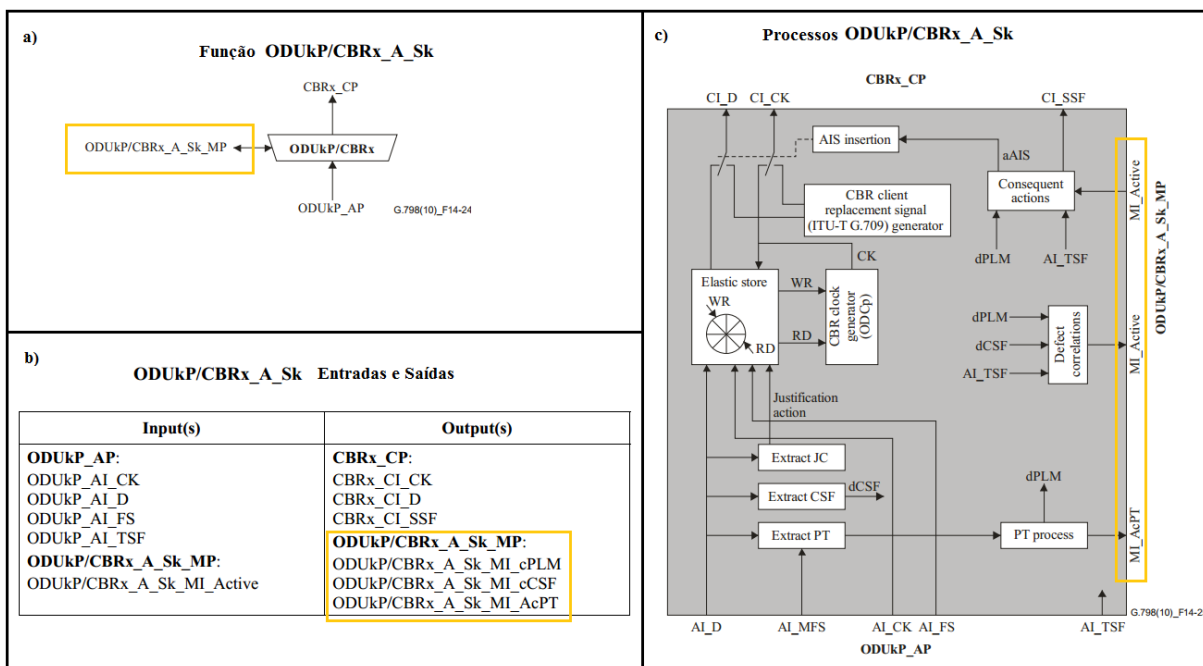


Figura 2-3: ODUkP/CBRx_A_Sk (ITU-T G.798 2012).

A ausência de informações de inventário em direção à unidade de gerenciamento não se restringe apenas à funcionalidade *ODUkP/CBRx_A_Sk*, ela se estende a todas as funções de adaptação *Sink* e *Source*, de terminação de trilha *Sink* e *Source* e também às funções de conexão. Essa deficiência pode ser constatada em todas as funcionalidades apresentadas na recomendação (ITU-T G.798 2012).

A Figura 2-4 apresenta a funcionalidade de terminação de trilha *ODUkP_TT_Sk* onde pode-se notar a ausência de informações de inventário, bem como na função de conexão *ODU_C*, Figura 2-5.

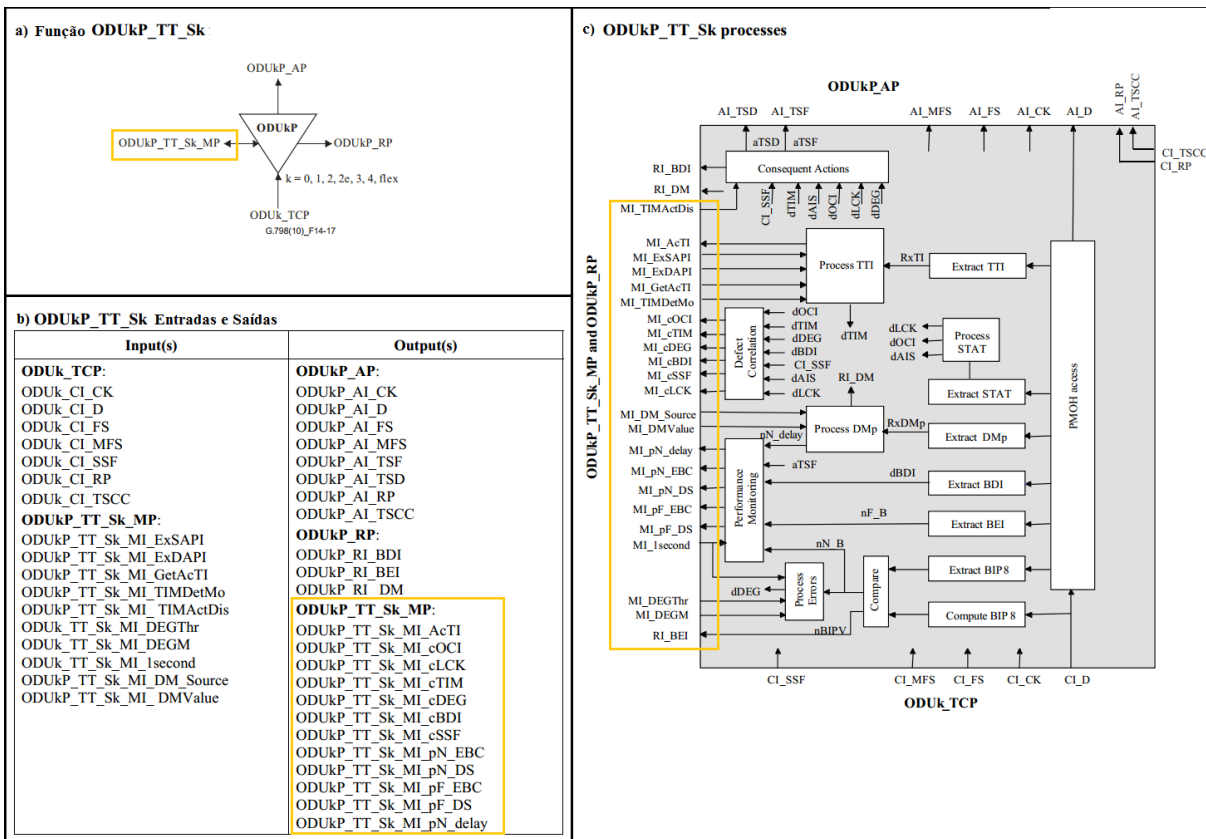


Figura 2-4: ODUk_TT_Sk (ITU-T G.798 2012).

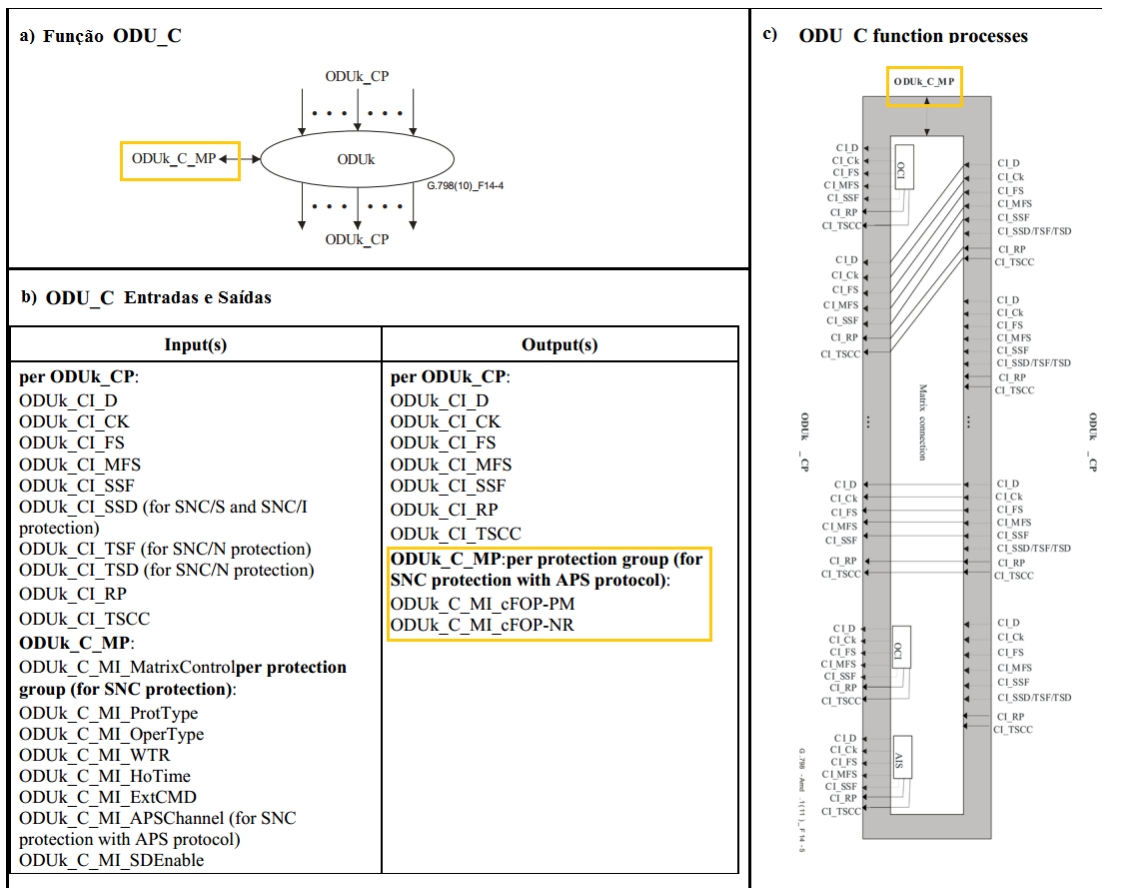


Figura 2-5: ODU_C (ITU-T G.798 2012).

Os blocos funcionais *ODUkP_CBRx_A_Sk*, *ODUkP_TT_Sk* e *ODU_C* fazem parte do conjunto de blocos funcionais da recomendação (ITU-T G.798 2012) e abrangem toda a pilha de camadas OTN. Esses são usados na construção dos elementos de rede óptica e podem ser consultados também nos trabalhos de (Santos 2009) e (Tessinari 2009). A Figura 2-6 apresenta um exemplo de uso dos blocos funcionais *OTSn_TT* e *OTSn/OMSn_A* para a construção de um amplificador, elemento de rede óptica usado para amplificar o sinal WDM. O amplificador realiza a funcionalidade de terminação de trilha da camada OTS e permite *Pass Throught* da camada OMS.

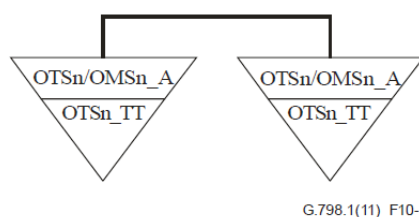


Figura 2-6: Amplificador óptico (ITU-T G.798.1 2013).

Outros elementos de rede óptica podem ser representados à medida que se vai agregando funcionalidades e respectivas camadas. A Figura 2-7 apresenta, além do elemento de rede de amplificação *Optical amplifier*, um equipamento de cross conexão óptica *Wavelength crossconnect*, equipamento de regeneração e cross conexão de ODU de alta ordem (maior taxa) (HO ODU), de ODU de baixa ordem (menor taxa) (LO ODU) *Sub-Wavelength crossconnect* e equipamentos que interagem com sinais cliente *OTN access node*.

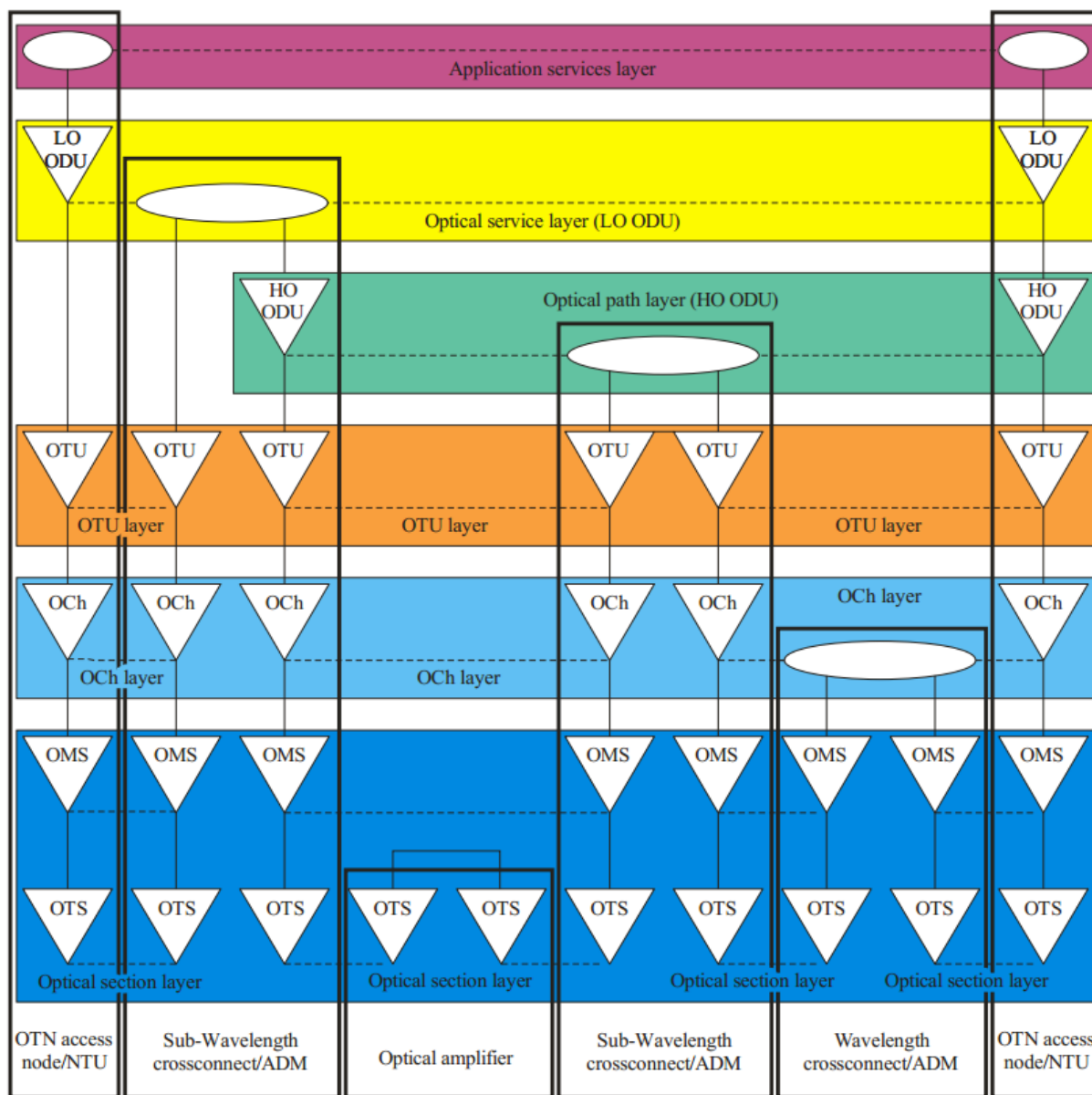


Figura 2-7: Exemplo de elementos de rede em pilhas de camadas OTN (ITU-T G.798.1 2013).

Esse processo de construção de elementos de rede óptica é explorado na seção seguinte, 2.2, e utilizado para fundamentar a concepção do equipamento *OTN Switch*, desenvolvida pelo grupo de pesquisas em redes OTN do Labet UFES. O *OTN Switch* é completo no que diz respeito à pilha de camadas OTN, além de oferecer a flexibilidade da cross conexão óptica (OCh) e elétrica (ODU) em um mesmo elemento de rede.

2.2 OTN SWITCH

O *OTN Switch* é um conceito de elemento de rede óptica que explora toda a capacidade da tecnologia OTN, ou seja, usa de toda a pilha de camadas OTN, agregando ao elemento de rede a flexibilidade de mapeamento de dados cliente em unidades de dados dos canais ópticos ODU de diversas capacidades, comutação de ODUs em diferentes níveis hierárquicos, além de adição, remoção e comutação de comprimentos de onda, tornando a rede de transporte óptico mais flexível e eficiente.

São diversas as iniciativas de concepção do elemento *OTN Switch*, tais como (Knudsen-baas 2011), (Nokia 2012), (Schmitt 2012), (A. Colmenero (NORDUnet), R. Lund (NORDUnet) 2013) e (Perrin 2010), contudo, elas não abordam os blocos funcionais OTN tal qual descrito na recomendação (ITU-T G.798 2012), muito menos os sinais de gerenciamento desses componentes. Dessa forma, o inventário de um elemento de rede tão complexo ainda é uma lacuna importante a ser preenchida.

Vale mencionar que o equipamento *OTN Switch* é um grande motivador do presente trabalho, pois, o grande número de componentes e a complexidade envolvida nesse equipamento inviabiliza o processo de inventário manual, além dele implementar toda a pilha de camadas OTN.

De forma a contornar o problema da falta de representação do *OTN Switch* em termos dos blocos funcionais OTN, o grupo de pesquisas em redes OTN do Labet UFES propõe em (Dilem et al. 2013) uma arquitetura de *OTN Switch* baseada nas normas da ITU-T, conforme se apresenta na Figura 2-8. A proposta é 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*, os quais são descritos a seguir.

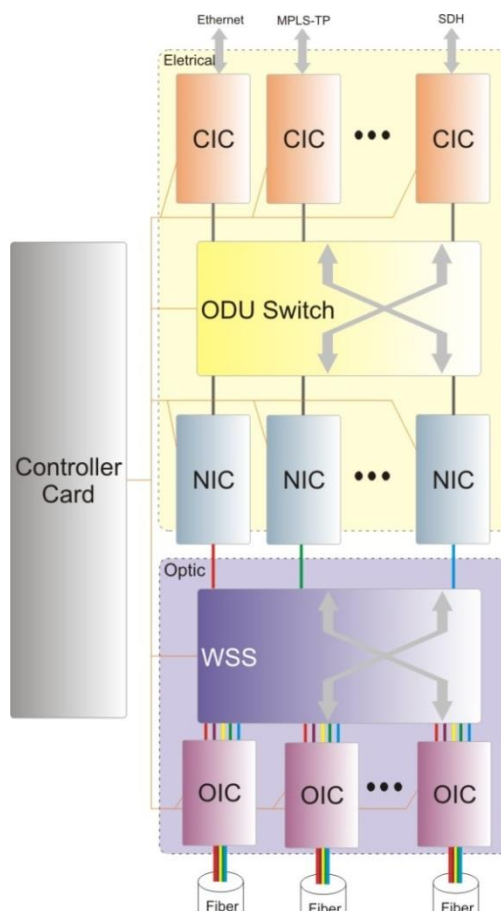


Figura 2-8: Arquitetura **OTN Switch**, (Dilem et al. 2013).

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 (*Multi Protocol Label Switching – Transport Profile*), FC (*Fiber Channel*), SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*), 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 os sinais ODU, fazendo uso do protocolo APS (*Automatic Protection Switching*).

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, quando necessário. É na NIC que acontece a conversão Óptico-Elétrica-Óptico.

O módulo WSS (*Wavelength Selective Switch*), em conjunto com os módulos OIC (*Optical Interface Card*), assume o papel dos tradicionais ROADMs. 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).

Esses seis componentes compreendem as funcionalidades atribuídas ao *OTN Switch*. O apêndice 8.1 apresenta a construção desses componentes em termos de blocos funcionais presentes na recomendação (ITU-T G.798 2012) e (ITU-T G.874 2013). Essa representação é base para a proposta de solução de inventário apresentada nessa dissertação.

2.3 GERÊNCIA DE REDES OTN.

A recomendação (ITU-T G.874 2013) estabelece os aspectos de gerenciamento de redes OTN, bem como especifica as funções de gerenciamento: gerência de falhas, gerência de configuração e gerência de desempenho.

De acordo com a recomendação ITU-T G.874, uma Função de Gerenciamento de Equipamento (EMF - *Equipment Management Function*) fornece os meios através dos quais cada elemento funcional de rede (NEF - *Network Element Function*) (Figura 2-9), é gerido. Na Figura 2-9, adaptada da Recomendação (ITU-T G.874 2013), é evidenciado o Plano de Transporte, em vermelho, o Plano de Gerência, em Azul, e o Plano de Controle, em amarelo.

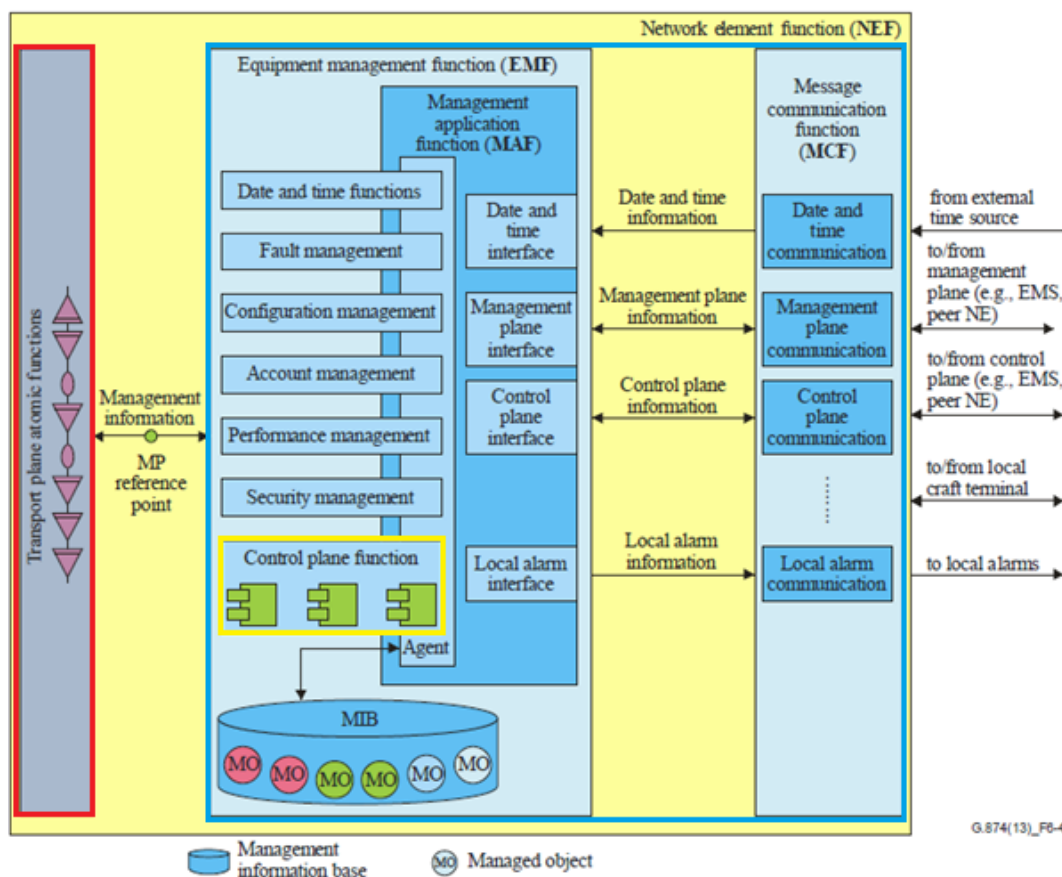


Figura 2-9: Função de Gerenciamento de equipamento óptico, adaptada da (ITU-T G.874 2013).

O EMF interage com as funções atômicas (AF - *Atomic Function*) do plano de transporte através dos pontos de referência de gerenciamento (MP - *Management Point*) trocando informações de gerenciamento (MI - *Management Information*).

As funções atômicas representam as terminações de trilha, funções de adaptação e funções de conexão, cujo conteúdo é especificado na recomendação (ITU-T G.798 2012).

Segundo a recomendação (ITU-T G.806 2012), o MP é um ponto de referência onde a saída de uma função atômica é ligada à entrada da função de gerenciamento de elementos, ou onde a saída da função de gerência é ligada à entrada de uma função atômica.

É papel da Função de Comunicação de Mensagem (MCF - *Message Communication Function*) prover a interface de comunicação do equipamento com o meio externo se encarregando, contudo, das possíveis conversões e adaptações necessárias. Toda comunicação do EMF com as funções externas deve ser feita passando pelo MCF,

inclusive a comunicação com o OSS, e com elementos de gerenciamento de níveis mais altos.

A EMF contém elementos como Data e Hora (D&T - *Date & Time*), áreas funcionais de falha, configuração, contabilidade, desempenho e segurança (FCAPS - *Fault, Configuration, Accounting, Performance and Security*), Função de Aplicação de Gerência (MAF - *Management Application Function*) e o Banco de Informação de Gerenciamento (MIB - *Management Information Base*).

Segundo a recomendação ITU-T G.7710, a gerência de configuração fornece funções para controlar, identificar, coletar e fornecer dados para os elementos de rede. O detalhamento dos elementos internos da gerência de configuração podem ser encontrados nas recomendações (ITU-T G.7710 2012) e (ITU-T G.874 2013), contudo, não há nenhuma referência ao processo de inventário do elemento de rede.

A MIB é um dos principais elementos do EMF e, segundo a recomendação ITU-T G.7710, nela são armazenadas todas as instâncias dos objetos gerenciados pelo NE. Suas funções incluem reportar surgimento ou remoção de recursos na rede e a disponibilização do estado de todos os objetos gerenciados. É tarefa do Agente (*Agent*) converter sinais MI internos em mensagens de gerenciamento de aplicações e vice-versa, realizando as apropriadas operações sobre os objetos gerenciados da MIB.

A MIB é responsável por fornecer informações ao Sistema Operacional de Suporte (OSS) através das funções “*Get MIB of NE*” e “*Report NE MIB changes to the OS*”, que permite, respectivamente, obter a lista de todos os objetos instanciados armazenados na MIB e a notificação de mudanças ocorridas.

Os objetos gerenciados OTN são armazenados na MIB e tem modelo de dados definido pela recomendação ITU-T G.874.1. Abordada na seção 2.4, a recomendação oferece mapeamento dos blocos funcionais em classes do modelo de dados de gerenciamento OTN.

2.4 MODELO DE DADOS DA RECOMENDAÇÃO ITU-T G.874.1.

A recomendação (ITU-T G.874.1 2012) define um modelo de informação de gerenciamento neutro de protocolo para gerência de elementos de rede OTN. Tal modelo contém as entidades de gerenciamento e suas propriedades que são úteis para descrever as informações trocadas através de interfaces definidas na arquitetura TMN (*Telecommunication Management Network*) (ITU-T M.3010 2000).

O modelo de informação de gerenciamento neutro de protocolo deve ser usado como base para a definição de modelos de informação de gerenciamento de protocolos específicos, como, por exemplo: modelos de informação, CMISE (*Common Management Information Service Element*), CORBA, SNMP e XML (*Web Service ou Netconf/Yang*).

A Recomendação (ITU-T G.874.1 2012) deixa bem claro que atua na interface entre os elementos *Network Element* (NE) e *Element Management System* (EMS) especificamente para gerenciar as capacidades funcionais OTN do NE conforme Figura 2-10.

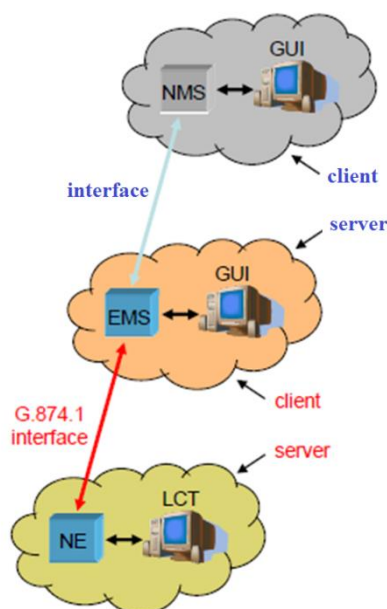


Figura 2-10: Escopo da interface G.874.1 (ITU-T G.874.1 2012)

O modelo de informação de gerenciamento neutro de protocolo, especificado na Recomendação ITU-T G.874.1, consiste de um conjunto de classes específicas de objetos gerenciados, ou seja, classes de objetos gerenciados OTN. A subseção

seguinte apresenta os conceitos que norteiam a construção do modelo, inclui-se os conceitos de objeto gerenciado, *Connection Termination Point* (CTP), *Trail Termination Point* (TTP), *Subnetwork* e *Subnetwork Connection*(SNC).

2.4.1 Visão geral do modelo

Segundo a Recomendação (ITU-T G.874.1 2012), recursos de gerência e recursos de suporte à gerência são modelados como objetos no modelo de informação. A visão de gerência de um recurso é um **objeto gerenciado** (*Management Object - MO*). A recomendação especifica as propriedades dos recursos visíveis para a gerência. Objetos com propriedades semelhantes são agrupados em classes.

As propriedades de um objeto incluem o comportamento, atributos e operações que podem ser aplicadas. Uma instância de objeto é caracterizada pela sua classe de objeto e pode possuir vários tipos de atributos e valores associados. No modelo neutro de protocolo, classes de objetos são representadas como classes UML (*Unified Modelling Language*).

A Recomendação (ITU-T G.874.1 2012) apresenta o mapeamento entre as classes de objetos gerenciados OTN e as funções atômicas definidas na Recomendação ITU-T G.798. Esse mapeamento é fundamental para o mapeamento dos componentes do *OTN Switch* nos objetos de classe UML do modelo da recomendação (ITU-T G.874.1 2012). Basicamente os blocos funcionais de adaptação e terminação de trilha de uma camada são mapeados em classes *Connection Termination Point* (CTP) e *Trail Termination Point* (TTP), enquanto uma função de conexão juntamente com suas conexões são mapeadas nas classes *Subnetwork* e *Subnetwork Connection*(SNC) respectivamente.

2.4.1.1 Diagrama de classe UML

A Recomendação (ITU-T G.874.1 2012) fornece uma visão genérica a respeito das relações entre as funcionalidades *Connection Termination Point* (CTP), *Trail Termination Point* (TTP), *Subnetwork* e *Subnetwork Connection* (SNC) em uma

camada de rede de transporte, como pode ser observado na Figura 2-11. Se a função de cross conexão é suportada na camada de rede, o que acontece nas camadas OCh e ODU da OTN, as classes SNC e *Subnetwork* são definidas.

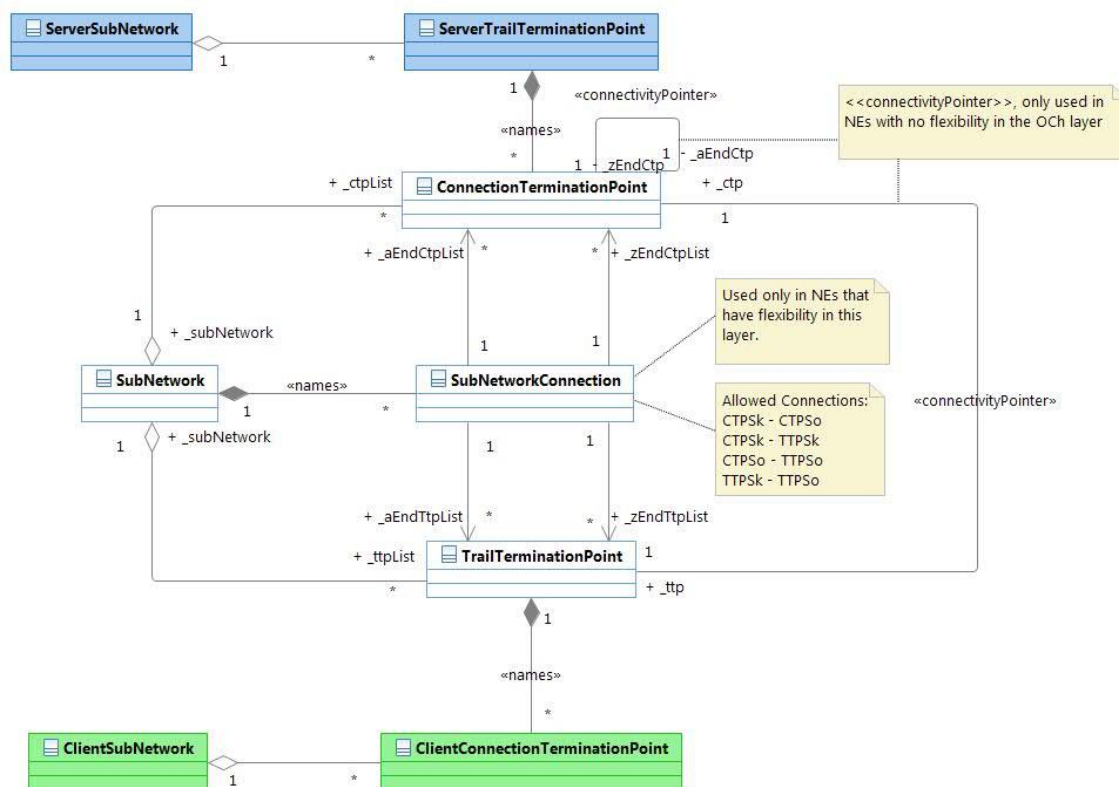


Figura 2-11: Diagrama de classe genérico para camadas de transporte (ITU-T G.874.1 2012).

2.4.1.2 Diagrama de classe principal

A nova versão da recomendação apresenta o modelo UML em arquivo HTML, de modo a facilitar a navegabilidade e legibilidade. Na visão geral do modelo ITU-T G.874.1 *Main Class* as classes são apresentadas de forma simplificada, de forma a contribuir para a legibilidade do modelo. Por conseguinte, um maior detalhamento é disposto em diversos fragmentos, tais como *OTM Fragment*, *OTUk Fragment*, *ODUk Fragment*, etc.

O modelo de informação disposto na recomendação ITU-T G.874.1 é rico no que diz respeito à representação dos objetos gerenciados OTN, contudo, não prevê a relação dos mesmos com equipamentos, placas, *slots*, *shelf* e *racks* que os contêm.

O uso da representação utilizando equipamentos, placas, *slots*, *shelves* e *racks* é mais natural e intuitivo ao operador e administrador de rede, talvez por isso as diversas iniciativas de concepção do equipamento *OTN Switch* a utilizem em detrimento ao uso dos blocos funcionais OTN. A seção seguinte, 2.5, apresenta o modelo de dados disposto na recomendação TMF 608, onde os conceitos de equipamentos, *slots*, *shelves* e *racks* são amplamente difundidos, e assim como o modelo de dados da recomendação ITU-T G.874.1, serve de base para a construção do modelo proposto nesta dissertação.

2.5 MODELO DE DADOS DA RECOMENDAÇÃO TMF 608.

O TMF608 abrange o modelo de informação do *Multi-Technology Network Management* (MTNM) juntamente com as melhorias para a *Multi-Technology OS Interface* (MTOSI) que tem por objetivo definir uma interface aberta unificada para ser usada entre Sistemas de Operacionais de Suporte (OSS).

O TMF608 conta com uma série de documentos de suporte, dentre os quais encontra-se o *SD1-10 Equipment Model* (TMF 608 SD1-10 2007), que apresenta o modelo dos vários componentes físicos de um Elemento de Rede.

2.5.1 Modelo de Equipamento (*Equipment Model*)

O modelo de equipamento (TMF 608 SD1-10 2007) representa os diversos componentes físicos gerenciáveis de um elemento de rede (placas, ventiladores (fan), painel de fusível, fonte de alimentação, etc.). A classe *Equipment Holder*, presente na Figura 2-12, representa uma abstração de *Racks*, *Shelves*, *Subshelves*, *Slots* e *Subslots*. Nota-se que a classe pode ser usada em modo árvore de contêineres, de forma a representar a estrutura hierárquica disposta nos equipamentos.

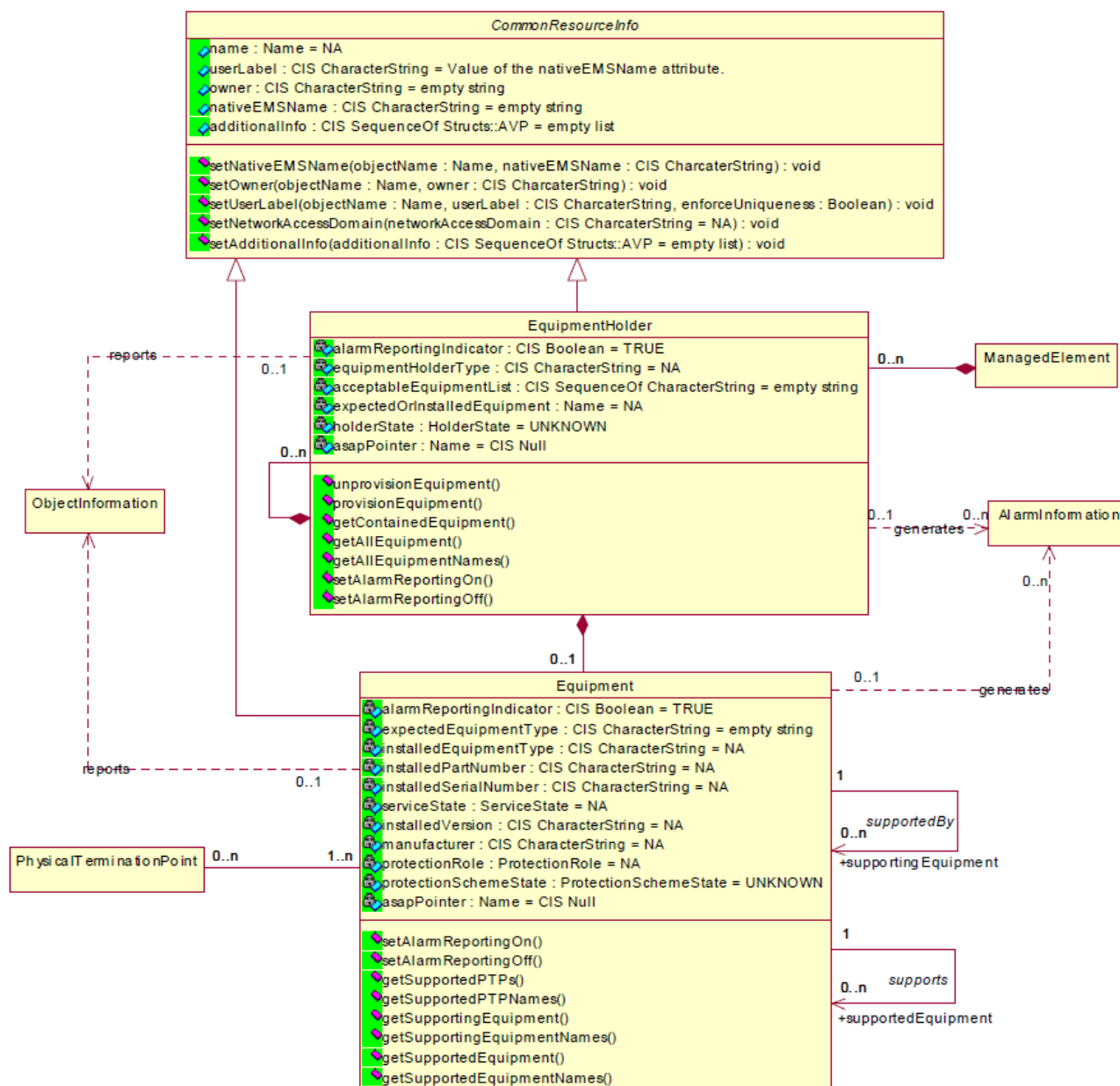


Figura 2-12: *Equipment Model overview*, (TMF 608 SD1-10 2007).

O atributo de nomenclatura *EquipmentHolderType* segue a hierarquia do equipamento. Quando o objeto *Equipment Holder* é nomeado pelo elemento gerenciado (*Managed Element*), os objetos *Equipment Holder* são nomeados de forma recursiva (*Rack*, *Shelf*, *Subshelf*, *Slot*, e *Subslot*) e os objetos *Equipment* são nomeados pelo objeto *EquipmentHolder* que o contêm. O documento (TMForum-SD1-25 2005), oferece detalhes e exemplos de nomeação de equipamentos.

Um *ManagedElement* (Figura 2-13) representa uma abstração de um conjunto de recursos físicos co-localizados, gerenciados como uma única entidade por um EMS.

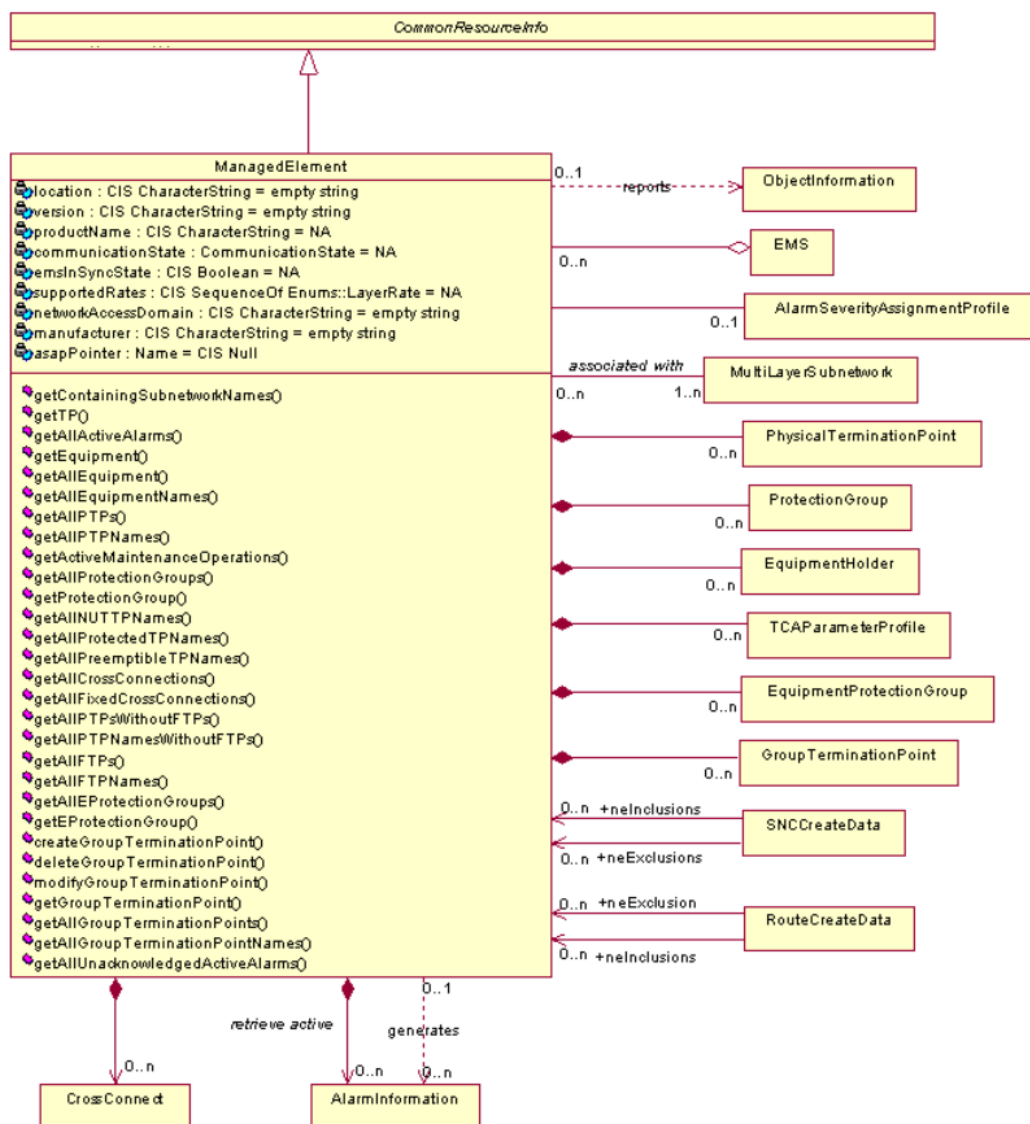


Figura 2-13: Diagrama de Classe EMS: (TMF 608 SD1-10 2007)

Dentre os recursos físicos abrangidos pelo *ManagedElement* estão:

- *PhysicalTerminationPoint*:
 - Representa uma Terminação de um *Topological Link*. Basicamente é uma porta física.
- *ProtectionGroup*:
 - Representa a informação sobre o grupo de proteção de um elemento gerenciado. Esse objeto modela a trilha de proteção.
- *EquipmentHolder*:
 - Representa o recurso do NE capaz de abranger outros componentes físicos (*racks, shelves, sub-shelves, slots* etc.)
- *TCAPParameterProfile*:
 - Objeto que contém o conjunto de parâmetros de limiar para monitoramento de desempenho.
- *EquipmentProtectionGroup*:
 - Representa a informação sobre o grupo de equipamentos de proteção em um elemento gerenciado.

- *GroupTerminationPoint*:
 - Representa a informação da lista de CTPs em um mesmo ME.

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

O conceito de divisão de uma rede de transporte em planos (transporte, gerência e controle) é importante para o entendimento do escopo da dissertação. Apesar do foco no plano de gerência, é inevitável a atuação na sua interface com o plano de transporte, através da interação com os blocos funcionais para o provimento das mensagens de inventário e instanciação dos objetos gerenciados.

Para representação dos objetos gerenciados OTN, a ITU-T define modelo de informação presente na recomendação ITU-T G.874.1, porém tal modelo não prevê a representação de *racks*, *shelves*, *slots* e equipamentos, esses amplamente difundidos na recomendação TMF 608.

O equipamento *OTN Switch* é frequentemente descrito utilizando os conceitos de equipamentos e placas, não obstante, nesta dissertação adota-se como base o modelo arquitetural presente em (Dilem et al. 2013). O *OTN Switch* é apresentado não somente como motivador, mas como estudo de caso, dada a atual fase de desenvolvimento da tecnologia e a demanda por soluções.

Munidos dos conceitos de rede óptica de transporte e gerenciamento de rede pode-se estruturar uma proposta de solução para o inventário do elemento de rede óptica apresentada no capítulo 3.

3 UMA PROPOSTA DE SOLUÇÃO PARA O LEVANTAMENTO DO INVENTÁRIO DOS ELEMENTOS DE REDE EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE.

O inventário dos elementos a serem gerenciados é de fundamental importância para o gerenciamento de redes. No escopo dos elementos de rede óptica faz-se necessário o inventário dos blocos funcionais OTN, equipamentos, *slots*, *shelves* e *racks* em objetos gerenciados na base de informação de gerenciamento MIB.

Esta dissertação apresenta uma proposta de solução para o inventário do elemento de rede no domínio das redes ópticas de transporte, com o objetivo de abordar três questões: a ausência de mensagens de inventário MI provenientes dos blocos funcionais (definidos pela recomendação ITU-T G.798), a ausência de modelo de informação que ofereça representação dos blocos funcionais OTN em termos de equipamentos, *slots*, *shelves* e *racks*, e, ainda, a extensão das primitivas de cross conexão e de propagação dos dados da MIB relativos ao inventário às entidades de gerenciamento de níveis mais altos.

Como solução para as lacunas apresentadas propõe-se:

1. Adição do *Process Inventory*, aos blocos funcionais da recomendação ITU-T G.798;
2. Adição de mensagens de inventário (*inventoryMI*) à interface MP dos blocos funcionais com a unidade de gerenciamento;
3. Extensão do modelo de dados da recomendação ITU-T G.874.1 para a representação de equipamentos, *slots*, *shelves* e *racks* utilizando o modelo da recomendação TMF 608;
4. Extensão das primitivas de cross conexão elétrica e óptica de forma a possibilitar o uso de equipamentos como parâmetros de cross conexão e a propagação do status da MIB.

A adição do *Process Inventory* aos blocos funcionais da recomendação ITU-T G.798 e respectivas mensagens de inventário, *inventoryMI*, à interface MP, contribui para a padronização da comunicação de inventário entre os equipamentos e módulo de gerência do elemento de rede. Os principais benefícios são economia de escala, aumento na coesão e diminuição do acoplamento nos elementos do NE. Esta proposta é apresentada na seção 3.1.

A extensão do modelo de dados da recomendação ITU-T G.874.1 para a representação de equipamentos, *slots*, *shelves* e *racks* é apresentada na seção 3.2, já a extensão das primitivas de cross conexão e de propagação de informações da MIB é apresentada na seção 3.3.

A combinação da extensão do modelo de informação com a extensão das primitivas de cross conexão e de propagação de informações da MIB oferece ao operador de rede diferentes opções de configuração de dispositivos. Dentre estas, a configuração de cross conexão por equipamentos, mais intuitiva ao operador de rede.

3.1 O MÓDULO DE INVENTÁRIO E AS MENSAGENS ASSOCIADAS.

Para que as Funções Atômicas sejam instanciadas como objetos gerenciados na MIB é necessário que a informação existente no plano de transporte seja enviada à gerência do elemento de rede. Não obstante, ratifica-se a necessidade de informação da disposição dessas Funções Atômicas de forma a instanciar os relacionamentos desses objetos gerenciados na MIB.

Para que seja possível o inventário dos objetos gerenciados é esperado que as Funções Atômicas da recomendação ITU-T G.798 subsidiem a geração de mensagens de inventário. Na recomendação ITU-T G.874.1 essas AFs são mapeados nas estruturas de classe do modelo por ela definido.

Contudo, conforme apresentado no capítulo 2, os blocos funcionais presentes na recomendação ITU-T G.798 não preveem as informações de inventário. Para tanto, é proposta a criação da informação de gerenciamento *inventoryMI*, bem como a

adição do módulo *Process Inventory* ao conjunto dos blocos funcionais visando suprir essa lacuna.

O *Process Inventory* é um bloco funcional pertencente às Funções Atômicas. É responsável por fornecer à gerência do elemento de rede as informações de identificação, conectividade e a respeito do equipamento ao qual compõe a funcionalidade.

A proposta é adicionar o módulo *Process Inventory* junto às funcionalidades *Sink* das camadas de adaptação, de terminação de trilha e nas funções de conexão. Isso se justifica, pois, segundo a recomendação ITU-T G.798, é prevista comunicação bidirecional desses elementos com a gerência do elemento de rede.

Ao *Process Inventory* das funções de adaptação *Sink* das camadas OTN, Figura 3-1, competem prover as mensagens *inventoryMI*:

- **MI_SkI:** Identificador único que distingue a funcionalidade de adaptação *Sink*;
- **MI_SoI:** Identificador único que distingue a funcionalidade de adaptação *Source* relacionada à adaptação *Sink*;
- **MI_API:** Identificador do Access Point (AP) ao qual a funcionalidade *Sink* e *Source* estão conectadas;
- **MI_CPI:** Identificador do Connection Point (CP) ao qual a funcionalidade *Sink* e *Source* estão conectadas;
- **MI_Equipment:** Identificação do equipamento que contém a função de adaptação.

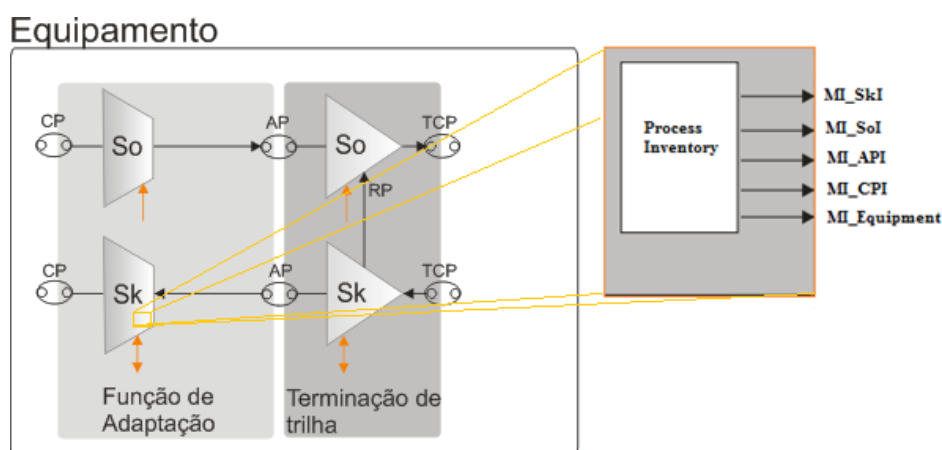


Figura 3-1: *Process Inventory* da função de adaptação da camada.

A Figura 3-2 apresenta, como exemplo, o processo *ODUkP/CBRx_A_Sk* especificado na recomendação ITU-T G.798, adaptado para incluir o novo processo referente à proposta desta dissertação (destaque em laranja).

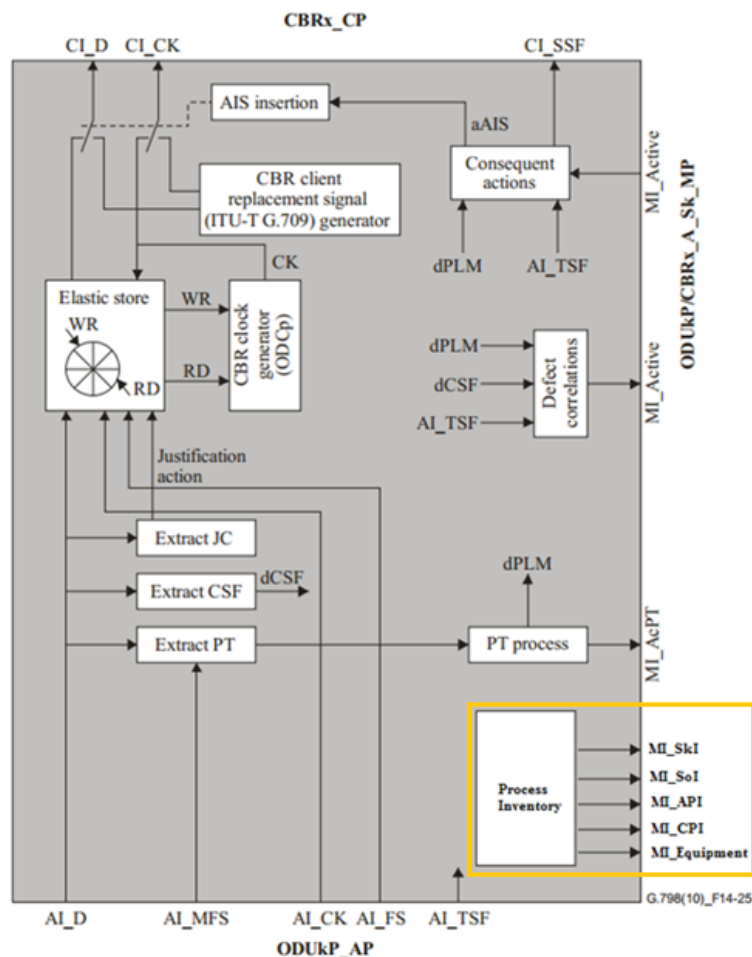


Figura 3-2: Processo *ODUkP/CBRx_A_Sk* adaptado (ITU-T G.798 2012)

No *Process Inventory* das funções de terminação de trilha *Sink* das camadas OTN, Figura 3-3, é abordado o mesmo conjunto de mensagens do *Process Inventory* das funções de adaptação, com exceção da informação **MI_TCPI**, referente à identificação do *Termination Connection Point* (TCP), ao invés do *MI_CPI*, Figura 3-3.

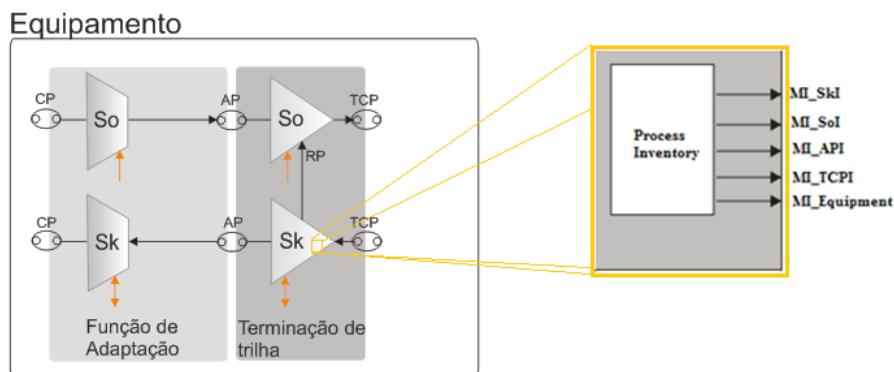


Figura 3-3: *Process Inventory* da função de Terminação de trilha da camada.

A Figura 3-4 apresenta, como exemplo, o processo *ODUkP_TT_Sk* da recomendação ITU-T G.798, adaptado para incluir o novo processo referente à proposta desta dissertação (destaque em laranja).

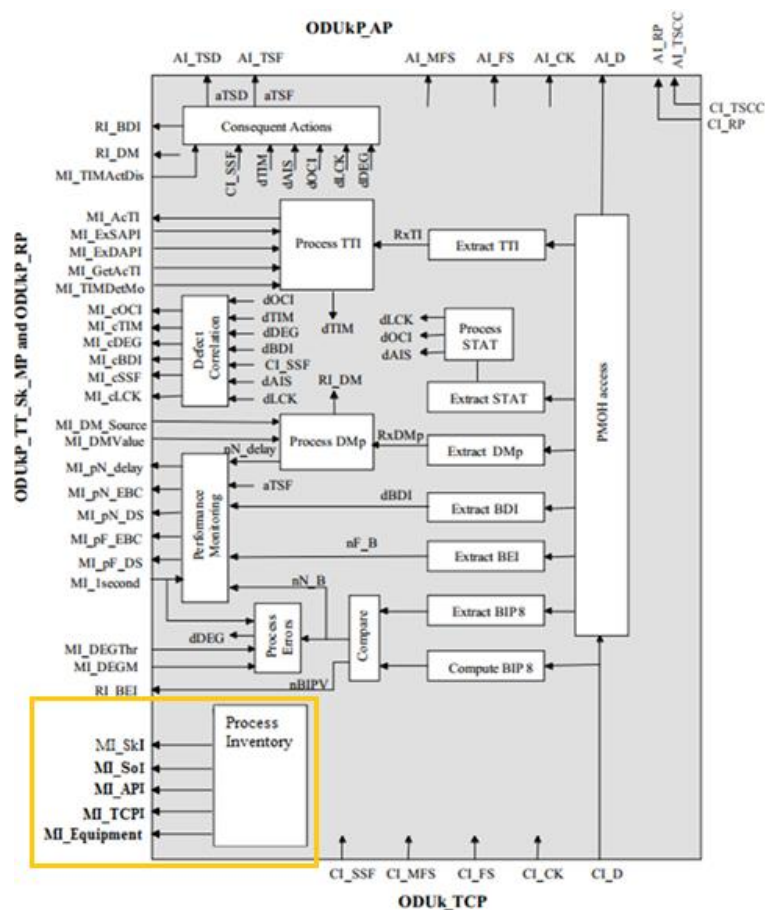


Figura 3-4: Processo *ODUkP_TT_Sk* adaptado (ITU-T G.798 2012)

O *Process Inventory* das funções de conexão *OCh_C* e *ODU_C*, Figura 3-5, tem como objetivo prover as mensagens:

- **MI_CFI**: Identificador único que distingue a Função de Conexão;

- **MI_CPlist:** Identificador dos Connection Points (CP) da funcionalidade de conexão;
- **MI_Equipment:** Identificação do equipamento que contém a função de conexão.

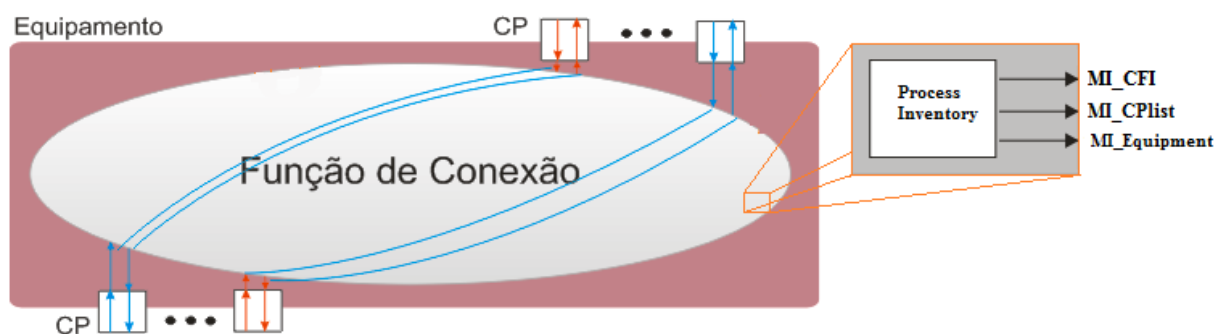


Figura 3-5: *Process Inventory* da função de conexão da camada.

A Figura 3-6 apresenta, como exemplo, o processo ODU_C adaptado da recomendação ITU-T G.798 para aderência a proposta desta dissertação.

Através da *inventoryMI*, o Módulo *Process Inventory* envia informações à gerência do elemento de rede, sobre as funcionalidades às quais está conectada e sobre o equipamento ao qual pertence. Com a *inventoryMI* é possível mapear a comunicação entre a Função Atômica/Equipamento e o EMF, possibilitando o envio de mensagens de configuração provenientes da gerência e o recebimento e identificação das mensagens de falha e desempenho.

Entende-se esse mapeamento da comunicação entre a gerência do elemento de rede e uma Função Atômica como a consolidação do ponto de gerenciamento, *Management Point* MP, especificado nas recomendações da ITU-T.

Pode-se esperar, contudo, que alguns componentes físicos, como *racks* por exemplo, não possuam processamento, e que, portanto, não tenham a capacidade de fornecer informações de inventário à gerência. Como solução, nesses casos, é possível a inserção manual desses componentes pelo operador de rede, haja visto que correspondem a um pequeno número. Contudo, é opção do fabricante inserir o Processo de inventário em tais componentes, como a unidade de distribuição de energia do *rack* (*Power Distribution Unit – PDU*), em *Shelfs* e em equipamentos acopláveis à *racks*, Figura 3-7.

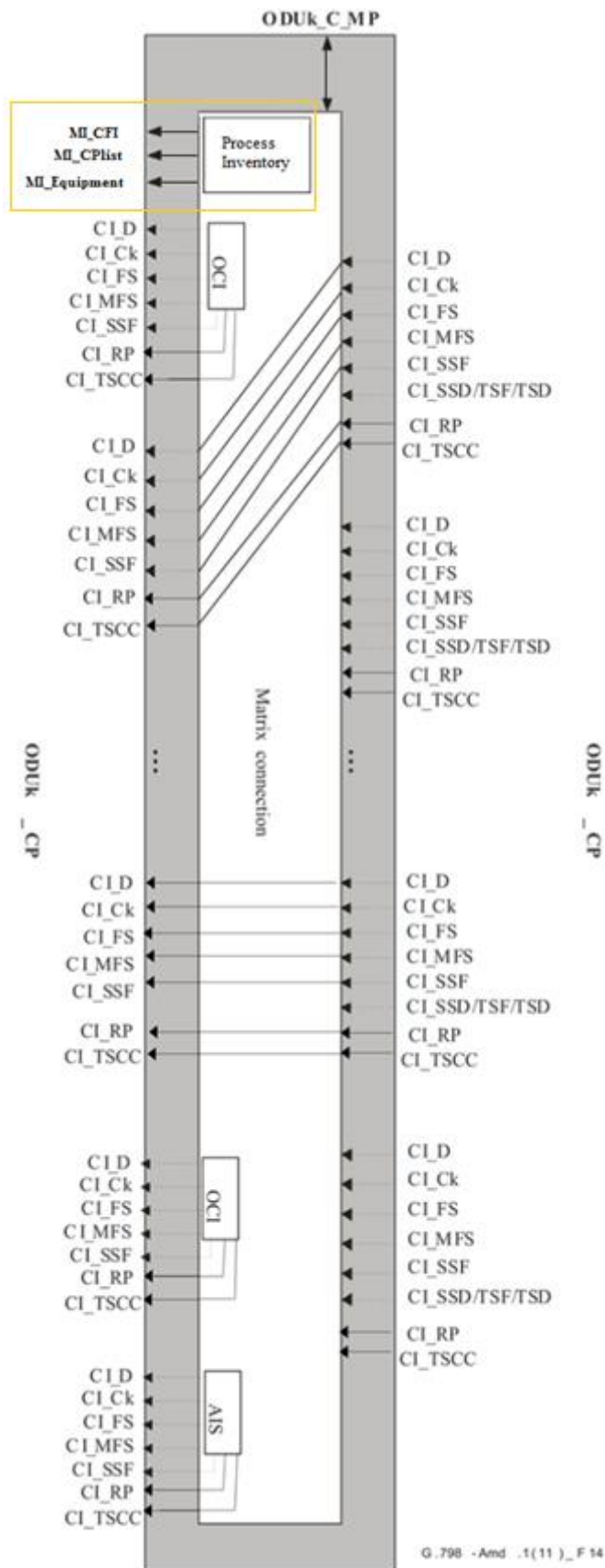


Figura 3-6: Processo da função ODU_C adaptado

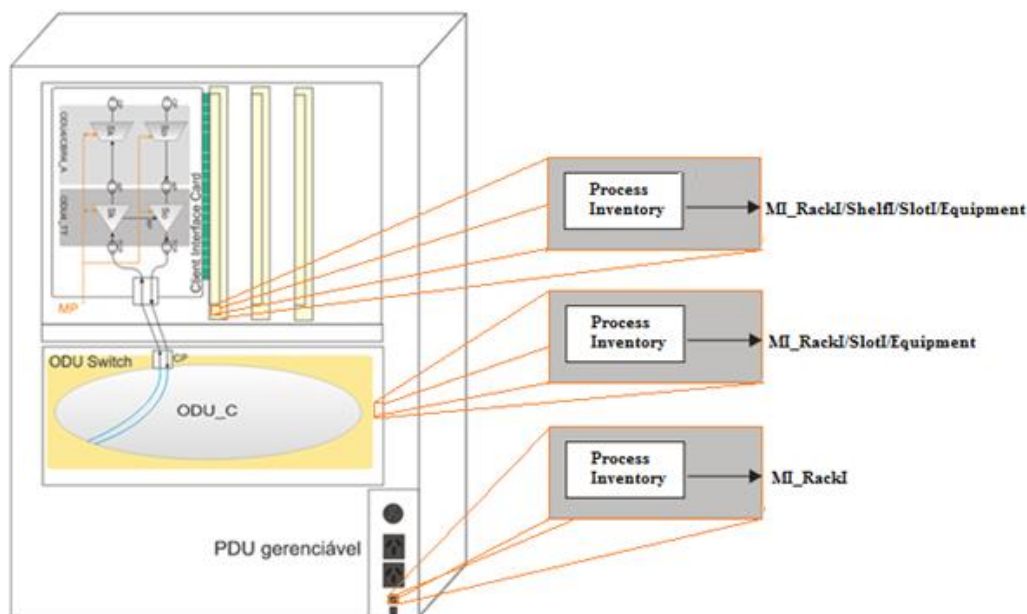


Figura 3-7: InventoryMI para Racks, Shelves, Slots e equipamentos.

A proposta de MI para identificação dos componentes de *Racks*, *Shelves* e *Slots* segue a regra geral de nomenclatura disposta no TMF 608, que consiste em uma cadeia hierárquica de caracteres. Dessa forma, o **MI_Rack/ Shelf/ Slot/ Equipment** identifica o Equipamento presente no *Slot* com identificação **Slot**, presente no *Shelf* com identificação **Shelf**, presente no *Rack* com identificação **Rack**.

A Figura 3-8 apresenta um diagrama de sequência que ilustra o processo de inventário e configuração dos elementos de rede OTN. O equipamento, em sua fase de inicialização, reporta à gerência as informações de inventário através da *inventoryMI* e consolida o MP referente a comunicação das AFs à gerência.

Toda informação de inventário é encaminhada à gerência de configuração que providencia a instanciação dos objetos gerenciados (*Management Object* - MO) na MIB. O processo segue com a configuração das funcionalidades e atualização da MIB.

O processo de inventário é disparado individualmente para cada equipamento através da inicialização dos componentes do elemento de rede (amplificadores, (de)multiplexadores, *transponders*, etc) ou da conexão de nova placa à unidade de gerenciamento. Quanto à exclusão de equipamentos e MOs, propõe-se que essa se origine da extinção do MP, seja pela retirada da placa do *Slot* no *Shelf*, desconexão

física do componente à unidade de gerenciamento ou por comando na gerência de configuração, conforme desejo do operador de rede.

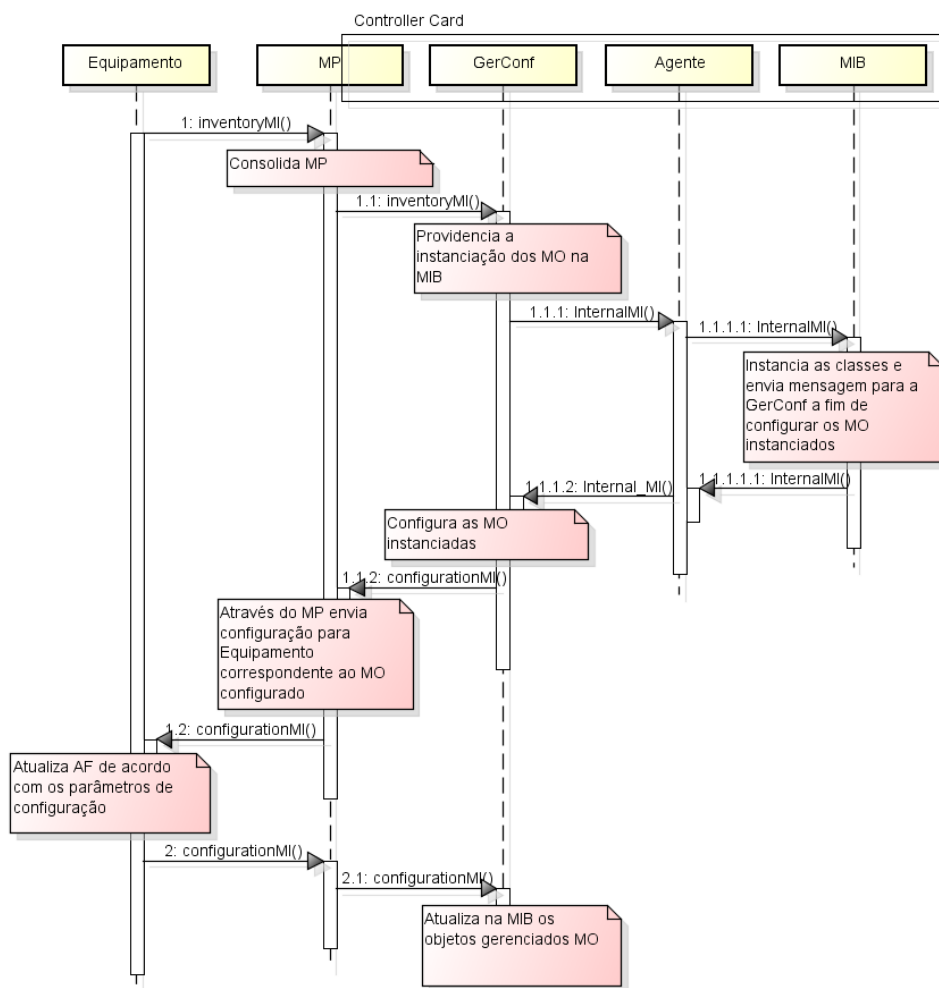


Figura 3-8: Diagrama de sequência do processo de inventário e configuração de AFs.

Para a instanciação dos objetos gerenciados (*Management Object* - MO) na MIB é necessário um modelo de informação que comporte as classes OTN presentes na recomendação ITU-T G.874.1 e sua relação com estruturas de equipamentos, *slots*, *shelves* e *racks*, proposto na seção seguinte.

3.2 MODELO DE DADOS UNIFICADO ITU-T E TMF

A presente dissertação propõe a extensão do modelo de informação disposto na recomendação ITU-T G.874.1, visando a inserção das estruturas de informação referentes aos equipamentos, *slots*, *shelves* e *racks*.

Para a extensão do modelo de informação da recomendação ITU-T G.874.1 são utilizados os modelos de equipamentos e *containers* de equipamentos (*slots*, *shelves* e *racks*), dispostos na recomendação TMF 608. Para tanto é proposta a relação das funcionalidades OTN com instâncias da classe *Equipment*, Figura 3-9.

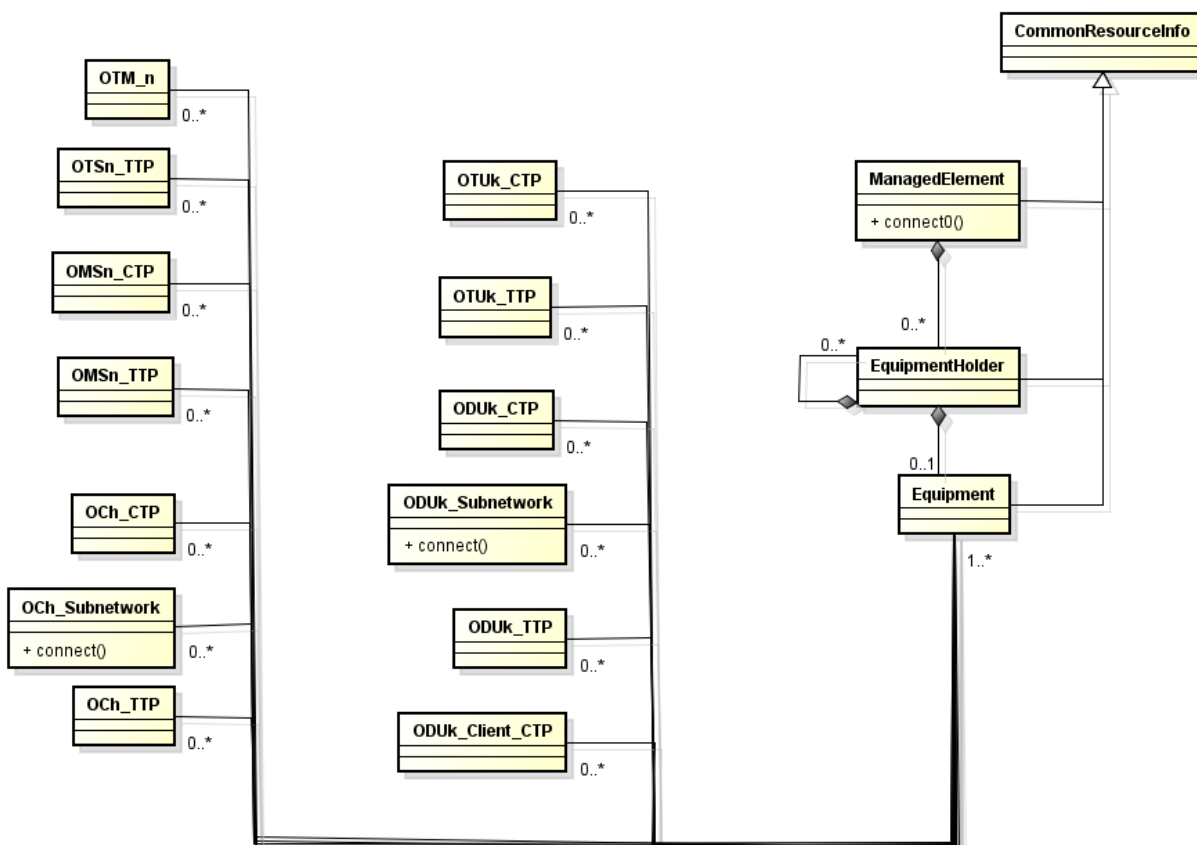


Figura 3-9: Modelo proposto da relação das classes G.874.1 e TMF 608.

O relacionamento proposto no modelo apresentado na Figura 3-9 suporta a possibilidade de um determinado equipamento exercer várias funcionalidades OTN e que uma funcionalidade esteja relacionada a vários equipamentos. A Figura 3-10 apresenta um exemplo de aplicação do modelo, onde o componente CIC, desenvolvido para representar uma placa, é acoplado a um *Slot* de um *Shelf*. De acordo com o modelo proposto, as funcionalidades *ODUKClient_ConnectionTerminationPoint* e *ODUK_TrailTerminationPoint* se relacionam à instância *equipment* do CIC, que se relaciona ao *equipmentHolder* do *Slot*, que por sua vez se relaciona ao *equipmentHolder* do *Shelf*.

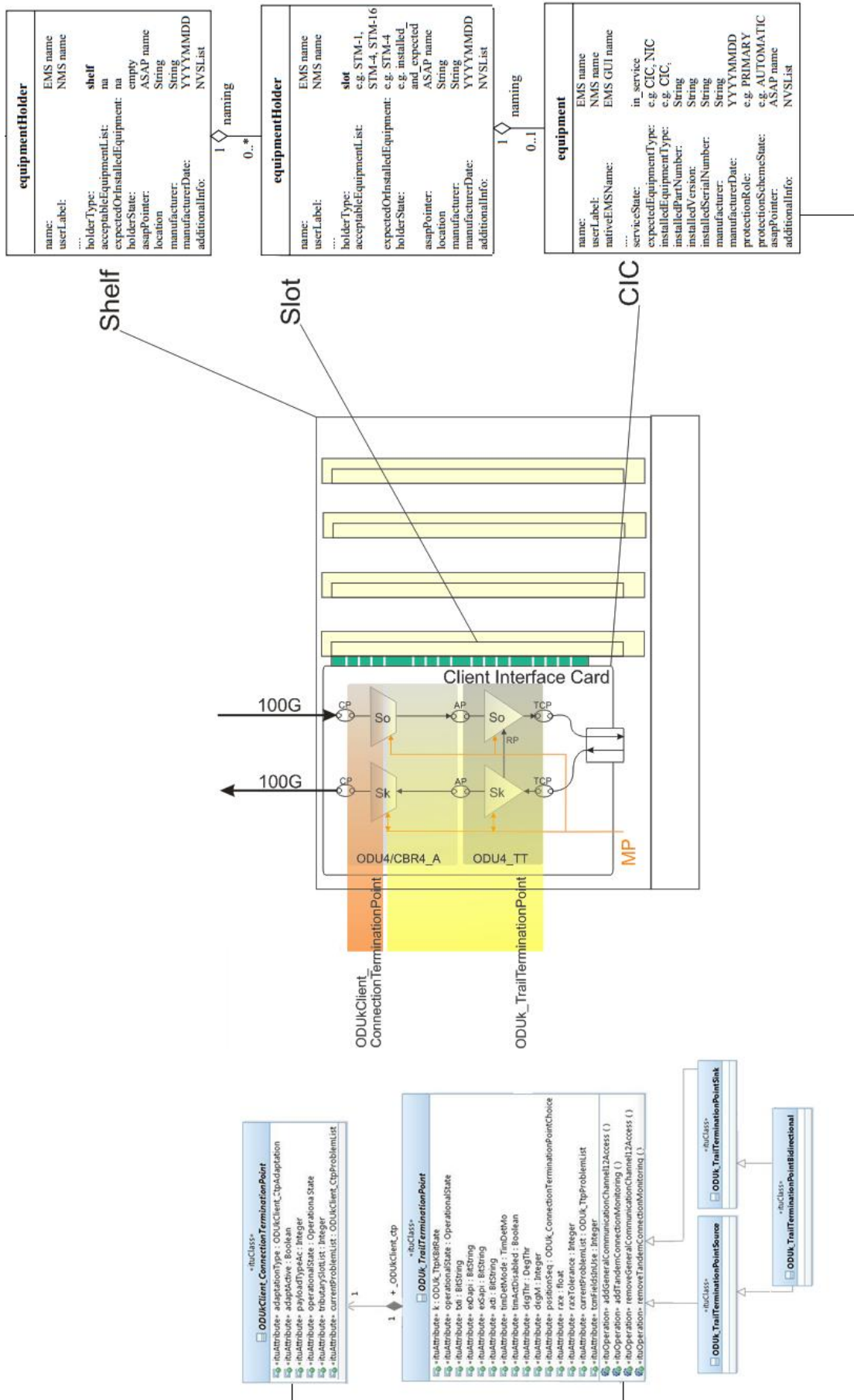


Figura 3-10: Componente CIC representado em classes do modelo proposto

3.3 EXTENSÃO DAS PRIMITIVAS DE CROSS CONEXÃO E DE PROPAGAÇÃO DO STATUS DA MIB A ENTIDADES DE GERENCIAMENTO DE NÍVEIS MAIS ALTOS.

Com as informações referentes aos objetos gerenciados na MIB, pode-se sustentar mecanismos de configuração, gerência de falhas, gerência de desempenho e estendê-los ao operador de rede, plano de controle e aos níveis mais altos de gerenciamento, como o OSS.

Conforme a recomendação ITU-T G.7710, a MIB é responsável por fornecer informações ao Sistema Operacional de Suporte (OSS) através das funções “*Get MIB of NE*” e “*Report NE MIB changes to the OS*”, que permite, respectivamente, obter a lista de todos os objetos instanciados armazenados na MIB e a notificação de mudanças ocorridas.

A proposta apresentada nesta dissertação pressupõe que as informações referentes aos componentes físicos como *rack*, *shelf*, *slot* e equipamento, representadas em classes TMF 608 na MIB, sejam enviadas conjuntamente com as informações especificadas na recomendação ITU-T G.874.1, estendendo, portanto, a interface apresentada na Figura 2-10 para a interface apresentada na Figura 3-11.

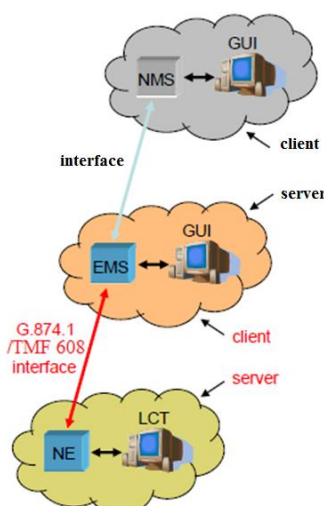


Figura 3-11: G.874.1/TMF 608 interface na comunicação entre o NE e EMS.

O diagrama de sequência, Figura 3-12, apresenta o caminho das requisições *GetMIBofNE* do OSS à MIB e a resposta a essa requisição, contendo as informações inventariadas segundo ITU-T G.874.1 e TMF 608.

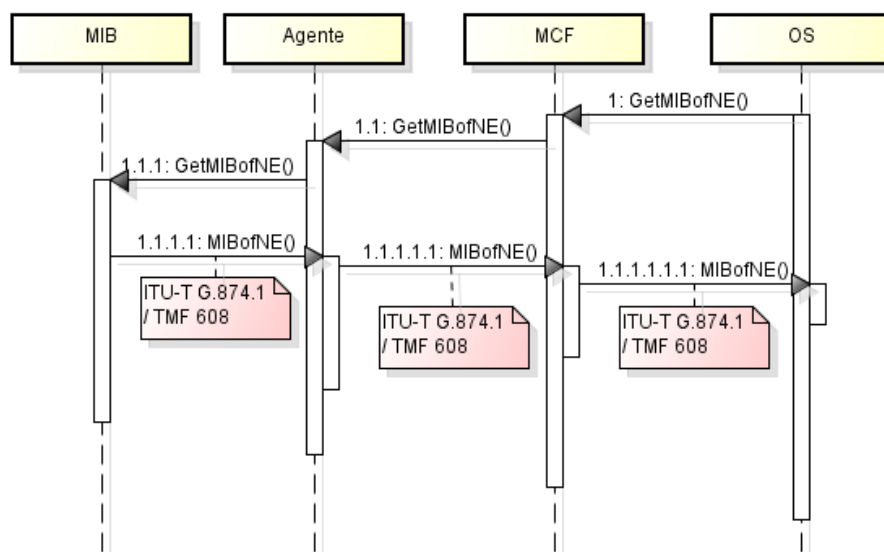


Figura 3-12: Diagrama de sequência da operação *GetMIBofNE* entre MIB e OSS.

Já o diagrama de sequência apresentado na Figura 3-13 demonstra o caráter proativo da MIB, notificando as mudanças em sua base de dados em decorrência de falhas, configurações e mudança de estado dos artefatos do plano de transporte. Note que a operação visa manter a consistência entre as informações contidas em níveis mais altos de gerenciamento com as presentes nos elementos de rede.

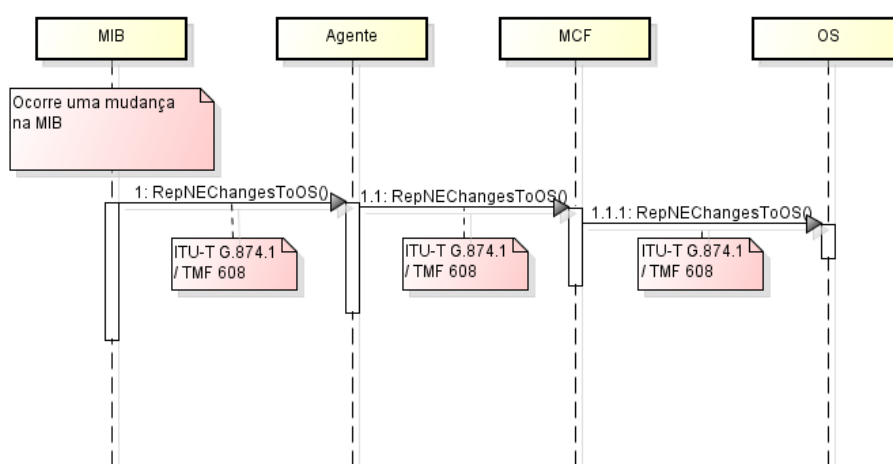


Figura 3-13: Diagrama de sequência da operação *Report NE MIB Changes to the OSS* entre MIB e OSS.

Espera-se, contudo, que nos níveis mais altos de gerenciamento, os operadores de rede e o plano de controle usufruam do benefício de poderem configurar conexões ópticas e elétricas. Opcionalmente, tais benefícios podem ser obtidos através de instâncias de classes da recomendação ITU-T G.874.1 ou através da abstração dos equipamentos. Para tanto, é possível estender as primitivas de cross conexão

através do relacionamento das classes OTN com as classes de equipamentos presente no modelo de informação proposto por essa dissertação.

Com o relacionamento entre as funcionalidades OTN e os equipamentos é possível identificar as funções de adaptação e terminação de trilha que podem ser comutadas nas funções de conexão. Pode-se, desse modo, relacionar a função *connect()* de equipamentos com a função *connect()* de Funções Atômicas ODUs e OChs.

Quanto à cross-conexão elétrica de equipamentos, os seguintes passos são necessários:

connect : Equipamento1 -> Equipamento2

- a. Identificação dos *ODUk_TrailTerminationPoints* e *ODUk_ConnectionTerminationPoint* relacionadas ao equipamento 1 e equipamento 2;
- b. Dentre os *ODUk_TrailTerminationPoints* e *ODUk_ConnectionTerminationPoints*, presentes nos equipamentos, selecionar os que estão presentes na CtpList e TtpList da *ODUk_Subnetwork*.
- c. Identificar o tipo de conexão necessária para conectar o equipamento 1 ao equipamento 2 baseada nos ODUs selecionados.
- d. Realizar a função *connect(ODUk1, ODUk2, directionality)* sobre o *ODUk_Subnetwork*.

Quanto à cross-conexão óptica de equipamentos, os seguintes passos são necessários:

connect : Equipamento1 -> Equipamento2

- a. Identificação dos *OCh_TrailTerminationPoints* e *OCh_ConnectionTerminationPoints* relacionadas ao equipamento 1 e equipamento 2;
- b. Dentre os *OCh_TrailTerminationPoints* e *OCh_ConnectionTerminationPoints*, presentes nos equipamentos, selecionar os que estão presentes na CtpList e TtpList da *OCh_Subnetwork*.
- c. Identificar o tipo de conexão necessária para conectar o equipamento 1 ao equipamento 2 baseada nos OChs selecionados.
- d. Realizar a função *connect(OCh1, OCh2, directionality)* sobre o *OCh_Subnetwork*.

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

A solução de inventário para o elemento de rede óptica proposta nesta dissertação é aderente às recomendações da ITU-T. A adição das mensagens de inventário, a extensão do modelo de informação e das primitivas de cross conexão e a notificação do status da MIB são todas intervenções complementares às normas ITU-T vigentes.

A extensão das primitivas de cross conexão e a notificação do status da MIB oferece ao Sistema Operacional de Suporte (OSS) um modelo de informação flexível e coerente. Isso possibilita a configuração de equipamentos através de comandos à determinada placa ou porta ou diretamente nas instâncias dos modelos da ITU-T G.874.1.

A possibilidade de configuração de cross conexão por equipamentos é mais intuitiva ao operador de rede. Em termos práticos, pode-se esperar redução de custos por não exigir nível de especialidade maior aos operadores de rede.

A solução de inventário para o elemento de rede óptica aqui proposta é genérica e extensível a qualquer elemento de rede OTN, o que possibilita o desenvolvimento de unidade genérica e escalável de gerenciamento do elemento de rede.

O capítulo 4 complementa a proposta apresentada através da implementação da solução no *framework* de simulação de redes OTN desenvolvido pelo grupo de pesquisas do LabTel. Já o capítulo 5 apresenta a validação da proposta sobre o equipamento *OTN Switch*. Vale mencionar que, conforme apresentado no capítulo 2, o *OTN Switch* implementa toda a pilha de camadas OTN, o que faz dele um excelente estudo de caso sobre o inventário dos elementos de rede OTN.

4 IMPLEMENTAÇÃO.

A implementação da proposta desta dissertação se dá sobre o *framework* de simulação de redes OTN desenvolvido pelo grupo de pesquisas do Labtel UFES e visa gerar uma prova de conceito da proposta apresentada no capítulo 3.

O *framework* de simulação de redes OTN é desenvolvido utilizando-se o OMNeT++, um simulador de eventos discretos orientado a objetos, *open-source* com finalidade acadêmica, abordado na seção 4.1.

O grupo de pesquisas em redes OTN do Labetel UFES desenvolve módulos e rotinas baseadas nas normas internacionais da ITU-T com o objetivo de criar um simulador de redes OTN fiel aos conceitos e propostas contidas nas referidas recomendações. A seção 4.2 aborda diversos trabalhos acadêmicos realizados pelo grupo durante o desenvolvimento do simulador de redes OTN.

Sobre o plano de transporte OTN desenvolvido no *framework* de simulação de redes OTN é implementado o *Process Inventory* e as mensagens *inventoryMI*, bem como o estabelecimento do MP e o envio de informações para a unidade de gerenciamento do elemento de rede, apresentado na seção 4.3. A seção 4.4 aborda a implementação do modelo de dados ITU-T G.874.1 com a extensão para a representação dos artefatos físicos segundo o TMF 608.

A configuração da cross conexão elétrica e óptica, e a interface de comunicação com o OSS estão dispostas nas seções 4.5 e 4.6 respectivamente.

4.1 O SIMULADOR OMNeT++

O OMNeT++ apresenta uma série de recursos disponíveis referentes a modelagem de tráfego, tratamento de filas em redes de telecomunicações, modelagem de multi-processamento e outros sistemas de hardware distribuído, validação de arquiteturas de hardware e de diversos outros sistemas onde eventos discretos ocorrem (Tessinari 2009).

O OMNeT++ é baseado na estruturação de módulos escritos na linguagem NED. A linguagem NED é uma linguagem de descrição de topologia, utilizada na definição dos modelos a serem simulados pelo OMNeT++ disponibilizando para isso uma classe nativa a ser instanciada na construção dos módulos. A Figura 4-1 apresenta a declaração de um módulo simples no OMNeT++, com extensão *.ned*, carregados dinamicamente durante o programa de simulação. (Tessinari 2009).


```

simple cDateandTimeCommunication
{
    parameters:
        @display("i=otn/interface");
        int NumId;

    gates:
        ///////////////////////////////////////////////////Conexão com o EMF ////////////////////////////////////////
        output DeTinformation;
        ///////////////////////////////////////////////////Conexão externa ////////////////////////////////////////
        input ExternalTimeInformation;
}

```

Figura 4-1: Exemplo de declaração de um módulo no OMNeT++

Na Figura 4-1 o campo *parameters* delimita a região onde os atributos devem ser instanciados. Os módulos comunicam entre si por meio de troca de mensagens que podem ser enviadas através de conexões que interligam módulos ou diretamente a um módulo destino. Geralmente as mensagens são enviadas por portas (*gates*), que são interfaces de entrada (*input*) e saída (*output*) dos módulos conforme apresentado na Figura 4-1.

Os módulos podem ser agrupados formando um módulo composto, que também pode ser agrupado em outro módulo composto e assim por diante. Contudo, a programação do comportamento dos módulos frente à ocorrência de eventos corresponde a um arquivo em C++ especificando sua reação à inicialização e à chegada de uma mensagem. O OMNeT++ enumera cada módulo dinamicamente, de forma que o mesmo tenha um identificador único em toda a simulação. Esta característica do OMNeT++ é utilizada na identificação de cada bloco funcional na solução de inventário implementado nesta dissertação.

Vale ressaltar ainda a possibilidade de definição de novos tipos de mensagens. Assim como nos módulos, a agregação de atributos em um modelo base de mensagem disponibilizado pelo OMNeT++, deriva subtipos que herdam as características do modelo referenciado.

Para um aprofundamento da construção, interação e configuração dos módulos do OMNeT++ o leitor pode ainda consultar o material disponível no site da ferramenta. (Varga 2001), (Varga 2014).

4.2 *FRAMEWORK* DE SIMULAÇÃO DE REDES OTN DESENVOLVIDO PELO GRUPO DE PESQUISA DO LABTEL UFES.

O *framework* de simulação de redes OTN, desenvolvido pelo grupo de pesquisa do Labtel UFES, se inicia a partir da demanda por amadurecimento por parte de fabricantes de equipamentos de comunicação óptica e do corpo acadêmico da instituição sobre a tecnologia OTN.

A construção do *framework* de simulação de redes OTN contribui de forma didática complementar no estudo das recomendações internacionais referentes a redes OTN. Dentre os diversos trabalhos desenvolvidos destacam-se (Tessinari 2009) como uma importante referência para a simulação de equipamentos de rede OTN implementados de acordo com a Recomendação ITU-T G.798, (Ferrari 2009) com a simulação da Descoberta Automática aplicada às redes OTN, (Tessinari 2011) com a simulação de uma proposta de integração entre os planos de controle e gerência, (Favoreto 2011) com a implementação de arquitetura do plano de gerência em redes OTN de acordo com a recomendação ITU-T G.874, e (Bueloni 2014) e (Dilem 2014) que abordam o *OTN Switch* no escopo de plano de transporte e controle, respectivamente.

A implementação da solução de inventário do elemento de rede OTN presente nesta dissertação, explora o conjunto de trabalhos realizados sobre a plataforma OMNeT++ e complementa a aderência do *framework* de simulação de redes OTN às normas internacionais referentes à tecnologia OTN no que diz respeito ao plano de gerência. Mais especificamente, aborda as questões relativas ao inventário dos artefatos de gerenciamento de acordo com as Recomendações ITU-T G.874, ITU-T G.874.1 e TMF 608.

4.3 IMPLEMENTAÇÃO DO *PROCESS INVENTORY* E DAS MENSAGENS DE INVENTÁRIO.

A forma como as funcionalidades estão implementadas no plano de transporte do *framework* de simulação OTN favorece o desenvolvimento do *Process Inventory* em

classes mais genéricas referentes a Terminações de trilha *Sink*, Adaptações *Sink* e funções de conexão, conforme apresentado na Figura 4-2.

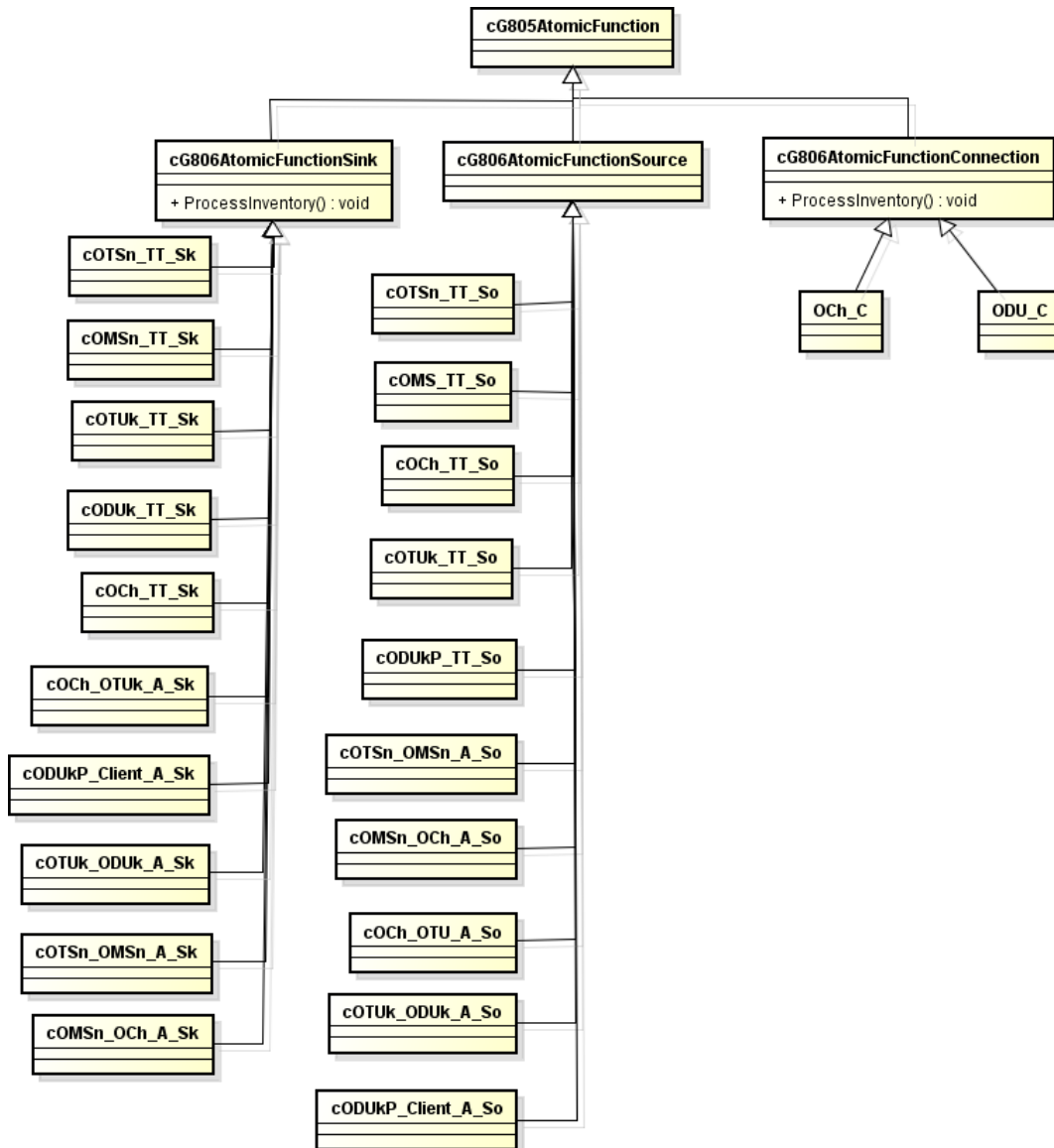


Figura 4-2: Modelagem do *Process Inventory* em classes mais genéricas do plano de transporte.

O módulo *Process Inventory* é acionado na rotina de inicialização das classes *sink* e das classes de conexão. Sua primeira ação consiste em identificar a unidade de gerenciamento a qual deve se reportar, mais especificamente, utiliza-se o caminho de nomenclatura do OMNeT++ para identificar o *gate* "report_gate" da unidade de gerenciamento ao qual pertence.

Para povoar o parâmetro *Sink MI_Skl* da mensagem de inventário dos blocos funcionais de adaptação e terminação de trilha, a rotina do *Process Inventory* utiliza

o número de identificação atribuído pelo OMNeT++ ao módulo em questão, conforme indicado na seção 4.1. O OMNeT++ enumera cada módulo dinamicamente, de forma que o mesmo tenha um identificador único em toda a simulação. Este valor é atribuído ao parâmetro `MI_SkI` da mensagem de inventário através da função nativa do OMNeT++ `getIId()`, conforme código da funcionalidade `processInventory` em C++ apresentada no apêndice 8.2.

Para povoar o campo de informação referente à funcionalidade `Source MI_SoI` na mensagem de inventário da terminação de trilha `Sink`, é criada a função `find_pair()` que retorna o módulo da funcionalidade `Source` ligada ao seu RP. Com isso, pode-se capturar o identificador do módulo utilizando o comando `getIId()`, Figura 4-3.

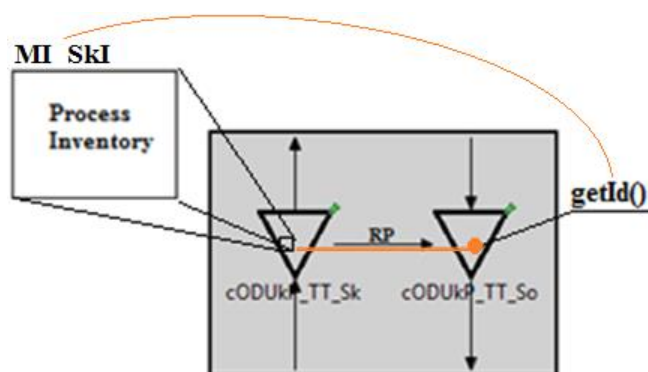


Figura 4-3: Módulo bidirecional ODUK_TT (*Framework de Simulação OTN UFES*).

Para a identificação do par `Source` da função de adaptação, a função `find_pair()` identifica a função de terminação de trilha `Sink` ligada ao seu AP. Logo após identifica a terminação de trilha `Source` ligada pelo RP e, finalmente, o módulo de Adaptação `Source` ligada ao AP da terminação de trilha `Source`. Com isso, pode-se aplicar a função `getIId()` para obter seu identificador, conforme exemplo exibido na Figura 4-4.

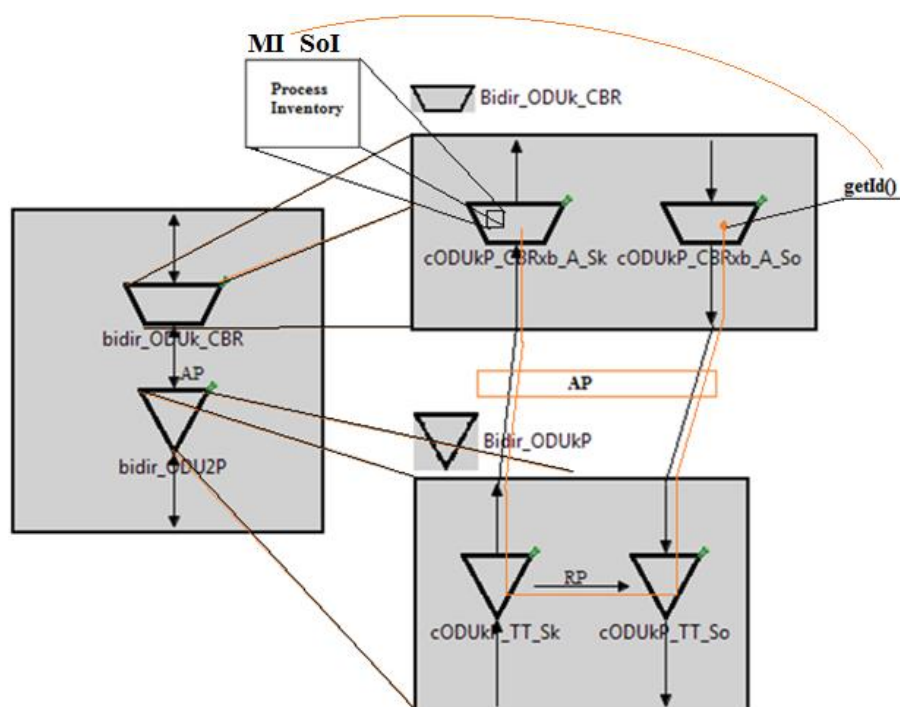


Figura 4-4: Identificação da funcionalidade So de adaptação (*Framework de Simulação OTN UFES*).

Os parâmetros que indicam a conectividade da função de adaptação MI_CPI e MI_API são povoados diretamente com o identificador do bloco funcional ao qual estão conectadas, conforme Figura 4-5.

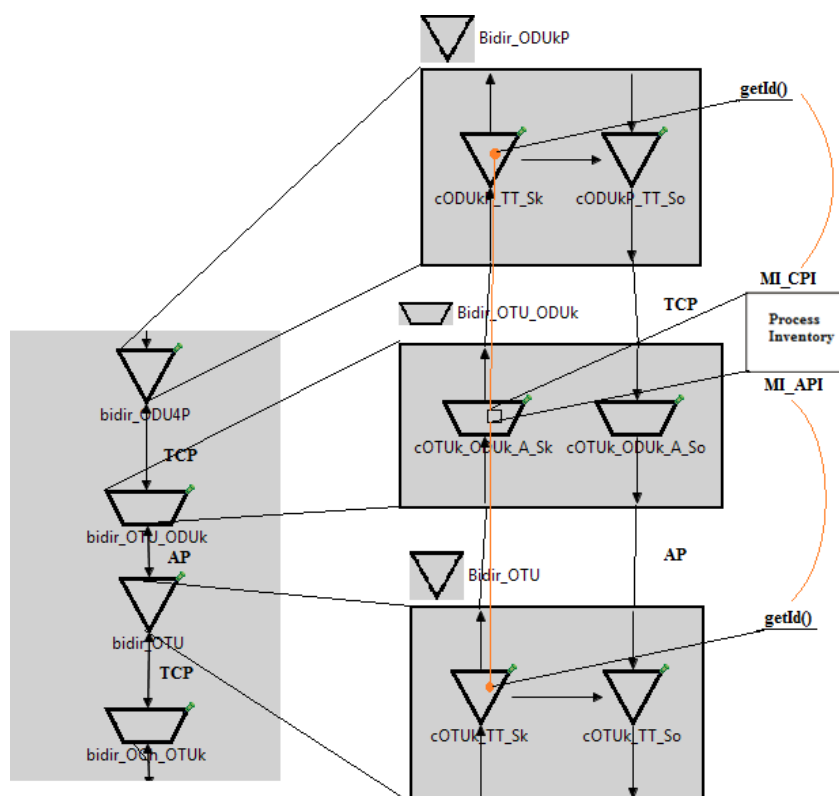


Figura 4-5: Povoamento dos parâmetros MI_CPI e MI_API da adaptação Sink.

Os parâmetros referentes a conectividade da função de terminação de trilha *sink* MI_API e MI_TCPI são povoados diretamente com o identificador do bloco funcional ao qual estão conectadas, conforme Figura 4-6.

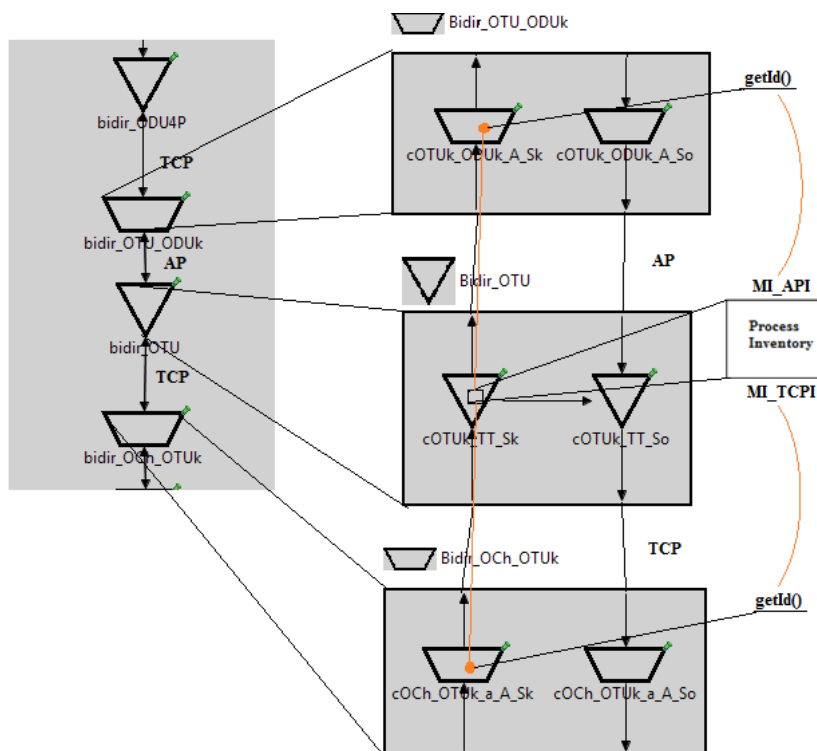


Figura 4-6: Povoamento dos parâmetros MI_API e MI_TCPI da terminação de trilha *sink*.

Já para povoar as informações referentes ao *rack*, *shelf*, *slot* e equipamento ao qual pertence é utilizado o caminho de nomenclatura “*getFullPath*” do OMNeT++. A Figura 4-7 apresenta o retorno da função *getFullPath* executada sobre uma AF ODUk_TT_Sk e o povoamento das MIs de *rack*, *shelf*, *slot* e equipamento.

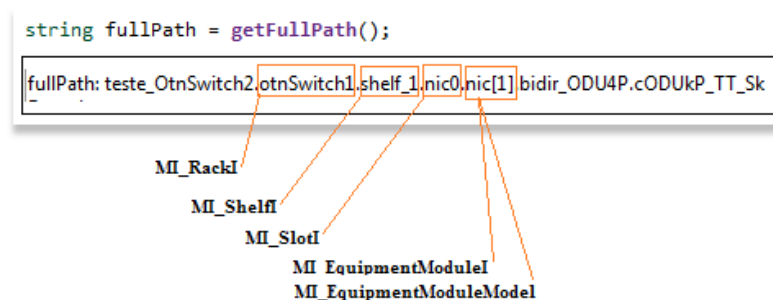


Figura 4-7: Caminho de nomenclatura do OMNeT++ para um módulo ODUk_TT_Sk (*Framework de Simulação OTN UFES*).

Como a implementação do *Process Inventory* é realizada em classes mais genéricas é adicionado a **MI_AFType** para identificação do tipo específico de funcionalidade. O desenvolvimento da mensagem *InventoryMI* se dá através da criação de uma mensagem, “*packet*”, a ser trocada entre os planos de transporte e gerência do NE, sendo inserida no arquivo de definição das mensagens dessa interface *managementPlaneMSG.msg*.

De modo a simplificar a comunicação entre as AFs e a unidade de gerência do NE, é utilizado o tipo de envio de mensagens por *SendDirect*. Esse método não necessita da conexão de *gates* entre os módulos das AFs e o módulo de gerência, contudo, o *.ned* do módulo de gerência contém um *gate* especial para recebimento dessas mensagens:

```
input report_gate @directIn;
```

O *report_gate* está contido no módulo do ponto de gerenciamento MP, que é por onde as mensagens de gerenciamento chegam à gerência. O MP é responsável por receber as mensagens de inventário e consolidar a comunicação entre as funções atômicas e os equipamentos e as funções de gerenciamento.

Ao receber a mensagem de inventário de determinada camada, o MP armazena os dados referentes ao identificador da AF e de seu módulo em uma tabela *hash*. Essa tabela é utilizada no envio de mensagens de gerência provenientes das funcionalidades de gerência de configuração e desempenho para as funções atômicas. Com o armazenamento dos módulos *Sink* e *Source* é possível lhes enviar mensagens diretamente, através da função *sendToAtomicFunctions()*, que usa o *SendDirect*.

4.4 IMPLEMENTAÇÃO MODELO DE DADOS UNIFICADO ITU-T E TMF

Após receber e identificar a mensagem, o MP a encaminha para a gerência de configuração, que executa as rotinas para instanciar as classes de gerenciamento de acordo com o mapeamento apresentado recomendação ITU-T G.874.1. A implementação da MIB segue o diagrama de classes proposto na Figura 3-9, onde

as diversas classes OTN e a *ManagedElement* são instanciadas em vetores de acordo com diagrama de classe de implementação da MIB, Figura 4-8,

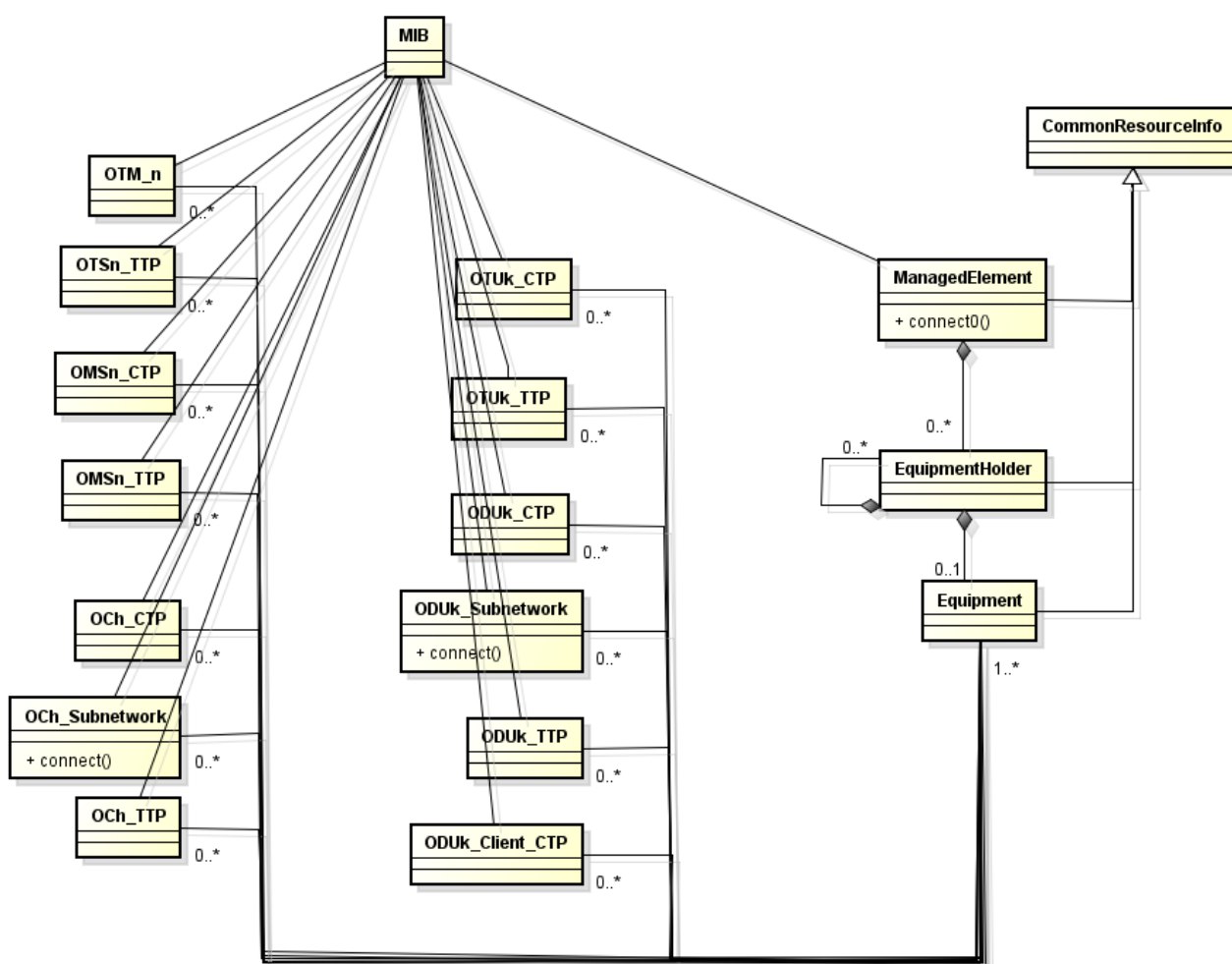


Figura 4-8: Diagrama de classe implementação MIB.

O método *inventoryManagedElement*, na MIB, é responsável pela instanciação do modelo de inventário proposto nesta dissertação. O processo de inventário implementado segue o diagrama de sequência apresentado na Figura 3-8, no qual o método *inventoryManagedElement* é executado toda vez que uma mensagem interna de inventário, proveniente da gerência de configuração, chega à MIB.

De acordo com o diagrama de atividades, Figura 4-9, caso chegue uma mensagem com informação de *rack*, *shelf*, *slot* ou equipamento, ainda não criado na MIB, o mesmo é instanciado utilizando as classes do modelo de equipamento do TMF 608. A partir da instanciação das classes do TMF 608, pode-se relacionar as classes OTN ao seu respectivo equipamento.

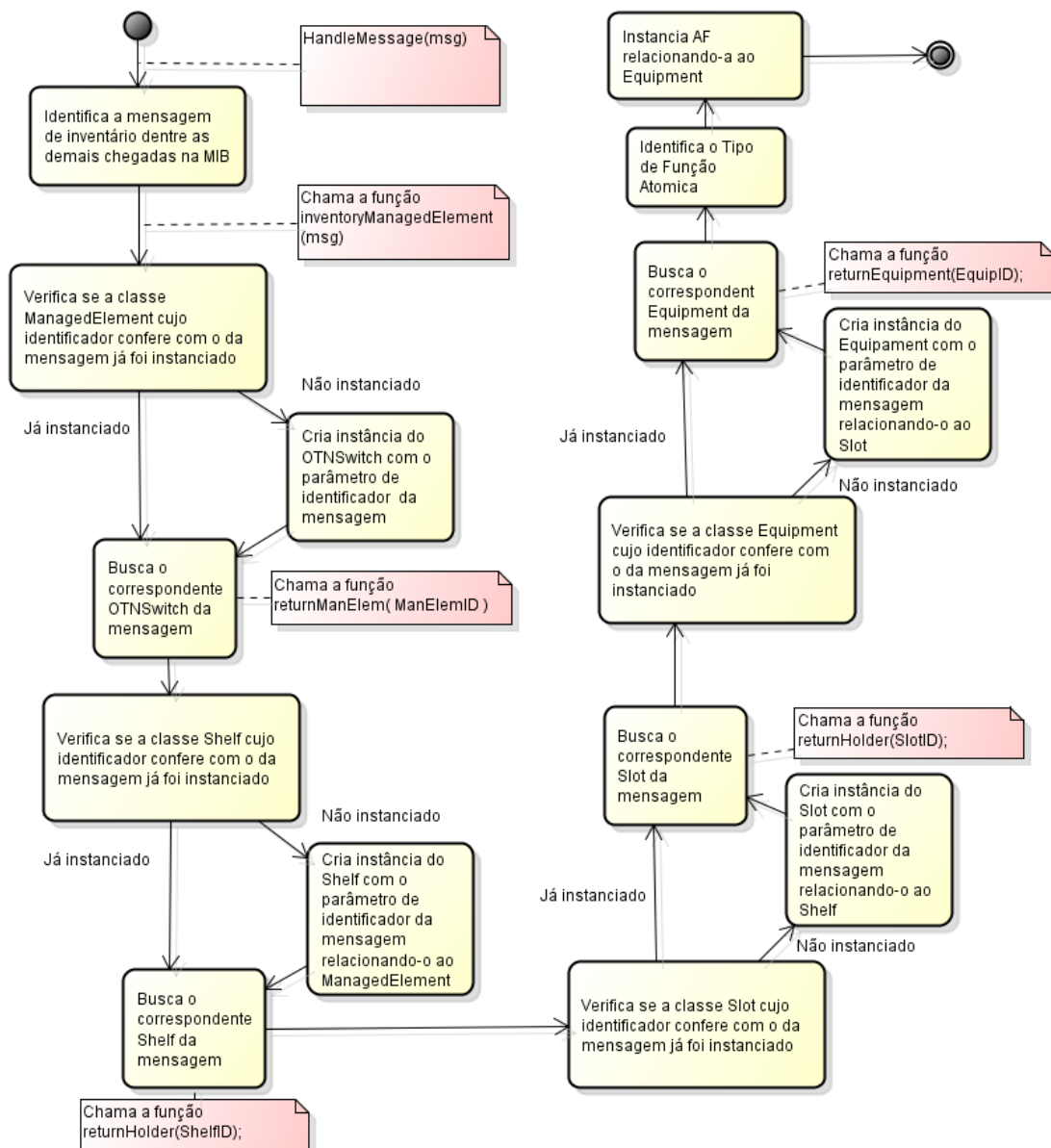


Figura 4-9: Diagrama de atividades do inventário de ManagedElement, EquipmentHolder, Equipment e das classes OTN.

A Figura 4-10 apresenta o trecho de código da instanciação de uma classe do tipo *ODUk_TrailTerminationPoint* através das informações provenientes da mensagem de inventário. Note que através do identificador do AP, MI_API, é possível instanciar a relação entre as classes *ODUk_TrailTerminationPoint* e a *ODUkClient_ConnectionTerminationPoint*.

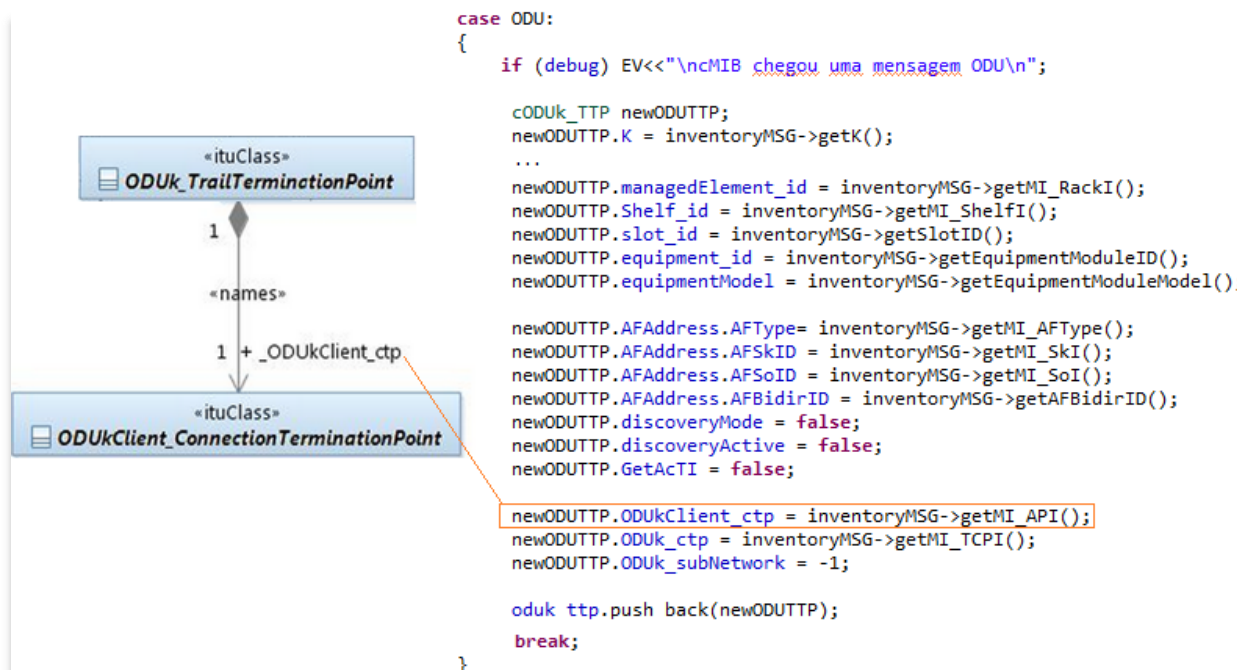


Figura 4-10: Instanciação da classe `ODUK_TTP` e relações.

A Figura 4-11 apresenta a instanciação das classes de adaptação `OMSn_ConnectionTerminationPoint` e da `OCh_ConnectionTerminationPoint` através das informações provenientes da mensagem de inventário. Note que, na instanciação da classe `OMSn_ConnectionTerminationPoint`, através do identificador do CP, `MI_CPI`, é possível instanciar a relação entre as classes `OMSn_ConnectionTerminationPoint` e a `OMSn_TrailTerminationPoint`, enquanto na instanciação da classe `OCh_ConnectionTerminationPoint`, através do identificador do AP é possível instanciar a relação da `OCh_ConnectionTerminationPoint` com a sua classe servidora `OMSn_TrailTerminationPoint`.

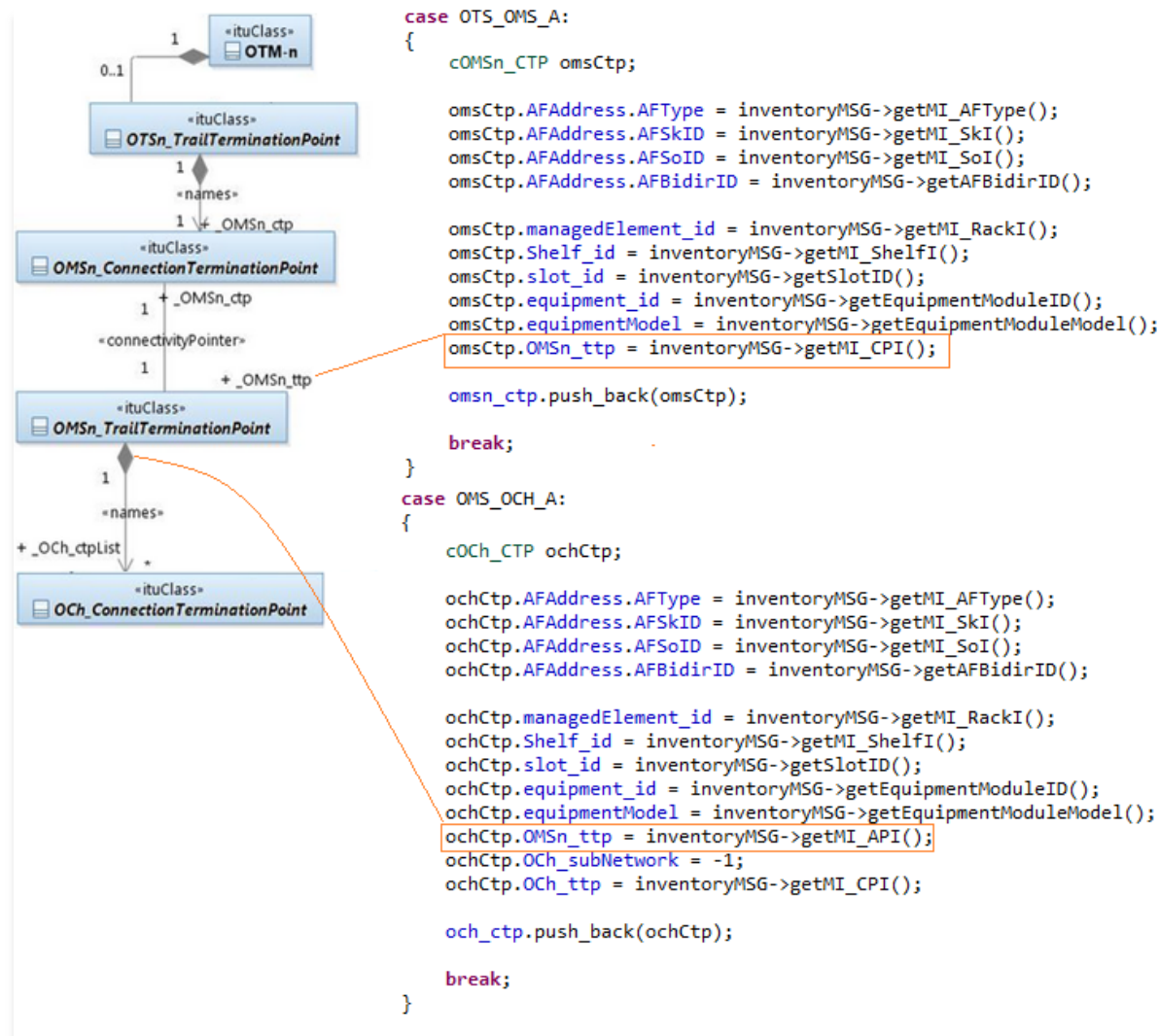


Figura 4-11: Instanciação das classes OMSn_CTP, OCH_CTP e relações.

Após a instanciação das classes, através das informações da mensagem de inventário, a MIB envia uma mensagem *internaMI* para a gerência de configuração, possibilitando a configuração do novo artefato de gerenciamento, conforme diagrama de sequencia apresentado na Figura 3-8. A configuração do objeto gerenciado na gerência de configuração pode ser realizada através de um padrão inicial (a partir da leitura de um arquivo XML desenvolvido para o tipo de objeto) ou através de comandos executados pelo operador de rede. Após a configuração do objeto gerenciado uma mensagem *configurationMI* é enviada para o MP para ser encaminhada à respectiva AF para a aplicação da configuração realizada.

4.5 CONFIGURAÇÃO DE CROSS CONEXÃO ELÉTRICA E ÓPTICA NO *OTN SWITCH* POR FUNCIONALIDADES E POR EQUIPAMENTOS.

A configuração dos quatro tipos de conexões possíveis na classe *ODUk_Subnetwork*, conforme apresentado nos cenários de cross conexão do apêndice 8.3, é realizada utilizando a sobrecarga de operadores sobre o método *connect*. Para excluir os diferentes tipos de conexões a função *disconnect* utiliza o mesmo princípio. Uma conexão de ODU é instanciada em uma classe *cODUk_SNC*, que armazena ponteiros referentes a instância das classes *cODUk_TTP* e *cODUk_CTP* envolvidas na conexão.

Na configuração de novas conexões a gerência de configuração se encarrega de enviar uma mensagem para o equipamento que exerce a função de *ODUk_Subnetwork*, ou seja o equipamento que contém o *ODU_C*, a fim de configurar a nova conexão instanciada no *ODUk_SNC*.

A implementação da classe *cOCh_Subnetwork* e instanciamento das *OCh_SNC* de *OCh* é bem semelhante à realizada na *cODUk_Subnetwork*. Na configuração de novas conexões a gerência de configuração se encarrega de enviar uma mensagem para o equipamento que exerce a função de *OCh_Subnetwork*, ou seja, o equipamento que contém o *OCh_C*, a fim de configurar a nova conexão instanciada na *OCh_SNC*.

De forma aderente à proposta apresentada nesta dissertação, a conexão de equipamentos se baseia na conexão de instâncias de terminações e adaptações das classes *ODU* e *OCh* conforme apresentado no diagrama de atividade das funções de conexão elétrica, Figura 4-12.

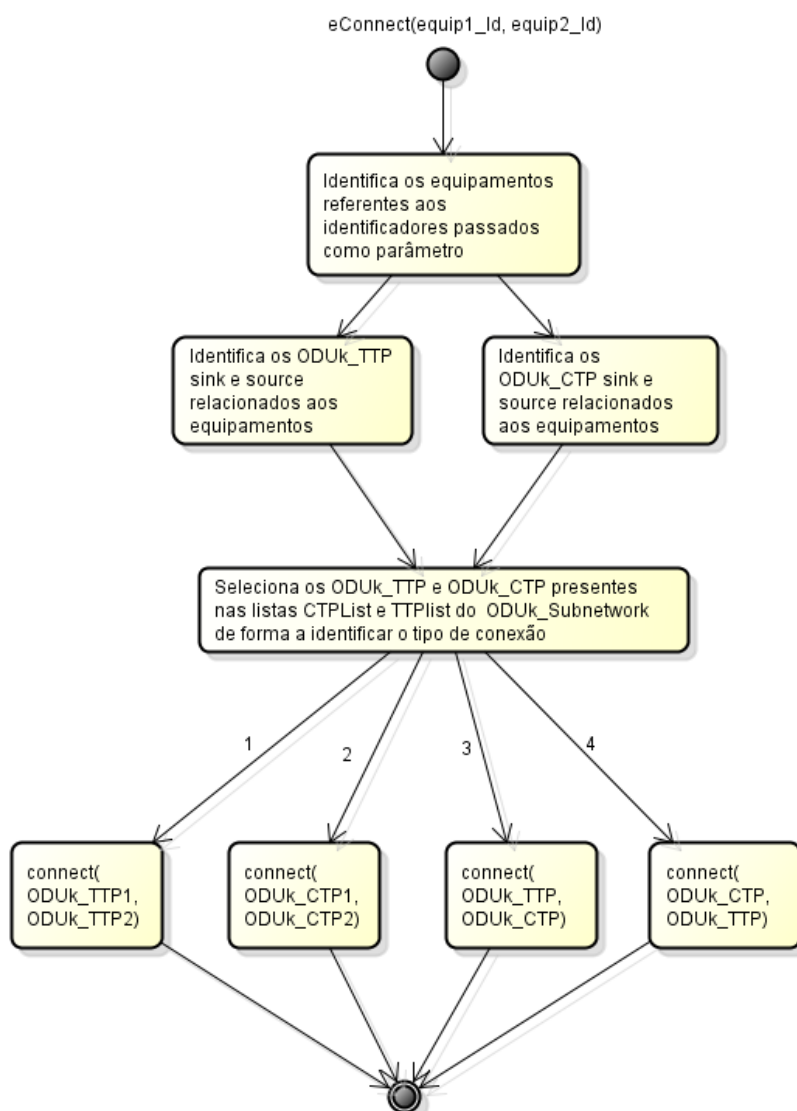
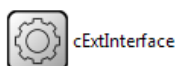


Figura 4-12: Diagrama de atividade da função de conexão elétrica.

4.6 INTERFACE DE COMUNICAÇÃO COM NÍVEIS MAIS ALTOS DE GERENCIAMENTO E O OSS.

A implementação da comunicação do EMF com níveis mais altos de gerenciamento e o OSS se dá, inicialmente, pelo desenvolvimento de interface *socket* no MCF. Tal interface consiste nos módulos `cExtInterface` e `cReceiver`, Figura 4-13 e Figura 4-14 munidos de métodos para enviar mensagens à porta UDP 4950 e interpretar comandos recebidos per esta porta, respectivamente.

```
package ned.Management_Plane.G874Architecture.MCF_MessageCommunicationFunction.ExtCommunication
```



cExtInterface

Figura 4-13: Módulo cExtInterface.ned

```
package ned.Management_Plane.G874Architecture.MCF_MessageCommunicationFunction.ExtCommunication
```



cReceiver

Figura 4-14: Módulo cReceiver.ned

O módulo cReceiver é capaz de receber mensagens de requisição de conteúdo da MIB no formato “*getmibofne*”. A mensagem de requisição chega ao NE pela DCN. A *DCNcommunication* no MCF, a *DCNinterface* na MAF e o Agente são programados para encaminhar a mensagem de requisição à MIB, seguindo o diagrama de atividades apresentado na Figura 3-12.

Na MIB, a requisição ativa a função “**Get MIB of NE**”, que permite obter a lista de todos os objetos instanciados e armazenados. O retorno da função consiste em uma *string* em formato XML, com a lista dos *shelves*, *slots*, equipamentos e os objetos gerenciados OTN do elemento de rede. O retorno da função segue o caminho inverso da requisição dentro o EMF.

A interface implementada suporta a configuração de conexões de terminações de trilha e adaptações de OCh e ODU, conforme exemplo apresentado na Figura 4-15.

A interface para o comando *disconnect* segue o mesmo padrão usado no comando *connect*. A conexão elétrica de equipamentos tem sua interface implementada com o *eConnect* e segue o exemplo apresentado na Figura 4-16.

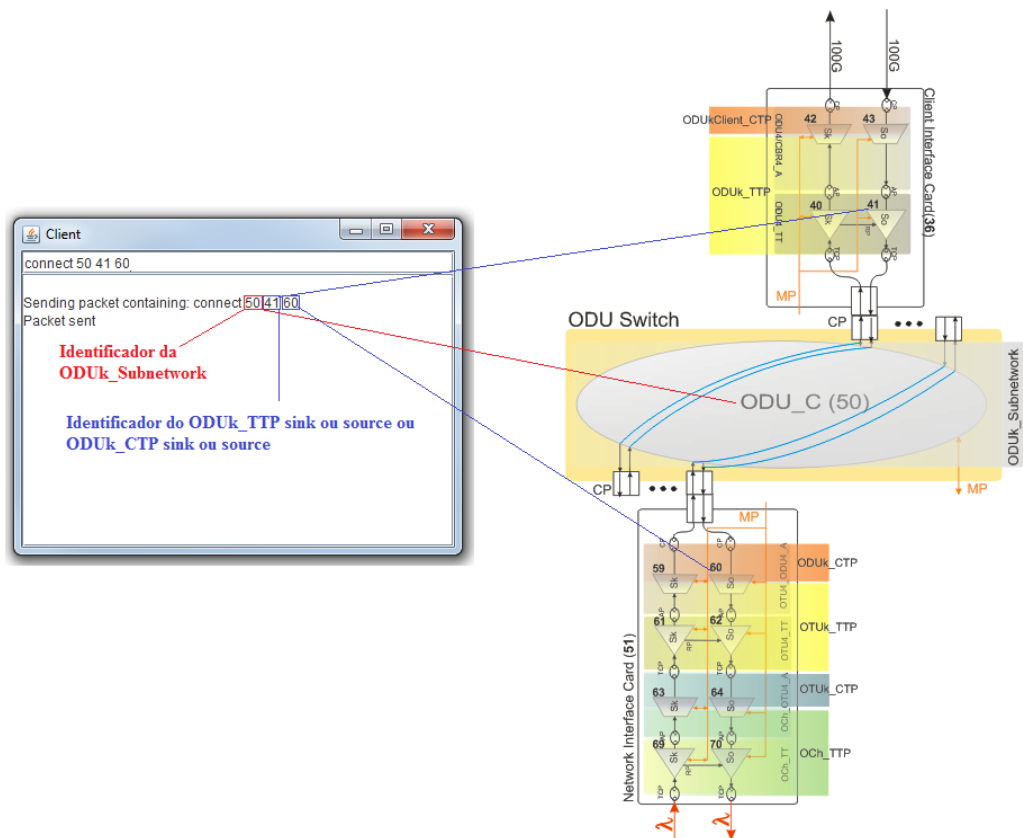


Figura 4-15: interface para conexão de ODU.

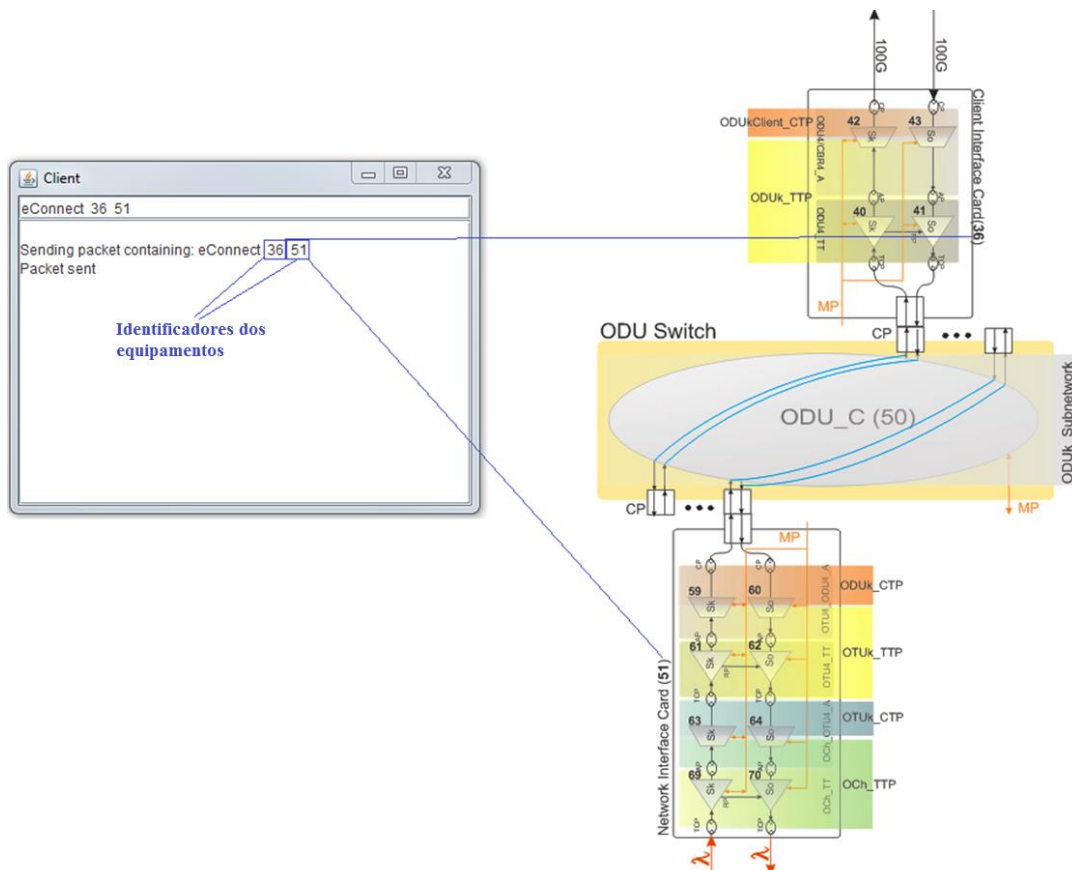


Figura 4-16: Interface de conexão de CICs e NICs.

Como resposta à solicitação de conexão a MIB retorna à *cExtInterface* o estado da *ODUk_Subnetwork* após a operação de conexão.

Os mesmos princípios são utilizados para configuração de conexões de OChs, onde são passados como parâmetros os identificadores das *OCh_Subnetwork*, *OCh_TTP* ou *OCh_CTP* durante o uso da função *connect*, e os identificadores dos equipamentos durante o uso da função *oConnect*.

4.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo apresentou, através do simulador OMNeT++, uma implementação para a proposta desta dissertação. Espera-se que, a partir da descrição apresentada, seja possível o contato com as nuances técnicas envolvidas no processo de inventário, bem como ratificar a factibilidade da proposta e aderência às recomendações da ITU-T.

O capítulo seguinte, de validação, é complementar a este, de implementação, que além de abranger os predicados do anterior expõe a solução, através de simulação, à operação do equipamento *OTN Switch* com o processo de inventário proposto. Vale ressaltar os benefícios didáticos do capítulo 5, que expõe através de exemplos a operação cotidiana sobre as interfaces e o comportamento do elemento de rede no processo de inventário.

5 VALIDAÇÃO

Para validação da proposta de solução de inventário do elemento de rede óptica é aplicada a implementação descrita no capítulo 4 para inventariar o equipamento *OTN Switch* modelado no *framework* de simulação de redes OTN.

A validação consiste no monitoramento das mensagens de inventário de cada componente do *OTN Switch* e sua correlação com a instanciação das classes do modelo de informação proposto nessa dissertação. É validada também a

configuração de cross conexão elétrica e óptica utilizando equipamentos como parâmetros.

O cenário de teste consiste na simulação do inventário de um elemento de rede denominado *OTN Switch*. Dado que o processo é replicável a um cenário com vários *OTN Switch*, pois, em cada um deles ocorreria de forma independente, para qualquer topologia de rede escolhida, não se faz necessário oferecer outros cenários para validação da proposta.

A presente validação apresenta os módulos de simulação referentes ao *OTN Switch* acondicionados em *Rack*, *Shelfs*, *Slots* e placas para formar o equipamento *OTN Switch*. Os elementos *ControllerCard*, *CIC*, *NIC*, *ODU_Switch*, *OIC* e *WSS* estão apresentados em (Dilem et al. 2013) de forma arquitetural. O trabalho (Dilem 2014) apresenta os módulos de simulação de cada um dos elementos supracitados sobre o *framework* de simulação de redes OTN.

As placas *NIC*, *CIC* e *ODU_Switch* estão dispostas no módulo composto *Shelf_Electrical*. As placas e equipamentos ópticos *OIC* e *WSS* também foram acondicionados em um *shelf*, o módulo composto *Shelf_Optical*. A *Controller Card* foi acondicionada no *shelf* de controle desenvolvido como um módulo composto. Os módulos de *shelves* do *OTN Switch* criados são agrupados no módulo de *rack* para formar o *OTN Switch*.

5.1 CENÁRIO DE VALIDAÇÃO

O cenário de validação consiste em um *OTN Switch* ligado a dois clientes 10GE, e a um receptor *socket* pela rede DCN, conforme disposto na Figura 5-1.

OTN Switch do teste de validação é composto por dois *CICs*, dois *NICs* e dois *OICs* ligados a um *ODU Switch*, *WSS* e *Controller Card*. A Figura 5-2 apresenta a disposição física dos componentes com foco nas suas estruturas internas.

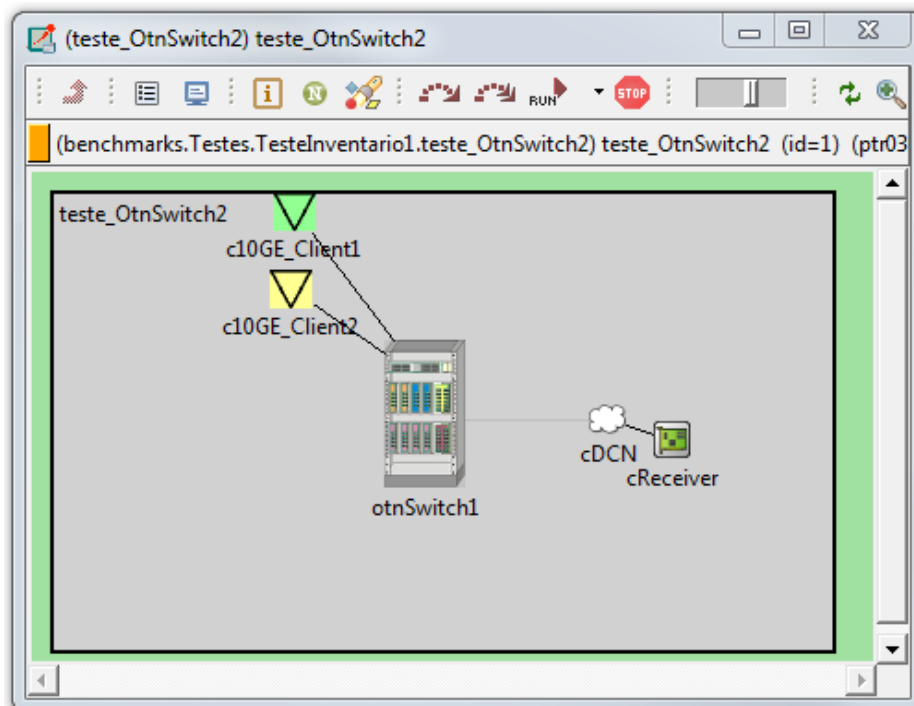


Figura 5-1: Cenário validação.

Na inicialização dos equipamentos, os blocos funcionais *Sink*, internos aos componentes, enviam a mensagem de inventário *inventoryMI* para o MP. Esse, por sua vez, identifica e classifica a mensagem a fim de encaminhá-la à gerência de configuração. A Figura 5-3 apresenta os módulos CIC do *OTN Switch*, com destaque para o CIC de identificador 38, número identificador esse atribuído pelo simulador OMNeT++. A segunda janela da Figura 5-3 apresenta a visão interna do *Controller Card*, o *EquipmentManager*, no momento em que esse recebe as mensagens de inventário. A terceira janela, apresenta a interface de logs do simulador, onde é possível notar no MP as mensagens de inventário do equipamento CIC supracitado, cujo conteúdo remete a presença dos blocos funcionais *ODU_TT* e *ODU_CLIENT_A* sua identificação, conexão e localização na estrutura de *racks*, *shelves* e *slots*.

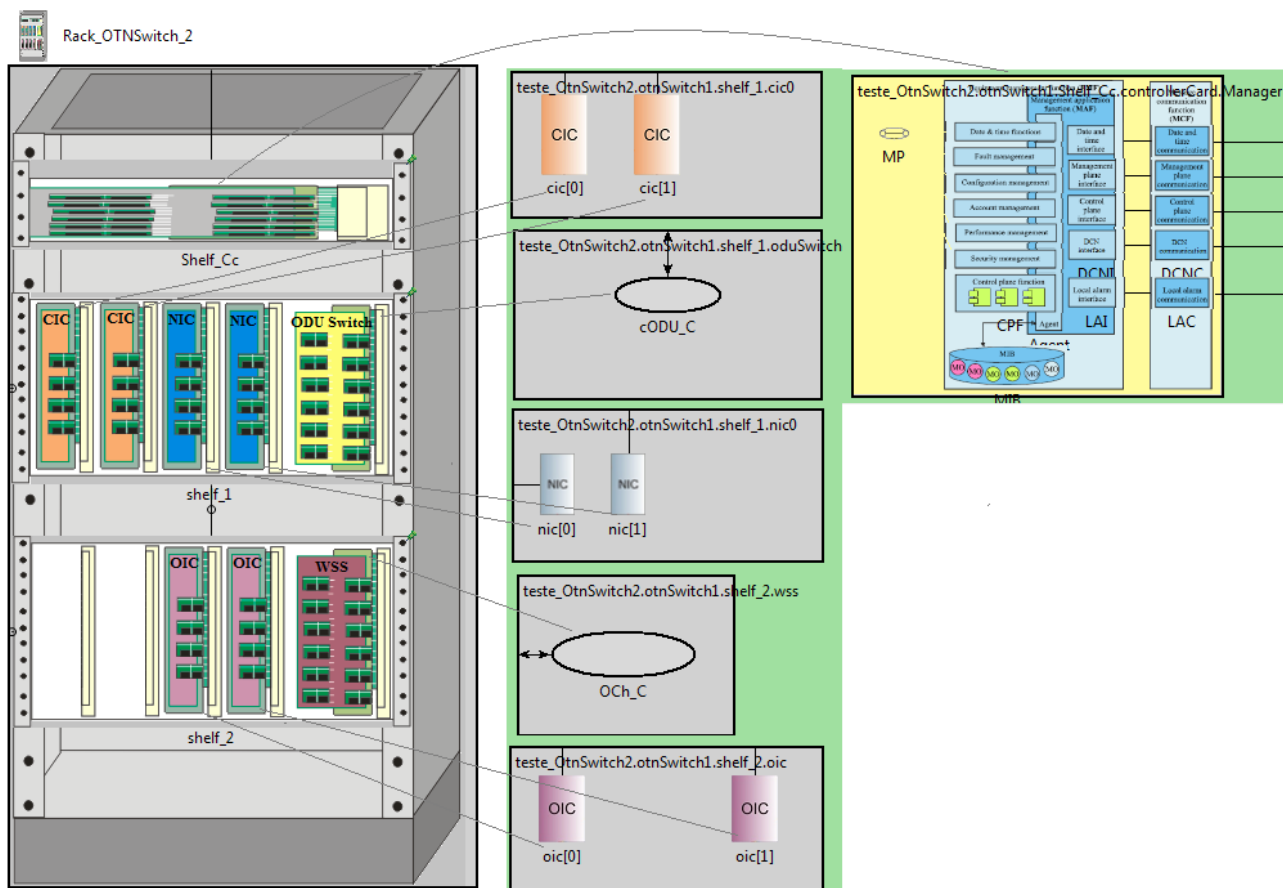
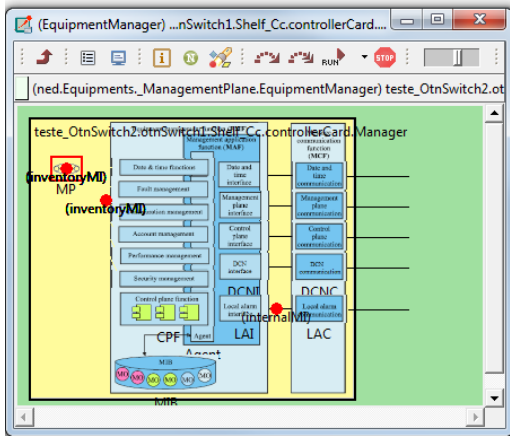
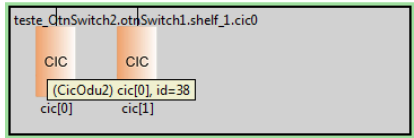


Figura 5-2: OTN Switch do cenário de validação.

A Figura 5-4, Figura 5-5, Figura 5-6 e Figura 5-7 estendem a apresentação das *inventoryMI* dos diversos componentes no log do simulador. Dada a disposição das diversas mensagens de inventário é possível classificar as mensagens de inventário que competem a cada equipamento da arquitetura do OTN Switch (Dilem et al. 2013), bem como os blocos funcionais e a conexão interna entre eles, necessárias para a instanciação dos artefatos de gerenciamento na MIB.



OMNeT++/Tkenv - teste_OtnSwitch2

File Edit Simulate Trace Inspect View Options Help

Run #: teste_OtnSwitch2 Event #35 T=0 Next: teste_OtnSwitch2.otnSwitch1.S

Msgs scheduled: 39 Msgs created: 71 Msgs present: 71

Ev/sec: n/a Simsec/sec: n/a Ev/simsec: n/a

Clock...
Clock

0 +0.001 +0.01 +0.1 +1 +10 +100 +1000 +1e4 +1e5sec

```
Initializing module teste_OtnSwitch2.cDCN, stage 0
Initializing module teste_OtnSwitch2.cReceiver, stage 0
** Event #1 T=0 teste_OtnSwitch2.otnSwitch1.Shelf_Cc.controllerCard.Manager.MP (cManagementPoint, id=31),
////////////////////////////////(MP) InventoryMI //////////////////////////////////
ML_Equipment:
RackID=1
ShelfID=1
SlotID=1
EquipmentModel=cic
EquipmentID=38
ML_AFType:
ODU_TT
ML_Skl:42
ML_Sol:43
ML_API:44
├──
└──
ML_TCPI:52
** Event #2 T=0 teste_OtnSwitch2.otnSwitch1.Shelf_Cc.controllerCard.Manager.MP (cManagementPoint, id=31),
////////////////////////////////(MP) InventoryMI //////////////////////////////////
ML_Equipment:
RackID=1
ShelfID=1
SlotID=1
EquipmentModel=cic
EquipmentID=38
ML_AFType:
ODU_CLIENT_A
ML_Skl:44
ML_Sol:45
ML_CPI: c10GE_Client2
├──
└──
ML_API:42
** Event #3 T=0 teste_OtnSwitch2.otnSwitch1.Shelf_Cc.controllerCard.Manager.MP (cManagementPoint, id=31),
```

Figura 5-3: InventoryMI provenientes do componente CIC ligado ao Cliente2.

```

//////////////////////////////// (MP) InventoryMI //////////////////////////////////
MI_Equipment:
  RackI=1
    ShelfID=1
      SlotID=2
        EquipmentModel=cic
        EquipmentID=39
MI_AFTType:
  ODU_TT
MI_SkI:48
MI_SoI:49
      MI_API:50
      \-|
      /-|
      |
      MI_TCPI:52
//////////////////////////////// (MP) InventoryMI //////////////////////////////////
MI_Equipment:
  RackI=1
    ShelfID=1
      SlotID=2
        EquipmentModel=cic
        EquipmentID=39
MI_AFTType:
  ODU_CLIENT_A
MI_SkI:50
MI_SoI:51
      MI_CPI: c10GE_Client1
      \-|
      /-|
      |
      MI_API:48
//////////////////////////////// (MP) InventoryMI //////////////////////////////////
MI_Equipment:
  RackI=1
    ShelfID=1
      SlotID=0
        EquipmentModel=oduSwitch
        EquipmentID=36
MI_AFTType:
  ODU_C
MI_CFI:52
      \-|
      /-|
      |
      MI_CPList:@43;o;T;IN;0;@49;o;T;IN;1;@61;k;A;...
//////////////////////////////// (MP) InventoryMI //////////////////////////////////
MI_Equipment:
  RackI=1
    ShelfID=2
      SlotID=0
        EquipmentModel=wss
        EquipmentID=91
MI_AFTType:
  OCH_C
MI_CFI:93
      \-|
      /-|
      |
      MI_CPList:@72;o;T;IN;0/0;@90;o;T;IN;1/0;@103;k;A;
      IN;2/0;@112;k;A;IN;3/0;@71;k;T;OUT;0/0;@89;k;T;
      OUT;1/0;@104;o;A;OUT;2/0;@113;o;A;OUT;3/0;

```

Figura 5-4: InventoryMI dos equipamentos CIC(39), ODU Switch(36) e WSS(91).

```

////////////////////////////////(MP) InventoryMI //////////////////////
MI_Equipment:
  RackI=1
  ShelfID=1
  SlotID=4
  EquipmentModel=nic
  EquipmentID=54
MI_AFType:
  ODUk_ODUj_21_A
MI_SkI:79
MI_SoI:80
  MI_CPI:52
  MI_API:81
////////////////////////////////(MP) InventoryMI //////////////////////
MI_Equipment:
  RackI=1
  ShelfID=1
  SlotID=4
  EquipmentModel=nic
  EquipmentID=54
MI_AFType:
  ODU TT
MI_SkI:81
MI_SoI:82
  MI_API:79
  MI_TCPI:83
////////////////////////////////(MP) InventoryMI //////////////////////
MI_Equipment:
  RackI=1
  ShelfID=1
  SlotID=4
  EquipmentModel=nic
  EquipmentID=54
MI_AFType:
  OTU_ODU_A
MI_SkI:83
MI_SoI:84
  MI_CPI:81
  MI_API:85
////////////////////////////////(MP) InventoryMI //////////////////////
MI_Equipment:
  RackI=1
  ShelfID=1
  SlotID=4
  EquipmentModel=nic
  EquipmentID=54
MI_AFType:
  OTU TT
MI_SkI:85
MI_SoI:86
  MI_API:83
  MI_TCPI:88
////////////////////////////////(MP) InventoryMI //////////////////////
MI_Equipment:
  RackI=1
  ShelfID=1
  SlotID=4
  EquipmentModel=nic
  EquipmentID=54
MI_AFType:
  OCh_OTU_A
MI_SkI:88
MI_SoI:87
  MI_CPI:85
  MI_API:89
////////////////////////////////(MP) InventoryMI //////////////////////
MI_Equipment:
  RackI=1
  ShelfID=1
  SlotID=4
  EquipmentModel=nic
  EquipmentID=54
MI_AFType:
  OCh TT
MI_SkI:89
MI_SoI:90
  MI_API:88
  MI_TCPI:93

```

Figura 5-5: InventoryMI do equipamento CIC(54) e CIC(53)

<pre> ////////////////////////////////(MP) InventoryMI ////////////////////////////////// MI_Equipment: RackI=1 ShelfID=1 SlotID=3 EquipmentModel=nic EquipmentID=53 MI_AFTType: ODUk_ODUj_21_A MI_SkI:61 MI_SoI:62 MI_CPI:52 MI_API:63 ////////////////////////////////(MP) InventoryMI ////////////////////////////////// MI_Equipment: RackI=1 ShelfID=1 SlotID=3 EquipmentModel=nic EquipmentID=53 MI_AFTType: ODU_TT MI_SkI:63 MI_SoI:64 MI_API:61 MI_TCPI:65 ////////////////////////////////(MP) InventoryMI ////////////////////////////////// MI_Equipment: RackI=1 ShelfID=1 SlotID=3 EquipmentModel=nic EquipmentID=53 MI_AFTType: OTU_ODU_A MI_SkI:65 MI_SoI:66 MI_CPI:63 MI_API:67 </pre>	<pre> ////////////////////////////////(MP) InventoryMI ////////////////////////////////// MI_Equipment: RackI=1 ShelfID=1 SlotID=3 EquipmentModel=nic EquipmentID=53 MI_AFTType: OTU_TT MI_SkI:67 MI_SoI:68 MI_API:65 MI_TCPI:70 ////////////////////////////////(MP) InventoryMI ////////////////////////////////// MI_Equipment: RackI=1 ShelfID=1 SlotID=3 EquipmentModel=nic EquipmentID=53 MI_AFTType: OCH_OTU_A MI_SkI:70 MI_SoI:69 MI_CPI:67 MI_API:71 ////////////////////////////////(MP) InventoryMI ////////////////////////////////// MI_Equipment: RackI=1 ShelfID=1 SlotID=3 EquipmentModel=nic EquipmentID=53 MI_AFTType: OCh_TT MI_SkI:71 MI_SoI:72 MI_API:70 MI_TCPI:93 </pre>
--	---

Figura 5-6: InventoryMI do equipamento CIC(53)

```

////////////////////////////////////(MP) InventoryMI //////////////////////////////////////
MI_Equipment:
  RackI=1
  ShelfID=2
  SlotID=2
  EquipmentModel=oic
  EquipmentID=95
MI_AfType:
  OTS_TT
MI_SkI:106
MI_SoI:107
MI_API:108
MI_TCPI:98
////////////////////////////////////(MP) InventoryMI //////////////////////////////////////
MI_Equipment:
  RackI=1
  ShelfID=2
  SlotID=2
  EquipmentModel=oic
  EquipmentID=95
MI_AfType:
  OTS_OMS_A
MI_SkI:108
MI_SoI:109
MI_CPI:110
MI_API:106
////////////////////////////////////(MP) InventoryMI //////////////////////////////////////
MI_Equipment:
  RackI=1
  ShelfID=2
  SlotID=2
  EquipmentModel=oic
  EquipmentID=95
MI_AfType:
  OMS_TT
MI_SkI:110
MI_SoI:111
MI_API:112
MI_TCPI:108
////////////////////////////////////(MP) InventoryMI //////////////////////////////////////
MI_Equipment:
  RackI=1
  ShelfID=2
  SlotID=2
  EquipmentModel=oic
  EquipmentID=95
MI_AfType:
  OTS_TT
MI_SkI:112
MI_SoI:113
MI_CPI:93
MI_API:110
////////////////////////////////////(MP) InventoryMI //////////////////////////////////////
MI_Equipment:
  RackI=1
  ShelfID=2
  SlotID=1
  EquipmentModel=oic
  EquipmentID=94
MI_AfType:
  OTS_TT
MI_SkI:97
MI_SoI:98
MI_API:99
MI_TCPI:107
////////////////////////////////////(MP) InventoryMI //////////////////////////////////////
MI_Equipment:
  RackI=1
  ShelfID=2
  SlotID=1
  EquipmentModel=oic
  EquipmentID=94
MI_AfType:
  OTS_OMS_A
MI_SkI:99
MI_SoI:100
MI_CPI:101
MI_API:97
////////////////////////////////////(MP) InventoryMI //////////////////////////////////////
MI_Equipment:
  RackI=1
  ShelfID=2
  SlotID=1
  EquipmentModel=oic
  EquipmentID=94
MI_AfType:
  OMS_TT
MI_SkI:101
MI_SoI:102
MI_API:103
MI_TCPI:99
////////////////////////////////////(MP) InventoryMI //////////////////////////////////////
MI_Equipment:
  RackI=1
  ShelfID=2
  SlotID=1
  EquipmentModel=oic
  EquipmentID=94
MI_AfType:
  OTS_TT
MI_SkI:103
MI_SoI:104
MI_CPI:93
MI_API:101

```

Figura 5-7: *InventoryMI* dos equipamentos OIC(95) e OIC(94).

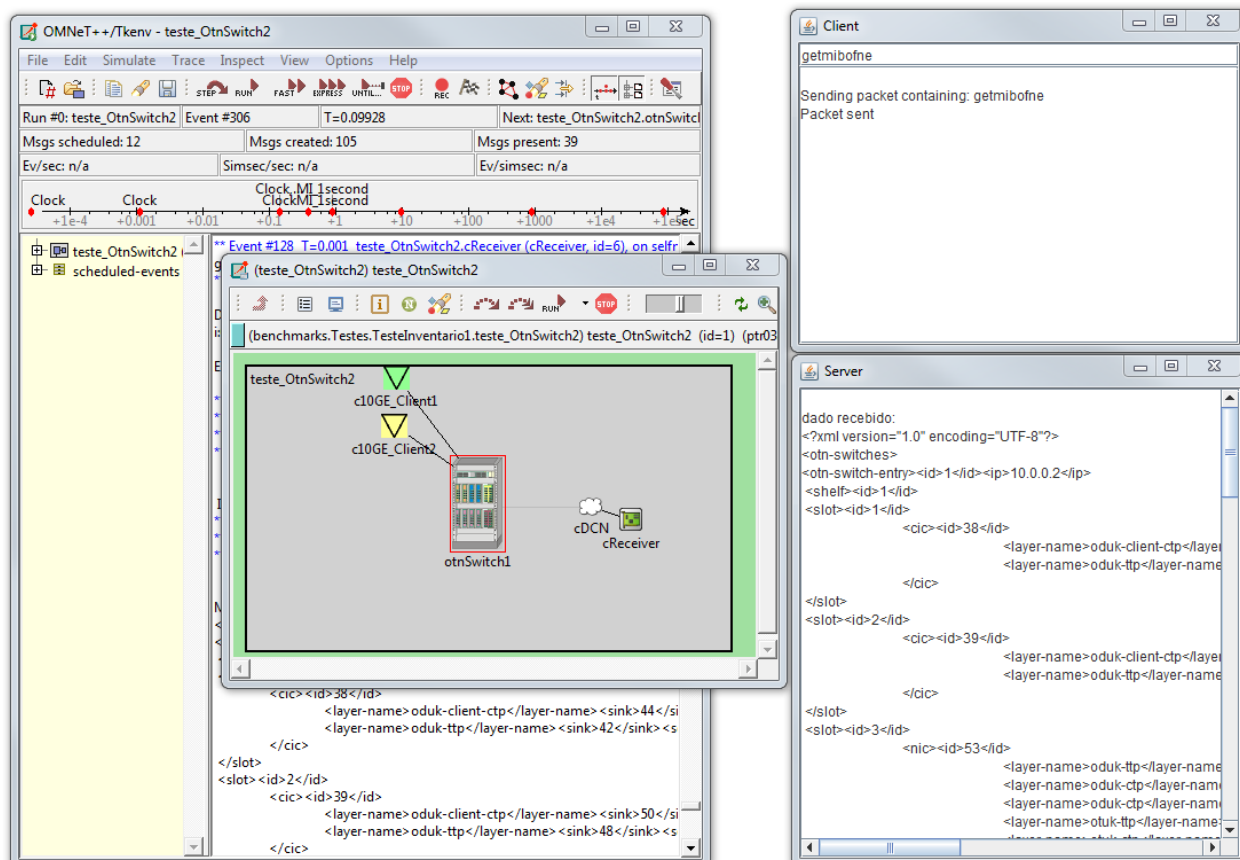


Figura 5-9: Interfaces socket em Java enviando requisição à MIB e recebendo o XML de inventário.

A resposta à requisição recebida pelo *Server* está apresentada na íntegra em XML no apêndice 8.4. Em uma análise sobre o resultado é possível constatar a representação hierárquica entre os equipamentos, *slots* e *shelves* dentro do *OTN Switch*. Constata-se também o inventário das funções atômicas presentes em cada equipamento segundo modelo da recomendação ITU-T G.874.1. A Figura 5-10 apresenta uma interpretação em blocos da estrutura hierárquica extraída do resultado da requisição *getmibofne* em XML.

A partir do inventário do elemento de rede *OTN Switch* é possível proceder com a sua configuração. Suponha que por algum motivo, o operador de rede deseja conectar os clientes 1 e 2 ligados ao *OTN Switch* do teste. Sabe-se através do inventário, que o cliente 1 está ligado à CIC(39) e o cliente 2 à CIC(38). É possível aplicar via interface *socket* a configuração “*econnect 1 39 38*” sobre o *OTN Switch*(1) conforme Figura 5-11.

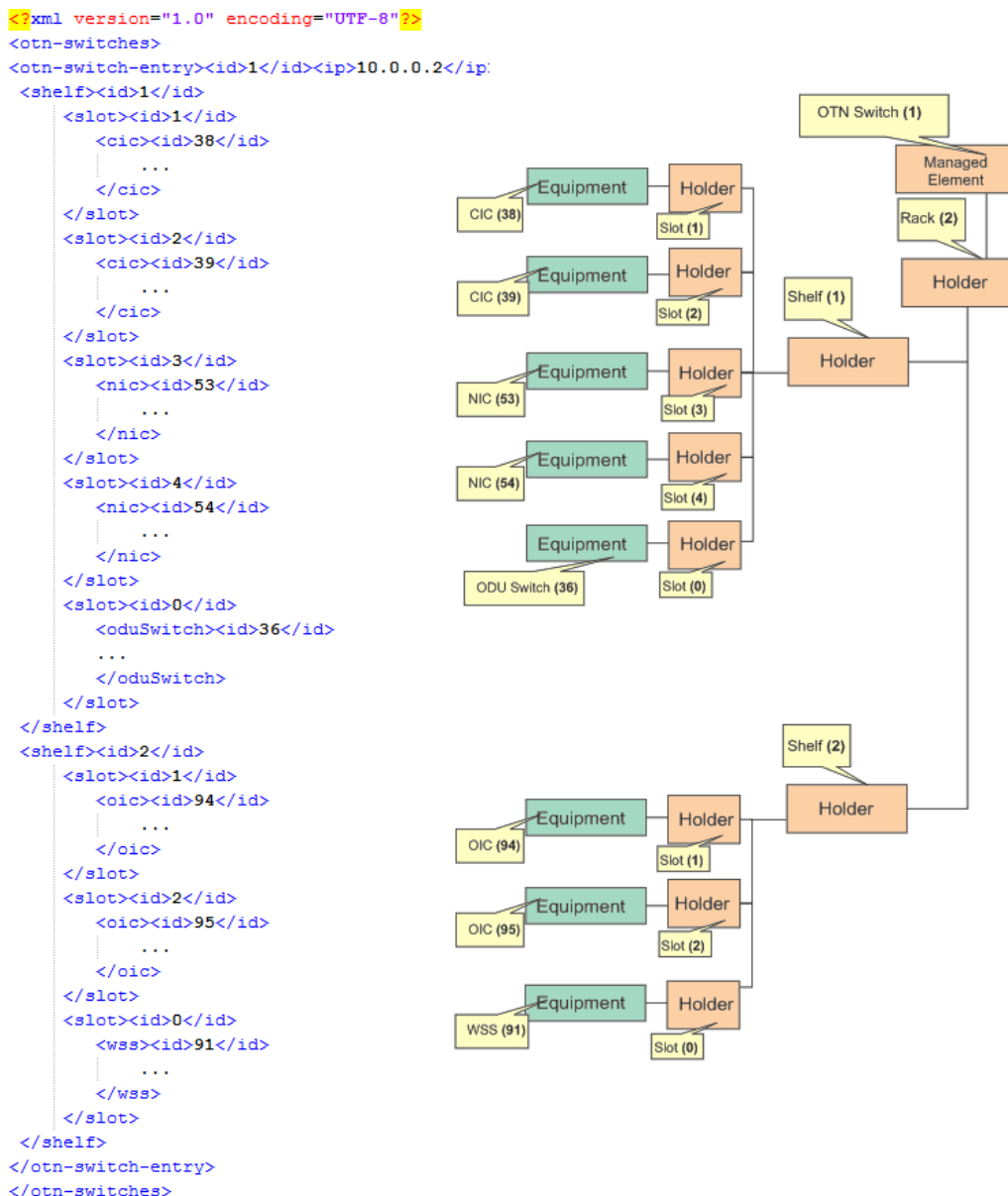


Figura 5-10: Representação em XML da estrutura hierárquica do OTN Switch do exemplo 1.

A Figura 5-11 apresenta a resposta na interface Server ao comando de conexão dos equipamentos. Nota-se que para conectar os equipamentos foram criadas duas SNCs, uma ligando o `oduk_ttp source(43)` da `cic(38)` ao `oduk_ttp sink(48)` da `cic(39)`, e outra ligando o `oduk_ttp source(49)` da `cic(39)` ao `oduk_ttp sink(42)` da `cic(38)`, conforme Figura 5-12.

Através da informação contida nas listas *TTPList* e *CTPList* da *ODUC_Subnetwork* a gerência de configuração infere a que portas do ODU_C cada funcionalidade está conectada e envia mensagem ao ODU_C a fim de conectá-las. Após a configuração da conexão elétrica os clientes 1 e 2 já conseguem se comunicar.

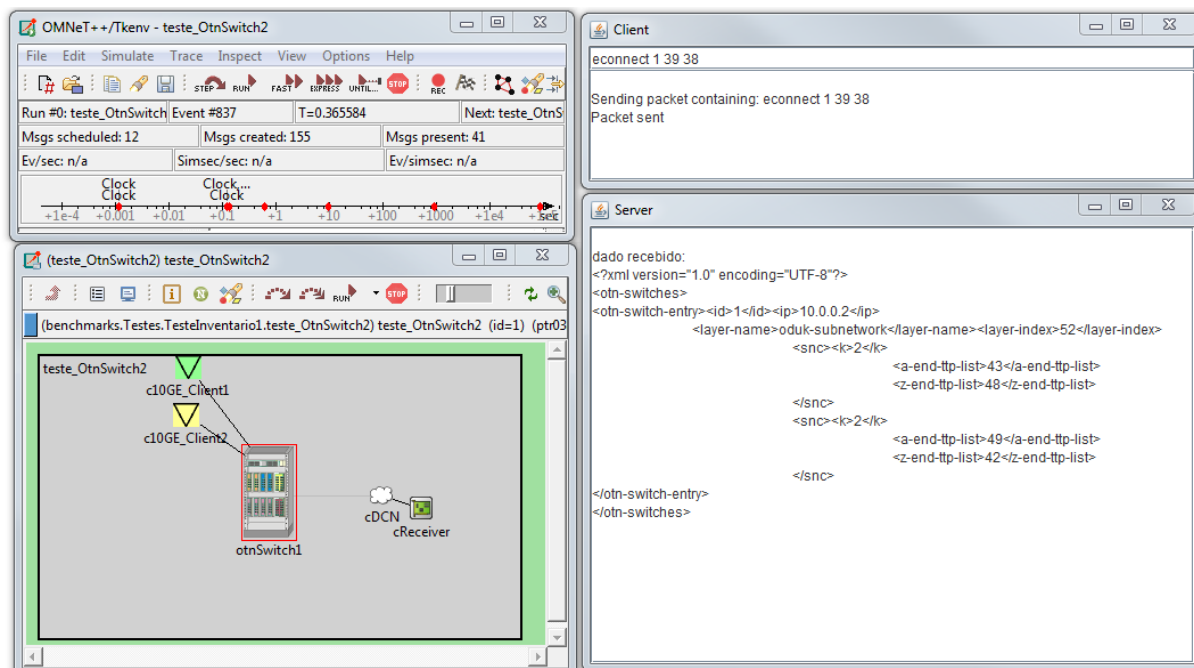


Figura 5-11: Configuração de conexão elétrica entre os equipamentos CIC(39) e CIC(38) no otnSwitch(1).

```

<otn-switches>
<otn-switch-entry><id>1</id><ip>10.0.0.2</ip>
<shelf><id>1</id>
<slot><id>1</id>
  <cic><id>38</id>
    <layer-name>oduk-client-ctp</layer-name><sink>44</sink><source>45</source><k>-1</k><oduk_ttp>1</oduk_ttp>
    <layer-name>oduk-ttp</layer-name><sink>42</sink><source>43</source><k>2</k><odukclient_ctp>44</odukclient_ctp>
  </cic>
</slot>
<slot><id>2</id>
  <cic><id>39</id>
    <layer-name>oduk-client-ctp</layer-name><sink>50</sink><source>51</source><k>-1</k><oduk_ttp>1</oduk_ttp>
    <layer-name>oduk-ttp</layer-name><sink>48</sink><source>49</source><k>2</k><odukclient_ctp>50</odukclient_ctp>
  </cic>
</slot>
</otn-switch-entry>
</otn-switches>

```

Figura 5-12: Destaque dos blocos funcionais envolvidos na conexão dos equipamentos CIC(38) e CIC(39).

Outro modo de conectar o cliente 1 ao cliente 2 é através da conexão óptica. Para tanto, inicialmente deve-se proceder com a desconexão elétrica dos equipamentos, conectados anteriormente, que pode ser realizada com o comando *edisonnect 1 39 38*, conforme Figura 5-13.

Na sequência pode-se conectar o CIC(39) ao NIC(53) e o CIC(38) ao NIC(54) por conexões elétricas através dos comandos *econnect 1 39 53*, *econnect 1 38 54*, além da conexão óptica entre os equipamentos NIC(53) e NIC(54) através do comando *oconnect 1 53 54*, conforme Figura 5-14.

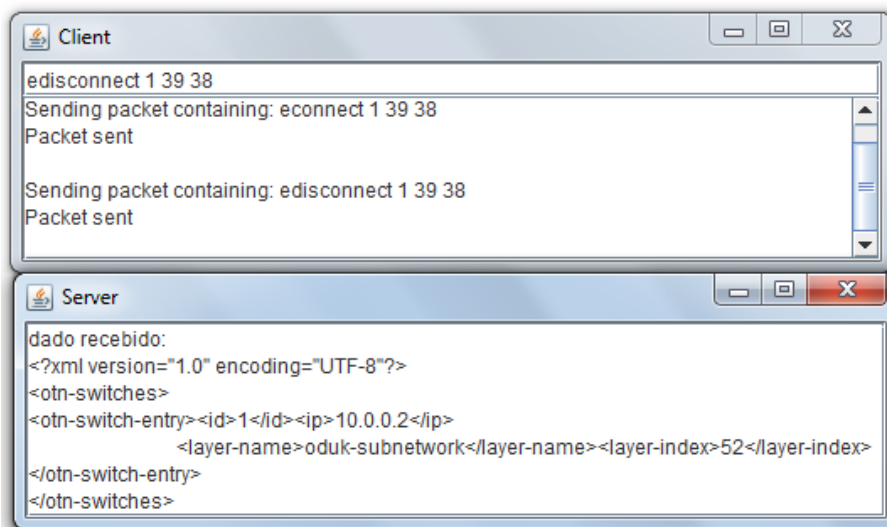


Figura 5-13: Desconexão elétrica dos equipamentos CIC(38) CIC(39)

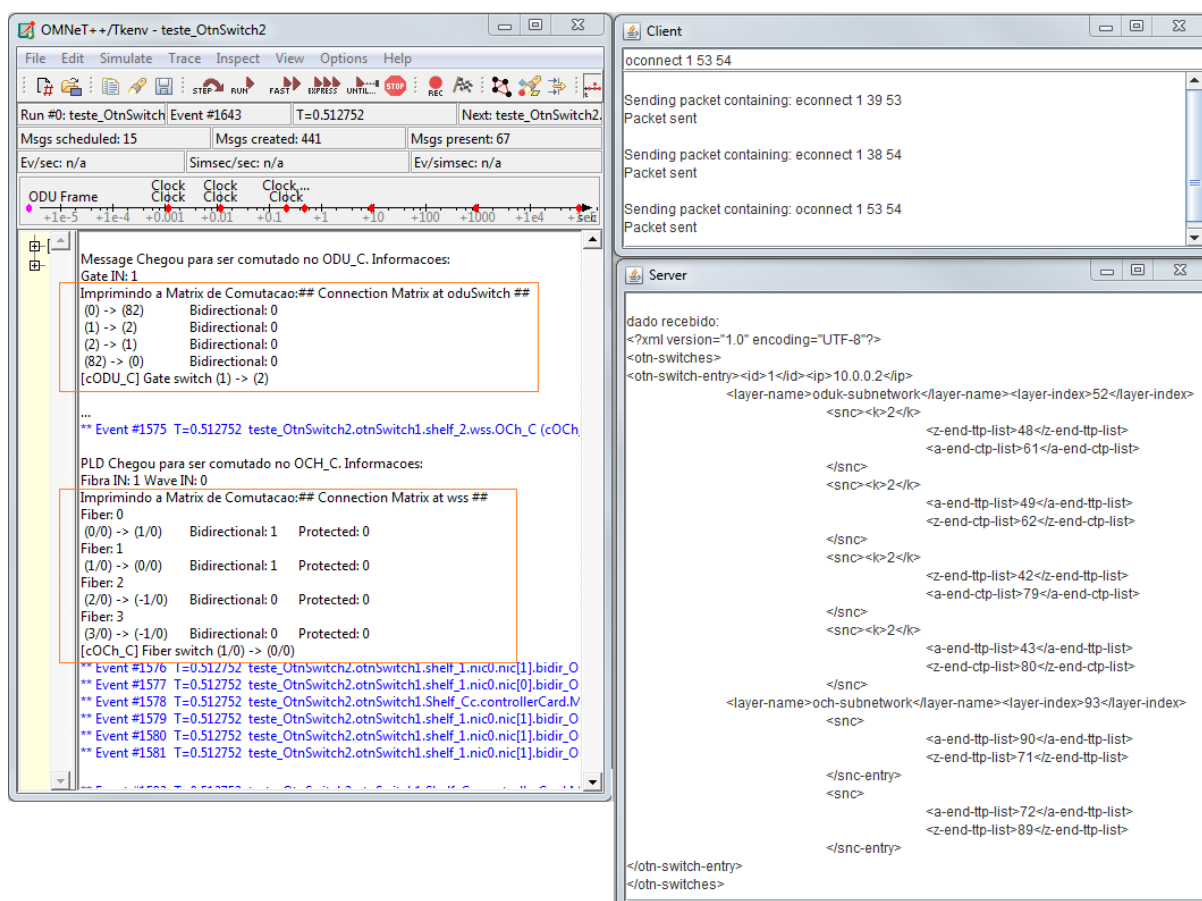


Figura 5-14: Conexão elétrica dos equipamentos CIC(39) ao NIC(53), CIC(38) ao NIC(54) e conexão óptica dos equipamentos NIC(53) ao NIC(54).

A Figura 5-14 apresenta a interface *Client* Java com a lista dos comandos de cross conexão enviados ao elemento *OTN Switch 1*, a interface *Server* com a lista das SNCs elétricas na ODUk_Subnetwork, e ópticas na OCh_Subnetwork. Note que o comando para conexão óptica dos equipamentos NIC(53) e NIC(54) gerou a

conexão das terminações de trilha de OCh, OCh_TT_Sk(90) com a OCh_TT_So(71) e OCh_TT_Sk(72) na OCh_TT_So(89).

Através da identificação das funções atômicas conectadas, a gerência as correlaciona com portas da *OCh_Subnetwork*, consultando as listas CTPList e TTPList, onde está contida a informação de que portas da OCh_C cada bloco funcional está conectado. Dessa forma, a gerência de configuração pode enviar mensagem de configuração para conectar as portas da OCh_C. O mesmo princípio é utilizado para efetuar a conexão elétrica dos equipamentos. A janela de Logs da simulação da Figura 5-14 apresenta, em destaque, a impressão da matriz de comutação elétrica e óptica, da ODU_C e OCh_C respectivamente, revelando as portas utilizadas para conectar os equipamentos.

5.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

O teste realizado valida a proposta de solução de inventário do elemento de rede óptica, haja visto que o equipamento *OTN Switch* tem como característica ser completo, por implementar toda a pilha de camadas OTN, o que torna o inventário de qualquer outro elemento de rede óptica um subgrupo do inventário realizado no *OTN Switch*.

O processo de inventário pode ser estendido a um cenário com inúmeros elementos de rede, dado que ele ocorre de forma paralela e independente em cada elemento de rede óptica.

A cross conexão óptica e elétrica das instâncias de ODUs e OChs é uma etapa da conexão óptica e elétrica por equipamentos e, portanto, está contida na validação realizada utilizando o modo mais abrangente.

6 CONCLUSÃO

A solução apresentada nesta dissertação mostra que é possível a implementação do processo de inventário do elemento de rede OTN, adotando uma forma integrada entre as representações funcional e física do elemento de rede. Isso possibilita aos diversos fabricantes a aderência às normas da ITU-T, bem como oferece a capacidade do operador de rede configurar dos componentes de um equipamento de uma forma mais intuitiva.

A adição do *Process Inventory* aos blocos funcionais da recomendação ITU-T G.798 e suas respectivas mensagens de inventário *inventoryMI* à interface MP contribui para a padronização da comunicação de inventário entre os equipamentos e o módulo de gerência do elemento de rede, possibilitando economia de escala, aumento na coesão e diminuição do acoplamento entre os elementos do NE.

As mensagens propostas para a *inventoryMI* subsidiam a instanciação das classes presentes no modelo ITU-T G.874.1, bem como a instanciação dos componentes físicos (equipamentos, *Racks*, *Slots* e *Shelfs*), proporcionando uma extensão de capacidade do modelo ITU-T para suportar as abstrações do modelo TMF608.

Dessa forma, a extensão do modelo de informação amplia as opções de configuração de componentes, de forma funcional ou física, possibilitando a um operador de rede leigo em OTN, por exemplo, cross conectar ODUs e OChs utilizando os equipamentos como parâmetro.

A proposta de solução para o inventário de um elemento de rede OTN não se restringe aos benefícios de um modelo de informação híbrido interno ao elemento de rede. Essa extensão de funcionalidades (ITU-T G.874.1 e TMF 608) pode ser enxergada por níveis mais altos de gerenciamento através da extensão da interface entre o NE e o EMS, conforme apresentado na Figura 3-11.

A proposta apresentada é implementada no *framework* de simulação de redes OTN desenvolvido pelo grupo de pesquisas do Labetel UFES e abrange todo o conjunto de elementos de rede OTN nele modelados. Nesse sentido é abordado como estudo de caso e validação o inventário do equipamento *OTN Switch*, que pela sua

característica de implementar toda a pilha de camadas OTN, propicia o levantamento do inventário completo das classes da ITU-T G.874.1.

A validação da proposta, tomando como estudo de caso o inventário do *OTN Switch* apresenta como resultado o conjunto de mensagens pertinentes a cada componente arquitetural do referido equipamento. A análise dos resultados da simulação demonstrou que a solução permitiu instanciar as classes do modelo de informação híbrido ITU-T G.874.1 e TMF 608.

A adoção do modelo híbrido proporcionou a extensão das primitivas de cross conexão e propagação das informações da MIB. Conforme validação feita para o *OTN Switch*, foi possível a cross conexão de componentes CIC, NIC e OIC, além do envio do sumário do inventário registrado na MIB, em formato XML, em resposta à requisição de status solicitada pelo Sistema Operacional de Suporte (OSS).

6.1 TRABALHOS FUTUROS.

O presente trabalho é propulsor de inúmeras iniciativas dentro do escopo de gerência de redes OTN, destacando-se o desenvolvimento do inventário em níveis mais altos de gerenciamento para subsídio às decisões do plano de controle.

Seria interessante como trabalho futuro a aplicação da proposta em um equipamento OTN de algum fabricante.

É importante frisar o ganho em escala com a possibilidade de construção de uma unidade de gerência do elemento de rede óptica capaz de se conectar a qualquer elemento de rede da linha OTN do fabricante.

O levantamento de inventário dos elementos de rede OTN é um passo adiante no gradiente evolutivo da tecnologia OTN e subsidia o desenvolvimento das gerências de configuração, falha e desempenho definidas nas recomendações da ITU-T.

7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA:

- A. Colmenero (NORDUnet), R. Lund (NORDUnet), A.V.M. (DTU), 2013. White Paper : OTN Capabilities in the NREN Environment. *DANTE on behalf of the GÉANT project. The research leading to these results has received funding from the European Community's Seventh Framework Programme (FP7 2007– 2013) under Grant Agreement No. 238875 (GÉANT).*, 238875(238875), pp.1–17.
- Bueloni, L.G.B., 2014. PROPOSTA DE PLANO DE CONTROLE PARA REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE UTILIZANDO LSP HIERÁRQUICOS. , p.2014.
- Carroll, M., 2010. The Operator ' s View of OTN Evolution. , (September), pp.46–52.
- Dilem, M.B., 2014. Arquitetura OTN Switch com Funcionalidades de Cross-conexão e Multiplexação Óptica e Digital em Redes OTN. , p.2014.
- Dilem, M.B. et al., 2013. PROPOSTA DE ARQUITETURA OTN SWITCH SEGUNDO AS RECOMENDAÇÕES ITU-T. , pp.1–4.
- Doverspike, R.D. & Yates, J., 2012. Optical Network Management and Control. *Proceedings of the IEEE*, 100(5), pp.1092–1104. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6166486> [Accessed February 28, 2013].
- Farrel, A.B.I., *GMPLS: Architecture and Applications* A. Press, ed., 2006.
- Favoreto, R.C., 2011. Implementação de arquitetura do plano de gerência em Redes OTN no Simulador OMNeT ++ de acordo com a.
- Ferrari, F.F., 2009. Simulação da Funcionalidade de Descoberta Automática Aplicada às Redes OTN Simulação da Funcionalidade de Descoberta Automática Aplicada às Redes OTN.
- Gumaste, A., Krishnaswamy, N. & Corporation, C., 2010. Proliferation of the Optical Transport Network : A Use Case Based Study. , (September), pp.54–61.
- ISO/IEC 10040, 1998. N1719.
- ITU-T G.709, 2012. *G.709 Interfaces for the optical transport network*,
- ITU-T G.7710, 2012. *G.7710 - Common equipment management function requirements*.
- ITU-T G.798, 2012. *G.798 Characteristics of optical transport network hierarchy equipment functional blocks*,
- ITU-T G.798.1, 2013. *G.798.1 - Types and characteristics of optical transport network equipment*,

ITU-T G.806, 2012. ITU-T G.806.

ITU-T G.874, 2013. *G.874 - Management aspects of optical transport network elements*,

ITU-T G.874.1, 2012. G.874.1 Optical transport network (OTN): Protocol- neutral management information model for the network element view.

ITU-T M.3010, 2000. ITU-T M.3010 Principles for a telecommunications management network. , 3010.

Knezevic, P. et al., 2011. One solution for management of OTN cross-connect functionality using SNMP. In *2011 10th International Conference on Telecommunication in Modern Satellite Cable and Broadcasting Services (TELSIKS)*. IEEE, pp. 619–622. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6143189> [Accessed March 18, 2013].

Knudsen-baas, P.H., 2011. OTN switching. , (June).

Kurose & Ross, 2011. *Redes de Computadores e a Internet* 5^o ed. P. Education, ed.,

Nakano, Y. et al., 2009. Optical Network Systems for Next-generation Networks. , 58, pp.31–35.

Nokia, N.S., 2012. Optical Transport Network Switching : Creating efficient and cost-effective optical transport networks.

Perrin, S., 2010. White Paper Modernizing the Core With OTN Prepared by. , (December).

Rafel, A. et al., 2001. Transport Network Nodes. , 19(6), pp.810–820.

Santos, E.R. dos, 2009. CARACTERÍSTICAS DOS BLOCOS FUNCIONAIS DO EQUIPAMENTO DA HIERARQUIA DE REDE ÓPTICA DE EQUIPAMENTO DA HIERARQUIA DE REDE ÓPTICA DE.

Schmitt, A., 2012. Integrated OTN Switching Virtualizes Optical Networks.

Soares, E., 2012. Brasil alarga redes para atender à demanda de mobilidade e explosão de dados. Available at: <http://computerworld.com.br/telecom/2012/11/05/brasil-alarga-redes-para-atender-a-demanda-de-mobilidade-e-explosao-de-dados/> [Accessed February 13, 2014].

Tessinari, R.S., 2011. Integração do Plano de Transpote com Planos de Controle e de Gerência em Redes OTN: Uma Abordagem via Simulação.

Tessinari, R.S., 2009. Mapeamento de Equipamentos Ópticos e Modelagem de Redes OTN no Simulador OMNeT ++ de acordo com a Recomendação ITU-T G.798.

TMF 513, T.F., 2008. TMF 513 - Multi-Technology Network Management (MTNM) Business Agreement. , (August).

TMF 608 SD1-10, 2007. SD1-10 EQUIPMENT MODEL. , pp.1–8.

TMForum-SD1-25, 2005. Multi-Technology Network Management support for a Naming Convention. , pp.1–19.

Varga, A., 2014. OMNeT++. Available at: <http://www.omnetpp.org/>.

Varga, A., 2001. THE OMNET ++ DISCRETE EVENT SIMULATION SYSTEM.

8 APÊNDICES

8.1 FUNCIONALIDADES DO OTN SWITCH EM TERMOS DE BLOCOS FUNCIONAIS PRESENTES NAS RECOMENDAÇÕES (ITU-T G.798 2012) E (ITU-T G.874 2013).

8.1.1 CIC – Client Interface Card

Uma CIC realiza funções de adaptação de um sinal cliente para um sinal ODU_k ($k = 0, 1, 2, 2e, 3, 4$ e flex), funções essas que desempenham o papel de justificação e mapeamento do sinal cliente, além de funções de terminação de trilha da ODU_k, cujo papel é realizar o monitoramento do sinal ODU (de baixa ordem). Na Figura 8-1, é ilustrado um exemplo de CIC trabalhando com um sinal cliente 10GE, adaptando-o em um sinal ODU_{2e}.

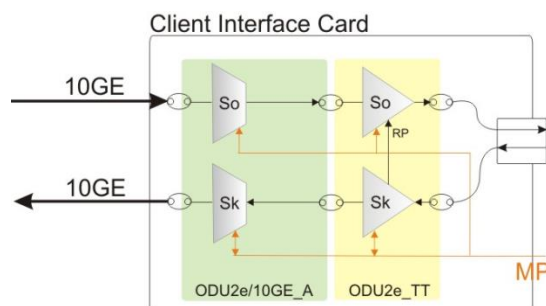


Figura 8-1: CIC de um sinal cliente 10 GE, (Dilem et al. 2013).

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 8-1, são enviados e recebidos quadros ODU2e.

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.

8.1.2 Controller Card

A *Controller Card* implementa as funcionalidades de gerenciamento e controle do dispositivo. Dentre essas, 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, tais como instanciações de novas SNCs e Descoberta Automática das conexões existentes.

A arquitetura interna do *Controller Card* segue o especificado nas Recomendações (ITU-T G.7710 2012), (ITU-T G.874 2013) e sua representação é apresentada na Figura 8-2.

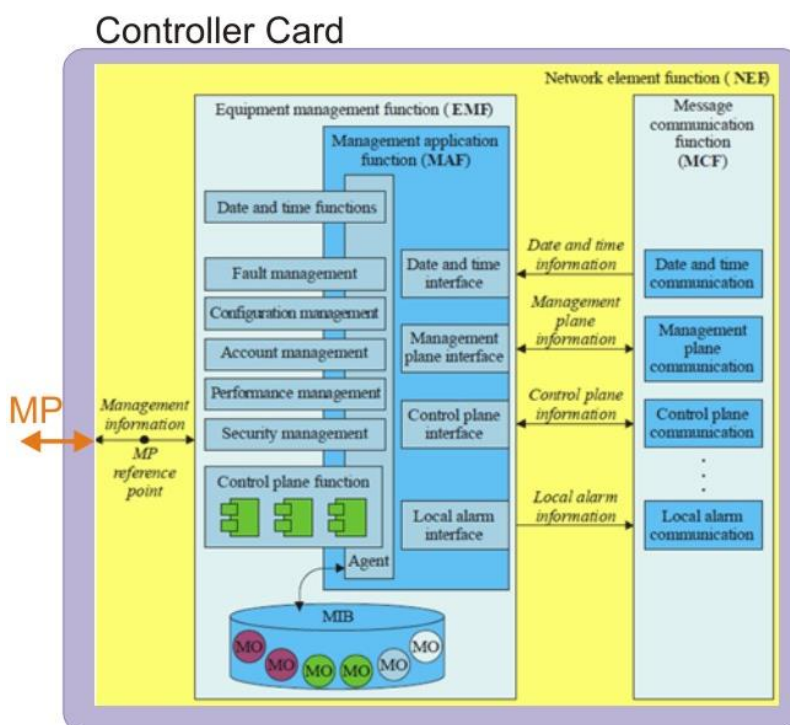


Figura 8-2: Representação da *Controller Card*, (Dilem et al. 2013).

8.1.3 ODU Switch

O *ODU Switch*, ilustrado na Figura 8-3, 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 (*Automatic Protection Switching*), e sinais de configuração da matriz de comutação (*ODUk_C_MI_MatrixControl*). Tais sinais são resumidos na Figura 8-4.

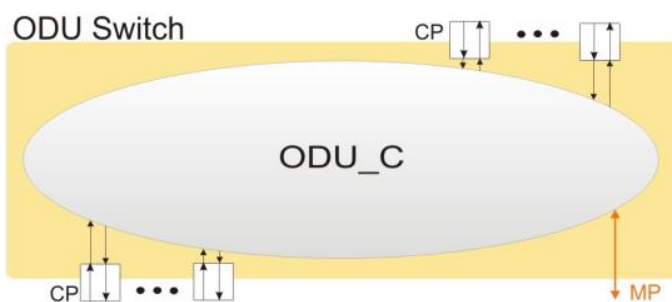


Figura 8-3: *ODU Switch*, (Dilem et al. 2013).

O módulo ODU Switch possui conexões com a *Controller Card* e com os CIC e NICs. Tais conexões são indicadas, respectivamente, pelos MP e CPs na Figura 8-4.

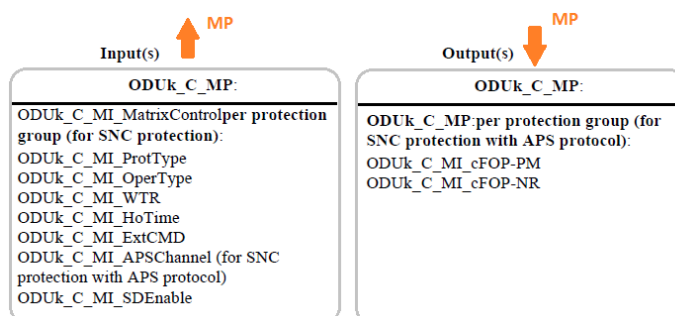


Figura 8-4: Sinais utilizados na configuração do ODU Switch, (Dilem et al. 2013).

8.1.4 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 8-5.

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 8-5 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.

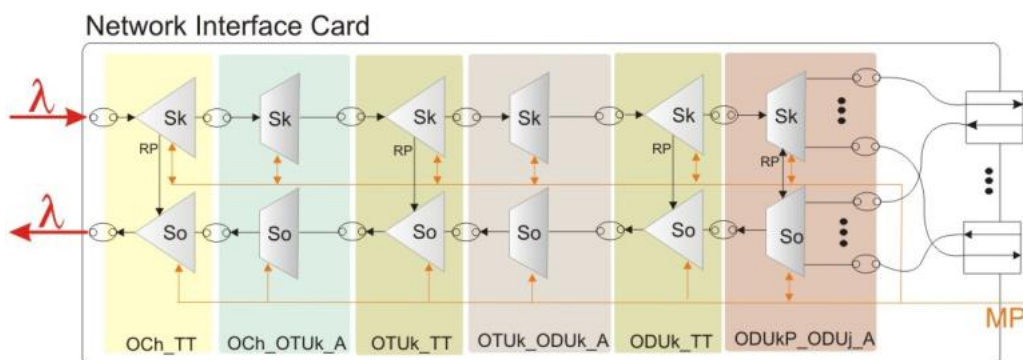


Figura 8-5: NIC com multiplexação, (Dilem et al. 2013).

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 reportados métricas de desempenho e falhas.

8.1.5 Módulo WSS (*Wavelength Selective Switch*)

O módulo WSS é, funcionalmente, muito semelhante ao módulo ODU *Switch*, como pode ser visto na Figura 8-6. 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.

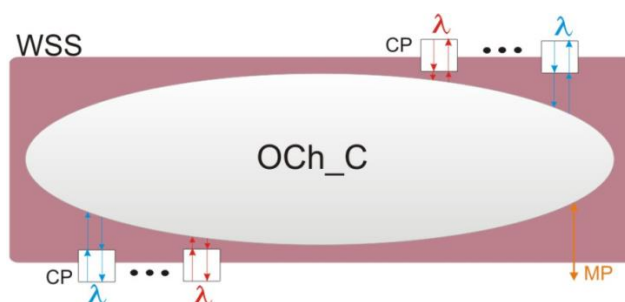


Figura 8-6: Módulo WSS, (Dilem et al. 2013).

8.1.6 OIC – *Optical Interface Card*

A estrutura funcional do módulo OIC é apresentada na Figura 8-7. 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.

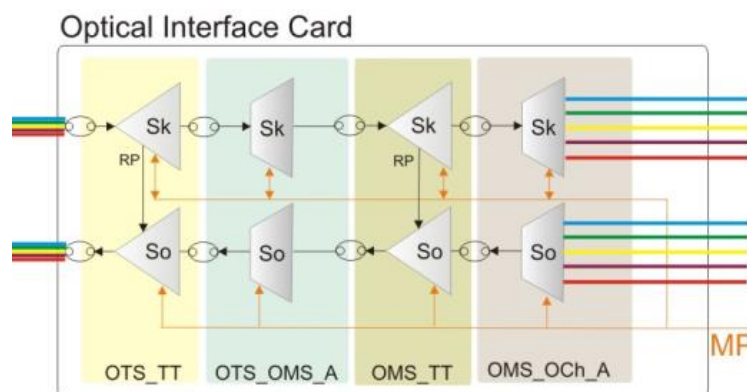


Figura 8-7: Módulo OIC, (Dilem et al. 2013).

Apesar da proposta em (Dilem et al. 2013) estar aderente às recomendações da ITU-T, herda a limitação da ausência de processo de inventário dos blocos funcionais da recomendação ITU-T G.798. Entretanto já apresenta um grande avanço em relação às outras propostas de *OTN Switch*, pois, além de dispor os componentes em blocos funcionais, prevê unidade de gerenciamento e comunicação com os blocos funcionais através do ponto de gerenciamento MP.

A unidade de gerenciamento tem sua arquitetura definida na recomendação ITU-T G.874, e é apresentada na seção seguinte, 2.3. Nessa arquitetura são definidos os módulos MP, gerência de configuração, Agente e MIB, essenciais para fundamentar a compreensão da adição de funcionalidades com a finalidade de apoio ao processo de inventário proposto por essa dissertação.

8.2 CÓDIGO DO PROCESS INVENTORY.

```

void c806AtomicFunctionSink::processInventory()
{
    findManager();
    const char *path = find_pair().c_str();
    int idSoModule;
    if (strcmp("",path)==0){
        idSoModule = -1;
    }else{
        cModule *SoModule = getModuleByPath(path);
        idSoModule = SoModule->getId();
    }

    inventoryMI *initializationMSG = new inventoryMI();
    initializationMSG->setMI_AFTType(getAFTType());
    initializationMSG->setMI_SkI(getId());
    initializationMSG->setAFSoModulePath(path);
    initializationMSG->setMI_SoI(idSoModule);
    initializationMSG->setDelete(false);
    initializationMSG->setK(getK());
    initializationMSG->setMI_API(API);
    initializationMSG->setMI_CPI(CPI);
    initializationMSG->setMI_TCPI(TCPI);

    //////////////////////////////////Atribuicao de identificacao de Rack, Shelf, Slot e equipment////////////////////////////////////

    ....
}

```

Figura 8-8: Código do *Process Inventory* na *c806AtomicFunctionSink* (Framework de simulação OTN UFES).

8.3 CENÁRIOS DE CROSS CONEXÃO DE ODUs:

O cenário da Figura 8-9 apresenta a cross-conexão dos elementos da classe *ODUk_ConnectionTerminationPoint* *ODUk_CTP1* e *ODUk_CTP2* instanciados a partir dos elementos *OTUk_ODUk_A_Sk* e *OTUk_ODUk_A_So* presentes nos componentes NIC do *OTN Switch*. O mapeamento da *ODU_C* na gerência gera uma instância *ODUk_Subnetwork* à qual se conectam as adaptações *OTUk_ODUk_A_Sk* e *OTUk_ODUk_A_So* ligadas às portas *2in* e *1out* respectivamente.

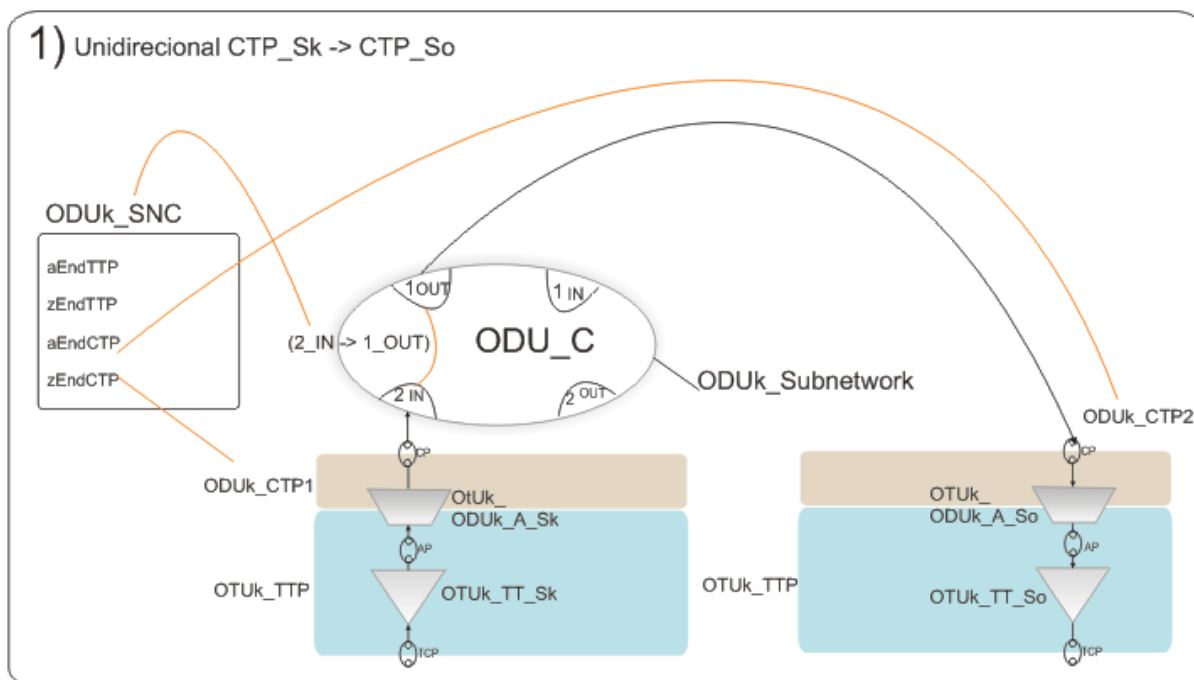


Figura 8-9: Cenário CTP_Sk -> CTP_So.

A conexão das portas *2in* e *1out*, da matriz de cross conexão da *ODU_C*, produz na gerência uma instância *ODUk_SNC*, pertencente a classe *ODUk_Subnetwork*. Os parâmetros, *aEndCTP* e *zEndCTP* indicam a conexão da *ODUk_CTP1* à *ODUk_CTP2*. A instanciação da referida SNC indica o resultado da operação *connect(ODUk_CTP1, ODUk_CTP2, unidirectional)* na *ODUk_Subnetwork*. A execução da operação *disconnect(ODUk_CTP1, ODUk_CTP2)* exclui a instância SNC anteriormente criada.

No cenário da Figura 8-10 estão conectadas à *ODU_C* duas adaptações *OTUk_OTUk_A* bidirecionais. A instância *ODUk_CTP1* corresponde ao par de funcionalidades *sink* e *source* da adaptação ligada à porta *2in* e *2out* da *ODU_C*, enquanto a *ODUk_CTP2* se liga às portas *1in* e *1out*.

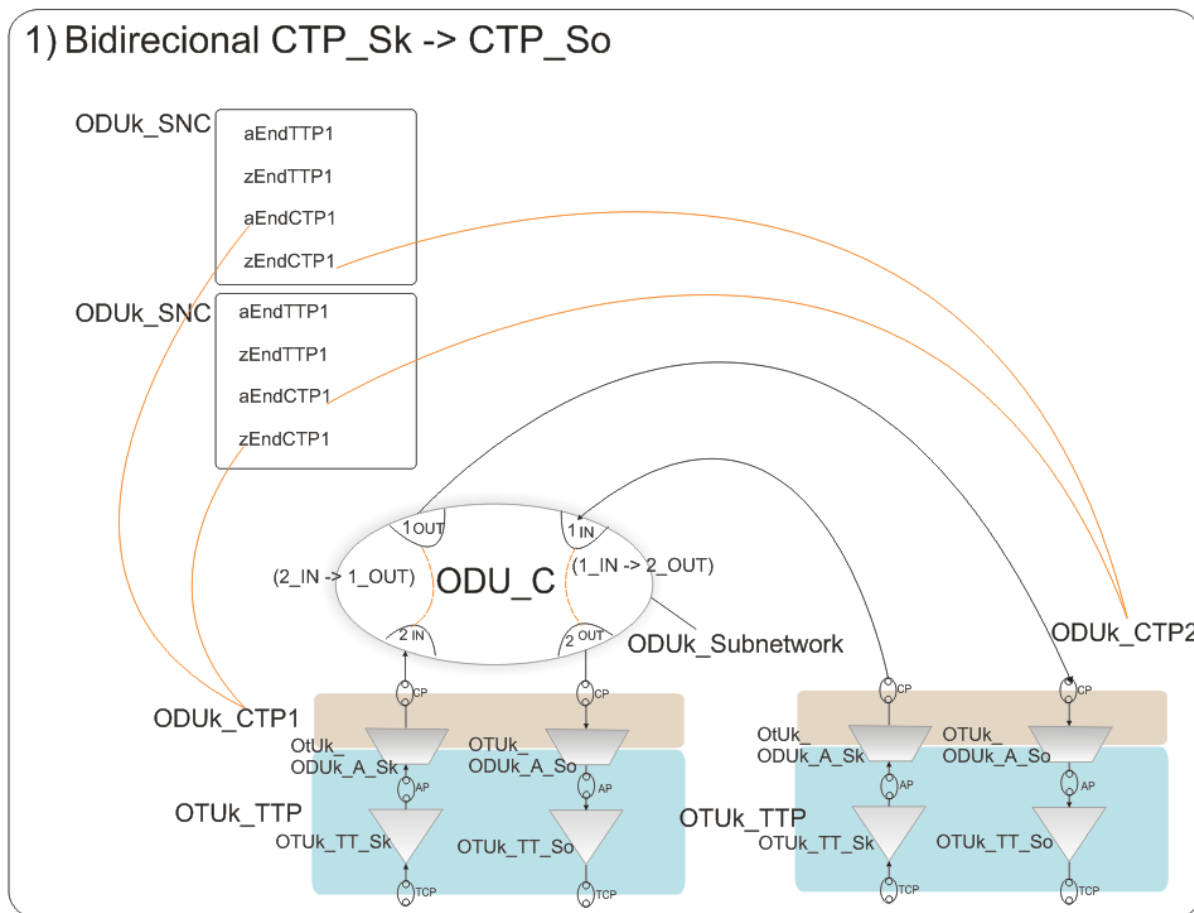


Figura 8-10: Cenário CTP_Sk -> CTP_So.

O resultado da operação `connect(ODUK_CTP1, ODUK_CTP2, bidirectional)` na ODUK_Subnetwork gera duas instâncias SNC, indicando que uma conexão bidirecional é representada por duas conexões unidirecionais. A execução da operação `disconnect(ODUK_CTP1, ODUK_CTP2)` exclui as duas instâncias SNC anteriormente criadas.

A Figura 8-11 apresenta o mapeamento da funcionalidade `ODUKP_TT` do componente CIC do OTN Switch na classe `ODUK_TrailTerminationPoint (ODUK_TTP)`. Assim como no cenário anteriormente apresentado a função de conexão ODU_C reporta à gerência os elementos ligados a suas portas possibilitando a execução da operação `connect(ODUK_TTP1, ODUK_TTP2, unidirectional)` que tem como resultado a instanciação da SNC referente à conexão das duas funcionalidades.

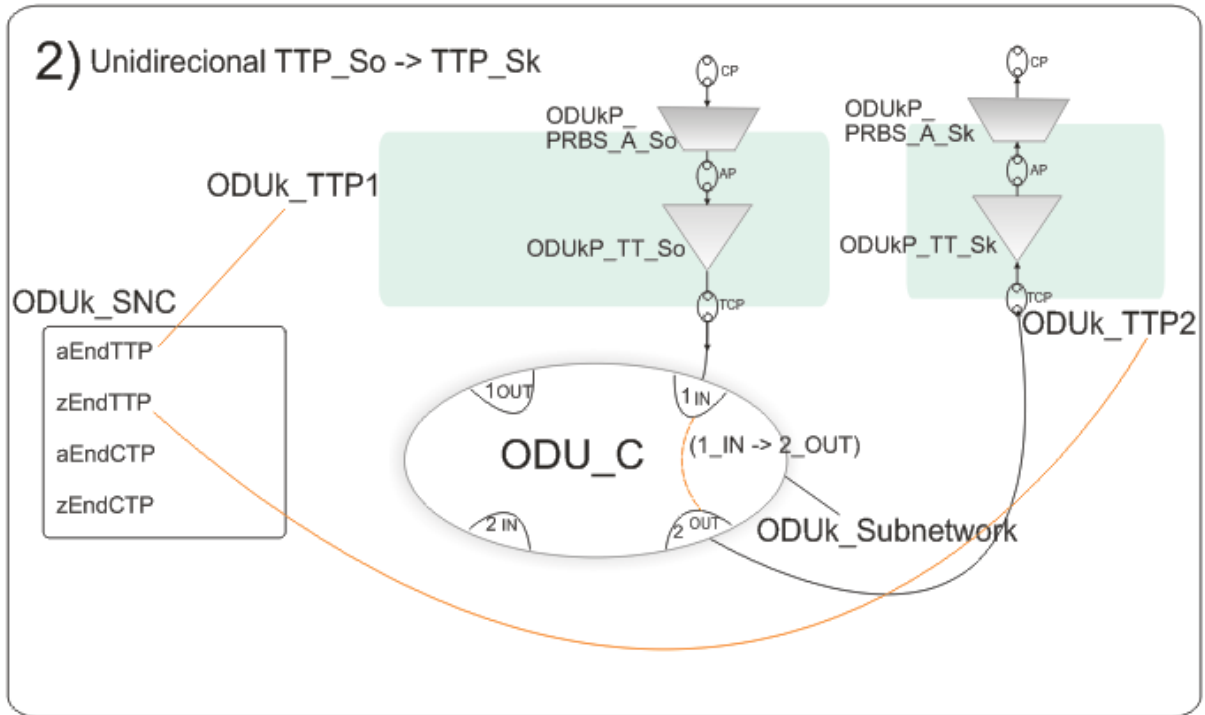


Figura 8-11: Cenário TTP_So -> TTP_Sk.

O cenário apresentado na

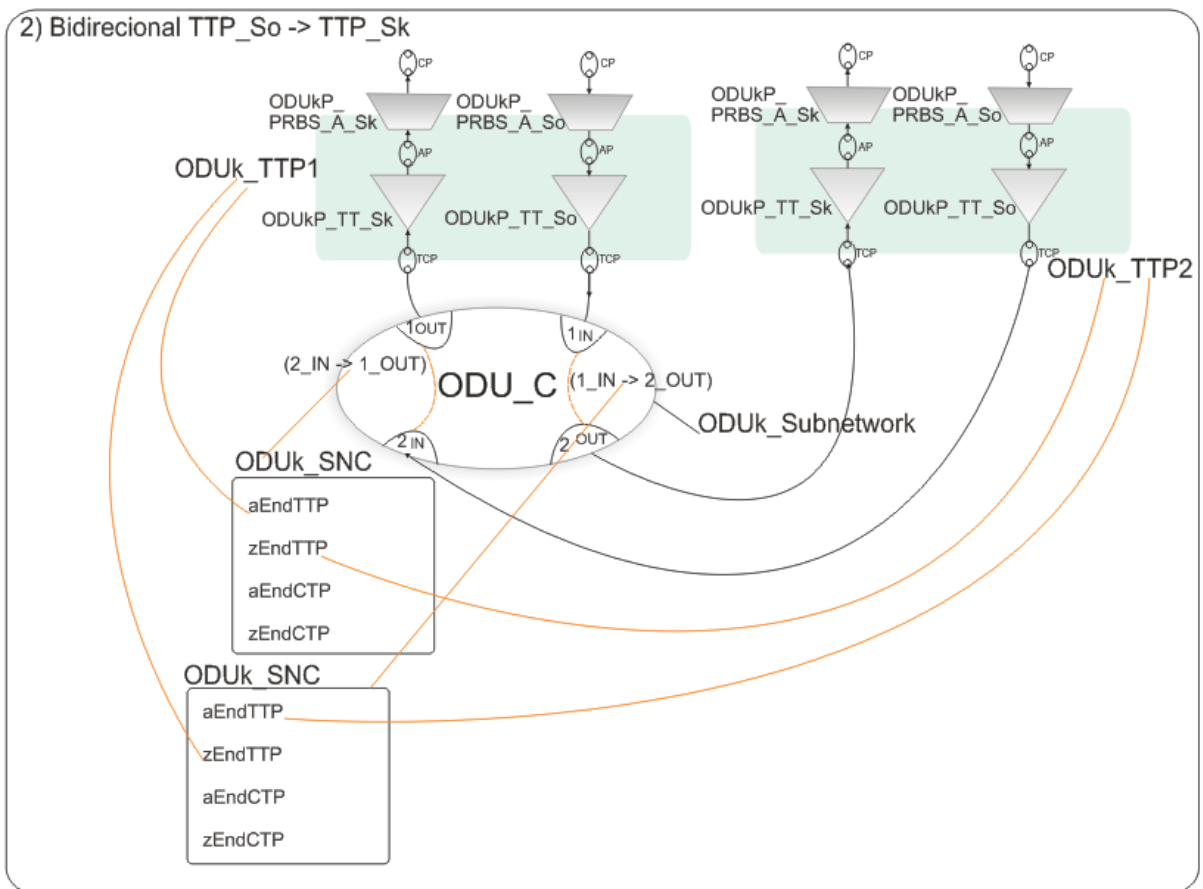


Figura 8-12 representa a instanciação de duas SNCs referentes à conexão das terminações ODUk_TTP1 e ODUk_TTP2 em uma conexão bidirecional.

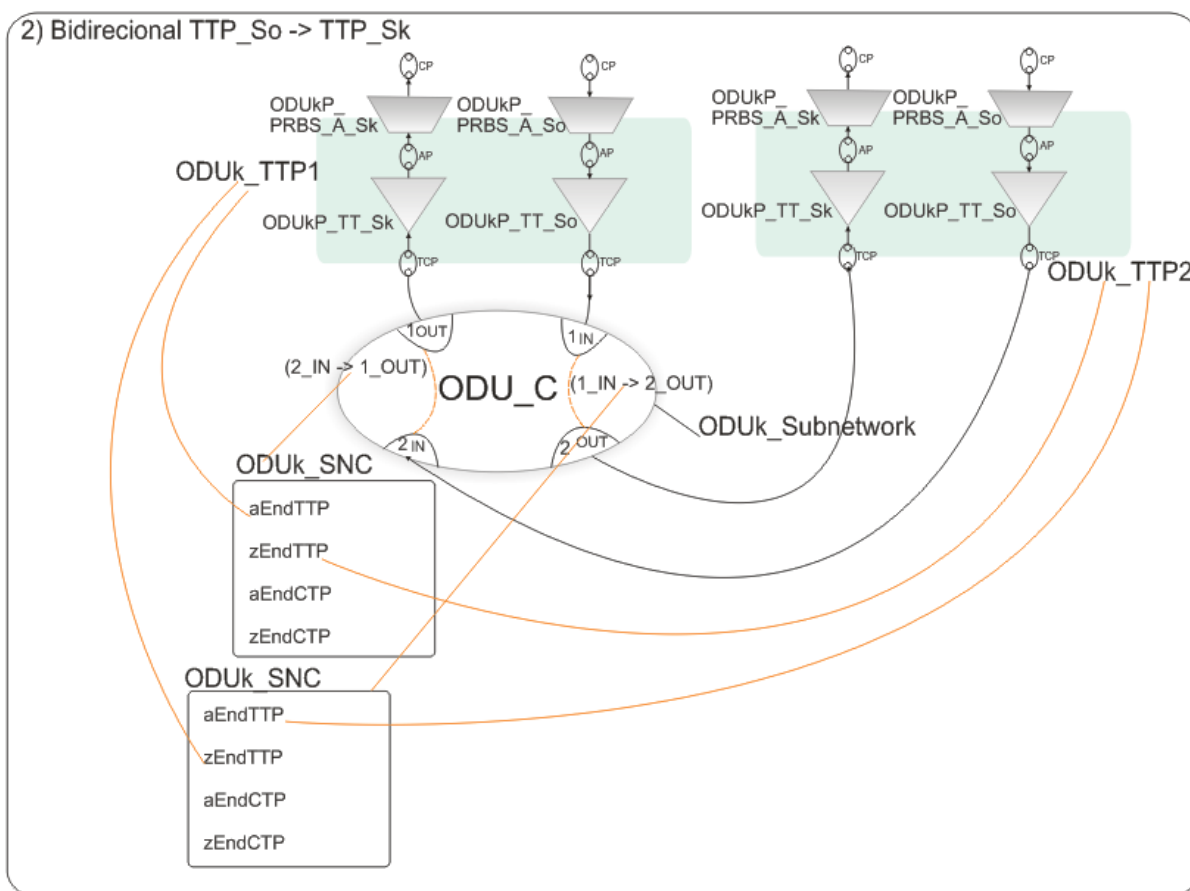


Figura 8-12: Cenário TTP_So -> TTP_Sk.

As SNCs apresentadas nas figuras: Figura 8-13, Figura 8-14 e Figura 8-15 são resultado das operações *connect*(ODUk_CTP, ODUk_TTP, *unidirectional*), *connect*(ODUk_TTP, ODUk_CTP, *unidirectional*) e *connect*(ODUk_CTP, ODUk_TTP, *bidirectional*) respectivamente.

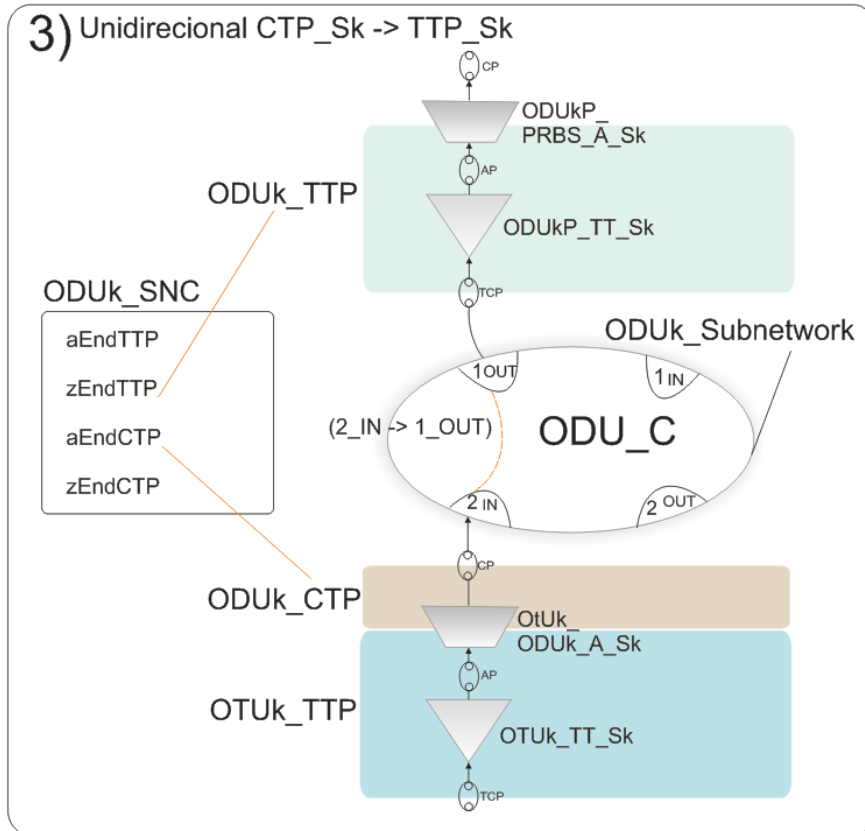


Figura 8-13: Cenário CTP_Sk -> TTP_Sk.

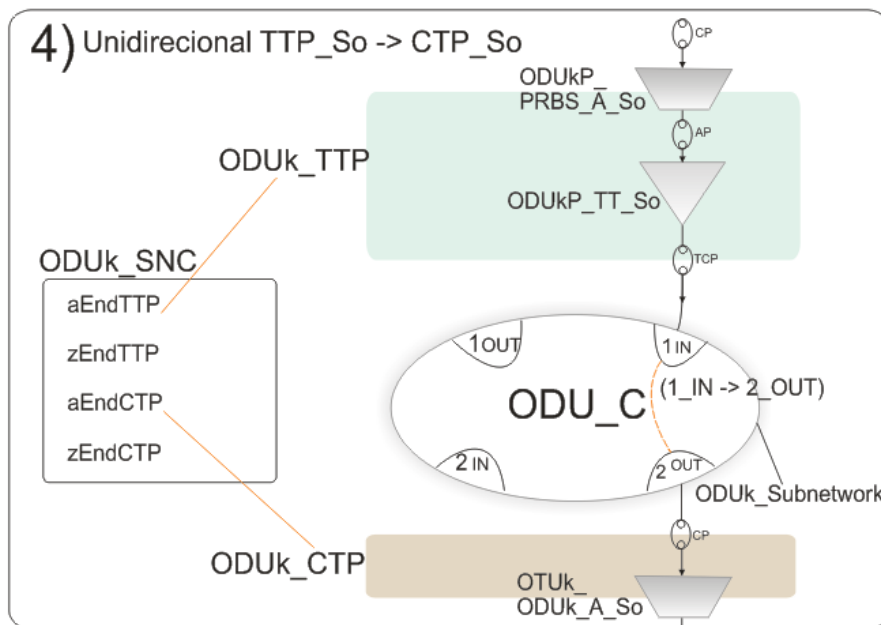


Figura 8-14: Cenário TTP_So -> CTP_So.

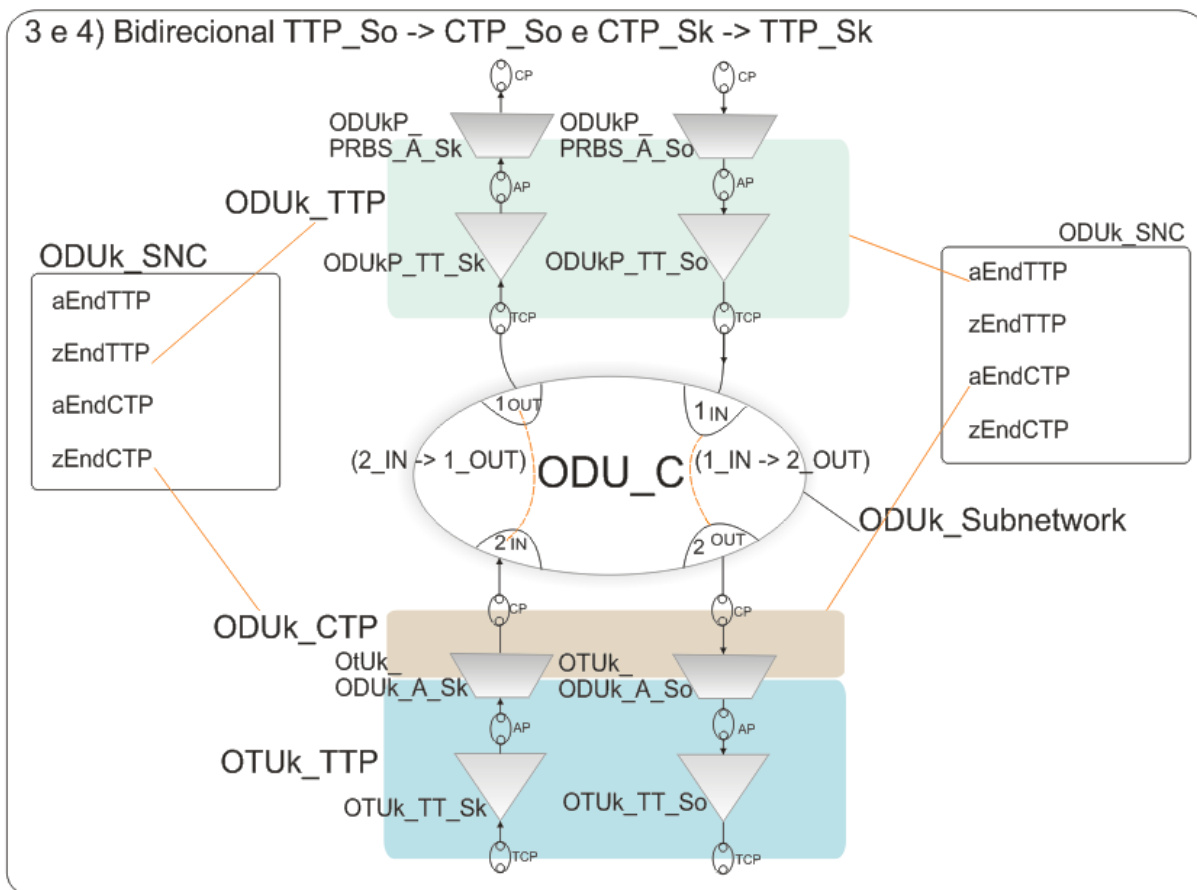


Figura 8-15: Cenário TTP_So -> CTP_So e CTP_Sk -> TTP_Sk.

8.4 XML DE SAÍDA PARA TESTE DE VALIDAÇÃO:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<otn-switches>
<otn-switch-entry><id>1</id><ip>10.0.0.2</ip>
<shelf><id>1</id>
<slot><id>1</id>
  <cic><id>38</id>
    <layer-name>oduk-client-ctp</layer-name><sink>44</sink><source>45</source><k>-
1</k><oduk_ttp>1</oduk_ttp>

    <layer-name>oduk-ctp</layer-
name><sink>42</sink><source>43</source><k>2</k><odukclient_ctp>44</odukclient_ctp><oduk_ctp>52
</oduk_ctp>

  </cic>
</slot>
<slot><id>2</id>
  <cic><id>39</id>
    <layer-name>oduk-client-ctp</layer-name><sink>50</sink><source>51</source><k>-
1</k><oduk_ttp>1</oduk_ttp>

    <layer-name>oduk-ctp</layer-
name><sink>48</sink><source>49</source><k>2</k><odukclient_ctp>50</odukclient_ctp><oduk_ctp>52
</oduk_ctp>

  </cic>
</slot>
<slot><id>3</id>
  <nic><id>53</id>
```

```

<layer-name>oduk-ttp</layer-
name><sink>63</sink><source>64</source><k>4</k><odukclient_ctp>61</odukclient_ctp><oduk_ctp>65
</oduk_ctp>

<layer-name>oduk-ctp</layer-
name><sink>65</sink><source>66</source><k>2</k><oduk_ttp>63</oduk_ttp><otuk_ttp>67</otuk_ttp>

<layer-name>oduk-ctp</layer-name><sink>61</sink><source>62</source><k>4</k><oduk_ttp>-
1</oduk_ttp><otuk_ttp>63</otuk_ttp>

<layer-name>otuk-ttp</layer-
name><sink>67</sink><source>68</source><k>2</k><oduk_ctp>65</oduk_ctp>

<layer-name>otuk-ctp</layer-name><sink>70</sink><source>69</source><k>2</k>

<layer-name>och-ttp</layer-
name><sink>71</sink><source>72</source><otuk_ctp>70</otuk_ctp><och_ctp>93</och_ctp>

</nic>
</slot>
<slot><id>4</id>
<nic><id>54</id>
<layer-name>oduk-ttp</layer-
name><sink>81</sink><source>82</source><k>4</k><odukclient_ctp>79</odukclient_ctp><oduk_ctp>83
</oduk_ctp>

<layer-name>oduk-ctp</layer-
name><sink>83</sink><source>84</source><k>2</k><oduk_ttp>81</oduk_ttp><otuk_ttp>85</otuk_ttp>

<layer-name>oduk-ctp</layer-name><sink>79</sink><source>80</source><k>4</k><oduk_ttp>-
1</oduk_ttp><otuk_ttp>81</otuk_ttp>

<layer-name>otuk-ttp</layer-
name><sink>85</sink><source>86</source><k>2</k><oduk_ctp>83</oduk_ctp>

<layer-name>otuk-ctp</layer-name><sink>88</sink><source>87</source><k>2</k>

<layer-name>och-ttp</layer-
name><sink>89</sink><source>90</source><otuk_ctp>88</otuk_ctp><och_ctp>93</och_ctp>

</nic>
</slot>
<slot><id>0</id>
<oduSwitch><id>36</id>
<layer-name>oduk-subnetwork</layer-name><layer-index>52</layer-index>
</oduSwitch>
</slot>
</shelf>
<shelf><id>2</id>
<slot><id>1</id>
<oic><id>94</id>
<layer-name>och-ctp</layer-
name><sink>103</sink><source>104</source><och_ttp>93</och_ttp><oms_ttp>101</oms_ttp>
<layer-name>omsn_ttp</layer-name><sink>101</sink><source>102</source><oms_ctp>99</oms_ctp>
<layer-name>omsn_ctp</layer-name><sink>99</sink><source>100</source><oms_ttp>101</oms_ttp>
<layer-name>otsn_ttp</layer-name><sink>97</sink><source>98</source><oms_ctp>99</oms_ctp>
<layer-name>otm_n</layer-name><ots_ttp>97</ots_ttp>

</oic>
</slot>
<slot><id>2</id>
<oic><id>95</id>
<layer-name>och-ctp</layer-
name><sink>112</sink><source>113</source><och_ttp>93</och_ttp><oms_ttp>110</oms_ttp>
<layer-name>omsn_ttp</layer-name><sink>110</sink><source>111</source><oms_ctp>108</oms_ctp>
<layer-name>omsn_ctp</layer-name><sink>108</sink><source>109</source><oms_ttp>110</oms_ttp>
<layer-name>otsn_ttp</layer-name><sink>106</sink><source>107</source><oms_ctp>108</oms_ctp>
<layer-name>otm_n</layer-name><ots_ttp>106</ots_ttp>

</oic>
</slot>
<slot><id>0</id>
<wss><id>91</id>
<layer-name>och-subnetwork</layer-name><layer-index>93</layer-index>

</wss>
</slot>
</shelf>
</otn-switch-entry>
</otn-switches>

```


8.5 REPRESENTAÇÃO DOS COMPONENTES FÍSICOS DO *OTN SWITCH* SEGUNDO TMF 608.

Como estratégia para aproximar a visão lógica dos componentes da arquitetura do *OTN Switch* (Dilem et al. 2013), da visão física natural ao operador de rede é proposta a representação da arquitetura do *OTN Switch* sobre *rack* de telecomunicações, composto por *shelves* e *slots*, onde os equipamentos são componentes acoplados diretamente no *rack* e placas “espetadas” em *slots* de *shelves* de telecomunicações.

A Figura 8-16 consiste em uma suposta solução de *OTN Switch* por parte de um fabricante de acordo com a arquitetura disposta em (Dilem et al. 2013). Nesta solução as funcionalidades de *Controller Card*, ODU Switch e WSS foram implementadas em componentes acopláveis ao *rack*, enquanto as funcionalidades CIC, NIC e OIC foram implementadas em Placas removíveis em *shelves* de telecomunicações. Vale enfatizar, que a suposição não consiste em regra, e que a arquitetura desenvolvida visa comportar inúmeras variações de disposição e implementações de dispositivos *OTN Switch*.

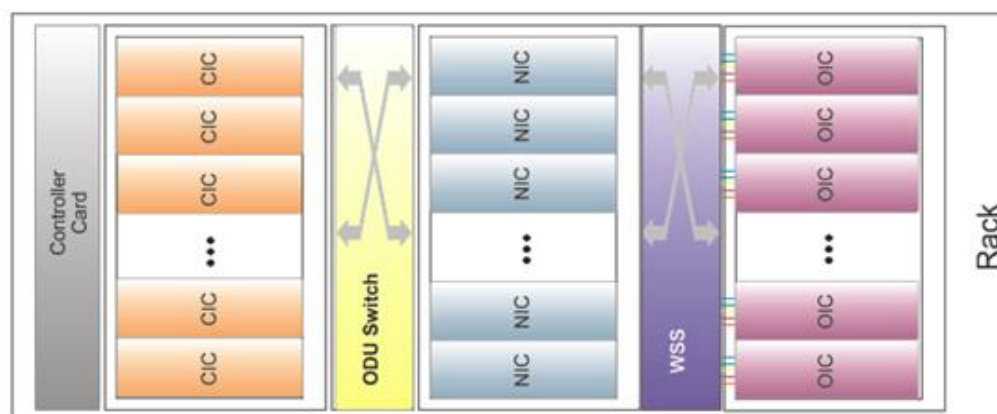


Figura 8-16: *rack OTN Switch*

Para representar componentes como *rack*, *shelf* e placas é proposto o uso das classes *EquipmentHolder*, *ManagedElement* e *Equipment* presentes no modelo de dados de equipamentos do TMForum 608.

Para representar o *OTN Switch* é utilizada a classe TMF 608 *ManagementElement*, pois representa uma abstração de um conjunto de recursos físicos co-localizados gerenciados por uma única entidade. Segundo o documento (TMForum-SD1-25

2005), sobre nomenclatura de objetos, um objeto *ManagementElement* é nomeado da seguinte maneira:

- ManagedElement
 1. name = "EMS"; value = "*CompanyName/EMSname*"
 2. name = "ManagedElement"; value = "*ManagedElementName*"

A presença da identificação do *EMS* na nomenclatura do *ManagedElement* se deve a regra geral de nomenclatura disposta no TMF 608, que consiste em uma cadeia hierárquica de caracteres que descreve o objeto chamado, elemento gerenciado e *EMS*, assim como o *EquipmentHolder* e *Equipment* que são nomeados da seguinte forma:

- EquipmentHolder
 1. name = "EMS"; value = "*CompanyName/EMSname*"
 2. name = "ManagedElement"; value = "*ManagedElementName*"
 3. name = "EquipmentHolder"; value = "*EquipmentHolderName*"
- Equipment
 1. name = "EMS"; value = "*CompanyName/EMSname*"
 2. name = "ManagedElement"; value = "*ManagedElementName*"
 3. name = "EquipmentHolder"; value = "*EquipmentHolderName*"
 4. name = "Equipment"; value = "*EquipmentName*"

Conforme Figura 8-17, o componente lógico *OTN Switch* é representado na MIB por uma instância da classe *ManagedElement*, o *rack* por uma instância da classe *EquipmentHolder*, assim como o *Shelf* e *Slot*.

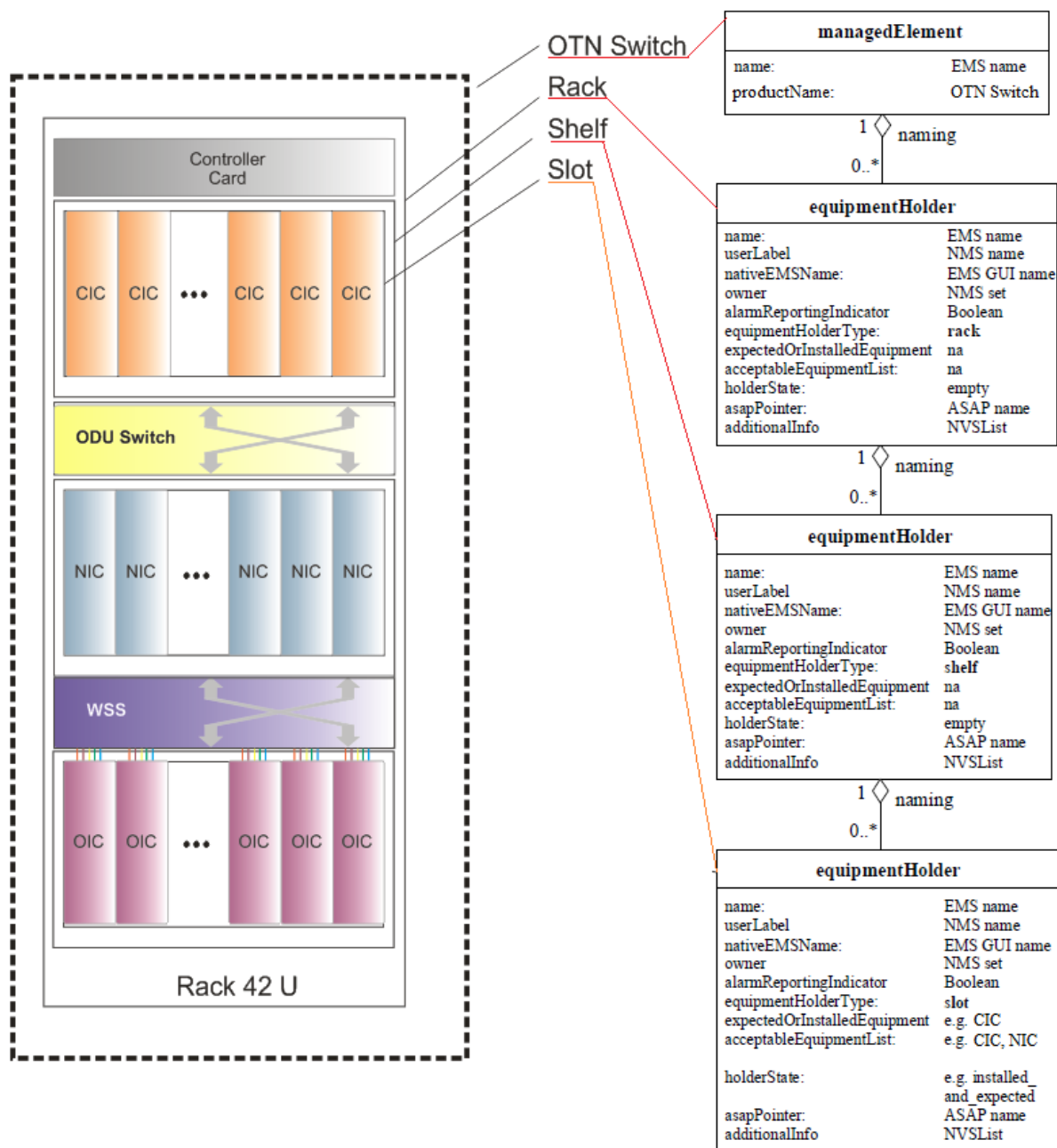


Figura 8-17: Representação do *OTN Switch* em classes TMF 608.

O equipamento CIC, assim como o NIC e OIC é representado por uma instância da classe *Equipment*, Figura 8-18, interno ao *Slot* instanciado no *EquipmentHolder*.

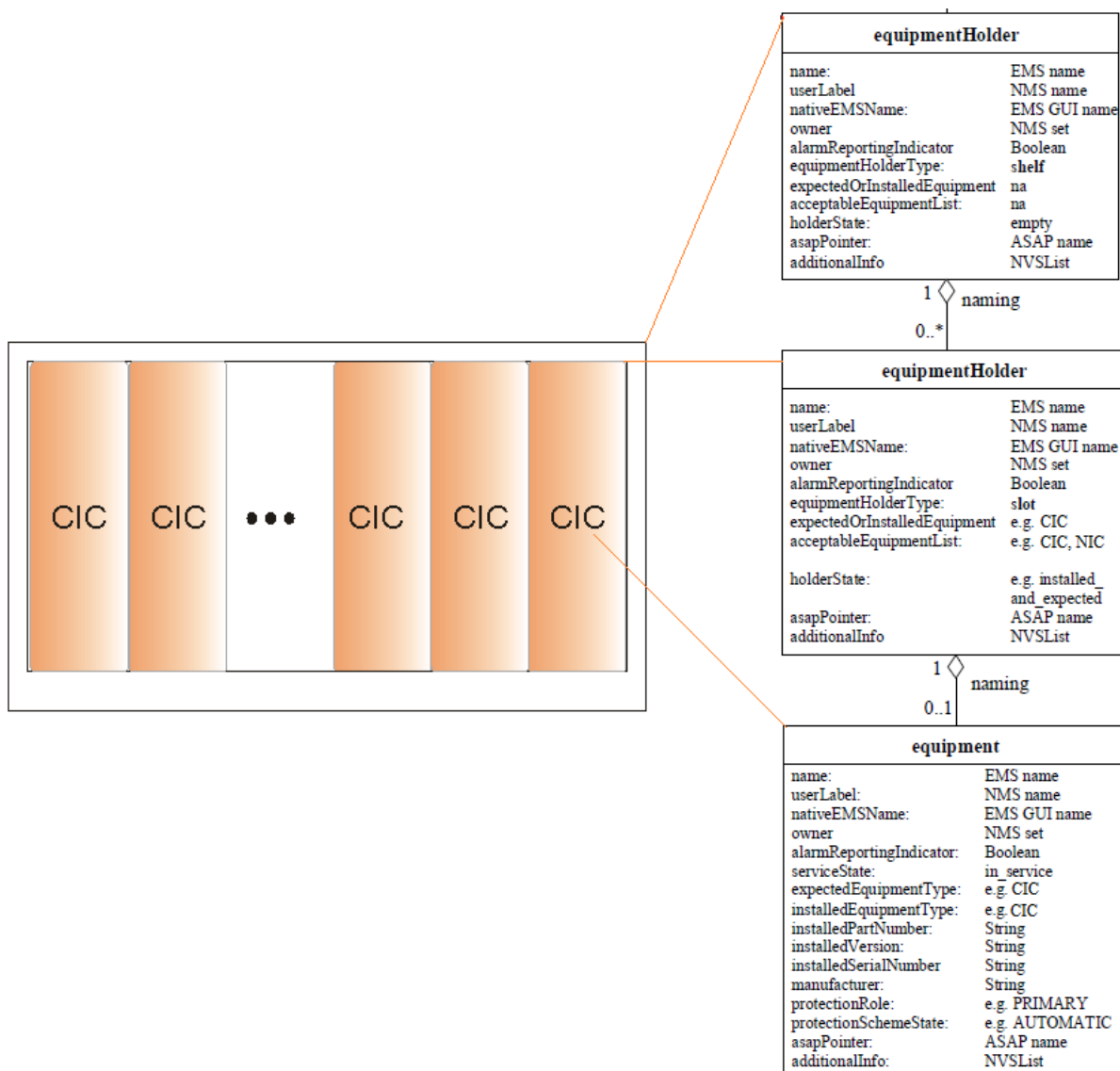


Figura 8-18: Representação do CIC em classes do TMF 608.

Para o caso de um elemento com múltiplos componentes conforme o elemento OIC apresentado na Figura 1-1, a representação pode se dar conforme a Figura 8-19, onde o equipamento OIC é instanciado na classe *Equipment*, logo abaixo hierarquicamente do elemento que o contém, no caso específico em um *rack* instanciado em um *EquipmentHolder*. Os diversos dispositivos que compõe o OIC são instanciados em pares *sub-slot/Equipment* conforme Figura 8-19.

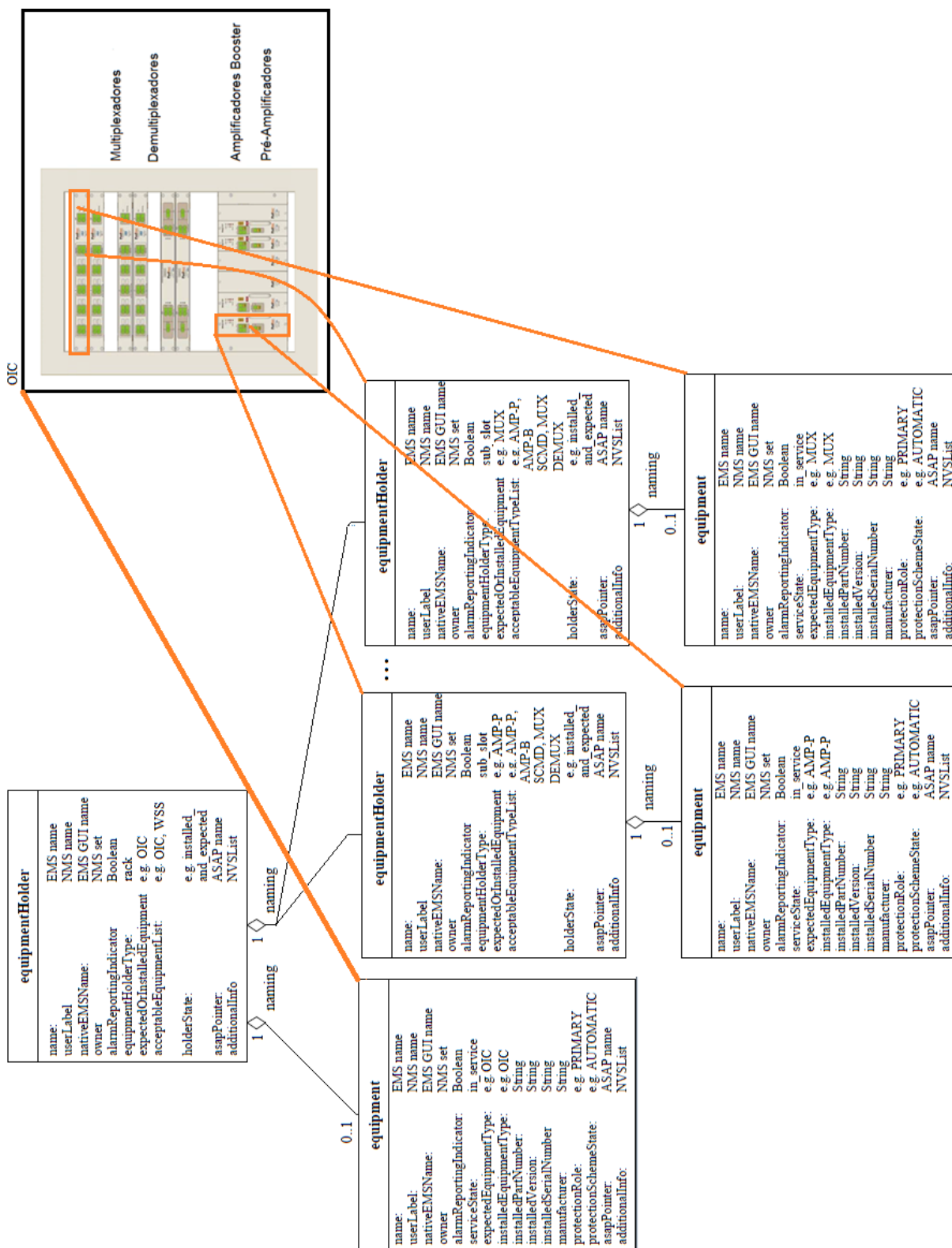


Figura 8-19: Representação OIC com múltiplos componentes em classes TFM 608.

A Figura 8-20 ilustra a representação completa do *OTN Switch*, apresentado no exemplo, nas classes do modelo de elemento de rede do TFM 608. Nesta representação assume-se que todo o *OTN Switch* esteja contido em um só *rack*, porém, nem sempre é possível que a disposição dos componentes se dê de forma

tão compacta. Contudo, a representação utilizada suporta um modelo de *OTN Switch* que tenha suas funcionalidades espalhadas por diversos *racks*. Esse fato geraria diversas instancias em *EquipmentHolders* abaixo da instância do *OTN Switch* na classe *ManagedElement*.

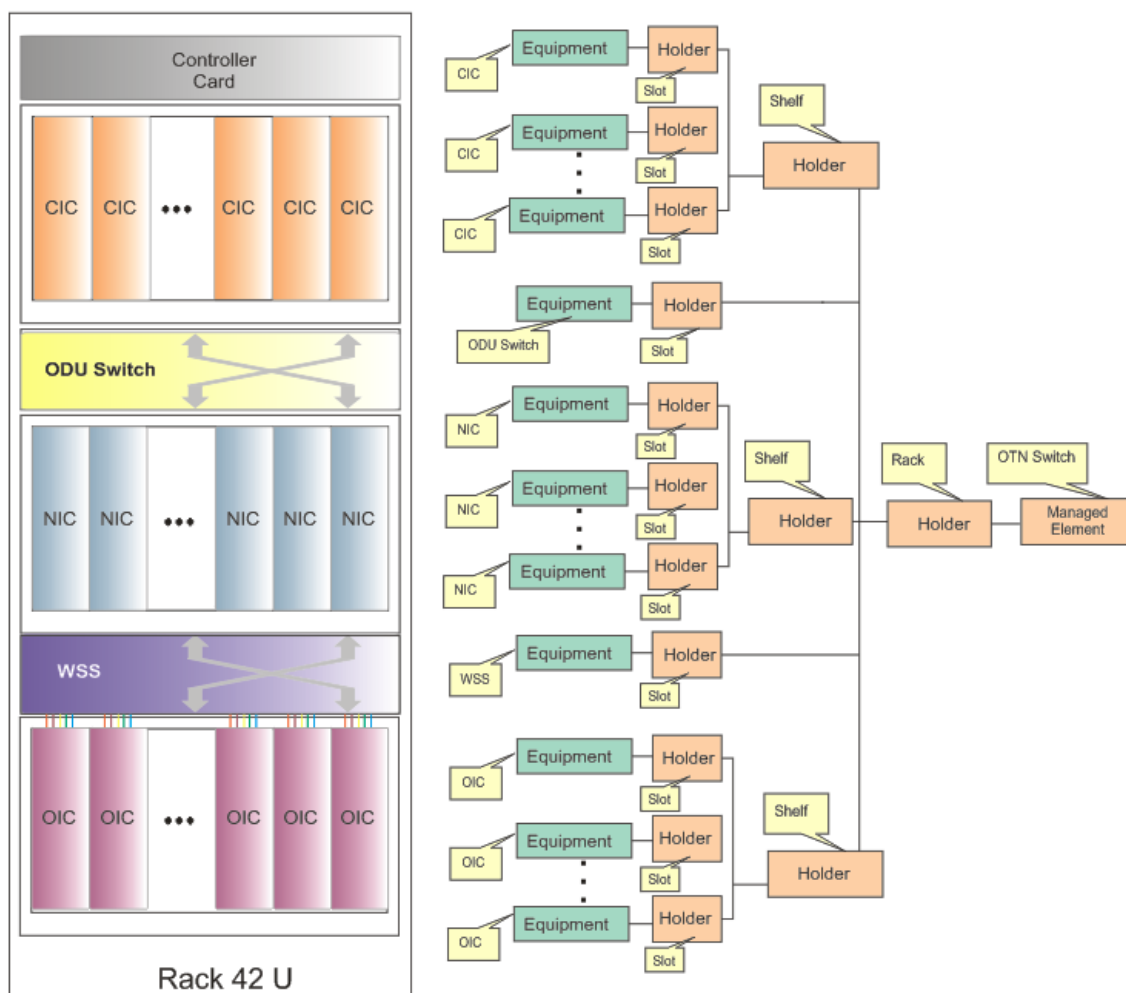


Figura 8-20: Representação dos componentes físicos do *OTN Switch* segundo TMF 608.

Para oferecer ao Sistema Operacional de Suporte (OS) e ao operador de rede um modelo de informação que possibilite a configuração de cross-conexão elétrica entre CICs e NICs, e cross-conexão óptica entre NICs e OICs é adicionada a funcionalidade “connect” à classe *ManagedElement* do *OTN Switch*.

Quanto à cross-conexão elétrica, quatro possibilidades de conexões, unidirecionais e bidirecionais, são possíveis:

1. connect : CIC -> CIC
2. connect: CIC -> NIC

3. connect: NIC->CIC

4. connect: NIC->NIC

Quanto à cross-conexão óptica, quatro possibilidades de conexões, unidirecionais e bidirecionais, são possíveis:

1. connect : NIC -> NIC

2. connect: NIC -> OIC

3. connect: OIC->NIC

4. connect: OIC->OIC

A execução da funcionalidade de conexão em nível de equipamento, conforme especificado, consiste de uma série de passos de configuração e restrições envolvendo as funções atômicas de cada equipamento. Procedimento esse, segundo a proposta dessa dissertação, será apoiado pelo inventário e gerência de configuração segundo as recomendações da ITU-T. O processo de conexão em nível de equipamento é abordado na seção 3.2.

8.6 REPRESENTAÇÃO DAS FUNÇÕES ATÔMICAS DO *OTN Switch* SEGUNDO RECOMENDAÇÃO ITU-T G.874.1.

As funções atômicas dos componentes do *OTN Switch* estão mapeadas em (Dilem et al. 2013). Contudo, esse mapeamento é apenas o primeiro passo rumo à representação dos componentes do *OTN Switch* em classes do modelo de dados disposto na Recomendação ITU-T G.874.1.

Conforme se segue, cada componente da arquitetura do *OTN Switch* é mapeado em instâncias de classes do modelo da Recomendação ITU-T G.874.1:

8.6.1 Representação do *Client Interface Card* nas estruturas de classe do modelo da Recomendação ITU-T G.874.1:

A Figura 8-21 apresenta a CIC-4, uma *Client Interface Card* que comporta o sinal *Constant Bit Rate* - CBR com taxa de 100G. O par bidirecional de Terminações de Trilha de ODU4 é representado no modelo de informação da ITU-T G.874.1 como uma instância da classe *ODUk_TrailTerminationPoint*, com seu parâmetro “k” valorado em quatro (4) devido a sua taxa de dados. A função atômica, bidirecional, de adaptação do sinal CBR4 em ODU4 é representado no modelo de informação da ITU-T G.874.1 como uma instância da classe *ODUkClient_ConnectionTerminationPoint*, com parâmetro do tipo enumerado *adaptationType*, que indica o tipo suportado pela função de adaptação, é valorado em (1)CBR.

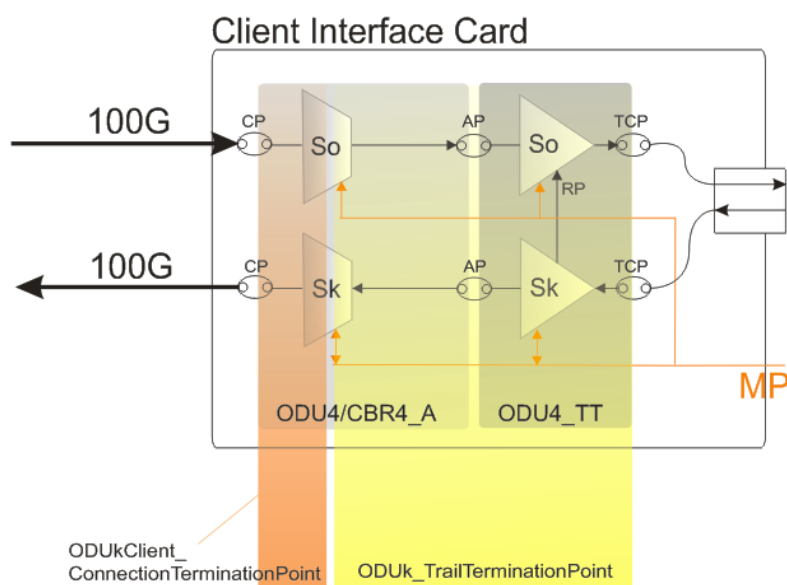


Figura 8-21: Mapeamento de CIC-4 em classes da recomendação ITU-T G.874.1

A relação entre as classes *ODUkClient_ConnectionTerminationPoint* e *ODUk_TerminationPoint* pode ser extraída do modelo de representação principal, Figura 8-22, onde a mesma corresponde a uma composição, ou seja, uma *ODUkClient_ConnectionTerminationPoint* é parte de uma *ODUk_TerminationPoint* em uma relação de um para um. A seta no relacionamento é indicativa de navegabilidade, ou seja, uma *ODUk_TerminationPoint* tem ciência do *ODUkClient_ConnectionTerminationPoint* a ele conectado, porém o contrário não acontece.

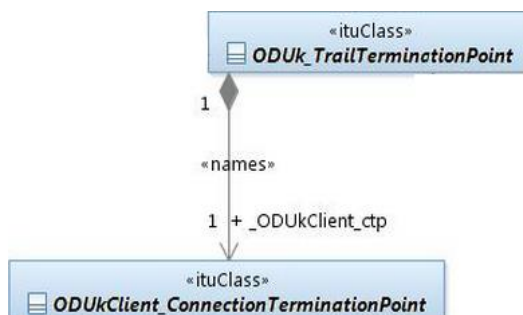


Figura 8-22: Classes *ODUk_TrailTerminationPoint* e *ODUk_Client_ConnectionTerminationPoint*, (ITU-T G.874.1 2012).

8.6.2 Representação do *Controller Card* conforme Recomendação ITU-T G.874 e ITU-T G.7710:

O Componente *Controller Card* é responsável pela gerência do *OTN Switch* em nível de elemento de rede, ou seja, exerce as funcionalidades de EMF e MCF do *OTN Switch*. De acordo com a proposta desta dissertação o *Controller Card* através do MP recebe as informações necessárias para povoar o inventário do elemento de rede e instanciar em sua MIB os objetos gerenciados.

A partir do inventário do elemento de rede, a gerência de configuração pode oferecer interface para que os parâmetros do recurso possam ser configurados, controlados e mantidos. É possível também oferecer informações sobre os recursos a níveis mais altos de gerenciamento através do MCF.

A arquitetura interna do *Controller Card* segue a disposta nas Recomendações (ITU-T G.874 2013) e (ITU-T G.7710 2012) conforme a parte interna da Figura 8-23.

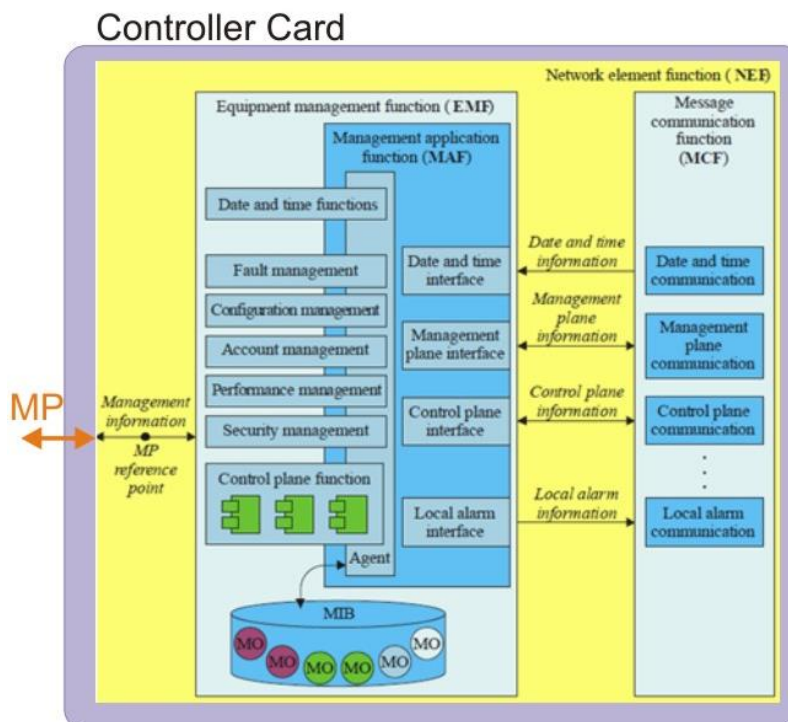


Figura 8-23: Arquitetura interna do Controller Card (Dilem et al. 2013).

8.6.3 Representação do *Network Interface Card* conforme classes do modelo da Recomendação ITU-T G.874.1

De acordo com (Dilem et al. 2013) a NIC apresenta elementos funcionais referentes ao caminho fim-a-fim elétrico, inserção de informações de gerenciamento e correção de erros (FEC – *Forward Error Correction*) e, quando necessário, provimento de estágios de multiplexação de ODU. É na NIC que acontece a conversão O-E-O. A Figura 8-24 apresenta uma NIC-4, que representa a porta configurada para receber um sinal ODU4, adaptá-lo para a camada OTU4 e posteriormente na camada OCh que o modula em um comprimento de onda. De acordo com a Figura 8-24 a presença das funcionalidades *OTU4_ODU4_A* e *OTU4_TT* na NIC gerarão instâncias das classes *ODUk_ConnectionTerminationPoint* e *ODUk_TrailTerminationPoint*, a presença das funcionalidades *OCh_OTU4_A* e *OCh_TT* na NIC gerarão, respectivamente, instâncias das classes *OTUk_ConnectionTerminationPoint* e *OCh_TrailTerminationPoint* na gerência do *OTN Switch*.

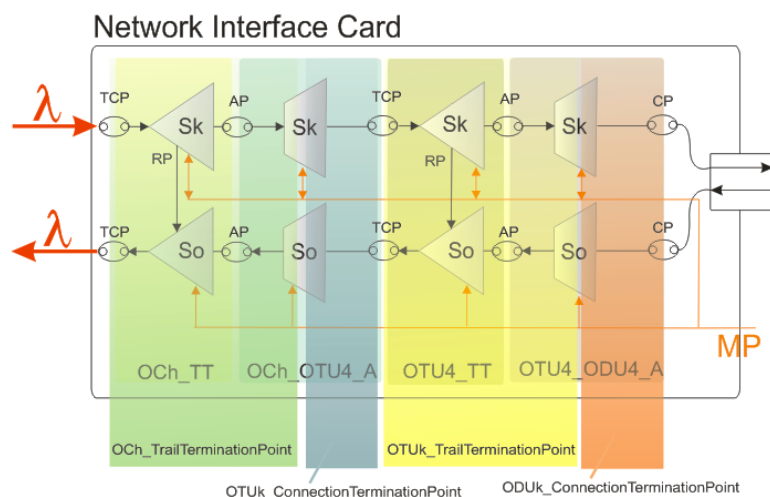


Figura 8-24: Mapeamento PortODU4Line em classes do modelo de informação G.774.1.

A relação entre as classes *OCh_TrailTerminationPoint* e *OTUk_ConnectionTerminationPoint* é semelhante à apresentada anteriormente entre a função de terminação de trilha e adaptação do componente CIC. Da mesma forma, a classe *OTUk_ConnectionTerminationPoint* é parte da *OCh_TrailTerminationPoint*, que tem ciência do *OTUk_ConnectionTerminationPoint* ligado a ele, Figura 8-25.

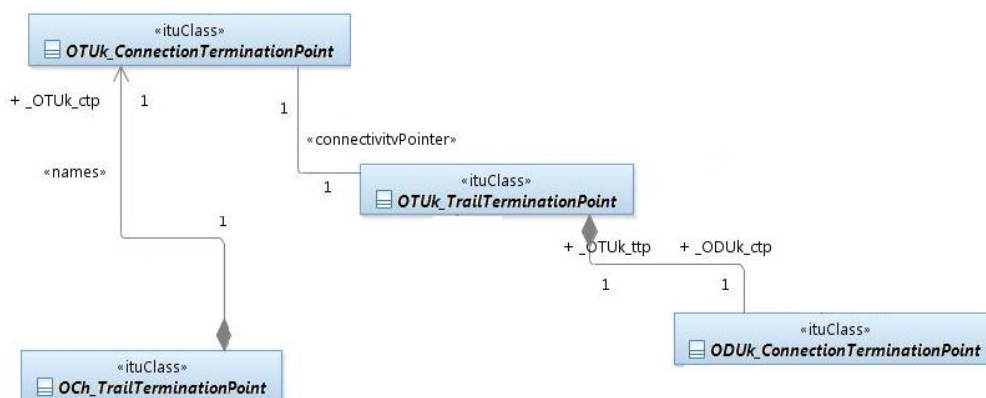


Figura 8-25: classes do mapeamento das camadas OCh e OTUk.

As classes *OTUk_ConnectionTerminationPoint* e *OTUk_TrailTerminationPoint* se relacionam através de um ponto de conexão “*connectivityPointer*”, essa conexão é instanciada a partir do Ponto de Conexão de Terminação (*Termination Connection Point* - TCP) entre as classes OCh/OTU4_A e OTU4_TT.

A classe *ODUk_ConnectionTerminationPoint* é parte da *OTUk_TrailTerminationPoint* em uma relação um para um, sem direcionalidade, ou seja, ambos têm conhecimento sobre os outros. Conhecimento este indicado pelo parâmetro

A operação **connect()** e **disconnect()** na classe *ODUk_Subnetwork* realiza sobre as instâncias *ODUkTrailTerminationPoint* (*ODUk_TTP*) e *ODUk_ConnectionTerminationPoint* (*ODUk_CTP*): quatro tipos de ligações

1. *ODUk_CTP Sink* e *ODUk_CTP Source*;
2. *ODUk_TTP Sink* e *ODUk_TTP Source*;
3. *ODUk_CTP Sink* e *ODUk_TTP Sink*;
4. e *ODUk_CTP Source* e *ODUk_TTP Source*.

que podem ser unidirecionais ou bidirecionais. O apêndice 8.3 oferece uma visão da instanciação das SNCs de ODU para os quatro tipos de operação.

8.6.5 Representação do *Optical Interface Card* conforme classes do modelo da Recomendação ITU-T G.874.1.

No OIC é realizada a multiplexação e demultiplexação de comprimentos de onda, bem como a inserção do canal de controle, amplificação óptica e mecanismos de aferição quanto à qualidade do sinal óptico recebido referente às Funções Atômicas OMS e OTS da recomendação (ITU-T G.798 2012). A Figura 8-28 apresenta o mapeamento das Funções Atômicas supracitadas em classes do modelo da Recomendação ITU-T G.874.1. Nota-se que as AFs *OMS_OCh_A* e *OMS_TT* presentes no OIC geram instâncias das classes *OCh_ConnectionTerminationPoint* e *OMS_TrailTerminationPoint*, enquanto as AFs *OTS_OMS_A* e *OTS_TT* geram instâncias das classes *OMSn_ConnectionTerminationPoint* e *OTSn_TrailTerminationPoint*.

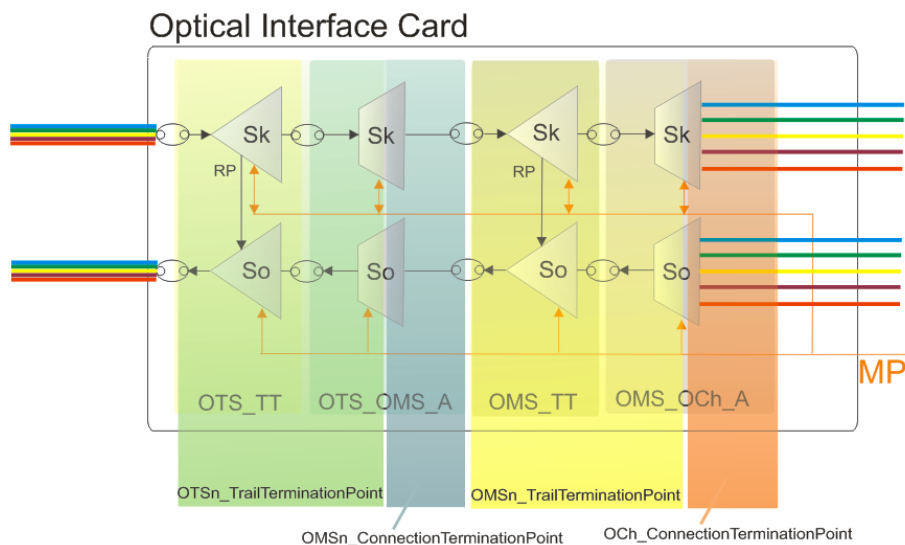


Figura 8-28: Mapeamento do OIC em classes do modelo da Recomendação ITU-T G.874.1.

A relação entre as classes *OCh_ConnectionTerminationPoint* e *OMSn_TrailTerminationPoint* e entre as classes *OMSn_ConnectionTerminationPoint* e *OTSn_TrailTerminationPoint* consiste em uma composição com direcionalidade. A classe OMS não oferece flexibilidade, portanto, a relação entre as classes *OMSn_TrailTerminationPoint* e *OMSn_ConnectionTerminationPoint* acontece por meio do ponto de conectividade “*connectivityPointer*” em uma relação de um pra um, Figura 8-29. Além das classes supracitadas é instanciada uma classe OTM-n para cada OIC presente no OTN Switch.

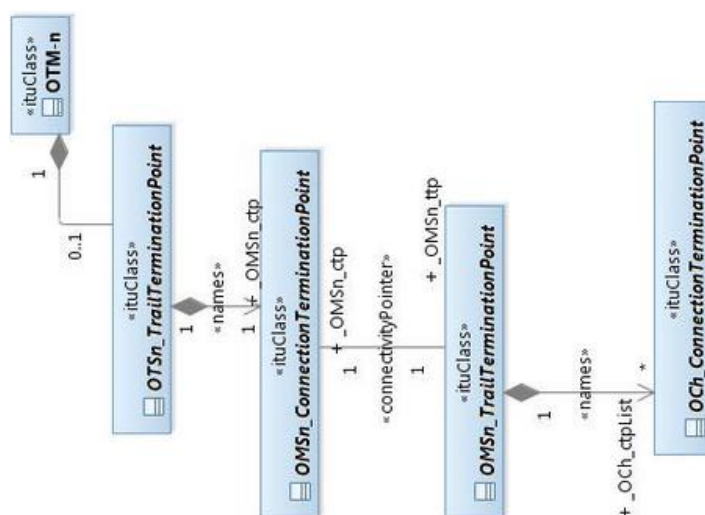


Figura 8-29: Classes do mapeamento das camadas OMS e OTS do OIC.

8.6.6 Representação do WSS conforme classes do modelo da Recomendação ITU-T G.874.1

O WSS é o equipamento responsável pela cross conexão de comprimentos de onda no nível óptico, de modo a oferecer a funcionalidade de OCh_C provendo flexibilidade à camada OCh. A presença da funcionalidade OCh_C no WSS produz uma instância da classe *OCh_Subnetwork* na MIB do *OTN Switch*, Figura 8-30. O mapeamento do WSS em instâncias do modelo de classes da Recomendação ITU-T G.874.1 é bem parecido com o mapeamento realizado no ODU Switch.

A relação das terminações de trilha e adaptações OCh conectadas às suas portas CP oferecem informações para que as listas *OCh_ttp_list* e *OCh_ctp_list*, parâmetros da classe *OCh_Subnetwork*, sejam povoadas, Figura 8-31.

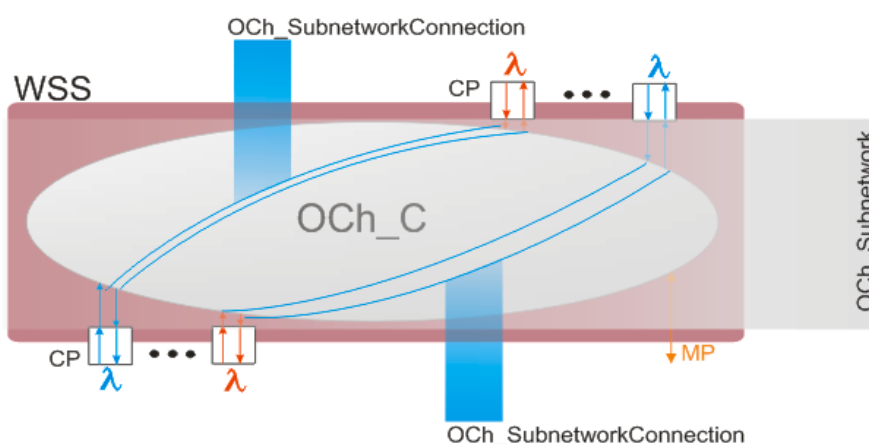


Figura 8-30: Mapeamento do WSS em classes da Recomendação ITU-T G.874.1

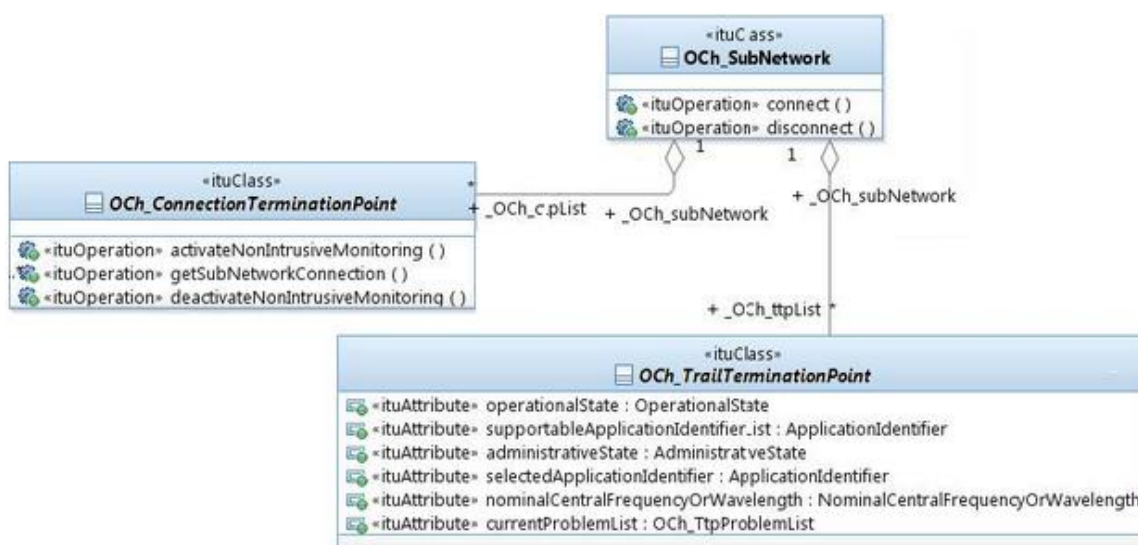


Figura 8-31: *OCh_ConnectionTerminationPoints* e *OCh_TrailTerminationPoints* ligados à *OCh_Subnetwork*.

