

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
ENGENHARIA ELETRÔNICA E DE TELECOMUNICAÇÕES

LUCAS NATHAN NOGUEIRA

ESTUDO DE CORRELAÇÃO DE ALARMES EM REDES
ÓPTICAS DE TRANSPORTE

PATOS DE MINAS

2018

LUCAS NATHAN NOGUEIRA

ESTUDO DE CORRELAÇÃO DE ALARMES EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

Trabalho apresentado como um dos requisitos para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações da Universidade Federal de Uberlândia – Campus Patos de Minas.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Aguiar da Costa

PATOS DE MINAS
2018

LUCAS NATHAN NOGUEIRA

ESTUDO DE CORRELAÇÃO DE ALARMES EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

Trabalho apresentado como um dos requisitos para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações da Universidade Federal de Uberlândia – Campus Patos de Minas.

Patos de Minas, 13 de dezembro de 2018.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. André Luiz Aguiar da Costa
Universidade Federal de Uberlândia
Orientador

Profa. Ms. Priscila Crisfir Almeida Diniz
Universidade Federal de Uberlândia
Examinador 1

Prof. Dr. Pedro Luiz Lima Bertarini
Universidade Federal de Uberlândia
Examinador 2

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores do curso Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações, do campus Patos de Minas, por toda a dedicação, por seus esforços e pela excelente didática.

Ao meu orientador, Prof. Dr. André Luiz Aguiar da Costa, pela paciência, por todos os ensinamentos e orientações ao longo deste período e no decorrer do curso.

À Prof.^a Dr.^a Eliana Pantaleão, que aceitou me coorientar no trabalho inicialmente proposto.

Ao Prof. Dr. Pedro Luiz Lima Bertarini e a Profa. Ms. Priscila Crisfır Almeida Diniz, por aceitarem participar como examinadores deste trabalho.

Agradeço a Universidade Federal de Uberlândia pela oportunidade cursar a Graduação em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações de forma gratuita e com qualidade.

Agradeço, também, aos meus familiares, minha namorada e meus amigos, por me apoiarem durante todos esses anos.

RESUMO

A grande demanda mundial por serviços de telecomunicações, que é crescente, requer que as tecnologias de transporte ópticas evoluam a um ponto onde sejam necessários sistemas que possibilitem mais qualidade em seus serviços, assim como gerenciamento e monitoramento do sinal transportado. Visando esta necessidade, o OTN surgiu de modo a aperfeiçoar essas redes. Para auxiliar na evolução da tecnologia OTN, a ITU-T criou uma série de normas (ou padronizações) que garantem a funcionalidade desta inovação nas redes ópticas. Esta monografia tem como objetivo realizar um estudo destas normas definidas pela a ITU-T, tendo como foco o monitoramento e a propagação dos alarmes gerados.

Palavras-chave: Rede de Transporte Óptico, Unidade de Dados de Canal Óptico, Carga Óptica do Canal, Unidade de Transporte Óptico.

ABSTRACT

The great world-wide demand for more services of telecommunications, makes with that to the optic technologies of transport it evolved to a point where, is necessary systems that more quality in its services makes possible, as well as, management and monitoring of the carried signal. Aiming at this necessity the OTN, appeared of way, to perfect these nets. To assist in the evolution of technology OTN the ITU-T, it created a series of norms (or standardizations) that they guarantee the functionality of this innovation in the optic nets. This monograph has as objective to carry through a study of these norms defined for a ITU-T, being had as focus the monitoring and the propagation of the generated alarms.

Keywords: Net of Optic Transport, Unit of Data of Optic Canal, Optic load of the Canal, Unit of Optic Transport.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Hierarquia do padrão OTN	14
Figura 2: Estrutura do padrão OTN.....	15
Figura 3: Camadas de atuação do OTN.....	16
Figura 4: Estrutura do quadro OTN.....	17
Figura 5: Estrutura do quadro OTUk.....	18
Figura 6: Estrutura de alinhamento FAS.	18
Figura 7: Cabeçalho SM.....	19
Figura 8: Cabeçalho do quadro ODUk.....	22
Figura 9: Campo PM	23
Figura 10: Estrutura de monitoramento conexões TCM	24
Figura 11: Estrutura do cabeçalho do quadro OPUk.....	26
Figura 12: Estrutura TTI.....	30
Figura 13: Estrutura TTI no cabeçalho do quadro ODUk.	31
Figura 14: Processamento de erro BIP-8.....	32
Figura 15: Representação do 3º <i>byte</i> do cabeçalho SM.....	34
Figura 16: Representação do 3º <i>byte</i> do cabeçalho SM indicando a normalização do IAE.....	36
Figura 17: Representação do <i>byte</i> SM que indica a ocorrência de uma BDI.	36
Figura 18: Condição para anular a BDI.....	37
Figura 19: Exemplo TTI, multiponto a ponto.....	40
Figura 20: Cenário incorreto para TTI multiponto a ponto.	41
Figura 21: Cenário correto para o TTI ponto a multiponto.	43
Figura 22: Cenário incorreto para o TTI ponto a multiponto.	43
Figura 23: Cenário correto para o TTI ponto a ponto	44
Figura 24: Hierarquias dos alarmes OTN.....	46
Figura 25: Erro de <i>bits</i> em um enlace ponto a ponto.....	47
Figura 26: Erro de <i>bit</i> para um enlace ponto a multiponto.....	49
Figura 27: Conexão alinhada e sem sinal de alarme na gerência.	51
Figura 28: Falha por degradação do sinal.....	52
Figura 29: Falha por degradação do sinal, exemplo 2.....	52
Figura 30: Atenuação no sinal.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Representação das taxas de <i>bits</i> para o quadro OTUk.....	17
Tabela 2: Taxas de <i>bits</i> para o quadro ODU	22
Tabela 3: Taxas de <i>Bits</i> do Quadro OPU.....	26
Tabela 4: Interpretação para os <i>bytes</i> PJO e NJO.....	28
Tabela 5: Tabela Verdade XOR	32
Tabela 6: Representação binarias para os erros BEI, BIAE do campo SM.....	33
Tabela 7: Sinal de Status.	38

LISTA DE ABREVIACÕES

AIS - Sinal de Indicação de Alarme - (*Alarm Indication Signal*),

API - Identificação dos Pontos de Acessos - (*Access Point Identifier*)

APS - Comutação Automática de Proteção - (*Automatic Protection Switching*)

BDI - Identificador de Defeito de Atraso - (*Backward Defect Indication*),

BEI - Indicação de erro inverso - (*Backward Error Indication*)

BIAE - (*Backward Incoming Alignment Error*)

BIP-8 - Paridade Intercalada de Bit 8 - (*Bit Interleaved Parity 8*)

CM ACT - Ativação de Monitoramento de Conexão - (*Tandem Connection Monitoring Activation*)

DAPI - Identificador do ponto de acesso ao destino - (*Destination Access Point Identifier*)

DC DP 16QAM - Modulação de Amplitude em Quadratura em duas Polarizações e com duas Portadoras- (*Dual Polarization Quadrature Phase Shift Keying*)

DC DP BPSK - Modulação por Desvio de Fase Binário em Duas Polarizações com Duas Portadoras - (*Dual Carrier Dual Polarization Binary Phase Shift Keying*)

DMp - Medição de atraso - (*Delay Measurement*)

DP 16QAM - Modulação de Amplitude em Quadratura em duas Polarizações - (*Dual Polarization Quadrature Phase Shift Keying*)

DP BPSK - Modulação por Desvio de Fase Binário em Duas Polarizações - (*Polarization Binary Phase Shift Keying*)

DP QPSK - Modulação por Desvios de Fase em Quadratura em Duas Polarizações - (*Dual Polarization Quadrature Phase Shift Keying*)

DSL - Linhas de Assinantes Digitais - (*Digital Subscriber Line*)

EXP - Experimental - (*Experimental*)

FAS - Área de Alinhamento de Quadros - (*Frame alignment area*)

FDM - Multiplexação por Divisão de Frequência - (*Frequency Division Multiplexing*)

FEC - Código Corretor de Erro - (*Forward Error Correction*)

FTFL - Tipo de falha e localização da falha - (*Fault Type and Fault Location*).

GCC - Canal de Comunicação Geral (*General Communication Channel*)

HDTV - Televisão de Alta Definição - (*High-Definition Television*)

IAE - Erros de Alinhamento Recebido - (*Incoming Alignment Error*)

IP - Protocolo para Internet (*Internet Protocol*)

ITU - União Internacional de Telecomunicações - (*International Telecommunication Union*)

JC - Controle de Justificação - (*Justification Control*)

LCK - Bloqueado (*Locked*)

LOF - Falha dos Quadros - (*Loss of Frame*)

LOM - Falha nos Múltiplos Quadros - (*Loss of Mult'frame*)

LOS - Perca de Potência do Sinal - (*Loss of Signal*)

LOS sync - Falha de Sincronismo - (*Loss of synchronize*)

MFAS - Sinal de Alinhamento Múltiplos Quadros - (*MultiFrame Alignment Signal*)

NJO - (*Negative Justification Opportunity*)

OA1 - Alinhamento Óptico 1 - (*Optical Alignment 1*)

OA2 - Alinhamento Óptico 2 - (*Optical Alignment 2*)

OCh - Seção de canal Óptico - (*Optical Channel*).

OCI - Indicação de Conexão Aberta - (*Open Connection Indication*),

ODUk - Unidade de Dados do Canal óptico - (*Optical channel Data Unit*)

OMS - Seção Multiplexada Óptica - (*Optical Multiplexed Section*)

OPUk - Unidade de Dados Úteis do Canal Óptico - (*Optical channel Payload Unit*)

OTN - Redes de Transporte Óptico - (*Optical Transport Network*)

OTS - Seção de Transmissão Óptica - (*Optical Transmission Section*)

OTUk - Unidade de Transporte Ótico - (*Optical Transport Unit*)

PCC - Canal de comunicação de proteção - (*Protection Communication Channel*)

PJO - (*Positive Justification Opportunity*)

PM - Monitoramento de Caminho - (*Path Monitoring*)

PPM - Uma Parte de *Bits* Errados por Milhão de *Bits* Corretos

PSI - Indicador de Estrutura de Payload - (*Payload Structure Identifier*)

PT - (*Payload Type*)

QoS - Qualidade de Serviço - (*Quality of Service*)

RES - Reservado (*Reserved*)

SAPI - Identificador do Ponto de Acesso da Fonte - (*Source Access Point Identifier*)

SDH - Hierarquia Digital Síncrona - (*Synchronous Digital Hierarchy*)

SM - Seção de Monitoramento - (*Section Monitoring*)

SONET - Redes Ópticas Síncronas - (*Ronous Optical Networking*)

STM-16 - (*Synchronous Transpor Module level N*)

TCM - Monitoramento de Conexão - (*Tandem Connection Monitoring*).

TCM ACT - Ativação de Monitoramento de Conexão - (*Tandem Connection Monitoring Activation /Deactivation Control Channel*).

TTI - Identificador de Trilha - (*Trail Trace Identifier*)

WDM - Multiplexação por Divisão de Comprimento de Onda - (*Wavelength Division Multiplexig*)

SUMÉRIO

CAPÍTULO 1	10
1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Problemas	12
1.2 Objetivos	12
1.2.1 Objetivos Gerais	12
1.2.2 Objetivos Específicos	12
1.3 Justificativas	13
1.4 Proposta de Estudo e Organização do Trabalho	13
CAPÍTULO 2	14
2 HIERARQUIA DO OTN	14
2.1 Quadro OTUk	17
2.1.1 Campo de alinhamento de quadro (FAS)	18
2.1.2 Alinhamento de múltiplos quadros (MFAS)	19
2.1.3 Seção de Monitoramento (SM)	19
2.1.4 Canal de comunicação geral (GCC)	21
2.1.5 Futuras padronizações das redes ópticas (RES)	21
2.2 Quadro ODUk	21
2.2.1 Cabeçalho PM	23
2.2.2 Monitoramento de conexões (TCM)	24
2.2.3 Ativação de Monitoramento de Conexão (TCM ACT)	25
2.2.4 Tipo de Falha e Localização de Falha (FTFL)	25
2.2.5 Canal de Comunicação Geral (GCC1 e GCC2)	25
2.2.6 Canal de Comunicação de Proteção / Proteção do Canal de Comunicação (APS / PCC)	25
2.2.7 Experimental (EXP)	26
2.3 Quadro OPU	26
2.3.1 Indicador de Estrutura de Carga Útil (PSI)	27
2.3.2 Justificação (JC, NJO, PJO)	27
CAPÍTULO 3	29
3 ALARMES	29
3.1 Identificador de trilha TTI	29
3.2 Campo de paridade intercalada BIP-8	32
3.3 Identificador de erro de atraso e de alinhamento e atraso BEI e BIAE	33
3.4 Erro de alinhamento IAE	34
3.5 Indicador de defeito de atraso BDI	36
3.6 Status	37
3.6.1 Sinal de indicação de Alarme AIS	38
3.6.2 Indicação de conexão aberta OCI	38
3.6.3 Canal bloqueado LCK	38
CAPÍTULO 4	40
4 EXEMPLOS DE CORRELAÇÕES DE ALARMES	40
4.1 Exemplos TTI	40
4.1.1 Multiponto a ponto	40
4.1.2 Ponto a Multiponto	42
4.1.3 Ponto a Ponto	44
4.2 Alarmes presentes nos cabeçalhos ODUk e OTUk	46
4.2.1 Erro de <i>Bits</i>	47

4.2.2 Degradação do Sinal.....	51
CAPÍTULO 5.....	55
5 CONCLUSÃO E ESTUDOS FUTUROS	55
5.1 Conclusão	55
5.2 Estudos Futuros	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o mercado de telecomunicações está vivenciando mudanças dramáticas devido ao novo estilo de vida da população mundial. A necessidade de se comunicar, quase que em tempo real, é um dos fatores mais desejados pelos usuários em geral, requerendo, portanto, uma maior demanda de capacidade de tráfego nas redes de telecomunicações. Essa demanda é alimentada pelo crescimento exponencial do número de usuários, que a cada dia estão ficando mais tempo conectados e exigindo mais taxa de transferência nos serviços contratados. Com base nesse crescimento, os operadores estão em uma luta constante para proporcionar mais largura de banda por usuário [1].

A procura por acesso aos servidores de internet cresce rapidamente ano a ano. Algumas estimativas dizem que ocorre uma duplicação de usuário na rede a cada quatro a seis meses. Apesar de ocorrer variações nestas estimativas, o crescimento é sempre alto [1]. Uma das estimativas mais recentes mostra que há um aumento de cerca de 50% ao ano. Enquanto isso, as tecnologias que proporcionam acesso de banda larga, tais como linhas de assinantes digitais (DSL - *Digital Subscriber Line*) e os modems a cabo, estão sendo renovadas em uma taxa cada vez maior, de modo a ampliar o acesso e reduzir os custos aos usuários. Tal custo reduzido proporciona o desenvolvimento de diversos conjuntos de aplicações que utilizam mais banda e que afetam diretamente os comportamentos padrões dos usuários. Um exemplo simples dessas alterações são os serviços de dados móveis: a medida que os custos reduzem, os usuários ficam mais tempo utilizando os serviços contratados [1].

Uma tecnologia chave que veio para amenizar a busca por banda de transmissão, que a cada dia se torna mais complexa e próxima do limite da capacidade de infraestrutura existentes, são as redes ópticas. A fibra óptica utilizada atualmente foi inicialmente proposta por Kao, Hockham e Werts, em 1966 [2], [3], e aperfeiçoado posteriormente por pesquisadores da *Corning Glass Works*, em 1970 [4]. Tal guia de onda é capaz de proporcionar transmissão em longas distâncias, apresentado perdas extremamente baixas em frequências elevadas, em torno de algumas centenas de THz, sem que antes seja necessária à amplificação ou regeneração do sinal transmitido. Desta forma, a banda de transmissão disponível pela fibra óptica é suficiente para transmitir centenas de milhões de chamadas telefônicas simultaneamente, podendo também suportar um milhão de canais de televisão de alta definição (HDTV *High-Definition Television*) [5] [6], além de serviços como

videoconferência, vídeo sobre demanda, telefonia IP, a transmissão de vídeos de ultra e alta definição, cinema digital, etc. [5] [7].

Apesar da banda de transmissão elevada proporcionada pela fibra, como mencionado anteriormente, foram criadas outras maneiras para aumentar ainda mais a capacidade de transmissão. Um método adotado foi a técnica de multiplexação por divisão de comprimento de onda (WDM, *Wavelength Division Multiplexing*). A tecnologia WDM basicamente é a mesma que a multiplexação por divisão de frequência (FDM, *Frequency Division Multiplexing*), esse método é amplamente utilizado a mais de um século pela os sistemas de transmissão de sinais de rádio. Basicamente a ideia é transmitir diferentes tipos de dados simultaneamente utilizando vários comprimentos de ondas (ou canais). Para que não haja interferência entre os comprimentos de ondas, foi adotada uma pequena faixa de guarda de modo que cada comprimento fique suficientemente afastado um do outro [1].

Outra maneira encontrada para obter mais capacidade nos sistemas de comunicações ópticos foi utilização de técnicas de modulações avançadas, comuns em sistemas de rádio, mais ainda nem tanto nos sistemas ópticos. Entre as mais importantes (utilizadas comercialmente) tem-se: modulação por desvio de fase binário em duas polarizações (DP BPSK, *Dual Polarization Binary Phase Shift Keying*), modulação por desvio de fase binário em duas polarizações com duas portadoras (DC DP BPSK, *Dual Carrier Dual Polarization Binary Phase Shift Keying*), modulação por desvios de fase em quadratura em duas polarizações (DP QPSK, *Dual Polarization Quadrature Phase Shift Keying*), Modulação de Amplitude em Quadratura em duas Polarizações (DP 16QAM, *Dual Polarization Quadrature Phase Shift Keying*) e a Modulação de Amplitude em Quadratura em duas Polarizações e com duas Portadoras (DC DP 16QAM, *Dual Polarization Quadrature Phase Shift Keying*) [8]. Desta forma, a eficiência espectral foi otimizada aumentando ainda mais a capacidade de transmissão.

Como citado anteriormente, existe diversas técnica capazes de aumentar a eficiência das comunicações ópticas, entretanto, no domínio elétrico também são aplicadas algumas maneiras de melhorar sua eficiência, tal como, a multiplexação por divisão de tempo, que tem como objetivo transmitir simultaneamente em um mesmo meio físico, seja cabo, enlace de rádio, satélite, fibra ótica ou outros, sem que haja mistura ou interferência dos canais [1].

A comutação por pacotes nas redes de transporte óptico (OTN, *Optical Transport Network*) surgiu como solução para o tráfego, sobre a fibra óptica, utilizando protocolos IP e Ethernet, além de tecnologias legadas, como as Redes Ópticas Síncronas (SONET,

Synchronous Optical Networking) e a Hierarquia Digital Síncrona (SDH, *Synchronous Digital Hierarchy*). Embora o SONET / SDH seja bastante utilizado, ele pode apresentar problemas de compatibilidade entre tecnologias já existentes, necessitando-se de circuitos extremamente complexos e caros que garantam essa compatibilidade. Desta forma, o OTN ganhou destaque devido a sua capacidade de enquadramento e gerenciamento dos pacotes de dados [9], [10].

Existe um conjunto de normas e padronizações, definido pelo ITU *International Telecommunication Union*, através de um setor *International Telecommunication Union – Telecommunications Standardization Sector*, que define o OTN como sendo uma série de conjuntos de elementos de rede ópticas conectados por enlace, onde passa a ser possível proporcionar funcionalidade de transporte, multiplexação, comutação, gerenciamento, supervisão e manutenções de canais ópticos que realizam o transporte de sinais de cliente. Basicamente o OTN consegue aperfeiçoar recursos já existentes em uma rede de transporte óptico [11].

1.1 Problemas

O grande número de tecnologias de transporte existente nas redes ópticas fez com que surgissem muitas dificuldades, como realizar o gerenciamento, monitoramento e manutenções de canais ópticos, pois a maioria destas aplicações necessitava de circuitos extremamente complexos para garantir uma padronização entre as diferentes tecnologias existentes nas redes ópticas. Desta forma, o OTN veio auxiliar estas aplicações permitindo projetar soluções para as arquiteturas de rede já existentes, e também para a evolução de serviços de novas tecnologias de transmissão.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Gerais

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo realizar um estudo sobre as normas que definem o OTN, no qual auxilie na compreensão das funções referentes ao monitoramento de erros, propagação e correlação de alarmes, que ocorrem durante o processo de transmissão dos quadros OTN.

1.2.2 Objetivos Específicos

Realizar um estudo teórico sobre as funções estabelecidas pela as normas da ITU-T, responsáveis por permitir o monitoramento, provisionamento, controle e planejamento das redes existentes na estrutura do quadro OTN;

1.3 Justificativas

A grande demanda mundial por comunicação não aponta exclusivamente para o aumento da capacidade de tráfego nas redes de telecomunicações, mas também para a necessidade por mais qualidade de serviço (QoS, *Quality of Service*). Neste cenário, há a necessidade por tecnologias de controle capazes de proporcionar o gerenciamento destas redes, sendo possível ajustar os mecanismos de configuração, falha, compatibilidade, segurança e medidas de desempenho, as quais são essenciais para a evolução da infraestrutura das redes de transporte ópticos da atualidade [9]. Assim, o OTN veio proporcionar de maneira mais eficiente o gerenciamento e controle destas redes [10].

1.4 Proposta de Estudo e Organização do Trabalho

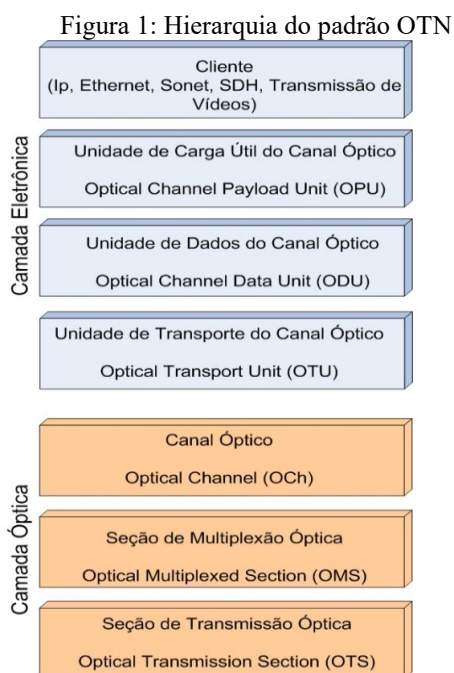
Este trabalho de conclusão de curso consiste em realizar um estudo teórico sobre as redes OTN, direcionado às funções de gerenciamento e monitoramento dos sinais transportados. Desta forma, este trabalho será definido da seguinte forma. No capítulo 2 serão apresentados os diferentes campos que forma o quadro padrão do OTN. Já no capítulo 3 serão definidas todas as correlações de alarme presente nesta tecnologia. Por fim, no capítulo 4, serão abordados exemplos de como esses alarmes se propagam na rede, mostrando em quais pontos são executados e quais os motivos de sua ocorrência.

CAPÍTULO 2

2 HIERARQUIA DO OTN

As redes ópticas OTN possuem uma hierarquia que é definida pela recomendação ITU-T G.709, a qual é segmentada em duas camadas, sendo a primeira delas no domínio eletrônico, na qual está contida toda característica do sinal transportado. Já na segunda, no domínio óptico, ocorre o transporte de toda a informação por um meio físico.

A seção no domínio óptico é subdividida em três camadas, sendo elas: seção de transmissão óptica (OTS, *Optical Transmission Section*), seção multiplexada óptica (OMS, *Optical Multiplexed Section*), e seção de canal óptico (OCh, *Optical Channel*). A Figura 1 representa a subdivisão citada [9] [13].



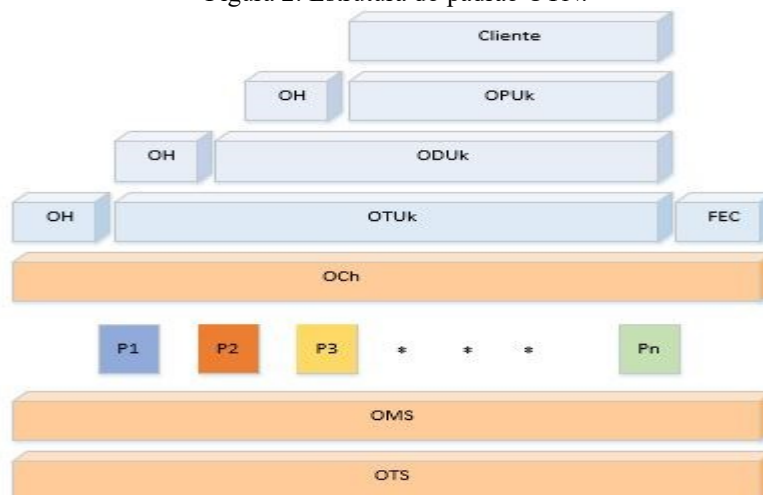
Fonte – O autor. Baseado na referência [11].

A camada OCh tem como finalidade prover a conexão fim a fim, entre todos os canais ópticos alocados em diferentes comprimentos de onda, contido no sistema WDM. Já a camada OMS é responsável por garantir a sobrevivência do sinal multiplexado (ou seja, sua área de atuação é situada entre o multiplexador e o demultiplexador), por diversos comprimentos de ondas, permitindo realizar determinadas funções, tais como monitoramento e manutenção dos enlaces ópticos. Por fim, a camada OTS é responsável por prover suporte a todos os pontos, que ocorrem tratamento do sinal no domínio óptico, tais como regeneração, amplificação e

compensadores ópticos. Logo se pode dizer que uma camada OMS pode conter uma ou mais camadas OTS [9] [11] [13].

Já a seção no domínio eletrônico é segmentada nas seguintes camadas: unidade de transporte ótico (OTUk, *Optical Transport Unit*), unidade de dados do canal óptico (ODUk, *Optical channel Data Unit*) e unidade de dados úteis do canal óptico (OPUk, *Optical channel Payload Unit*), onde k assume um valor igual 1, 2, 3 e 4, de forma a representar a taxa de *bits* utilizada pelo os seus respectivos quadros. Tais taxas serão melhor explicadas no decorrer do texto. Essas camadas são responsáveis por prover a conexões fim a fim entre os nós da rede, monitoramento de erros de *bit* e gerenciamento do sinal cliente e todas as correlações de alarme existentes na OTN. Todas essas seções citadas até o momento são as principais camadas utilizadas para gerar o quadro padrão do ONT, como ilustrados na Figura 2 [11] [13].

Figura 2: Estrutura do padrão OTN.



Fonte – O autor. Baseado na referência [11].

A camada OPUk é onde o sinal cliente está contido, ou seja, é onde o sinal se inicia e termina durante o processo de encapsulamento do quadro, realizando também uma melhor adaptação da taxa *bits* dos sinais antes que seja transportado em canal óptico. Após este processo, todas as informações contidas neste campo só serão tratadas novamente após o processo de recuperação do sinal, o qual ocorrerá somente no ponto de destino da mensagem [12] [13].

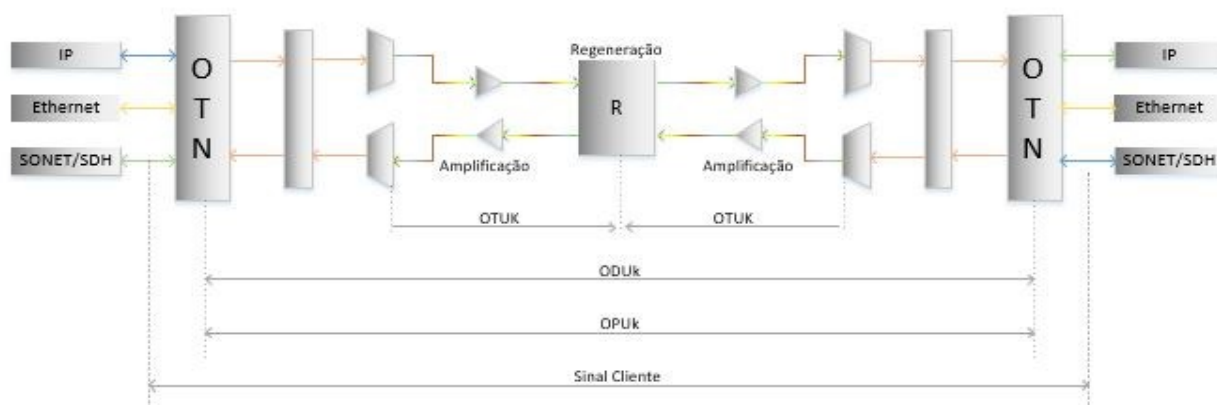
Já a camada ODUk só será construída após a implementação da OPUk, mesmo levando em consideração que ambas possuem o mesmo destino, ou seja, irão percorrer o mesmo caminho de transmissão. Em sua construção, a ODUk é gerada contendo um subconjunto de informações, denominado como (OH, *overhead*), que tem como função prover

serviços de monitoramento e suporte ao pacote (P) durante todo o processo de transmissão [12] [13].

A próxima camada a ser constituída é o OTUk, sua estrutura é muito semelhante a ODUk. Porém, há algumas características que a diferem da anterior, como um pequeno campo em seu cabeçalho que é reservado ao código corretor de erro (FEC, *Forward Error Correction*). Além disso, ele possui algumas funções de informações, as quais provêm monitoramentos em todos os pontos de regeneração, ou seja, todos aqueles pontos onde ocorre conversão eletro-óptica ou óptica-elétrica. Deste modo, pode se dizer que o ODUk se refere a informação contida em todo OTUk.

Estas três camadas descritas acima, trabalhando em conjunto, proporcionam à tecnologia OTN uma série de funcionalidades que garantem a sobrevivências do sinal. Na Figura 3 é possível visualizar como a OTN atua em diferentes pontos de uma rede WDM [12].

Figura 3: Camadas de atuação do OTN.



Fonte – O autor. Baseado na referência [12].

A geração do OTN surge no ponto em que é mapeado um determinado sinal gerado pelo usuário. O sinal será encapsulado dentro de uma OPUk; após a geração, os dados são inseridos em uma ODUk e mapeados em uma OTUk. Logo após a geração da OTUk, o sinal passa por uma conversão eletro-óptica. A partir deste ponto, todo o sinal gerado será transportado por uma ou mais portadoras ópticas; ou seja, será submetido ao canal óptico OCh, para que possa ser transportado por uma rede WDM convencional, como foi ilustrado na Figura 3 [11].

A estrutura do quadro OTN é composta pelos três campos no domínio eletrônico, sendo eles, OPUk, ODUk e OTUk, os quais foram ilustrado na Figura 1. O quadro OTN possui 4 linhas por 3824 colunas, com mais 256 colunas adicionais que são destinadas ao FEC, ilustrado na Figura 4 [10] [11].

Figura 4: Estrutura do quadro OTN.



Fonte – O autor. Baseado na referência [12].

Os tópicos subsequentes terão como objetivo definir de modo detalhado todas as funções de cabeçalho presentes no quadro padrão da OTN.

2.1 Quadro OTUk

O campo OTUk está situado na primeira linha do quadro OTN e nas colunas 8 a 14. Ele possui uma área destinada ao campo de alinhamento de quadro e de multi-quadros definido como (FAS, *Frame alignment area*) e (MFAS, *MultiFrame Alignment Signal*), que está situada nas colunas 1 a 7 da primeira linha. Diversas taxas de *bits* de transmissão são representadas pela letra k, de modo que esta variável possa assumir diferentes valores iguais a 1, 2, 3, 4 e 5. Tais representações são geradas a partir de múltiplos dos quadros (STM-16, *Synchronous Transport Module level N*), o qual é utilizado pelo o SDH. A Tabela 1 representa as taxas de *bits* definidas para quadros OTUk [11] [13].

Tabela 1: Representação das taxas de *bits* para o quadro OTUk.

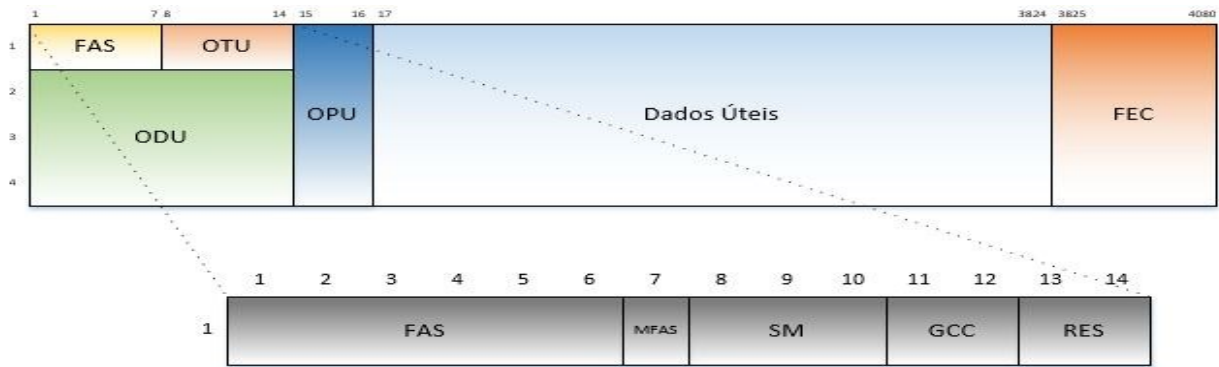
OTU	Aproximação da Taxa de <i>Bit</i> (Gbps)
ODU1	2,666
ODU2	10,709
ODU3	43,018
ODU4	111,809
ODU5	449,210

Fonte – O autor. Baseado na referência [11].

O cabeçalho do OTUk foi dividido em diversos sub-quadros, onde cada um deles provém funções específicas, tais como gerenciamento, alinhamento de quadros e monitoramento de erros de *bits*. Desta forma, os campos que realizam essas funções são definidos como sendo a seção de monitoramento (SM, *Section Monitoring*), possuindo ainda um canal de comunicação geral (GCC, *General Communication Channel*) e dois *bytes* que se encontram nas colunas 13 e 14 da primeira linha, que são destinados a futuras padronizações

das redes ópticas (RES, *Reserved For Future Internation Standardization*), ilustrado na Figura 5 [11] [13].

Figura 5: Estrutura do quadro OTUk..



Fonte – O autor. Baseado na referência [11].

2.1.1 Campo de alinhamento de quadro (FAS)

O campo FAS está localizado nas colunas de 1 a 6 da primeira linha. Sua função é agregar *bytes* de valores fixos, os quais são usados para marcar o início e o fim de uma transmissão de quadros subsequentes. Desta forma, os seis primeiros *bytes* contidos neste campo do cabeçalho são utilizados para representar o sinal de alinhamentos, de tal forma que sua estrutura utiliza valores fixos hexadecimais representados por F6F6F6282828. Para uma melhor representação o valor F6 será definido como sendo o Alinhamento Óptico 1 (OA1, *Optical Alignment 1*), já para o valor hexadecimal 28 será definido como sendo Alinhamento Óptico 2 (OA2, *Optical Alignment 2*) [11].

Tais sinais de alinhamento apresentam uma estrutura binária correspondente, onde o campo OA1 assume o valor binário “1111 0110” e OA2 igual a “0010 1000”. São eles os *bytes* responsáveis por realizar a sincronismos dos quadros entre o transmissor e o receptor para que não ocorra erro na leitura. A Figura 6 ilustra os *bytes* correspondentes ao FAS. [10] [11].

Figura 6: Estrutura de alinhamento FAS.

FAS OH BYTE 1								FAS OH BYTE 2								FAS OH BYTE 3								FAS OH BYTE 4								FAS OH BYTE 5								FAS OH BYTE 6							
1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
AO1								AO1								AO1								AO2								AO2								AO2							

Fonte – O autor. Baseado na referência [11].

2.1.2 Alinhamento de múltiplos quadros (MFAS)

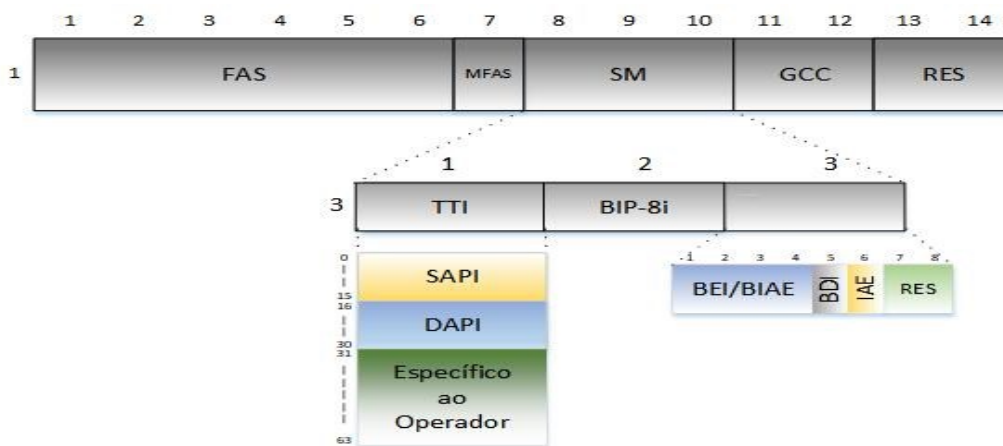
O MFAS é um campo que tem como responsabilidade proporcionar uma padronização entre algumas funções presentes nos cabeçalhos dos quadros OTUk e ODUk, tais como, identificador de trilha (TTI, *Trail Trace Identifier*) e a ativação de monitoramento de conexão (TCM ACT, *Tandem Connection Monitoring Activation /Deactivation Control Channel*). Tais campos possuem múltiplos quadros de transmissão; deste modo, eles necessitam de uma função que proporcione o sincronismo entre eles [10] [11].

O campo MFAS está localizado no sétimo *byte* da primeira linha. Os 8 *bits* existentes neste *byte* são reservados para exercer a função de sincronismo, ou seja, este campo é capaz de sincronizar 256 quadros sequenciais. A representação binária deste *byte* pode assumir valores variando entre “0000 0000” até “1111 1111”, e posteriormente o *byte* pode ser reiniciado, gerando assim um novo ciclo de sincronização entre os múltiplos quadros futuros [10] [11].

2.1.3 Seção de Monitoramento (SM)

Para que o sinal do cliente seja transportado de forma eficiente, ou seja, com bom QoS, foi adotada uma série de funções presentes na estrutura deste cabeçalho. Suas finalidades são de identificar falhas e erros ao longo de toda a transmissão. A Figura 7 tem como objetivo ilustrar os *bytes* de cada função presentes neste cabeçalho [11] [13].

Figura 7: Cabeçalho SM.



Fonte – O autor. Baseado na referência [11].

Para esta seção são destinados três *bytes* que se encontram nas colunas 8 a 10 da primeira linha. Este campo contém um identificador de trilha TTI, que é responsável por realizar a função de transmitir as informações do ponto origem (SAPI, *Source Access Point*

Identifier) ao ponto de destino (DAPI, *Destination Access Point Identifier*), e uma mensagem de volta do ponto de destino ao remetente [11].

A seção de monitoramento ainda possui um campo de paridade intercalada de *bit* 8, conhecida como (BIP-8, *Bit Interleaved Parity 8*) [10]. Contendo ainda uma série de campos que têm como funções prover sinais de alarmes que possibilitem monitorar os erros ocorridos no processo de transmissão, sendo eles: o identificador de defeito de atraso (BDI, *Backward Defect Indication*), identificador de erro de atraso e de alinhamento e atraso, o (BEI/BIAE, *Backward Error Indication / Backward Incoming Alignment Error*) e, por fim, uma seção destinada a registrar os erros de alinhamento recebido (IAE, *Incoming Alignment Error*) [11] [13].

Cada campo deste cabeçalho citado acima possui funções específicas que serão mais bem detalhadas nos tópicos seguintes.

TTI: Este campo está situado na coluna 8 da primeira linha. Ele é constituído por 64 múltiplos quadros, que têm como função realizar a verificação de continuidade entre os pontos de origem e destino, transportando também mensagens de pontos terminais e de regeneração [13].

Este campo utiliza-se do alinhamento entre múltiplos quadros (MFAS). Para que ocorra alinhamento destes quadros, é necessário enviar este cabeçalho 4 vezes a cada múltiplo quadro [10]. Deste modo, ele tem como função transportar a informação entre dois pontos de uma conexão, sendo o SAPI e o DAPI, onde são utilizados 32 *bytes* para realizar o alinhamento entre tais pontos, sendo reservados 16 *bytes* ao SAPI e os outros 16 *bytes* ao DAPI; e os 32 *bytes* restantes são destinados ao operador, desta forma se torna possível realizar o alinhamento durante o período de transmissão composto por 64 quadros [11] [13].

BIP-8: Este campo está localizado no segundo *byte* do SM; sua função é realizar o monitoramento de erros de *bit* que ocorrem na área reservada para a informação. O BIP-8 é calculado a partir de todos os *bytes* de informação contidos em uma OPU de um determinado múltiplo quadro X. Caso seja detectado um ou mais erros, é inserido um registro no campo BIP-8 de seu respectivo múltiplo quadro representado por X+1. Já no receptor, é utilizado o mesmo método de cálculo de erro e comparado com o resultado recebido, contido no campo BIP-8 do quadro X-1 [12].

BDI: Se encontra no quinto *bit* do terceiro *byte* do campo SM. Sua função é transmitir um sinal de manutenção do transmissor ao receptor. Para que seja identificado tal sinal, é

alterado o valor contido em seu campo de “0” para “1” e enviado para o receptor, sendo que a volta também é válida [12] [13].

Seu sentido de transmissão vai da origem para o destino, possibilitando a indicação de falhas do tipo perda de potência do sinal (LOS, *Loss of Signal*), falha de sincronismo (LOS *sync*, *Loss of synchronize*), falha dos quadros (LOF, *Loss of Frame*) e falha nos múltiplos quadros (LOM, *Loss of Mult'frame*) [12].

BEI/BIAE: Este campo está localizado nos 4 primeiros *bits* do terceiro *byte* do SM. Os *bits* reservados são utilizados para registrar o número de erros detectados pelo BIP-8, podendo também ser utilizado para a transmissão do erro de alinhamento o IAE, os quais são registrados em seus quadros correspondentes. [11] [12].

IAE: Este campo é utilizado para indicar falhas no alinhamento de quadros ocorridos entre dois pontos, receptor e transmissor. Deste modo, quando é detectada uma falha na transmissão, é inserido neste campo o valor “1” para que seja possível ao receptor identificar a falha; caso contrário é definido como “0” [11] [12].

2.1.4 Canal de comunicação geral (GCC).

Este campo está contido nas colunas 11 e 12 da primeira linha. Esses dois *bytes* são destinados a suportar os canais de comunicações entre os pontos terminais do OTUk. Este é um canal livre, ou seja, se encontra fora da recomendação G.709, e podem ser utilizados de acordo com a necessidade de cada operador [11] [12].

2.1.5 Futuras padronizações das redes ópticas (RES).

Este campo está localizado na coluna 10 da primeira linha. Ele ainda não é utilizado, pois está reservado para futuras padronizações das redes ópticas [11] [12].

2.2 Quadro ODUk

O quadro ODUk é o que possui o maior número de *bytes*, responsáveis por realizar a supervisão da rede. Este quadro tem como finalidade realizar o monitoramento e gerenciamento dos dados úteis transportados pelo o canal óptico. Para executar essas funções, é reservada uma área para seu cabeçalho e outra à carga útil de dados (onde é encapsulado o quadro OPUk). Ele é formado por 4 linhas e 3824 colunas; seu cabeçalho está situado nas linhas 2, 3 e 4 e nas colunas 1 a 14 [11] [13].

As taxas de *bits* representadas pelo ODU_k, onde que *k* assume valores iguais a 0, 1, 2, 3, 4 e 5, são definidas utilizando a mesma lógica citada anteriormente no quadro OTU_k, utilizando múltiplos da taxa de *bits* do STM-16. A Tabela 2 apresenta os valores para tais aproximações de suas respectivas taxas de *bits* [11] [12].

Tabela 2: Taxas de *bits* para o quadro ODU

ODU	Aproximação da Taxa de <i>Bit</i> (Gbps)
ODU0	1, 244
ODU1	2, 498
ODU2	10,037
ODU3	40,319
ODU4	104, 794
ODU5	449,210

Fonte – O autor. Baseado na referência [11].

A área destinada ao cabeçalho contém campos dedicados ao monitoramento de percursos entre dois pontos terminais da rede, denominados PM (*Path Monitoring*). O PM ainda possui campos que têm como objetivo realizar até 6 monitoramentos de conexões de forma sequenciais ou em cascata, presente entre os nós da rede, os TCM (*Tandem Connection Monitoring*) [11].

A estrutura deste cabeçalho possui um campo dedicado a transmitir mensagens de falha (FTFL, *Fault Type and Fault Location*). São reservados alguns *bytes* experimentais (EXP, *Experimental*) para serem fornecidos aos operadores e fabricantes de produtos OTN. Possui também áreas dedicadas aos canais limpos para comunicações gerais GCC. Contém ainda um campo utilizado para a proteção automática da rede (APS/PCC, *Automatic Protection Switching/Protection Communication Channel*); e por fim, são reservados alguns *bytes* para futuras padronizações, o RES [11] [12]. Tais campos são melhores são ilustrados na Figura 8.

Figura 8: Cabeçalho do quadro ODU_k

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	RES		PM & TCM	TCM ACT	TCM6			TCM5			TCM4			FTFL
3	TCM3			TCM2			TCM1			PM			EXP	
4	GCC1		GCC2		APS/PCC				RES					

Fonte – O autor. Baseado na referência [11].

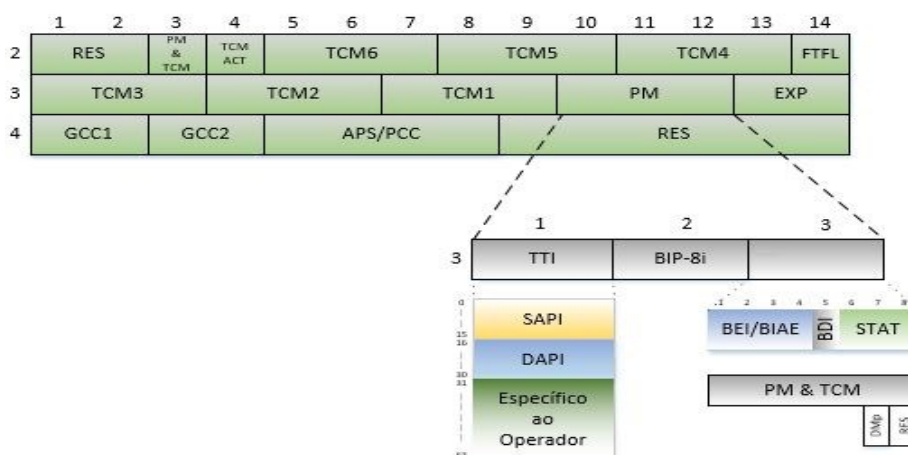
Os tópicos subsequentes terão como objetivo definir todos os campos e suas respectivas funções que constituem o cabeçalho do quadro ODUk.

2.2.1 Cabeçalho PM

O monitoramento de percurso se encontra na terceira linha, colunas 10 a 12. Sua função é garantir a sobrevivência dos dados úteis transportado pelo canal. Este cabeçalho possui um *byte* denominado PM e TCM, localizado na segunda linha, terceira coluna [11].

O sétimo *bit* (DMp, *Delay Measurement*) deste *byte* é responsável por monitorar os atrasos durante a transmissão das sequências binárias, ou seja, ele é alternado de “1” para “0” ou vice e versa. Essa transição ocorre logo após determinadas sequências binárias, para que a cada início de uma nova transição possa ser inserido esse *bit*, e na próxima transição o sistema de gerência possa coletar essas informações e realizar a verificação de atraso. A Figura 9 representa as subdivisões presentes nos campos do cabeçalho ODUk [11] [12].

Figura 9: Campo PM



Fonte – O autor. Baseado na referência [11].

Para realizar o monitoramento de percursos e erros ocorridos na transmissão, os *bytes* presentes no campo PM foram divididos em alguns subcampos. Cada um deles é responsável por realizar uma função específica. Os campos que garantem essas funções são o TTI, BIP-8, BDI e o BEI. Eles possuem a mesma função dos contidos no quadro OTUk. E por fim ainda possui *bits* reservados ou *bits* de estado (STAT, *State Bits*), que seu objetivo é informar os sinais de manutenções que possa vim a ocorrer na rede [11].

Os campos presentes neste cabeçalho que não foram definidos no quadro OTUk serão melhor explicados a seguir.

PM & TCM: Este *byte* possui um *bit* reservado conhecido como sendo o *bit* 7 (DMP, *Path Delay Measurement*). Ele tem como objetivo realizar verificação de atraso em uma série de *bits* transmitidos. Para entender melhor o funcionamento deste *bit*, imagine uma sequência binária, por exemplo, “0101 0101”. Essa sequência escolhida é definida como seu ponto de partida, para que seja introduzido o *bit* 7 logo após ela. Desta forma, é possível saber a posição do *bit* e seu valor inserido, consequentemente podendo se realizar o controle pelo receptor [11] [12].

Quando esse conjunto binário chega ao receptor, é possível verificar se houve alteração no valor do *bit*, assim como sua posição; desta forma, quando o próximo conjunto de *bits* chega, é feita a mesma comparação com a sequência binária escolhida como ponto de partida, e o sistema de gerencia determina se ocorreu atraso ou não.

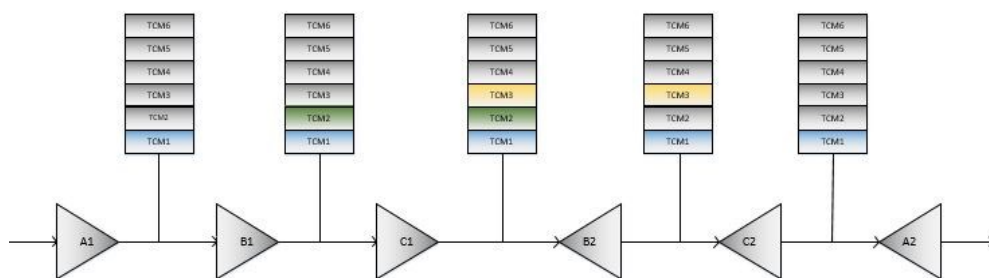
STAT: Ele é constituído por apenas três *bits* de estado, onde indicam se a presença de algum tipo de sinal de manutenção nas redes [11] [12].

2.2.2 Monitoramento de conexões (TCM)

Este campo é constituído por 18 *bytes*, onde 9 deles se encontram na linha 2 e nas colunas 5 a 13 e os outros 9 estão localizados na linha 3 e nas colunas 1 a 9. Desta forma, a cada 3 *bytes* é constituído um campo TCM [11]. Para que ocorram os monitoramentos destas redes, todos os seis campos TCM gerados são divididos de forma análoga ao PM, ou seja, cada um deles é constituído pelos os campos TTI, BIP-8, BDI, BEI/BIAE e STAT [11] [13].

Os campos TCM podem ser usados por um ou mais operadores de redes, para monitorar os erros ocorridos em um sinal em diferentes percursos, ou seja, realiza o monitoramento sobre toda a extensão da ODUk, por exemplo, o monitoramento de conexão de um sinal através da rede pública ou privada. A Figura 10 ilustra como o campo TCM atua em diferentes percursos contidos em uma rede [11].

Figura 10: Estrutura de monitoramento conexões TCM



Fonte – O autor. Baseado na referência [11].

Observando a Figura 10, pode se notar que o monitoramento ocorre entre A1-A2, B1-B2, e C1-C2 no modo aninhado, podendo atuar também em cascata. Cada trecho do caminho contido entre os nós da rede pode pertencer a diferentes operadores. Desta forma, a ITU-T não especifica quem tem prioridade para utilizar os campos TCM, ou seja, os operadores das redes devem negociar um acordo entre eles para utilizar essa função de modo eficiente para ambos [1], [11].

2.2.3 Ativação de Monitoramento de Conexão (TCM ACT)

Os *bytes* reservados ao (TCM ACT, *Tandem Connection Monitoring Activation*) se encontra na segunda linha e na coluna 4. Essa função se encontra atualmente desativado, podendo vir a ser reutilizados nas próximas atualizações das redes [11] [13].

2.2.4 Tipo de Falha e Localização de Falha (FTFL).

Este *byte* FTFL, está localizado na linha 2 e na coluna 14, onde sua função é estabelecer vetor de 256 posições de mensagens de falha, podendo ser falha no sinal ou degradação na propagação do sinal. [1]. Desta forma, para exercer sua função cada *byte* deve estar alinhado com o campo MFAS do quadro ODUk, por exemplo o *byte* 1 ocupa a posição 0000 0001 de seu respectivo multi quadro.

2.2.5 Canal de Comunicação Geral (GCC1 e GCC2)

Estes campos são reservados ao canal de comunicação geral, onde são destinados 2 *bytes* que estão localizados na linha 4 e nas colunas 1 e 2 ao (GCC1), e colunas 3 e 4 ao (GCC2). Este canal é semelhante ao campo GCC0 encontrado no quadro OTUk. Utilizando-se esses dois campos é possível estabelecer uma comunicação entre dois elementos da rede, os quais devem possuir acesso ao quadro ODUk, ou seja, eles são canais livres, que os operadores podem utilizar para mandar qualquer tipo de mensagens dentro de sua rede [11].

2.2.6 Canal de Comunicação de Proteção / Proteção do Canal de Comunicação (APS / PCC).

Os *bytes* destinados ao campo (APS/PCC) estão localizados na quarta linhas e nas colunas 5 a 8, sua função é realizar o transporte de sinais de conexão conforme os quadros MFAS, ou seja, ele é um campo que realiza a proteção automática das redes [11] [13].

2.2.7 Experimental (EXP)

Estes 2 *bytes* estão situados na terceira linha e nas colunas 13 e 14, onde são reservados para fins experimentais para futuras alterações na rede OTN. Podem ser usado por operadores e fornecedores de serviços [11].

Por fim, o ultimo tópico deste capítulo a ser abordado, será o quadro que contém toda a carga útil gerada pelo o cliente.

2.3 Quadro OPU

Assim como os demais quadros já mencionados anteriormente, o OPU também possui uma área destinada ao seu cabeçalho onde ela está situada na coluna 15 e 16 e em todas as 4 linhas existentes, ele ainda contém um campo de um *byte* reservado na quarta linha da coluna 17, o qual tem como objetivo realizar justificação na área útil de dados. Ele ainda possui uma área reservada a carga útil que está contida em todas as 4 linhas e nas colunas 17 a 3824, desta forma este quadro é constituído por 15232 *bytes*, reservado para conter toda a informação do sinal cliente [11] [12]. A representação do cabeçalho deste quadro está ilustrada na Figura 11. Entretanto, assim como o OTU e ODU, ele também possui uma série de taxas de *bits*, as quais são baseadas no quadro STM-16 presente no sistema SDH [11]. Essas taxas de *bits* são representadas na Tabela 3.

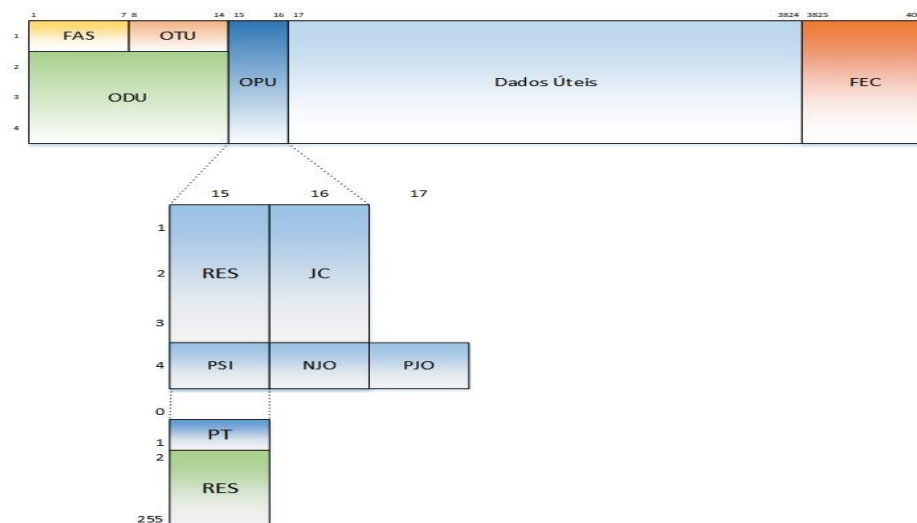
Tabela 3: Taxas de *Bits* do Quadro OPU

OPU	Aproximação da Taxa de <i>Bit</i> (Gbps)
OPU0	1,238
OPU1	2,488
OPU2	9,995
OPU3	40,150
OPU4	104,355
OPU5	449,210

Fonte – O autor. Baseado na referência [11].

Os *bytes* destinados a conter todas as funções presente no cabeçalho do quadro OPUk, tem como objetivo realizar o mapeamento do sinal cliente, ou seja, ele é utilizado para realizar a justificação na área de dados úteis, as quais são, (JC, *Justification Control*), (NJO, *Negative Justification Opportunity*) e (PJO, *Positive Justification Opportunity*). O OPUk, ainda contém um indicador de estrutura de *payload* (PSI, *Payload Structure Identifier*) [10] [11].

Figura 11: Estrutura do cabeçalho do quadro OPUk



Fonte – O autor. Baseado na referência [11].

Os tópicos subsequentes têm como objetivo detalhar todas as funções presente no cabeçalho do quadro OPU.

2.3.1 Indicador de Estrutura de Carga Útil (PSI)

Este campo é alocado no cabeçalho do quadro OPUk, localizado na quarta linha e na coluna 15, onde tem como função transmitir um vetor de 256 *bytes*, ou seja, ele é um indicador de estrutura de carga útil (PSI), sendo que seu primeiro *byte* é reservado (PT, *Payload Type*). Este sinal é alinhado com os múltiplos quadros (MFAS) presentes no ODUk, deste modo, quando o primeiro *byte* PSI [1] for transmitido, ele corresponde ao quadro na posição “0000 0001” dos múltiplos quadros do ODUk e assim por diante na forma sequencial até seu limite de 255 quadros [11] [13].

Para o *byte* PSI [0] contém um tipo de carga útil específico utilizado por cada cliente (SONET/SDH, *Ethernet*, IP e muitos outros serviços). Já para os *bytes* nas posições PSI [1] a PSI [255] são destinados a realizar o mapeamento dos múltiplos quadros MFAS [11].

2.3.2 Justificação (JC, NJO, PJO)

Os *bytes* reservados ao campo JC estão situados na coluna 16 e nas linhas 1 a 3, este campo tem como objetivo lidar com as diferentes taxas existentes, ou seja, ele é utilizado para controlar o NJO e PJO, os quais, são ajustados conforme o processo de mapeamento do sinal cliente.

Portanto, o JC tem como objetivo controlar os outros dois *bytes*, os quais são justificação negativa (NJO) ou de justificativa positiva (PJO), ajustado conforme o

mapeamento do sinal, podendo ser assíncronos ou *bits* síncronos. Estes campos necessitam de interpretação no mapeamento do sinal para representar quais *bytes* possuem dados ou justificações. A tabela representa as interpretações necessárias pelo o receptor para a execução do cabeçalho [11].

Tabela 4: Interpretação para os *bytes* PJO e NJO.

JC bits 7 e 8	PJO	NJO
00	Byte de dados	Byte de justificação
01	Byte de dados	Byte de dados
10	Byte de dados	Byte de justificação
11	Byte de justificação	Byte de justificação

Fonte – O autor. Baseado na referência [12].

Normalmente, apenas o PJO carrega dados de carga útil, mas já para adicionar um *byte* a mais a esta carga, tanto PJO quanto NJO servem, pois ambos carregam dados. Já para excluir um *byte* da carga, pode utilizar tanto quanto o PJO e NJO, pois ambos podem ser usados para justificação [11].

Para proteger contra erros, o valor JC é copiado em 3 *bytes* distintos, e quando for necessário determinar o seu valor é feito uma comparação entre esses *bytes*; ou seja, se dois em cada três *bytes* são iguais, é atribuído este valor para o JC e determinado se houve ou não a ocorrência de erro [11].

O próximo capítulo tem como objetivo explicado como cada função de alarme citada até o momento é executada dentro do quatro OTN.

CAPÍTULO 3

3 ALARMES

Os alarmes existentes nas redes de transporte têm como objetivo registrar a ocorrência de uma perturbação ou falha durante o caminho utilizado para transmissão. Assim, é possível analisar os sinais recebidos, com finalidade de fornecer uma correção adequada para o desempenho das redes e possibilitar um melhor direcionamento para o gerenciamento e manutenção destas redes [11] [12].

Existe uma variedade de causas possíveis que pode vir a ocasionar tais problemas na rede. Devido a essas variações, os erros podem ser divididos em diferentes categorias, tais como: erros de continuidade, alinhamento, conectividade, qualidade do sinal, falha no sinal de *payload* e nos sinais de manutenção. Todas as funções de alarmes presente no quadro OTN se encaixa dentro de algumas dessas categorizações citada[11].

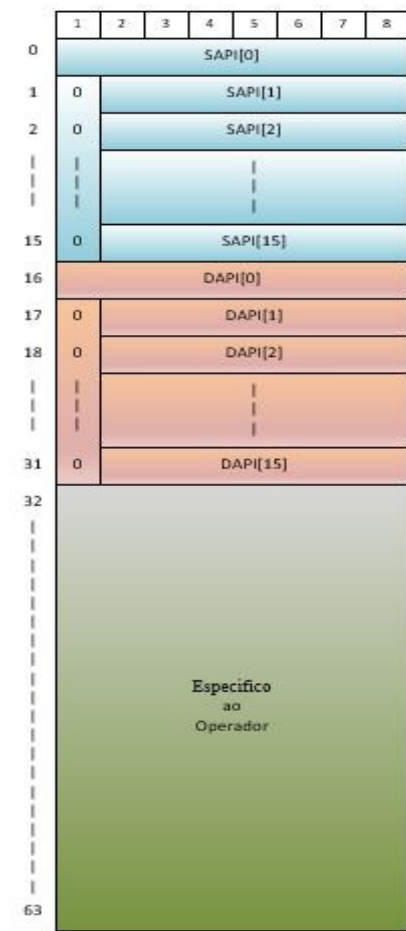
Para garantir a sobrevivência do sinal cliente, como já citado anteriormente o OTU e o ODU, possuem um conjunto de funções que garantem a qualidade no transporte. Entre elas estão: TTI, BIP-8, BDI, BEI\BIAE, IAE e o STATUS. Cada uma dessas funções possui funcionalidades específicas [11].

Visando todas as funções de alarmes presente no quadro OTN, os tópicos subsequentes terão como objetivo analisar de forma conceitual os funcionamentos da operação de alarmes citada.

3.1 Identificador de trilha TTI

Os quadros OTU e ODU possuem o TTI. Esta função é um exemplo de transmissão, a qual, utiliza o sincronismo com os múltiplos quadros MFAS. É definido como sendo um vetor de *string* com tamanho fixo de 64 *bytes*, conforme representado pela a Figura 12 [12].

Figura 12: Estrutura TTI



Fonte – O autor. Baseado na referência [11].

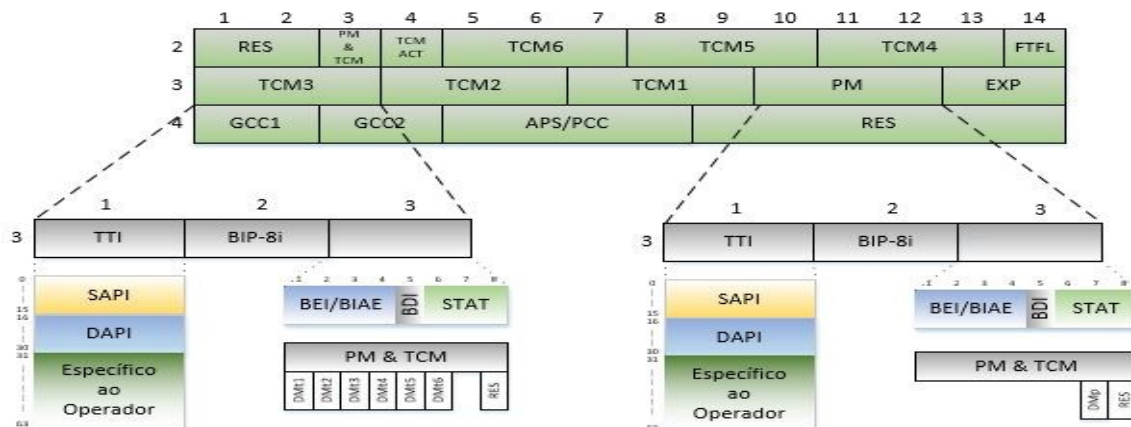
Desta forma, o campo TTI[0] possui os caracteres da primeira posição do vetor, ou seja, SAPI[0]. Pelo o que já foi definido no capítulo anterior, as posições TTI[1] a TTI[15] também são destinadas a carregar os caracteres do SAPI, por tanto são reservados 16 *bytes* ao SAPI, as quais são da posição TTI[0] a TTI[15] [11] [12].

Já a posição TTI[16] possui os caracteres da primeira posição DAPI[0], portanto, as posições de TTI[17] a TTI[31] também são destinadas a fazer parte do vetor pertencente ao DAPI, desta forma os 16 *bytes* que contém os caracteres deste campo estão contidos TTI[16] ao TTI[31]. Os demais 32 *bytes*, TTI[32] a TTI[63] não são definidos na recomendação, portanto, são de uso exclusivos dos operadores [11] [12].

Os campos SAPI e DAPI são indicadores únicos globais, responsáveis por gerar os pontos de acessos da camada. Eles são fixos, por tanto, não sofrem alterações durante sua existência. São capazes de identificar o país e o operador responsável pela rede, por meio de 3 caracteres que indica o seguimento internacional e 12 para seguimentos nacionais.

Para o ODU, os campos TTI estão contidos em seus cabeçalhos, mas especificamente nos campos PM e nos TCM, conforme ilustrado na Figura 13 [11].

Figura 13: Estrutura TTI no cabeçalho do quadro ODUk.



Fonte – O autor. Baseado na referência [11].

Já para o quadro OTU, o TTI está contido no campo SM de seu cabeçalho, como visto na Figura 7 e no capítulo anterior.

Para a identificação dos pontos de acessos (API, *Access Point Identifier*), é feito uma comparação entre o SAPI e o DAPI, ou seja, é feita a comparação entre a API desejada com a recebida. Esse processo é realizado nas camadas referente ao domínio do OTS, OTU e ODU [11].

Desta forma, quando ocorrer uma conexão ponto a ponto ou também ponto a pontos múltiplos, é necessário realizar somente a verificação referente ao SAPI. No cenário ponto a ponto existe apenas um receptor; ou seja, o transmissor não precisa saber para quem está mandando, pois existe somente um receptor. Mas o receptor precisa conhecer quem mandou a mensagem. Já para ponto a múltiplos pontos, existe um conjunto de destinos e somente um de origem, de modo que todos os pontos DAPI sabe de quem estão recebendo, sendo possível realizar a verificação. O transmissor não precisa saber para quem irá mandar, pois ele entrega a quem está conectado a ele na rede, sem ter preocupação em realizar a verificação de destino [11].

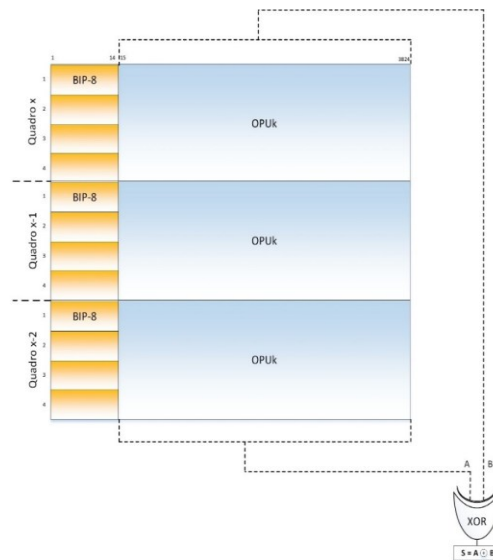
Para uma conexão multiponto a ponto, o trabalho de verificação será realizado no ponto de origem, ou seja, é preciso saber somente qual o destino DAPI. Todos esses processos serão melhor exemplificados no próximo capítulo.

3.2 Campo de paridade intercalada BIP-8

O BIP-8 é um dos parâmetros de aferição de desempenho, pois são 8 *bits* intercalados dentro da carga útil (*payload*) do quadro OPuk, que varia da coluna 15 a 3824. A verificação de erros ocorre no quadro OTUk e também no ODUk, por meio de um código de paridade intercalada. Embora efetue o mesmo cálculo em ambos os quadros, vale à pena recordar que eles são responsáveis por pontos diferentes da rede, fazendo com que haja uma verificação de erro de *bits* durante todo o seu percurso. [12].

O processo de verificação de erro utiliza a operação lógica booleana XOR, por meio da verificação dos valores calculados pelo BIP-8 na transmissão com os da recepção, conforme ilustra a Figura 14.

Figura 14: Processamento de erro BIP-8



Fonte – O autor. Baseado na referência [12].

Essa verificação é feita da seguinte forma: quando comparada a mesma posição de ambos BIP-8 e os valores forem iguais, significa que o *bit* transmitido foi o *bit* recebido e a operação lógica resulta em 0, mas quando for diferente os valores das posições, indica que houve alteração de *bit* no percurso, fazendo com que a operação lógica resulte em *bit* 1. Esse cálculo é feito de acordo com a tabela verdade da XOR, representada pela Tabela 5.

Tabela 5: Tabela Verdade XOR

A	B	S = A + B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Fonte – O autor. Baseado na referência [12].

3.3 Identificador de erro de atraso e de alinhamento e atraso BEI e BIAE

No capítulo anterior já foi abordado qual é o objetivo destas funções. No entanto, nesta cessão será melhor detalhado, como ocorre os registros destes alarmes dentro do quadro OTN.

BEI é uma função composta por 4 *bits*, os quais têm a função de registrar o número de BIP-8 ocorridos em uma cessão da rede óptica, ou seja, é registrado todos o BIPs-8 ocorridos entre a estação local e a estação remota vizinha. Portanto se durante a transmissão dos quadros, o receptor reconhece uma BEI com valores entre 0000 a 1000, indica que houve uma determinada quantidade de erros de BIP-8 neste quadro, os quais podem variar de 0 a 8 erros por quadros transmitido [12].

Para que seja realizado o registro sequencial, o receptor teve que reconhecer a quantidade de erros indicados pela a BEI do quadro recebido. Ele tem que reencher o campo BEI do quadro que será transmitido na próxima seção, com o valor exato da ocorrência e encaminhá-lo para o próximo ponto transmissor [12].

Na Tabela 6 é possível verificar como é representada a sequência binaria equivalente a quantidade de erros ocorridos no processo de transmissão. Embora nem todas as sequências binaria resultante destes 4 *bits* são válidas para a indicação de erros de BIP-8. Como por exemplo a sequência 1011, a qual é utilizada para representar a ocorrência de uma BIAE [12].

Tabela 6: Representação binarias para os erros BEI, BIAE do campo SM.

BEI/BIAE	BIAE	Erros de BIP-8
0000	Falso	0
0001	Falso	1
0100	Falso	2
1100	Falso	3
0010	Falso	4
1010	Falso	5
0110	Falso	6
1110	Falso	7
1000	Falso	8
1001	Falso	0
1010	Falso	0
1011	Verdadeiro	0
1100	Falso	0
1101	Falso	0

1110	Falso	0
1111	Falso	0

Fonte – O autor. Baseado na referência [12].

Basicamente para o compreender os registros referente a BEI e BIAE, representado pela Tabela 6, temos que entender que a BEI registra a quantidade de erros de *bit*, ou melhor, a quantidade de BIP-8 ocorridos durante todo o percurso, tanto para a ODU e a OTU. Só é possível registrar o número de BIP-8 da ODU, em cada seguimento da rede devido aos campos TCM, pois, eles têm a função de calcular os erros de *bits* e salvar a quantidade de ocorrência em seu campo BEI para cada seguimento, possibilitando a realizar o cálculo do total de erros ocorrido por todo o percurso [11] [12].

Já a BIAE é responsável por indicar se houve erro de alinhamento IAE. Logo quando ocorre a IAE, toda a contagem de BIP-8 é encerrada e passa a ser gerada a sequência binária 1011, ou seja, o campo BIAE da tabela a cima vai ser verdadeiro só quando ocorrer a sequência citada. Os demais valores possíveis para esta sequência de *bits* serão usados para a registro da BEI [11].

Portanto, para que ocorra uma BIAE, é necessário que o receptor despreze os registros de BIP-8, no momento em que seja registrado uma IAE. Neste momento a BEI passa a ser representada por uma BIAE, fazendo com que seu valor binário seja fixado em 1011, o qual não correspondente mais a um registro de BIP-8 e sim uma ocorrência de erro de alinhamento registrado pela a IAE [11].

3.4 Erro de alinhamento IAE

Como já mencionado o IAE é responsável por indicar o erro ocorridos entre alinhamentos dos multe quadros transmitidos ao receptor. Vale ressaltar, que este campo está presente apenas no campo SM do cabeçalho OTU. O *bit* presente na mesma posição do campo PM e nos TCM do quadro ODU é reservado para função de STAT, a qual será melhor definida no decorrer do capítulo. Por tanto, quando ocorre um problema no transmissor ou em outros elementos da rede que resulte em erro nos alinhamentos dos quadros é acionado o IAE. Desta forma, é enviado um *bit* no valor 1 para o receptor. Esse *bit* é alocado na 6ª posição do *byte* 3 do cabeçalho SM presente no OTU. A Figura 15 ilustra a sequência binária ocorrida dentro deste *byte* para que seja registrado o erro de alinhamento [11].

Figura 15: Representação do 3º *byte* do cabeçalho SM.

	BIAE				BDI	IAE	RES	
Quadro 1	1	0	1	1	X	1	X	X
Quadro 2	1	0	1	1	X	1	X	X
Quadro 3	1	0	1	1	X	1	X	X
Quadro 4	1	0	1	1	X	1	X	X
Quadro 5	1	0	1	1	X	1	X	X

Fonte – O autor.

Para que o receptor entenda que houve realmente um erro de alinhamento é necessário que ele receba pelo menos 5 quadros consecutivos com o valor do *bit* igual a 1. Também é possível, observando a Figura 15, notar a representação binária que indica a ocorrência BIAE, ou seja, nestes quadros os erros registrados pelo o BIP-8 foram desprezados, fazendo com a sequência binária correspondentes seja fixada em 1011. Como ilustrado na Tabela 6, este valor representa a condição para que a BIAE seja verdadeira e resulte em uma melhor interpretação dos dados processados pelo o receptor [11].

A maneira necessária para que o receptor despreze a ocorrência do IAE, após este ter sido registrado, é por meio de ocorrências de pelo menos 5 quadros consecutivos com o *bit* resultante fixado em 0. Portanto, quando esse *bit* é preenchido, significa que não houve erro de alinhamento possibilitando a retomada da contagem de erros gerados pelo BIP-8. A Figura 16 ilustra a ocorrência dos quadros necessários para finalizar o registro do IAE e a retomada da contagem dos erros registrados pela BEI[11].

Figura 16: Representação do 3º *byte* do cabeçalho SM indicando a normalização do IAE

	BEI				BDI	IAE	RES	
Quadro 1	0	0	0	0	X	0	X	X
Quadro 2	0	0	0	1	X	0	X	X
Quadro 3	0	0	1	0	X	0	X	X
Quadro 4	0	0	1	1	X	0	X	X
Quadro 5	0	1	0	0	X	0	X	X

Fonte – O autor.

3.5 Indicador de defeito de atraso BDI

Os demais alarmes citados até o momento são de suma importância para transportar a mensagem. No entanto, a BDI carrega sinais de informação sobre alguns erros que pode ocasionar até mesmo a perda da comunicação. Ela opera transportando o sinal do transmissor ao receptor por meio de um único *bit*, localizado na 5ª posição do terceiro *byte* do SM. A representação deste *byte* assim como a ocorrência de uma BDI está ilustrada na Figura 17. Para que o receptor interprete que houve realmente um problema na rede, indicado pela a BDI, é necessário assim como a IAE, receber pelo menos 5 quadros consecutivos com seu *bit* em nível auto, ou seja, atribuído seu valor igual a 1. No entanto essa função não afeta a contagem de BIPs-8 registrado pela BEI [11].

Figura 17: Representação do *byte* SM que indica a ocorrência de uma BDI.

	BEI				BDI	IAE	RES	
Quadro 1	0	0	0	0	1	0	X	X
Quadro 2	0	0	0	1	1	0	X	X
Quadro 3	0	0	1	0	1	0	X	X
Quadro 4	0	0	1	1	1	0	X	X
Quadro 5	0	1	0	0	1	0	X	X

Fonte – O autor.

Seguindo a mesma lógica, o modo necessário para que receptor despreze a ocorrência da BDI, é quando ocorre pelo menos 5 quadros consecutivos com seu *bit* em nível lógico

baixo, ou seja, o valor do *bit* tem que ser 0, durante a transmissão dos quadros. A representação para o cancelamento do registro da BDI está ilustrada na Figura 18 [11].

Figura 18: Condição para anular a BDI.

	BEI				BDI	IAE	RES	
Quadro 1	0	0	0	0	0	0	X	X
Quadro 2	0	0	0	1	0	0	X	X
Quadro 3	0	0	1	0	0	0	X	X
Quadro 4	0	0	1	1	0	0	X	X
Quadro 5	0	1	0	0	0	0	X	X

Fonte – O autor.

O processo necessário para que ocorra um registro de BDI é o mesmo para os ambos quadros do OTN. Portanto, o método utilizado pelo o OTU e ODU são o mesmo, mudando apenas os pontos de operação da rede onde será executado tais funções [11].

Como já mencionado no capítulo anterior, a BDI pode indicar erros do tipo LOS, LOF, LOM entre outros sinais utilizados na rede. Tais erros serão exemplificados e explicados no próximo capítulo, com o objetivo de abordar suas causas e em quais pontos da rede são disparados os sinais de indicação de sua ocorrência.

3.6 Status

Como já visto, o campo PM e SM presentes no cabeçalho dos quadros ODU e OTU respectivamente, possuem uma grande semelhança entre suas funções. Porém o ODU possui algumas funcionalidades que garantem a existência de sinais de alarmes que não existe no OTU. Por tanto, a principal diferença entre eles é o campo STAT, presente no terceiro *byte*, localizado nos 3 últimos *bits* do PM e nos campos TCM [11]. Sua representação pode ser vista na Figura 13.

Os 3 *bits* presentes no STAT, são utilizados para enviar sinais de manutenção de ponto a outro ponto de uma rede. Por tanto, cada representação binaria resultante destes 3 *bits* representa um alerta enviado [11] [12]. A Tabela 7 representa sequência correspondente a cada sinal de alerta transmitido.

Tabela 7: Sinal de Status.

STATUS	Estado
000	Reservado
001	Sinal Normal
010	Reservado
011	Reservado
100	Reservado
101	Sinal de Manutenção LCK
110	Sinal de Manutenção OCI
111	Sinal de Manutenção AIS

Fonte – O autor. Baseado na referência [11].

Analisando a tabela, quando a transmissão está em seu perfeito estado, ou seja, quando não está havendo nenhum tipo de perturbação na rede, os *bits* reservados para o STATUS assumem o valor binário 001. Porém, as demais sequências existentes indicam alguns tipos de sinais de manutenção.

3.6.1 Sinal de indicação de Alarme AIS

O sinal de indicação de alarme (AIS, *Alarm Indication Signal*), consiste em colocar todos os *bits* do STATUS em nível logico alto, ou seja, ele ocorre quando os *bits* estão na sequência binária equivalente a 111. Geralmente ele é gerado a partir de um nó intermediário, ele é transmitido do seu ponto de origem até o ponto final da mensagem. Sua finalidade é indicar problemas ocorrido no servidor da rede ou podendo também transmitir a ocorrência de uma conexão cruzada [11] [12].

3.6.2 Indicação de conexão aberta OCI

A indicação de conexão aberta (OCI, *Open Connection Indication*), basicamente se consiste em um sistema aberto, ou seja, ocorre quando o receptor não está recebendo nenhum tipo de sinal de seu respectivo transmissor. Desta forma, quando foi estabelecido a conexão, mas por algum motivo em especial a conexão é perdida, o receptor envia em todos os *bytes* da ODU uma sequência binária padrão igual a 110 [12].

3.6.3 Canal bloqueado LCK

Canal bloqueado (LCK, *Locked*), é um processo constituído pelo operador da rede, portanto ele é gerado quando o operador quer bloquear o uso da rede para o utilizador. O

bloqueamento se dá por meio de repetições da sequência 101 em todos os *bytes* presente no ODU [12].

O objetivo deste capítulo foi fornecer uma noção de como é feito o tratamento binário para a execução dos alarmes que constitui o cabeçalho do ODU e do OTU. Já o quarto e último capítulo abordará de forma mais visual e exemplificada como esses alarmes se propagam em uma rede óptica.

CAPÍTULO 4

4 EXEMPLOS DE CORRELAÇÕES DE ALARMES

Para melhor compreender como as funções de alarmes citada neste trabalho operam em uma rede, será abordado neste capítulo uma série de exemplos, com o objetivo de demonstrar certas perturbações encontradas que influencie no processo de transmissão da informação, ocasionando os alarmes estudados neste trabalho. Portanto, os tópicos subsequentes abordarão tais exemplos citados.

4.1 Exemplos TTI

Como mencionado anteriormente, para a execução do TTI, é necessário ter pelo menos dois pontos de acessos, de modo que se possa estabelecer uma conexão entre o transmissor e o receptor, resultando na identificação de tais pontos.

Para exemplificar essa operação, vamos dividi-la em 3 categoria diferentes, sendo elas: conexão ponto-a-ponto, ponto-a-multiponto e multiponto-a-ponto. Como já mencionado no capítulo anterior, existem alguns conceitos que nos ajudam a compreender melhor o reconhecimento do SAPI e do DAPI nestas categorias citadas.

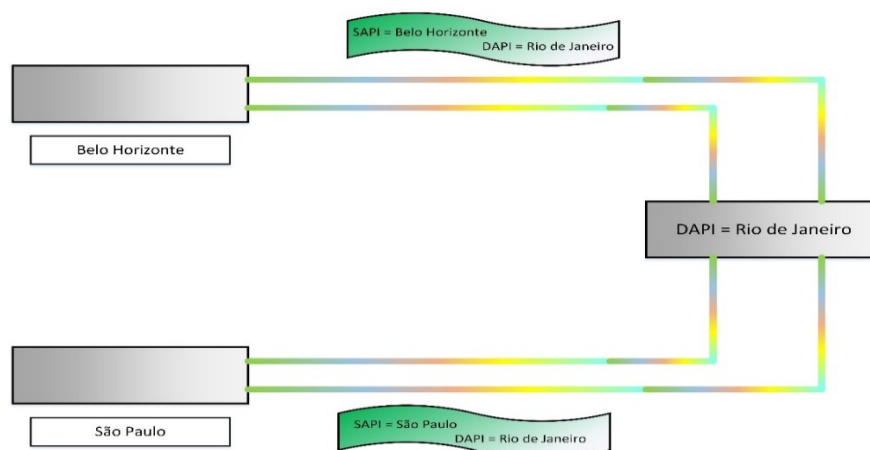
4.1.1 Multiponto a ponto

Para a configuração multiponto a ponto serão abordados dois exemplos. No primeiro cenário, ilustrado pela a Figura 19, simboliza a comunicação ente São Paulo e Rio de Janeiro, assim como Belo Horizonte a Rio de Janeiro. Portanto, nesta configuração serão enviados dois pacotes com origens diferentes, porém ambos possuem o mesmo destino. Deste modo, conclui-se, que existem dois pontos de SAPI e apenas um ponto de DAPI.

No capítulo anterior foi dito que para uma conexão multiponto a ponto, existe apenas a necessidade de verificação da existência do DAPI.

A Figura 19 ilustra uma perfeita compatibilidade entre os pontos transmissores de uma conexão multiponto a ponto.

Figura 19: Exemplo TTI, multiponto a ponto.

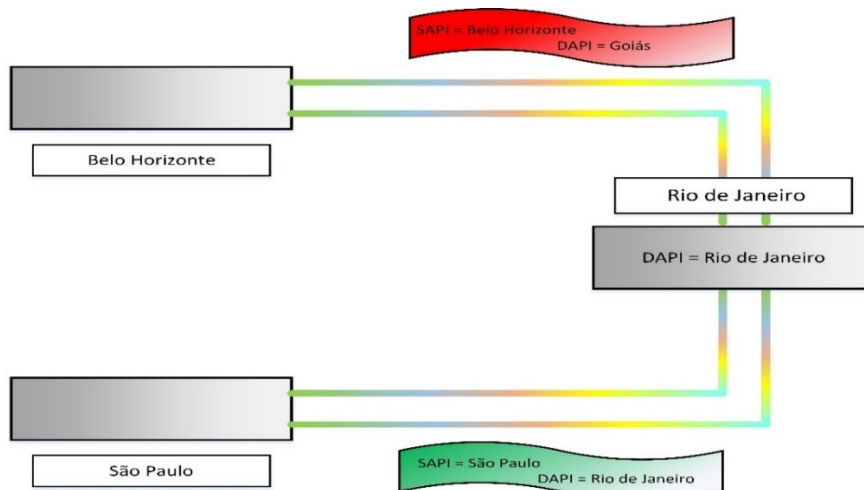


Fonte – O autor.

Seguindo esse raciocínio, pode-se concluir que o primeiro exemplo ilustrado acima refere-se a uma perfeita conexão estabelecida pelo o TTI. Nota-se que a conexão foi bem-sucedida, pois a comunicação entre Belo Horizonte e Rio de Janeiro e São Paulo a Rio de Janeiro, possuem compatibilidade entre o DAPI transmitido em relação ao esperado pelo receptor.

A Figura 20 mostra uma falha de compatibilidade entre os pontos transmissores de uma conexão multiponto a ponto.

Figura 20: Cenário incorreto para TTI multiponto a ponto.



Fonte – O autor.

Para o exemplo da Figura 20, temos uma conexão de multiponto a ponto, portanto, ela é constituída por dois pontos de SAPI e um de DAPI inicialmente, ou seja, temos dois pontos de origem, sendo eles, Belo Horizonte e São Paulo e um ponto de destino representado por Rio de Janeiro. Para que a conexão seja bem estabelecida, temos que os pacotes transmitidos

entre São Paulo e Rio de Janeiro tenha seu vetor de *strings* preenchidos, assim como Belo Horizonte e Rio de Janeiro.

Para entender, imagine um pacote que está saindo de São Paulo, o seu vetor SAPI é preenchido como a *string* São Paulo e seu DAPI com Rio de Janeiro; deste modo, quando o pacote chega em seu destino, ele é processado e analisado. Por fim, após o pacote chegar ao ponto receptor, ele é processado e avaliado, concluindo que o campo de DAPI é o mesmo que o esperado pelo o ponto terminal, que neste caso seria Rio de Janeiro. Caso os DAPI's transmitidos e esperados estejam corretos, não há problemas de conexão. De forma, quando o pacote é transmitido de São Paulo a Rio de Janeiro, o DAPI nele inserido precisar ser necessariamente o mesmo que o DAPI esperado, que neste exemplo seria Rio de Janeiro.

Analisando o exemplo da Figura 20 temos dois pontos de transmissão. Para facilitar no entendimento, podemos dividir essa conexão em ponto a ponto. Para o primeiro cenário podemos analisar a conexão Belo Horizonte a Rio de Janeiro. Então temos que no pacote criado é inserido no vetor SAPI a *string* Belo Horizonte e já para o DAPI Rio de Janeiro, e como ilustrado o DAPI esperado pelo o receptor também é Rio de Janeiro. Portanto, temos que a conexão foi bem-sucedida, pois o SAPI transmitido foi o mesmo que o esperado.

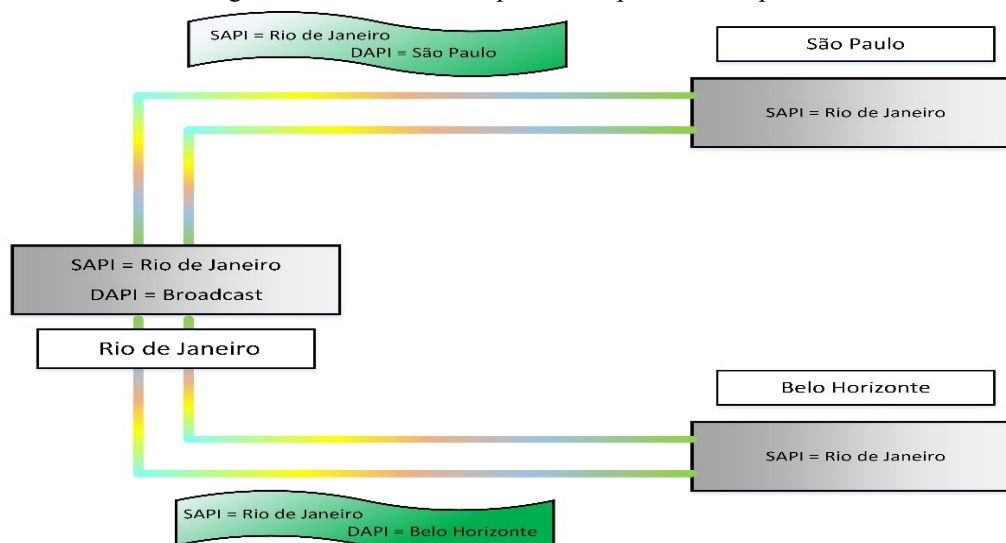
Já para o segundo cenário, referente a São Paulo e Rio de Janeiro, temos que o pacote criado inicialmente tem seu vetor SAPI preenchido como São Paulo, mas já seu DAPI como Goiás. Logo quando o pacote chega ao ponto receptor é feita comparação entre os DAPI. Como pode ser visto houve uma divergência entre o DAPI transmitido e o esperado, ocasionando em uma incompatibilidade entre os pontos terminais, fazendo com que ocorra uma falha de conexão.

4.1.2 Ponto a Multiponto

Para o cenário ponto a multiponto, é constituído basicamente por um ponto de SAPI e dois ou mais pontos de DAPI. Ou seja, existe apenas um ponto transmissor conectados a pelo menos 2 pontos receptores. Deste modo, como já mencionado anteriormente, para um cenário igual ao citado, existe a apenas a necessidade de conferência do SAPI.

Para que o transmissor conheça todos os pontos de DAPI conectados diretamente a ele, é feita uma transmissão de pacotes via *Broadcast*. Por meio deste processo todos os receptores já sabem quem será o ponto transmissor, da mesma forma, o transmissor também terá uma lista de DAPIs vizinho a ele. A Figura 21 ilustra uma perfeita compatibilidade entre os pontos transmissores de uma conexão ponto a multiponto.

Figura 21: Cenário correto para o TTI ponto a multiponto.



Fonte – O autor.

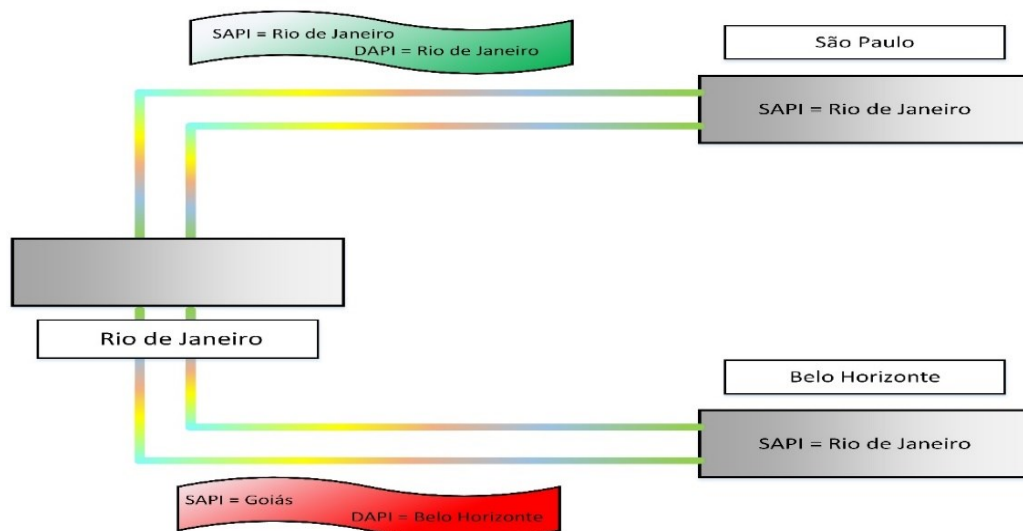
Analisando a Figura 21, que representa uma conexão ponto a multiponto, podemos notar a representação de um ponto de origem SAPI, definido como sendo Rio de Janeiro, assim como dois pontos de destino DAPI, sendo eles, Belo Horizonte e São Paulo. Portanto, a verificação dos SAPI aconteceu nos pontos de DAPI definidos.

Para entender vamos analisar conexão por conexão. Para o primeiro cenário temos a conexão entre Rio de Janeiro e Belo Horizonte. Como já foi dito, para o DAPI foi disparado um *broadcast* a todos os pontos de destinos, portanto, para o pacote inicial seu SAPI foi ajustado com um vetor de *string* representado por Rio de Janeiro. Ao chegar ao ponto de destino é verificada a compatibilidade entre os pontos de SAPI transmitido com o esperado. Então, temos que o SAPI transmitido é Rio de Janeiro, já o esperado também é Rio de Janeiro. Sendo assim, houve uma compatibilidade entre os SAPI, gerando uma perfeita conexão.

Já para o segundo cenário que liga Rio de Janeiro a São Paulo, o SAPI transmitido tem o seu valor atribuído a Rio de Janeiro. Ao chegar ao ponto receptor é feita a comparação entre o SAPI esperado e o transmitido, os quais foram idênticos, que resultou em uma perfeita conexão.

Para o próximo exemplo temos a Figura 22, que representa uma falha de compatibilidade entre os pontos transmissores de uma conexão ponto a multiponto.

Figura 22: Cenário incorreto para o TTI ponto a multiponto.



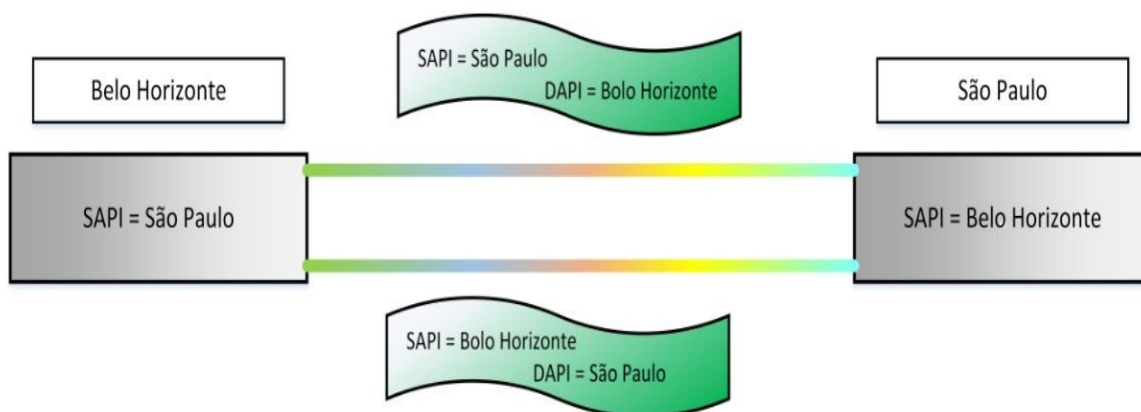
Fonte – O autor.

Já para o cenário da Figura 22, analisando pela a mesma lógica citada anteriormente, podemos concluir que essa conexão estabelecida está incorreta. Não necessariamente as duas conexões estão incorretas, pois a cenário ilustrado representando a comunicação entre Rio de Janeiro e São Paulo está correto, devido que o SAPI transmitido é o mesmo que o esperado na recepção. Porém, a conexão entre Rio de Janeiro e Belo Horizonte está incorreta, pois o receptor esperava o quadro em que seu respectivo SAPI correspondesse a Rio de Janeiro, e o recebido na verdade está correspondendo a Goiás, gerando uma incompatibilidade entre a conexão desejada.

4.1.3 Ponto a Ponto

O cenário ponto a ponto é representado por apenas um ponto de SAPI e um de DAPI. Ele é bastante semelhante ao ponto a multiponto, pois basicamente exige apenas a conferência do SAPI no ponto de recepção. A Figura 23 ilustra uma conexão ponto a ponto com um perfeito sincronismo entre os pontos transmissores.

Figura 23: Cenário correto para o TTI ponto a ponto



Fonte – O autor.

Para este exemplo temos dois pontos de conexões, os quais foram estabelecidos como sendo o ponto de origem Belo Horizonte e o de destino São Paulo. Sendo assim, ao gerar um pacote o seu vetor SAPI será preenchido com a *string* Belo Horizonte; já o DAPI, com São Paulo. Quando esse pacote chega ao seu ponto de destino, é feita a comparação com o SAPI esperado pelo o transmitido, que no exemplo foi exatamente o mesmo, resultado em uma perfeita conexão entre os pontos terminais.

Todos esses exemplos citados acima tiveram como objetivo ilustrar um pouco mais na prática e de maneira simplificada, como o campo TTI funciona. Embora os exemplos citados sejam muito superficiais, possibilita uma melhor compreensão do funcionamento deste campo. Na prática, o conceito de SAPI e DAPI é constituído por sequências binárias que representam a origem e o destino.

No decorrer do trabalho foram vistos 3 quadros que constituem o OTN, sendo eles o OPUk, ODUk e OTUk. Como já sabemos, cada um deles possuem seu cabeçalho e suas funções que garantem maior qualidade no serviço oferecido. Embora ambos sejam fundamentais para uma efetuar uma perfeita comunicação, os quadros ODUk e OTUk são os que possuem as funções responsáveis por registrar erros, gerenciamento e monitoramento da mensagem, que é o objetivo deste trabalho.

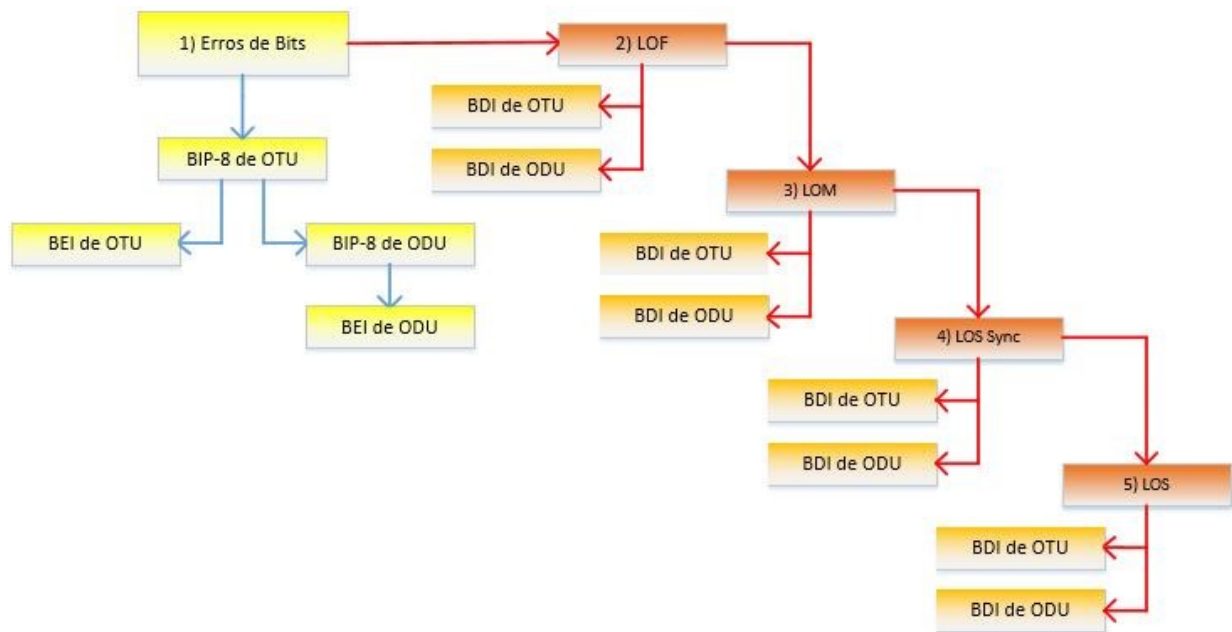
Como ressaltado acima, estes quadros são os que possuem em seu cabeçalho o campo TTI. Embora ambos possuam essa função e outras em comum, deve-se ressaltar também que eles são responsáveis por pontos diferentes da rede. Portanto, o campo TTI para cada um destes quadros registrara pontos de conexões diferentes, auxiliando no gerenciamento do pacote, pois será registrado de onde o pacote veio, quais pontos da rede ele passou, sabendo o operador dono de cada seguimento da rede até seu destino.

4.2 Alarmes presentes nos cabeçalhos ODUk e OTUk

Para os monitoramentos de erros ocorridos no processo de transmissão do pacote de dados, existe um conjunto de funções que tem este objetivo, as quais já foram detalhadas no capítulo anterior. Portanto, neste tópico serão abordados alguns exemplos de como ocorre esses erros na rede e em quais pontos serão registrados tais erros.

Para uma melhor compreensão dos exemplos a seguir, temos que entender um pouco melhor sobre a hierarquia dos erros, ou seja, quando a uma ocorrência de um terminado erro, sem que ele seja devidamente trado, pode ser que venha a ocasionar outros erros em pontos diferentes da rede. A Figura 24 a seguir ilustra essa hierarquia mencionada.

Figura 24: Hierarquias dos alarmes OTN



Fonte – O autor.

Como pode ser visto na imagem a acima, as funções de alarmes têm o objetivo de registrar os erros de *bits* ocorridos na transmissão e erros na transmissão. Portanto, um erro de *bit* pode gerar registros de alarmes em quadros diferentes do OTN, ou seja, podem ser gerados registros de alarmes em diferentes pontos da rede óptica. Isso ocorre pois, como já sabemos, o quadro ODU é responsável por monitorar os pontos de conexões. Já o OTU é responsável pelos trechos encontrados na rede, ou melhor dizendo, em trechos onde não houve conversão óptico para elétrico.

Mas por outro lado, os erros de *bits* ocorridos podem ocasionar falhas que resulta em perda de pacotes transmitidos, ou em até mesmo o fim da comunicação estabelecida. Essas falhas podem ser do tipo LOF, LOM, LOS Sync ou LOS, como já mencionado.

Quando um erro de *bit* resulta em uma falha do tipo LOS, é registrado um alarme do tipo BDI tanto no OTU quanto no ODU.

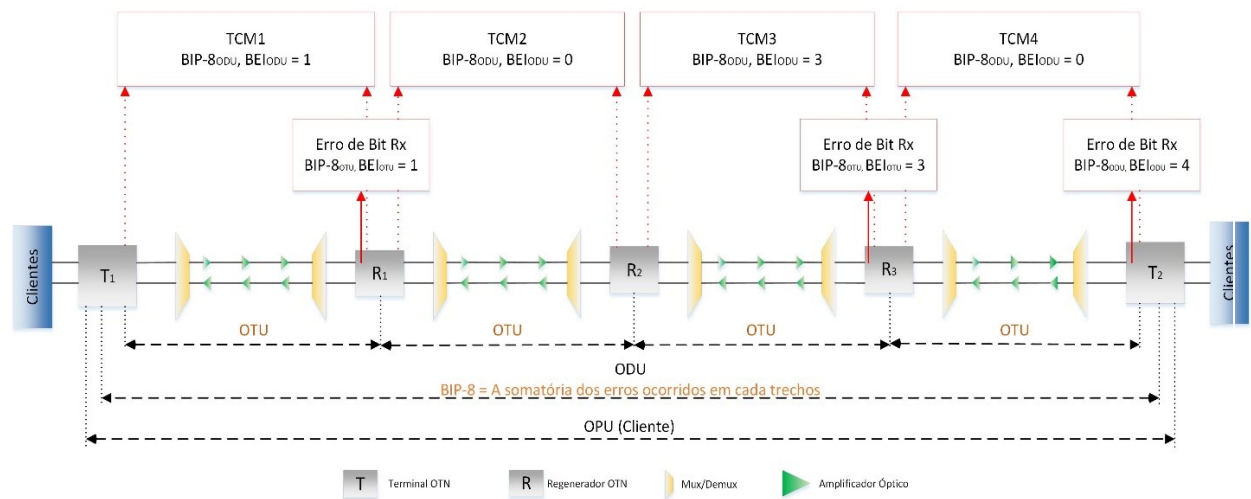
Assim pode-se concluir que a Figura 24 ilustra os alarmes gerados pelo os erros de *bits*, que são representados pelos os blocos interligados com as setas azuis e degradação do sinal transmitido que são os blocos interligados por setas vermelhas.

Após a compreensão destes conceitos, de quais alarmes registram a ocorrência de erro de *bits* no quadro OTN, e quais deles são para os registros do sinal degradado, os tópicos subsequentes terão como finalidade ilustrar uma pequena rede óptica com tais problemas.

4.2.1 Erro de Bits

Como já mencionado, o OTN possui alguns campos que realizam controle de ocorrência de erro de *bits*. Neste tópico serão abordados alguns exemplos que nos possibilite a entender um pouco melhor as funções já estudadas, assim como em quais pontos de enlace óptico ocorrerá o registro dos alarmes e a qual quadro do OTN ele pertence. Para o primeiro exemplo a Figura 25 ilustra um enlace a ponto a ponto, com a ocorrência de diversos erros de *bits* em pontos diferentes do enlace.

Figura 25: Erro de *bits* em um enlace ponto a ponto.



Fonte – O autor.

Para este exemplo temos uma conexão ponto a ponto, onde a rede DWDM é constituída por dois pontos terminais T1 e T2 e 3 regeneradores R1, R2 e R3, e os demais componentes, os quais não interferem na análise e interpretação dos erros. Para compreender a propagação dos alarmes, teremos que relembrar os pontos de atuações para o ODU e o OTU.

O ODU, como já sabemos, tem a função de monitorar todo o percurso percorrido pelo pacote, ou seja, ele é gerado em um dos pontos terminais e aberto somente no outro ponto terminal de destino. Como pode ser visto na Figura 25, existem três seguimentos na rede, esses seguimentos não são monitorados diretamente pela a ODU, mas sim pela a OTU, ou seja, a OTU é responsável por monitorar todos os seguimentos em que não ocorre a conversão óptica para elétrica, que em nosso caso são todos os seguimentos que interligam os regeneradores.

Embora esses segmentos sejam monitorados pela a OTU, a ODU também consegue saber o que houve em cada um dos deles, graças aos seus campos TCM que são constituídos com as funções de monitoramento de erros presente no cabeçalho PM da ODU. Para cada segmento é possível registrar os erros ocorridos, e processá-los quando o quadro ODU for aberto.

Compreendendo esse conceito, podemos analisar o exemplo. Para começar a analisar, teremos que estabelecer os terminais de origem destino. Como pode ser visto na imagem, os alarmes se propagaram do T1 ao T2, deste modo podem ser estabelecidos os pontos de origem e destino respectivamente.

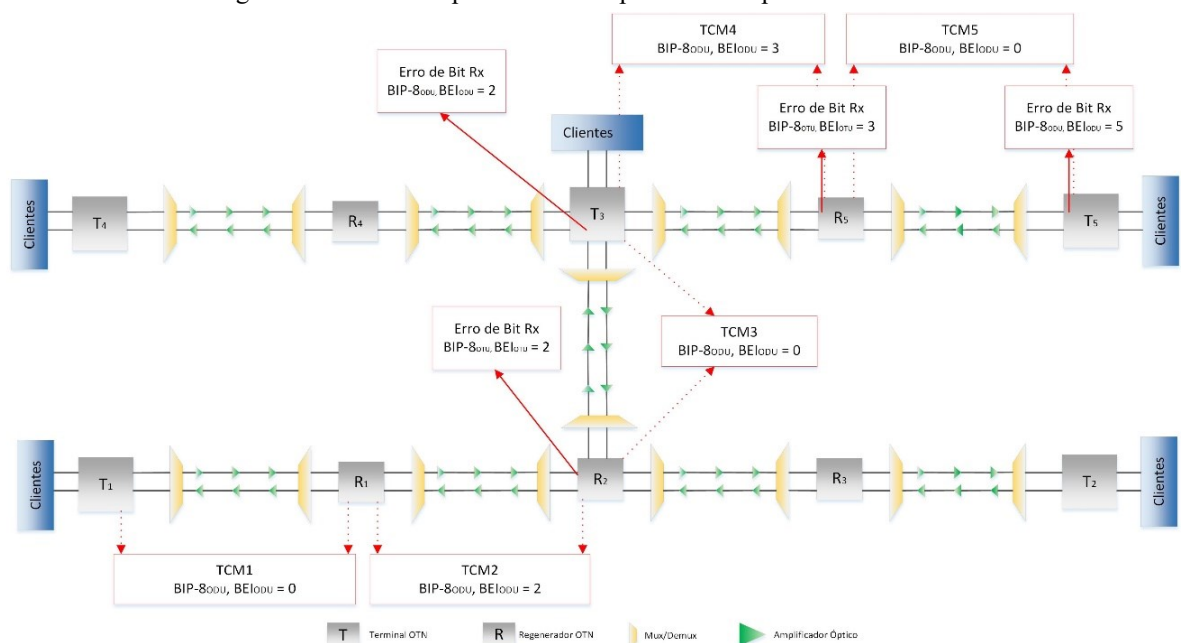
Primeiramente podemos analisar o seguimento que interliga o T1 ao R1. Neste trecho da rede, quando o pacote chega ao receptor do R1, é disparado um alarme de BIP-8 e a BEI para o OTU; basicamente neste ponto surge o primeiro alarme do exemplo. Embora o quadro continue a se propagar, temos que lembrar que o sinal óptico foi regenerado; logo esse erro de *bit* não será propagado pela a OTU até o R2, mas sua ocorrência foi registrada pelo o TCM do ODU. Já o seguimento que interliga o R1 ao R2 não ocorreu nenhum registro de erro, logo o pacote é regenerado e retransmitido para o R3.

No próximo trecho, quando o pacote chega no Rx do R3, é registrado a ocorrência de três erros de *bit*, ou seja, houve registro de 3 BIP-8 neste segmento, que gerou obrigatoriamente a BEI com a quantidade de erros que ocorreu neste percurso. Da mesma forma, que o seguimento anterior, o pacote é regenerado, contendo toda a ocorrência de erro registrado pelo o TCM do ODU e em seguida o quadro é reenviado para o T2. Ao chegar no ponto de destino T2 não houve nenhum erro registrado pela a OTU, mas neste ponto o quadro ODU é aberto e processado, logo todos os registros contidos nos TCM são calculados gerando um alerta de quatro erro de BIP-8 e da BEI ocasionados por esses erros. Vale ressaltar que esses erros não foram gerados no T2, mas sim durante todo o percurso do pacote.

Os erros gerados nestes percursos podem ter sido ocasionados pela diminuição da relação sinal ruídos durante a propagação ou pela emissão de potência elevada de um ou mais amplificadores. O motivo pelo qual os erros não se propagaram pelo ODU é que quando o pacote é regenerado, é criado um novo cabeçalho totalmente limpo para a OTU, onde todos os registros anteriores são desprezados para que possa ser iniciado o monitoramento no próximo percurso. Essas informações sobre os erros não são perdidas, pois os campos TCM do ODU serão processados só no destino final da mensagem, assim todos os erros ocorridos no percurso são registrados e tratados.

Para o próximo exemplo da Figura 26 poderá ser visto como ocorre a propagação de erro de *bits* para uma comunicação ponto a multiponto.

Figura 26: Erro de *bit* para um enlace ponto a multiponto.



Fonte – O autor.

Já para o exemplo da Figura 26 temos uma conexão um pouco mais complexa, onde existem cinco terminais conectados entre se. Neste cenário é possível conectar um ponto terminal a mais quatro pontos simultaneamente. Portanto, pode-se dizer que neste exemplo existe uma série de conexões possíveis, sendo elas: ponto a ponto, multiponto a ponto ou ponto a multiponto. O interessante neste cenário é compreender a propagação dos erros de *bits*. Portanto, o exemplo acima está conectado por meio de um ponto a multiponto. Logo temos que o T1 está estabelecendo comunicação com o T3 e o T5. Para uma melhor compreensão, não é necessário tentar entender a comunicação acontecendo simultaneamente

entre os terminais. Logo pode se pegar uma das conexões isoladamente, por exemplo, T1 ao T3 e analisá-la, e então em seguida analisar de T1 ao T5.

Para a primeira análise, pode se pegar o trecho que conecta o T1 ao T3 e observá-lo. Neste seguimento da rede está contida em três trechos, os quais são monitorados pelo o OTU e o seguimento total deste enlace que é monitorado pelo o ODU. Então temos que do T1 está conectado ao R1, não havendo nenhuma ocorrência, logo o TCM também não registrou nenhum erro. Mas já para o seguimento entre R1 e R2, houve dois registros de BIP-8 no receptor do R2. Assim registrou-se neste ponto um BEI de um OTU informando a quantidade de BIP-8 ocorrido neste seguimento, e consequentemente o TCM também registra a ocorrência dos erros.

A terceira conexão, entre R2 e T3, não apresenta ocorrência de erro no trecho monitorado, mas houve o registro de dois BIP-8 no quadro ODU, que não foram gerados necessariamente no T3, pois os TCM registraram os erros ocorridos em cada trecho. Portanto, quando o quadro ODU foi processado os erros de *bit* gerados no percurso fazem com que ocorra alarmes informando que houve a ocorrência de tais erros.

Já para a segunda análise entre T1 e T5, podemos encontrar cinco trechos, que são monitorados pelo o OTU e o enlace total pertencente ao ODU. Para essa conexão, o pacote passa por T3 antes de chegar no T5, logo imagina-se que quando o pacote chega ao T3, o quadro ODU será processado e analisados os erros, só que, isso não é verdade, pois o campo TTI já estudado, estabelece quem é o ponto de destino, tanto no quadro OTU quanto no ODU. Portanto, o pacote não é aberto no T3 e sim encaminhado ao próximo ponto da rede, e assim por diante até que chegue ao destino desejado.

Analisando esta conexão, nota-se que para o primeiro seguimento que liga T1 ao R1 não houve nenhuma ocorrência de erro, mas já para o segundo seguimento que liga R1 ao R2 houve registro de dois BIP-8 no receptor pertencente ao R2 e consequentemente é gerado um BEI, tanto para o cabeçalho do OTU quanto para o TCM do ODU.

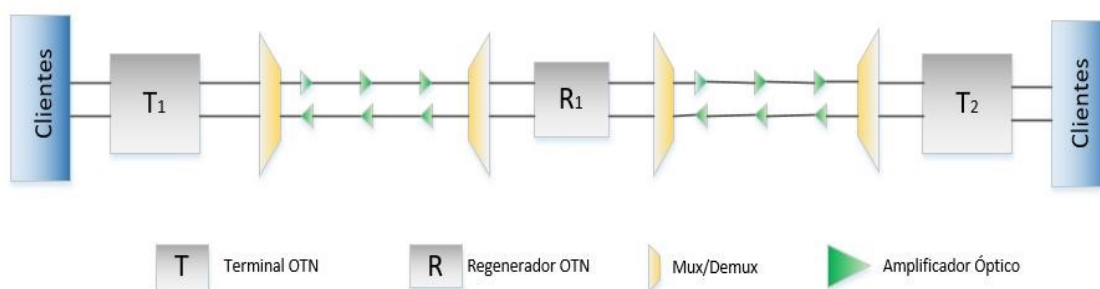
O próximo registro de erro ocorreu somente no seguimento seguinte que interliga o T3 ao R5, onde foi calculado mais três BIP-8 no receptor referente ao R5, gerando os alarmes de BIP-8 e de BEI como visto na Figura 26. Por fim, quando o pacote chega ao T5, o quadro ODU é processado e registrado o número de vezes em que houve a ocorrência do erro *bit* durante todo o percurso do pacote, totalizando cinco BEI que faz referência direta a quantidade de BIP-8 ocorridos no percurso do pacote.

Já para o próximo tópico a ser abordado, será ilustrado alguns exemplos que possa nos auxiliar na compreensão das funções de alarmes, que representa degradação no sinal transmitido e quais pontos do enlace são registrados esses alarmes.

4.2.2 Degradação do Sinal

O monitoramento da degradação do sinal é um fato crucial para a sobrevivência da informação transmitida. Portanto, existe uma função específica para o registro destas degradações, ela é encontrada no OTU e também no ODU. Essa função é a BDI, que já foi mencionada no decorrer deste trabalho. Neste tópico serão abordados uma serie de exemplos em que venha a ocorrer a degradação do sinal, por meio de alguns eventos. A Figura 27 ilustra um sistema DWDM simplificado para facilitar no entendimento, onde o sinal está bem alinhado e sem registro de alarmes em sua gerência.

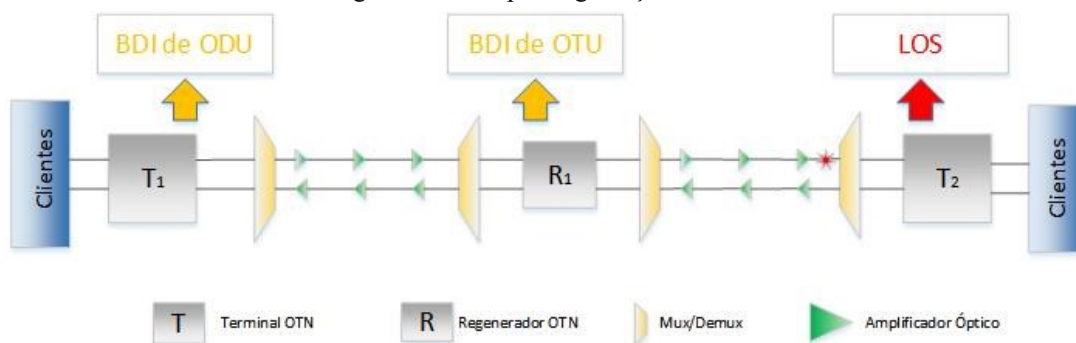
Figura 27: Conexão alinhada e sem sinal de alarme na gerência.



Fonte – O autor.

Na figura acima a conexão está perfeitamente alinhada, pois não está com nenhum alarme na gerência, ou seja, todo pacote transmitido pelo T₁ chega sem nenhuma alteração de *bit* ou degradação do sinal no ponto receptor T₂; o mesmo vale para quando o ponto transmissor for o T₂ e o receptor o T₁. O próximo exemplo da Figura 28 é o mesmo do anterior, mas com ocorrência de degradação do sinal transmitido. Neste caso, temos uma conexão ponto a ponto, onde houve degradação do sinal. Para entender a ocorrência de tais alarmes ilustrados acima, será preciso verificar os pontos de conexões. Primeiramente a comunicação está sendo executada do Transmissor de T₁ ao Receptor do T₂, mas contém um regenerador entre eles.

Figura 28: Falha por degradação do sinal.



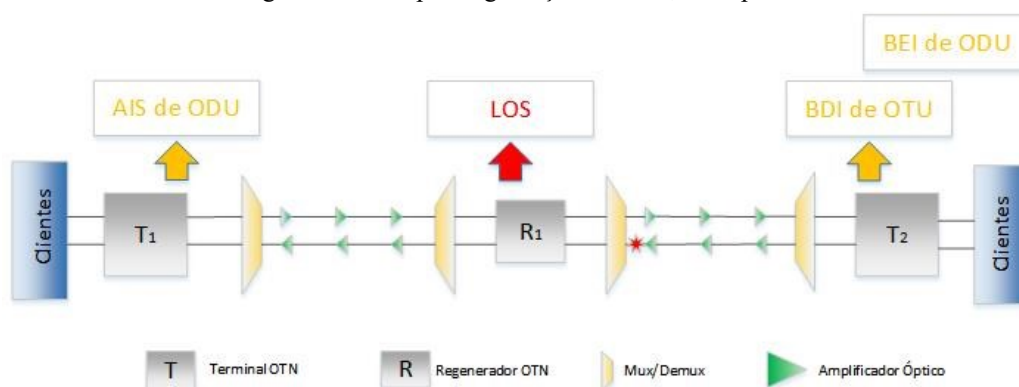
Fonte – O autor.

Os alarmes ilustrados acima iniciaram-se devido ao rompimento na fibra, entre o transmissor do R1 e o receptor do T2. Devido a este rompimento, houve uma perda de conexão entre o T1 e T2, gerando o alarme de degradação do sinal o LOS. Por esse motivo o T2 não pode receber pacotes enviados por T1, mas também é necessário que o T1 saiba que houve tal problema na rede. Desta forma, T2 monta um novo pacote que será enviado de volta ao T1, com o objetivo de informá-lo de tal problema.

O pacote enviado possui seu campo BDI preenchido em ambos os quadros e assim, ao chegar ao regenerador, o quadro OTU será aberto com o objetivo de verificar suas funções. Como o campo BDI está sinalizando um defeito, é emitido um sinal de erro BDI do quadro OTU no regenerador como ilustrado acima. O mesmo vale para quando o quadro chega ao T1, o quadro ODU é processado e é disparado um alerta de erro de BDI.

Para o exemplo da Figura 29 temos a mesma conexão ponto a ponto, com o mesmo problema do exemplo anterior, mudando a penas o local de onde houve o rompimento da fibra.

Figura 29: Falha por degradação do sinal, exemplo 2.



Fonte – autor.

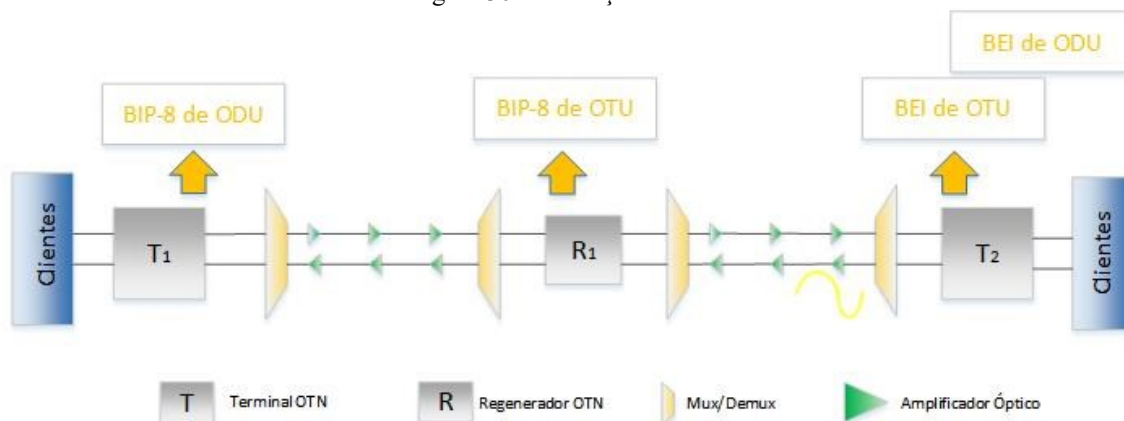
Para este exemplo, a única diferença do anterior é o local de rompimento da fibra e sua propagação de alarmes dentro da rede. Portanto, a fibra se rompeu entre o transmissor de T2 e

o receptor de R1. Embora o rompimento da fibra tenha ocorrido em um ponto diferente, houve ocorrência de erros que não foram registrados no exemplo anterior.

Assim o pacote transmitido pelo o T2 não chegou ao seu destino R1; deste modo não foi concluída a conexão entre ambos os pontos, gerando assim uma perda do sinal e disparando um alerta de LOS no R1, como ilustrado acima. Devido ao R1 não receber o pacote, ele não pode concluir a conexão com o T1, pois ele não possui a função de gerar um novo pacote, uma vez que o único quadro executado no R1 é o OTU. Por este motivo, nenhum pacote chega de volta ao T1, então a gerência entende que pode ter ocorrido falhas no servidor da rede e dispara um alarme do tipo AIS de uma ODU, transportado pelo campo STATUS de seu cabeçalho. Por fim, o T1 monta um pacote que será enviado ao T2, informando que houve problema na rede. Neste novo pacote é inserido um registro de BDI em ambos os quadros que geram os alarmes BDI de uma ODU e de OTU vistos no T2.

O exemplo da Figura 30 será ilustrado quais alarmes se propagam na rede caso ocorra uma atenuação no sinal transmitido.

Figura 30: Atenuação no sinal.



Fonte – O autor.

Outra degradação que pode vir a ocorrer é a atenuação do sinal. A atenuação na maioria das vezes não impede que seja estabelecida a comunicação, mas pode vir a ocorrer desde que não seja tratada. No entanto, gera um certo transtorno para o tratamento dos dados, pois ela pode vir a ocasionar inúmeros erros de *bits*.

Tendo isso em mente, podemos analisar o exemplo da Figura 30. Este cenário possui uma conexão bem-sucedida entre T1 e T2, mas com ocorrência de diversos erros de *bits*. Deste modo podemos concluir que ao enviar a mensagem de T1 ao R1, houve uma atenuação no sinal, gerando assim gerando o alarme de BIP-8 de uma OTU no R1; já para R1 ao T2 também houve atenuação e consequentemente gerando mais erros de BIP-8 de uma OTU e de

ODU no T2. Como já sabemos, ao registrar um BIP-8, conseqüentemente é gerado registros equivalentes no campo BEI, mostrando a quantidade de erros de *bits* ocorridos neste percurso.

CAPÍTULO 5

5 CONCLUSÃO E ESTUDOS FUTUROS

Este capítulo será abordada a conclusão deste trabalho, com base nas funções que constitui a arquitetura padrão do OTN, assim como uma proposta para um futuro trabalho que possa vir a ser realizado.

5.1 Conclusão

Este trabalho teve como objetivo entender um pouco mais sobre as redes ópticas, tendo como enfoque a tecnologia OTN. Durante o decorrer deste trabalho foi abordado a arquitetura que constitui o OTN, assim como seus cabeçalhos e suas funções que garantem o mapeamento e multiplexação do sinal cliente.

O objetivo deste trabalho foi detalhar de forma mais simples como o OTN atua em uma rede DWDM, as quais são constituídas por inúmeros componentes, tais como Transpônderes, Regeneradores, Amplificadores e outros. Essas redes podem interligar cidades, estados, países e até mesmo continentes, aumentando sua complexidade e exigindo tecnologias que auxiliem na gerência da transmissão dos dados.

Com base nesta necessidade, o OTN é uma das principais ferramentas para o monitoramento dos dados durante todo o percurso da rede. Para que seja possível transportar a informação com tantas garantias é feito o mapeamento delas para dentro do quadro OTN. Para que não ocorra problemas com o mapeamento dos dados para o quadro padrão do OTN, ele se adequa a diferentes taxas de *bits*. A sua arquitetura padrão é constituída por 15232 *bytes* para realizar o transporte da informação do cliente e 1088 *bytes* reservado para os cabeçalhos e o FEC. Devido a estes *bytes* reservados para os cabeçalhos é possível realizar funções que são úteis para monitoramento de conexões, ou trechos específicos da rede óptica, monitorando também o desempenho ponto a ponto dos transpônderes terminais e possuindo alarmes que indicam erros de *bits* ou falhas ocorridas no sinal transportado.

Para concluir, pode se dizer que o OTN surgiu para fornecer mais qualidade no transporte do sinal nas bandas de transmissão já existentes. Mas como pode ser visto, o aumento de tráfego de dados vem crescendo dia a dia, chegando próximo do limite de 100 Gb/s que constitui a maior taxa do quadro OTN, ou seja podendo ultrapassar a taxa do OTU4. Por esse motivo já foi criado o OTU5, que pode conter 400 Gb/s e a superior atingindo a taxa de até 1Tb/s, os quais são definidos pela IEE802.3. Logo é extremamente complexo a criação

de novas inovações que trabalhem em taxas muito elevadas, para suprir a demanda mundial por mais banda, adequando-se e padronizada com as tecnologias já existentes com as que possa vir a ser criada em um futuro próximo.

5.2 Estudos Futuros

Deixa-se como proposta para um próximo trabalho a criação de um ambiente computacional que auxilie de forma prática e simples o entendimento das correlações e propagações de alarmes que foram abordadas neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. RAMASWAMI. R, . SIVARAJAN, K. N, and SASAKI. G. H, “**Optical Networks A Practical Perspective**”, Third Edition, Elsevier, Chapter 2,N.Y., U.S.A., 2010.
2. KAO, K. C, HOCKHAM. G. A, "**Dielectric-fibre surface waveguides for optical frequencies**". Proc. IEE, Vo.113, No.
3. WERTS. A, “**Propagation de la lumiere coherente dans les fibres optiques,**” L’Onde Electrique, Vol. 46, 1966
4. KAPRON. F.P, KECK. D. B, and MAURER. R. D, “**Radiation losses in glass optical waveguides,**”Appl. Phys. Lett., Vol. 17
5. JOSEPH. B, ADEL. A. M, LOUDON. B, JANE. M. S, “**Optical Networking: Past, Present, and Future,**”. [S.l.]: Joum. Ligh. Technol, May 2008.
6. Abosi. C. E, Nejabati. R, and Simeonidou. D, “**A Novel Service Composition Mechanism for the Future Optical internet,**” Journ. Opt. Commun. Netw, Vol. 1, No.2.
7. Desurvire. E, “**Capacity Demand and Technology Challenges for Lightwave Systems in The Nest Two Decades**”, J. Ligh. Tech., Vol. 24, No. 12, December 2006.
8. ZHOU. G. T, Xu. K, Wu. J, YAN. C, SU. Y, and LIN. J. T, “**Self-Pumping Wavelength Conversion For DPSK Signals And DQPSK Generation Through Four-Wave Mixing In Highly Nonlinear Optical Fiber,**” IEEE Photon. Technol. Lett., Vol. 18, No. 22, November 2006.
9. RAFAEL, C. F. **Uma Proposta de Solução para Levantamento do Inventário dos Elementos de Rede em Redes Ópticas de Transporte.** Vitória. 2014.
10. EDUARDO R. S, "**Contextualização da Recomendação ITU-T G.798 na Plataforma LightPad il600G da PADTEC.**" [S.l.]. 2014.
11. G.709/Y.1322. "**Recommendation ITU-T, Interfaces for the Optical Transport Network**". [S.l.]. 2003.
12. VINICIUS. C, BRUNO. O. M, "**Rede de Transporte OTN Optical Transport**

Network". [S.l.]. 2015.

13. GUSTAVO. L. C, “**Fundamentos do Padrão OTN (Optical Transport Network)**”,
USP São Carlos, 2014

