

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS

ESCOLA DE ENGENHARIA / ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO
Trabalho Final de Curso II

Wendell de Moraes Moreira

PROCESSO DE MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO DE REDES ÓPTICAS EM
TELECOMUNICAÇÕES

Trabalho Final de Curso como parte dos requisitos para
obtenção do título de bacharel em Engenharia de
Controle e Automação apresentado à Pontifícia
Universidade Católica de Goiás.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Bruno Quirino de Oliveira
Prof. Dr. Antônio Marcos de Melo Medeiros
Prof. Me. Luis Fernando Pagotti

Goiânia, 01 de junho de 2021.

PROCESSO DE MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO DE REDES ÓTICAS EM TELECOMUNICAÇÕES

Wendell de Moraes Moreira, Bruno Quirino de Oliveira, Antônio Marco de M. Medeiros e Luis Fernando Pagotti
Engenharia de Controle e Automação, PUC Goiás.

Resumo- É considerando o intenso avanço da *cyber tecnologia* que as empresas de telecomunicações vêm investindo, cada vez mais, em meios de transmissão baseados em redes ópticas com o intuito de atender uma demanda de mercado por largura de banda, seja para atender o 5G na telefonia móvel, a indústria 4.0, Tecnologias *IoT*, *FTTH* (acrônimo de *Fiber-to-the-Home* - Fibra para o lar), ou mesmo aplicações *online* interativas. Os meios Ópticos de transmissão se adaptaram e convergiram para atingirem altas taxas de transmissão, alcançando longas distâncias, além de trafegar todo tipo de dados voz, imagens e vídeos *reais time etc.* Este trabalho tem o objetivo demonstrar como é realizado a operação e manutenção de redes ópticas em telecomunicações na região Centro-Oeste, através de exemplos das topologias de redes implementadas, destacando o seu funcionamento, o monitoramento, a operação e manutenção. Também é intuito a descrição de como o sistema faz autodiagnóstico, bem como, o chaveamento alternativo de rotas, alertas e despacho de mensagens de falhas visando proteger o tráfego de dados.

Palavras chaves — Fibra Óptica, Sistemas de Telecomunicações, *OTDR*.

Abstract- It is considering the intense advance of cyber technology that telecommunications companies are increasingly investing in transmission media based on optical networks to meet market demand for bandwidth, or to meet 5G in telephony mobile, industry 4.0, IoT Technologies, FTTH (an acronym for Fiber-to-the-Home), or even interactive online applications. Optical transmission means have adapted and converged to achieve high transmission rates, reaching long distances, in addition to transmitting all types of data, voice, images, and real-time videos, etc. This work aims to demonstrate how the operation and maintenance of optical networks in telecommunications in the Midwest region are carried out, through examples of implemented network topologies, highlighting their functioning, monitoring, operation, and maintenance. It is also intended to describe how the system performs self-diagnosis, as well as alternative switching of routes, alerts, and dispatch of fault messages to protect data traffic.

Keywords – Optics Fiber, Telecommunications Systems, *OTDR*.

I. INTRODUÇÃO

No ano de 1998 ocorreu o processo de privatização das telecomunicações no Brasil, isto trouxe investimento privado para o setor e desencadeou uma busca constante para se ofertar serviços de dados com maior qualidade e velocidade de conexão, muito embora haja uma controvérsia neste quesito, é inegável que desde então as comunicações de dados aumentaram exponencialmente. Porém mesmo que os equipamentos de dados pudessem trafegar informações

em taxas mais elevadas em Redes Locais (*LAN*), isso não acontecia quando era necessário o tráfego de dados entre equipamentos que estivessem interligados em uma Rede Metropolitana (*WAN*), pois, as interligações entre as centrais telefônicas, inicialmente para trafegar voz, e realizar a comutação de circuitos. Então surge uma demanda por tráfego de dados com a abertura da *Internet*.

Baseado no teorema de amostragem de *Nyquist*, em 1970 iniciou-se, pelo mundo, um processo de digitalização das centrais telefônicas e utilizando técnicas de multiplexação por divisão de pulso (*PCM*) para aumentar as taxas de transmissão e, ao mesmo tempo, garantir a qualidade ao sistema telefônico. No Brasil foi adotado o padrão europeu denominado E1, também conhecido como 2Mbps ou 2048kbps. Neste, para um mesmo meio de transmissão (TX), onde antes se trafegava uma única linha telefônica passou se a transmitir 30 linhas de voz mais uma para sincronismo e outra para controle. Totalizando 32 canais (também denominados *time slots*) de 4 khz a uma taxa de transmissão de 64 kbps cada. Isto permitiu o tráfego de dados e voz através do sistema telefônico a isto se deu o nome de convergência. As redes de dados passaram a trafegar nas redes com hierarquia Digital Quase Síncrona (*PDH- plesiochronous digital hierarchy*) o tráfego para as redes de dados estava limitado a pacotes múltiplos do canal telefônico, por exemplo 64 kbps ou 34368 kbps, [1], [2] e [3].

Com o surgimento do padrão síncrono ou conhecido como *SDH (synchronous digital hierarchy)*, as taxas poderiam atingir, além das anteriores, valores de 2,5 Gbps e 10 Gbps. A Tabela 1 exemplifica bem isso. Nesta, pode ser notada a relação entre *PDH* e *SDH*, por exemplo, um *STM1* é capaz de transportar 63 tributários E1 do padrão *PDH* a uma taxa de 155 Mbps o que é equivalente a 1890 canais de voz [3], [4] e [5].

Tabela 1. Capacidade de Transporte.

Hierarquia Digital Síncrona	Taxa Bits/s	QTD E1	QTD E3	QTD E4 VC4
STM0	52 M	21	1	-
STM1	155M	63	3	1
STM4	622M	252	12	4
STM16	2,5G	1008	48	16
STM64	10G	4032	192	64

Fonte: Teleco.com.br (2020).

Ambos os sistemas *PDH* e *SDH* já faziam uso de equipamentos onde meios de transmissão (TX) utilizavam a fibra óptica, mas ainda eram sistemas que utilizavam comutação de circuitos com taxas de transmissão inferiores se comparadas as atuais. Onde um circuito era alocado na

rede da operadora para determinado cliente e, independentemente deste cliente está ou não enviando dados, o circuito ficava dedicado, alocando banda na rede da operadora. A utilização da rede não era estatística. É claro que o padrão *SDH* já foi uma grande evolução impulsionada pela necessidade de aumentar a transmissão de dados pela rede telefônica, [3], [4] e [5].

Deste modo, pode-se destacar a Internet como sendo a força motriz por trás da convergência dos serviços prestados pelas operadoras. As redes ópticas *SDH*, somados ao aperfeiçoamento das redes de telefonia móveis com os sistemas 3G e 4G, permitiram aos equipamentos de dados utilizarem o protocolo *IP* (Internet Protocol) na transmissão dos mais variados serviços aproveitando técnicas legadas no encapsulamento das informações a serem trafegadas através dos meios de TX das operadoras telefônicas. A figura 1 demonstra alguns protocolos utilizados para tal, [4] e [5].

As redes de dados continuaram a demandar uma largura de banda ainda maiores para garantir serviços com acessibilidade, capilaridade, altas capacidades e maior mobilidade [5].

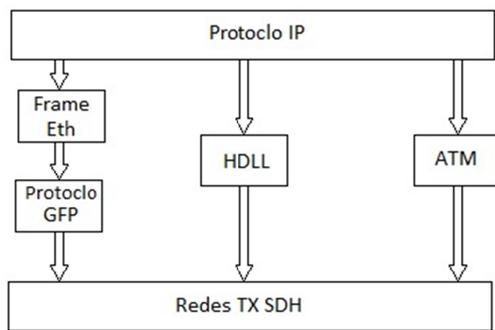


Figura 1. Encapsulamento IP over SDH.
Fonte: Autor (2020).

Tendo em vista essas necessidades a internet com seus protocolos *TCP-IP* têm sido protagonistas no processo de transformação das redes de telecomunicações de uma rede de comutação de circuitos para uma rede de comutação de pacotes. Como exemplo de equipamentos de *TX* com essa configuração tem-se os Rádios *IP* os equipamentos *PTN*, figura 2 Topologia de rede *TX PTN*, [4] e [5].

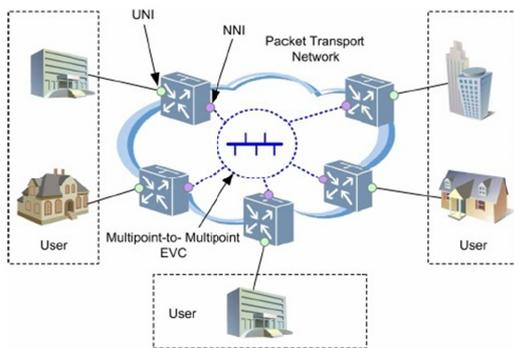


Figura 2. Transmissão com comutação de Pacotes.
Fonte: Teleco (2020).

Os equipamentos da rede de transporte eram o gargalo que impedia a ampliação de banda para que a rede de acesso atingisse a condição ideal para as mais variadas aplicações,

as quais eram demandadas pelos usuários do sistema. Seguiram-se as pesquisas para o aprimoramento das redes ópticas e essas obtiveram substanciais avanços na multiplexação óptica, dentre os quais, pode-se citar o efeito *Haman*, nome este em homenagem ao seu descobridor o *Sir Chandrasekhara Venkata Raman* ganhador do Prêmio Nobel de Física de 1930. [5] e [6]. Porém, sua utilização prática só se deu muito tempo depois com a invenção do Laser de bombeio e o desenvolvimento de amplificadores do tipo *EDFA*. Isso possibilitou o desenvolvimento e aplicação comercial para os equipamentos de multiplexação densa por divisão de comprimento de onda (*DWDM* - Dense wavelength Division Multiplexing). Evoluindo para os equipamentos de Rede de Transporte Integrada por Pacotes Ópticos (*POTN* - Packet-Optical integrated Transport Network). Fazendo com que os Elementos da Rede de transporte (*NE*) se pareçam mais com equipamentos da Rede de Dados. Uma grande facilidade proporcionada pelos equipamentos mais modernos é a Cross conexão óptica (*OXC* - Optical Cross-Connect), possibilitando a mudança de λ gerando assim uma flexibilidade que não existia até então, [6] [7] [8].

Será feita uma análise das causas baseada nos registros de uma grande empresa de telecomunicações do estado Goiás. Os dados levantados foram referentes aos anos de 2019 e 2020. Esses dados foram comparados levando-se em conta as características das falhas que mais ocorreram e o impacto das medidas de controle e ações preventivas. Se faz necessário esclarecer que as falhas apontadas são inerentes a meios de transmissão por fibras ópticas, já que em muitos casos, mais de uma operadora têm seus cabos atingidos em determinados tipos de rompimento. Este levantamento é parcial, pois levou em conta apenas situações em que os cabos foram rompidos totalmente. Casos como atenuações que provocaram taxas de erro elevadas, casos em que a falha foi provocada por falha de hardware, seja placas ou SFP, até mesmo por atuação ou manobra indevida não foram objeto de estudos.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A. Fundamentos do funcionamento da Fibra Óptica (FO).

A fibra óptica é um excelente meio de transmissão ao se comparar com o ar atmosférico nas transmissões via rádio ou, até mesmo, com as que são feitas por meios cabeados como as que utilizam cabos coaxiais, cabos coaxiais etc.

A luz é uma onda eletromagnética constituída por fótons que se propagam pelo vácuo a uma velocidade (C) de $2,997925 \times 10^8$ m/s (metros por segundo), a esta velocidade de propagação se dá o nome de velocidade da luz. É importante que existe uma relação entre a velocidade da luz, o comprimento de onda (λ) e a frequência, dado pela Equação (1). [6].

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

Onde:

λ = comprimento de onda (nm)

C = velocidade da luz ((m/s)

f = frequência (hz)

Essa velocidade se altera conforme a luz muda de um meio, transparente e isotrópico, para outro. Isto está diretamente relacionado ao índice de refração como pode ser visto na Equação (2), [6], [7].

$$n = \frac{c}{c_{mat}} \quad (2)$$

Onde:

n = índice de refração

c = velocidade da luz

c_{mat} = Velocidade da luz no meio material

O índice de refração n da luz no vácuo vale 1, já no ar vale 1,00029. Para o núcleo da óptica vale 1,48 e para a “casca” da fibra óptica vale 1,465.

A reflexão e refração da luz são outros dois parâmetros importantes para a compreensão de como se dá o transporte de informações através dos cabos ópticos.

Ao atingir uma superfície plana, um raio de luz poderá sofrer um desvio em sua trajetória. O que é conceituado como reflexão, de modo que o ângulo (θ_1) é denominado ângulo de incidência. E o ângulo (θ_2) é denominado ângulo de reflexão. É traçada uma reta Normal perpendicular à superfície plana de incidência, disso, resulta que o ângulo de reflexão θ_2 é igual ao ângulo de incidência θ_1 . Isto, pode ser visto na Figura 3, [6], [7] e [8].

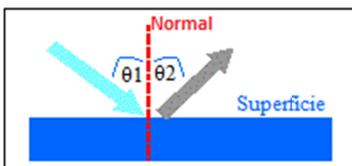


Figura 3. Reflexão.

Fonte: Teleco.com.br (2020).

A refração se dá quando a luz ao se propagar em linha reta e passa a se propagar em outro meio igualmente homogêneo, transparente e isotrópico, desde que tenham índices de refração diferentes ocorrerá mudança de velocidade de propagação da luz no meio. De acordo com a Equação (2) e Figura 4. Portanto refração ocorre quando há mudança de meio e de velocidade. Sempre haverá uma Reflexão associada, mas nem sempre acontecerá a mudança de direção, [6] e [8]. Na Figura 4 é possível notar que a Luz, inicialmente com velocidade V_1 e ângulo θ_1 , ao mudar de meio de propagação, também mudou de direção conforme o ângulo θ_2 e de velocidade V_2 , além de ter uma Reflexão parcial [8].

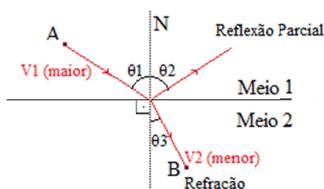


Figura 4 Lei de Snell para Refração da Luz .

Fonte: Teleco.com.br (2020).

Utilizando a Lei de Snell para encontrar o ângulo Limite θ_2 conforme Equação 3, ocorrerá a Reflexão total quando o ângulo Limite de θ_2 não conseguir mais aumentar o valor do ângulo de θ_3 ele já terá atingido 90° . A reflexão total só acontecerá se luz passar de um meio com índice de refração

maior para um meio com o índice de refração menor. Assim o ângulo θ_1 tende a 90° e neste caso a Refração será nula. Fato visto na Figura 5 [8].

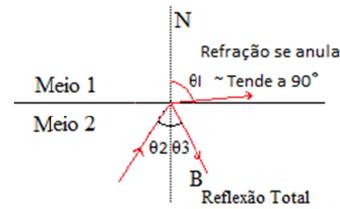


Figura 5. Reflexão Total.
Fonte: Teleco.com.br (2020).

Fazendo as considerações a Lei de Snell obtém-se a Equação 3. De forma que o ângulo θ_2 deve ser maior que o ângulo Limite para garantir a reflexão total [8].

$$\text{Sen } \theta_2 = \frac{n_1}{n_2} \quad (3)$$

Onde:

$\text{Sen } \theta_2$ = Ângulo Limite para Reflexão Total

n_1 = índice de refração Menor

n_2 = índice de refração Maior

Na fibra óptica para que exista o acoplamento ideal e tenha a condição de propagação com uma menor perda possível é obrigatório que o ângulo de entrada de acoplamento permita que a primeira reflexão no núcleo da fibra tenha um ângulo maior que o ângulo limite e, assim, ocorra a reflexão total, daí em diante esse raio estará confinado no núcleo da fibra [8].

B. Tipos de Fibra Óptica (FO)

Uma Fibra Óptica é constituída pela junção de materiais dielétricos e isolantes, garantindo uma imunidade a interferências eletromagnéticas. Pode-se dividir uma FO em três partes constituintes; o núcleo, a casca e a capa protetora. O diâmetro da capa para ambas é de $125 \mu\text{m}$ (Figura 6 e 7).

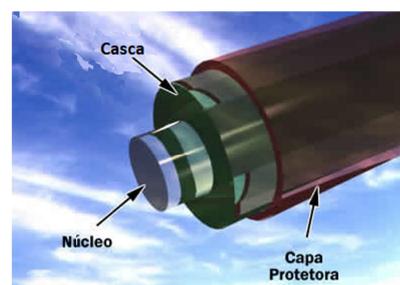


Figura 6. Fibra Óptica.
Fonte: Teleco.com.br (2020).

Existem basicamente dois tipos de FO comercialmente. A Fibras Ópticas Monomodo e as Fibras Ópticas Multimodo. A diferença principal entre elas é o diâmetro do núcleo, sendo de 9 μm na FO monomodo e de 50 μm ou 62,5 μm na FO multimodo. Na Figura 7 pode ser notado a comparação entre o diâmetro do núcleo de uma FO multimodo em relação ao diâmetro de uma agulha [8] [9].

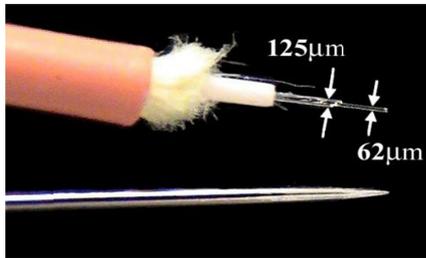


Figura 7. Fibra multimodo comparado com uma agulha. Fonte: Teleco.com.br (2020).

Essa diferença no diâmetro do núcleo está diretamente associada as diferenças de transmissão, alcance e preços.

A FO Multimodo (*MM*), por ter o núcleo mais largo que a Monomodo (*SM*), trafega vários caminhos, múltiplos modos de transmissão. Pelo fato de possuir vários caminhos esse tipo de FO é limitado pela dispersão modal. 2KM a baixas taxas. Trafegando 100 Gbps esse alcance cai mais ainda. [8] e [9].

Já no caso da Monomodo sé tem um caminho, isto é, existe apenas um caminho. O alcance é muito maior dependendo do comprimento de onda e dos amplificadores pode chegar a mais de 100 Km. A Tabela 2 e a Tabela 3 mostram algumas vantagens e desvantagens dos dois tipos de FO, [8] e [9].

Tabela 2. Fibras Multimodo.

Vantagens	Desvantagens
Núcleo com maior diâmetro torna mais fácil o alinhamento, e diminui perdas no acoplamento.	Alcança distancias menores quando comparadas as fibras monomodo
Baixo custo, mas toda a cadeia, os insumos associados, os conectores placas de circuitos eletrônicos etc.	Taxas de Transmissão mais baixas, se comparadas as fibras monomodo quando comparadas as Fibras Ópticas Monomodo.

Fonte: Teleco.com.br (2020).

Tabela 3. Fibras Monomodo.

Vantagens	Desvantagens
Alcance de distâncias maiores comparadas as fibras ópticas multimodo.	Devido as dimensões do Núcleo da fibra óptica monomodo serem extremamente reduzidas, isto torna difícil o alinhamento, que é o caso de emendas, conectores etc.
Taxas de Transmissão muito mais altas (superiores a 160 Gbit/s) quando comparadas as fibras ópticas multimodo.	Alto custo, quando comparado á outros tipos de Fibra, não só da Fibra em si, mas também dos materiais agregados, como conectores, componentes eletrônicos e, outros.

Fonte: Teleco.com.br (2020).

III. MATERIAIS E MÉTODOS

A. Código de cores.

Um cabo de FO, independentemente de ser *SM* ou *MM*, pode vir com 6, 12, 18, 24, 36, 48, 72 ou 144 fibras. Cordão Óptico são utilizados para interligações e vêm com uma ou duas fibras.

As unidades básicas devem ser identificadas pelo código de cores dos tubos de proteção (Tubo *Loose*), também conhecidos como grupo de fibras. São eles:

- 01 Piloto Verde
- 02 Direcional Amarelo
- 03 em diante branco ou natural sem cor

Identificasse o grupo de tubo verde, em seguida, verificasse em qual sentido está o grupo amarelo. Daí em diante todos os grupos são da cor branca. A figura 8.

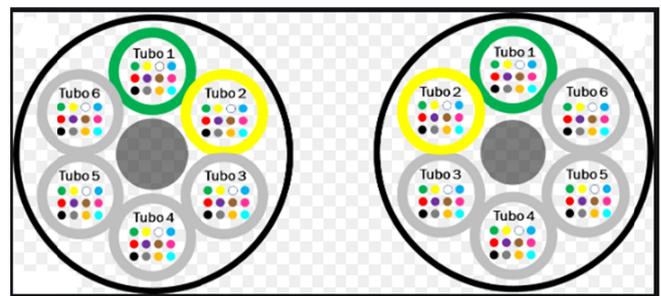


Figura 8. Identificação por cor da sequência do Grupo no cabo. Fonte: Fluke networks (2020).

Tabela 4. Tabela de cores das Fibras dentro do cabo

Número Fibras	Cores
1	Verde
2	Amarelo
3	Branco
4	Azul
5	Vermelho
6	Violeta
7	Marron
8	Rosa
9	Preto
10	Cinza
11	Laranja
12	Azul Claro

Fonte: Autor (2020).

Os conectores dos cordões para interconexão têm uma variedade de formatos, mas duas cores determinam o tipo do ângulo do polimento que vai garantir um melhor acoplamento da fonte de luz para o cabo óptico. A cor azul significa um polimento PC ou *UPC* já a cor Verde determina que o conector tem polimento *APC* (Figura 9) [9] [10] [16].

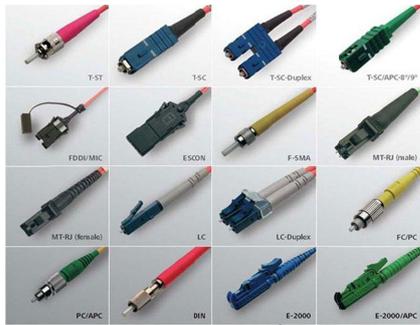


Figura 9. Conectores Ópticos.
Fonte: Nextews (2020).

B. Operação das diferentes topologia e equipamentos da Rede de Transporte.

O core das redes de transporte, por exemplo as Redes Internacionais, Interestaduais, Intermunicipais e até mesmo as Redes Metropolitanas são feitas em sua maioria através das Fibras Ópticas. As informações vêm da última milha que é a parte da planta que entrega os serviços aos clientes. Na Figura 10 está exemplificando como é a configuração da transmissão, de forma simplificada. Todos os serviços prestados pela operadora são concentrados em equipamento coletores, estes possuem conexão com seus respectivos agregadores que, por sua vez, estão conectados a outros da mesma operadora que têm conexões a com outros operadores do Brasil e do mundo. Na Figura 9 ainda, é possível observar os seguintes equipamentos Estação Rádio Base, *ERB* em português (*BTS – Base Transceiver station*) são os equipamentos que prestam os serviços 2G da telefonia móvel. Para os equipamentos dois 2G a transmissão é feita por circuitos *TDM E1* e em Protocolo *ETH* (ethernet) no caso dos equipamentos 3 G (Node B). Os serviços de *ADSL* são fornecidos pelos *DSLAM* estes trafegam através de circuitos *IMA E1* para equipamentos mais antigos *ETH 10* Base T, por circuitos *EHT* elétrico ou óptico. Ultimamente o *ADSL* têm sido substituídos por *FTTH/GPON* (*Gigabit Passive Optical Network*). As centrais telefônicas trafegam por circuitos *TDM E1* [13].

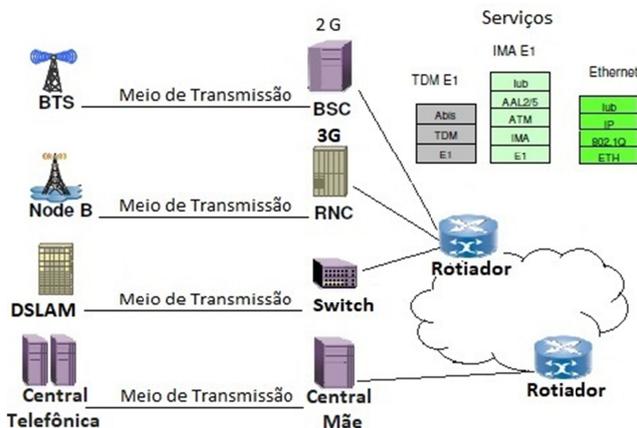


Figura 10. Equipamento que fornecem os serviços de telecomunicações.
Fonte: Teleco.com.br (2020).

Pegando o serviço móvel como exemplo, nota-se na Figura 11 que para os equipamentos do serviço pessoal móvel o meio de transmissão é transparente. É como se para os equipamentos da rede móvel estivessem interligados por

cabos diretamente em um mesmo espaço físico. Mas, o que ocorre na realidade é que entre os dois equipamentos existem pelo menos dois ou, dependendo das distâncias envolvidas, muito mais.

Na Figura 12 pode ser observado, como exemplo, que foram inseridos entre os equipamentos da rede móvel outros dois equipamentos padrão *PTN*. O equipamento *PTN* é relativamente moderno, pois já faz transmissão de pacotes. Isto é, uma adaptação do padrão ATM e seus protocolos. O *PTN* usa o *PW (Pseudo Wire)* e *MPLS-TP* para transportar os circuitos clientes através de ethernet sobre protocolo *IP*. [12] [13].

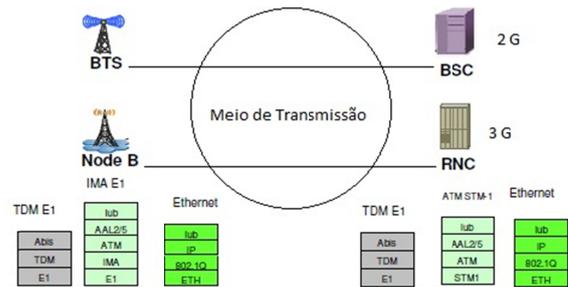


Figura 11. Equipamentos em uma configuração Ponto a Ponto (P2P).
Fonte: Autor (2020).



Figura 12. Equipamentos por rede PNT.
Fonte: Autor (2020).

Pode ser visto na Figura 13 um exemplo em que foi inserida mais uma camada na Rede, agora o SDH.

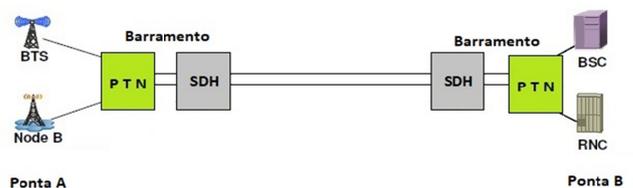


Figura 13. Equipamentos passando por PTN e SDH.
Fonte: Autor (2020).

Por fim a Figura 14 mostra o mais próximo de uma rede de Transporte, diferentes tecnologias de diferentes fabricantes trabalhando simultaneamente. Muitas vezes não se consegue transportar em uma rede, devido a uma complexidade logística de estratégia e viabilidade comercial, certa área de cobertura é mais ou menos deficitária. Provocando com isso alguns gargalos.

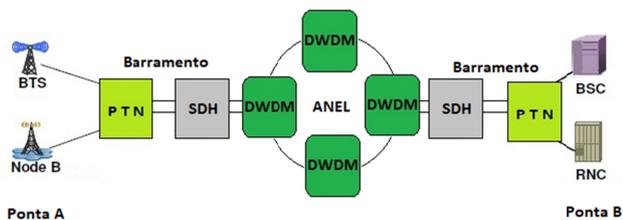


Figura 14. Equipamentos passando por *PTN*, *SDH* e *DWDM*.
Fonte: Autor (2020).

Todo equipamento da Rede de transporte é conectado à servidores redundantes via rede *DCN*, mostrado na Figura 15.

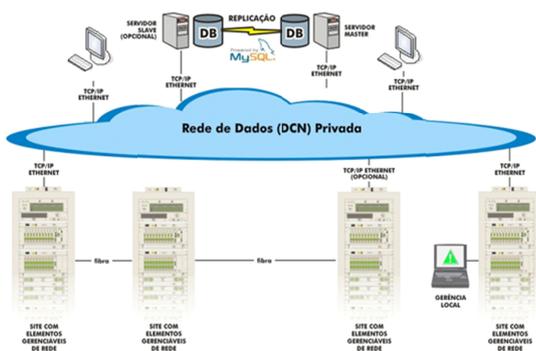


Figura 15. Exemplo de gerenciamento de Rede *DWDM*.
Fonte: Autor (2020).

Os elementos de rede que se conectam diretamente à rede *DCN* são chamados de *Gateway*, eles fazem a ponte ente os elementos do barramento e a gerência de Rede, de Elemento e de Alarmes. O acesso feito diretamente no elemento é chamado de acesso local ou *LCT*, porém no acesso via *DCN* é necessário se estar conectado à rede, ter liberado as regras *firewall*, *login* e senhas, além de softwares proprietários dos fabricantes. [14] e [15].

Fundamentação teórica

C. Manutenção de Redes Ópticas

Em um anel *SDH* a quatro fibras, das quais duas interligam o trecho principal e as outras duas o trecho reserva. No caso quando ocorrer um rompimento, o equipamento irá apresentar um alarme para a gerência de rede, pois a perda de sinal óptico (*LOS - Loss of Signal*) ocasiona diretamente a perda de tráfego. Porém, quando o rompimento é em um dos dois links de fibra, o tráfego é protegido pelo outro link. Isso normalmente caracteriza que aconteceu um rompimento parcial ou a falha é devido a alguma atenuação no cordão óptico.

Sempre que houver indício de rompimento é aberto um chamado que deverá ser despachado automaticamente para a equipe de manutenção. Assim que é analisado e constatado problema na *FO* o chamado é repassado para planta externa com prioridade adequada levando-se em conta a criticidade e a quantidade de clientes afetados. Os equipamentos possuem uma rotina de autodiagnóstico que registra qualquer anormalidade em uma lista de alarme local e em um servidor de alarmes.

Este servidor gera uma base de dados que é utilizada para abrir chamados, os quais são disparados, pela gerência de falhas, para as equipes técnicas mais próximas do evento. Ficando este chamado associado à matrícula do técnico de campo.

- **Críticos** – Prioridade muito alta. Alarmes urgentes, falhas graves que podem ter perda de tráfego, exemplo falha em fonte de alimentação, matriz de comutação, base de dados e configurações. Falha de hardware. Perda de sinal óptico;
- **Majoritários** - Prioridade alta. Alarmes Urgentes, falhas que não afetam o tráfego diretamente, mas dificultam a análise de falhas pela de gerência de rede. Exemplo é elemento sem gerência, porta cliente sem sinal.
- **Minoritários** - Prioridade baixa. Falhas conflitos, erros de configurações, alarmes não urgentes
- **Alertas** - Prioridade baixíssima. Alarmes não urgentes. Exemplo alarme de *NE* fora da gerência, porta de cliente alarmada, alarmes de desempenho *online*, *QOS*.

D. Manutenção de Redes Ópticas

Manutenção é uma palavra que tem origem no latim, *manus tenere*, e que o significado é “manter o que se tem em mãos”. Já o conceito de manutenção compreende ações voltadas a manter em perfeito estado de funcionamento, ou estado produtivo, [19].

O termo manutenção, tem origem no meio militar no qual o sentido empregado referia-se a manter as unidades de combate, equipamentos e matérias em um bom nível e constantemente prontos para a ação, [20].

A manutenção dos ativos de uma empresa que presta serviços de telecomunicações, se dá igual a qualquer outra empresa. Existem as manutenções:

- Corretivas
- Preventivas
- Autônomas

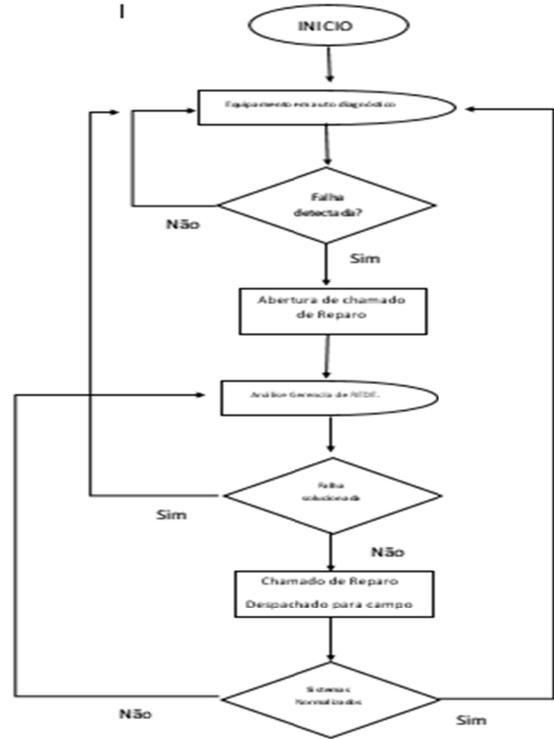
Nas manutenções corretivas as tratativas se dão logo que ocorre a falha. Uma forma de minimizar esses efeitos é ter equipes treinadas, qualificadas em pontos estratégicos da planta. Além de ter estoques sobressalentes de tudo que tiver instalado na planta. Seja equipamentos, placas, cabos, conectores etc. [18].

Quando se trata das manutenções preventivas a intenção é prevenir uma parada abrupta. Para tal deve-se adotar rotinas de inspeção, limpeza ou troca periódica levando-se em conta a vida útil de determinado equipamento ou peça. Ainda nesta modalidade, o registro histórico é de fundamental importância para se detectar qualquer anormalidade ou indicativo de anormalidade. Isso pode ser feito através de um *checklist* contendo campos como data e hora, responsável pela inspeção e aferição [18] [19].

A manutenção autônoma é aquela em que o próprio sistema pode detectar, gerir e atuar para manter o sistema funcionando. Em telecomunicações a palavra proteção é levada a sério. Praticamente todos os equipamentos têm proteção de fontes de alimentação, de placas, de links etc.

Assim que a gerência de alarmes detecta uma falha a gerencia de rede, seguindo o Procedimento Operacional Padrão de cada empresa, fica responsável por:

- Receber solicitação de abertura de chamado para tratativa de falha, realizar testes de enlace e teste de comutação;
- Consultar e analisar os enlaces do trecho em falha;
- Consultar os sistemas de gerência;
- Realizar a identificação do enlace afetado, conforme cadastro dos sistemas ópticos;
- Abrir o chamado para reparo corretivo via sistema de despacho, levando-se em conta a parametrização dos alarmes de equipamentos;
- Encaminhar para a área responsável pelo tratamento da falha com a devida prioridade, o que vai determinar o tempo para atendimento;
- Acompanhar o tratamento da falha junto à área responsável;
- Verificar se a falha foi resolvida;
- Caso a falha tenha sido resolvida, autorizar o encerramento do chamado. Esta parte pode ser implementada via aplicativo para celulares, onde o técnico poderá consultar a normalização e efetuar o encerramento do chamado;



Fluxograma 1. Manutenção rede optica.
Fonte: Autor (2021).

De forma prática a manutenção em Telecom é feita de maneira híbrida, manutenção preventiva, manutenção autônoma e manutenção corretiva. Desta forma, quase todos os cabos têm pelo menos uma fibra conectada a computadores dedicados ao monitoramento deles. Esse sistema tem o nome de Sistema de Grupo Óptico (SGRO). O referido sistema guarda uma base de dados de curvas de metidas feitas através de um instrumento de nome OTDR que é associado a uma chave óptica que comuta para o cabo que se deseja testar.

Dessa forma caso ocorra um rompimento total, até mesmo parcial, mas desde que a Fibra do SGRO seja afetada senão o instrumento não vai apontar a distância do rompimento Figuras 26, 27 e 28.

Quando o com suspeita de rompimento ou atenuação não é monitorado pelo SGRO são despachadas equipes para as pontas A e ponta B. Um teste simples é o teste de potência óptica feito com dois instrumentos. Um gerador de sinal e um Power Meter. Figura 16 o gerador da estação A manda uma potência de -4 dB na fibra, do outro lado do enlace na estação B a outra equipe mede uma potência em -16 dBm. Significa que o cabo não está rompido. Deve-se testar então os cordões ópticos e as potências de saídas das placas.

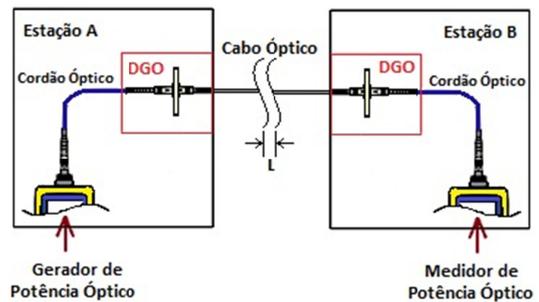


Figura 16. Esquema de teste com Power Meter.
Fonte: Autor (2020).

Na Figura 17 pode se observar um Power Meter testando e constatando que não está recebendo nenhuma potência pela indicação LO. Está com LOS. No Power Meter deve-se escolher a janela de Manutenção, a potência relativa dB, Potência absoluta referente a 1 mW (dBm).

Nestes casos para determinar se está rompido e onde está rompido deve-se testar com um OTDR.



Figura 17. Print Power Meter.
Fonte: Autor (2020).

Um *OTDR* (Figura 18) é um reflectómetro que gera um gráfico de atenuação por metro ou quilometro e deve se parecer com a figura 26. Nesta, as curvas anteriores e a curva medida se sobrepuseram de forma que o sinal conseguiu perceber o final da fibra [9] [10].



Figura 18. *OTDR ANRITSU*.
Fonte: *Flukes Transciver* (2020).

Uma tática muito usada é testar com dois *OTDR* e em sentidos opostos, um por vez, para se escapara da zona morta. Normalmente para se testar apenas com um deve-se fazer uso de duas bobinas de teste de comprimento de acordo com o tamanho do cabo que será testado. Outro cuidado é com a limpeza dos conectores pois estes perdem mais que deveriam devido as impurezas que atrapalham a passagem da luz. Para facilitar a averiguação dos conectores e cordões os microscópios ópticos. Observados na Figura 19 e o resultados possíveis na Figura 20 [9] [10].



Figura 19. Microscópio para ver se há sujeira na *FO*.
Fonte: *Flukes Transciver* (2020).

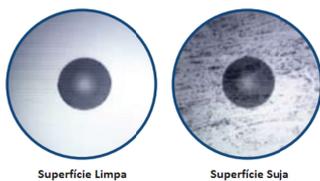


Figura 20 Imagem de Microscopio Fonte: *Flukes Transciver* (2020).

Na Figura 21 o *OTDR* do *SGRO* verificou que a fibra medida está nas mesmas configurações das medidas anteriores não existem degraus que significam uma atenuação elevada. Porém o teste da Figura 22 mostrou um degrau se iniciando a 9,13 Km, mas o restante da *FO* se manteve apenas com a perda normal por quilômetros. Já o teste da Figura 23 pegou um rompimento a 98,14 Km de distância.

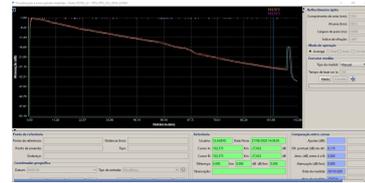


Figura 21. Imagem *SGRO Integro*.
Fonte: Autor (2020).

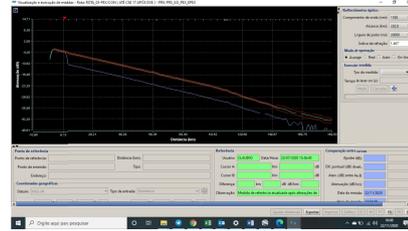


Figura 22. Imagem *SGRO Atenuação*.
Fonte: Autor (2020).

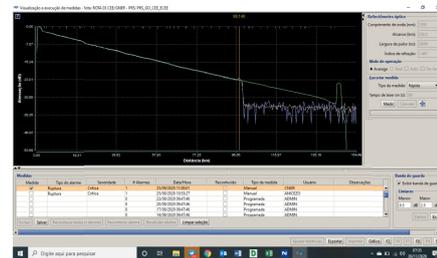


Figura 23. Imagem *SGRO Rompimento*.
Fonte: Autor (2020).

Na Figura 24 mostra a diferença entre as telas de um *OTDR* e do sistema *SGRO*. O *OTDR* traz todos dos eventos sem a necessidade de ficar marcando pontos para saber de quanto foi a atenuação.



Figura 24. Imagem Tela *OTDR*.
Fonte: Autor (2020).

O próximo passo depois de ter a medida do local do rompimento ou atenuação é correr o cabo a procura do local do rompimento. E, se possível, identificar o que provocou o rompimento para analisar se é possível haver uma prevenção de casos futuros.

Nem sempre é uma tarefa fácil como o mostrado na Figura 25, veículo se choca contra poste de energia e esta faz tração no cabo de *FO* que rompe internamente algumas fibras.

Para os cabos subterrâneos obras de todas as naturezas, desde obras de saneamento executadas pela SANEAGO obras em rodovias. Instalação de cercas em fazendas.

Incêndio que atingem as caixas subterrâneas de acomodação de FO.



Figura 25. Colisão de veículo com poste de energia.
Fonte: Autor (2020).

A Figura 26 ilustra uma das causas de rompimento mais frequentes nos perímetros urbanos. Caminhão de altura elevada ou com carga alta. Passa e acaba rompendo a fibra aérea que estão posicionadas nos postes de energia. A altura mínima em que devem estar instalados varia com a distância na qual estão instalados os fios de distribuição de baixa tensão da rede elétrica. O motivo principal é por segurança a fibra ótica deve estar abaixo da rede elétrica.



Figura 26. Caminhão Carga alta.
Fonte: Autor (2020).

A Figura 27 uma máquina perfuratriz que pegou o cabo óptico ao fura buraco para instalar poste.



Figura 27. Furação de buraco.
Fonte: Autor (2020).

Pode-se notar na Figura 28 a máquina que foi contratada para ajuda cavar uma vala para expor um trecho do cabo para que fosse possível decapara e realizar a fusão do FO.



Figura 28. Escavadeira.
Fonte: Autor (2020).

A preparação do cabo deve levar em conta as sobras de cabo nas caixas de emendas mais próximas, a sobra para devida acomodação e identificação.

Cada fibra é separada em seu grupo seguindo a contagem da e o código de cores para que não ocorra fusões trocadas, mantendo a correspondência fibra a fibra nos Distribuidores Gerais Ópticos (DGO) de cada uma das estações. É desejado que o cabo a ser lançado seja do mesmo fabricante e que tenha o mesmo número de Fibras Ópticas, pois para que as fusões ocorram em conformidade com as recomendações da norma *EIA/TIA 568-C* que diz que para cabos *MM* em comprimentos de onde de 850 nm tenha uma atenuação de 3,25 dB/Km e em 1300 nm 1,5 dB/Km. Para cabos *SM* em comprimentos de onda de 1310 e 1550 nm uma atenuação máxima de 0,5 dB/Km.

A *FO* deve ser decapada, limpa com álcool isopropílico para fazer a correta clivagem para garantir o correto ângulo de corte Figuras 29 e 30.

Após essas etapas de preparação as fibras que serão fusionadas devem ser acomodadas na máquina de fusão com uma distância curta uma da outra para facilitar para a máquina de fusão alinhar as fibras pelo núcleo em frente a eletrodos perpendiculares que irão abrir um arco elétrico que irá unir os núcleos das fibras.



Figura 29. Covo de acomodação.

Fonte: Autor (2020).



Figura 30. Máquina de fusão.
Fonte: Autor (2020).

Para que seja possível a fusão das fibras é necessária a utilização de uma "Máquina de Emenda Óptica" na qual as duas fibras são alinhadas frente. Existe também a emenda mecânica onde se faz uso de conectores para realizar a emenda. Porém, neste caso se tem uma perda muito elevada se comparada com a fusão.

A fusão é possível graças as altas temperaturas geradas por um arco elétrico dentro da máquina. As fibras que devem ser fusionadas são preparadas, posicionadas e alinhadas, automaticamente pela própria máquina, em uma distância muito próxima uma da outra e aos eletrodos.

Assim que o processo de fusão é concluído, se faz necessário a cobertura das fibras ópticas no ponto de emendas. Para tal existe um protetor de emenda feito de tubo cilíndrico termo contrátil contendo um elemento metálico de aço inoxidável, para garantir um reforço mecânico no ponto de emenda. Depois de fusionada a fibra deve ser acomodada em recipientes chamados caixa de emendas.

E. Análise das principais causas de rompimentos 2019/20.

Para que haja uma melhoria contínua é necessário atuar na causa raiz. Para isso foram coletados dos registros de falhas e distribuídos, ao longo dos meses, os motivos encontrados para cada falha crítica.

No ano de 2019 ocorreram um total de 226 falhas sendo CAMINHÃO COM CARGA ALTA a maior ocorrência. O mesmo aconteceu no ano 2020 com total de 191 falhas e tendo CAMINHÃO COM CARGA ALTA como maior ocorrência.

Na Tabela 7 pode ser visto uma comparação direta mês a mês um comparativo das quantidades das falhas. Nota-se quantidades reduzidas no final e o início de cada ano. Geralmente coincide com recessos nas obras das rodovias, menor atividade de implantação e janelas de manutenção devido ao congelamento das manutenções e implantações.

Tabela 5 Totais ao mês por ano.

Mês	2019	2020
janeiro	15	9
fevereiro	8	11
março	18	17
abril	15	6
maio	19	19
junho	12	19
julho	30	14
agosto	25	16
setembro	24	21
outubro	24	20
novembro	23	19
dezembro	13	20

Fonte: Autor (2020).

Na Tabela 6, também como uma análise comparativa. É possível perceber que existe uma correlação positiva entre o número de casos nos dois anos. Demonstra uma regularidade pose-se verificar o desvio padrão com valores próximos.

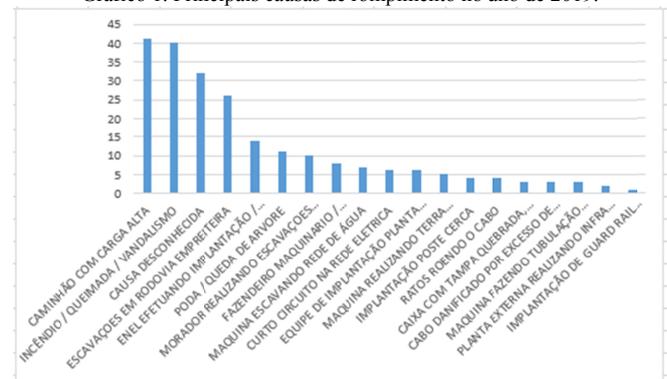
Tabela 6 Análise dos dados

	2019	2020
TAMANHO DA AMOSTRA	12	12
MÍNIMO	8	6
MÁXIMO	30	21
AMPLITUDE	22	15
MÉDIA	18,83333	15,91667
DESVIO PADRÃO	6,478402	4,888918
VARIÂNCIA	41,9697	23,90152
Correlação 1 e 2	0,320995	
SOMA	226	191

Fonte: Autor (2020).

Uma outra forma eficiente de analisar os dados para obtenção mais prática e visual das tendências significativas é dispô-los em um gráfico.

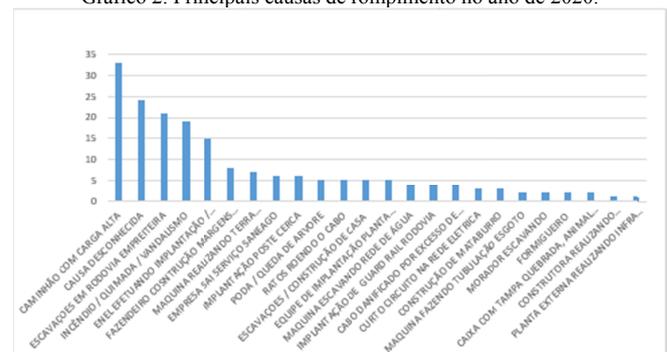
Gráfico 1. Principais causas de rompimento no ano de 2019.



Fonte: Autor (2020).

No Gráfico 1 e no Gráfico 2 pode ser notado a grandeza e o grau de importância de cada variável. E a influência que terá a tratativa de cada uma para o resultado.

Gráfico 2. Principais causas de rompimento no ano de 2020.



Fonte: Autor (2020).

Com relação a variável CAMINHÃO COM CARGA ALTA tem-se pouca influência, principalmente devido a altura da rede elétrica secundária. Para minimizar deve-se fazer um levantamento de locais fora do padrão para correção.

Para se elaborar um plano de ação com a intenção de atuar preventivamente e tendo como base o ano de 2019 a variável INCÊNDIO / QUEIMADA / VANDALISMO teve forte influência nos meses de agosto e setembro, principalmente devido ao clima seco e à falta de chuvas, tabela 5. Isto não voltou a se repetir no em 2020, pois ações preventivas como aceiros, limpeza de caixas subterrâneas etc. tabela 6.

No que se refere a variável ESCAVAÇÕES EM RODOVIA EMPREITEIRA, uma das formas de se evitar o rompimento é fazer a atualização cadastral junto aos órgãos responsáveis por tais obras, montar equipe de prontidão nos locais, aplicar multas caso haja falta de colaboração das empreiteiras. De toda sorte também houve uma redução de 2019 para 2020.

Das quatro variáveis com maior quantidade a variável CAUSA DESCONHECIDA e a mais difícil de se elaborar um plano para combater pois não se conhece a causa raiz. O que torna inviável uma ação eficaz.

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o trabalho foi possível observar com a pesquisa bibliográfica que os equipamentos da rede de transporte estão evoluindo para atender as demandas por transmissão de dados, e que a Internet tem se mostrado o motor que impulsiona essas transformações e fomenta a convergência tecnológica, isso torna possível a integração de todas as outras Redes em uma única rede global. Portanto, com os equipamentos POTN agregado a um DWDM pode aumentar a largura de banda ofertada aos seus clientes e, com isso, os serviços FTH com o GPON utilizando o padrão *Ethernet* sobre protocolo TCP/IP irá proporcionar acesso a dados, voz e vídeo. Esse aumento na capacidade do Core da rede trará muitos benefícios aos Engenheiros de Controle e Automação pois garantirá uma Rede estável, veloz e confiável que possa atender a contento ferramentas para esse profissional. Ferramentas que trabalham com IoT, Industria 4.0, telefonia móvel 5G. Este profissional poderá utilizar essas ferramentas para implementar, em conjunto com profissionais da área da saúde, por exemplo a telemedicina.

Tanto a coleta de dados dos rompimentos quanto a análise das falhas tiveram como vantagens o fato de serem retiradas de situações reais inerentes a região do estado de Goiás, situações essas as quais estão sujeitas quaisquer operadoras que prestam serviços de telecomunicações que fazem uso de sistemas de transmissões óticas. Sendo por tanto, este trabalho um guia para o entendimento para os mais diversos fatores que podem provocar as falhas sistêmicas.

No entanto, podem ser apontados, como desvantagens encontradas, a dificuldades na obtenção de dados relativos aos custos operacionais já que eles são estratégicos, portanto, são restritos, não podem ser compartilhados.

Em relação a necessidade da continuidade da pesquisa deste trabalho, embora o resultado torna evidente os

principais aspectos da manutenção de uma rede ótica, algumas questões surgem como possibilidade de melhoria, tais como: (i) aprofundar a pesquisa nos relatórios da Anatel de indicadores de qualidade de prestação de serviço. (ii) compara se existe uma correlação positiva entre investimentos em manutenções preventivas /preditivas/ com a redução nos gastos com manutenção corretiva.

Para finalizar, considerando-se que os objetivos principais foram alcançados ao serem demonstrados a estrutura da rede, seu funcionamento, os principais elementos de rede, bem como os dados comparativos das principais falhas e ações tomadas para minimizar os riscos, este documento poderá vir a se tornar uma base de pesquisa para melhoria do tema.

REFERENCIAS

- [1] ANATEL. (2018, julho). 20 anos de privatizações da telecomunicações, DF [Online]. Disponível em: <https://www.anatel.gov.br/institucional/noticias-destaque/2021-20-anos-de-privatizacao-das-telecomunicacoes>. Acesso em: 25 de Outubro de 2020.
- [2] ITU-T, *General aspects of digital transmission - plesiochronous systems digital hierarchy* (PDH), ITU-T Recommendation G.702, October 2000. [Online]. Disponível em: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.702-198811-I!!PDF-E&type=items. Acesso em: 26 de Outubro de 2020.
- [3] Do bit ao Bayte. Blynk, IoT e MQTT. [Online]. Disponível em: <https://www.dobitaobyte.com.br/blynk-iot-e-mqtt/>. Acesso em: 01 de maio de 2020.
- [4] ITU-T, *Network node interface for the synchronous digital hierarchy* (SDH), ITU-T Recommendation G.707, 26 de October 2000. [Online]. Disponível em: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.707>. Acesso em: 27 de Outubro de 2020.
- [5] TELECO, Tutoriais – categoria Sistemas de Transmissão. Padrões de canalização em sistemas de transmissão digitais. [Online]. Disponível em: <https://www.teleco.com.br/tutoriais.asp#> Acesso em: 28 de Outubro de 2020.
- [6] TELECO, Tutoriais – Oliveira, Patrícia Beneti. Soluções de Atendimento em Fibra Óptica I e II. Teleco – Inteligencia em Telecomunicações. 2010. [online]. Disponível em: <https://www.teleco.com.br/tutoriais.asp#>. Acesso em: 29 de Outubro de 2020.
- [7] TELECO, Tutoriais – Redes Ópticas - DWDM: tranponder, OXC. Teleco – Inteligencia em Telecomunicações. 2010. [online]. Disponível em: <https://www.teleco.com.br/tutoriais.asp#> Acesso em: 29 de Outubro de 2020.
- [8] TELECO, Tutoriais – Redes Ópticas - Conceitos básicos de Fibra Óptica - Módulo I, II, III e IV. Teleco – Inteligencia em Telecomunicações. 2009. [online]. Disponível em: <https://www.teleco.com.br/tutoriais.asp#> Acesso em: 30 de Outubro de 2020.
- [9] Fluke networks - Cabeamento de Fibras Ópticas para Comunicação de Dados - Guia de Referência Rápida para Teste e Troubleshooting. - [online]. Disponível em: https://gpcabling.com.br/produto_documento/96512/Guia%20r_pido%2096512.PDF Acesso em: 03 de Novembro de 2020.
- [10] Cabeamento de Fibras Ópticas para Comunicação de Dados - Guia de Referência Rápida para Teste e Troubleshooting ITU-T, *Link Capacity Adjustment Scheme (LCAS) for Virtual Concatenated signals*, ITU-T Recommendation G.7042, November 2001. Acesso em: 03 de Novembro de 2020.
- [11] Lin, Chinlon. *Broadband Optical Access Networks And Fiber To The Home* - John Wiley & Sons Ltd, 2006.
- [12] Manual Técnico Padtec – Plataforma PacketPad Versão 1.2 PTN Manual_PacketPad_V1.2_b_PT- Manual da gerencia local.
- [13] Manual Técnico Ericsson – SDH OMS1664 - Multiservice System. *Maintenance and Fault Management - Release 2.1.2.pdf*.
- [14] Manual Técnico Padtec – Plataforma LightPad 160-channel DWDM Multiservice System. Gerencia_LightPad_09_2010_v3 – Manual da gerencia central V3.11.201308.0.pdf.
- [15] Pereira, Rafael José Gonçalves. *Fibras Ópticas e WDM*. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Seção: Comunicações Ópticas. 2008. Acesso em: 15 de Novembro de 2020.

- [16] Nextews - Conectores ópticos - [online]. Disponível em: <http://pt.nextews.com/47f01d06/> Acesso em: 10 de Novembro de 2020.
- [17] Rocha, A. R. F., DeOliveira, B. Q., DeSousa, M. A. e Vieira, F. H. T. Processo de Implantação de Redes Ópticas para Clientes Corporativos. XV Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica (CEEL) – UFU. 2017.
- [18] SALERMO, Lia Soares et al. Aplicação de ferramentas da mentalidade enxuta e da manutenção autônoma aos serviços de manutenção dos sistemas prediais de água: estudo de caso. Hospital das Clínicas da UNICAMP. 2005.
- [19] OLIVEIRA, Felipe Eugenio e BARONI, Júlia Berzotti . Proposta de melhoria de um processo de manutenção autônoma em razão da pandemia covid-19. 2020. 19 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. [Online]. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/30054/3/PropostaDeMelhoria.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2021.
- [20] FERRAZ JUNIOR, J. E.. Mapeamento das percepções de desempenho da Gestão da manutenção de sistemas de climatização prediais.
- [21] MOCHY, F. A Função Manutenção – Formação para a Gerência da Manutenção Industrial. São Paulo: Editora Durban Ltda / EDBRAS - Editora Brasileira Ltda. 1989.

RESOLUÇÃO n° 038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O(A) estudante WENDELL DE MORAIS MOREIRA do Curso de Engenharia de Controle e Automação, matrícula 20152011800796, telefone: 062 984965327 e-mail wendellmoraismoreira@hotmail.com, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei n° 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado PROCESSO DE MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO DE REDES ÓPTICAS EM TELECOMUNICAÇÕES, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 23 de junho de 2021.

Assinatura do(s) autor(es): Wendell de M. Moreira

Nome completo do autor: Wendell de Moraes Moreira

Assinatura do professor-orientador: Bruno Quirino de Oliveira

Nome completo do professor-orientador: Dr. Bruno Quirino de Oliveira