

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PUBLICAÇÃO: PPGENE.DM-424/10

BRASÍLIA/DF: JUL – 2010

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**REDE CONVERGENTE IP COM TECNOLOGIA WDM E SDH
UTILIZANDO CABOS OPGW EM LINHAS DE TRANSMISSÃO
DE ENERGIA**

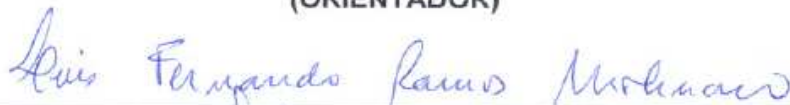
ROSEMBERG LOBATO SILVA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO SUBMETIDA AO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE.**

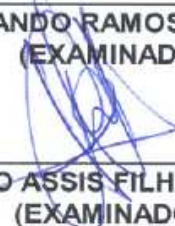
APROVADA POR:



**HUMBERTO ABDALLA JÚNIOR, Dr., ENE/UNB
(ORIENTADOR)**



**LUIS FERNANDO RAMOS MOLINARO, Dr., ENE/UNB
(EXAMINADOR INTERNO)**



**HONÓRIO ASSIS FILHO CRISPIM, Dr., CBM-DF
(EXAMINADOR EXTERNO)**

BRASÍLIA, 16 DE JULHO DE 2010

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, ROSEMBERG LOBATO

Rede Convergente com Tecnologia WDM e SDH utilizando cabos OPGW em linhas de transmissão de energia [Distrito Federal] 2010.

xii, 132p., 210 x 297 mm (ENE/FT/UnB, Mestre, Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Elétrica

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, ROSEMBERG LOBATO (2010). Rede Convergente com Tecnologia WDM e SDH utilizando cabos OPGW em linhas de transmissão de energia. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Publicação PPGENE.DM-424/10, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 132p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: ROSEMBERG LOBATO SILVA

TÍTULO: REDE CONVERGENTE COM TECNOLOGIA WDM E SDH UTILIZANDO CABOS OPGW EM LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA

GRAU: Mestre

ANO: 2010

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Rosemberg Lobato Silva

Cond. Residencial Fraternidade, conj. 06 casa 11, Grande Colorado, Sobradinho.
Brasília – DF

DEDICATÓRIA

Um sonho realizado é como se fosse um pedaço da vida cumprido. Dedico este trabalho primeiramente a Deus e ao meu orientador Dr. Humberto Abdalla Júnior por acreditar em meu sonho que foi muito difícil de realizar por diversas dificuldades encontradas nesses anos de dedicação e por fim no Dr. Honório A. F. Crispim que me apoiou na finalização desse trabalho.

Dedico também a minha esposa Fabiana Tomé de Sousa, minha mãe Irene, meus irmãos: Gutemberg e Newberg e minhas irmãs: Susana, Silvana e Adriana.

Que Deus abençoe a todos nós.

AGRADECIMENTOS

Aos professores da Universidade de Brasília que eu tive a oportunidade de compartilhar meu trabalho acadêmico e em especial a meu Pai Gutemberg “em memória” que será o meu eterno ponto de referência.

RESUMO

Esse trabalho trata de uma contribuição para o desenvolvimento de Redes Convergentes com tecnologia WDM e SDH utilizando cabos OPGW em linhas de transmissão de energia.

O objetivo desse estudo é mostrar um caso ímpar no cenário nacional de uma rede convergente gerenciada por uma Empresa do setor elétrico; bem como essa Empresa justificou a migração de vários serviços e as vantagens e desvantagens.

Neste trabalho é mostrado também uma ferramenta de cálculo de enlace desenvolvida para o planejamento e projeto otimizado de redes de telecomunicações. Para isso, foram necessários estudos teóricos e práticos sobre redes Ópticas.

No corpo desse registro escrito é apresentado também um histórico da evolução das redes de telecomunicações, as gerações das redes ópticas e as características dos cabos pára-raios.

ABSTRACT

This work deals with a contribution for the development of Convergent Nets with technology WDM and SDH using handles OPGW in lines of energy transmission.

The objective of this study is to show an uneven case in the national scene of a convergent net managed by a Company of the electric sector; as well as this Company it justified the migration of some services and the advantages and disadvantages.

In this work a tool is also shown of calculates of enlace developed for the planning and optimized project of nets of telecommunications. For this, they had been necessary theoretical and practical studies on Optic nets.

In the body of this written register a description of the evolution of the nets of telecommunications is also presented, the generations of the optic nets and the characteristics of the handles lightning rod.

SUMÁRIO

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. | DEFINIÇÃO DO PROBLEMA | 1 |
| 1.2. | MOTIVAÇÃO | 2 |
| 1.3. | OBJETIVO..... | 2 |
| 1.4. | JUSTIFICATIVA | 2 |
| 1.5. | ESTRUTURA DO TRABALHO:..... | 2 |
| 2. | EVOLUÇÃO DAS TELECOMUNICAÇÕES | 4 |
| 2.1 | EVOLUÇÃO DA REDE DE TELECOMUNICAÇÕES..... | 4 |
| 2.2 | EVOLUÇÃO DA REDE ÓPTICAS..... | 5 |
| 2.3 | MULTIPROTOCOL LAMBDA SWITCHING | 7 |
| 2.4 | GENERALIZED MULTIPROTOCOL LABEL SWITCHING | 8 |
| 3. | PRIMEIRA GERAÇÃO DAS REDES ÓPTICAS | 10 |
| 3.1. | SONET/SDH | 10 |
| 3.2. | SINCRONISMO | 11 |
| 3.3. | ESTRUTURA EM CAMADAS..... | 12 |
| 3.4. | ESTRUTURA DO FRAME | 14 |
| 3.5. | PROCESSO DE MULTIPLEXAÇÃO | 16 |
| 3.6. | TOPOLOGIAS DE REDE..... | 18 |
| 3.7. | REDE FÍSICA..... | 20 |
| 3.8. | TOPOLOGIAS TÍPICAS | 25 |
| 3.9. | INTERCONEXÕES DE COMPUTADORES..... | 29 |
| 3.10. | REDES LOCAIS E METROPOLITANAS..... | 31 |
| 3.10.1. | FDDI (Fiber distributed data interface). | 31 |
| 3.10.2. | ATM (Asynchronous transfer mode). | 31 |
| 3.10.3. | IP (Internet protocol). | 33 |
| 3.11. | ARQUITETURAS EM CAMADAS | 34 |
| 4 | SEGUNDA GERAÇÃO REDES ÓPTICAS | 35 |
| 5 | COMPONENTES DE UMA FIBRA ÓPTICAS | 37 |
| 5.1 | ESTRUTURA DAS FIBRAS ÓPTICAS | 37 |
| 5.2 | PRINCÍPIO DE PROPAGAÇÃO..... | 38 |
| 5.3 | TIPOS DAS FIBRAS ÓPTICAS | 39 |
| 5.3.1 | Fibra multimodo índice degrau (id) | 39 |
| 5.3.2 | Fibra multimodo índice gradual (ig) | 39 |
| 5.3.3 | Fibra monomodo | 40 |
| 5.4 | CARACTERÍSTICAS DAS FIBRAS ÓPTICAS | 40 |
| 5.4.1 | Suporte de transmissão | 40 |
| 5.4.2 | Composição da fibra | 40 |
| 5.4.3 | Geometria ou sensibilidade à polarização..... | 40 |

| | | |
|-------------|---|-----------|
| 5.5 | CARACTERÍSTICAS DE TRANSMISSÃO | 40 |
| 5.5.1 | Janela de transmissão ou operação..... | 40 |
| 5.5.2 | Abertura numérica (an) | 41 |
| 5.5.3 | Modos de propagação | 41 |
| 5.6 | ATENUAÇÃO | 42 |
| 5.6.1 | Absorção | 42 |
| 5.6.2 | Espalhamento | 42 |
| 5.6.3 | Curvaturas..... | 42 |
| 5.6.4 | Projetos de guias de onda..... | 42 |
| 5.7 | DISPERSÃO | 42 |
| 5.7.1 | Dispersão modal..... | 43 |
| 5.7.2 | Dispersão material | 43 |
| 5.7.3 | Dispersão da guia de onda | 43 |
| 5.8 | PROPRIEDADES DAS FIBRAS ÓTICAS | 43 |
| 5.8.1 | Imunidade a interferências | 43 |
| 5.8.2 | Pequena atenuação | 44 |
| 5.8.3 | Grande capacidade de transmissão | 44 |
| 5.8.4 | Ausência de diafonia..... | 45 |
| 5.8.5 | Isolação elétrica | 45 |
| 5.8.6 | Pequeno tamanho e peso | 45 |
| 5.8.7 | Sigilo para comunicação | 45 |
| 5.9 | FONTES DE LUZ..... | 46 |
| 5.9.1 | Fonte tipo led | 46 |
| 5.9.2 | Fonte tipo laser..... | 47 |
| 5.9.3 | Condições do laser | 47 |
| 5.9.4 | Feixe do laser | 48 |
| 5.9.5 | Aspectos funcionais | 48 |
| 5.9.6 | Aspectos estruturais | 48 |
| 5.9.7 | Características dos led e laser | 49 |
| 5.10 | COMPRIMENTO DE ONDA OPERACIONAL..... | 49 |
| 5.11 | POTÊNCIA E ACOPLAMENTO DE LUZ | 50 |
| 5.12 | MODULAÇÃO | 51 |
| 5.13 | DETETORES DE LUZ | 51 |
| 5.13.1 | Velocidade e banda passante..... | 52 |
| 5.13.2 | Fototransistores | 53 |
| 5.14 | CONECTORES ÓTICOS..... | 53 |
| 5.14.1 | Dispositivos ópticos | 53 |
| 5.14.2 | Características básicas:..... | 54 |
| 5.14.3 | Atenuação dos conectores:..... | 54 |
| 5.15 | EMENDAS | 55 |
| 5.15.1 | Atenuação nas emendas | 56 |
| 5.15.2 | Fatores reflexivos | 57 |
| 5.16 | ACOPLADORES..... | 57 |
| 5.16.1 | Aplicações dos acopladores | 58 |
| 5.16.2 | Características básicas dos acopladores | 59 |
| 5.16.3 | Tipos de acopladores..... | 60 |
| 5.17 | CABOS ÓPTICOS..... | 60 |
| 5.17.1 | Características de transmissão..... | 60 |
| 5.17.2 | Tipos de cabos óticos | 61 |
| 5.17.3 | Cabos monofibras..... | 62 |
| 5.17.4 | Cabos multifibras | 62 |
| 5.18 | APLICAÇÕES DAS FIBRAS ÓTICAS | 63 |
| 5.18.1 | Sistemas de comunicação..... | 63 |
| 5.18.2 | Sistemas sensores | 64 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 6 | CABO OPGW..... | 65 |
| 6.1 | CARACTERÍSTICAS..... | 66 |
| 6.2 | CONFIABILIDADE DO CABO OPGW..... | 66 |
| 7 | ANÁLISE DAS REDES IP EXISTENTES NA EMPRESA ELETRONORTE | 68 |
| 7.1 | REDE DE TELEFONIA..... | 68 |
| 7.2 | REDE DE SUPERVISÃO:..... | 70 |
| 7.3 | REDE CORPORATIVA | 71 |
| 7.4 | REDE DCN | 72 |
| 7.5 | REDE VIDEOCONFERÊNCIA | 72 |
| 8 | IMPLANTANDO UMA REDE CONVERGENTE..... | 74 |
| 8.1 | PROJETO BÁSICO | 76 |
| 8.1.1 | Canalização por sistema de transmissão óptico: | 76 |
| 8.1.2 | Canalização por sistema de transmissão operadora: | 81 |
| 8.1.3 | Ip dos equipamentos por sistema óptico. | 83 |
| 8.1.4 | Política de segurança..... | 83 |
| 8.1.5 | Gerenciamento | 85 |
| 8.1.6 | Qualidade de serviço..... | 85 |
| 8.2 | PLANO DE MIGRAÇÃO..... | 88 |
| 8.3 | P ROCEDIMENTOS DE INCLUSÃO NO SISTEMA R3 | 93 |
| 9 | ANÁLISE DE UMA FERRAMENTA PARA ACEITE DE ENLACE ÓPTICOS EM CABOS OPGW. | 94 |
| 10 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 96 |
| 10.1 | RESULTADOS NA IMPLANTAÇÃO DA REDE CONVERGENTE..... | 96 |
| 10.2 | RESULTADOS ENCONTRADOS NO SIMULADOR..... | 96 |
| 10.2.1 | Cálculo de pmd | 96 |
| 10.2.2 | Cálculo de dispersão cromática..... | 97 |
| 10.2.3 | Cálculo de potência..... | 98 |
| 11 | CONCLUSÃO | 101 |
| 12 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIA | 103 |
| 13 | APÊNDICE..... | 106 |
| 13.1 | INSTALANDO O HIPERIONCAD NO WINDOWS..... | 106 |
| 13.2 | APRENDENDO A UTILIZAR A FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO EM AMBIENTE DE LABORATÓRIO..... | 106 |
| 13.2.1 | Projeto técnico laboratório | 107 |
| 13.2.2 | Inserindo os componentes da cidade a..... | 108 |
| 13.2.3 | Inserindo a Cidade B..... | 116 |
| 13.3 | RESULTADOS ENCONTRADOS NO PROJETO LABORATÓRIO | 116 |
| 13.3.1 | Cálculo de PMD..... | 116 |
| 13.3.2 | Cálculo de dispersão cromática..... | 117 |
| 13.3.3 | Cálculo de potência..... | 117 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 2-1 - Elementos básicos..... | 4 |
| Figura 2-2 - Camadas de rede de transporte | 6 |
| Figura 2-3 - Evolução da rede de transporte..... | 6 |
| Figura 2-4 - Plano de controle e plano de transporte de dados..... | 9 |
| Figura 3-1 - Velocidades SDH e SONET | 10 |
| Figura 3-2 - Estrutura em Camadas | 13 |
| Figura 3-3 - O modelo em camadas | 14 |
| Figura 3-4 - Estrutura do Frame | 15 |
| Figura 3-5 - Processo de Multiplexação | 16 |
| Figura 3-6 - O padrão SDH..... | 18 |
| Figura 3-7 - Topologias de Rede | 19 |
| Figura 3-8 - Exemplos de Topologias..... | 20 |
| Figura 3-9 - Rede Física..... | 21 |
| Figura 3-10 - Proteção SNCP | 22 |
| Figura 3-11 - Proteção MS SP ring..... | 24 |
| Figura 3-12 - Topologias Típicas..... | 26 |
| Figura 3-13 - ESCON (Connection Enterprise System) | 30 |
| Figura 3-14 - Arquiteturas em Camadas | 34 |
| Figura 4-1 - Diversas topologias físicas..... | 35 |
| Figura 5-1 - Estruturas das Fibras Ópticas..... | 37 |
| Figura 5-2 - A casca e o núcleo | 38 |
| Figura 5-3 - A propagação da luz | 39 |
| Figura 5-4 - Ângulo de Aceitação..... | 41 |
| Figura 5-5 - Comparação da atenuação entre Par Trançado, Coaxial e Fibra Ótica | 44 |
| Figura 5-6 - 5.12 Potência e Acolamento de Luz | 51 |
| Figura 5-7 - Cabos Monofibras..... | 62 |
| Figura 5-8 - Cabos Multifibras | 63 |
| Figura 6-1 - Cabos pára-raios | 65 |
| Figura 7-1 - Circuitos Rede de Telefonia..... | 69 |
| Figura 7-2 - Circuitos Rede Operativa | 70 |
| Figura 7-3 - Circuitos Rede Corporativa..... | 71 |
| Figura 7-4 - Circuitos Rede Videoconferência..... | 73 |
| Figura 8-1 - Circuitos Rede Convergente..... | 76 |
| Figura 9-1 - Circuitos Rede Convergente - Trecho SE Guamá a SE Sta Maria | 94 |
| Figura 10-1 - Tela Simulador - Cálculo PMD | 96 |
| Figura 10-2 - Tela Simulador - Cálculo Dispersão Cromática | 97 |
| Figura 10-3 - Valores de distância, atenuação e despensão | 98 |
| Figura 10-4 - Tela Simulador - Cálculo de Potência | 98 |
| Figura 10-5 - Otimização Genética | 100 |
| Figura 13-1 - Setup Simulador..... | 106 |
| Figura 13-2 - Diagrama Projeto Laboratório..... | 107 |
| Figura 13-3 - Tela Inicial Simulador..... | 108 |
| Figura 13-4 - Otimização Genética | 119 |

LISTA DE TABELA

| | |
|---|----|
| Tabela 3-1 - Padrões e recomendações do ITU-T..... | 28 |
| Tabela 6-1 – Para-raio OPGW..... | 66 |
| Tabela 8-1 – Canalização do Sistema Óptico para o Sistema Acre | 77 |
| Tabela 8-2 – Canalização do Sistema Óptico para o Sistema Amapá | 77 |
| Tabela 8-3 – Canalização do Sistema Óptico para o Sistema Maranhão | 78 |
| Tabela 8-4 – Canalização do Sistema Óptico para o Sistema Mato-Grosso | 78 |
| Tabela 8-5 – Canalização do Sistema Óptico para o Sistema Tocantins | 79 |
| Tabela 8-6 – Canalização do Sistema Óptico para o Sistema Rondônia..... | 79 |
| Tabela 8-7 – Canalização do Sistema Óptico para o Sistema Roraima | 79 |
| Tabela 8-8 – Canalização do Sistema Óptico para o Sistema Pará..... | 80 |
| Tabela 8-9 – Canalização da Operadora para o Sistema Acre | 81 |
| Tabela 8-10 – Canalização da Operadora para o Sistema Amapá | 81 |
| Tabela 8-11 – Canalização da Operadora para o Sistema Pará..... | 81 |
| Tabela 8-12 – Canalização da Operadora para o Sistema Maranhão | 81 |
| Tabela 8-13 – Canalização da Operadora para o Sistema Mato-Grosso | 82 |
| Tabela 8-14 – Canalização da Operadora para o Sistema Rondônia | 82 |
| Tabela 8-15 – Canalização da Operadora para o Sistema Roraima | 82 |
| Tabela 8-16 – Canalização da Operadora para o Sistema São Paulo | 82 |
| Tabela 8-17 – Tabela de QoS | 88 |

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMECLATURA E ABREVIACÕES

| | |
|-------|--|
| ATM | Asynchronous Transfer Mode (Modo de Transferência Assíncrono) |
| DWDM | Dense Wavelength Division Multiplexing (Multiplexação Densa Por Divisão do Comprimento de Onda) |
| GMPLS | Generalised Multiprotocol Label Switching (Protocolo de Chaveamento por Rótulos Generalizado) |
| IP | Internet Protocol (Protocolo de Internet) |
| ITU-T | International Telecommunication Union – Telecommunication (União Internacional de Telecomunicações - Telecomunicações) |
| MPLS | Multiprotocol Label Switching (Multiprotocolo de Chaveamento por Rótulo) |
| OPGW | Optical Ground Wire (Cabo Pára-Raios) |
| OSI | Open Systems Interconnection (Interconexão de Sistemas Abertos) |
| OXC | Optical Cross-Connect (Comutador Óptico) |
| SDH | Synchronous Digital Hierarchy (Hierarquia Digital Síncrona) |
| SONET | Synchronous Optical Network (Rede Óptica Síncrona) |
| WDM | Wavelength Division Multiplexing (Multiplexação por Divisão do Comprimento de Onda) |

1. INTRODUÇÃO

O surgimento das fibras ópticas, associada à evolução tecnológica, proporcionou a transmissão de vídeo, voz e dados a centenas de quilômetros de distância. A confiabilidade dos sistemas, a redução do investimento inicial e as baixas despesas de manutenção transformaram as fibras ópticas na melhor solução para camada física de uma rede de telecomunicações.

A necessidade de adequar a infra-estrutura de comunicação ao crescimento das demandas de usuários cada vez mais exigentes em qualidades, capacidade e transmissão, fez com que as operadoras de telecomunicações buscassem alternativas de transmissão.

Nesse contexto, as Empresas de Energia Elétrica, que já disponibilizavam internamente redes de telecomunicações operativas, investiram em tecnologia de alta capacidade de transmissão, utilizando os cabos pára-raios como meio de transmissão óptica.

1.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

As empresas do setor elétrico brasileiro possuem diversas redes de transmissão independentes uma das outras gerando custos de manutenção, monitoramento, pessoal e terceirização de circuitos.

As linhas de transmissão brasileiras na sua maioria possuem cabos pára-raios OPGW que tem a função de exercer a blindagem contra descargas elétricas diretas nos condutores revestidos de fase.

Hoje as fibras ópticas, disponíveis nos cabos OPGW são mal dimensionadas, utilizadas como circuitos independentes das redes existentes, gerando desperdícios de banda e enlaces.

1.2. MOTIVAÇÃO

Aperfeiçoar os conhecimentos em Redes Convergentes utilizando cabos OPGW bem como trabalhar em ferramentas de planejamento de enlaces ópticos, foi o principal motivo deste trabalho.

1.3. OBJETIVO

Projetar uma Rede Convergente que possa transportar todo o tráfego de vídeo, voz e dados operativos e corporativos, bem como outros que tenham características IP. Tais serviços serão fornecidos em uma forma de circuitos lógicos como se estivessem em rede fisicamente separados e isolados.

Essa Rede Convergente irá garantir qualidade de serviços, segurança e comodidade aos clientes. Para isso serão necessários equipamentos e softwares adequados para a utilização de tecnologia Multiprotocol Label Switching – MPLS. Além deste serão utilizados recursos para melhor adaptar os projetos de telecomunicações no que se refere ao um enlace óptico com tecnologia WDM e SDH

1.4. JUSTIFICATIVA

Proporcionar às Empresas de Energia Elétrica há disponibilizarem internamente redes de telecomunicações com qualidade de serviço e segurança utilizando de forma convergente os recursos, bem como apresentar uma ferramenta para análise de enlace óptico utilizando os cabos pára-raios como meio de transmissão óptica.

1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO:

A base desta dissertação está no estudo, pesquisa e apresentação de solução para problemas de desenvolvimento de projetos de Rede Transmissão IP com tecnologia DWDM e SDH utilizando cabos OPGW em linhas de transmissão de energia.

Neste primeiro capítulo foram apresentadas a definição do problema, as motivações, os objetivos e as justificativas desse trabalho.

O segundo capítulo apresenta um breve histórico das Telecomunicações, facilitando o entendimento da evolução tecnológica da rede.

O terceiro capítulo aborda a Primeira Geração das Redes Ópticas, o desenvolvimento, as características do SDH, tipos de multiplexação, de redes e equipamentos.

O quarto capítulo resume as principais características da Segunda Geração das Redes Ópticas.

O quinto capítulo apresenta as estruturas, propriedades, fabricação e componentes de uma fibra óptica.

O sexto capítulo trata das aplicações e utilizações dos cabos pára-raios OPGW.

O sétimo capítulo descreve as redes existentes na Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A – Eletronorte e como surgiu a idéia de uma rede convergente.

O oitavo capítulo aborda o projeto básico, plano de migração, gerenciamento, contingência, segurança e como foi implantado a rede convergente na Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A – Eletronorte.

O nono capítulo descreve sucintamente os principais componentes utilizados em um enlace óptico e apresenta uma análise do software para o planejamento e projeto otimizado de redes de telecomunicações.

Por último a conclusão aborda os resultados alcançados através da rede convergente e do software de planejamento e projeto otimizado de redes de telecomunicações.

2. EVOLUÇÃO DAS TELECOMUNICAÇÕES

2.1 EVOLUÇÃO DA REDE DE TELECOMUNICAÇÕES

Comunicação é o ato de transmissão de informações de uma pessoa à outra. Comunicação sempre foi, desde o início dos tempos, uma necessidade humana buscando aproximar comunidades distantes. Na pré-história as informações se referiam a perigos iminentes, busca de caça, etc. Tribos indígenas se valiam de sinais de fumaça ou de tambores para se comunicar. Os grandes conquistadores foram obrigados a estabelecer um sistema de mensageiros. Há, na História, referência à utilização de pombo-correio como uma forma de comunicação, em especial durante as guerras. [Soares Antonio J.M,2008]

Para que exista comunicação são necessários 4 elementos básicos (Figura 2-1):

Emissor: transmite informações;

Receptor: que recebe as informações do emissor;

Meio de transmissão: interface ou caminho entre o emissor e receptor que transporta o sinal;

Sinal: um sinal contém uma mensagem composta de dados e informações.



Figura 2-1 - Elementos básicos

As telecomunicações se diferenciaram destes processos visuais pelo uso de sinais processados eletricamente no transporte das informações. As telecomunicações se iniciaram verdadeiramente em 1844, quando Samuel Morse transmitiu a primeira mensagem em uma linha entre Washington e Baltimore (Código Morse).

Em 1876 um novo fato iria revolucionar as telecomunicações. Tratava-se da recente invenção do Telefone com microfone de magneto-indutivo, por Alexander Graham Bell.

Disputando com dois notáveis de seu tempo, Elisha Gray co-fundador da Empresa Western Electric e Thomas Edson, ele ganhou a corrida inventando um aparelho de uso prático. Quando 10 anos mais tarde surgiu o microfone a carvão (1886), estavam concretizados os princípios operacionais da transmissão telefônica, que iriam prevalecer praticamente até a década de 1950 em todos os telefones. Gugliermo Marconi, usando os fundamentos de James Maxwell e de Hertz, construiu o primeiro transmissor de rádio (1895).

E em junho de 1962 foi colocado em órbita o primeiro satélite ativo de comunicações - o Telstar, que permitiu transmissão de conversações telefônicas, telefoto e sinais de televisão a cores. Estava aberta a era de telecomunicações, via satélite. A extraordinária expansão das telecomunicações nos últimos 50 anos reclamou e forçou desenvolvimentos para obtenção de meios de transmissão de alta capacidade, qualidade e custos competitivos. [Soares Antonio J.M Antonio J. M,2008]

2.2 EVOLUÇÃO DA REDE ÓPTICAS

As redes de transportes podem ser visualizadas em quatro camadas. IP para aplicações e serviços, ATM para engenharia de tráfego; SONET/SDH para transporte; e DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) para proporcionar altas capacidades de tráfego (Figura 2-2). A escalabilidade dessa arquitetura é pequena para grandes volumes de tráfego, além de ser ineficiente em custo.



Figura 2-2 - Camadas de rede de transporte

Com o aumento das capacidades dos roteadores e Optical Cross-Connect - OXCs, as altas taxas de dados do transporte óptico sugerem a possibilidade de eliminar as camadas SONET/SDH e ATM (Figura 2-3). Para isso, roteadores, OXCs e equipamentos DWDMs devem implementar as funções necessárias dessas camadas. O resultado final será de uma rede mais simples e eficiente, que transportará uma ampla faixa de fluxos de dados e volumes de tráfego elevados. Para fazer dessa proposta uma realidade, tem-se desenvolvido os paradigmas MPLS e GMPLS para a nova geração de redes de transporte.[Sato, Ken-ichi,2002]

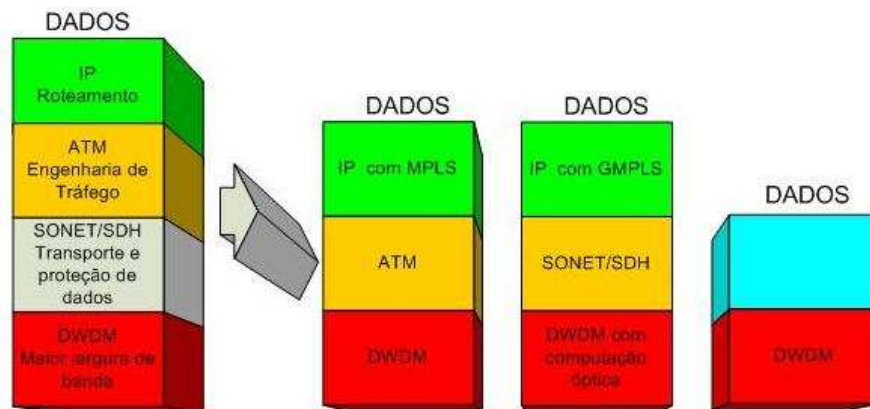


Figura 2-3 - Evolução da rede de transporte

2.3 MULTIPROTOCOL LAMBDA SWITCHING

O MP λ S (*Multiprotocol Lambda Switching*) é um protocolo para plano de controle centrado em IP, é uma extensão do MPLS direcionado para redes DWDM, tornando os elementos da rede aptos a suportar altas taxas de dados. MP λ S fornece também uma estrutura orientada à conexão para protocolo IP, tornando mais fácil a incorporação de QoS na Internet. O modelo IP/DWDM é, atualmente, forte tendência para as redes de transporte.

MP λ S descreve um plano de controle para comutadores ópticos influenciado nas técnicas desenvolvidas para a engenharia de tráfego MPLS. A proposta considera a tecnologia OXC para administrar o provisionamento em tempo real dos canais ópticos e permitir o uso de semântica uniforme para gestão de rede e operações de controle em redes híbridas, com elementos de rede OXCs e roteadores de comutação de rótulos.

Essa proposta ajudará na gestão da largura de banda no canal óptico, assim, como no provisionamento dinâmico dos canais ópticos e a sobrevivência da rede por meio de capacidades melhoradas de proteção e restauração.

Da mesma forma que MPLS, MP λ S baseia-se apenas em rótulos para definir o próximo roteador. Então, não é necessário subir até a camada de rede para processar endereços IP. Esse rótulo funciona como um índice na tabela de roteamento. O uso de rótulos é muito mais eficiente que as tabelas tradicionais. O comprimento de onda, usado como rótulo, é o identificador único. Isto possibilita a roteadores e switches realizar as funções necessárias de encaminhamento.

Em uma rede de transporte óptica, um OXC é um elemento de comutação que estabelece caminhos roteados para os canais ópticos mediante conexão local de uma porta de entrada (fibra) a uma porta de saída (fibra).

O plano de controle tem topologia fixa e é separado do canal de dados. O plano de controle para OXC usa protocolos IP estendidos para distribuir a informação de estado

relevante da rede de transporte óptica, incluída a informação de estado da topologia. Esta é usada por um sistema de roteamento baseado em restrições, para calcular os caminhos dos canais ópticos ponto-a-ponto. O plano de controle de OXC usa um protocolo de sinalização de MPLS para os canais ópticos ponto-a-ponto. Dessa forma, pacotes IP podem ser diretamente transportados sobre redes DWDM.

Uma diferença básica entre MPLS e MP λ S é o nível de granularidade: MP λ S controla lambdas, enquanto que MPLS controla fluxos de pacotes, que podem ser transportados em lambdas.

Posteriormente ao casamento entre o plano de controle MPLS com os comutadores OXC, que deu origem a MP λ S, surgiu o GMPLS (Generalized Multiprotocol Label Switching) como uma solução de conveniência tecnológica, de engenharia de tráfego e QoS para a rede de transporte.

2.4 GENERALIZED MULTIPROTOCOL LABEL SWITCHING

O GMPLS é um conjunto de protocolos estendidos de MPLS em um plano de controle comum, tanto para redes ópticas como eletrônicas, que é necessário para habilitar a próxima geração de redes IP sobre DWDM. GMPLS estende MPLS e MP λ S incluindo a comutação por divisão no tempo na rede de transporte para dar suporte a tecnologias como SONET/SDH que multiplexam no tempo; além de aprimorar o plano de controle para tecnologias de comunicação de comprimentos de onda (lambdas), espacial (porta/fibra) e pacotes/ células.

A generalização proporciona um plano de controle comum padronizado, necessário para a evolução de redes ópticas abertas e interoperáveis. Um plano de controle comum significa as operações e a gestão, o que reduz o custo das operações e proporciona uma ampla faixa de cenários de desenvolvimento.

O principal foco de GMPLS é o plano de controle das diversas camadas de comutação, que permite hierarquias para o transporte da informação. O plano de controle e o plano de

transporte de dados encontram-se fisicamente desagregados (Figura 2-4) [Benerjee, A.,- 2001, Comellas-2003, Mannie-2003, Rossi-2002, Sato-2002, Sato, Ken-ichi-2002].

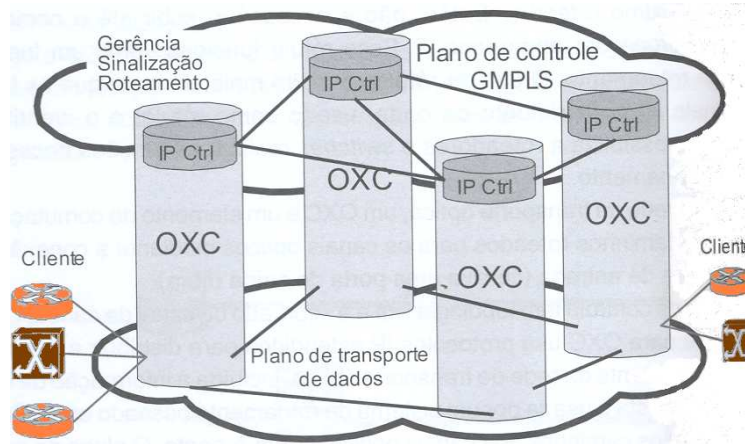


Figura 2-4 - Plano de controle e plano de transporte de dados.

3. PRIMEIRA GERAÇÃO DAS REDES ÓPTICAS

3.1. SONET/SDH

Em 1984, a ECSA – EUA (*Exchange Carriers Standards Association*), desenvolveu o padrão SONET (*Synchronous Optical Network*). Após algum tempo, o ITU-T – Europa (antigo CCITT) criou finalmente um sistema que pudesse interligar as redes de telefonia de países distintos, o SDH (*Synchronos Digital Hierachy*).

O desenvolvimento do SDH é um ajuste a partir do SONET, para que houvesse uma compatibilidade entre os frames dos 2 sistemas tanto em tamanho quanto nas taxas de bits, e não surgisse problemas de interface (Figura 3-1)

| EUROPA | | | ESTADOS UNIDOS | | |
|---------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------------|
| Nível | Velocidade (Mbps) | Número de canais de 64 Kbps | Nível | Velocidade (Mbps) | Número de canais de 64 Kbps |
| E1 | 2,048 | 30 | DS 0 | 64 kbps | 1 |
| E2 | 8,448 | 120 | T1, DS1 | 1,544 | 24 |
| E3 | 34,368 | 480 | T2,DS2 | 6,312 | 96 |
| E4 | 139,264 | 1.920 | T3,DS3 | 44,736 | 672 |
| E5 | 564,992 | 7.680 | T4, DS4 | 274,176 | 4.032 |

Figura 3-1 - Velocidades SDH e SONET

A hierarquia SDH foi concebida para uma arquitetura de multiplexação síncrona. Cada canal opera com um relógio sincronizado com os relógios dos outros canais e é sincronizado com o equipamento multiplex através de um processo de justificação de bit e encapsulamento da informação (contêiner).

A esse contêiner é adicionado um cabeçalho (POH), que o caracteriza e indica sua localização no frame, e forma-se então um contêiner virtual (VC - Virtual Container) para cada canal.

O SDH pode transportar também os diferentes tipos de sinais PDH, através do frame padronizado denominado STM-N (*Synchronous Transport Module*), utilizado tanto para sinais elétricos como para sinais ópticos. Atualmente o padrão SDH utiliza frames STM-N com as seguintes taxas de bits: 155520 Mbit/s (STM-1 elétrico ou óptico), 622080 Mbit/s (STM-4 óptico), 2488320 Mbit/s ou 2,5 Gbit/s (STM-16 óptico) e 9953280 Mbit/s ou 10 Gbit/s (STM-64 óptico).

Os diversos canais multiplexados (VC's) normalmente são chamados de tributários, e os sinais de transporte gerados (STM-N) são chamados de agregados ou sinais de linha.

Os itens a seguir detalham as características mais relevantes da tecnologia SDH. [Kartalopoulos-2004, Zarabi-2005]

3.2. SINCRONISMO

As redes SDH formam um sistema síncrono onde todos os relógios de seus equipamentos têm, em média, a mesma frequência. O relógio de cada equipamento, chamado de relógio secundário ou escravo, pode ser rastreado até o relógio principal da rede, chamado também de mestre, garantindo a distribuição e qualidade do sinal de sincronismo.

A manutenção de uma boa referência de relógio permite que os sinais STM-1 mantenham sua taxa de 155 Mbit/s estável, e que vários sinais STM-1 síncronos possam ser multiplexados sem a necessidade de inserção de bits, sendo facilmente acessados em sinais STM-N de maior taxa de bits.

Também os sinais síncronos de menores taxas de bits, encapsulados nos VC's, podem ser multiplexados sem a necessidade de inserção de bits para compor os sinais STM-1, e podem ser facilmente acessados e recuperados.

O uso de ponteiros em conjunto com buffers permite acomodar as eventuais diferenças de fase e frequência dos canais durante o processo de multiplexação. Os ponteiros possuem campos específicos para armazenar os bits ou bytes em excesso ou para indicar a falta destes durante o processo de sincronização (justificação). Os buffers permitem que esse processo ocorra sem a perda de informação armazenando e mantendo o sinal original.

Desta forma, é extremamente importante a qualidade e a manutenção do sinal de sincronismo para o sucesso da rede e dos serviços prestados a partir dela.

3.3. ESTRUTURA EM CAMADAS

O padrão SDH foi desenvolvido usando a abordagem cliente/servidor e sua arquitetura de administração e supervisão procurou apoiar-se no modelo de camadas OSI (ISO), permitindo que a supervisão do transporte de informações seja feita através de camadas hierarquizadas.

Do ponto de vista de rede, essas camadas são representadas conforme a Figura 3-2 a seguir. Para um determinado serviço caracterizado por sua origem e destino e por uma taxa de bits conhecida, são identificados os tipos de funcionalidades e as camadas envolvidas para executá-lo.

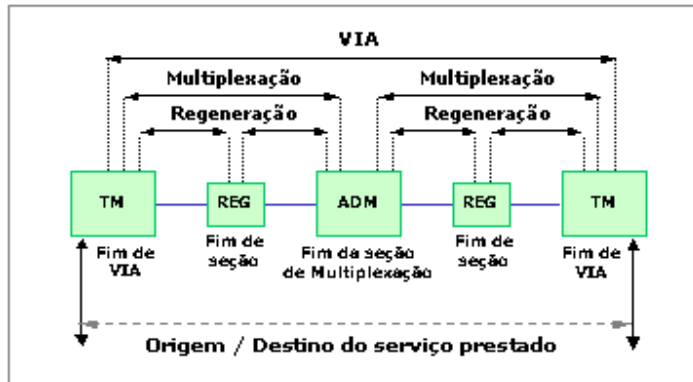


Figura 3-2 - Estrutura em Camadas

Entende-se por Via o caminho percorrido pelo sinal entre a origem e o destino. Nesse caminho o sinal é acondicionado no frame SDH que faz o seu transporte através de todos os equipamentos da rede nessa rota. Em cada equipamento, de acordo com a sua função, o frame é processado pelas camadas adequadas para ser restaurado ou para extrair ou inserir novos serviços.

Em cada etapa desse processo as informações de administração e supervisão do SDH são geradas e inseridas no frame.

O modelo em camadas para um determinado equipamento da rede é apresentado na Figura 3-3 a seguir.

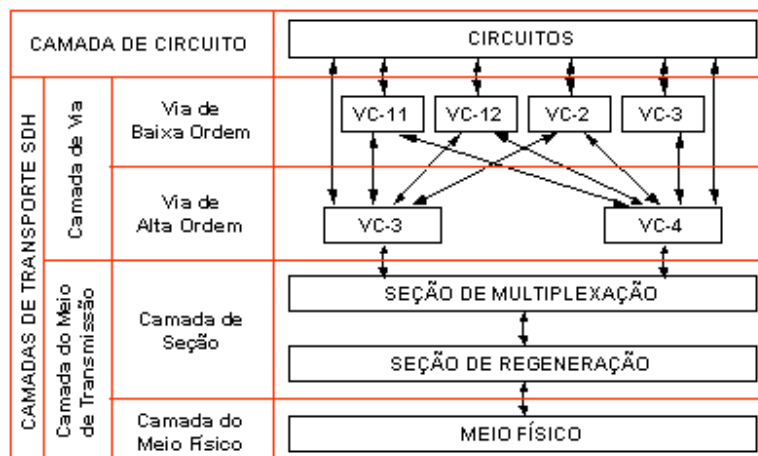


Figura 3-3 - O modelo em camadas

A camada do meio de transmissão é dependente do meio utilizado, e por isso foi dividida em 2 camadas distintas: meio físico e seção. A camada do meio físico realiza o condicionamento do sinal de acordo com esse meio, seja ele óptico ou elétrico.

A camada de seção também está dividida em 2 novas camadas. A seção de regeneração é responsável pelo processamento dos frames em todos os equipamentos da rede, sejam eles de passagem, de extração ou inserção de tributários, ou de terminação de via. A seção de multiplexação é responsável pelo processamento fim-a-fim dos frames nos equipamentos de extração ou inserção de tributários, ou de terminação de via.

A camada de via está dividida em alta ordem e baixa ordem. Nessa camada cada VC é uma estrutura com a informação útil em (contêiner) e um cabeçalho que o caracteriza (POH). Na via de baixa ordem cada VC contém um único contêiner e seu cabeçalho (VC-1x, VC-2 ou VC-3). Na via de alta ordem um VC pode conter um único contêiner e seu cabeçalho (VC-3 ou VC-4), ou um conjunto de contêineres de menor ordem e o respectivo cabeçalho.

A camada de circuito realiza o condicionamento da informação útil retirada do contêiner para a interface elétrica ou óptica definida para cada serviço a ser fornecido pelo equipamento.

3.4. ESTRUTURA DO FRAME

O frame SDH tem tamanho padrão para cada hierarquia. Cada frame constitui uma unidade para fins de administração e supervisão da transmissão no sistema. Esses frames são transmitidos a uma taxa de 8000 frames por segundo (8000 Hz).

O frame SDH para a hierarquia STM-1, por exemplo, tem 2430 bytes, organizados em 9 linhas com 270 colunas de bytes, os quais são transmitidos serialmente linha a linha da esquerda para a direita, e de cima para baixo. Sua estrutura básica é apresentada na Figura 3-4 a seguir.

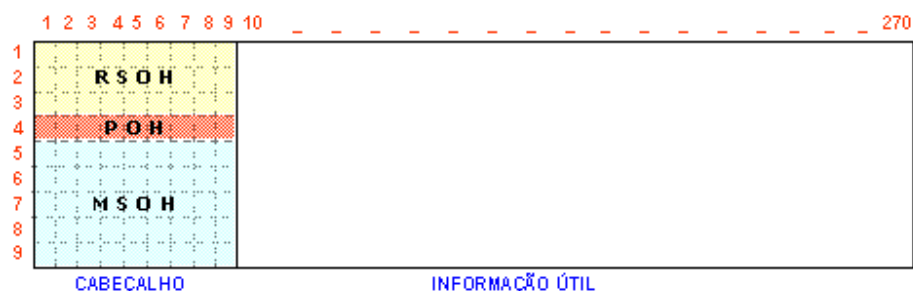


Figura 3-4 - Estrutura do Frame

O cabeçalho (overhead) é composto por 3 tipos de estruturas:

- RSOH (*Regenerator Section Overhead*), processado em cada equipamento da rede, contém informações de alinhamento de frame, identificação de frame, monitoração de erro de regeneração, alarmes físicos externos ao equipamento, e supervisão de sistema. Contém também um canal de voz, para comunicação de técnicos entre equipamentos.
- MSOH (*Multiplex Section Overhead*), processado apenas em equipamentos onde existe inserção (add) ou retirada (drop) de canais multiplexados, contém informações de monitoração e indicação de erros de multiplexação, controle de chaveamento de mecanismos de proteção, monitoração de sincronismo e gerência de sistema.
- POH (*Path Overhead*), processado em cada equipamento, possui os ponteiros que indicam onde se localiza o primeiro byte do(s) VC(s) dentro da área de informação útil (payload) do frame, e eventuais bytes provenientes de justificação desse(s) VC(s).

A incorporação dos ponteiros nas estruturas dos VC's do frame SDH permite que mesmos sinais com diferenças de fase e frequência possam ser transportados num mesmo frame, já que essas diferenças são acomodadas em bytes específicos do POH através do processo de justificação.

Ressalta-se, entretanto, que essas diferenças deve atender as especificações estabelecidas pelas recomendações do ITU-T para o SDH.

3.5. PROCESSO DE MULTIPLEXAÇÃO

A Figura 3-5 apresenta o processo de multiplexação dos canais tributários no frame SDH.

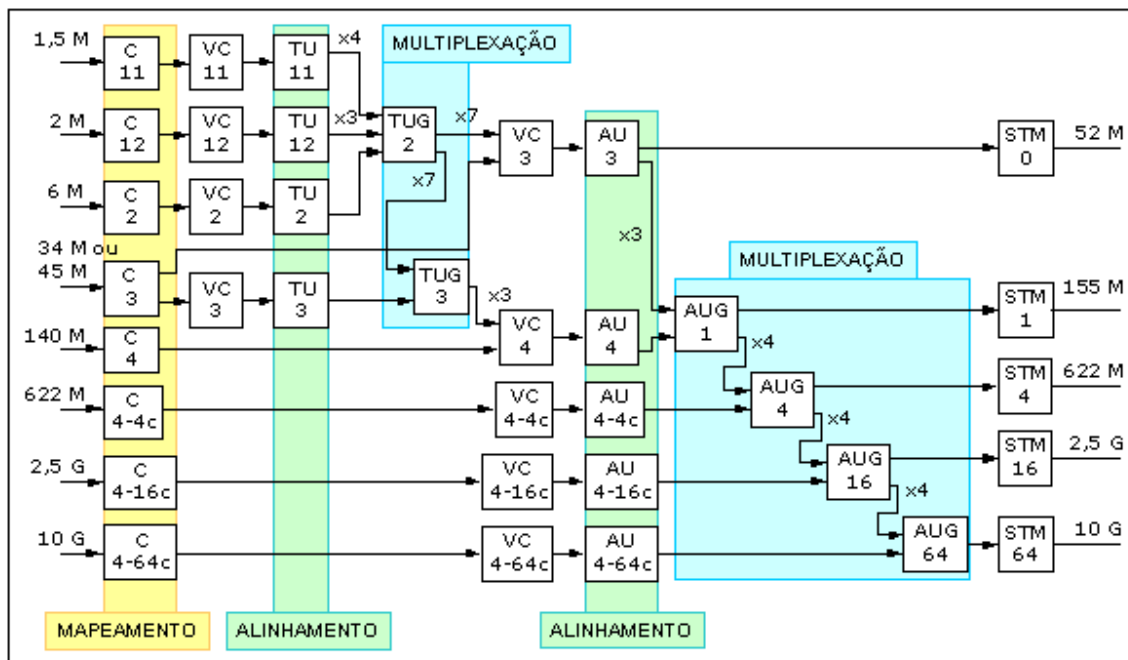


Figura 3-5 - Processo de Multiplexação

O processo de multiplexação dos canais tributários no frame SDH tem os seguintes passos:

- Mapeamento, onde os tributários são sincronizados com o equipamento multiplex (justificação de bit), encapsulados e recebem seus ponteiros (POH) para formar os VC's;
- Alinhamento, onde os VC's recebem novos ponteiros para formarem as unidades TU (*Tributary Unit*) ou AU (*Administrative Unit*), para permitir que o primeiro byte do VC seja localizado;
- Multiplexação byte a byte, onde os VC's de baixa ordem são agrupados para compor os VC's de alta ordem ou os VC's de alta ordem são processados para formar os AUG (*Administrative Unit Group*);
- Preenchimento, onde, na falta de tributários configurados ou para completar o espaço restante de tributários de baixa ordem, são adicionados bits sem informação para completar o frame.

Nos equipamentos do padrão SDH o processo de multiplexação normalmente é executado pela matriz de conexão cruzada (Cross-connect Matrix). A capacidade desta matriz para compor os frames SDH com canais de taxas de bits diversas define, de fato, a capacidade do equipamento.

Normalmente os equipamentos com sinais agregados de taxas de bits até STM-4 (622 Mbit/s) possuem matrizes com capacidade para multiplexar canais com taxa de bits de 2 Mbit/s até 155 Mbit/s. Os equipamentos com sinais agregados de taxas de bits superiores a STM-4 (622 Mbit/s) possuem matrizes com capacidade para multiplexar canais com taxa mínima de 155 Mbit/s.

Equipamentos

O padrão SDH definiu 3 tipos de equipamentos para compor a rede, Figura 3-6:

- *TM (Terminal Multiplex)*: possui apenas uma interface de agregado e possibilita a inserção (add) ou retirada (drop) de tributários de diversas hierarquias;
- *ADM (Add and Drop Multiplex)*: possui duas interfaces de agregados e possibilita a inserção (add) ou retirada (drop) de tributários de diversas hierarquias. Estes equipamentos também podem ser usados como regeneradores de sinal, quando nenhuma interface de tributário é instalada.
- *SDXC (Synchronous Digital Cross-connect)*: possui interfaces de entrada e saída de diversas hierarquias e pode interliga-las com uma grande infinidade de combinações.

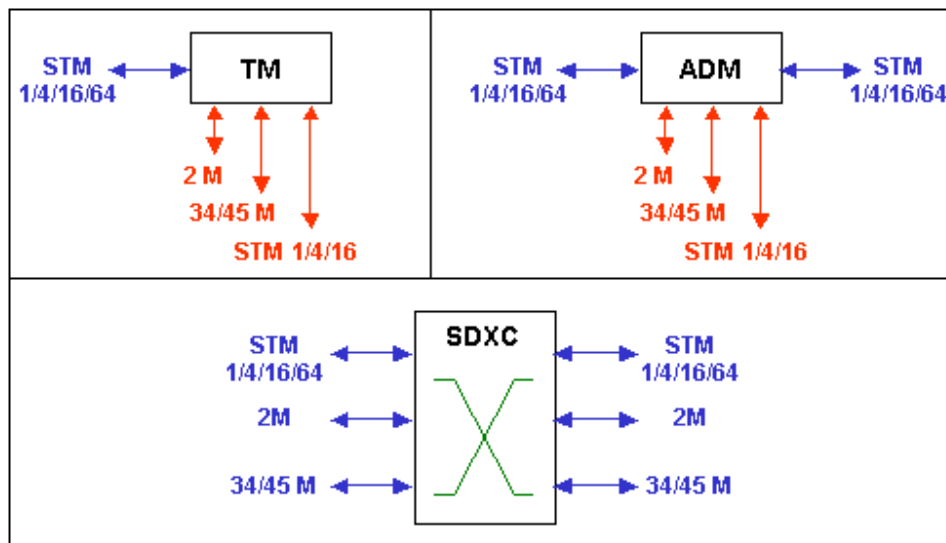


Figura 3-6 - O padrão SDH

Embora esses tipos de equipamentos tenham sido especificados nas recomendações do ITU-T, com detalhes de blocos funcionais, os fabricantes de equipamentos fornecem, em sua maioria, apenas os ADM's, que podem executar a função de ADM e de TM com diversas capacidades de taxas de bits, e os SDXC, também com diversas possibilidades de configuração.

Para selecionar e utilizar esses equipamentos em redes SDH devem ser considerados os seguintes aspectos:

- Tributários: tipos (elétricos, ópticos), taxas de bits, número de interfaces por placas e número máximo de placas no equipamento;
- Agregados: tipos (elétricos, ópticos), taxas de bits e número máximo de placas no equipamento;
- Matriz de Conexão Cruzada (Cross-connect Matrix): capacidade total da matriz e taxas de bits dos canais a serem multiplexados.

3.6. TOPOLOGIAS DE REDE

As redes SDH podem ter as seguintes topologias, Figura 3-7:

- Ponto-a-ponto: 2 equipamentos terminais interligados por um único meio físico;
- Barramento: 3 ou mais equipamentos interligados por um único meio físico, sendo 2 equipamentos terminais e os demais equipamentos ADM;
- Anel: 3 ou mais equipamentos ADM interligados através de um único meio físico;

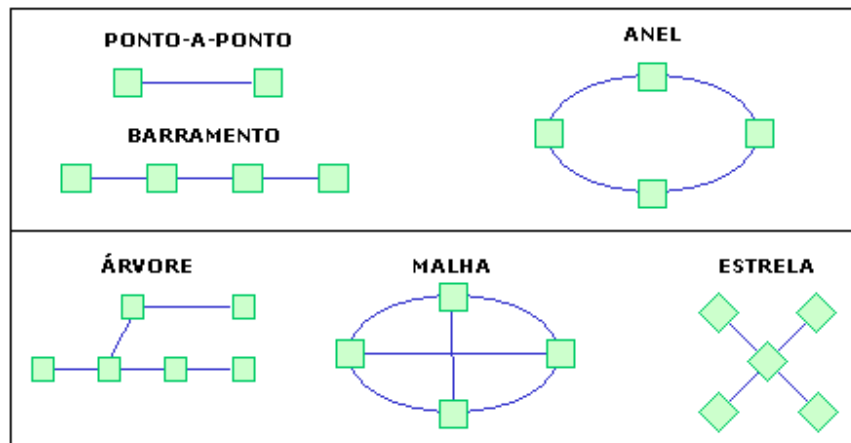


Figura 3-7 - Topologias de Rede

As topologias de rede podem ainda ser classificadas como:

- Física: visão da rede a partir da sua topologia física, ou seja, considerando o meio físico utilizado e os seus equipamentos;
- Lógica: visão da rede a partir da interligação dos equipamentos sem considerar a topologia da rede física.

Na maioria dos casos, as visões de rede física e lógica são as mesmas. Entretanto, em algumas situações as restrições impostas para a construção da rede física podem levar os projetistas a elaborar um projeto onde, embora a rede tenha uma configuração ponto-a-ponto ou barramento, a rede lógica possa ter a configuração em anel. Os exemplos apresentados a seguir ilustram este caso.

Exemplos de Topologias

A figura 3-8 apresenta exemplos de segmentos de rede, destacando as diferenças entre topologia física e lógica.

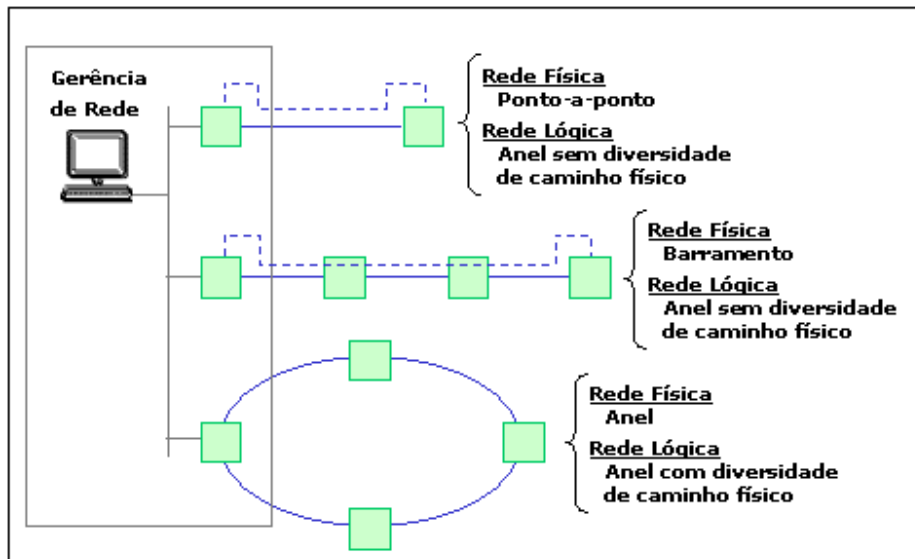


Figura 3-8 - Exemplos de Topologias

As redes que são implantadas com configuração física ponto-a-ponto ou barramento e configuração lógica em anel são comumente chamadas de anel "amassado" ou, em inglês, "flat ring".

Vários mecanismos ou procedimentos de proteção podem ser aplicados a rede SDH para garantir alta disponibilidade e segurança para os serviços a serem fornecidos. Os procedimentos e mecanismos mais importantes são apresentados a seguir.

3.7. REDE FÍSICA

Dentre as topologias de rede apresentadas, a configuração em anel é a mais usada para fornecer a proteção da rede física. Os projetos dessas redes devem considerar sempre a implantação de redes ópticas ou de enlaces de rádios que utilizem caminhos físicos

distintos para evitar que uma única falha simples possa interromper o serviço oferecido pela rede SDH.

Esse procedimento deve aplicar-se tanto à rede a ser implantada externamente aos sites, sejam eles da rede de serviços ou dos seus Clientes, como nos acessos a esses sites, Figura 3-9.

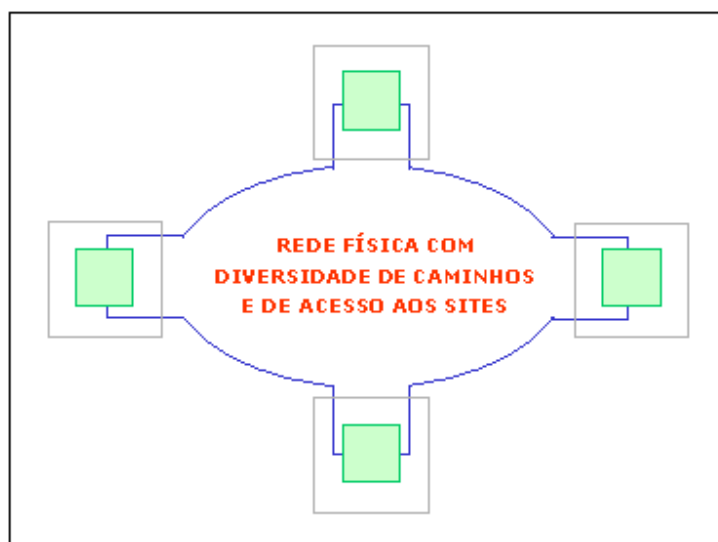


Figura 3-9 - Rede Física

Equipamentos

O padrão SDH possui mecanismos de proteção já definidos para as interfaces de tributários, principalmente aquelas com taxas de bits a partir de 155 Mbit/s (STM-1). Nesses casos são instaladas 2 placas de tributários nos equipamentos (principal e reserva) e são usados bytes do próprio frame SDH para decidir como redirecionar o sinal do tributário (principal -> reserva) em caso de falha.

Para o caso das interfaces elétricas com taxas de 2 Mbit/s até 155 Mbit/s, os equipamentos possuem mecanismos de proteção onde podem ser adicionadas placas na proporção 1 reserva para n ativas, onde em caso de falha de uma das n placas ativas, a placa reserva é ativada automaticamente, sem interrupção dos serviços fornecidos.

Adicionalmente, muitos equipamentos já fornecem proteção do tipo 1+1 para as placas de Matriz de Conexão Cruzada para os equipamentos de rede.

Proteção Lógica

A proteção lógica da Rede SDH atende a recomendação ITU-T G.841 - Types and Characteristics Of SDH (*Network Protection Architectures*). Esta recomendação trata principalmente de 2 tipos de arquiteturas de proteção (redundância):

- SNCP (Subnetwork Connection Protection), que usa segmentos de rede entre os equipamentos com 2 fibras ópticas;
- MS SP Ring (Multiplex Section - Shared Protection Ring), que usa segmentos de rede entre os equipamentos que podem ter 2 ou 4 fibras ópticas.

A proteção **SNCP** utiliza o conceito de subrede (subnetwork connection) para efetuar o chaveamento do tráfego a ser protegido, conforme Figura 3-10.

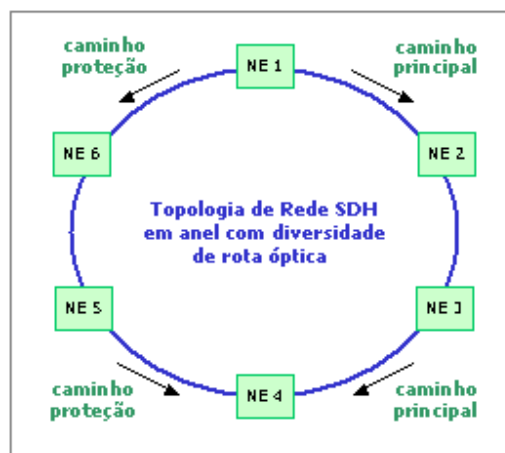


Figura 3-10 - Proteção SNCP

Configura-se entre 2 equipamentos distintos, NE 1 e NE 4, um caminho principal (main subnetwork connection) e um caminho de proteção (protection subnetwork connection), sendo que esses caminhos podem ser compostos por múltiplos nós de rede (NEs 2 e 3 no caminho principal e NEs 5 e 6 no caminho de proteção).

No NE 1 todo o tráfego é enviado tanto pelo caminho principal como pelo caminho reserva. No NE 4 o tráfego do caminho principal é preferencialmente recebido. Em caso de falha ou degradação do tráfego no caminho principal, decorrente da rede óptica ou de algum equipamento, a preferência no recebimento do tráfego passa a ser do caminho reserva. Essa comutação ocorre de forma automática em tempo menor que 50 ms por iniciativa do NE 4, envolvido no recebimento do tráfego, sem qualquer intervenção do sistema de Gerência de Rede.

Este sistema de proteção tem ainda as seguintes características:

- Todo tráfego protegido entre 2 equipamentos distintos utiliza banda nas 2 subredes (caminhos principal e reserva);
- As subredes (caminhos principal e reserva) podem ser compostas por segmentos de fibra óptica ou rádio;
- Este tipo de proteção pode ser configurado em anéis compostos por segmentos formados por equipamentos de fabricantes diversos, situação que pode ocorrer quando o anel é configurado com segmentos de rede de prestadores de serviços distintos;
- Este tipo de proteção pode ser configurado em anéis compostos por segmentos de diferentes capacidades (STM-1, STM-4, STM-16), situação que pode ocorrer quando um anel de capacidade menor é formado contendo um segmento ancorado noutro segmento de um anel de capacidade maior.

A proteção MS SP ring utiliza o conceito de proteção de linha ou segmento, entre 2 equipamentos consecutivos, para efetuar o chaveamento do tráfego a ser protegido, conforme Figura 3-11.

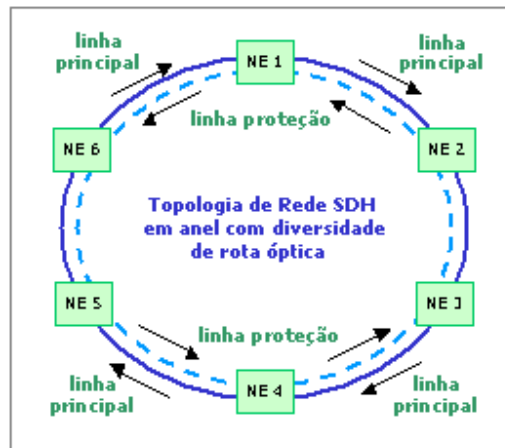


Figura 3-11 - Proteção MS SP ring

A capacidade de tráfego no anel é configurada de forma que 50% da banda disponível seja reservada para operação normal (linha de principal) e 50% seja reservada para proteção (linha de proteção).

Configura-se entre 2 equipamentos distintos, NE 1 e NE 4, o caminho através da linha principal (passando pelos NEs 2 e 3) usando a banda para operação normal. Todo o chaveamento do tráfego é feito através de informações existentes no overhead do frame SDH. Quando um equipamento (NE 2, por exemplo) detecta uma falha em qualquer uma de suas interfaces de linha voltada para outro NE (agregado voltado para o NE 3, por exemplo) decorrente de falha de rede óptica ou de equipamento, esta informação é enviada aos outros equipamentos. O tráfego entre os NEs 2 e 3, que foi interrompido, é então chaveado para a linha de proteção no NE 2, que detectou a falha, e conduzido para o NE 3 usando a banda de proteção. No NE 3 o tráfego que chega pela linha de proteção é então chaveado para a linha principal novamente, restabelecendo o tráfego para o NE de destino (NE 4).

Este sistema de proteção tem ainda as seguintes características:

- Todo tráfego entre 2 NEs distintos a ser protegido utiliza banda da linha principal apenas, em operação normal, e banda da linha de proteção apenas em caso de falha;
- O anel, como um todo, só pode ser composto por segmentos de fibra óptica;

- Este tipo de proteção não pode ser configurado em anéis compostos por segmentos formados por equipamentos de fabricantes diversos, situação que pode ocorrer quando o anel é configurado com segmentos de rede de prestadores de serviços distintos;
- Este tipo de proteção não pode ser configurado em anéis compostos por segmentos de diferentes capacidades (STM-1, STM-4, STM-16), situação que pode ocorrer quando um anel de capacidade menor é formado contendo um segmento ancorado noutro segmento de um anel de capacidade maior.

Os 2 tipos de proteção aplicam-se principalmente a topologia de rede em anel. Como já foi mencionado anteriormente, eventualmente podem ser aplicados a segmentos de rede onde, embora a topologia da rede física apresente restrições para ser implantada em anel, de forma temporária ou permanente, tenha sido usada a estratégia de implementar esses tipos de proteção para prevenir eventuais falhas de equipamentos.

3.8. TOPOLOGIAS TÍPICAS

De forma geral as redes dos prestadores de serviços são implantadas usando todos os tipos de mecanismos de proteção apresentados acima. A implantação dessas redes sempre parte da escolha de uma filosofia geral de proteção que aplica-se a rede física, a rede lógica e aos serviços fornecidos.

Em geral, até os procedimentos de proteção para os tributários adotam práticas distintas dependentes do porte dos Clientes, Figura 3-12.

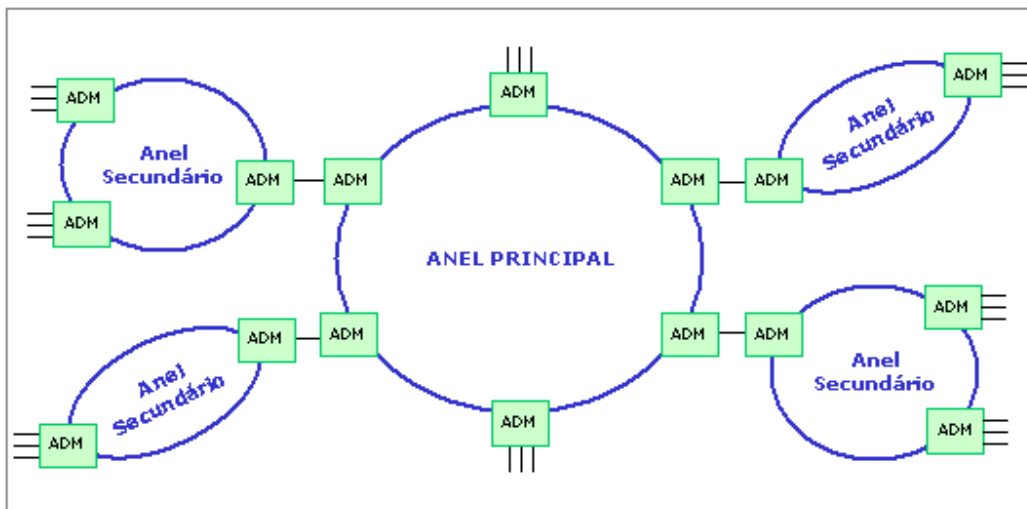


Figura 3-12 - Topologias Típicas

Esta configuração com um anel principal, chamando de núcleo ou backbone, e diversos anéis secundários, ou regionais, aplica-se tanto as grandes metrópoles, onde tanto o tráfego interno como o tráfego para outras localidades é muito intenso, como também para redes de longa distância, onde o backbone liga duas localidades de maior porte, e os anéis secundários atendem regiões ou localidades de menor porte.

No período de 1984 a 1988 vários órgãos internacionais de padronização estabeleceram uma série de recomendações com técnicas para transmissão, comutação e sinalização e controle para implementar redes inteligentes baseadas em fibra óptica. A padronização da tecnologia SDH foi então estabelecida pelo ITU-T, sendo adotada inicialmente na Europa, e posteriormente também no Brasil.

As recomendações do ITU-T podem ser agrupadas nas seguintes categorias: tecnologia SDH (protocolos e equipamentos), rede, sincronismo e sistema de gerência. Os padrões e recomendações relativos ao sincronismo podem ser encontrados no tutorial do Teleco Sincronismo na Rede SDH. [Cavendish-2002, Kartalopoulos-2004, Zarabi-2005]

A tabela 3-1 a seguir apresenta os principais padrões e recomendações do ITU-T.

| Protocolos e Equipamentos | |
|---------------------------|---|
| Recom. | Título |
| G.701 | Vocabulary of digital transmission and multiplexing, and pulse code modulation (PCM) terms |
| G.703 | Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interfaces |
| G.707 | Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH) |
| G.708 | Sub STM-0 network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH) |
| G.774 | Synchronous digital hierarchy (SDH) - Management information model for the network element view |
| G.774.1 | Synchronous digital hierarchy (SDH) - Bidirectional performance monitoring for the network element view |
| G.774.10 | Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Multiplex Section (MS) shared protection ring management for the network element view |
| G.774.2 | Synchronous digital hierarchy (SDH) - Configuration of the payload structure for the network element view |
| G.774.3 | Synchronous digital hierarchy (SDH) management of multiplex-section protection for the network element view |
| G.774.4 | Synchronous digital hierarchy (SDH) - Management of the subnetwork connection protection for the network element view |
| G.774.5 | Synchronous digital hierarchy (SDH) management of connection supervision functionality (HCS/LCS) for the network element view |
| G.774.6 | Synchronous Digital Hierarchy (SDH) - Unidirectional performance monitoring for the network element view |
| G.774.7 | Synchronous digital hierarchy (SDH) - Management of lower order path trace and interface labelling for the network element view |
| G.774.8 | Synchronous digital hierarchy (SDH) - Management of radio-relay systems for the network element view |
| G.774.9 | Synchronous digital hierarchy (SDH) - Configuration of linear multiplex-section protection for the network element view |
| G.780 | Vocabulary of terms for synchronous digital hierarchy (SDH) networks and equipment |
| G.781 | Synchronization layer functions |
| G.783 | Characteristics of synchronous digital hierarchy (SDH) equipment functional |

| | |
|---------------------|--|
| | blocks |
| G.783 | Characteristics of Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Equipment Functional Blocks Amendment 1 |
| G.785 | Characteristics of a flexible multiplexer in a synchronous digital hierarchy environment |
| Rede | |
| Recom. | Título |
| G.803 | Architecture of transport networks based on the synchronous digital hierarchy (SDH) |
| G.826 | Error performance parameters and objectives for international, constant bit rate digital paths at or above the primary rate |
| G.827 | Availability parameters and objectives for path elements of international constant bit-rate digital paths at or above the primary rate |
| G.829 | Error performance events for SDH Multiplex and regenerator sections |
| G.831 | Management capabilities of transport networks based on the synchronous digital hierarchy (SDH) |
| G.841 | Types and characteristics of SDH network protection architectures |
| G.842 | Interworking of SDH network protection architectures |
| Sistema de Gerência | |
| Recom. | Título |
| G.784 | Synchronous digital hierarchy (SDH) management |

Tabela 3-1 - Padrões e recomendações do ITU-T

3.9. INTERCONEXÕES DE COMPUTADORES

Embora o SONET/SDH seja predominante na maior das infra-estruturas, esse tipos redes diferentemente são muito mais predominantes no ambiente das redes corporativas.

Ao contrário do SONET/SDH, as maiorias deles não incorporam mecanismos da proteção e dependeriam assim da camada ótica para fornecer a proteção às falhas. As características comuns destas redes é utilizar os componentes óticos com baixas taxas de transmissão e custos.

Todas as três redes descritas a seguir são utilizadas para interconectar computadores a outros computadores ou sistemas periféricos tais como discos, fitas, e impressoras.

A quarta rede, FDDI, é uma rede Metropolitana. Apresentamos também dois outros tipos de tecnologias de redes: ATM e IP.

ESCON (Connection Enterprise System).

Trata-se de um padrão criado pela IBM (International Business Machine) com a finalidade de substituir as interfaces de entrada e saída de baixa velocidade à base de fios de cobre por interfaces óticas. Essas interfaces estão altamente disseminadas em ambientes à base de mainframe, onde cada um desses computadores chaga a possuir centenas de canais ESCON de entrada e saída, que podem ser ligados a outros mainframes ou a periféricos, figura 3-13.

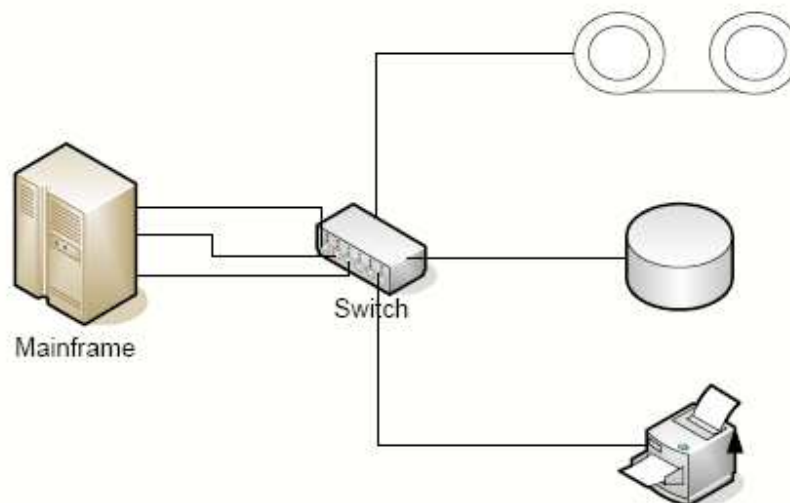


Figura 3-13 - ESCON (*Connection Enterprise System*)

A taxa de transmissão por canal ESCON é de 200 Mb/s, com LEDs operando em 1310nm em fibras multimodo para distâncias menores que 3KM. Para distâncias maiores, que chegam a 20 KM, utilizam-se lasers operando em associação com fibras monomodo. Utiliza-se também um código de linha (8,10) para evitar longas sequências de 0's e 1's e alcançar o equilíbrio DC.

Fiber Channel.

Trata-se de um padrão desenvolvido recentemente para atuar nas mesmas aplicações que o ESCON, permitindo taxas de transmissão de 200, 400 e 800 Mb/s. Na taxa mais alta, lasers multimodo operando a 1310 nm são utilizados mesmo para distâncias curtas. Da mesma forma que o ESCON, o Fiber Channel também utiliza uma codificação de linha (8,10).

HIPP (*High Performance Parallel Interface*).

Esta é primariamente um padrão de interface elétrica de entrada e saída a 800 Mb/s. Devido a variação de clock, a distância mínima é limitada a apenas 25m. Para maiores, um novo padrão denominado Serial HIPPI foi desenvolvido, no qual os dados são serializados e transmitidos em fibra monomodo a 1.2 Gbaud (1,2 Gb/s no canal, após a codificação de linha).

3.10. REDES LOCAIS E METROPOLITANAS

3.10.1. FDDI (*Fiber distributed data interface*).

Esse é um padrão para redes metropolitanas que opera em 100 Mb/s. Sua topologia física é em anel de duas fibras, e incorpora mecanismos de proteção similares aos da rede SONET/SDH. Pode ser entendido como uma extensão do bem conhecido e bastante disseminado padrão Token Ring para redes locais, com uma maior velocidade e meios de transmissão ópticos.

O padrão foi desenvolvido para se obter uma implementação de baixo custo. Para distância entre nós de até 2 KM, são utilizados LED`s operando em 1310nm, fibras multimodo e fotodiodos PIN na recepção. Pode-se estender a distância entre os nós para até 40 KM, neste caso utilizando-se lasers e fibras monomodo.

O padrão FDDI utiliza uma codificação de linha (4,5), elevando a taxa de transmissão na fibra para 125 Mbaud. Ainda assim, essa codificação não atinge um equilíbrio DC de 100%.

3.10.2. ATM (*Asynchronous transfer mode*).

O padrão ATM emergiu nos anos 90 como uma solução de engenharia capaz de integrar as redes de dados com as redes de voz, com vistas à implementação da RDSI-FL (Rede Digital de Serviços Integrados de Faixa Larga). Apesar de grande maioria do tráfego em rede de voz ser digital, tal integração ainda não havia sido alcançada.

Para chegar a essa integração, o padrão tem como unidade básica um pacote relativamente pequeno, denominado célula, de apenas 53 bytes. Destes, 48 carregam dados úteis e 5 correspondem a informações de cabeçalho. Esse tamanho de célula é um compromisso entre as exigências dos dois tipos de tráfego: por um lado, um pacote suficientemente pequeno é requerido pelo tráfego de voz, pois o atraso na entrega do pacote

deve ser mínimo; em contrapartida, redes de dados devem possuir pacotes relativamente grandes de modo a minimizar o overhead envolvido.

Dentre as grandes vantagens proporcionadas pelo ATM, destaca-se a garantia de qualidade de serviço fornecida às aplicações ao mesmo tempo em que se faz multiplexação estatísticas dos pacotes com vistas a um uso mais eficiente da largura de banda disponível, graças a uma negociação a priori sobre as características de uma conexão (aqui denominada circuito virtual), tais como taxas de transmissão média e de pico.

O padrão se estende desde redes locais (LAN`s), passando pelas redes metropolitanas (MAN`s) até chegar nas redes de longa distâncias (WAN`s). Portanto, uma vantagem adicional do ATM é que ele provê comutação mesmo em ambientes de rede local, diferentemente das tecnologias Ethernet, Token Ring e FDDI, que utilizam meios de transmissão compartilhados em modo broadcast, tais como barramentos ou anéis.

Existem várias interfaces definidas para o padrão ATM, que variam desde 25,6 Mb/s sobre pares de fios de cobre até 622,08 Mb/s sobre fibras ópticas monomodo. Dentre as interfaces ópticas, tem-se uma a 100 Mb/s cujas especificações são idênticas às do padrão FDDI. Há também outra a 155,52 Mb/s que se utiliza de LED`s e fibras multimodo para operar em distâncias de até 2 Km. A codificação de linha desta última é idêntica ao do padrão Fiber Channel.

As duas interfaces descritas acima são classificadas como interfaces de usuário privado-rede, pois foram criadas primariamente para interconexão de redes corporativas à rede ATM. Há também várias interfaces de usuário público-rede, destinadas à conexão de redes ATM e a infraestrutura pública de telefonia, que são definidas nas taxas dos padrões PDH e SONET/SDH.

A disseminação das redes ATM está sendo mais lenta do que o esperado inicialmente devido principalmente à concorrência dos outros padrões. Em termos de redes de longa distância, o padrão IP (*Internet Protocol*), visto a seguir é suficiente para grande maioria das aplicações, além de estar evoluindo para prover a mesma funcionalidade que o ATM. No

ambiente das redes locais, a concorrência vem da evolução de padrões já estabelecidos, como as versões a 100 Mb/s e 1 Gb/s da Ethernet.

3.10.3. IP (*Internet protocol*).

Trata-se do padrão mais utilizado em redes de longa distância na atualidade. Na arquitetura clássica de camadas OSI (*Open Systems Interconnection*) da ISSO (*International Standardization Organization*), corresponde à camada de rede, e foi projetada para operar sobre uma grande variedade de camadas inferiores, as chamadas camadas de enlace de dados, daí sua grande popularidade. Algumas das camadas de dados sobre as quais o IP opera correspondem aos padrões de redes locais mais populares, tais como redes Ethernet e Token Ring. O IP também pode operar sobre redes metropolitanas, tais como FDDI ou utilizar protocolos bem conhecidos da camada de enlace de dados, tais como o HDLC (*High-Speed Data Link Control*) quando estiver operando sobre largura de banda alugada de operadoras públicas.

Quando comparado ao ATM, o IP tradicional provê apenas um serviço de datagrama simples, com pacotes de tamanho variável. Não há noção de conexão nem garantias de qualidade de serviço, pois foi desenvolvido sem a intenção de transportar tráfego de voz.

Um dos mais conhecidos protocolos da camada de transporte que atua diretamente sobre o IP é o TCP (*Transmission Control Protocol*). Por esta razão, tais redes são conhecidas comumente por redes TCP/IP.

Com o crescimento explosivo da Internet, tanto os usuários quanto os operadores das redes têm sido a necessidade de algumas garantias de qualidade de serviço, o que gerou um grande esforço entre os desenvolvedores do padrão IP no sentido de acrescentar essas garantias. Um exemplo destes esforços é o protocolo RSVP (*Resource Reservation Protocol*). Outra alternativa é simplesmente manter o protocolo existente e aumentar a largura de banda disponível e a velocidade dos roteadores, de modo a garantir a taxa de transmissão do usuário.

O tráfego das redes ópticas de primeira geração muitas vezes é carregado por redes de segunda e terceira gerações, que serão estudadas a seguir. Como cada um destes tráfegos possui padrões, taxas de transmissão e protocolos distintos, fica evidente a necessidade de transparência das redes de gerações superiores tendo em vista o transporte de várias destes tráfegos simultaneamente.

3.11. ARQUITETURAS EM CAMADAS

Um componente de rede é chamado de NE (*Network Element*). Por exemplo, nó, amplificadores, regeneradores todos são elementos de rede Figura 3-14

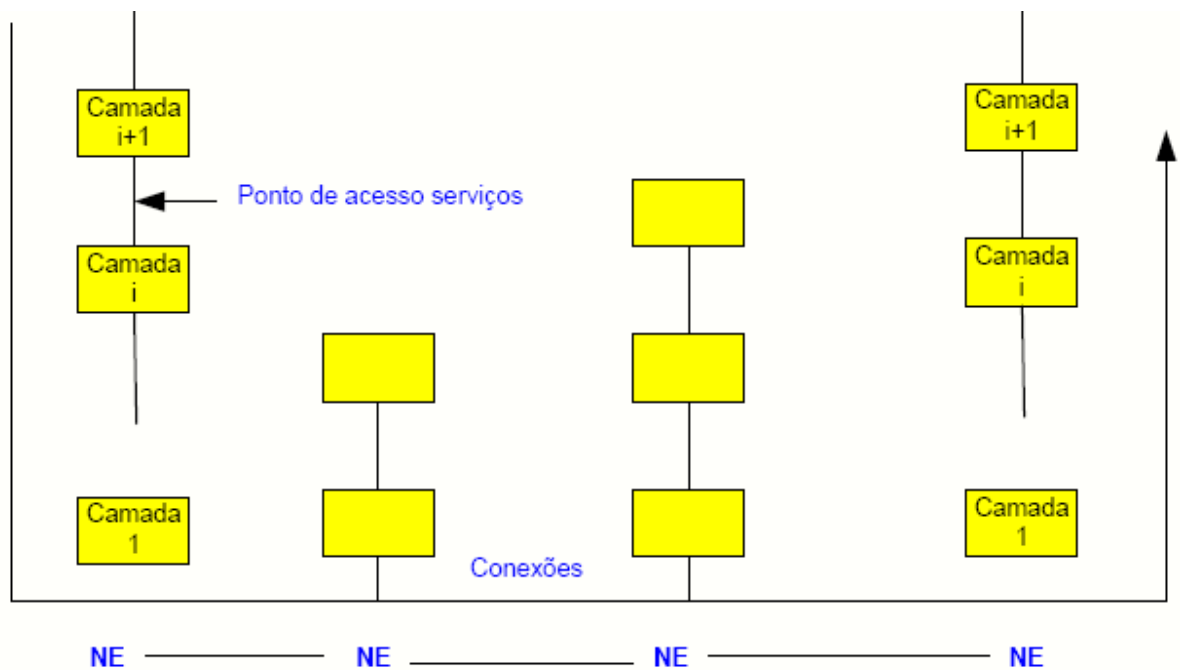


Figura 3-14 - Arquiteturas em Camadas

Cada camada possui funções e fornece serviços a camada mais alta. Os serviços entre as camadas são chamados de SAP (*Service Access Point*) e existe vários SAP's entre camadas que correspondes diferentes tipos de serviços.

4 SEGUNDA GERAÇÃO REDES ÓPTICAS

As redes ópticas classificadas como sendo de segunda geração não possuem capacidade de roteamento da luz de acordo com o seu comprimento de onda. Logo, para o estabelecimento da conectividade óptica entre os nós, essas redes devem se utilizar de topologias físicas que favoreçam a disseminação dos sinais ópticos em todos os comprimentos de onda para todos os nós.

Dentre as diversas topologias físicas disponíveis para as redes ópticas, as mais adequadas para executar essas funções são o barramento e a estrela, Figura 4-1, onde: (a) Topologia física da rede, com os caminhos ópticos estabelecidos mostrados e (b) Topologia virtual, aquela vista pela camada cliente da camada fotônica.

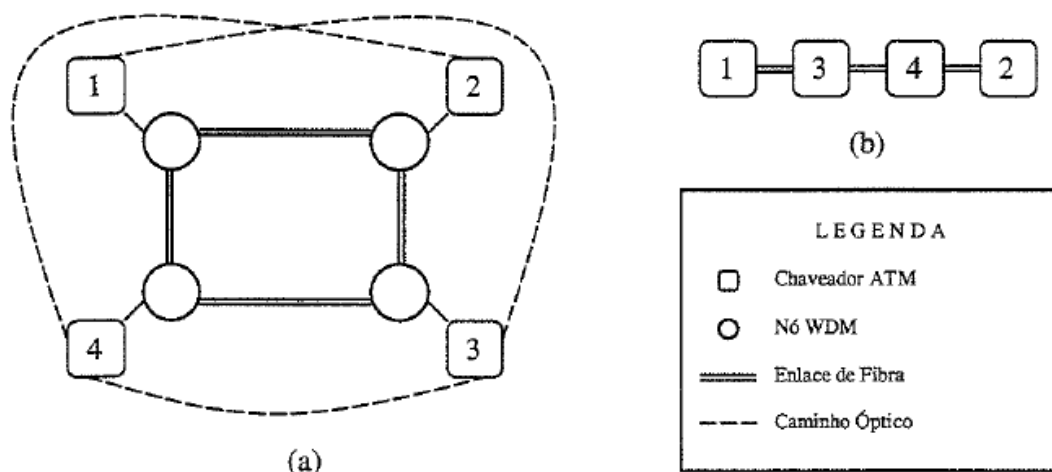


Figura 4-1 - Diversas topologias físicas.

Neste ponto, cabe diferenciar a topologia física da topologia de caminhos físicos, também conhecida como topologia virtual. A primeira refere-se à presença de componentes tais como fibras ópticas e acopladores interligando os nós da rede. Já a segunda pode ser representada por um grafo que descreve a trajetória da informação por todos os nós intermediários entre o nó origem e o nó destino, para cada par origem-destino.

A topologia virtual pode ser entendida como a configuração de rede vista pela camada cliente da fotônica. A configuração física em anel, para este arranjo de caminhos ópticos, é vista como uma topologia unifilar pela camada cliente, que pode ser uma rede ATM, IP, etc.

Pode-se falar ainda em topologia lógica, que é aquela que descreve a cada instante as conexões ativas na rede.

Como nas redes de segunda geração os comprimentos de onda são transmitidos para todos os nós, a detecção de um sinal em dado nó deve empregar um dispositivo que extraia um comprimento de onda (também referido como “canal WDM”) aos mesmo tempo em que rejeita os canais vizinhos. Hoje em dia esse processo é executado por intermédio de filtros ópticos com alta seletividade. Essa filtragem possui a vantagem de rejeitar a ASE (*Amplified Spontaneous Emission*) fora da faixa do canal desejado em redes que se utilizam de amplificadores ópticos.[Murthy-2002, Pendarakis-2000]

Sumariza-se a seguir as principais características das redes ópticas de segunda geração.

- a) Disseminação (“broadcast”) da luz por todos os nós da rede, mediante o uso de topologias físicas que facilitem tal tarefa.
- b) Seleção do canal desejado na recepção, por intermédio da filtragem óptica.
- c) Pode-se ainda utilizar transmissores e/ou receptores sintonizáveis, o que acarreta a possibilidade de rearranjo da topologia de caminhos físicos. Se essa sintonizabilidade for suficientemente rápida, o que está fora dos padrões tecnológicos atuais, torna-se possível a comutação pacote por pacote.

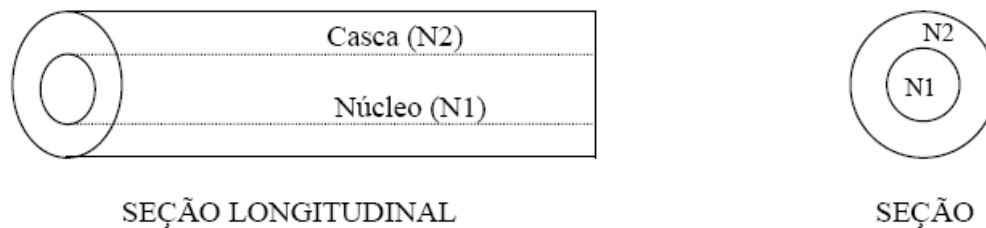
5 COMPONENTES DE UMA FIBRA ÓPTICAS

Neste capítulo descrevemos sucintamente os principais conceitos relativos à uma fibra óptica.

5.1 ESTRUTURA DAS FIBRAS ÓPTICAS

As Fibras Óticas são compostas basicamente de material dielétrico, vidro ou plástico. Têm uma forma cilíndrica e alongada, transparente e flexível, cujas dimensões se aproximam a um fio de cabelo.

A região central denomina-se núcleo e a região que envolve o núcleo chama-se casca. Veja o exemplo abaixo (Figura 5-1):



N1 → Índice de Refração do meio 1 (núcleo)
N2 → Índice de Refração do meio 2 (casca)
N1 > N2 Sempre

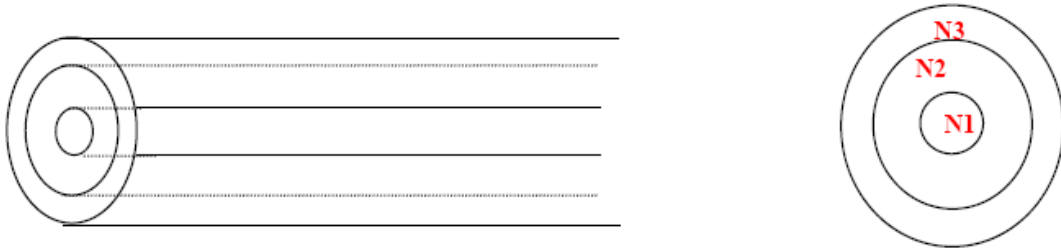
Figura 5-1 - Estruturas das Fibras Ópticas

A casca e o núcleo têm densidades diferentes. Essas densidades características são denominadas de Índice de Refração. Essa diferença é necessária para satisfazer a condição de confinamento e propagação da luz, usando-se materiais dielétricos diferentes. O Índice de Refração do Núcleo é sempre maior que o da casca, para que haja o confinamento da luz

As fibras aqui abordadas são constituídas de Sílica (SIO₂).

O núcleo tem a função de propagar a luz e a casca, confina a luz no interior do núcleo.

A fibra ótica pode ter casca simples ou dupla, sendo esta a melhor, já que tem maior confinamento e menor perda (Figura 5-2).



- N1 → Índice de Refração do Núcleo
- N2 → Índice de Refração da Casca Interna
- N3 → Índice de Refração da Casca Externa

Figura 5-2 - A casca e o núcleo

As fibras são bastante resistentes se comparadas com o fio metálico de mesma espessura, por serem protegidas por encapsulamentos ou revestimento contra choques mecânicos ou perturbações ambientais. O encapsulamento de várias fibras na mesma estrutura dá origem ao CABO ÓTICO.[Conterato-1998]

5.2 PRINCÍPIO DE PROPAGAÇÃO

A propagação da luz tem comportamento bastante diverso, quando passa de um meio para outro com densidade diferente. Em um determinado meio, a luz pode refletir totalmente, parcialmente ou simplesmente não refletir.

Para haver reflexão total, o raio de luz deve ir do meio mais denso para o menos denso. Os raios de luz que incidem na fibra ótica ficam confinados no núcleo (devido a sua densidade) e sofrem sucessivas reflexões na interface núcleo/casca. Entretanto os raios que são refratados para a casca são absorvidos por ela. A reflexão ou refração depende do ângulo de incidência do raio (Figura 5-3).

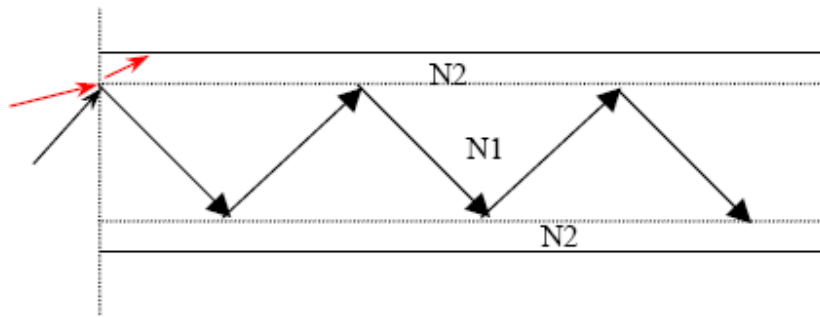


Figura 5-3 - A propagação da luz

5.3 TIPOS DAS FIBRAS ÓTICAS

As fibras óticas são classificadas a partir de suas características básicas de transmissão que dependem do índice de refração. Essas características implicam principalmente na capacidade de transmissão (largura de banda) e nas facilidades operacionais relativas a conexões e acoplamentos com fontes e detetores de luz, que levará à seguinte classificação:

5.3.1 Fibra multimodo índice degrau (id)

Simplicidade quanto à fabricação; simplicidade operacional; dimensões relativamente grandes; transmite vários feixes de luz; capacidade de transmissão baixa.

5.3.2 Fibra multimodo índice gradual (ig)

Complexidade média quanto à fabricação; simplicidade operacional; dimensões moderadas (menores que a ID); transmite vários feixes de luz; capacidade de transmissão média.

5.3.3 Fibra monomodo

Complexidade quanto à fabricação; complexidade operacional (técnicas de grande precisão para acoplamento a fontes e detetores); capacidade de transmissão extremamente superior às fibras multimodo, pois só transmite um feixe de luz.

5.4 CARACTERÍSTICAS DAS FIBRAS ÓTICAS

5.4.1 Suporte de transmissão

Pode ser composto de uma fibra ou um feixe delas que implicará na capacidade de captação de potência de luz, flexibilidade, facilidades de acoplamento, perdas de propagação.

5.4.2 Composição da fibra

Fibras com núcleo/casca tipo sílica-sílica, sílica-plástico ou plástico-plástico, têm propriedades distintas quanto operacionalidade, propagação, transmissão, tolerância à temperatura.

5.4.3 Geometria ou sensibilidade à polarização

As fibras monomodos podem ter também núcleo de seção elíptica, além de circular. Isso implica na filtragem e manutenção da polarização.

5.5 CARACTERÍSTICAS DE TRANSMISSÃO

5.5.1 Janela de transmissão ou operação

Janela de transmissão é o comprimento de onda para o qual a fibra foi construída para transmitir sinal luminoso. Janela de operação é o comprimento de onda de operação da fibra.[Govidin P.Agrawal-202, IEEE]

5.5.2 Abertura numérica (an)

Define a capacidade de uma fibra absorver a luz. Quanto maior a abertura numérica, maior sua capacidade de absorver energia luminosa. Essa abertura é definida a partir de um conceito chamado de cone de aceitação ou ângulo de aceitação (Figura 5-4).

Pode-se observar que todo raio incidente na fibra dentro do ângulo de aceitação será refletido ao longo da fibra, entretanto os raios com ângulo de incidência maior que o ângulo de aceitação não serão refletidos totalmente. A abertura numérica depende diretamente das dimensões do núcleo e do material da fibra. Quanto menor a abertura, maior será a taxa de transmissão, como na fibra monomodo. Já na fibra multimodo ID a abertura é maior, evidenciando sua baixa taxa de transmissão.

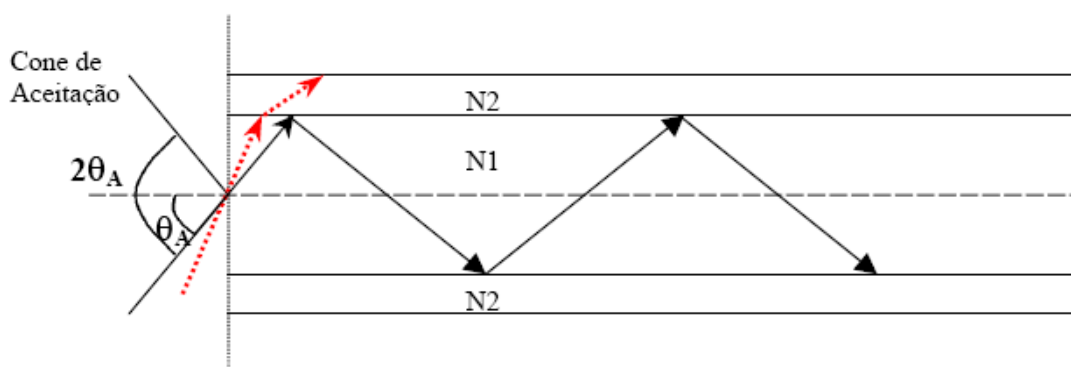


Figura 5-4 - Ângulo de Aceitação

5.5.3 Modos de propagação

É a forma com que o sinal de luz se propaga na fibra ótica. Tipos: Transversal eletromagnético (TEM), Transversal elétrico (TE), Transversal magnético (TM) e Híbrido (HE).

5.6 ATENUAÇÃO

Perda da potência de sinal luminoso ao longo da fibra ótica. É medida em dB/Km. Isso se dá devido à limitação da distância entre a origem e o fim da transmissão. Os mecanismos pelos quais ocorrem a atenuação são os seguintes:

5.6.1 Absorção

Parte da energia luminosa é absorvida pelo material devido a vários fatores como: presença de átomos, contaminação no processo de fabricação, presença de moléculas de água dissolvidas no vidro, variação na densidade do material.

5.6.2 Espalhamento

Contribui para as perdas de transmissão, pois dispersa o fluxo dos raios. O que contribui para isso é a densidade do material da fibra, a estrutura da fibra, dentre outros.

5.6.3 Curvaturas

As fibras estão sujeitas as perdas quando submetidas a curvaturas. Existem as macrocurvaturas (cujos raios de curvaturas são grandes, como quando um cabo ótico dobra uma esquina) e microcurvaturas (aquelas de caráter microscópico, cujos raios de curvaturas são próximos do raio do núcleo da fibra).

5.6.4 Projetos de guias de onda

Parte da energia luminosa é absorvida pela casca.

5.7 DISPERSÃO

Alargamento do sinal ótico ao longo do percurso da fibra, influenciando diretamente na capacidade de transmissão, distorcendo os sinais transmitidos, impondo portanto uma

limitação na sua capacidade de transmissão. Os mecanismos pelos quais ocorrem a dispersão são os seguintes:[ABNT NBR 13488]

5.7.1 Dispersão modal

Afeta a transmissão nas fibras multimodo e resulta do fato de cada modo de propagação, para um mesmo comprimento de onda, ter uma diferente velocidade de propagação.

5.7.2 Dispersão material

Essa dispersão corresponde à dispersão cromática que resulta da dependência da velocidade de propagação de grupo de um modo individual com relação ao comprimento da onda.

5.7.3 Dispersão da guia de onda

Também se baseia na dispersão cromática.

De um modo geral, pode-se dizer que a dispersão modal afeta a capacidade de transmissão das fibras multimodos ID e a dispersão cromática afeta as fibras monomodos e fibras multimodo IG.

5.8 PROPRIEDADES DAS FIBRAS ÓTICAS

5.8.1 Imunidade a interferências

Por serem compostas de material dielétrico, as fibras óticas não sofrem interferências eletromagnéticas. Isso permite uma boa utilização dela, mesmo em ambientes eletricamente ruidosos. As fibras óticas podem ser agrupadas em cabos óticos sem

interferirem umas nas outras, devido a não existir irradiação externa de luz, resultando num ruído de diafonia (*crosstalk*) desprezível. Por não necessitarem de blindagem metálica, podem ser instaladas junto a linhas de transmissão de energia elétrica.

5.8.2 Pequena atenuação

As fibras óticas apresentam perdas muito baixas. Deste modo, é possível implantar sistemas de transmissão de longa distância com espaçamento muito grande entre repetidores, o que reduz a complexidade o custo do sistema. Veja a comparação da atenuação entre Par Trançado, Coaxial e Fibra Ótica (Multimodo IG) (Figura 5-5).

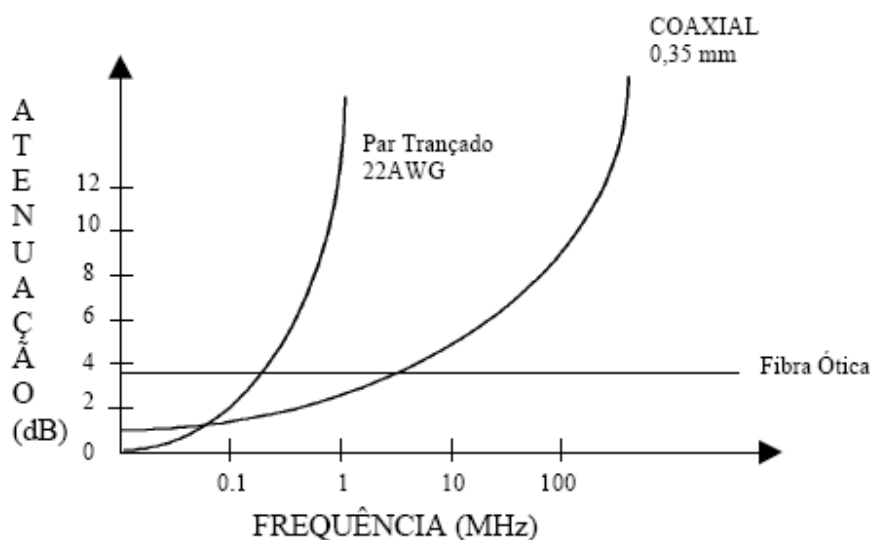


Figura 5-5 - Comparação da atenuação entre Par Trançado, Coaxial e Fibra Ótica

5.8.3 Grande capacidade de transmissão

Os sistemas de comunicações por fibras óticas tem uma capacidade de transmissão muito superior a dos sistemas em cabos metálicos.

Devido à baixa atenuação, podem transmitir sinais a distâncias muito grandes.

Com a tecnologia de amplificadores ópticos, é possível uma transmissão interurbana com até centenas de quilômetros de distância sem estações intermediárias, aumentando a confiabilidade do sistema, diminuindo o investimento inicial e as despesas de manutenção.

5.8.4 Ausência de diafonia

As fibras adjacentes em um cabo ótico não interferem umas nas outras por não irradiarem luz externamente. Não ocorrendo o mesmo nos cabos metálicos, que quando perdem parte de seu isolamento, ocorre uma irradiação entre pares metálicos adjacentes, ocasionando o fenômeno crosstalk.

5.8.5 Isolação elétrica

O material dielétrico que compõe a fibra proporciona um isolamento elétrico entre os transceptores ou estações interligadas. Ao contrário dos suportes metálicos, as fibras óticas não têm problemas de aterramento com interfaces dos transceptores. Além disso, quando um cabo de fibra é danificado por descarga elétrica, não existem faíscas. Isso é importante em áreas de gases voláteis (áreas petroquímicas, minas de carvão, etc) onde o risco de fogo e explosão é constante. A não existência de choque elétrico permite a reparação em campo, mesmo com os equipamentos ligados.

5.8.6 Pequeno tamanho e peso

As fibras óticas têm dimensões comparáveis às de um fio de cabelo. Mesmo sendo encapsuladas, o diâmetro e o peso dos cabos óticos são bastante inferiores aos dos cabos metálicos. Um cabo ótico tem o diâmetro externo de 17 mm e o cabo metálico, 75 mm.

5.8.7 Sigilo para comunicação

As fibras óticas não irradiam a luz propagada, implicando num alto grau de segurança para informações transportadas. Qualquer tentativa de captação de mensagem ao longo do cabo, logo é descoberta, pois exige o desvio de uma parte considerável da potência luminosa transmitida, paralisando o sistema de comunicação. Esta qualidade é muito importante em sistemas de comunicação exigentes em privacidade como bancos, instituições militares, etc.

5.9 FONTES DE LUZ

Vários fatores importantes entram na seleção de uma fonte de luz para um sistema de fibras óticas. A luz precisa estar em um comprimento de onda transmitido eficazmente pela fibra, normalmente 850, 1310 ou 1550 nm, nas fibras de sílica. A faixa de comprimento de onda é também importante porque quanto maior a faixa, maior o potencial para problemas de dispersão.

As principais fontes de luz usadas em sistemas de fibras óticas são dispositivos semicondutores – diodos emissores de luz (LED's) e LASER's semicondutores.

5.9.1 Fonte tipo led

Os LED's que emitem luz invisível próxima do infravermelho são fontes de luz comuns para sistemas de fibras óticas curtos.

O comprimento de onda emitido depende dos níveis de energia internos do semicondutor. Em um semicondutor puro de baixa temperatura, todos os elétrons ficam reunidos dentro da estrutura cristalina. Conforme a temperatura aumenta, alguns elétrons nessa banda de valência pulam para um nível de condução de energia mais alto, onde eles ficam livres para se mover pelo cristal.

Os LED's normais usados em sistemas de fibras óticas são feitos normalmente de Arsenieto de Gálio ou Alumínio. Os LED's de Arsenieto de Gálio emitem luz próxima de 930 nm. A adição de alumínio aumenta o limiar de corrente para melhorar a vida útil e

também para aumentar o intervalo de energia e deslocar o comprimento de onda para emissões mais curtas de 750 nm a 900 nm. Os comprimentos de onda normais para aplicação em fibras óticas são 820 nm ou 850 nm. Em temperatura ambiente a banda passante ou largura espectral para LED's em 820 nm é de 40 nm.

Entretanto o composto mais importante para a construção de LED's para fibras óticas é o InGaAsP, feito de Índio, Gálio, Arsênico e Fósforo misturados de modo que o número de átomos de Índio mais os de Gálio se igualem ao número de átomos de Arsênico mais os de Fósforo.

5.9.2 Fonte tipo laser

Os LASER's semicondutores produzem luz que resulta em potência de saída maior e feixes mais direcionais.

A luz é emitida quando um elétron cai de um nível mais alto para um mais baixo, liberando energia extra. Normalmente isso emite luz sem influência externa, o que é denominada de emissão espontânea, como é o caso dos LED's, mas isso não acontece no primeiro instante em que pode. Leva-se um certo tempo para ocorrer a emissão espontânea.

5.9.3 Condições do laser

Algumas condições são necessárias para emissão tipo LASER. Uma exigência é que existam mais elétrons no nível de energia superior do que no inferior, pois assim o que estiver no nível mais baixo pode absorver a luz emitida. Porém se só essa exigência for atendida, a emissão estimulada irá em qualquer direção, como se fosse uma lâmpada.

5.9.4 Feixe do laser

O feixe do LASER é formado por um ressonador, que confina a luz e a faz passar repetidas vezes através da mídia excitada.

A luz emitida diretamente em direção a um espelho será refletida de volta, estimulando os elétrons prontos para se recombinarem conforme a luz passa através do plano da junção. A luz emitida em outras direções escapa, portanto somente a luz viajando de um lado para outro ao longo do ressonador na faixa estreita da região ativa será amplificada e acumulada em um feixe.

5.9.5 Aspectos funcionais

Os LASER's convertem potência elétrica de entrada em luz mais eficientemente que os LED's, e também têm correntes de excitação maiores, portanto os LASER's são mais potentes que os LED's. A concentração da emissão estimulada leva a um feixe mais estreito do que o de um LED.

As correntes mais altas de excitação e níveis maiores de potência fazem com que a vida útil dos LASER's seja mais curta que a dos LED's.

5.9.6 Aspectos estruturais

Os LASER's semicondutores têm estruturas mais complexas que os LED's. Os primeiros LASER's construídos, na década de 60, exigiam resfriamento por Hidrogênio líquido e eram muito limitados em sua vida útil. Logo foram desenvolvidos métodos para concentrar correntes de excitação e geração de luz para um funcionamento mais eficiente.

Aperfeiçoamentos posteriores confinaram a luz horizontalmente bem como verticalmente, concentrando a corrente de excitação e a potência ótica em uma faixa estreita ao longo do comprimento do chip.

Os LASER's mais avançados têm faixas ativas de apenas alguns micrômetros de largura e uma fração de micrômetros de altura.

5.9.7 Características dos led e laser

. LED

- . Fácil construção
- . Vida útil longa
- . Alta confiabilidade
- . Tem espectro largo (muitos comprimentos de onda)
- . Gera luz difusa (espalhada em muitas direções) de baixa potência
- . Baixa eficiência de acoplamento
- . Limitação na velocidade de modulação

. LASER

- . Construção mais complexa
- . Vida útil menor que os LED
- . Alta confiabilidade
- . Espectro de luz estreito
- . Gera luz concentrada de potência média – LASER tipo Fabry-perot
- . Gera luz concentrada de potência alta – LASER tipo DFB
- . Alta eficiência de acoplamento
- . Permite altíssima velocidade de modulação

5.10 COMPRIMENTO DE ONDA OPERACIONAL

O comprimento de onda de origem afeta tanto a atenuação como a dispersão do pulso que o sinal experimenta na fibra. As janelas usuais de transmissão para as telecomunicações são 850, 1310 e 1550 nm.

A largura espectral ou faixa de comprimentos de onda emitidos, também afeta a dispersão do pulso, que aumenta com a faixa de comprimento de onda.

O comprimento de onda emitido depende do material semicondutor do qual a fonte de luz é feita. A largura espectral depende da estrutura do dispositivo.

Um LASER e um LED feitos do mesmo material podem ter o mesmo comprimento de onda central, porém a largura espectral do LED é muito mais ampla.

Dois LASER's feitos de materiais diferentes têm comprimento de onda diferentes, mas largura espectral comparáveis.

5.11 POTÊNCIA E ACOPLAMENTO DE LUZ

Para alguns tipos de LASER's a potência de fontes óticas para comunicações podem variar desde dezenas de microwatts para até valores acima de 100 miliwatts. Essa potência depende do ângulo sobre o qual a luz é emitida, o tamanho da área de emissão de luz, o alinhamento entre fonte e a fibra e as características de coleta de luz da fibra (Figura 5-6).

A intensidade da luz decresce com a distância do centro.

LASER's semicondutores típicos emitem luz que se espalha por um ângulo entre 10 e 20 graus, entretanto a luz de um LED se espalha muito mais.

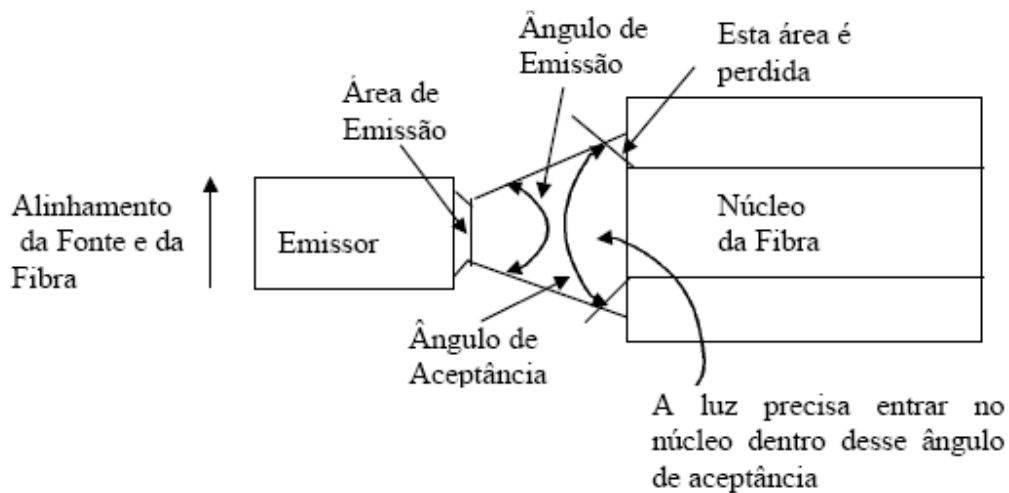


Figura 5-6 - 5.12 Potência e Acoplamento de Luz

5.12 MODULAÇÃO

Ocorre quando a potência de saída dos LASER's e LED's semicondutores varia diretamente com a corrente de entrada.

Diversas variáveis são importantes em modulação. Uma delas é a velocidade. Os LASER's são mais rápidos que os LED's.

5.13 DETETORES DE LUZ

Os detetores usados em comunicações de fibras óticas são fotodiodos ou fotodetetores semicondutores, que levam seus nomes a partir de sua habilidade em detectar luz.

Os detetores semicondutores mais simples são as células solares, onde a energia luminosa incidente leva os elétrons da banda de valência para a banda de condução, gerando uma tensão.

Vários tipos de detetores podem ser usados em sistemas de fibras óticas.

Os fotodetektoret podem ser feitos de silício, arsenieto de gálio, germânio, fosfeto de índio, ou outros semicondutores. Sua resposta de comprimento de onda depende de sua composição.

Outros efeitos como a absorção em outras partes do dispositivo fazem com que a resposta caia mais gradualmente em comprimentos de onda mais curtos. As faixas operacionais aproximadas dos materiais detektoret mas importantes são:

Silício: 400 a 1000 nm

Germânio: 600 a 1600 nm

GaAs: 800 a 1000 nm

InGaAs: 1000 a 1700 nm

InGaAsP: 1100 a 1600 nm

5.13.1 Velocidade e banda passante

Os detektoret levam tempos finitos para responder a mudanças de entrada. Ou seja, existe um atraso (dependendo do material e do projeto do dispositivo) entre a entrada de um sinal ótico em um detektor e sua produção de corrente na sua saída.

Existem mais dois limites, referente a velocidade, que afetam os sistemas óticos mais diretamente: o tempo que o sinal elétrico de saída leva para subir do nível baixo para o alto (tempo de subida) e o tempo de queda correspondente.

O tempo de subida é definido como o tempo em que o sinal de saída leva para subir de 10% a 90% do nível final depois da entrada ter sido estimulada.

O tempo de queda é o inverso: quanto tempo a saída leva de 90% a 10% para cair, depois da entrada ter sido desligada.

Apesar do atraso interno não afetar diretamente a banda passante, ou taxa de bit, os tempos de subida e descida afetam.

5.13.2 Fototransistores

É o detector mais simples. Pode-se imaginá-lo como um transistor no qual a luz gera a corrente de base.

A maioria dos fototransistores comerciais é feita de silício. Sua utilização mais comum é em sensores baratos, porém também podem ser utilizados em dispositivos para sistemas de fibra ótica de baixo custo e baixa velocidade.

5.14 CONECTORES ÓTICOS

Os conectores, são dispositivos passivos que permitem realizar junções temporárias ponto a ponto entre duas fibras ou nas extremidades dos sistemas, juntando-se opticamente a fibra ao dispositivo fotoemissor ou fotodetector. A qualidade de conexão é garantida pela precisão com que as peças mecânicas que constituem o conector óptico conseguem posicionar as extremidades das fibras com relação ao corpo exterior do conector. Os conectores são instalados nas extremidades dos cabos ópticos ou num dispositivo de suporte junto ao transmissor ou ao receptor óptico.

O uso de conectores em junção fibra-fibra oferece vantagens operacionais com relação as outras técnicas de conexão ponto a ponto como a conexão por emenda, pois neste caso manuseio é facilitado por dispensar equipamento sofisticado na execução da tarefa ou mesmo o conhecimento técnico particular.

5.14.1 Dispositivos ópticos

São dispositivos passivos, que fazem a conexão de uma fibra óptica ao equipamento fototransmissor ou fotodetector por exemplo:

- . Interfaces com redes (Lan's, Man's, Wan's).
- . Conexão de enlaces ponto a ponto ou multiponto.
- . Painéis (Rack's) para roteamento de cabos.

De modo geral são aplicáveis a conexões de caráter temporário, onde a fusão (que tem caráter permanente) não adequadamente pela exigência de conexão e desconexão.

5.14.2 Características básicas:

- . Perda de inserção e reflexão baixas.
- . Estabilidade de características em relação aos ciclos de conexão e desconexão.
- . Construção e montagem bastante simples.
- . Alta tolerância a fatores ambientais (temperatura, umidade, poeira, choques mecânicos).
- . Crosstalk muito baixo para conectores multifibras.
- . Alta durabilidade a repetição de ciclos.
- . Padronização entre os fabricantes.
- . Baixos custos.

5.14.3 Atenuação dos conectores:

. Fatores Intrínsecos:

- . Perdas por diferença de geometria do núcleo. Qualquer diferença na geometria (diâmetro, elipticidade, concentricidade núcleo/casca, etc.) dos núcleos das fibras implicam no descasamento das áreas de emissão e recepção da luz transmitida, o que resulta sempre em perdas. As variações na concentricidade do núcleo com relação à casca ou ainda a elipticidade do núcleo, também ocasionam um descasamento das áreas de emissão e recepção, conseqüentemente gerando perdas. É importante observar que a casca da fibra, constitui-se numa dimensão crítica no alinhamento mecânico das fibras fazendo com que diferentes diâmetros de casca impliquem em diferentes modelos de conectores.

Diferença de abertura numérica (AN)

A transmissão de luz de uma junção de uma fibra multimodo ID com NA superior para outra com perfil também ID dimensões idênticas, mas com AN inferior resulta também em perdas. Essa diferença de AN, é resultado dos diferentes índices de refração dos núcleos e cascas nas duas fibras. Nas fibras monomodo essas perdas advém do descasamento do raio modal (W_o).

Fatores Extrínsecos

Perdas por retorno ou reflexão

Além das perdas por inserção, um outro parâmetro de projeto é bastante importante no caso de sistemas monomodo a LASER, que é a perda por retorno ou reflexão, causada por reflexão de Fresnel nas junções. Conectores ópticos cujas extremidades não se tocam com polimento plano exibem perdas da ordem de -25dB enquanto os de contato físico ou polimentos angulares exibem perdas inferiores a -50dB .

Qualidade da Superfície

As superfícies das extremidades das fibras, que não estejam adequadamente planas e perpendiculares ao eixo, podem implicar em importantes perdas de conexões. Os mecanismos para evitar esse tipo de perda são: polimento adequado e fratura controlada.

5.15 EMENDAS

Uma emenda constitui basicamente em uma junção permanente ou semi-permanente entre dois seguimentos de fibras óticas. Ao contrário dos conectores ópticos, as emendas costumam ser usadas principalmente em sistemas de longa distância e alta capacidade em razão de suas perdas mais baixas, tipicamente inferiores a $0,02\text{ dB}$. Além disso, a técnica da junção por emendas oferece vantagens em termos de uma melhor estabilidade mecânica e de facilidades de junções em campo. No caso de cabos ópticos instalados em dutos subterrâneos, as emendas são realizadas e instaladas em armários, gabinetes ou caixas de emenda ao longo da rede física.

Os cabos aéreos, por sua vez, costumam ser emendados no campo com espaçamento da ordem de 1 a 2Km. As emendas podem ser realizadas de duas formas:

- . Emendas por fusão.
- . Emenda mecânica.

As perdas introduzidas pelas emendas constituem-se num importante fator a ser considerado no projeto de sistemas ópticos, principalmente nos sistemas caracterizados por enlaces longos, pois poderão representar uma parte significativa no balanço total das perdas. Todavia os métodos utilizados atualmente permitem obter níveis de perdas muito baixas, inferiores aos apresentados por conectores ópticos.

5.15.1 Atenuação nas emendas

- . Fatores Intrínsecos

Pode-se dizer que os fatores intrínsecos são quase os mesmos relacionados a conectores, ou seja:

- . Variação do diâmetro do núcleo da casca.
- . Diferença de perfil de índices.
- . Elipticidade e excentricidade do núcleo, etc.

Para as fibras Monomodo, a contribuição mais importante provém do descasamento dos raios modais e do desalinhamento lateral dos núcleos.

- . Fatores Extrínsecos

As perdas de inserção extrínsecas, decorrem da natureza da própria emenda, que inclui:

- . Precisão do alinhamento das extremidades da fibra.
- . Qualidade das terminações da fibra.
- . Espaçamento entre as terminações
- . Desalinhamento angular das fibras conectadas.
- . Imperfeições no guia de onda de junção.
- . Contaminação ambiental.

5.15.2 Fatores reflexivos

As junções com emendas também podem causar efeitos reflexivos, implicando em perdas da potência transmitida. Atualmente essas perdas são inferiores a – 50dB e a atenuação física para emendas por fusão chega a valores inferiores a 0,01dB.

5.16 ACOPLADORES

Um acoplador conecta três ou mais extremidades de fibra (Dispositivos Ópticos como Transmissores-Receptores). Como tais são distintos dos conectores e emendas, que juntam duas extremidades de fibras, ou uma fibra a um emissor de luz, ou uma fibra a um detetor de luz. A distinção é muito mais importante em fibras óticas do que na eletrônica, devido à maneira como os sinais viajam nas fibras. Os bons acopladores de fibras, são difíceis de serem construídos, e mesmo os bons, sofrem perdas mais altas que seus similares eletrônicos. Os acopladores são necessários pelo fato de determinadas aplicações não poderem ser atendidas por emendas ou conectores, principalmente no caso de conexões de três ou mais dispositivos.

Devido ao sinal óptico ser diferente do sinal elétrico, são transmitidos e acoplados de forma diferente. Um sinal óptico não é um potencial como uma tensão elétrica, mas um fluxo de portadores de sinal (fótons), similares em algumas maneiras ao fluxo de corrente elétrica. Entretanto, ao contrário de uma corrente, um sinal óptico não flui através de um

receptor no seu caminho para a terra. Ele irá para a terra absorvido por um detetor. Isso significa que receptores de fibras óticas não podem ser colocados em série, pois o primeiro absorveria todo o sinal.

Se um sinal óptico deve ser dividido entre duas ou mais portas de saída, as portas precisam estar em paralelo. Entretanto como o sinal não é um potencial, o sinal todo não pode ser entregue a todas as portas. Em vez disso, ele precisa ser dividido entre elas de alguma maneira, reduzindo sua magnitude. Isso limita o número de terminais que podem ser conectados a um acoplador de fibras óticas passivo que meramente divide o sinal de entrada. Depois de algum número máximo de portas de saída ser excedido, não há sinal suficiente para ser detectado confiavelmente com uma taxa de erro de bit suficientemente baixa ou uma relação sinal/ruído alta o suficiente para uma aplicação.

Essa divisão de potência tipicamente limita um transmissor a enviar sinais para dezenas de receptores apesar de amplificadores e receptores poderem aumentar esse número. Para complicar ainda mais as coisas, os acopladores não são fáceis de se construir e normalmente sofrem de perdas acima do valor mais baixo teórico da simples divisão de potência.

5.16.1 Aplicações dos acopladores

Os acopladores não eram necessários nos primeiros sistemas de fibras óticas que transportavam sinais entre dois pontos, ou pares de pontos. Porém muitas aplicações requerem conexões de muitos terminais, como uma rede de área local. Em cada ponto onde um dispositivo é conectado a rede, o sinal precisa ser dividido em duas partes, uma para ser passada ao longo da rede e outra enviada ao dispositivo. Isso pode ser feito de várias maneiras:

- . Uma das mais simples é dividir o sinal óptico em cada conexão com parte de luz indo para o dispositivo e o resto indo em torno da rede. Isso mostra ser bem

ineficiente provocando assim uma grande perda de potência devido ao acúmulo de atenuação.

Uma outra maneira é enviar o sinal a um único acoplador de múltiplas saídas localizado centralmente, que distribui saída para todos os terminais. Os detalhes diferem, mas a necessidade de acopladores aparece em qualquer momento em que os sinais ópticos são divididos e enviados para dois ou mais lugares. A única maneira de evitar a necessidade de acopladores é converter o sinal óptico em sinal elétrico e usá-los para acionar múltiplos transmissores, o que é feito em algumas redes.

Os acopladores são também necessários para separar ou combinar sinais normalmente em comprimento de onda diferentes, sendo enviados através da mesma fibra.

5.16.2 Características básicas dos acopladores

A maioria dos acopladores é composta por dispositivos ópticos passivos que dividem os sinais entre duas ou mais portas de saída. O fato fundamental da vida dos acopladores passivos, é que a potência de saída total não pode ser maior que a potência de entrada. A partir do ponto de vista de cada dispositivo de saída, o acoplador tem uma perda característica igual a razão entre a saída do dispositivo e a potência total de entrada. A divisão por igual de um sinal de entrada entre duas portas de saída causa uma perda de 3 dB. Qualquer perda adiciona acima desse mínimo teórico é chamada de perda adicional.

De modo geral um acoplador com uma entrada e muitas saídas, a saída total somada de todas as portas de saídas, se iguala a potência de entrada menos a perda adicional. Em geral a potência não precisa ser dividida por igual entre as portas de saída. Um acoplador de duas pode ser projetado para 10% de luz emergir em uma porta e 90% na outra.

5.16.3 Tipos de acopladores

Uma outra variável no projeto dos acopladores é como eles operam a luz passando em diferentes direções. Alguns acopladores operam de maneiras diferentes, dependendo de 19 em qual porta a luz entra e em qual direção ela viaja. Estes são denominados de acopladores DIRECIONAIS. Outros operam da mesma maneira, não importa em qual porta a luz entra ou em que direção ela viaja. Estes são chamados acopladores BIDIRECIONAIS.

Tanto acopladores direcionais como bidirecionais podem ser utilizados para dividir ou combinar sinais de sistemas de fibras óticas. A escolha depende da aplicação, mas é importante conhecer qual é qual.

5.17 CABOS ÓPTICOS

Os cabos ópticos são estruturas de encapsulamento e empacotamento de fibras óticas que têm como funções básicas prover às fibras proteção e facilidade de manuseio. As características das fibras são sensíveis a influências mecânicas e ambientais conforme visto anteriormente. O cabeamento, portanto, procura proteger a fibra ou fibras, contra adversidades mecânicas ou ambientais durante a instalação ou operação do suporte de transmissão. Devem também prover rigidez necessária a fim de prevenir curvaturas excessivas nas fibras.

5.17.1 Características de transmissão

As características de transmissão de uma fibra óptica nua podem ser afetadas pelo processo de cabeamento. O desempenho de um cabo óptico pode diminuir ao longo do tempo por três razões principais:

- Atenuação crescente em função da presença de hidrogênio que pode ser gerado pela corrosão metálica da estrutura de suporte físico do cabo em presença de água ou pela decomposição de material plástico de revestimento;
- Fadiga estática fazendo com que uma fibra quebre anos após a instalação do cabo;
- Envelhecimento térmico da estrutura do cabo fazendo com que a atenuação induzida por microcurvaturas aumente.

5.17.2 Tipos de cabos óticos

A fibra óptica durante o processo de fabricação é revestida por camada de acrilato para proteção. Em alguns casos esse revestimento de proteção básica é suficiente para permitir que a fibra seja utilizada diretamente numa estrutura de cabeamento. Entretanto, na maioria das aplicações, é necessário prover a fibra de proteção adicional através de um procedimento comum conhecido por BUFFERING. O processo de buffering de uma fibra em cabo óptico pode ser basicamente de dois tipos: modo solto (loose) e modo compacto (tight):

- Encapsulamento Solto – A estrutura de buffering de modo solto consiste em um tubo longo com diâmetro interno muito maior que o diâmetro da fibra, contém a fibra, isolando-a das tensões no cabo (forças externas e contrações devido a variação de temperatura). A fibra pode mover-se livremente com relação às paredes do tubo. O tubo costuma ser preenchido (principalmente nos cabos de uso externo) por um material viscoso, tipicamente composto de silicone ou geléias de origem petroquímicas, que além de proteção adicional contra impurezas, provê uma lubrificação para os movimentos da fibra. Para aplicações internas, mais imunes as tensões e variações ambientais, o tubo pode ficar vazio.
- Encapsulamento Compacto – Uma camada de proteção de nylon ou poliéster e extrusada diretamente sobre a fibra revestida. Neste caso as fibras são submetidas imediatamente as tensões aplicadas ao cabo. Por outro lado o modo compacto provê menores dimensões e maior resistência a forças de

esmagamento. Este tipo de estrutura básica para cabos ópticos costuma ser usado principalmente para atender a demanda de cabos com dimensões pequenas úteis, por exemplo, em instalações em dutos existentes bastante congestionados.

5.17.3 Cabos monofibras

Os cabos monofibras (Figura 5-7) são utilizados em sistemas de comunicação unidirecional. Este tipo de cabo é muito utilizado para conectar o equipamento transmissor ou receptor ao cabo multifibras, o qual é o suporte de transmissão. Estes cabos podem ser encapsulados de forma solta ou compacta.

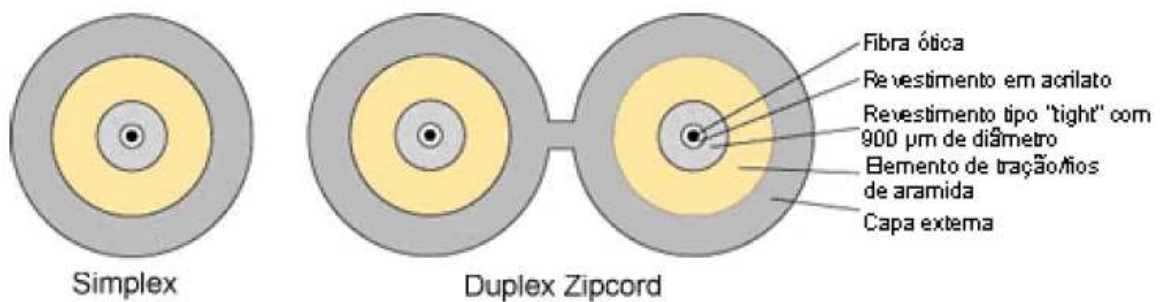


Figura 5-7 - Cabos Monofibras

5.17.4 Cabos multifibras

Os cabos multifibras (Figura 5-8) podem ter várias características de construção diferentes. São cabos com duas ou mais fibras, utilizados como suporte de comunicação efetivo nas redes de telecomunicações.

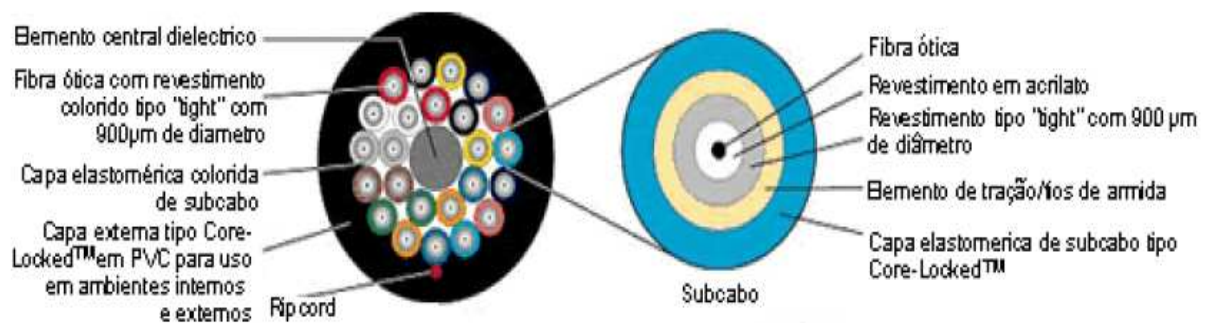


Figura 5-8 - Cabos Multifibras

5.18 APLICAÇÕES DAS FIBRAS ÓTICAS

Os sistemas de transmissão por fibras óticas podem ser classificados segundo algumas características básicas. Estas características estão associadas às aplicações dos sistemas ou à especificidade de alguma técnica, configuração ou dispositivo utilizado pelo sistema.

Tipos de sistemas:

- Sistemas de Comunicação
- Sistemas Sensores
- Aplicações Militares

5.18.1 Sistemas de comunicação

As fibras óticas são aplicadas a vários sistemas de comunicação, tais como:

- Rede Telefônica: serviços de tronco de telefonia, interligando centrais de tráfego interurbano e interligação de centrais telefônicas urbanas.
- Rede Digital de Serviços Integrados (RDSI): rede local de assinantes, isto é, a rede física interligando os assinantes à central telefônica local.
- Cabos Submarinos: sistemas de transmissão em cabos submarinos.
- Televisão por Cabo (CATV): transmissão de sinais de vídeo através de fibras óticas.
- Sistema de Energia e Transporte: distribuição de energia elétrica e sistema de transmissão ferroviário.

- Redes Locais de Computadores: aplicações em sistemas de longa distância e locais. Na busca de padrões a fim de facilitar a conectividade e minimizar os custos de aquisição e implantação com fibras óticas, foi desenvolvido o FDDI (esse padrão especifica uma rede com topologia em anel para operação a uma taxa de transmissão de 100Mbps).

5.18.2 Sistemas sensores

Nestes tipos de sistemas, a fibra é utilizada como sensor de estímulos externos, tais como a temperatura, a pressão, o campo magnético, a rotação, etc. Vários tipos de sensores com fibras óticas já estão disponíveis comercialmente. Mercados orientados ao desenvolvimento desse tipo de sistema são:

- Aplicações industriais: sistemas de telemetria e supervisão em controle de processos.
- Aplicações médicas: sistemas de monitoração interna ao corpo humano e instrumentação cirúrgica.
- Automóveis: monitoração do funcionamento do motor e acessórios.

6 CABO OPGW

Os Cabos pára-raios com fibras ópticas para linhas aéreas de transmissão – OPGW (*Optical Ground Wire*) tem a função original de exercer a blindagem contra descargas elétricas diretas nos condutores de fase e pode suportar feixe de Fibras Ópticas, (Figura 6-1).[NBR 13981 -1997]



Figura 6-1 - Cabos pára-raios

6.1 CARACTERÍSTICAS

| Para-raio OPGW | | | | | |
|--|-------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Características: | | | | | |
| Diâmetro externo | Und | 13,8 mm | 14,5 mm | 15,4 mm | 17,8 mm |
| Número de Fibras Ópticas | | 2 a 24 | 2 a 24 | 2 a 36 | 2 a 24 |
| Peso do Cabo | kg/km | 560 | 627 | 673 | 720 |
| Rigidez @ 0,3 % de Alongamento | 106 kgf | 1,08 | 1,22 | 1,54 | 1,39 |
| Diâmetro mínimo de Curvatura durante a instalação | mm | 1.600 | 1.600 | 1.600 | 1.600 |
| Diâmetro mínimo de Curvatura Permanente | mm | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| Tensão de Ruptura Nominal | kgf | 8.000 | 9.100 | 9.730 | 9.000 |
| Coefficiente de Expansão Térmica | 10-6/°C | 14,6 | 14,5 | 14,66 | 17,47 |
| Resistência Elétrica @ 20° C | Ohm/km | 0,5 | 0,47 | 0,43 | 0,23 |
| Capacidade Térmica (I2T) | kA2 . s | 60 | 73 | 87 | 216 |
| Performance da Fibra Óptica | ITU-TG651,G652 ou G653. | | | | |

Tabela 6-1 – Para-raio OPGW

Fonte: Pirelli Cabos

6.2 CONFIABILIDADE DO CABO OPGW

As redes de longa distância que são construídas, na maioria das vezes, utilizando cabos ópticos OPGW instalados nas linhas de transmissão de alta tensão têm baixo índice de acidentes.

Confiabilidade do OPGW é cerca de 20 x mais seguro que cabos enterrados.

Antes de se instalar cabos OPGW (*Optical Ground Wire*) em linhas de transmissão de alta tensão é necessário identificar os níveis de correntes de curto-circuito que circularão pelos cabos pára-raios das LT's quando da ocorrência de curtos-circuitos fase-terra (na verdade, fase-torre).

As correntes que circularão pelos cabos OPGW dependem de diversos parâmetros, tais como :

- resistências dos aterramentos das torres (resistências de pés-de-torre);
- impedâncias próprias dos diversos cabos (fase e pára-raios);
- impedâncias mútuas entre os diversos cabos;
- nível de curto-circuito nas Subestações terminais;
- resistências das malhas de aterramento das Subestações terminais;
- ponto de curto-circuito (torre e fase em falta);
- etc.

Na determinação de qual cabo OPGW deverá ser utilizado normalmente se realiza diversos cálculos para otimizar a utilização tanto dos cabos OPGW (utilização de cabos de maior capacidade de condução de corrente apenas em trechos onde as correntes de curto-circuito forem mais intensas) quanto dos cabos pára-raios convencionais (muitas vezes é necessário trocar o cabos pára-raios existente em uma Linhas de Transmissão por outro de forma a se reduzir a corrente de curto-circuito que circulará em um OPGW).

7 ANÁLISE DAS REDES IP EXISTENTES NA EMPRESA ELETRONORTE

A Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. – Eletronorte, sociedade anônima de economia mista e subsidiária da Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – Eletrobrás, é uma concessionária de serviço público de energia elétrica. Criada em 20 de junho de 1973, com sede no Distrito Federal, gera e fornece energia elétrica aos nove estados da Amazônia Legal – Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins. Por meio do Sistema Interligado Nacional – SIN, também fornece energia a compradores das demais regiões do País.[Pardauil-2001]

Dos cerca de 24 milhões de habitantes que vivem na Região Amazônica, mais de 15 milhões se beneficiam da energia elétrica gerada pela Eletronorte em suas cinco hidrelétricas – Tucuruí (PA), a maior usina genuinamente brasileira e a quarta do mundo, Coaracy Nunes (AP), Samuel (RO) e Curuá-Una (PA) – e em parques termelétricos. A potência total instalada é de 9.787 megawatts e os sistemas de transmissão contam com mais de 9.844,68 quilômetros de linhas.

Nesses 9.844,68 quilômetros de linhas de transmissão a Eletronorte utiliza como para-raio o cabo OPGW, conforme descrito no Capítulo 6.

Com o crescimento dos usuários internos e a necessidade de monitoramento via rede de computadores a Eletronorte criou suas redes IP conforme as necessidades dos serviços.

7.1 REDE DE TELEFONIA.

A Rede de telefonia foi a primeira rede a ser criada na Eletronorte utilizando os meios próprios e circuitos alugados de operadoras.

Os Estados do Pará, Maranhão, Tocantins e Brasília são interligados pela rede elétrica da Eletronorte e Furnas, nesses Estados as centrais telefônicas da Eletronorte são interligados a central telefônica de Brasília na velocidade de 2 Mbps utilizando os cabos OPGW.

Os Estados do Acre, Rondônia e Mato Grosso utilizam circuitos alugados de operadoras para interligar as centrais telefônicas na central telefônica de Brasília, sempre na velocidade de 2 Mbps. (figura 7.1)

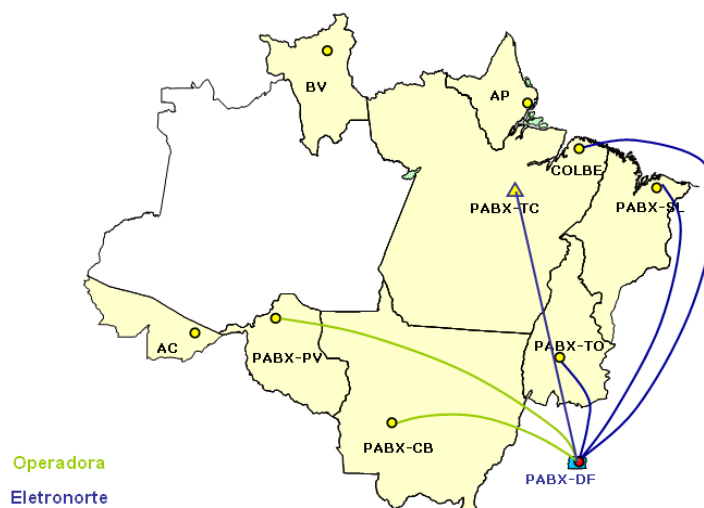


Figura 7-1 – Circuitos Rede de Telefonia

No Estado de São Paulo a Eletronorte possui um escritório e as ligações telefônicas são feitas através de um circuito alugado de operadora interligando os telefones como ramais da central telefônica de Brasília, gerando economia nas ligações entre os Estados interligados.

Os Estados de Boa Vista e Amapá possuem centrais telefônicas mais não estão interligados a central telefônica de Brasília, gerando custo de ligações entre os Estados onde se encontra a Eletronorte.

Os custos anuais na alocação dos circuitos mencionados nos itens acima são de R\$ 228.384,14 (duzentos e vinte e oito mil, trezentos e oitenta e quatro reais e quatorze centavos), dados de 2009, fonte: Gerência de Negócios de Telecomunicações – Eletronorte.

7.2 REDE DE SUPERVISÃO:

A Rede de Supervisão analisa as ocorrências nos sistema de supervisão controle e estabelece medidas preventivas e corretivas necessárias para o restabelecimento e aperfeiçoamento das condições operativas ideais (figura 7-2).

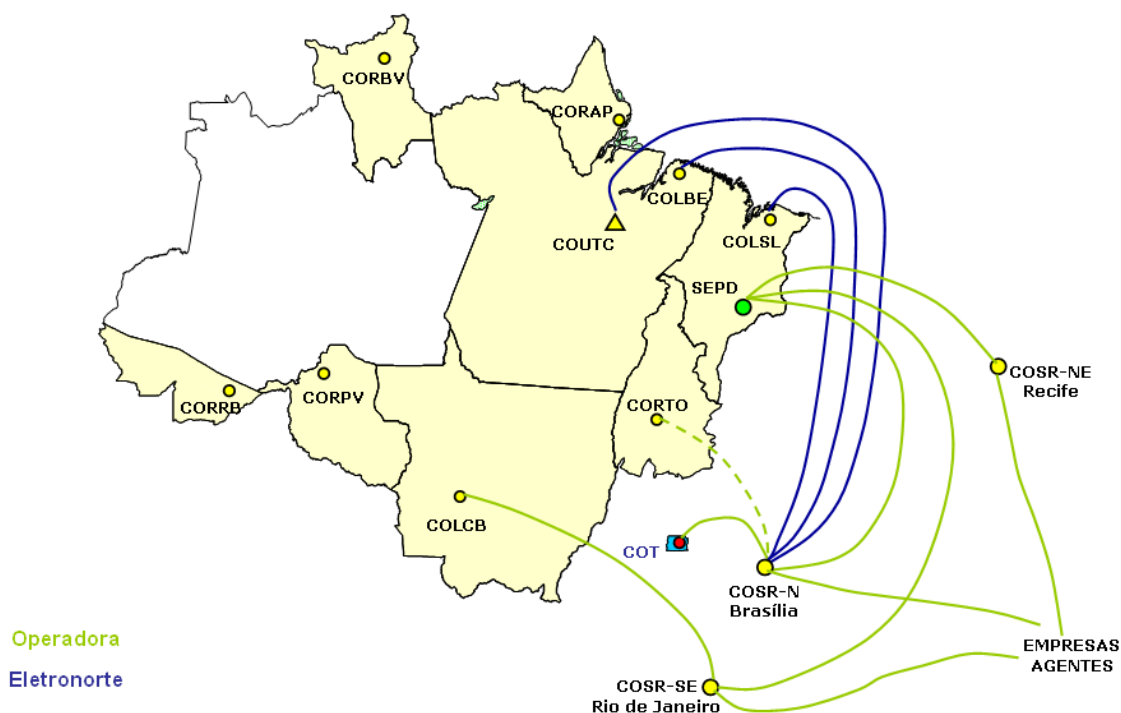


Figura 7-2 – Circuitos Rede Operativa

A Rede de Supervisão é gerenciada pelos Centros Operacionais Locais – COL, localizados nos Estados do Acre, Amapá, Pará, Maranhão, Tocantins, Roraima, Rondônia e Brasília.

A Rede de Supervisão trafega entre os Estados do Pará, Maranhão e Tocantins através dos cabos OPGW na velocidade de 512 Kbps. Todas as informações são centralizadas no Centro Operacional Local em Brasília.

Os Estados do Acre, Amapá, Rondônia, Roraima e Mato-Grosso a Rede de Supervisão trafega através de circuitos alugados de operadoras na velocidade de 512 Kbps para interligar as redes a rede de Brasília.

Os custos anuais na alocação dos circuitos mencionados nos itens acima são de R\$ 1.409.490,00 (um milhão, quatrocentos e nove mil e quatrocentos e noventa reais), dados de 2009, fonte: Gerência de Negócios de Telecomunicações – Eletronorte.

7.3 REDE CORPORATIVA

A Rede Corporativa concentra-se em Brasília onde disponibiliza o acesso a internet na velocidade de 30 Mbps, por essa rede trafega o Sistema R3, responsável por toda administração da empresa, os servidores de: arquivos, correio eletrônico, intranet, software de aplicações empresarias e dados corporativos (figura 7-3) .

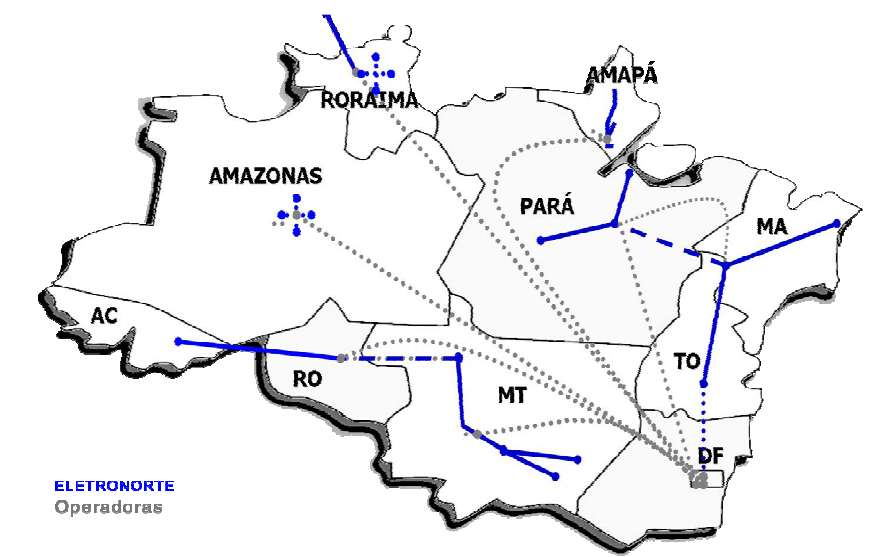


Figura 7-3 – Circuitos Rede Corporativa

A Rede Corporativa está localizada nos Estados do Acre, Amapá, Brasília, Tocantins, Maranhão, Mato-Grosso, Roraima, Rondônia e São Paulo. Nos Estados do Tocantins, Maranhão e Pará estão interligados a Brasília através do cabo OPGW na velocidade de 2 Mbps. Os Estados do Acre, Rondônia e Mato-Grosso estão interligados a Brasília através

de circuitos alugados na velocidade de 2 Mbps. O Estado do Roraima está conectado a Brasília via circuito alugado na velocidade de 786 Kbps e por fim o Estado de São Paulo está conectado a Brasília via circuito alugado na velocidade de 384 Kbps.

Os custos anuais na alocação dos circuitos mencionados nos itens acima são de R\$ 5.351.009,08 (cinco milhões, trezentos e cinquenta e um mil, nove reais e oito centavos), dados de 2009, fonte: Gerência de Negócios de Telecomunicações – Eletronorte.

7.4 REDE DCN

A Rede DCN (*Datal Communication Network*) é encarregada de transportar, de modo seguro, as informações entre os diversos elementos da TMN (*Telecommunications Management Network*).

Nos Estados do Pará, Maranhão e Tocantins as informações são transportadas até Brasília através dos cabos OPGW na velocidade de 512 Kbps.

Os Estados do Acre, Rondônia, Amapá, Roraima e Mato-Grosso as informações são transportadas até Brasília através de circuitos alugados de operadoras na velocidade de 512 Kbps.

Os custos anuais na alocação dos circuitos mencionados nos itens acima são de R\$ 248.787,12 (duzentos e quarenta e oito mil, setecentos e oitenta e sete reais e doze centavos centavos), dados de 2009, fonte: Gerência de Negócios de Telecomunicações – Eletronorte.

7.5 REDE VIDEOCONFERÊNCIA

A Rede de videoconferência possui Unidade Concentradora de Memória – MCU no Estado do Mato-Grosso que está conectada a Unidade Concentradora de Memória – MCU de Brasília onde centraliza todas as informações. (figura 7-4)

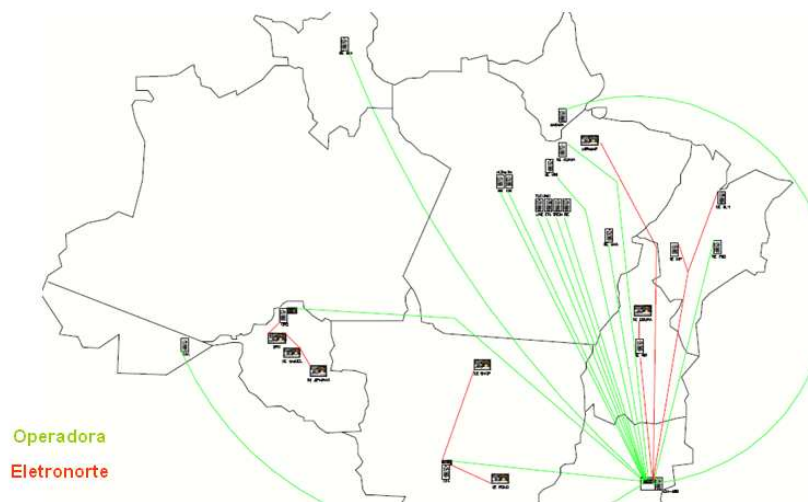


Figura 7-4 – Circuitos Rede Videoconferência

Os Estados do Acre, Amapá, Rondônia, Roraima, Mato-Grosso e São Paulo estão interligados a rede de Brasília através de circuitos alugados na velocidade de 256 Kbps.

Os Estados do Pará, Maranhão e Tocantins estão interligados a Brasília através dos cabos OPGW na velocidade de 256 Kbps.

Os custos anuais na alocação dos circuitos mencionados nos itens acima são de R\$ 1.110.492,72 (um milhão, cento de dez mil, quatrocentos e noventa e dois reais e setenta de dois centavos), dados de 2009, fonte: Gerência de Negócios de Telecomunicações – Eletronorte.

8 IMPLANTANDO UMA REDE CONVERGENTE

A Rede Convergente, titulada como Rede Eletronorte transportará todo o tráfego de vídeo, voz e dados operativos e corporativos, bem como os outros que tenham características IP e que sejam de interesse da ELETRONORTE. Tais serviços serão fornecidos em uma forma de circuitos lógicos como se estivessem em rede fisicamente separados e isolados. (Figura 8-1)

Nossa proposta surgiu após a área de telecomunicações da Eletronorte abrir um processo de licitação pública, número CP-GSS-6-0029, para aquisição de um fornecimento de equipamentos e serviços para atendimento da Rede Eletronorte para o Sistema de Telecomunicação Geral (Roteadores, Switches, Nobreaks e Bastidores) a serem instalados na Sede e Regionais da Eletronorte.

Essa licitação foi vencida pela Empresa Siemens Interprise Communication – Tecnologia da Informação e Comunicação Corporativa Ltda, no valor de R\$ 4.968.548,12 e que gerou o contrato com a Eletronorte número 4500065250 de maio de 2008, onde a mesma ofertou na solução roteadores e switches do Fabricante 3COM, juntamente com o software de gerência EMS – *Enterprise Meneger Service*. Na solução os serviços terão garantia na qualidade de serviços, segurança e comodidade aos clientes internos e externos. Para isso será utilizada a tecnologia Multiprotocol Label Switching - MPLS.

Os roteadores e switches adquiridos deverão ser instalados na sala de telecomunicações localizados nas subestações da Eletronorte nos Estados do Acre, Amapá, Pará, Maranhão Tocantins, Roraima, Rondônia, São Paulo e Mato-Grosso e deverá comunicar-se com os outros roteadores e switches localizados em Brasília.

Nos Estados do Pará, Maranhão, Tocantins estarão interligados a rede de Brasília através dos cabos OPGW na velocidade de 4 Mbps. A contingência será um circuito alugado na velocidade de 512 Kbps da subestação de Belém – PA e outro circuito alugado na velocidade de 512 Kbps da subestação de São Luis – MA para a rede de Brasília.

No Estado do Pará a Escritório localizado na cidade de Santarém e a Usina Hidroelétrica de Curua-Una também na cidade de Santarém estarão conectados através de dois circuitos alugados na velocidade de 384 e 256 Kbps respectivamente para interligar a rede da subestação localizado na cidade de Altamira e daí, via cabo OPGW, interligar a rede de Brasília.

No Estado do Maranhão a subestação localizada na cidade de Açailândia e Coelho Neto estarão conectados através de circuitos alugados na velocidade de 256 Kbps para a subestação de São Luis – MA e a subestação de Imperatriz – MA e daí, via cabo OPGW, interligar a rede de Brasília.

Os Estados do Acre e Rondônia estarão interligados a rede de Mato-Grosso através dos cabos OPGW na velocidade de 4 Mbps e do Estado de Mato-Grosso se interligará a rede de Brasília através de circuito alugados na velocidade de 8 Mbps, sendo 2 Mbps da subestação de Cuiabá, 2 Mbps da subestação de Coxipó e 2 Mbps da subestação de Sinop. A contingência será um circuito alugado na velocidade de 512 Kbps da subestação de Rondonópolis para a rede de Brasília.

O Estado do Amapá estará interligado a rede de Brasília através de circuitos alugados na velocidade de 4 Mbps.

O Estado de Roraima estará interligado a rede de Brasília através de circuitos alugados na velocidade de 2 Mbps.

O Estado de São estará interligado a rede de Brasília através de circuitos alugados na velocidade de 384 Kbps.

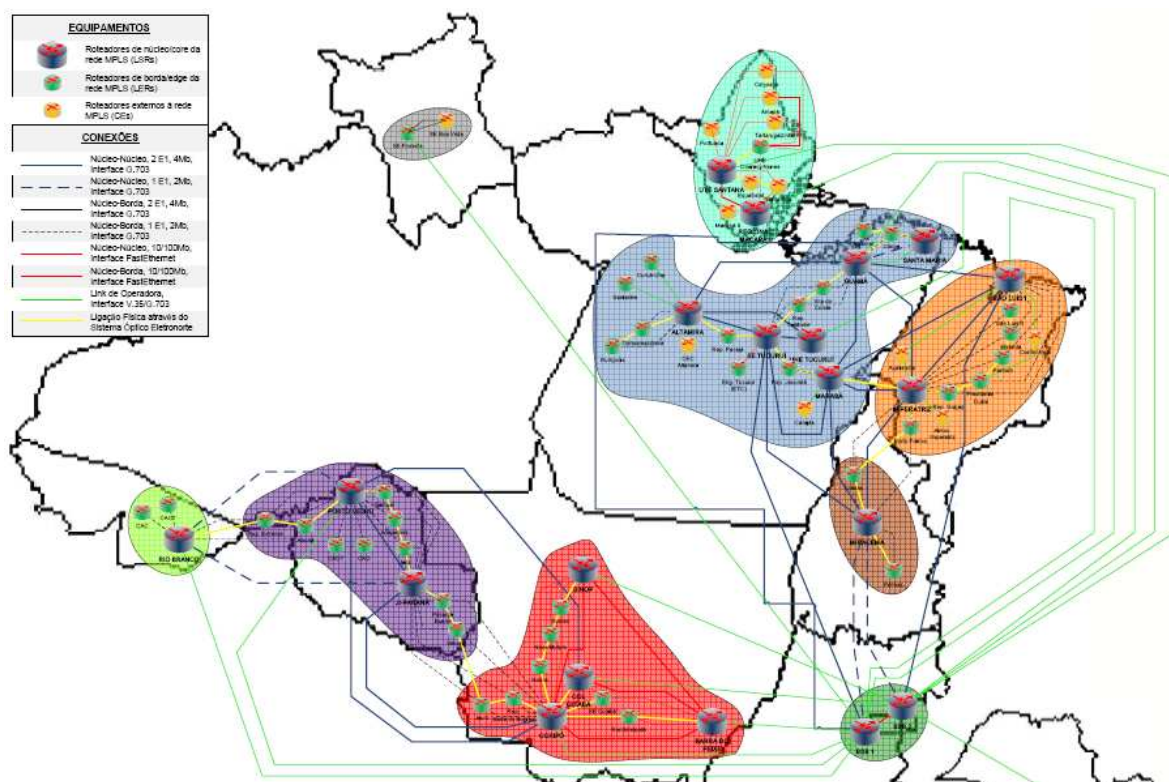


Figura 8-1 – Circuitos Rede Convergente

Os custos anuais na alocação dos circuitos mencionados nos itens acima são de R\$ 1.352.410,39 (um milhão, trezentos e cinquenta e dois mil, quatrocentos e dez reais e trinta e nove centavos), dados de 2009, fonte: Gerência de Negócios de Telecomunicações – Eletronorte.

8.1 PROJETO BÁSICO

Com os equipamentos já disponíveis elaboramos um projeto básico para conceber uma rede convergente na ELETRONORTE que resultará na diminuição de custos de pessoas, gerências e canais de telecomunicações contratados.

8.1.1 Canalização por sistema de transmissão óptico:

Serão utilizados E1 para os Sistemas Ópticos que não possuem placas Fast-Ethernet.

Sistema Acre:

| Origem/Roteador | Destino/Roteador | Velocidade | Conexão MPLS |
|------------------------|-------------------------|-------------------|---------------------|
| AC-RBR-RT-N1 | AC-CAC-RT-B | 2Mb | N -> B |
| AC-RBR-RT-N1 | RO-PVO-RT-N1 | 2Mb | N -> N |
| AC-RBR-RT-N1 | RO-JIP-RT-N1 | 2Mb | N -> N |
| AC-RBR-RT-N1 | RO-EXT-RT-B | 2Mb | N -> B |
| AC-RBR-RT-N1 | RO-ABN-RT-B | 2Mb | N -> B |
| AC-RBR-RT-N1 | AC-CACT-RT-B | 2Mb | N -> B |
| AC-RBR-RT-N2 | AC-CAC-RT-B | 2Mb | N -> B |
| AC-RBR-RT-N2 | RO-PVO-RT-N2 | 2Mb | N -> N |
| AC-RBR-RT-N2 | AC-CACT-RT-B | 2Mb | N -> B |
| AC-RBR-RT-N2 | RO-JIP-RT-N2 | 2Mb | N -> N |

Tabela 8-1 – Canalização do Sistema Óptico para o Sistema Acre

Sistema Amapá:

| Origem/Roteador | Destino/Roteador | Velocidade | Conexão MPLS |
|------------------------|-------------------------|-------------------|---------------------|
| AP-MCP-RT-N1 | AP-STN-RT-N1 | 10/100Mb | N -> N |
| AP-MCP-RT-N1 | AP-STN-RT-B | 10/100Mb | N -> B |
| AP-MCP-RT-N1 | AP-CTR-RT-B | 10/100Mb | N -> B |
| AP-STN-RT-N1 | AP-MCP-RT-B | 10/100Mb | N -> B |
| AP-STN-RT-N1 | AP-CTR-RT-B | 10/100Mb | N -> B |
| AP-CTR-RT-B | AP-CAL-RT-EX | 10/100Mb | B -> E |
| AP-STN-RT-B | AP-CAL-RT-EX | 10/100Mb | B -> E |
| AP-CTR-RT-B | AP-AMP-RT-EX | 10/100Mb | B -> E |
| AP-STN-RT-B | AP-AMP-RT-EX | 10/100Mb | B -> E |
| AP-CTR-RT-B | AP-TRG-RT-EX | 10/100Mb | B -> E |
| AP-STN-RT-B | AP-TRG-RT-EX | 10/100Mb | B -> E |
| AP-STN-RT-B | AP-PTR-RT-EX | 768Kb | B -> E |
| AP-MCP-RT-B | AP-MCD-RT-EX | 20Mb | B -> E |
| AP-MCP-RT-B | AP-SRA-RT-EX | 10/100Mb | B -> E |
| AP-STN-RT-B | AP-SRA-RT-EX | 10/100Mb | B -> E |
| AP-MCP-RT-B | AP-EQL-RT-EX | 10/100Mb | B -> E |
| AP-STN-RT-B | AP-EQL-RT-EX | 10/100Mb | B -> E |

Tabela 8-2 – Canalização do Sistema Óptico para o Sistema Amapá

Sistema Maranhão:

| Origem/Roteador | Destino/Roteador | Velocidade | Conexão MPLS |
|------------------------|-------------------------|-------------------|---------------------|
| MA-SLU-RT-N1 | MA-SLD-RT-B | 2Mb | N -> B |
| MA-SLU-RT-N1 | MA-MID-RT-B | 2Mb | N -> B |
| MA-SLU-RT-N1 | MA-PRO-RT-B | 2Mb | N -> B |
| MA-SLU-RT-N1 | MA-PDD-RT-B | 2Mb | N -> B |
| MA-SLU-RT-N1 | PA-GUA-RT-N2 | 4Mb | N -> N |

| | | | |
|--------------|--------------|-----|--------|
| MA-SLU-RT-N1 | PA-MAR-RT-N1 | 4Mb | N -> N |
| MA-SLU-RT-N1 | MA-GRA-RT-B | 2Mb | N -> B |
| MA-IPZ-RT-N1 | MA-SLD-RT-B | 2Mb | N -> B |
| MA-IPZ-RT-N1 | MA-MID-RT-B | 2Mb | N -> B |
| MA-IPZ-RT-N1 | MA-PRO-RT-B | 2Mb | N -> B |
| MA-IPZ-RT-N1 | MA-PDD-RT-B | 2Mb | N -> B |
| MA-SLU-RT-N2 | MA-IPZ-RT-N2 | 4Mb | N -> N |
| MA-SLU-RT-N2 | DF-BSB-RT-N2 | 4Mb | N -> N |
| MA-IPZ-RT-N1 | MA-POF-RT-B | 2Mb | N -> B |
| MA-IPZ-RT-N1 | MA-GRA-RT-B | 2Mb | N -> B |
| MA-IPZ-RT-N1 | PA-MAR-RT-N1 | 4Mb | N -> N |
| MA-IPZ-RT-N1 | TO-MRC-RT-N1 | 4Mb | N -> N |
| MA-IPZ-RT-N1 | TO-COL-RT-B | 2Mb | N -> B |
| MA-POF-RT-B | TO-MRC-RT-N2 | 2Mb | B -> N |
| MA-IPZ-RT-N2 | PA-GUA-RT-N2 | 4Mb | N -> N |
| MA-IPZ-RT-N2 | TO-MRC-RT-N2 | 4Mb | N -> N |

Tabela 8-3 – Canalização do Sistema Óptico para o Sistema Maranhão

Sistema Mato Grosso:

| Origem/Roteador | Destino/Roteador | Velocidade | Conexão MPLS |
|------------------------|-------------------------|-------------------|---------------------|
| MT-CUB-RT-N1 | RO-PVO-RT-N1 | 4Mb | N -> N |
| MT-CUB-RT-N1 | MT-COX-RT-N1 | 10/100Mb | N -> N |
| MT-CUB-RT-N1 | MT-BAP-RT-N1 | 10/100Mb | N -> N |
| MT-CUB-RT-N1 | MT-CBA-RT-B | 10/100Mb | N -> B |
| MT-CUB-RT-N1 | MT-RON-RT-B | 10/100Mb | N -> B |
| MT-BAP-RT-N1 | MT-CBA-RT-B | 10/100Mb | N -> B |
| MT-BAP-RT-N1 | MT-RON-RT-B | 10/100Mb | N -> B |
| MT-BAP-RT-N1 | MT-COX-RT-N1 | 10/100Mb | N -> N |
| MT-COX-RT-N1 | MT-NBR-RT-B | 10/100Mb | N -> B |
| MT-COX-RT-N1 | MT-SOR-RT-B | 10/100Mb | N -> B |
| MT-COX-RT-N1 | MT-NVM-RT-B | 10/100Mb | N -> B |
| MT-COX-RT-N1 | MT-SIN-RT-N1 | 10/100Mb | N -> N |
| MT-COX-RT-N1 | MT-BAB-RT-B | 2Mb | N -> B |
| MT-COX-RT-N1 | RO-JIP-RT-N2 | 4Mb | N -> N |
| MT-COX-RT-N1 | RO-VLH-RT-B | 2Mb | N -> B |
| MT-COX-RT-N1 | RO-PMB-RT-B | 2Mb | N -> B |
| MT-SIN-RT-N1 | MT-NBR-RT-B | 10/100Mb | N -> B |
| MT-SIN-RT-N1 | MT-SOR-RT-B | 10/100Mb | N -> B |
| MT-SIN-RT-N1 | MT-NVM-RT-B | 10/100Mb | N -> B |

Tabela 8-4 – Canalização do Sistema Óptico para o Sistema Mato-Grosso

Sistema Tocantins:

| Origem/Roteador | Destino/Roteador | Velocidade | Conexão MPLS |
|------------------------|-------------------------|-------------------|---------------------|
| TO-MRC-RT-N1 | TO-COL-RT-B | 2Mb | N -> B |

| | | | |
|--------------|--------------|-----|--------|
| TO-MRC-RT-N1 | DF-BSB-RT-N1 | 2Mb | N -> N |
| TO-MRC-RT-N1 | PA-MAR-RT-N1 | 4Mb | N -> N |
| TO-MRC-RT-N2 | DF-BSB-RT-N2 | 2Mb | N -> N |
| TO-MRC-RT-N2 | PA-TUC-RT-N1 | 4Mb | N -> N |

Tabela 8-5 – Canalização do Sistema Óptico para o Sistema Tocantins

Sistema Rondônia:

| Origem/Roteador | Destino/Roteador | Velocidade | Conexão MPLS |
|-----------------|------------------|------------|--------------|
| RO-PVO-RT-N1 | RO-ABN-RT-B | 2Mb | N -> B |
| RO-PVO-RT-N1 | RO-EXT-RT-B | 2Mb | N -> B |
| RO-PVO-RT-N1 | RO-CRD-RT-B | 2Mb | N -> B |
| RO-PVO-RT-N1 | RO-CRDT-RT-B | 2Mb | N -> B |
| RO-PVO-RT-N1 | RO-JIP-RT-N1 | 4Mb | N -> N |
| RO-PVO-RT-N1 | RO-SAM-RT-B | 2Mb | N -> B |
| RO-PVO-RT-N1 | RO-ARQ-RT-B | 2Mb | N -> B |
| RO-PVO-RT-N1 | RO-JAU-RT-B | 2Mb | N -> B |
| RO-PVO-RT-N2 | RO-CRD-RT-B | 2Mb | N -> B |
| RO-PVO-RT-N2 | RO-JIP-RT-N1 | 4Mb | N -> N |
| RO-PVO-RT-N2 | RO-JIP-RT-N2 | 4Mb | N -> N |
| RO-JIP-RT-N1 | RO-PMB-RT-B | 2Mb | N -> B |
| RO-JIP-RT-N1 | RO-VLH-RT-B | 2Mb | N -> B |
| RO-JIP-RT-N1 | RO-ARQ-RT-B | 2Mb | N -> B |
| RO-JIP-RT-N1 | RO-SAM-RT-B | 2Mb | N -> B |
| RO-JIP-RT-N1 | RO-JAU-RT-B | 2Mb | N -> B |
| RO-JIP-RT-N1 | MT-BAB-RT-B | 2Mb | N -> B |
| RO-JIP-RT-N1 | MT-JRU-RT-B | 2Mb | N -> B |

Tabela 8-6 – Canalização do Sistema Óptico para o Sistema Rondônia

Sistema Roraima:

| Origem/Roteador | Destino/Roteador | Velocidade | Conexão MPLS |
|-----------------|------------------|------------|--------------|
| RR-SFT-RT-B | RR-BVT-RT-EX | 1Mb MUX | B -> E |
| RR-SFT-RT-B | RR-BVT-RT-EX | 1Mb SONET | B -> E |

Tabela 8-7 – Canalização do Sistema Óptico para o Sistema Roraima

Sistema Pará:

| Origem/Roteador | Destino/Roteador | Velocidade | Conexão MPLS |
|-----------------|------------------|------------|--------------|
| PA-ALT-RT-N1 | PA-RUP-RT-B | 2Mb | N -> B |
| PA-ALT-RT-N1 | PA-TRZ-RT-B | 2Mb | N -> B |
| PA-GUA-RT-N1 | PA-MAR-RT-N1 | 4Mb | N -> N |
| PA-ALT-RT-N1 | PA-UHT-RT-N1 | 4Mb | N -> N |
| PA-ALT-RT-N1 | PA-TUC-RT-N1 | 4Mb | N -> N |
| PA-UHT-RT-N1 | PA-TUC-RT-N1 | 4Mb | N -> N |

| | | | |
|--------------|--------------|-----|--------|
| PA-TUC-RT-N1 | PA-PCJ-RT-B | 2Mb | N -> B |
| PA-TUC-RT-N1 | DF-BSB-RT-N1 | 4Mb | N -> N |
| PA-TUC-RT-N1 | PA-GUA-RT-N1 | 4Mb | N -> N |
| PA-TUC-RT-N1 | PA-MAR-RT-N1 | 4Mb | N -> N |
| PA-TUC-RT-N1 | PA-TAI-RT-B | 2Mb | N -> B |
| PA-TUC-RT-N1 | PA-VDC-RT-B | 2Mb | N -> B |
| PA-MAR-RT-N1 | PA-JAC-RT-B | 2Mb | N -> B |
| PA-MAR-RT-N1 | PA-GUA-RT-N2 | 4Mb | N -> N |
| PA-GUA-RT-N1 | PA-TAI-RT-B | 2Mb | N -> B |
| PA-GUA-RT-N1 | PA-VDC-RT-B | 2Mb | N -> B |
| PA-GUA-RT-N1 | PA-MIR-RT-B | 2Mb | N -> B |
| PA-GUA-RT-N1 | PA-UTI-RT-B | 2Mb | N -> B |
| PA-GUA-RT-N1 | PA-STM-RT-N1 | 2Mb | N -> N |
| PA-GUA-RT-N2 | PA-MIR-RT-B | 2Mb | N -> B |
| PA-GUA-RT-N2 | PA-STM-RT-N1 | 2Mb | N -> N |
| PA-STM-RT-N1 | PA-UTI-RT-B | 2Mb | N -> B |

Tabela 8-8 – Canalização do Sistema Óptico para o Sistema Pará

8.1.2 Canalização por sistema de transmissão operadora:

Serão utilizados 512 Kbps para contingência.

Sistema Acre:

| Origem/Roteador | Destino/Roteador | Velocidade |
|------------------------|-------------------------|-------------------|
| AC-RBR-RT-N1 | DF-BSB-RT-N1 | 512Kb |

Tabela 8-9 – Canalização da Operadora para o Sistema Acre

Sistema Amapá:

| Origem/Roteador | Destino/Roteador | Velocidade |
|------------------------|-------------------------|-------------------|
| AP-STN-RT-N1 | DF-BSB-RT-N1 | 2Mb |
| AP-MCP-RT-N1 | DF-BSB-RT-N1 | 2Mb |

Tabela 8-10 – Canalização da Operadora para o Sistema Amapá

Sistema Pará:

| Origem/Roteador | Destino/Roteador | Velocidade |
|------------------------|-------------------------|-------------------|
| PA-GUA-RT-N1 | DF-BSB-RT-N1 | 512Kb |
| PA-TUC-RT-N1 | DF-BSB-RT-N1 | 512Kb |
| PA-CEC-RT-EX | PA-ALT-RT-B | 256Kb |
| PA-STR-RT-B | DF-BSB-RT-N2 | 256Kb |
| PA-UHC-RT-B | DF-BSB-RT-N2 | 384Kb |
| PA-UHT-RT-B | DF-BSB-RT-N1 | 512Kb |
| PA-GUA-RT-N2 | PA-STM-RT-N1 | 64Kb |
| PA-CRJ-RT-EX | PA-MAR-RT-B | 256Kb |

Tabela 8-11 – Canalização da Operadora para o Sistema Pará

Sistema Maranhão:

| Origem/Roteador | Destino/Roteador | Velocidade |
|------------------------|-------------------------|-------------------|
| MA-SLU-RT-N1 | DF-BSB-RT-N2 | 512Kb |
| MA-CLN-RT-EX | MA-SLU-RT-B | 256Kb |
| MA-CLN-RT-EX | MA-PDD-RT-B | 256Kb |
| MA-ALX-RT-EX | MA-IPZ-RT-B | 64Kb |
| MA-ACA-RT-EX | MA-SLU-RT-B | 2Mb |
| MA-ACA-RT-EX | MA-IPZ-RT-B | 64Kb |

Tabela 8-12 – Canalização da Operadora para o Sistema Maranhão

Sistema Mato-Grosso:

| Origem/Roteador | Destino/Roteador | Velocidade |
|------------------------|-------------------------|-------------------|
| MT-SIN-RT-N1 | DF-BSB-RT-N1 | 2Mb |
| MT-BAP-RT-N1 | DF-BSB-RT-N1 | 512Kb |
| MT-CUB-RT-N1 | DF-BSB-RT-N2 | 2Mb |
| MT-COX-RT-N1 | DF-BSB-RT-N1 | 4Mb |

Tabela 8-13 – Canalização da Operadora para o Sistema Mato-Grosso

Sistema Rondônia:

| Origem/Roteador | Destino/Roteador | Velocidade |
|------------------------|-------------------------|-------------------|
| RO-PVO-RT-N1 | DF-BSB-RT-N1 | 512Kb |

Tabela 8-14 – Canalização da Operadora para o Sistema Rondônia

Sistema Roraima:

| Origem/Roteador | Destino/Roteador | Velocidade |
|------------------------|-------------------------|-------------------|
| RR-SFT-RT-B | DF-BSB-RT-N1 | 2Mb |

Tabela 8-15 – Canalização da Operadora para o Sistema Roraima

Sistema São Paulo:

| Origem/Roteador | Destino/Roteador | Velocidade |
|------------------------|-------------------------|-------------------|
| SP-SPT-RT-B | DF-BSB-RT-N2 | 384Kb |

Tabela 8-16 – Canalização da Operadora para o Sistema São Paulo

8.1.3 IP dos equipamentos por sistema óptico.

Todos os equipamentos Roteadores, portas Seriais e Ethernet e Switchs porta ethernet de conexão com o roteador terão IP conforme padrão abaixo e representado no Anexo I – Numeração IP.

Será utilizado IP inválido 192.168.X.Y classe C com máscara 255.255.255.0, classificados por Sistema, conforme abaixo:

192.168.X.Y onde X=100+Código de área da localidade
Y=número seqüencial iniciado por 1

Sistema Roraima: 192.168.195.1/24

Sistema Amapá: 192.168.196.1/24

Sistema Pará: 192.168.191.1/24

Sistema Maranhão: 192.168.198.1/24

Sistema Tocantins: 192.168.163.1/24

Sistema Acre: 192.168.168.1/24

Sistema Rondônia: 192.168.169.1/24

Sistema Mato-Grosso: 192.168.165.1/24

Brasília: 192.168.161.1/24

8.1.4 Política de segurança.

A política de segurança tem por objetivo estabelecer normas, diretrizes e padrões destinados a garantir os aspectos de integridade, confidencialidade, disponibilidade, autenticidade e legalidade dos serviços da Eletronorte.

Perfil de Usuários para o Gerenciamento da Rede Eletronorte:

Usuário administrador – todas as atribuições – Perfil AA;
Usuário administrador Local – todas as atribuições por sistema – Perfil AB;
Usuário Operador Geral – leitura, acesso aos arquivos de logs e alarmes– Perfil AC;
Usuário Operador Local – leitura, acesso aos arquivos de logs e alarmes por sistema –
Perfil AD;

Usuários dos perfis:

Perfil AA

Técnicos de Manutenção do CGRT; Serão cadastrados os técnicos utilizando as regras de usuários da Eletronorte (Usuário será a matrícula);

Perfil AB

Técnicos de Telecomunicações das Regionais; Serão cadastrados os técnicos utilizando as regras de usuários da Eletronorte (Usuário será a matrícula);

Perfil AC

Operadores do CGRT; Será cadastrado um único usuário OperadorCGRT ;

Perfil AD

Operadores das Regionais; Serão cadastrados um único usuário por Regional:
OperadorAP, OperadorAC, OperadorRO, OperadorPA, OperadorMA, OperadorTO,
OperadorMT, OperadorUHT e OperadorRR;

8.1.5 Gerenciamento

Todo o gerenciamento da Rede será através do software EMS – Enterprise Manager Service, disponíveis no Centro de Gerência de Redes de Telecomunicações e Regionais nas Salas de Telecomunicações.

A Base de Dados será administrada pela equipa de DBA da Eletronorte.

8.1.6 Qualidade de serviço

Em todos os pontos de acesso, os serviços deverão ser agrupados em VLANs, de forma que um determinado serviço seja independente de qualquer outro serviço. Não deverá ser habilitada qualquer forma de interconexão entre VLANs distintas.

As VLANs deverão ser agrupadas da seguinte forma:

- VLAN100 – Rede DCN – Gerencia dos Sistemas Ópticos e Gerência da Rede Eletronorte;
- VLAN200 – Rede de Supervisão - SAGE;
- VLAN300 – Serviços corporativos, em que trafegarão os dados corporativos (internet, acesso a servidores, e-mail, etc.) e, ainda, telefonia corporativa sobre IP e videoconferência sobre IP;
- VLAN400 – Serviços Medição de faturamento;
- VLAN500 – Serviços Oscilografia;

No caso de ter mais de uma Gerência Óptica no Sistema, as VLANs dos outros serviços assumirão os números subseqüentes ao último da VLAN da Rede DCN.

Desse modo, a canalização destinada aos serviços deverá resultar, para estes serviços, em índices de disponibilidade, latência e taxas de vazão para os sistemas de acordo com a tabela 8-17 abaixo:

| Requisitos para o Circuito de Comunicação | | | | | | | |
|---|------|--|-----------------------------------|----------|------------------------|-------------------------|----------------------|
| Sistema | | | | | | | |
| Serviços | VLAN | Critério de Identificação | Largura de Banda Garantida (kbps) | Serviços | Prioridade de Serviços | Disponibilidade Exigida | Latência Máxima (ms) |
| AP/DCN | 100 | TCP: 21, 514, 1098, 1099, 5798, 8158/UDP (SNMP): 162 (IP Servidor) | 128 | EMS | Máximo | 99,99% | 500 |
| | | 10.0.32.0/24 | 384 | ABB | Máximo | 99,99% | 500 |
| AC/DCN | 100 | TCP: 21, 514, 1098, 1099, 5798, 8158/UDP (SNMP): 162 (IP Servidor) | 512 | EMS | Máximo | 99,99% | 200 |
| | | Não IP | -- | ALCATEL | N/A | N/A | N/A |
| PA/DCN | 100 | TCP: 21, 514, 1098, 1099, 5798, 8158/UDP (SNMP): 162 (IP Servidor) | 128 | EMS | Máximo | 99,99% | 50 |
| | | 192.9.100.60 192.9.100.61 | 384 | ECI | Máximo | 99,99% | 50 |
| MA/DCN | 100 | TCP: 21, 514, 1098, 1099, 5798, 8158/UDP (SNMP): 162 (IP Servidor) | 128 | EMS | Máximo | 99,99% | 50 |
| | | 192.9.100.62 192.9.100.63 | 384 | ECI | Máximo | 99,99% | 50 |
| TO/DCN | 100 | TCP: 21, 514, 1098, 1099, 5798, 8158/UDP (SNMP): 162 (IP Servidor) | 128 | EMS | Máximo | 99,99% | 50 |
| | | Não IP | --- | ALCATEL | N/A | N/A | N/A |

| | | | | | | | |
|----------------------|-----|--|------------|----------------|-----------------|----------------|--|
| | | 192.68.0.2 192.68.0.3 | 384 | Areva (NS III) | Máximo | 99,99% | 50 |
| RR/DCN | 100 | TCP: 21, 514, 1098, 1099, 5798, 8158/UDP (SNMP): 162 (IP Servidor) | 128 | EMS | Máximo | 99,99% | 500 |
| | | 10.101.40.0/24 | 384 | PADTEC | Máximo | 99,99% | 500 |
| RO/DCN | 100 | TCP: 21, 514, 1098, 1099, 5798, 8158/UDP (SNMP): 162 (IP Servidor) | 128 | EMS | Máximo | 99,99% | 200 |
| | | Não IP | 384 | ALCATEL | N/A | N/A | N/A |
| MT/DCN | 100 | TCP: 21, 514, 1098, 1099, 5798, 8158/UDP (SNMP): 162 (IP Servidor) | 128 | EMS | Máximo | 99,99% | 50 |
| | | 10.0.32.0/24 | 192 | ABB | Máximo | 99,99% | 50 |
| | | 10.0.32.0/24 | 192 | NEC | Máximo | 99,99% | 50 |
| | | Não IP | 128 | MARCONI | Máximo | 99,99% | 50 |
| Supervisão | 200 | N/A | 256 | SAGE | Máximo | 99,95% | PA,MA,TO: 50 AP,RR: 550 AC,RO,MT,SP:100 |
| Videoconferência | 300 | TCP: 1718-1720, 2253-2263. UDP: 49152, 49160-49239, 49500, 49501. | 3072 (3Mb) | | Máximo 512 Kbps | 99,95% | PA,MA,TO: 50 AP,RR: 550 AC,RO,MT,SP:100 |
| R3 | | 3000-5000 | | | Máximo 512 Kbps | 99,95% | PA,MA,TO: 50 AP,RR: 550 AC,RO,MT,SP:100 |
| Medição, Faturamento | | 7700 | | | Maior 128 Kbps | 99,5% | PA,MA,TO: 100 AP,RR: 600 AC,RO,MT,SP:200 |
| Oscilografia | | 5800, 5900 | | | Maior 128 Kbps | 99,5% | PA,MA,TO: 100 AP,RR: 600 AC,RO,MT,SP:200 |
| Correio Eletrônico | | 10.61.116.93/32 | | | Maior 512 Kbps | 99,5% | PA,MA,TO: 100 AP,RR: 600 AC,RO,MT,SP:200 |
| VLAN Servidores | | 192.168.2.68:80 192.168.2.69:80 10.61.116.0/22 Excluir: | | | | Menor 384 Kbps | 99% |

| | | | | | | | |
|-------------------------|-----|--------------------|-----|--|--------|--------|---|
| | | 10.61.116.65/32:80 | | | | | |
| Medição, Faturamento | 400 | N/A | 128 | | Máximo | 99,99% | PA,MA,TO: 50 AP,RR: 550 AC,RO,MT,SP:100 |
| Oscilografia | 500 | N/A | 128 | | Máximo | 99,99% | PA,MA,TO: 50 AP,RR: 550 AC,RO,MT,SP:100 |
| CFTV | 600 | N/A | 128 | | Máximo | 99,99% | PA,MA,TO: 50 AP,RR: 550 AC,RO,MT,SP:100 |

Tabela 8-17 – Tabela de QoS

8.2 PLANO DE MIGRAÇÃO

Este Plano de Migração apresenta o detalhamento da convergência da Rede ELETRONORTE e procedimento para mudança da nova topologia, configuração e administração da rede de dados.

A rede convergente terá este Plano de Migração como à base para migrar os serviços hoje existentes de vídeo, voz e dados operativos e corporativos, bem como os outros que tenham características IP e que sejam de interesse da ELETRONORTE. Tais serviços serão fornecidos em uma forma de circuitos lógicos como e estivessem em rede fisicamente separados e isolados.

A proposta do projeto é garantir a segurança e a confiabilidade na migração dos serviços objetivando o mínimo de transtornos e paradas. Para isso se fará uso de redundância de equipamentos de acesso bem como de links de interligação.

Por segurança, este Plano de Migração objetiva que os equipamentos roteadores e swithcs tenham circuitos redundantes e estejam disponíveis até um mês para avaliação e a concordância dos clientes, conforme SLA – Acordos de Níveis de Serviços aprovados.

O sistema atual e o previsto trabalharão em paralelo para garantir a disponibilidade e confiabilidade neste período de transição.

O Plano de Contingência, também objeto deste documento, possibilitará o retorno imediato dos serviços quando da não concordância do cliente com relação a exigências estabelecidas nos contratos de Acordo de Níveis de Serviços – SLA.

Todos os roteadores estarão configurados com Qualidade de Serviços – QoS e utilizando protocolo MPLS.

Todos os switches estarão configurados com 04 (quatro) portas por VLANs.

O Plano de Migração será dividido por Sistemas e Serviços e em paralelo conforme Etapas abaixo descritas.

Etapa I: Sistemas Brasília, Norte-Sul, Roraima e São Paulo.

Sistema Brasília:

Equipamentos:

- Será configurado o roteador 3COM para substituição ao roteador cisco da operadora, a configuração será de responsabilidade da área de manutenção e operação de telecomunicações com acompanhamento da área de TI e o Fornecedor.
- 01 (hum) bastidor, 04 (quatro) roteadores e 02 (dois) switches, serão instalados na sala de telecomunicações;
- Será entregue a área de manutenção e operação de telecomunicações um roteador 3COM para a substituição do roteador alugado para internet e 02 (dois) nobreaks que serão instalados na sala de telecomunicações;
- Será entregue um Switch 3COM para a área de TI a fim da liberação das portas ópticas dos switches Cores a serem interligados com a Rede Convergente;

- Os demais equipamentos de Brasília serão entregues para a área de manutenção e operação de telecomunicações.

Configurações:

- Serão instalados, em paralelo, os 02 (dois) switches 3COM;
- O switch DF-SED-SW-1, IP 10.61.0.58/24 VLAN300, conectado ao Switch Core 1 IP 10.61.0.1/24 via fibra óptica MM;
- O switch DF-SED-SW-2, IP 10.61.0.59/24, VLAN300, conectado ao Switch Core 2 IP 10.61.0.2/24 via fibra óptica MM;
- Entre os switches DF-SED-SW-1 e DF-SED-SW-2 será executado VRRP para criação de um IP virtual, IP 10.61.0.60/24.
- Entre os switches Core 1 e Core 2, na VLAN300, será executado VRRP para criação de um IP virtual, IP 10.61.0.50/24.
- A VLAN100 dos switches DF-SED-SW-1 e DF-SED-SW-2 serão conectados diretamente aos switches da rede DCN;
- A VLAN200 dos switches DF-SED-SW-1 e DF-SED-SW-2 serão conectados diretamente aos switches da rede de supervisão (Configuração pronta para futura migração);
- A VLAN400 dos switches DF-SED-SW-1 e DF-SED-SW-2 serão conectados diretamente ao switch da rede de Medição e Faturamento (Configuração pronta para futura migração);
- A VLAN500 dos switches DF-SED-SW-1 e DF-SED-SW-2 serão conectados diretamente ao switch da rede de Oscilografia (Configuração pronta para futura migração);
- Serão instalados, em paralelo, os 04 (quatro) roteadores 3COM;
- Os roteadores DF-SED-RT-B1 e DF-SED-RT-B2, serão conectados aos switches DF-SED-SW-1 e DF-SED-SW-2, porém não estão conectados diretamente entre si.
- Os roteadores DF-SED-RT-N1 e DF-SED-RT-N2, serão conectados aos roteadores DF-SED-RT-B1 e DF-SED-RT-B2, com redundância 1 para 2,

conectados diretamente entre si e também conectados com os links para as Regionais.

- Será configurado uma base de dados para o EMS, no servidor de banco de dados da área de TI e a aplicação servidor será armazenada no servidor de aplicação da área de manutenção e operação de telecomunicações e os clientes EMS nas Regionais;
- Será configurado roteamentos entre as VLAN100 e VLAN300 para os acessos a aplicação e o Banco de Dados. Será bloqueados os acessos entre as VLAN 200, VLAN 400 e VLAN 500.

Sistema Norte-Sul

Atividades:

- Serão instalados e configurados os equipamentos: bastidor (es), No-break, switch (es) e roteadores na sala de telecomunicações em Miracema, após os testes serão conectados no link existentes;
- Serão criadas rotas nos Switch Cores em Brasília, redirecionado o tráfego LAN para a Rede Convergente;
- Idem para Palmas e Colinas;

Sistema Roraima

Atividades:

- Idem ao item anterior para as localidades de Floresta e Boa Vista.

Sistema São Paulo

Atividades:

- Idem ao item anterior para a localidade de São Paulo.

Será realizada reunião em Brasília com o grupo de trabalho avaliação da migração da Etapa I e definições das datas da migração das Etapas II e III.

Etapa II: Sistemas Pará, Maranhão e Amapá.

Etapa III: Sistemas Mato-Grosso, Rondônia e Acre.

8.3 PROCEDIMENTOS DE INCLUSÃO NO SISTEMA R3

Todos os equipamentos deverão ser cadastrados no Sistema R3 conforme procedimentos de cada Regional.

A partir do Comissionamento todos os equipamentos deverão possuir Ordem de Serviço no Sistema R3.

A Equipe Técnica que fará parte do Comissionamento e/ou Instalação deverão está incluída na Ordem de Serviço correspondente aos equipamentos comissionados e/ou instalados.

Após a entrega da Rede Eletronorte para área de Manutenção e Operação todas as atividades deverão seguir o Plano de Manutenção e Operação – PMO dessa área.

9 ANÁLISE DE UMA FERRAMENTA PARA ACEITE DE ENLACE ÓPTICOS EM CABOS OPGW.

O software HiperionCad é uma ferramenta desenvolvida através de um projeto P&D realizado entre a Eletronorte e as Universidades do Acre e da Bahia. O objetivo é planejar e otimizar projetos de redes de telecomunicações. Essa ferramenta é capaz de analisar propriedades específicas de um enlace, causadas por: potência do sinal óptico, dispersão cromática, PMD (Polarization Mode Dispersion) e até o custo do sistema em análise.

A proposta é otimizar os equipamentos utilizados no sistema óptico da Eletronorte para implantação da Rede Convergente, apresentada no Capítulo 8.

Será aplicado o simulado no sistema óptico do Pará, trecho entre as cidades de Belém, SE Guamá e a cidade de Santa Maria, SE Santa Maria no Pará, que possui uma Plataforma MetroPad DWDM versão 3.1, operando com espaçamento de 100 GHz entre canais adjacentes. A Plataforma Metropad DWDM está homologada pela ANATEL. (figura 9-1)

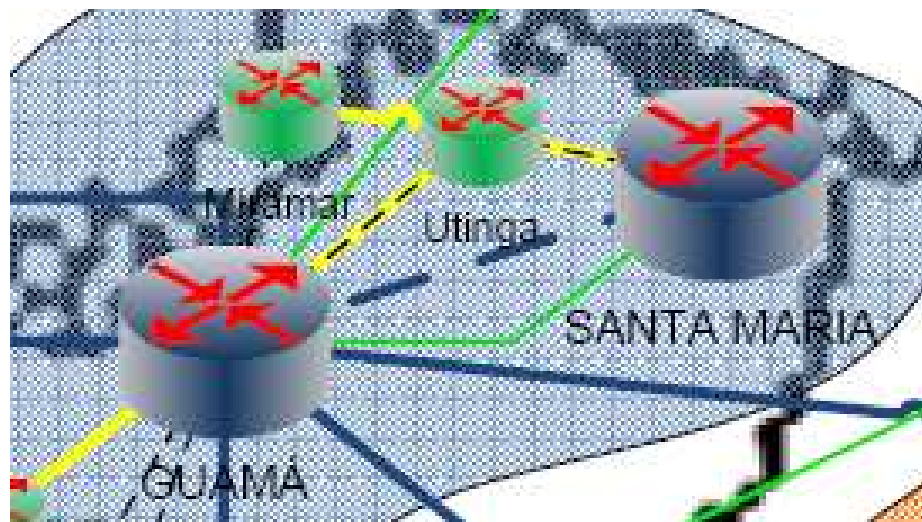


Figura 9-1 – Circuitos Rede Convergente – Trecho SE Guamá a SE Sta Maria

Esse enlace se encontra em fase de comissionamento, isto quer dizer, que ainda a Eletronorte não possui as configurações definitivas dos equipamentos, então serão utilizados valores próximos, dentro de padrão exigido e próximo do ideal.

10 RESULTADOS E DISCUSSÃO.

10.1 RESULTADOS NA IMPLANTAÇÃO DA REDE CONVERGENTE.

Foi observado que a empresa Eletronorte com o potencial que depõem em linhas de transmissão que utiliza cabos OPGW com fibras ópticas disponíveis e se concentrasse os serviços convergindo para canalizações dedicadas e com isso teria mais sobras de canais traria de imediato uma economia de R\$ 3.998.598,69 o que significa 296%.

Esta afirmação está baseada na migração das redes: videoconferência, operativa, corporativa e a DCN para a rede convergente eliminando vários circuitos alugados e mantendo a segurança e a confiabilidade dos dados.

10.2 RESULTADOS ENCONTRADOS NO SIMULADOR

O simulador implementa três cálculos: Cálculo de PMD, Cálculo de Dispersão Cromática e Cálculo de Potência.(figura 10-1)

10.2.1 Cálculo de pmd

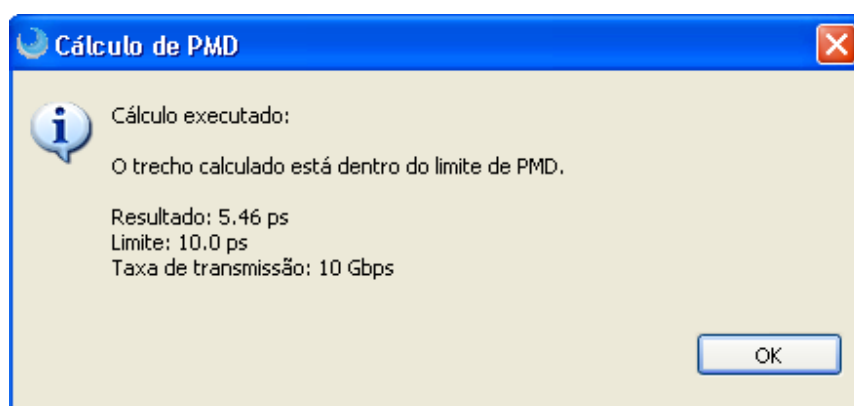


Figura 10-1 – Tela Simulador – Cálculo PMD

O simulador detectou 5.46 ps para o PMD – Polarization Mode Dispersion, que é um importante parâmetro que limita a extensão de enlaces de comunicação óptica de longa distância, no nosso caso está dentro do limite do enlace.

O cálculo de PMD tem limites aceitáveis que variam de acordo com a capacidade do sinal óptico. Portanto, foi criada uma tabela com os diferentes limites aceitáveis de dispersão para cada tipo de taxa de transmissão. As taxas não citadas possuem limites muito elevados, sendo portanto desprezados.

| Sinal | Taxa | Dispersão Limite |
|-----------------|----------|------------------|
| OC-12(STM-4) | 622Mbps | <= 160 ps |
| OC-48(STM-16) | 2.5 Gbps | <= 40 ps |
| OC-192(STM-64) | 10 Gbps | <= 10 ps |
| OC-768(STM-256) | 40 Gbps | <= 2.5ps |

10.2.2 Cálculo de dispersão cromática

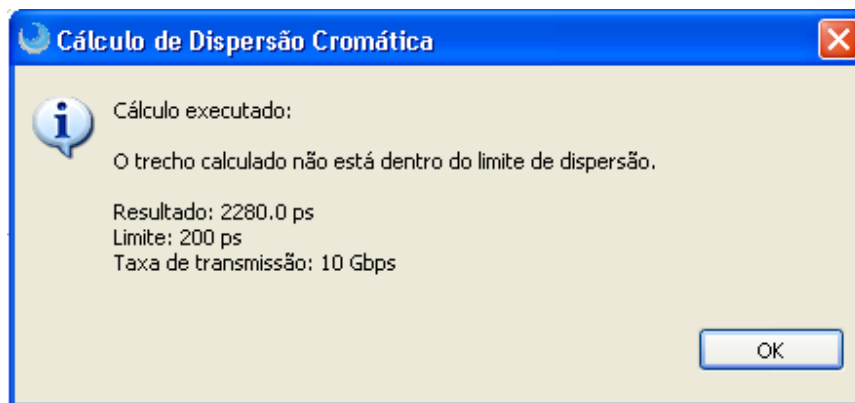


Figura 10-2 – Tela Simulador – Cálculo Dispersão Cromática

O simulador detectou 2.280 ps para o cálculo de dispersão cromática.(figura 10-2)

O cálculo de dispersão tem limites aceitáveis que variam de acordo com a capacidade do sinal óptico. Portanto, foi criada uma tabela com os diferentes limites aceitáveis de dispersão para cada tipo de taxa de transmissão. As taxas não citadas possuem limites muito elevados, sendo portanto desprezados.

| Sinal | Taxa | Dispersão Limite |
|-----------------|----------|------------------|
| OC-12(STM-4) | 622Mbps | ≤ 20000 ps |
| OC-48(STM-16) | 2.5 Gbps | ≤ 1000 ps |
| OC-192(STM-64) | 10 Gbps | ≤ 200 ps |
| OC-768(STM-256) | 40 Gbps | ≤ 40 ps |

O cálculo fornecido pela Empresa PadTec é de 2.286,0 ps/nm. (figura 7.3)

A tabela a seguir apresenta os valores de distância, atenuação e dispersão cromática utilizados no projeto:

| Trecho | | D [km] | Atenuação Total do Link [dB] | Dispersão [ps/nm] |
|---------------------|-------|--------|------------------------------|-------------------|
| Santa Maria do Pará | Belém | 120 | 34,52 | 2.286,0 |

Figura 10-3 – Valores de distância, atenuação e dispersão

10.2.3 Cálculo de potência

O simulador não apresentou resultado. (figura 10-4)

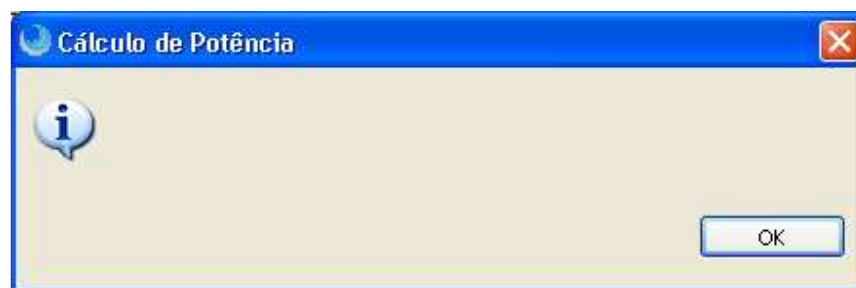


Figura 10-4 – Tela Simulador – Cálculo de Potência

Observamos que o simulador não apresenta o tipo do erro dificultando a análise do resultado, por esse motivo não conseguimos apresentar o “Modo Otimização Genética”.

A equação abaixo foi utilizada pelo simulador para o cálculo de orçamento de potência dos enlaces ópticos:

$$(Pr) \leq Po - (3x \log_2 N) - \left[Dx \left(Lf + \frac{Le}{De} + \frac{Le}{Da} + Mc + Lt \right) + NcxLc + Me + Dd \right] + Gr - Ldcu - Lpmdc$$

Onde:

- Pr: sensibilidade do fotodetector, em dBm;
- Po: potência óptica de transmissão, em dBm;
- N: número de canais transportados pela mesma fibra óptica (em redes SDH é igual a 1, e em redes WDM normalmente é maior que 1);
- D: comprimento de cabo óptico, utilizado como comprimento do vão, em Km;
- Lf: atenuação da fibra óptica por Km na janela escolhida, em db/Km;
- Lê: atenuação da emenda óptica, em dB;
- De: comprimento médio da bobina, em Km;
- Da distância entre emendas adicionais futuras, em Km;
- Mc: margem do cabo por Km, devido ao envelhecimento e variação de temperatura da fibra, em db/Km;
- Lt: variação da atenuação da fibra óptica devido à variação do comprimento de onda de emissão do laser com relação a 1550nm, em db/Km;
- Nc: número de conectores ópticos;
- Lc: atenuação do conector óptico, em db;
- Me: margem do equipamento devido a envelhecimento, em db;
- Dd: penalidade por dispersão, em db;
- Gr: ganho do amplificador Raman;
- Ldcu: atenuação do comprimento DCU;
- Lpmdc: atenuação do componente PMDC.

A execução do cálculo de Orçamento de Potência depende estritamente dos valores contidos nas propriedades dos componentes para apresentar o valor otimizado. Esse valor implicará diretamente no custo final de uma rede, uma vez que, de uma forma geral, equipamentos que produzem um sinal de maior potência custam mais do que equipamentos que produzem um sinal de potência menor, por outro lado, fibras e conectores com menor atenuação também são mais caros.

O parâmetro Algoritmo Genético disponível no HiperionCAD ajustará os valores dos parâmetros dos componentes de forma que o resultado do cálculo não superdimensione ou subdimensione a potência mínima do sinal a ser entregue no receptor. O Algoritmo Genérico opera sobre a rede óptica modelando os dispositivos da rede como cromossomos, figura 10-5.

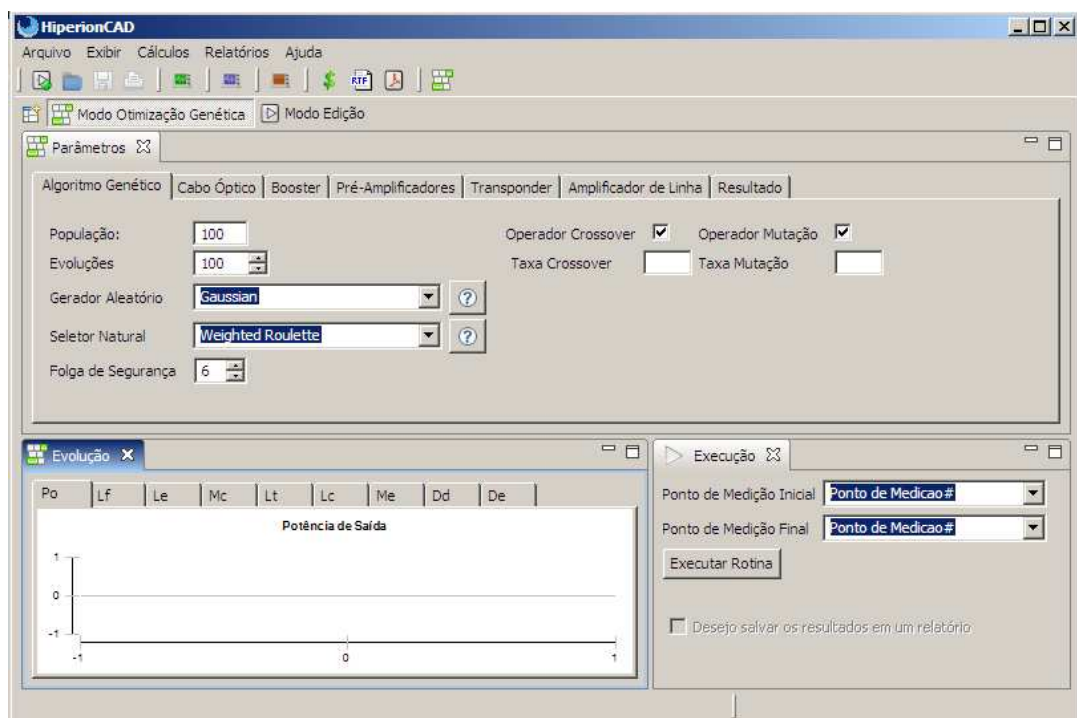


Figura 10-5 – Otimização Genética

11 CONCLUSÃO

Este trabalho foi orientado à aprendizagem na engenharia, que através de pesquisa e estudo de uma tecnologia de redes convergentes e um simulador desenvolvido pela Universidade do Acre e da Bahia, para sistemas de telecomunicações que utilizando como meio de transmissão os cabos pára-raios das linhas de transmissão de energia elétrica, possam dar suporte ao desenvolvimento de redução de custos e novos projetos de telecomunicações.

Os estudos e pesquisas propostos buscassem contribuir para uma melhor otimização dos canais ópticos ofertados pelos sistemas ópticos disponíveis nas empresas do setor elétrico, convergindo os serviços é fato direto na redução de custos tanto orçamentário como de equipamentos, manutenção, gerenciamento, backup e equipes técnicas.

Todos os levantamentos feitos e pesquisados neste trabalho concluem que a utilização de redes independentes gera duplicação de recursos. Nossa contribuição foi desenvolver um projeto básico para implementação de uma rede que possa disponibilizar vários serviços, através de um único meio de transporte, de forma independente e confiável.

Quanto ao simulador cabe ressaltar que foi resultado de um P&D entre as Universidades e a Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A – Eletronorte e que não foi oficialmente testado e criticado pela empresa. Em nosso trabalho contribuímos para validar ou não a ferramenta para uso profissional na área de projetos de telecomunicações.

Após realizar os testes em laboratório e os em ambiente de produção conclui-se que o simulador não está adequado a realidade e necessita de vários ajustes para que possa ser utilizado em projetos de telecomunicações das empresas do setor elétrico.

Conclui-se também que o simulador está adequado para estudos e pesquisas em ambiente acadêmico contribuindo para um desenvolvimento e conhecimentos de equipamentos utilizados em enlaces de transmissão.

Enfim, com relação a proposta da tese, em apresentar um projeto de implantação de uma rede convergente e validação de uma ferramenta de otimização de projetos de telecomunicação utilizando os cabos pára-raios das linhas de transmissão de energia elétrica, foi satisfatório, portanto sugerimos um melhoramento no software HiperionCad que pode ser através de um trabalho de desenvolvimento e pesquisa para atualizar o sistema a realidade do mercado brasileiro.

Quanto à rede convergente concluímos que é a realidade das empresas de telecomunicações em buscar minimizar os custos, seja em equipamentos, equipes técnicas ou em circuitos alugados de terceiros torná-la competitiva no mercado de telecomunicações.

12 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIA

- ABNT NBR 13488 – Fibra óptica tipo monomodo de dispersão normal - Especificação.
- Antonio J. M. Soares, Antônio T. Nassif, Eduardo T. L. Pastor, Georges Amvame-Nze, Humberto Abdalla Júnior, Priscila A. S. M. Barreto, Roque L. Filho, Wilson D. Sampaio, **Redes de Comunicação Convergentes** – Tecnologia e Protocolos, Editora UnB, 2008., p. 149-164.
- Ashwin Gumaste, Tony Antony, **DWDM Network Designs and Engineering Solutions**, 2004.
- Benerjee, A.; Drake, J.; Lang, J. P.; Turner, B.; Kompella, K.; Rekhter, Y. **Generalized multiprotocol Label switching: an overview of routing and management enhancements**, IEEE Communications Magazine, v. 39, n. 1, Jan. 2001.
- BICSI Building Industry Consulting Service international - **LAN Design Manual Telecommunications Distribution Methods Manual** Vol. I, II.
- Cavendish, John. **New transport services for next-generation Sonet/SDH System**. IEEE Communications Magazine, May 2002.
- Comellas, J.; Martinez, R.; Prat, J.; Sales, V; Junyent, G. **Integrated IP/WDM routing in GMPLS-based optical networks**, IEEE Communications Magazine, v. 17, n. 2, Mar/Abr. 2003.
- Conterato, Luiz Sérgio. **Curso Prático e Teórico de Fibras Óticas**. Versão II. 1998.
- Crispim, H.; Pastor, Eduardo T. L.; Abdalla Jr., H.; Soares, A.J.M. et al. **Otimização de alocação de rotas e comprimentos de onda em redes WDM**. XXI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, SBT'04, set. 2004.
- Govidin P.Agrawal, **Fiber-Optic Communication System**, third edition, 2002.
- IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers - Optical Fiber Technology ANSI/TIA/EIA Telecommunications Building Wiring Standards ANSI/TIA/EIA-568-A Commercial Building Standards for Telecommunications Cabling Standards (October 1995)TIA/EIA TSB-72 Centralized Optical Fiber Cabling Guidelines - Draft (September 1995).
- ITU-T G.698.1 - Multichannel DWDM applications with single-channel optical interfaces.
- Kartalopoulos, **Stamatios**. **Next generation Sonet/SDH**, voice and data. Wiley, Jan. 2004.

- Mannie, Eric. **Generalized multi-protocol label switching architecture**, draft-ietf-ccamp-gmpls-architecture-07.txt, May 2003.
- Murthy, C. Siva Ram; Gurusamy, Mohan. **WDM optical networks-concepts**, desing and algorithms. Prentice Hall, PTR, 2002.
- NBR 13981 **Cabos pára-raios com fibras ópticas para linhas aéreas de transmissão (OPGW)** - Curto-circuito - Método de ensaio, 1997.
- Pardaul, Nagib. XVI SNPTEE, STL/016, **A Gerência Integrada de Manutenção, Operação/Gerenciamento e Normalização em Telecomunicações – O Estudo de Caso da ELETRONORTE**, 2001.
- Pendarakis, Dimitrios; Saha, Debanjan; Ramamoorthy, Ramu S.; Bala, Krishna. **IP over optical networks: architectural aspects** Bala Rajagopalan, Tellium, Inc. IEEE Communications Magazine, Sep. 2000.
- Prentice Hall,**Optical Networks – Trird generation transport systems uyles black.**, PTR, 2002.
- Proposta Técnica – Comercial da Padtec S/A; Backbone Óptico DWDM – 2,5 Gbit/s / SDH STM-16 para Atendimento ao Governo do Pará Edital Pregão No 001/2007.
- Rajiv Ramaswami, Kumar N. Sivarajan. **Optical Networks – A Practival Perspective**. Version 1998.
- RFC 3209. RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP Tunnels. Disponível em: www.ietf.org/rfc.html.
- RFC 3212. Constraint-Based LSP Setup Using LDP. Disponível em: www.ietf.org/rfc.html.
- Rossi, S. M.; Rocha, M. L.; Barros, M. R. X. de; Rosolem, J. B.; Paradisi, A. **Optical WDM Networks with Distributed IP-Centric Control Plane**. Submetido ao SBMO, 2002.
- Sato, K.; Yamanaka, N.; Takigawa, Y.; Koga, M.; Okamoto, S.; Shiomoto, K.; Oki, E.; Imajuku, W. **GMPLS-based photonic multilayer router (Hikari router) architecture: na overview of traffic engineering and signaling technology**. IEEE Communications Magazine, v. 40, n. 3, Mar. 2002.
- Sato, Ken-ichi. **Photonic Network Techonology development, Global Optical Communications**, 2002.
- Tomsu, Peter; Schmutzer, Christian. **Next generation optical networks – The convergence of IP intelligence and optical technologies**. Prentice Hall, PTR, 2002.

Traffic engineering Extensions to OSPF. V. 3. Disponível em: www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-ospf-ospfv3-traffic-01.txt

Zarabi, Arun. **Transport of storage service over Sonet/SDH network, Intel/TechOnLine WebSeminar**, May 2005.

13 APÊNDICE

Neste apêndice iremos aprender a instalar e utilizar o software HiperionCad, conforme descrito no capítulo 9.

13.1 INSTALANDO O HIPERIONCAD NO WINDOWS.

Inserir o CD na unidade de CD-ROM / RW / DVD / DVD-RW de seu computador. O conteúdo do CD é mostrado na Fig. 13.1

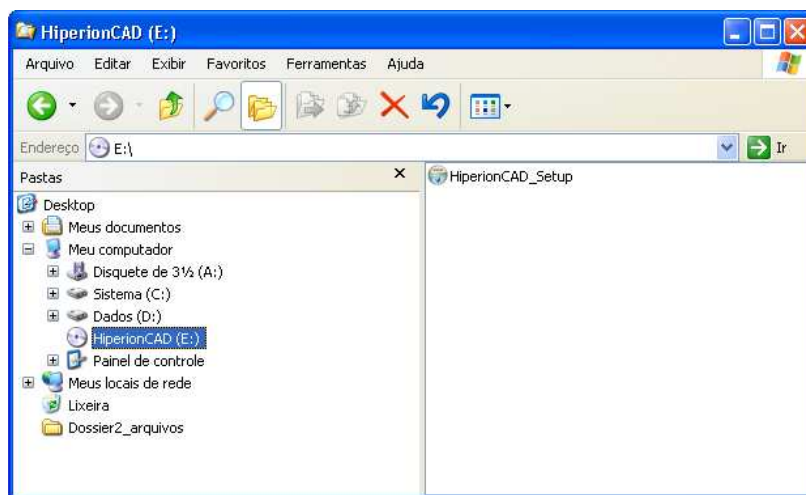


Figura 13-1 – Setup Simulador

Para completar a instalação, basta dar um duplo clique o ícone do software e seguir as instruções de instalação.

13.2 APRENDENDO A UTILIZAR A FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO EM AMBIENTE DE LABORATÓRIO.

O software HiperionCad apresenta um mapa com todos os componentes necessários para uma rede óptica.

Para inserir um objeto no mapa do software HiperionCad, deve-se primeiro clicar sobre o objeto, na Pasta da Paleta de Componentes e carregar-lo para o Mapa.

Para salvar o arquivo o mesmo deve ser salvo na árvore onde o software foi instado, pois detectei que se salvar em outro ambiente corre o risco de o arquivo ficar corrompido.

13.2.1 Projeto técnico laboratório

Iremos criar uma rede DWDM, formada por um MUX DWDM que recebe um canal, ou seja, um comprimento de onda. Essa rede estará interligada através de um cabo OPGW lançado nas torres de linhas de transmissão entre a cidade “A” a 130 km da cidade “B”.

Em atendimento ao projeto técnico apresentamos o diagrama, figura 13.1 e a tabela com as quantidades dos equipamentos utilizados.

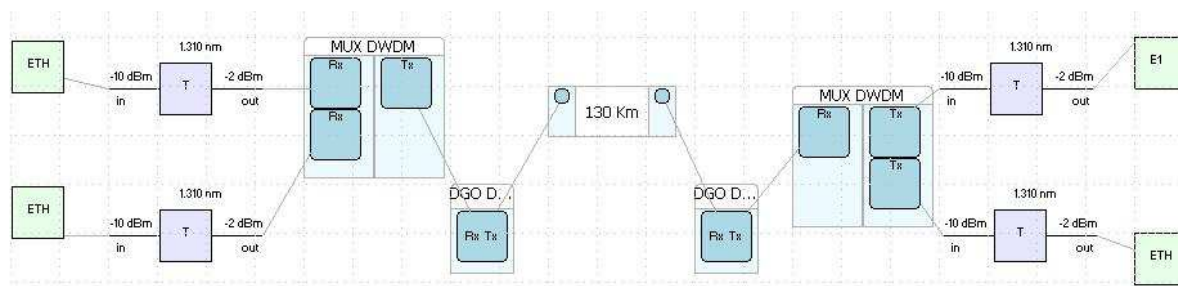


Figura 13-2 – Diagrama Projeto Laboratório

| Item | Equipamento | Cidade A | Cidade B |
|------|-------------|----------|----------|
| 01 | Transponder | 02 | 02 |
| 02 | MUX DWDM | 01 | 01 |
| 03 | Cabo óptico | 04 | 04 |
| 04 | DGO | 01 | 01 |

No primeiro momento iremos utilizar valores recomendados pela ITU-T, ABNT, IEEE e Especificações de Fabricantes.

A Figura 7-3 ilustra a interface do programa após o usuário clicar no botão “Nova Planta”, localizado na Barra de Ferramentas Rápidas.

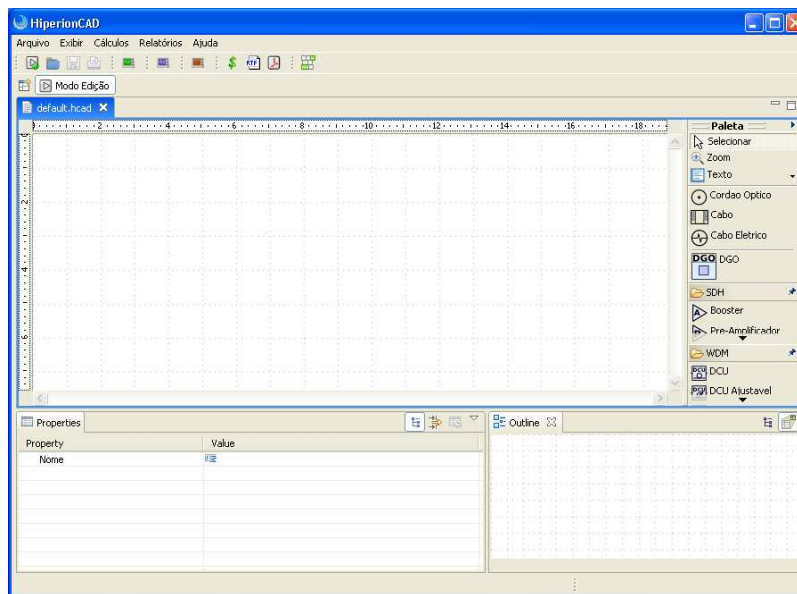
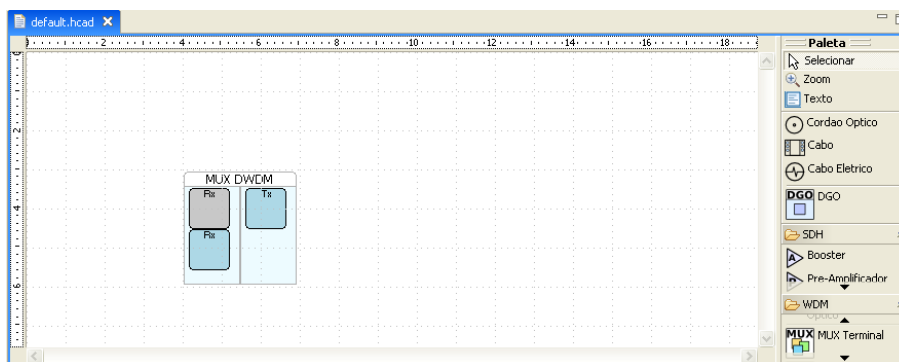


Figura 13-3 – Tela Inicial Simulador

13.2.2 Inserindo os componentes da cidade a.

13.2.2.1 Inserindo o MUX DWDM.



Função: Fazer a multiplexação em frequência de sinais ópticos provenientes de Canais Ópticos e Transponders. Na figura abaixo mostraremos as Caixa de Propriedades.

| Property | Value |
|-------------------------------|----------|
| Espacamento Entre Canais (nm) | 0 |
| Id | Cidade A |
| Maior Canal Transmitido | OC192 |
| Numero Canais | 2 |
| | |
| | |
| | |

Espacamento Entre Canais: Permite que o usuário insira o valor do espaçamento utilizado pelo multiplexador em questão. Vamos utilizar a ITU-T G.698.1 - Multichannel DWDM applications with single-channel optical interfaces, Minimum channel spacing GHz 100 equivalente a 0.8nm. O campo não permitiu um número fracionado por isso utilizei o valor zero.

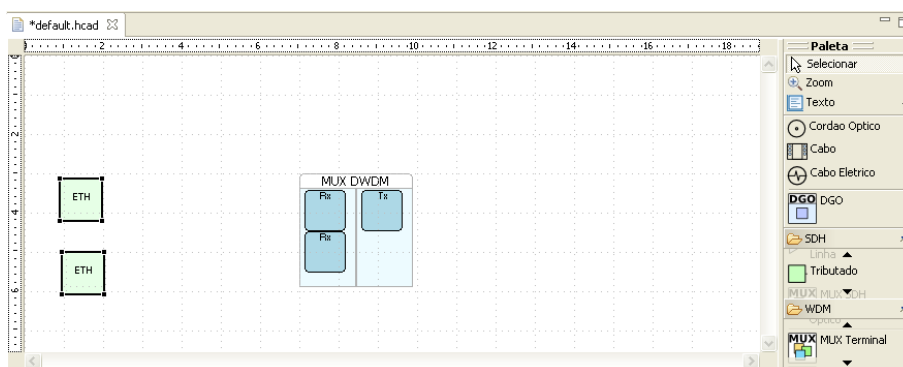
ID: Permite ao usuário criar uma identificação, vamos colocar “Cidade A”.

Maior Canal Transmitido: Permite que o usuário insira o canal de maior banda que este equipamento transmite, o canal será usado para cálculo de PMD e Dispersão. O Sistema utiliza o padrão Sonet, vamos usar “OC192” equivalente ao STM-64, padrão SDH.

Número de Canais: Permite que o usuário insira o número de canais que podem ser inseridos no MUX DWDM, vamos utilizar 02 canais, um principal e um redundante.

O MUX DWDM também pode ter vários canais de entrada, e mais de um agregado de saída. Vamos incluir duas entradas e um agregado de saída.

13.2.2.2 Inserindo o Tributário.



Função: Representar possíveis sinais ópticos provenientes de clientes ou de fontes quaisquer relacionadas ao projetista usuário da rede óptica, eliminando dessa forma preocupações com a rede elétrica formadora do sinal óptico.

Vamos inserir dois tributários do tipo ethernet, com capacidade de saída na taxa de 1 Gbit, um principal e outro para redundância. Na figura abaixo mostraremos as Caixa de Propriedades do Canal principal.

| Property | Value |
|----------|-----------------|
| Id | Canal Principal |
| Nome | Tributado |
| Tipo | ETH |
| | |
| | |
| | |
| | |

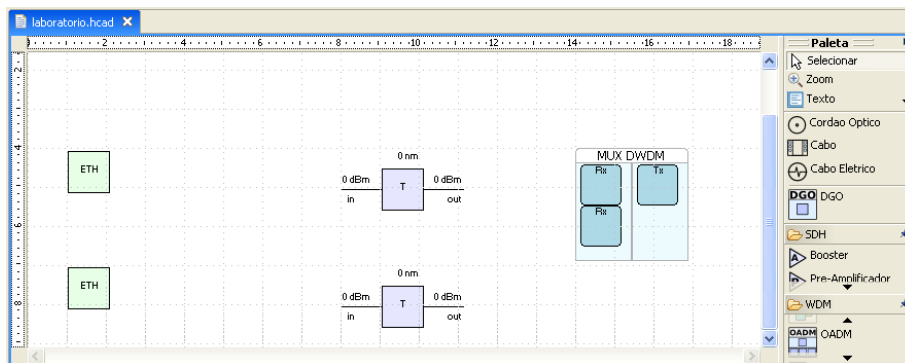
ID: Permite ao usuário criar uma identificação, vamos colocar “Canal Principal”.

Nome: Exibe o nome do componente da rede óptica. Vamos colocar “Tributado”.

Tipo: Permite ao usuário definir o tipo de sinal formador do tributário. Vamos colocar “ETH”.

O canal redundância será idêntico ao canal principal, apenas mudaremos no ID onde chamaremos de “Canal Redundante”.

13.2.2.3 Inserindo o Transponder



Função: Fazer a transformação, ou adaptação, do comprimento de onda do sinal óptico de entrada para um comprimento de onda que se pretende utilizar em determinado trecho do enlace.

Vamos inserir dois Transponder, conforme as características abaixo.

| Property | Value |
|----------------------------------|-----------------|
| Banda optica de entrada max (nm) | 1590.0 |
| Banda optica de entrada min (nm) | 1300.0 |
| Comprimento de onda emissao (nm) | 1310.0 |
| Id | Canal Principal |
| Nome | Transponder |
| Potencia saida min (dBm) | -2.0 |
| Sensibilidade entrada (dBm) | -10.0 |
| Tipo | STANDARD |

Banda Óptica de operação Max.: Permite ao usuário inserir o valor do máximo comprimento de onda de entrada até o qual o Transponder funciona.

Vamos colocar “1590nm”.

Banda Óptica de operação Mín.: Permite ao usuário inserir o valor do mínimo comprimento de onda de entrada até o qual o Transponder funciona.

Vamos colocar “1300nm”.

Comprimento de Onda de Transmissão: Permite ao usuário inserir o valor do comprimento de onda do sinal de saída do Transponder. Vamos colocar “1310nm”.

ID: Permite ao usuário criar uma identificação para diferenciar este transponder de outros inseridos na mesma planta. Vamos colocar “Canal Principal”.

Nome: Exibe o nome do componente da rede óptica. Não pode ser alterado.

Potencia saída mín.: Permite que o usuário insira o valor da mínima potência óptica de saída fornecida pelo Transponder, desde que seja respeitado o limite da potência de entrada. Vamos utilizar -2 dBm .

Sensibilidade entrada: Permite que o usuário insira o valor da mínima potência óptica de entrada para o qual o Transponder poderá operar satisfatoriamente. Vamos utilizar -10 dBm, que está na faixa do tributário que permite transceivers 1000Base-LX-SFP com potência de entrada mínima de -20 à -3dBm, estabelecido pelo Data Sheet.

Tipo: Permite ao usuário editar qual é o tipo de Transponder utilizado. Apresenta os dois tipos mais comuns de Transponder: LONG_HAUL e STANDARD. Vamos utilizar o “Standard”.

Vamos criar o outro transponder para o canal redundante com o mesmo padrão utilizado no anterior.

13.2.2.4 Inserindo o Cordão óptico

Função: Fazer a ligação entre os componentes da rede óptica.

Vamos inserir um cordão óptico, que atenda a ABNT NBR 14106 – Cordão Óptico Monofibra – Especificação para ligar o tributário ao transponder e do transponder ao Mux-DWDM.

| Property | Value |
|--------------|-----------------------------------|
| Cabo | |
| Destino | - T - Transponder Canal Principal |
| Numero Fibra | 1 |
| Origem | Tributado Canal Principal |
| Tipo | Standard |

Cabo: Permite ao usuário identificar a qual Componente está conectado o Cordão Óptico, vamos colocar no que conecta o tributário “Canal Principal” de “Tributário – Canal Principal -> Transponder Canal Principal”.

Destino: Mostra ao usuário qual o destino do Cordão Óptico selecionado.

Número de Fibra: Permite ao usuário identificar a fibra com o qual o cordão faz ligação, para tanto, numera a fibra. Vamos colocar “1”.

Origem: Mostra ao usuário de onde parte o Cordão Óptico selecionado.

Tipo: Permite ao usuário editar o tipo de Cordão Óptico utilizado. Vamos selecionar “Standard”.

Vamos criar agora mais três Cordões Ópticos, um para o tributário redundante, o segundo para o RX1 do Mux-DWDM e o terceiro para o RX2 do Mux-DWDM, mantendo o mesmo padrão do principal.

| Property | Value |
|--------------|------------------------------------|
| Cabo | |
| Destino | - T - Transponder Canal Redundante |
| Numero Fibra | 2 |
| Origem | Tributado Canal Redundante |
| Tipo | Standard |

Cordão óptico entre o tributário redundante e o transponder redundante.

| Property | Value |
|--------------|-----------------------------------|
| Cabo | |
| Destino | Conector Fibra Canal Principal |
| Numero Fibra | 3 |
| Origem | - T - Transponder Canal Principal |
| Tipo | Standard |

Cordão óptico entre o transponder principal e o MUX.

| Property | Value |
|--------------|-----------------------------------|
| Cabo | |
| Destino | Conector Fibra Canal Redundante |
| Numero Fibra | 4 |
| Origem | -T - Transponder Canal Redundante |
| Tipo | Standard |
| | |
| | |

Cordão óptico entre o transponder redundante e o MUX.

13.2.2.5 Inserindo o DGO – Distribuidor Geral Óptico

Função: Fazer a ligação entre a parte interna (dentro das instalações prediais) e a parte externa (nas linhas de transmissão aéreas ou subterrâneas). Desta forma, protege as ligações com o exterior e dá maior discernimento às instalações internas.

Vamos inserir um DGO, para proteger a conexão entre o MUX-DWDM e a cabo OPGW.

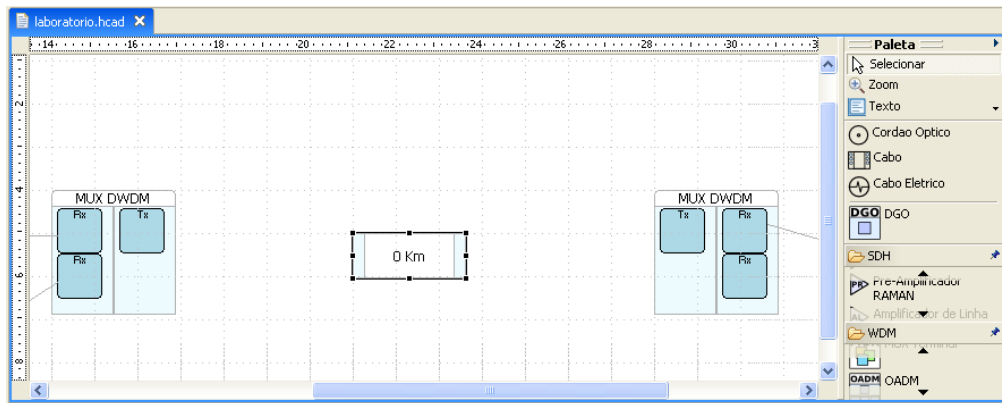
| Property | Value |
|----------------------|-------|
| Id | |
| Nome | DGO |
| Tipo conector optico | FC-PC |
| | |
| | |

ID: Permite ao usuário criar uma identificação para diferenciar este DGO de outros DGOs na mesma planta. Vamos identificar como “DGO-1 Cidade A”.

Nome: Exibe o nome do componente da rede óptica. Pode ser alterado. Vamos deixar o padrão “DGO”

Tipo Conector Óptico: Permite ao usuário definir o tipo de conector óptico aceito pelo DGO em questão. Vamos utilizar o conector “E2000 APC”.

13.2.2.6 Inserindo cabo OPGW



Função: Transportar os sinais de luz no interior das fibras ópticas que suporta.

Vamos inserir um cabo óptico, o cabo óptico será o cabo para-raio das linhas de transmissão entre as cidades A e B.

| Property | Value |
|-----------------------------------|------------|
| Atenuacao Conector Optico (dB) | 0.0 |
| Atenuacao Emenda (dB) | 0.0 |
| Atenuacao Fibra Optica (dB/km) | 0.0 |
| Comprimento (km) | 0 |
| Comprimento Medio Bobina (km) | 0.0 |
| Conectores Opticos | 0 |
| Dispersao Cromatica (ps/nm*km) | 0.0 |
| Distancia Emendas Adicionais (km) | 0 |
| Id | |
| Janela Fibras (nm) | Janela1310 |
| Margem Cabo (dB/km) | 0.0 |
| Margem Equipamento (dB) | 0.0 |
| Modo fibra | Monomodo |
| Nome | Cabo |
| Penalidade Dispersao (dB) | 0.0 |
| PMD (ps/raiz(km)) | 0.0 |
| Rotulo | |
| Tipo | OPGW |
| Tipo Fibra | Standard |
| Variacao Atenuacao Fibra (dB/km) | 0.0 |

Atenuação Conector Óptico: Permite ao usuário a definição da atenuação causada pela utilização de um determinado tipo de conector óptico. Vamos utilizar conectores LC APC SM com perda de “0,3” dB, conforme ET1854 V2 que varia de 0,15 – 0,3 dB.

Atenuação Emenda: Permite ao usuário inserir o valor da atenuação causada pela utilização de um dado tipo de emenda de fibras ópticas. Vamos utilizar fibras SM com perda de “0,04” dB.

Atenuação Fibra Óptica: Permite que o usuário entre com o valor de atenuação do tipo de fibras ópticas presente no cabo para um determinado comprimento de onda. Vamos utilizar a Fibra SM na janela de 1310, conforme a ITU-T G.652 – Characteristic of SM, atenuação será de “0.5” dB/Km.

Comprimento: Permite ao usuário definir o comprimento de um vão, levando em conta o comprimento total dos cabos emendados. Vamos definir “130”Km, que a distância da cidade A para a cidade B.

Comprimento Médio bobina: Permite que o usuário edite o comprimento médio das bobinas de cabos utilizadas em um vão. Vamos utilizar “4” kM.

Conectores Ópticos: Permite ao usuário definir o número de conectores utilizados na fibra óptica em questão. Geralmente esse número é fixo e igual a 2. Vamos utilizar “2”.

Dispersão Cromática: Permite que o usuário entre com o valor do coeficiente de dispersão da fibra utilizada neste cabo, onde se edita as propriedades. Vamos utilizar “19” ps/nm*km, conforme a ITU-T G.652 – Characteristic of SM.

Distância Emendas Adicionais: Permite ao usuário definir o comprimento entre emendas adicionais futuras a serem inseridas no vão óptico em questão. Vamos utilizar “30”km.

ID: Permite ao usuário criar uma identificação para diferenciar este Cabo Óptico de outros Cabos na mesma planta. Vamos utilizar “Cidade A – Cidade B”

Janelas Fibras: Permite que o usuário edite em qual janela ele pretende trabalhar. Vamos trabalhar na janela de “1310” nm.

Margem Cabo: Permite ao usuário definir uma margem para o cabo, por Km, devido ao envelhecimento e à variação de temperatura da fibra presente neste cabo. Vamos utilizar “0,05” dB/km, conforme a ABNT NBR 14591.

Margem Equipamento: Permite ao usuário definir uma margem para a atenuação do enlace gerada pelo envelhecimento dos equipamentos utilizados neste enlace. Vamos utilizar “2” dB.

Modo Fibra: Permite que o usuário defina que tipo de fibra pretende utilizar. Vamos utilizar fibra “monomodo”.

Nome: Exibe o nome do componente da rede óptica. Vamos utilizar “Cabo OPGW”

Penalidade Dispersão: Permite ao usuário inserir a penalidade que o sinal óptico sofre, devido à existência de dispersão neste. Vamos utilizar “0,5” dB, conforme a ABNT NBR 14074.

PMD: Permite que o usuário edite o coeficiente de dispersão por modo de polarização das fibras ópticas presentes no cabo. Vamos utilizar “0,5” ps/√km, conforme a ITU-T G.652 – Characteristic of SM.

Rótulo: Permite que o usuário defina um rótulo para o cabo. Vamos utilizar “6456”

Tipo: Permite ao usuário escolher o tipo de cabo óptico com o qual pretende trabalhar. Vamos utilizar “OPGW”.

Tipo de Fibra: Permite ao usuário escolher o tipo de fibra presente dentro do cabo óptico. Vamos utilizar fibra “Standard”

Variação Atenuação Fibra: Permite que o usuário edite a variação da atenuação da fibra óptica, devido à variação do comprimento de onda de emissão do laser com relação

ao comprimento de onda de emissão. Vamos utilizar “0,01” dB/Km, conforme a ABNT NBR 13488.

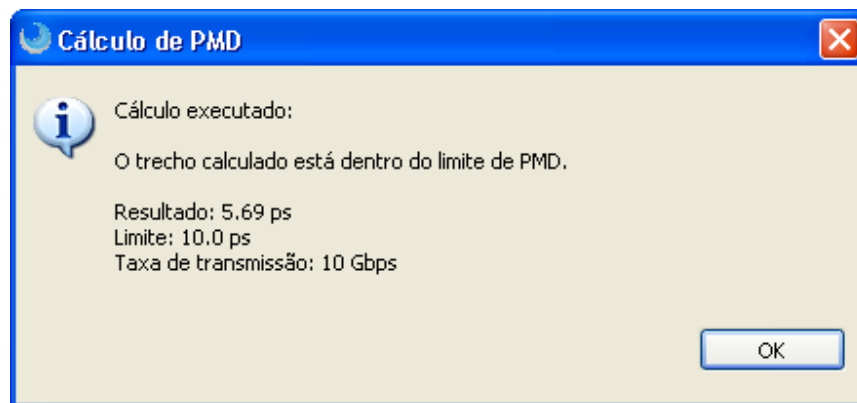
13.2.3 Inserindo a Cidade B

Na cidade B iremos utilizar os mesmo equipamentos e padrões utilizados na cidade A, por tanto os dados se encontram no Anexo II.

13.3 RESULTADOS ENCONTRADOS NO PROJETO LABORATÓRIO

O software HiperionCad implementa três cálculos: Cálculo de PMD, Cálculo de Dispersão Cromática e Cálculo de Potência.

13.3.1 Cálculo de PMD

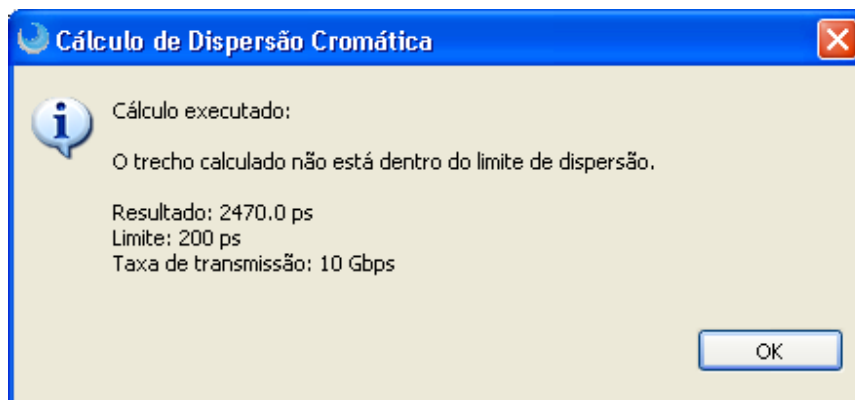


O software HiperionCAD detectou 5.69 ps para o PMD – Polarization Mode Dispersion, que é um importante parâmetro que limita a extensão de enlaces de comunicação óptica de longa distância, no nosso caso está dentro do limite do enlace.

O cálculo de PMD tem limites aceitáveis que variam de acordo com a capacidade do sinal óptico. Portanto, foi criada uma tabela com os diferentes limites aceitáveis de dispersão para cada tipo de taxa de transmissão. As taxas não citadas possuem limites muito elevados, sendo portanto desprezados.

| Sinal | Taxa | Dispersão Limite |
|-----------------|----------|------------------|
| OC-12(STM-4) | 622Mbps | <= 160 ps |
| OC-48(STM-16) | 2.5 Gbps | <= 40 ps |
| OC-192(STM-64) | 10 Gbps | <= 10 ps |
| OC-768(STM-256) | 40 Gbps | <= 2.5ps |

13.3.2 Cálculo de dispersão cromática



Como é de se esperar o software HiperionCAD detectou 2.470 ps para o cálculo de dispersão cromática.

O cálculo de dispersão tem limites aceitáveis que variam de acordo com a capacidade do sinal óptico. Portanto, foi criada uma tabela com os diferentes limites aceitáveis de dispersão para cada tipo de taxa de transmissão. As taxas não citadas possuem limites muito elevados, sendo portanto desprezados.

| Sinal | Taxa | Dispersão Limite |
|-----------------|----------|------------------|
| OC-12(STM-4) | 622Mbps | <= 20000 ps |
| OC-48(STM-16) | 2.5 Gbps | <= 1000 ps |
| OC-192(STM-64) | 10 Gbps | <= 200 ps |
| OC-768(STM-256) | 40 Gbps | <= 40 ps |

13.3.3 Cálculo de potência

A equação abaixo foi utilizada para o cálculo de orçamento de potencia dos enlaces ópticos:

$$(Pr) \leq Po - (3x \log_2 N) - \left[Dx \left(Lf + \frac{Le}{De} + \frac{Le}{Da} + Mc + Lt \right) + NcxLc + Me + Dd \right] + Gr - Ldcu - Lpmdc$$

Onde:

- Pr: sensibilidade do fotodetector, em dBm;
- Po: potência óptica de transmissão, em dBm;
- N: número de canais transportados pela mesma fibra óptica (em redes SDH é igual a 1, e em redes WDM normalmente é maior que 1);
- D: comprimento de cabo óptico, utilizado como comprimento do vão, em Km;

- Lf: atenuação da fibra óptica por Km na janela escolhida, em db/Km;
- Lê: atenuação da emenda óptica, em dB;
- De: comprimento médio da bobina, em Km;
- Da distância entre emendas adicionais futuras, em Km;
- Mc: margem do cabo por Km, devido ao envelhecimento e variação de temperatura da fibra, em db/Km;
- Lt: variação da atenuação da fibra óptica devido à variação do comprimento de onda de emissão do laser com relação a 1550nm, em db/Km;
- Nc: número de conectores ópticos;
- Lc: atenuação do conector óptico, em db;
- Me: margem do equipamento devido a envelhecimento, em db;
- Dd: penalidade por dispersão, em db;
- Gr: ganho do amplificador Raman;
- Ldcu: atenuação do comprimento DCU;
- Lpmdc: atenuação do componente PMDC.

A execução do cálculo de Orçamento de Potência depende estritamente dos valores contidos nas propriedades dos componentes para apresentar o valor otimizado. Esse valor implicará diretamente no custo final de uma rede, uma vez que, de uma forma geral, equipamentos que produzem um sinal de maior potência custam mais do que equipamentos que produzem um sinal de potência menor, por outro lado, fibras e conectores com menor atenuação também são mais caros.

O Algoritmo Genético ajustará os valores dos parâmetros dos componentes de forma que o resultado do cálculo não superdimensiona ou subdimensiona a potência mínima do sinal a ser entregue no receptor. O Algoritmo Genérico opera sobre a rede óptica modelando os dispositivos da rede como cromossomos, figura 7.2.

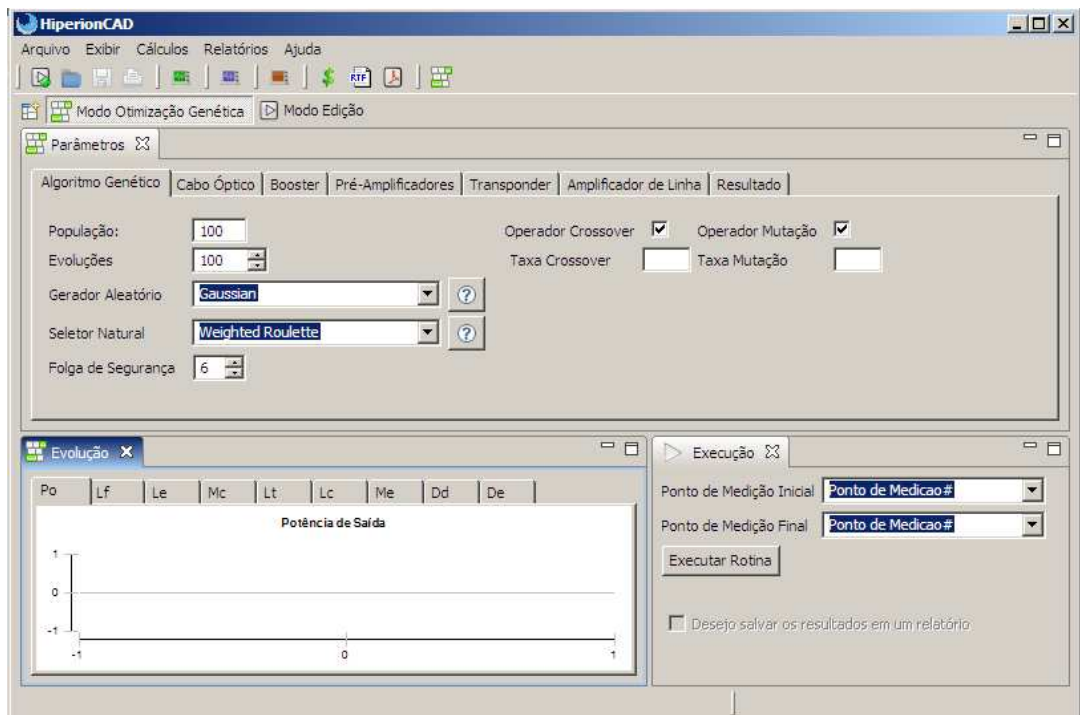


Figura 13-4 – Otimização Genética