

CARLOS EDUARDO SOUZA LOPES  
FREDERICO DA COSTA FERNANDES

**ESTUDO SOBRE A IMPLANTAÇÃO DA TECNOLOGIA  
DWDM NA REGIÃO DE CARATINGA**

BACHARELADO  
EM  
ENGENHARIA ELÉTRICA

DOCTUM-MG  
2015

CARLOS EDUARDO SOUZA LOPES  
FREDERICO DA COSTA FERNANDES

**ESTUDO SOBRE A IMPLANTAÇÃO DA TECNOLOGIA  
DWDM NA REGIÃO DE CARATINGA**

Monografia apresentada à banca examinadora do Instituto Tecnológico de Caratinga-ITC/Doctum, como exigência parcial para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica, sob a orientação do Professor José Eugênio de Oliveira e Silva.

DOCTUM-CARATINGA

2015



**ITC – INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CARATINGA**  
Credenciado pela Portaria nº 3.977 de 06/12/2004  
**Curso: Engenharia Elétrica**  
Reconhecido pela Portaria nº 286 de 21/12/2012.

## FOLHA DE APROVAÇÃO

A Monografia intitulada: Estudo sobre a Implantação da Tecnologia DWDM na região de Caratinga.

Elaborada pelos Alunos: Carlos Eduardo Souza Lopes e Frederico da Costa Fernandes

Foi aprovada por todos os membros da Banca Examinadora e aceita pelo curso de Engenharia Elétrica das Faculdades Integradas de Caratinga – FIC, como requisito parcial da obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

### **BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

Caratinga, 16 dezembro de 2015

---

Orientador: Prof. José Eugênio de Oliveira e Silva

---

Examinador 1: Prof. Joildo Fernandes Costa Júnior

---

Examinador 2: Prof. Vinicius Murilo Lima Rodrigues

Eu **Carlos**, dedico este trabalho à minha mãe Luci, minha esposa Eva Sandra e a minha filha Maria Eva.

Eu **Frederico**, dedico este trabalho à minha esposa Jailene Soares Vieira Fernandes por estar ao meu lado desde o início e fazer parte da minha vida, seu amor, dedicação e incentivo foi essencial para o meu sucesso, e a meu filho Higor Hoffman V. Fernandes que mesmo pequeno me esperou varias vezes acordado para dar um pulo e abraço apertado me dando sempre mais força para o próximo dia, dedico este trabalho.

## AGRADECIMENTOS

A “DEUS” e “NOSSA SENHORA”, por me manter firme na fé e na existência de um DEUS misericordioso e presente;

À minha mãe, fonte de inspiração desta conquista a quem devo tudo o que aprendi e a pessoa em que me mais me espelhei para chegar até aqui;

Minha esposa Eva Sandra, que sem dúvida nenhuma foi quem mais me incentivou a essa conquista e sem ela ao meu lado não chegaria ao fim, fica aqui minha eterna gratidão “amor”;

Minha filha Maria Eva ainda tão pequena e já tão presente nas minhas conquistas sem dúvida hoje razão da minha vida;

Meu pai, que sempre lutou e nos ensinou a seguir o caminho certo e honesto;

Meus irmãos, que sempre estiveram presentes para o que der e vier nos momentos felizes e tristes;

Aos queridos “patrões” de minha esposa: “Chicão” e Márcio, que mesmo sem saber foram uns do que mais me ajudaram nessa trajetória;

Ao meu amigo e parceiro de TCC “FRED” que apesar de todas as nossas dificuldades encontradas durante o trajeto deste trabalho não desanimou;

Agradecimento especial ao professor Jose Eugênio de Oliveira e Silva, orientador dedicado que com sabedoria soube dirigir-me os passos e os pensamentos para o alcance de meus objetivos;

Ao professor e coordenador do curso Joildo Fernandes Costa Junior pelo convívio, pelo apoio, pela compreensão e pela amizade;

A todos os professores do curso, que foram tão importantes na minha vida acadêmica e no desenvolvimento desta monografia. A Rede Doctum de Ensino, pelo incentivo e pelo apoio constantes;

Aos colegas de classe, que durante este tempo juntos passamos por bons momentos, principalmente: Marcos, Gilson, Manoel, Manassés, os quais sempre estavam presentes para a divisão de trabalhos em equipe; e em especial a um deles que DEUS fez outro plano, mas sempre esteve com a gente com certeza, valeu Edson... E, a todos que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida e que de alguma forma doaram um pouco de si para que a conclusão deste trabalho se tornasse possível (**Carlos Eduardo Souza Lopes**).

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por der-me força para enfrentar todas as adversidades desde o início da minha trajetória para ingressar na universidade.

Aos meus pais Carlos Fernandes de Souza e Marlene da Costa Fernandes agradeço pela força e confiança, sempre acreditando na minha capacidade de vencer e seguir em frente, principalmente nos momentos difíceis, mas também nos momentos alegres e de satisfação pela vitória alcançada.

Aos meus irmãos Carlos Fernandes de Souza Junior e Rafael da Costa Fernandes, sempre muito queridos e divertidos, desde início da minha caminhada tiveram ao meu lado.

Aos meus colegas de sala que nessa jornada foram companheiros no andamento das atividades propostas nesse longo período e em especial aos amigos Manoel Cangussu, Marcos Damont e Gilson Junior.

Aos amigos Carlos Eduardo Souza Lopes e Eva Sandra que juntos sofremos, lutamos e vencemos vários obstáculos, criando uma sólida e forte amizade.

Ao professor e Coordenador do Curso Joildo Fernandes Costa Junior pelo convívio, apoio, compreensão e principalmente pela amizade.

Ao professor Jose Eugênio de Oliveira Silva pela paciência na orientação e incentivo que tornaram possível a conclusão o TCC.

A empresa Super Cabo TV Caratinga, em especial o Diretor e grande amigo Aníbal Martins J. Junior que acreditou em meu potencial e no meu crescimento profissional (**Frederico da Costa Fernandes**).

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original”.

Albert Einstein

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Multimodo.....	20
Figura 2 – Feixe de Luz.....	20
Figura 3 – Monomodo .....	21
Figura 4 – WDM e suas Tecnologias .....	24
Figura 5 – Separação de um Feixe de Luz em Cores .....	30
Figura 6 – Conceito de TDM.....	31
Figura 7 – Esquematização do DWDM.....	32
Figura 8 – DWDM com Acompladores e Filtros.....	33
Figura 9 – Princípios do DWDM.....	35
Figura 10 – Esquema de um Demultiplexador.....	37
Figura 11 – Transmissão Convencional TDM.....	38
Figura 12 – Aquitetura de uma Planta Externa do Projeto.....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de Portadora Ótica.....	36
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
HFC	Hybrid Fibre-Coaxial (Fibra Coaxial Híbrida)
GBPs	Gigabytes por segundo
GHz	Giga-hertz
KM	Quilômetro
LANs	Local Area Network
MPLS	Multiprotocol Label Switching
MUXFINs	Multiplexadores com Interface Normalizada
OM	Optical Multiplexer
SAN	Storage area Networks
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SRLG	Shared Risk Link Group
STM	Synchronous Transport Module
TDM	Time Division Multiplexing
TV	Televisão
UWDM	Ultra - Dense Wavelength Division Multiplexing
VC	Virtual Container
VPN	Redes Privadas Virtuais
WDM	Wavelength Division Multiplexing

## RESUMO

O presente trabalho analisa a tecnologia WDM e suas vantagens na transmissão de dados e sua aplicação no ramo da internet com ramificação para a TV a Cabo. A viabilização deste estudo se fez com a aplicação do avançado sistema DWDM que tem maiores possibilidades de atender a região de Caratinga-Mg, com a possibilidade de melhorar a comunicação entre as pessoas e garantir o seu bem estar a um custo bem menor do que os praticados atualmente no mercado. A utilização do sistema WDM é fundamental porque ele suporta uma largura de banda consideravelmente maior do que as tecnologias anteriores possibilitando a utilização de diferentes como os SDH/SONET, ATM, IP, etc. Para melhor adaptar ao perfil do mercado local decidiu-se usar um sistema mais avançado o DWDM que exige a utilização da fibra ótica como meio de transmissão de dados e voz. É o WDM em alta velocidade que permite a transmissão de um grande volume de dados. O DWDM utiliza o sistema de multiplexação funcionando como um prisma. Sua implantação na cidade de Caratinga-MG, está programada para atender aos consumidores de acordo com a sua área de residência, a princípio no perímetro urbano, com possibilidades de expansão para as pequenas cidades periféricas a partir do uso de cabo de fibra óticas e cabos metálicos com suporte de multiplexadores e transponders capazes de transformar sinais óticos em elétricos e revertê-los para o consumidor final. O projeto é viável tecnicamente e aguarda interessados para a sua implementação para os devidos cálculos de viabilidade econômica.

**Palavras Chaves:** Comunicação; DWDM; Transmissão; Sinais Óticos.

## **ABSTRACT**

The present work analyzes the WDM technology and its advantages in data transmission and its application in the internet with branch to the cable. The feasibility study was made with the application of advanced DWDM system that has greater possibilities of meeting the Caratinga-MG, with the possibility of improving the communication between people and ensure their welfare at a cost far lower than those of currently on the market. The use of WDM system is critical because it supports a bandwidth considerably larger than previous technologies enabling the use of different as SDH/SONET, ATM, IP, etc. To better adapt to the local market profile, it was decided to use a more advanced DWDM system which requires the use of fiber optics as a means of data transmission and voice. Is the high-speed WDM allowing the transmission of a large volume of data. The DWDM multiplexing system functioning as a Prism. Their deployment in the city of Caratinga-MG is scheduled to meet consumers according to their area of residence, at first in the urban perimeter, with expansion possibilities for small regional towns from the use of optical fiber cable and wire ropes with multiplexers and transponders capable of transforming optical signals into electrical and revert them to the final consumer. The project is feasible technically and awaits interested for their implementation for the proper calculations of economic viability.

**Keywords:** Communication; DWDM; Transmission; Optical Signals.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>CONSIDERAÇÕES CONCEITUAIS .....</b>	<b>15</b>
<b>1 FIBRA ÓTICA.....</b>	<b>19</b>
1.1 A TECNOLOGIA SDH.....	22
<b>2 A TECNOLOGIA WDM.....</b>	<b>24</b>
2.1 A EVOLUÇÃO DO WDM .....	26
<b>3 O SISTEMA DWM E SUA APLICAÇÃO .....</b>	<b>30</b>
3.1 IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DWDM EM CARATINGA .....	36
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>41</b>

## INTRODUÇÃO

No mundo moderno e competitivo cada passo dado corresponde a uma nova descoberta, principalmente no que se refere aos serviços de telecomunicações tendo a *internet* como seu “carro chefe”. A tecnologia WDM é um sistema que possibilita a transmissão de vários feixes de luz em frequências diferentes numa mesma fibra ótica, possibilitando assim uma transmissão superior a 100 vezes a tecnologia comum. Hoje temos diversas empresas prestadoras de serviços no ramo de *internet*, no qual o usuário geralmente procura o custo benefício oferecido.

Neste caso, será abordada a região de Caratinga- MG, e uma prestadora de internet e tv a cabo denominada: Super Cabo TV. A empresa Super Cabo TV presta serviços de “TV” por assinatura e *internet*. Para subsidiar o assunto do presente estudo será estudado apenas o ramo da *Internet*, com o objetivo de verificar aquilo que pode ser feito para a melhoria da prestação deste serviço, já que as principais reclamações de usuários estão relacionadas com a qualidade da *Internet*, e ainda, saber se a empresa realmente está preocupada em prestar o serviço de *Internet* com qualidade ao consumidor ou, pelo menos, dentro do contrato realizado entre as partes.

Para superar as deficiências e melhorar os sinais de *Internet* foi criado o sistema WDM, a qual remonta inovação tecnológica para integrar as redes de dados, voz e imagem de altíssima capacidade, já que permite o tráfego de qualquer tecnologia, independente do fabricante, que podem ser transmitidos por canal à velocidade de 10 Gbps, podendo chegar a 1Tbps na transmissão de dados por fibra ótica, sendo assim capaz de realizar um serviço mais confiável e rápido, o que de fato se tornaria alternativa imediata para prestar um serviço de internet de qualidade e atender assim os anseios de seus usuários.

Para viabilizar este estudo, decidiu-se trabalhar com o avançado sistema DWDM que tem maiores possibilidades de atender a região de Caratinga-Mg.

A referida pesquisa terá a seguinte fundamentação teórica: revisão bibliográfica; repassar conceitos básicos; agregar projetos e teses relativos ao tema proposto que farão parte de um grupo de objetivos caracterizados na construção teórica da pesquisa.

A ação de revisão bibliográfica será estruturada e ancorada fundamentalmente no marco teórico, a fim de parametrizar a bibliografia básica e complementar onde irão determinar os conceitos relacionados direta e indiretamente ao do tema descrito.

Para as ações traçadas, algumas metas como a comparação de fatores teóricos e práticos para um direcionamento de análise eficaz do objeto de estudo proposto, bem como as modificações que forem necessárias ao longo do projeto de pesquisa e observação nos sistemas já implantados no Brasil e no mundo.

Observar detalhes da estrutura básica revendo os conceitos fundamentais para a sua utilização e ver as características de cada ponto a ser utilizado no processo de implantação da tecnologia DWDM, uma vez que cada sistema se comporta de uma forma específica, por isso a importância de se esclarecer qual sistema utilizar em cada situação.

O projeto de monografia referido acima será composto e dividido basicamente em três capítulos.

No primeiro capítulo serão abordados os princípios e funcionamento da fibra ótica, suas vantagens e desvantagens e os tipos mais utilizados, bem como os aspectos gerais de sua utilização na tecnologia SDH (Synchronous Digital Hierarchy) e em sistemas mais avançados.

O segundo capítulo será avaliado todo o sistema da tecnologia WDM, suas características e a evolução deste sistema. Será analisado também o IP/WDM e as filosofias de proteção.

O terceiro capítulo tratará especificamente do subsistema DWDM e sua aplicação analisando a eficácia deste sistema e como isso pode melhorar a vida dos cidadãos a partir de sua utilização.

Portanto, este estudo fará uma análise da viabilidade da implantação da tecnologia DWDM na Região de Caratinga-MG, para utilização de internet e para TV a cabo, visando sempre à melhoria da comunicação entre as pessoas e com isso garantir o seu bem estar a um custo bem menor do que os praticados atualmente no mercado.

## CONSIDERAÇÕES CONCEITUAIS

No sentido de realizar um estudo sobre o que pode ser feita para a melhoria de serviços relacionados a área de internet, tudo o que é novo e moderno com toda a certeza se faz *jus* com que sejam cobrados valores que podem ser um pouco fora da realidade de algumas empresas, porém o investimento se faz necessário devido a grande demanda do mercado tecnológico voltada para a internet.

Com isso, o produto descrito deve ser sempre bem analisado, não somente na questão financeira de investimentos, mas também na satisfação do consumidor, pois o grau de satisfação deste será a “chave” para um novo produto e, conseqüentemente, dar continuidade e manutenção da empresa em um mercado altamente competitivo e globalizado.

Para não estagnar e ficar fora do mercado, as empresas precisam se adaptar às novas tecnologias, como forma de continuar prestando serviço de qualidade aos usuários de seus produtos.

A tecnologia WDM foi empregada inicialmente para aumentar a capacidade de transmissão de enlaces ponto-a-ponto, com sistemas em capacidade crescente tanto em termos do número de comprimento de onda quanto da taxa de transmissão de cada um deles. Em relação ao número de comprimentos de onda, os primeiros sistemas carregavam de 4 a 8 comprimentos de onda, enquanto atualmente já operam comercialmente sistemas com mais de 40 comprimentos de onda em uma única fibra. No tocante à velocidade de processamento, cada canal óptico é modulado em 2,5 ou 10 Gbps, com possibilidade de evolução para 40 Gbps e 100 Gbps em um futuro próximo, empregando-se certos artifícios para se estender os limites da eletrônica<sup>1</sup>.

Em outras palavras, a multiplexação é à entrada de vários canais, os quais estão centralizados em uma única fibra óptica (único canal), gerando com isso custos bastante reduzidos, sem deixar de lado a eficácia da rede.

O início dos sistemas WDM, (Wavelength Division Multiplexing), ou seja: (Multiplexação por Divisão de Comprimentos de Onda), se deu por volta do fim dos anos 80 onde se utilizava somente dois comprimentos de onda, em meados dos anos 90 já eram de quatro a oito comprimentos de onda também chamados de

---

<sup>1</sup> GALDINO, Lídia. **Análise de desempenho de redes ópticas híbridas WDM/OCDM**. Dissertação Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Campinas, SP, 2008. p. 1.

CWDM, (Coarse Wavelength Division Multiplexing), já no fim da década de 90 surgiu a DWDM, (Dense Wavelength Division Multiplex), que possui de dezesseis a quarenta comprimentos de onda, por fim no início deste milênio já existe o UDWDM, (Ultra - Dense Wavelength Division Multiplexing), que possui de cento e vinte e oito a duzentos e cinquenta e seis comprimentos de onda.

Todos os intitulados WDM, tem o mesmo princípio de funcionamento, o que faz com que se devam levar em conta as características de cada um, pois para cada caso se apresenta um custo - benefício próprio.

Nesse sentido, o presente projeto de trabalho de Conclusão de Curso se justifica já que apresenta uma tecnologia nova, por meio da WDM, cujas inovações se amoldam à necessidade da região de Caratinga-MG e da empresa Super Cabo TV, como forma de melhorar, aprimorar e qualificar ainda mais seus serviços de *Internet*, o que se infere que resolverá os problemas e as principais reclamações dos usuários, principalmente aquelas relacionadas à velocidade e qualidade da Internet.

Pelo estudo proposto de aperfeiçoamento e melhoria na rede física da estrutura da empresa Super Cabo TV se faz necessário um custo que além da melhoria do sistema geral de transmissão de TV por assinatura abrangerá principalmente o foco estudado que é a internet distribuída que irá possibilitar o aumento de novos clientes em até 30% em relação à tecnologia já implantada desde então, pois não havendo a necessidade de se reduzir os pacotes de internet destinados a cada cliente ficam mais confiáveis à transmissão de informações e sem perda de qualidade do serviço prestado.

Hoje a atual estrutura da empresa Super Cabo Tv, a arquitetura HFC (*Hybrid fibre-coaxial, ou seja: Fibra-coaxial híbrida*), é uma rede de telecomunicações em meio confinado, que combina fibra ótica e cabo coaxial como suportes para a transmissão de sinais. Embora existam redes diferentes da HFC, com tecnologias que são modificações das tecnologias para LANs, (Local Área Network), a difusão muito maior daqueles tipos de rede a cabo levou a que o par HFC+cable modem dominasse totalmente o cenário, de tal forma que ambos os termos são hoje usados na literatura como se fossem sinônimos, para referência à própria tecnologia.

A rede HFC se compõe basicamente de quatro partes claramente diferenciadas: a cabeceira (ou headend), o headend é o centro de onde se governa todo o sistema. Sua complexidade depende dos serviços suportados pela rede. A rede tronco pode apresentar estrutura em forma de anéis redundantes de fibra ótica

que unem um conjunto de nós primários; a rede de distribuição, e a rede de usuários.

Para suprir a deficiência que se tem conhecimento dos cabos coaxiais em relação às fibras óticas quanto à qualidade do uso da internet, que o presente estudo sobre a implantação do sistema de tecnologia WDM se faz necessário provocando assim uma nova forma de se prestar serviço aos clientes já filiados à empresa e assim como aos novos clientes que porventura se tornarão parte da empresa.

Assim sendo:

Para resolver estes e outros problemas, aumentando significativamente a capacidade de transmissão das fibras óticas, inclusive com a utilização das já existentes na planta e, também outros como, o da escassez de cabos de fibra ótica, em uma determinada localidade, trazendo uma substancial redução nos preços e custos envolvidos, foi desenvolvida a tecnologia WDM<sup>2</sup>.

Por isso hoje, no que diz respeito à transmissão de dados e internet o uso de fibras óticas são em 90% dos casos utilizados devido as suas características que correspondem a relação custo-benefício muito interessante aja visto que não se tem tanta manutenção.

Para o presente trabalho fica fundamentado o seguinte marco teórico abaixo onde se tem suas respectivas análises sobre a tecnologia descrita:

O sistema WDM suporta uma largura de banda consideravelmente maior do que as tecnologias anteriores (superando os Tbps), além de diversos serviços (existentes e novos a surgir) e também diferentes protocolos (SDH/SONET, ATM, IP, etc.). Nenhuma outra tecnologia de comunicação consegue competir com essa no quesito custo-eficiência. Por isso, o uso de fibra vem crescendo de maneira significativa e se aproximando do uso residencial<sup>3</sup>.

Todavia o que se mais tem notado é o quanto viável serão em breve devido aos impactos financeiros futuros:

---

<sup>2</sup> FERNANDES, Luiz Felipe de Camargo. **Tutorial WDM\_Teleco2**.SP.2003, p. 12.

<sup>3</sup> ROCHA, Renato Silva, 1984-R672r **Relação custo-benefício em redes óticas hierárquicas** . Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico 2011, p. 18.

O desenvolvimento de redes inteiramente óticas usando a tecnologia WDM terá um impacto revolucionário nas redes de banda larga. Em termos económicos, esse impacto será enorme, já que tornará desnecessária a instalação de mais fibras para aumentar a capacidade das redes já existentes, permitindo um crescimento gradual da rede e constituindo uma forma extremamente eficiente de utilização das fibras já instaladas<sup>4</sup>.

Ademais, ao se aprimorar a inovação tecnológica, a empresa se mostra capaz de buscar mecanismos de satisfação ao cliente, o que significa atrair novos usuários/consumidores, gerará demandas por serviços e aumentará o faturamento, dado logicamente ao entendimento de que quanto melhor o serviço prestado, maior a satisfação do cliente e o aumento da arrecadação da empresa, já que apresenta um serviço de “ponta” e se mostra competitiva no mercado.

Para garantir uma melhor adaptação ao perfil do mercado da região de Caratinga-Mg, decidiu-se analisar a implantação de um sistema mais avançado: o DWDM.

---

<sup>4</sup> CARVALHO, Joel Pedro Peixoto de. **Redes Óticas WDM**. Universidade do Porto – FEUP. Cidade do Porto, Portugal. 2002. p. 5-6.

## 1 FIBRA ÓTICA

A fibra ótica é um filamento extremamente fino e flexível, feito de vidro ultrapuro, plástico ou outro isolante elétrico (material com alta resistência ao fluxo de corrente elétrica). Possui uma estrutura simples, composta por capa protetora, interface e núcleo. A tecnologia tem conquistado o mundo, sendo muito utilizada nas telecomunicações e exames médicos, como endoscopias e cirurgias corretivas de problemas visuais, entre outras aplicações possíveis, como também nas linhas de transmissões de dados.

Entre os benefícios das fibras óticas estão a substituição dos fios de cobre, principalmente no campo das telecomunicações, por não sofrerem interferência eletromagnética devido ao caráter dielétrico (isolante) do material. Em outras palavras, não há distorção do sinal por causa dos ruídos elétricos do ambiente externo ou das fibras óticas também agrupadas no cabo. Assim, a perda de informações durante o trajeto não é relevante. Por outro lado, devido à dificuldade de desvio de sinal, as fibras são consideradas um meio bastante seguro para o transporte de dados, ideal para o uso em redes com alto nível de privacidade.

A fibra ótica funciona assim: o feixe de luz é aplicado a uma das extremidades percorre a fibra até sair pela outra extremidade, podendo este percurso atingir centenas de quilômetros sem a necessidade de que o sinal seja regenerado. A estrutura básica das fibras óticas consiste em um conjunto de cilindros concêntricos, cada um com uma determinada espessura e determinado índice de refração, de forma que possibilitem o fenômeno da reflexão interna total.

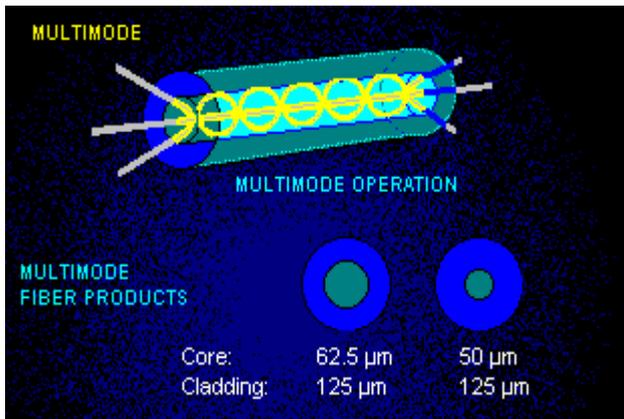
Por isso, a fibra ótica tem suas vantagens e desvantagens. Entre as vantagens da fibra ótica estão a transmissão de dados com grande rapidez; não sofre interferência de sinais de RF; os cabos de fibra ótica transmitem dados a longas distâncias com pouquíssimas perdas. Entre as desvantagens estão o alto custo dos cabos de fibra ótica e as conexões de fibra ótica não se encontra disponíveis em diversas áreas o que impede o seu uso.

Na transmissão de dados através da fibra ótica, existem dois principais tipos de cabos: o multimodo e o monomodo.

Nas fibras multimodo, as primeiras a serem comercializadas, são permitidos que vários raios (modos) se propaguem simultaneamente pelo cabo. A existência de

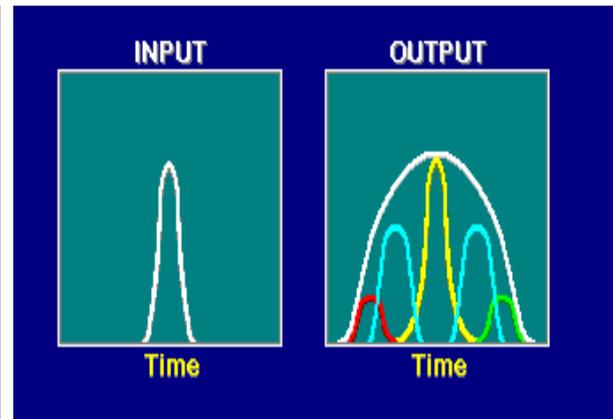
vários modos de propagação provoca a chamada dispersão modal, o que limita a largura de banda. Este tipo de fibra é utilizado em intranets, onde as ligações não têm mais de dois quilômetros<sup>5</sup>. Existem dois tipos de fibras multimodo: a “step index”: Neste cabo o índice de refração do centro do cabo (core) é uniforme. A luz propaga-se se refletindo na diferença do índice de refração entre o núcleo ( $n_1$ ) e a bainha ( $n_2$ ); e o “graded index”: Neste cabo o índice de refração do núcleo decresce progressivamente do centro para a periferia, assim os raios estão continuamente a ser defletidos para o centro da fibra, diminuindo as diferenças nos comprimentos das trajetórias. Estas fibras podem ter uma largura de banda na ordem de 10 vezes maior que a largura permitida pela fibra “step index” (Idem, p. 1). Figuras 1 e 2.

Figura 1 - Multimodo



Fonte: Fibra Ótica (Idem, p. 1)

Figura 2 – Feixe de luz



Fonte: (Idem, p. 1).

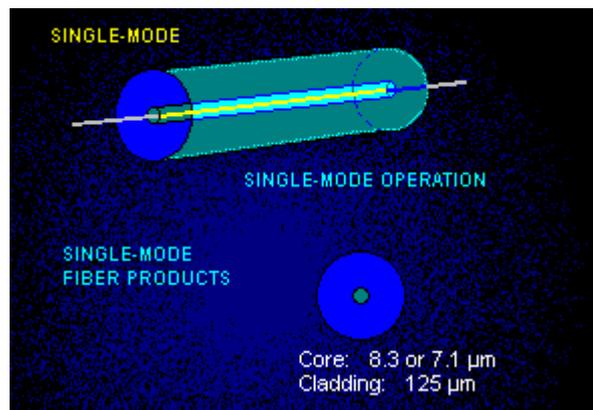
Nas fibras multimodo vários modos (raios) são enviados com um pulso de luz (a luz não é monocromática), como existem vários caminhos possíveis, o pulso inicial vai-se separar nos modos mais rápidos (trajetória mais curta) e modos mais lentos. Este fenômeno limita a taxa de transmissão das fibras multimodo. A tecnologia de fábrica tenta que a diferença entre os raios mais rápidos e os mais lentos seja o menor possível, um dos exemplos é a fibra “*graded index*” (Idem, p.1).

No outro tipo de fibras óticas mais usadas, o monomodo, apresenta o core com o diâmetro muito menor que os cabos multimodos. Figura 3.

<sup>5</sup> FIBRA ÓPTICA, **Tipos de Cabos**. Disponível em <https://student.dei.uc.pt/~pferro/trav1/trav2.html>. Acesso em 12/10/2015.

Estas fibras só permitem que um único raio (modo) se propague de cada vez. Assim consegue-se suprimir o problema das diferenças de comprimento das trajetórias, conseguindo assim uma largura de banda elevada (100 a 1000 vezes a conseguida com “*step index*”). Estas fibras têm o preço como principal desvantagem, até porque obrigam à utilização de diodos LASER. São utilizadas para percorrer grandes distâncias e começam a ser utilizadas como *backbones* (Idem p. 1).

Figura 3 - Monomodo



Fonte: Fibra Óptica (Idem p. 1)

Portanto o seu uso nas tecnologias SDH (Synchronous Digital Hierarchy) é fundamental para a expansão das demais tecnologias como a DWDM. É que a tecnologia SDH desenvolveu um novo conceito de multiplexar sinais digitais, minimizando os processos de multiplexação, e utilizando o conceito de camadas. As funções de informação e transmissão encontram-se divididas em três camadas que são: a camada seção de multiplexação, a camada seção do regenerador e a camada seção de rota. As camadas guardam uma relação hierárquica, cada camada baseia-se nos serviços proporcionados pelas camadas inferiores. No quadro SDH, o STM (Synchronous Transport Module) inclui a seção de rota, seção de multiplexação, seção do regenerador bem como a carga de informação conhecida como payload. A rota é uma conexão lógica entre o ponto que o serviço entra na rede até o ponto onde é extraído, o elemento terminador de rota é um elemento que multiplexa/de multiplexa a carga VC (Virtual Container) <sup>6</sup>.

<sup>6</sup> HIERARQUIA DIGITAL SÍNCRONA (SDH) BÁSICO: Departamento de Desenvolvimento de Recursos humanos, 3ª edição, 1/nov.1996. (apostila técnica).

## 1.1 A TECNOLOGIA SDH

A tecnologia SDH provou ser mais eficiente e robusta do que outras tecnologias utilizadas na transmissão de dados e por isso é, na atualidade respeitada no meio das telecomunicações. Suas vantagens são (Idem p. 6):

- As técnicas de multiplexação/demultiplexação mais simples;
- Acesso aos tributários de baixas taxas sem necessidade de multiplexar/demultiplexar inteiramente o sinal;
- Muitos canais de gerência de rede inseridos no feixe principal, os quais possibilitam uma boa operação, administração e manutenção da rede;
- Fácil crescimento para níveis de multiplexação mais altos;
- Criação de cross-conexões (conexões cruzadas para interligar circuitos) através de uma gerência remota;
- Permite o transporte de sinais digitais PDH: 2 Mbps, 34 Mbps e 140 Mbps e também de células ATM;
- Permite maior compatibilidade entre equipamentos de diferentes fabricantes em nível elétrico ou ótico;
- Facilita a formação de rede em anel ou malha para maior segurança.

O SDH, embora possua desvantagens como a sua complexidade que exige muito planejamento, projeto, instalação e operação, ainda é o mais usado e a padronização de gerenciamento que é também de alta complexidade.

A SDH possui hoje (usualmente) três taxas de transporte de bits:<sup>7</sup>

- STM-1: 155,520 Mbps (Elétrico ou ótico);
- STM-4: 622,080 Mbps (Somente ótico);
- STM-16: 2.488,320 Mbps (2,5 Gbps) / (Somente ótico);
- STM-64: 10 Gbps (Somente ótico).

A SDH foi projetada para que seus equipamentos pudessem conviver com as redes já implantadas, e por mesmo, várias interfaces já foram desenvolvidas para conectar com aquelas redes em suas taxas mais usuais. São elas:<sup>8</sup>

<sup>7</sup> APOSTILA TÉCNICA - Entendendo Telecomunicações: ERICSSON Telecomunicações SA – 2000.

<sup>8</sup> HIERARQUIA DIGITAL SÍNCRONA (SDH) BÁSICO: Departamento de Desenvolvimento de Recursos humanos, 3ª edição, 1/nov.1996. (apostila técnica).

- 2,018 Mbps Síncrono e Plesiócromo;
- 34,368 Mbps Plesiócromo;
- 139,264 Mbps Plesiócromo.

Nas redes óticas os dados são representados por sinais de luz e transmitidos através de fibra ótica com maior rapidez do que nas redes de comunicações tradicionais, onde os dados são representados por sinais elétricos e transmitidos por cabos<sup>9</sup>.

Portanto, a transmissão em alta velocidade é uma das grandes vantagens das redes óticas. No entanto nas comunicações óticas a tecnologia com fibra na utilização vem de poucas décadas. Atualmente existem diversas fibras conectando cada continente e cada país, por terra ou por mar. Sem essa rede ótica, os serviços de comunicações existentes hoje e os que futuramente serão oferecidos não seriam possíveis<sup>10</sup>.

Somente com a expansão do uso da fibra ótica foi possível a utilização de tecnologias como a WDM.

---

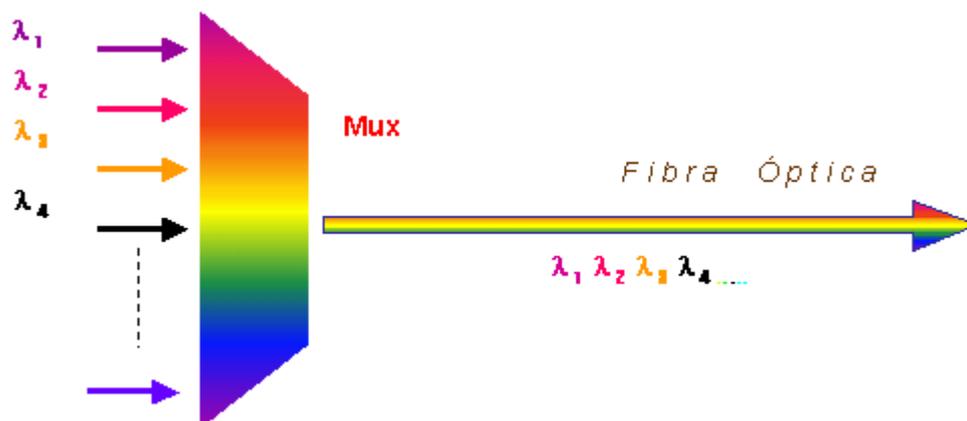
<sup>9</sup> Murthy, C. S. R.; Gurusamy, M. WDM Optical Networks: Concepts, Design, and Algorithms. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002.

<sup>10</sup> KARTALOPOULOS, S. V. **Next Generation Intelligent Optical Networks**: From Access to

## 2 A TECNOLOGIA WDM

A tecnologia WDM (Wavelength Division Multiplexing) foi desenvolvida a partir dos anos 1990, com o surgimento das fibras óticas. Esta tecnologia consiste em juntar numa mesma fibra vários sinais de luz, de cores (comprimentos de onda) diferentes, cada um gerado por um laser separado. Depois, em um receptor, os sinais de cores diferentes são novamente separados.

Figura 4 – WDM e suas tecnologias



Fonte: [www.teleco.com.br](http://www.teleco.com.br).

Essa é uma técnica de multiplexação e é realizada com o objetivo de aumentar a capacidade de transmissão e como consequência, usar a largura de banda da fibra ótica mais adequadamente. No entanto, nos sistemas WDM, esse objetivo ainda não é alcançado completamente, pois é possível a multiplexação de poucos comprimentos de onda. Geralmente, são transmitidos em fibra monomodo de dois comprimentos de onda<sup>11</sup>.

As tecnologias WDM oferecem suporte a projetos de alta performance, tais como: ensino a distância, laboratórios remotos, telemedicina, computação em grade, ambientes colaborativos. O WDM utiliza paralelamente tecnologias de rede como Multicast, Engenharia de Tráfego (Traffic Engineering), QoS (Quality of Service),

---

Backbone. New York: Springer, 2008, p. 16.

<sup>11</sup> KITAGAWA, Mariangela Mitsue Shimizu. **WDM e suas Tecnologias**. UFRJ. Rio de Janeiro, 2004.

entre outras, oferecendo um serviço de qualidade, com novas tecnologias e alta capacidade de comunicação. Os sinais a serem transmitidos nos diferentes comprimentos de onda podem possuir formatos e taxas de bit diferentes, o que promove uma maior transparência aos sistemas de transporte. Cada sinal pode ser formado por fontes de dados (texto, voz, vídeo, etc.) diferentes e é transmitido dentro de seu próprio comprimento de onda. Assim, o WDM carrega os sinais de maneira independente uns dos outros, significando que cada canal possui sua própria banda dedicada. A grande vantagem associada ao WDM é a possibilidade de se modular o aumento da capacidade de transmissão conforme o mercado e de acordo com a necessidade de tráfego. A principal razão para a utilização destes sistemas é o baixo custo (Idem p. 6).

As características básicas do WDM<sup>10</sup> são:

- Flexibilização de capacidade => migração de 622 Mbps para 2,5 Gbps e, podendo atingir a 10 Gbps com a instalação de amplificadores e multiplexadores WDM.
- Transparência a sinais transmitidos: => podem transmitir uma grande variedade de sinais de maneira transparente, sem necessidade de conversão opto-elétrica;
- Permite crescimento gradual de capacidade: => um sistema WDM pode ser planejado para 16 canais, podendo ter sua operação iniciada com um número menor de canais. A introdução de mais canais no sistema pode ser feita simplesmente adicionando novos equipamentos terminais;
- Reutilização dos equipamentos terminais e da fibra: => permite o crescimento da capacidade, mantendo os mesmos equipamentos terminais e a mesma fibra;
- Atendimento de demanda inesperada: => geralmente, o tráfego aumenta mais rapidamente que o esperado e, neste caso, alguns sistemas podem não possuir uma infraestrutura disponível para suportá-lo. Os sistemas WDM podem solucionar este problema, economizando tempo na expansão da rede.

No caso específico de sua implantação na cidade de Caratinga-Mg, trará inúmeros benefícios para a população que, na atualidade enfrentam inúmeros problemas com a velocidade da internet, devido à inconstância do sistema utilizados pelos provedores.

Dessa forma o sistema WDM pode evoluir para aperfeiçoar o tráfego de informações. Para isso é necessário (Idem p. 8):

- Ter uma noção geral do tráfego que é transmitido pela rota, definindo seu formato e taxas de transferência, considerando que a existência de tráfego analógico também deve ser examinada;
- Ter uma visão da infraestrutura existente, o tipo de cabo ótico utilizado, comprimentos dos enlaces e pontos de regeneração;
  - Definir a capacidade final de transferência do sistema;
  - Ter uma noção das interfaces óticas disponíveis nos terminais;
  - Definir se é necessário o uso de equipamentos adicionais, como, por exemplo, transponders, módulos de compensação. Definir a quantidade necessária de regeneradores;
- Migração do tráfego para novos sistemas após a instalação dos mesmos. A instalação causa uma interrupção do tráfego, por um tempo indefinido.

## 2.1 A EVOLUÇÃO DO WDM

A evolução do sistema WDM, de acordo com F. Durand<sup>12</sup> passaram pelas seguintes etapas: transporte ponto a ponto; transporte multiponto empregando OADMs e transporte multiponto reconfigurável empregando OADMs e OXCs.

Em uma demonstração experimental realizada por Bergano<sup>13</sup>, em 1996, 20 canais de 5 Gbps cada foram transmitidos por 9100 km, resultando em uma capacidade total de 910 Tbps·km. Em outro experimento, a multiplexação de 55 canais, cada qual operando em 20 Gbps, atingiu uma taxa total de 1,1 Tbps, (Idem p. 22), confirmando o excelente desempenho de sistemas WDM.

A transmissão de dados em alta velocidade necessita de proteção e um dos fatores de proteção que se pode utilizar é a instalação de IP.

---

<sup>12</sup> DURAND F., “**Contribuições aos Estudos de Redes Ópticas Híbridas WDM/OCDM**”, tese de Doutorado, Novembro 2007, Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Estadual de Campinas, p. 14.

<sup>13</sup> HARBOE, P. B. **Sistemas Solitônicos Amplificados**: Estudo de Viabilidade para Aplicação em Comunicações Ópticas de Longa Distância e/ou Altas Taxas de Transmissão. Tese de Doutorado, DEE – PUC-Rio, 2000, p. 22.

Na constituição do IP/WDM, embora se saiba que a corrente da tecnologia WDM seja de longo alcance, a tendência é uma aproximação a usuários finais, desembocando, às vezes em redes metropolitanas e em redes de acesso. Empresas têm utilizado em transporte de voz e outras mídias, tecnologias como Frame Relay e ATM.

Por isso que o IP/WDM deve suportar outros protocolos de rede coexistindo na mesma rede de fibra. Atualmente a maioria das arquiteturas IP de longa distância são baseadas em SONET/SH, encapsulando pacotes IP (ou cédulas ATM carregando pacotes de IP) em quadros SONET/SDH. Entretanto este empilhamento de camadas proporciona uma redução na eficiência e aumenta significativamente os custos de operação e gerenciamento. Portanto, uma interconexão com IP pode reduzir o número de camadas intermediárias (IP/MPLS sobre a camada ótica WDM). Esta possibilidade é uma tendência evidente nos dias de hoje com os roteadores IP com interfaces laser WDM.

Por isso, é necessário que se tenha uma camada ótica que providencie algumas funcionalidades desempenhadas pelas demais camadas de rede. Isto inclui roteamento e monitoramento de canal e capacidades de detecção e correção de falhas. As ferramentas baseadas em MPLS (Multiprotocol Label Switching) como lambda labeling e multiprotocol lambda switching tem sido proposta para promover IP/WDM<sup>14</sup>.

A proteção dos dados é uma filosofia que precisa ser encarada com critérios e considerada, pois por mais robustas que sejam as grandes redes óticas de telecomunicações, elas estão sempre sujeitas às falhas em enlaces de fibras, ou mesmo nas próprias centrais/roteadores, causando a interrupção da transmissão de todos os caminhos que passam pela fibra ou equipamento danificado. Devido ao grande tráfego neste tipo de rede, a falha de um elemento pode causar a perda de uma grande quantidade de dados, tornando-a menos confiável, e com isso o aspecto de sobrevivência do tráfego ganha grande importância. Assim, podem ser encontrados na literatura, trabalhos relacionados à proteção ou restauração da rede<sup>15</sup>.

---

<sup>14</sup> PINHEIRO, José Maurício S. **Sistema de Transmissão e Meio Ópticos**. Disponível em: file:///F:/TCC%20MATERIAL/tcc/fo%20NC.pdf. Acesso em 12/10/2015.

<sup>15</sup> RAMAMURTHY, S. & Mukherjee, B. **Survivable WDM mesh networks-part i: Protection**. In IEEE

Existem essencialmente dois mecanismos para se tratar falhas na rede que precisam ser consideradas<sup>14</sup>; <sup>16</sup>; <sup>17</sup>, para análise de proteção e restauração.

No caso dos recursos para a sobrevivência são pré-computados e reservados enquanto a conexão estiver ativa, esse mecanismo é chamado proteção<sup>14</sup>. Já no caso de ocorrer o cálculo da rota para a sobrevivência apenas após a falha, é chamado de restauração<sup>18</sup>.

Uma vez que a restauração é um método reativo inicializado após a falha do enlace, logo o mesmo não pode garantir a sobrevivência do tráfego na rede e então o tempo de recuperação se torna mais elevado. Por outro lado, a proteção, por ser um método proativo, pode garantir a sobrevivência quase total das requisições em caso de falha e também torna mais rápida a recuperação do tráfego na rede. Neste trabalho o enfoque é feito em cima da proteção da rede.

Apenas para um melhor entendimento, as rotas referentes à transmissão do tráfego na rede em condições normais serão chamadas de rotas de trabalho. Já as rotas utilizadas para proteger um caminho de trabalho serão denominadas rotas de proteção.

O conceito de proteção de rotas pode se dar em diversos níveis da infraestrutura. Cada nível de proteção definirá categorias de grupos de enlaces com risco compartilhado (Shared Risk Link Group – SRLG) [Ramamurthy et al., 2003], que descrevem as relações de risco compartilhado entre diferentes caminhos de trabalho. Duas rotas que se interseccionam numa determinada fibra da rede, por exemplo, estarão numa mesma categoria de SRLG de fibra, uma vez que ambas terão seu tráfego interrompido, caso ocorra alguma falha no enlace em comum.

Os esquemas de proteção podem ser classificados mediante o tipo de

---

INFOCOM, 1999a, pp. 1744–751.

<sup>16</sup> GERSTEL, O. **Opportunities for optical protection and restoration**. In Optical Fiber Communications Conference, 1998, pp. 269–270.

<sup>17</sup> MOHAN, G.; Murthy, C. S. R. & Somani, A. K. **Efficient algorithms for routing dependable connections in WDM optical networks**. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2001, 9:553–556.

<sup>18</sup> RAMAMURTHY, S. & Mukherjee, B. **Survivable WDM mesh networks-part ii: Restoration**. In IEEE INFOCOM, 1999b, pp. 2023–2030.

estratégia de roteamento adotado, com proteção por rota, enlace ou sub rota. Na proteção por rota, após uma falha na rota de trabalho, o tráfego é re-roteado através de uma rota que é disjunta de nó da rota de trabalho. Na proteção por enlace, em caso de falha, a requisição é re-roteada para uma rota com disjunção de enlaces em relação à rota de trabalho. A proteção por sub-rota divide a rota de trabalho em partes, provendo uma rota de proteção para cada uma destas partes<sup>19</sup>.

Uma das grandes dificuldades é lidar com a sobrevivência das falhas. As redes com proteção devem ter parte de seus recursos alocados como capacidade de reserva para proteção, que deverá ser usada por rotas de proteção em caso de falha. Podemos basicamente dividir em dois os tipos de abordagens para reserva de recursos na rede para proteção, a saber, dedicado ou compartilhado. Em um esquema de proteção dedicada, os recursos são exclusivos, ou seja, para cada demanda da rede, temos duas rotas dedicadas, uma para o tráfego de trabalho e outra para o tráfego de proteção, esta última a ser utilizada em caso de falha. Já em um esquema de proteção compartilhada, os recursos de proteção podem estar sujeitos a compartilhamento entre duas ou mais rotas de trabalho<sup>20</sup>.

Além dos mecanismos anteriormente citados, em um projeto de rede ótica ainda pode-se optar entre dois esquemas de recuperação, 1+1 ou 1:1. Em um esquema 1+1, o tráfego de proteção é transmitido simultaneamente ao tráfego de trabalho, desta forma ao se detectar a falha na rota de trabalho, há a comutação para a rota de proteção. Por conta da transmissão ser feita simultaneamente entre as rotas de proteção e trabalho, este esquema possui recuperação mais rápida. Porém exige uma maior quantidade de recursos adicionais da rede, uma vez que basicamente duplicam-se todas as demandas por rotas disjuntas, de enlace ou nó, aos de trabalho. No esquema 1:1 o tráfego de proteção é enviado apenas quando uma falha é detectada<sup>21</sup>. Este esquema utiliza menos recursos adicionais da rede por não necessitar da transmissão simultânea, por isso é aconselhável nos atuais modelos de proteção das redes de fibras óticas.

---

<sup>19</sup> BRANDÃO Fillipe Gustavo. Modelos e Algoritmos para o Projeto de Redes Óticas WDM. Dissertação de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Instituto de Ciências Exatas da UFMG. Belo Horizonte, 2010.

<sup>20</sup> MAIER, G.; Pattavina, A.; Patre, S. D. & Martinelli, M. Optical network survivability: Protection techniques in the WDM layer. *Photonic Network Communications*, 2002, 3:251–269.

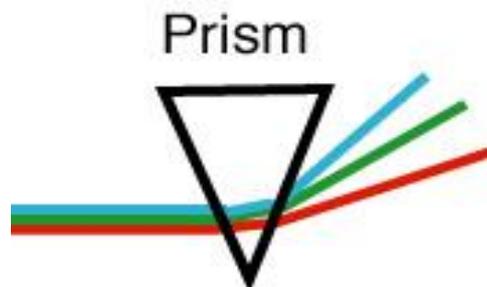
<sup>21</sup> RESENDO, L. C. Contribuições para o Projeto de Grooming de Tráfego Sobre Redes Óticas WDM. PhD thesis, Universidade Federal do Espírito Santo, 2008.

### 3 O SISTEMA DWDM E SUA APLICAÇÃO

O DWDM é um sistema avançado que exige a utilização da fibra ótica, devido a sua alta tecnologia. É que, com o surgimento da tecnologia de multiplexação por comprimento de onda (WDM) fez com que a utilização de redes óticas aumentasse. Além de possibilitar a implementação de vários canais de comunicação na mesma fibra ótica em diferentes comprimentos de onda, esta tecnologia permite a implementação de redes com roteamento de tráfego por comprimentos de onda. As vantagens desse tipo de rede decorrem de sua infraestrutura flexível, com elevada capacidade e confiabilidade na transmissão de dados<sup>22</sup>. Portanto, a tecnologia WDM permite alta velocidade e alto volume de transmissão de dados por redes de fibra ótica através da multiplexação de várias portadoras óticas usando diferentes comprimentos de onda<sup>23</sup>.

O DWDM é um novo sistema que multiplexa múltiplos comprimentos de onda (ou cores de luz) que serão transmitidos através de uma única fibra ótica. O sistema de multiplexação funciona como um prisma, como apresentado abaixo. É um sistema que utiliza um canal comum para transmitir outros pequenos canais de comunicação de uma ponta a outra. Cada comprimento de onda é um canal separado, que multiplica a capacidade de transmissão da fibra<sup>24</sup>.

Figura 5 – Separação de um feixe de luz em cores



Fonte: [www.thefoa.org/tec/wdm](http://www.thefoa.org/tec/wdm)

<sup>22</sup> LIMA, Marcelo de Oliveira. **Metodologia para o Projeto Completo de Redes Óticas com Topologia em Hierarquia**. 2010. 81f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

<sup>23</sup> KITANI, T. et al. **Hierarchical Logical Topology in WDM Ring Networks with Limited ADMs**. Springer, Vol 1, No 2, 2008.

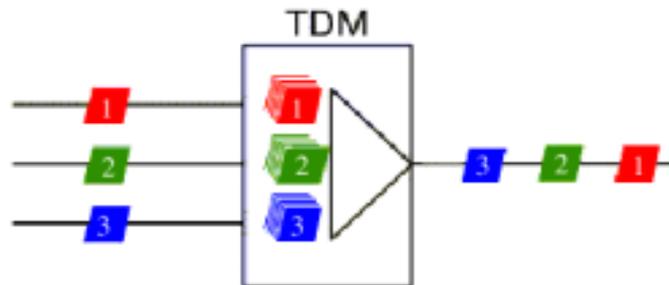
<sup>24</sup> PINTO, Juliana de Oliveira; MACHADO, Cristiano Pinheiro; ALBUQUERQUE, Marcelo Portes de; ALBUQUERQUE, Márcio Portes de; ALVES, Nilton Jr. DWDM em Redes Metropolitanas. Disponível em: [www.rederio.br/downloads/pdf/nt00102.pdf](http://www.rederio.br/downloads/pdf/nt00102.pdf). Acesso em 13/10/2015.

A capacidade de transmissão de dados pode ser incrementada de diversas maneiras, entre elas temos (Idem, p. 6):

- Instalação de fibra nova: esta prática não é viável devido às limitações de produção e custo muito altos.

- Através do método TDM (Time Division Multiplexing): multiplexação dos sinais (voz, dados, imagem) no domínio do tempo com taxas cada vez maiores (2,5 Gbps, 10 Gbps). A multiplexação se faz com o envio sincronizado de partes dos dados. O tempo é dividido em pequenos intervalos nos quais cada fonte transmite pedaços de seus dados por vez. O uso dessa técnica encontra duas limitações práticas: uma de ordem econômica sendo muito elevado o custo das partes eletrônicas e eletro ótico (transmissores, receptores, regeneradores) para operação com taxas de transmissão acima de 2,5 Gbps e outra de ordem técnica relacionada à degradação do sinal devido à dispersão e a efeito não lineares.

Figura 6 – Conceito de TDM



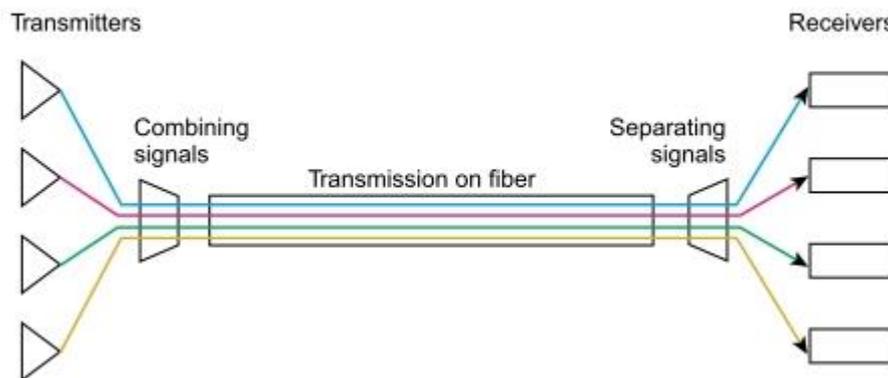
Fonte: <http://docplayer.com.br>

- Através do método WDM (Wavelength Division Multiplexing): os sinais que transportam a informação, em diferentes comprimentos de onda, são combinados em um multiplexador ótico e transportados através de um único par de fibras, com o objetivo de aumentar a capacidade de transmissão e, conseqüentemente, usar a largura de banda da fibra ótica de uma maneira mais adequada. Os sistemas que utilizam esta tecnologia, em conjunto com amplificadores óticos, podem aumentar significativamente a capacidade de transmissão de uma rota sem a necessidade de se aumentar o número de fibras (Idem p. 7).

- Através do método DWDM: a nova tecnologia DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) nada mais é do que a tecnologia WDM diferenciando-se apenas no fato de que o número de comprimentos de onda transmitidos é bem maior, pois o espaçamento entre eles é menor. Chegou-se a uma capacidade de

128 comprimentos de onda por fibra e ainda não se conhece o limite dessa tecnologia. Somadas as evoluções e os desenvolvimentos da tecnologia VOIP com a demanda cada vez maior para os transportes de dados, muitos acreditam que o protocolo IP diretamente sobre DWDM será o futuro das telecomunicações no mundo (Idem p. 8).

Figura 7 – Esquemática do DWDM  
*DWDM Functional Schematic*



Fonte: <http://blog.zulyusof.com>

Os sistemas WDM possuem algumas características que devem ser exploradas de acordo com a necessidade e situação:

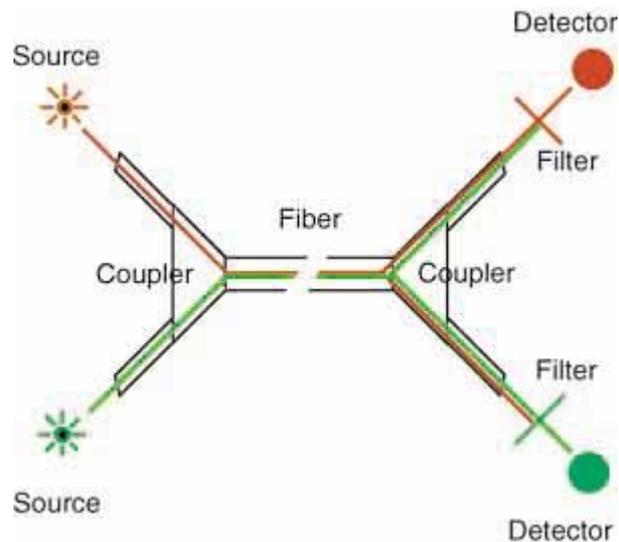
- Flexibilidade de capacidade: migrações de 622 Mbps para 2,5 Gbps e a seguir para 10 Gbps poderão ser feitas sem a necessidade de se trocar os amplificadores e multiplexadores WDM.

- Transparência aos sinais transmitidos: podem transmitir uma grande variedade de sinais. Por não haver envolvimento de processos elétricos, diferentes taxas de transmissão e sinais poderão ser multiplexados e transmitidos para o outro lado do sistema sem que seja necessária uma conversão ótico-elétrica. A mesma fibra pode transportar sinais PDH, SDH e ATM de maneira transparente.

- Permite crescimento gradual de capacidade: um sistema WDM pode ser planejado para 16 canais, mas iniciar sua operação com um número menor de canais. A introdução de mais canais pode ser feita simplesmente adicionando novos equipamentos terminais.

- Reuso dos equipamentos terminais e da fibra: permite o crescimento da capacidade mantendo os mesmos equipamentos terminais e a mesma fibra (idem p. 16).

Figura 8 – DWDM com acopladores e filtros



Fonte: [www.thefoa.org/tec](http://www.thefoa.org/tec)

O DWDM usa uma modulação diferente para cada tipo de dado, seja texto, voz, vídeo entre outros, além de aumentar a capacidade e os limites de transmissão das fibras óticas, diminuindo a implementação de eletrônica no sistema<sup>25</sup>.

Na atualidade, sua aplicação é consistente, pois já é possível colocarmos cerca de 150 comprimentos de onda numa mesma fibra, ou seja, teremos 150 canais de dados, cada qual transmitindo 40 Gbps, chegamos então a algo próximo de 6 Tbps por segundo de transmissão de dados (em uma única fibra ótica). Em testes laboratoriais já foi transmitido 256 canais de 10 Gbps, ou seja, aproximadamente 22 Tbps por segundo de largura de banda (Idem p. 58).

O DWDM apresenta uma grande vantagem. Não precisa de equipamentos finais para sua implementação. Usam lasers de DWDM, transponders, amplificadores, multiplexadores de add/drop e outros filtros entre os diversos equipamentos de transmissão existentes e sobre as arquiteturas de 31 OM – Optical Multiplexer, multiplexador ótico. O DWDM é baseado no padrão de fibra G.65234 que é utilizado na maioria dos backbones de fibra ótica (Idem p. 62). Essas redes podem transmitir grandes quantidades de dados, oferecendo uma gama muito

<sup>25</sup> XAVIER, Arlindo Batista Filho. **Usando DWDM em redes Wan's e Lan's**. Dissertação Especialização em Comunicação de Dados. São Paulo, 2004, p. 58.

variada de plataformas de transmissão padronizadas e de altíssima confiabilidade para troca de dados em grande escala, com a utilização nas redes metropolitanas WANS.

Hoje existe uma grande demanda para aplicações em variedades de protocolos, como SDH/SONET, ATM, IP/MPLS, Ethernet. Nas topologias de redes, usam-se as tecnologias ponto-a-ponto, anel e mista.

A tecnologia DWDM também pode ser aplicada em redes locais (LANS). Ela é a solução para a transmissão de grandes quantidades de dados. Com o desenvolvimento das tecnologias óticas, mais a tecnologia DWDM tende a ganhar espaço não só para o transporte de dados metropolitanos, ou de grandes distâncias, mas dentro das corporações e redes locais. O DWDM está se tornando a base de todos os sistemas de tecnologia ótica para redes.

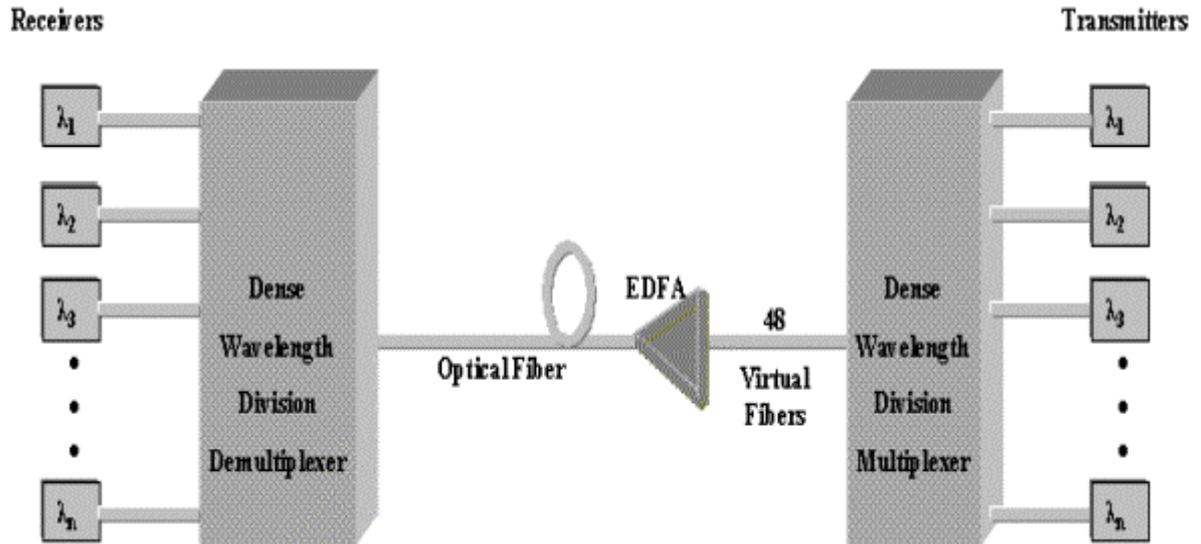
O sistema DWDM tem se apresentado como soluções oferecendo alta qualidade de serviços<sup>25</sup> (p. 70), como no acesso residencial no uso de telefonia IP, VOIP, TV Digital, vídeo sobre demanda, internet banda larga e outros; no acesso corporativo, incluindo corretagem de largura de banda, Storage Área Networks (SAN), sublocação, videoconferência, web hosting, Redes Privadas Virtuais (VPN) óticas e voz sobre protocolo internet (VOIP). Essas soluções conduzem ao gerenciamento e administração de redes óticas, podendo ser favorável ao consumidor final.

Uma empresa de TV a cabo, por exemplo, poderá oferecer interatividade e diversidade de produtos com um alto valor agregado para o usuário. Poderá entregar no lugar do cabo coaxial, um cabo categoria 5 com conectores RJ-45. Um equipamento interno deverá fazer a interface com os diversos equipamentos eletroeletrônicos existentes, alimentando inclusive o telefone que poderá ter vídeo agregado. Teremos então, Internet banda larga, TV digital de alta resolução, soluções de segurança como monitoramento em tempo real e com os preços bastante reduzidos.

Tudo isso é possível devido ao princípio do DWDM. É que os sistemas DWDM podem combinar até 64 canais em uma única fibra. O espaçamento entre os canais pode ser de 200 GHz (1.6 nm), 100 GHz (0,8 nm), 50 GHz (0,4 nm), podendo chegar a 25 GHz (0,2 nm). Os sistemas DWDM utilizam comprimentos de onda entre aproximadamente 1500 nm e 1600 nm e apresentam alta capacidade de transmissão por canal, 10 Gbps, podendo alcançar 1Tbps na transmissão de dados

sobre uma fibra ótica<sup>26</sup>. A figura 9 mostra estes princípios.

Figura 9. Princípios de DWDM



Fonte: Kitagawa, p. 9.

Portanto o DWDM é a chave tecnológica para integração das redes de dados, voz e imagem de altíssima capacidade. Além de ampliar exponencialmente a capacidade disponível na fibra, o DWDM possui a vantagem de não necessitar de equipamentos finais para ser implementado. E ainda, esta técnica de multiplexação obedece ao padrão de fibra G.652 (monomodo) que é utilizado na maioria dos backbones de fibra ótica<sup>26</sup>.

É um sistema de alto desempenho, robusto e confiável, trazendo inúmeras vantagens para os usuários, entre essas vantagens o sistema apresenta rapidez de instalação, escalabilidade e flexibilidade na hora da expansão e otimização do uso da fibra.

Portanto se pode afirmar que a tecnologia surgiu com a finalidade de facilitar cada vez mais a vida do cidadão. Isso é possível porque este sistema une a praticidade, a agilidade e a facilidade. Dessa forma se pode afirmar que a ciência, com os avanços tecnológicos tem um papel fundamental no desenvolvimento social e na vida do cidadão, pois quanto maior for a velocidade da comunicação, maior é a aproximação do cidadão com o mundo, como também é maior as suas

<sup>26</sup> KITAGAWA, Mariangela Mitsue Shimizu. **WDM e suas Tecnologias**. UFRJ. Rio de Janeiro, 2004. p. 9

possibilidades de conhecê-lo e colocá-lo a serviço da vida e buscar no seu desenvolvimento, meios para melhorar a qualidade de vida de todos, proporcionando a cada um, uma vida digna que o ser humano merece.

### 3.1 IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DWDM EM CARATINGA

A partir do uso das fibras óticas possibilitou o planejamento de instalação do sistema DWDM em Caratinga, cuja infraestrutura é projetada para prover uma evolução de rede significativa para provedores de serviços que buscam atender as demandas de capacidade sempre crescentes de seus clientes.

A tecnologia DWDM tem potencial com capacidade ilimitada de transmissão de dados com vantagens técnicas e econômicas, pois são flexíveis e modulares que usando um sistema com a fibra ótica com capacidade de transmissão de 2,5 Gbps, no caso a OC-48, que pode conectar 8 ou 16 canais, é suficiente para atender a demanda da cidade de Caratinga<sup>27</sup>. Outras velocidades estão na tabela abaixo:

Tabela 1

<b>OC</b>	<b>Velocidade</b>
OC-1	51.85 Mbps
OC-3	155.52 Mbps
OC-12	622.08 Mbps
OC-24	1.244 Gbps
OC-48	2.488 Gbps
OC-192	9.952 Gbps

Fonte: Idem p. 16

O Sistema DWDM envia sinais de diversas fontes através de uma fibra monomodo que somente suporta um único raio de luz em seu interior. Daí a

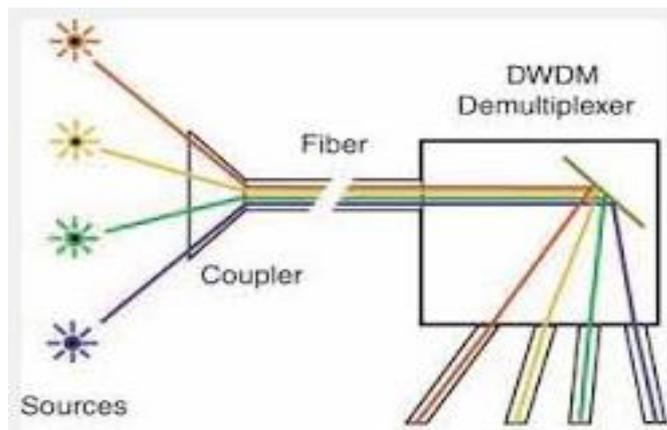
<sup>27</sup> PINTO, Juliana de Oliveira; MACHADO, Cristiano Pinheiro; ALBUQUERQUE, Marcelo Portes de; ALBUQUERQUE, Márcio Portes de; ALVES, Nilton Jr. DWDM em Redes Metropolitanas. Disponível em: [www.rederio.br/downloads/pdf/nt00102.pdf](http://www.rederio.br/downloads/pdf/nt00102.pdf). Acesso em 13/10/2015. p. 15.

necessidade de utilização de multiplexar os sinais. Isto será feito utilizando um transponder que transforma os sinais óticos para sinais elétricos e redimensiona os sinais transformando-os em óticos que seja suportado pelo sistema DWDM.

São os multiplexadores (Multiplexador Óptico - OM) convergem estes raios luminosos em um único raio capaz de viajar pela fibra. Do outro lado da fibra, no entanto é necessário que haja demultiplexadores óticos (Demultiplexador Óptico - OD) capazes de separar os comprimentos de onda e redirecioná-los a seus respectivos destinos (Idem p. 17).

A figura abaixo apresenta um esquema de um demultiplexador DWDM que pode ser utilizado no projeto para a cidade de Caratinga.

Figura 10 - Esquema de um demultiplexador DWDM



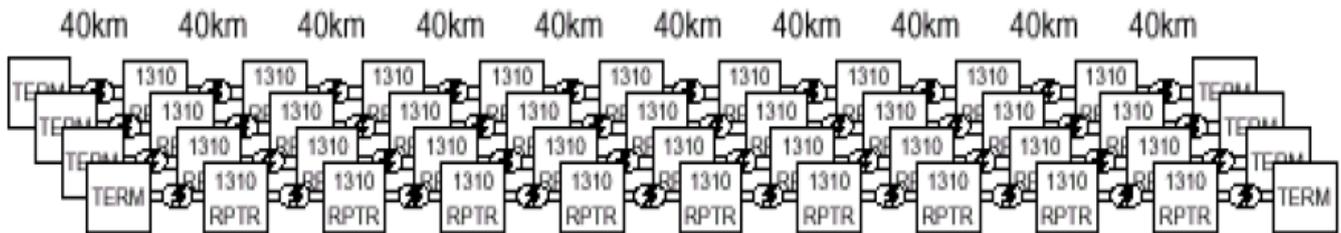
Fonte Idem, p. 17.

Caso o provedor de Caratinga queira estender este projeto para as pequenas cidades próximas até 40 km, pode ser usado um sistema de aluguel de comprimento de onda individual, ao invés de colocar uma fibra inteira para seus clientes empresariais.

Isto pode ser feito com aplicações baseadas em repetidores utilizados em transmissões TDM, uma infraestrutura DWDM aumenta as distâncias entre os elementos da rede, um grande benefício para provedores de serviços interurbanos que reduzem significativamente seus investimentos iniciais de rede. O amplificador ótico de fibra do sistema DWDM permite um provedor de serviço economizar custos ampliando sinais óticos sem os converter para sinais elétricos (Idem p. 19).

A figura abaixo demonstra esta possibilidade.

Figura 11 – Transmissão convencional TDM – 10 Gbps



Fonte: Idem p. 19

O uso de amplificadores é exemplificado na figura acima, mas ao usar o método TDM é necessário um repetidor a cada 40 km, para cada canal (fibra).

No entanto, a princípio, em Caratinga o projeto de uma operadora de telecomunicações, é atender a área urbana. Esta alternativa poderá ser usada no futuro para atendimento interurbano.

Como a cidade de Caratinga tem uma população estimada para 2015 em cerca de 90 mil habitantes, Destes, mais de dois terços ficam na área urbana da sede, somando mais de 60 mil habitantes<sup>28</sup>.

Portanto, o projeto para atendimento desta população considera que a sede municipal está circunscrita a cerca de 9 km<sup>2</sup> que pode ser perfeitamente atendido por esta tecnologia, uma vez que a empresa Super Cabo Tv já disponibiliza de uma estrutura composta por fibra ótica e cabo coaxial.

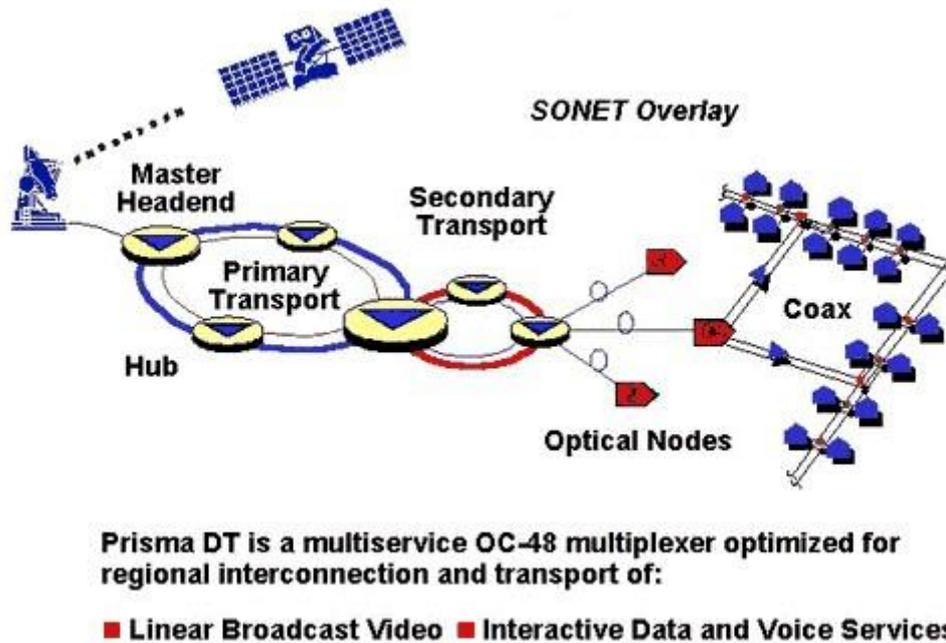
Com a migração cada vez mais profunda da fibra ótica, a arquitetura principal em questão passa a ser mais eficaz, que o uso de cabo coaxial ou baseado em cobre. As fibras óticas têm sido utilizadas em redes de televisão por cabo desde 1991. A rede de transportes HFC é geralmente limitada ao uso das fibras óticas de 1550-nm. Geralmente, cada nó ótico serve 500 a 2.000 casas. Os principais drivers de rede são de baixo custo e bom desempenho do sinal de vídeo analógico em termos de ruído e distorção.

Para resolver esta fundamental questão de transportes, um vídeo-otimizado OC-48 SONET multiplexer foi desenvolvido (figura 12). Esta tecnologia permite a construção de uma verdadeira multimídia “backbone” ( a infraestrutura física central da internet), em que um único par de fibras tem uma gama completa de vídeo, voz e serviços de dados. A eliminação de arquiteturas específicas cria a flexibilidade

<sup>28</sup> BRASIL, IBGE 2010, projeção para 2015.

necessária para lidar com a incerteza inerente ao novo serviço implantado.

Figura 12. Multiplexação OC-48 SONET



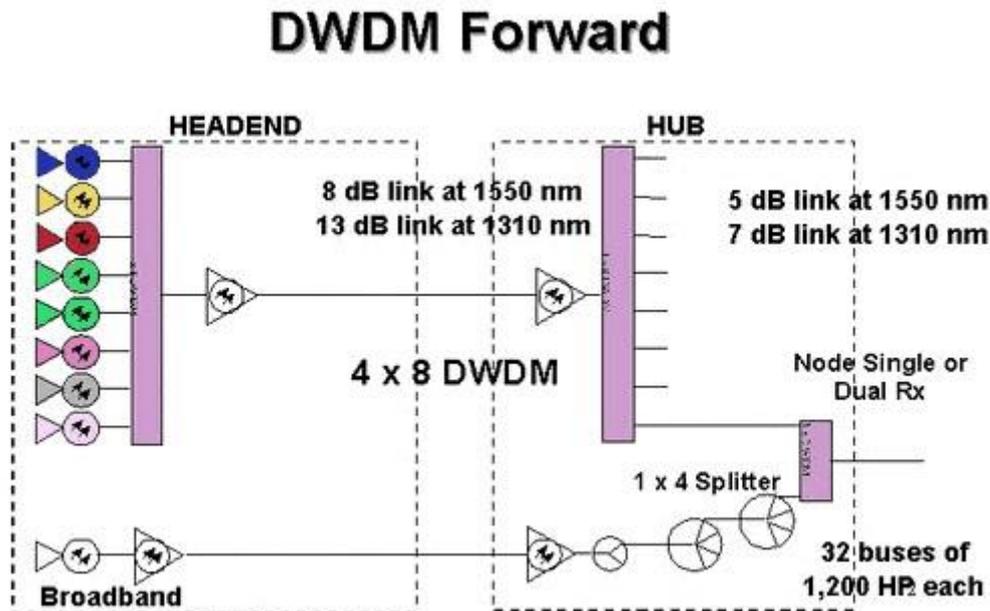
FONTE: <sup>29</sup>

Uma desvantagem de compactar digitalmente os sinais de vídeo analógico é a grande quantidade de largura de banda necessária que 16 canais analógicos ocupam em todo um OC-48. Para resolver esta questão, o DWDM é usado para combinar até oito sistemas em uma única fibra. Esta combinação permite o transporte de 80 canais analógicos de vídeo e várias centenas de milhares de vídeo digital, mantendo cinco gigabits para serviços de voz e dados.

Para fornecer esta quantidade de largura de banda, até oito transmissores de 1550 nm, cada uma com 200 MHz de carga pode ser multiplexada em uma única fibra e combinados no cubo com o sinal de transmissão (ver figura 13). Dependendo da arquitetura escolhida, quer externamente modulada ou emissores diretamente modulados podem ser utilizados. Esta tecnologia também está sendo usada no sentido a montante para fazer caminho inverso de sinais de hubs para head-ends.

<sup>29</sup> Hybrid/Fiber Coax (HFC) and Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) Networks. Disponível em: <http://www.iec.org>. Acesso em 27/11/2015, p. 3.

Figura 13. Usando a rede analógica para tráfego interativo



FONTE: <sup>30</sup>

Em longo prazo, os sistemas de transporte sobre a mesma fibra, serão capazes de transportar não somente vários comprimentos de onda da banda digital, mas também vários canais analógicos e uma camada de voz.. Desta forma, a espinha dorsal de redes de áreas metropolitanas (MANs) pode ser construída para atender a meta de transporte eficiente de conectividade de serviços multimídia em vários formatos, evitando conversões desnecessárias e custos de processamento sempre que possível.

A partir do esquema acima é viável a instalação de um sistema de DWDM na cidade de Caratinga, ficando à espera de empresas do ramo que se interessar em investir nesta área para a realização do estudo de viabilidade econômica.

<sup>30</sup> Idem, p. 4

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na atualidade nada é mais importante do que se trabalhar com as altas tecnologias, principalmente na área de transmissão de dados.

A cidade de Caratinga sendo de médio porte já necessita de uma intervenção buscando melhorar o seu sistema de comunicação, seja a telefonia, a internet ou mesmo os sinais de TV.

Para isso este trabalho investiu no estudo da implementação da fibra ótica utilizando as tecnologias que aumentasse o seu desempenho.

Com este objetivo analisou o sistema WDM e DWDM, optando por trabalhar com este último que é o mais avançado no que diz respeito à transmissão de dados e voz.

O trabalho concluiu que a utilização do sistema DWDM corresponde à expectativa e se apresentou bastante eficaz no sentido de melhorar o sistema de comunicação e melhorar a vida dos cidadãos, uma vez que comprovada a eficiência do sistema em relação ao já existente fica bem claro que é possível utilizá-lo de diversas possibilidades de acordo com a demanda operacional do sistema geral.

Por fim, ficou constatada a viabilidade técnica. Portanto, espera-se que haja no mercado empresas com interesse de sua implantação para que se possa estudar a viabilidade financeira para atender a população do município de Caratinga que já tem uma população Urbana, em sua sede e distritos, acima de 60 mil habitantes.

## REFERÊNCIAS

- AAKER, David Austin. **Criando e administrando marcas de sucesso**. São Paulo: Futura, 1996.
- ALVES, Maria Leila. **O papel equalizador do regime de colaboração estado-município na política de alfabetização**. 1990. 283 f. Dissertação (Mestrado em Educação) - Universidade de Campinas, Campinas, 1990. Disponível em: <<http://www.inep.gov.br/cibec/bbe-online/>>. Acesso em: 28 set. 2001.
- APOSTILA TÉCNICA - **Entendendo Telecomunicações**: ERICSSON Telecomunicações SA – 2000.
- BRANDÃO Fillipe Gustavo. **Modelos e Algoritmos para o Projeto de Redes Ópticas WDM**. Dissertação de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Instituto de Ciências Exatas da UFMG. Belo Horizonte, 2010.
- BRASIL. Consolidação das Leis do Trabalho. **Texto do Decreto-Lei n.º 5.452**, de 1 de maio de 1943, atualizado até a Lei n.º 9.756, de 17 de dezembro de 1998. 25 ed. atual. e aum. São Paulo: Saraiva, 1999.
- CARVALHO, Joel Pedro Peixoto de. **Redes Ópticas WDM**. Universidade do Porto – FEUP. Cidade do Porto, Portugal. 2002.
- CARVALHO, Maria Cecília Maringoni de (Org.). **Construindo o saber: metodologia científica, fundamentos e técnicas**. 5. ed. São Paulo: Papirus, 1995. 175 p.
- CURITIBA. Secretaria da Justiça. **Relatório de atividades**. Curitiba, 2004.
- DEMO, Pedro. **Metodologia do conhecimento científico**. São Paulo: Atlas, 1999.
- DEMO, P. **Pesquisa: princípio científico e educativo**. 6. ed. São Paulo: Cortez, 2000.
- DURAND F., “**Contribuições aos Estudos de Redes Ópticas Híbridas WDM/OCDM**”, tese de Doutorado, Novembro 2007, Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Estadual de Campinas.
- FERNANDES, Luiz Felipe de Camargo. **Tutorial WDM\_Teleco2**. SP. 2003.
- FIBRA ÓPTICA, **Tipos de Cabos**. Disponível em <https://student.dei.uc.pt/~pferro/trav1/trav2.html>. Acesso em 12/10/2015.

GALDINO, Lúcia. **Análise de desempenho de redes ópticas híbridas WDM/OCDM**. Dissertação Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Campinas, SP, 2008.

GERSTEL, O. **Opportunities for optical protection and restoration**. In Optical Fiber Communications Conference, pp. 269–270. 1998.

HARBOE, P. B. **Sistemas Solitônicos Amplificados**: Estudo de Viabilidade para Aplicação em Comunicações Ópticas de Longa Distância e/ou Altas Taxas de Transmissão. Tese de Doutorado, DEE – PUC-Rio, 2000.

HYBRID/FIBER COAX (**HFC**) and Dense Wavelength Division Multiplexing (**DWDM**) Networks. Disponível em: <http://www.iec.org>. Acesso em 27/11/2015.

HIERARQUIA DIGITAL SÍNCRONA (SDH) BÁSICO: **Departamento de Desenvolvimento de Recursos humanos**, 3<sup>o</sup> edição, 1/nov.1996. (apostila técnica).

KARTALOPOULOS, S. V. **Next Generation Intelligent Optical Networks: From Access to Backbone**. New York: Springer, 2008.

KITAGAWA, Mariangela Mitsue Shimizu. **WDM e suas Tecnologias**. UFRJ. Rio de Janeiro, 2004.

KITANI, T. et al. **Hierarchical Logical Topology in WDM Ring Networks with Limited ADMs**. Springer, Vol 1, No 2, 2008.

MAIER, G.; Pattavina, A.; Patre, S. D. & Martinelli, M. **Optical network survivability: Protection techniques in the WDM layer**. Photonic Network Communications, 3:251–269. 2002.

MAINGUENEAU, Dominique. **Elementos de linguística para o texto literário**. São Paulo: Martins Fontes, 1996.

MOHAN, G.; Murthy, C. S. R. & Somani, A. K. **Efficient algorithms for routing dependable connections in WDM optical networks**. IEEE/ACM Transactions on Networking, 9:553–556. 2001.

Murthy, C. S. R.; Gurusamy, M. **WDM Optical Networks: Concepts, Design, and Algorithms**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002.

PINHEIRO, José Maurício S. Sistema de Transmissão e Meio Ópticos. Disponível em: <file:///F:/TCC%20MATERIAL/tcc/fo%20NC.pdf>. Acesso em 12/10/2015.

PINTO, Juliana de Oliveira; MACHADO, Cristiano Pinheiro; ALBUQUERQUE, Marcelo Portes de; ALBUQUERQUE, Márcio Portes de; ALVES, Nilton Jr. **DWDM em Redes Metropolitanas**. Disponível em: [www.rederio.br/downloads/pdf/nt00102.pdf](http://www.rederio.br/downloads/pdf/nt00102.pdf). Acesso em 13/10/2015.

RAMAMURTHY, S. & Mukherjee, B. **Survivable WDM mesh networks-part i: Protection**. In IEEE INFOCOM, pp. 1744–751. 1999a.

RAMAMURTHY, S.; SAHASRABUDDHE, L. & MUKHERJEE, B. **Survivable WDM mesh networks**. *Journal of Lightwave Technology*, 21(4):870–883. 2003.

RAMPAZZO, Lino. **Metodologia científica: para alunos dos cursos de graduação e pós-graduação**. São Paulo: Stiliano, 1998.

REIS, José Luís. **O marketing personalizado e as tecnologias de Informação**. Lisboa: Centro Atlântico, 2000.

RESENDO, L. C. **Contribuições para o Projeto de Grooming de Tráfego Sobre Redes Ópticas WDM**. PhD thesis, Universidade Federal do Espírito Santo. 2008.

ROCHA, Renato Silva, 1984-R672r **Relação custo-benefício em redes ópticas hierárquicas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico 2011.

TAKEUTI, Paulo. **Projeto e Dimensionamento de Redes Ópticas Passivas (PONs)**. Dissertação de Mestrado. ESCUSP. São Carlos. São Paulo, 2005.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Biblioteca Central. **Normas para apresentação de trabalhos**. 2. ed. Curitiba: UFPR, 1992. v. 2.

XAVIER, Arlindo Batista Filho. **Usando DWDM em redes Wan's e Lan's**. Dissertação Especialização em Comunicação de Dados. São Paulo, 2004.

