

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ARQUITETURA DE NÓS E ENGENHARIA DE  
TRÁFEGO EM REDES ÓPTICAS

**Helvécio Moreira de Almeida Neto**

Tese de doutorado apresentada à  
Escola de Engenharia de São Carlos  
da Universidade de São Paulo, como  
parte dos requisitos para obtenção do  
título de Doutor em Engenharia  
Elétrica  
Área de Concentração:  
Telecomunicações

**Orientador: Prof. Dr. Amilcar Careli César**

São Carlos, SP

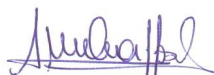
2009



**FOLHA DE JULGAMENTO**

Candidato: Engenheiro **HELVECIO MOREIRA DE ALMEIDA NETO.**

Tese defendida e julgada em 25/09/2009 perante a Comissão Julgadora:



Prof. Associado **AMÍLCAR CARELI CÉSAR (Orientador)**  
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO



Prof. Titular **MURILO ARAÚJO ROMERO**  
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado



Prof. Dr. **HELIO WALDMAN**  
(Universidade Federal do ABC/UFABC)

APROVADO



Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> **MARIA THEREZA MIRANDA ROCCO GIRALDI**  
(Instituto Militar de Engenharia - IME)

APROVADO



Dr. **MÁRIO TOSI FURTADO**  
(Centro de Pesquisa e Desenvolvimento/CPqD)

APROVADO



Prof. Titular **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e  
Presidente da Comissão de Pós-Graduação



## **Dedicatória**

Dedico este trabalho aos meus pais Helvécio Moreira de Almeida Júnior e Anamaria Scalon Almeida e minha irmã Anne Scalon Almeida pela compreensão e paciência ao longo desses 7 longos anos de mestrado e doutorado. Dedico também a minha sobrinha Mônica Scalon que nos deu a alegria de sua existência durante esse período.

Dedico a minha namorada Thaís Araújo pela paciência, amor e pelo seu tempo dedicado para longas conversas para me acalmar nos dias mais difíceis.

Dedico aos dois irmãos que ganhei durante esse período. Luizir Modesto Pereira que com sua experiência profissional e visão de vida tornou essa jornada suportável. E ao meu irmão e companheiro para todas as horas Eduardo Martinelli Galvão de Queiroz que batalhou cada minuto para que conseguíssemos atingir os objetivos que sempre desejamos. Espero estar com vocês pela vida toda.



## **Agradecimentos**

A Deus, pela saúde para suportar o trabalho.

Ao Professor Doutor Amilcar Carelli César, pela excelente orientação, confiança e paciência durante esses 7 anos de mestrado e doutorado.

Aos Professores Ben-Hur Viana Borges e José Carlos Sartori pela oportunidade de convivência e pelos conhecimentos.

Ao amigo Eduardo José Aloia que, apesar de sua confusão do dia a dia, se torna indispensável para tornar a vida mais divertida.

Aos amigos da empresa TCS tecnologia Luis Claudio Teixeira Sanches e Luciana Trevisan pelo suporte dado para as aplicações práticas.

Aos amigos de Laboratório Alex, Anderson, Daniel, Danilo, Eduardo, Getúlio, Guilherme, Luizir, Marcelo, Regiane, Ricardo, Ulisses, Pedro, Rafael, Tany, Valdemir, Valtemir e Yang pelos conhecimentos transmitidos, amizade e bom humor.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica da EESC-USP, pela amizade e colaboração.

A todos que contribuíram direta e indiretamente para a realização desse trabalho

Meus Sinceros Agradecimentos





## Sumário

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>IV</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS .....</b>	<b>IX</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>XI</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XIII</b>
<b>1- INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1- EVOLUÇÕES DOS TIPOS DE REDE.....	1
1.2 - CARACTERÍSTICAS DAS REDES ÓPTICAS .....	3
1.3 – REDES ÓPTICAS WDM COM COMUTAÇÃO WAVEBAND.....	5
1.4 - TRABALHOS RELACIONADOS E CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA .....	6
1.5-ORGANIZAÇÃO DO TEXTO .....	8
1.6-ARTIGOS PUBLICADOS DURANTE ESSA PESQUISA .....	9
<b>2-CARACTERÍSTICAS DA TÉCNICA DE AGREGAÇÃO WAVEBAND .....</b>	<b>11</b>
2.1-ARQUITETURA DE NÓS HÍBRIDOS.....	11
2.2-ARQUITETURAS DE COMUTADORES MG-OXCS .....	14
2.2.1 - MG-OXC de Três Camadas .....	14
2.2.2-MG-OXC de Uma Camada.....	15
2.3-AGREGAÇÃO DE COMPRIMENTOS DE ONDA EM WAVEBANDS NOS NÓS MG-OXCS.....	16
2.4 - ALGORITMOS DE ROTEAMENTO E CLASSIFICAÇÃO DA REDE COM NÓS MG-OXCS.....	17
<b>3 - IMPLEMENTAÇÃO DA TÉCNICA WAVEBAND.....</b>	<b>19</b>
3.1- DEFINIÇÕES DOS TERMOS UTILIZADOS .....	19
3.2-ARQUITETURA DE REDE: COMPRIMENTO DE ONDA E WAVEBAND.....	21
3.3-TIPOS DE NÓS QUE COMPÕEM AS REDES WAVEBAND SIMULADAS .....	22
3.3.1-MG-OXC de Uma Camada .....	22
3.3.2-MG-OXC de Três Camadas .....	23
3.4-DETALHAMENTO DOS NÓS MG-OXCS E OXCS UTILIZADOS .....	25
3.5-TIPOS DE CONEXÃO NAS REDES COM MG-OXC DE UMA CAMADA E TRÊS CAMADAS ...	28
3.6-GERENCIAMENTO DE CONEXÃO .....	29
3.6.1-MG-OXC de Uma Camada .....	29
3.6.2-MG-OXC de Três Camadas .....	30
3.7-ANÁLISE DE CUSTO DA ARQUITETURA DE NÓS .....	32
3.7.1-MG-OXC de Uma Camada .....	33
3.7.2-MG-OXC de Três Camadas .....	35
3.7.3-Cálculo do Coeficiente de Correlação.....	38
3.8-DESCRIÇÃO DO ALGORITMO DE IMPLEMENTAÇÃO DO WAVEBAND .....	38
<b>4-INCLUSÃO DOS FATORES DE DEGRADAÇÃO DE SINAL NA SIMULAÇÃO.....</b>	<b>45</b>
4.1-INTRODUÇÃO .....	45
4.2-ARQUITETURA DE REDE COM REGENERAÇÃO ESPARSA E TROCA DE COMPRIMENTO DE ONDA .....	46
4.3-LOCALIZAÇÃO DO REGENERADOR EM UMA REDE COM REGENERAÇÃO ESPARSA .....	47
4.3.1-Localização do Regenerador Baseada no Tráfego .....	47
4.4-MODELO DOS NÓS SIMULADOS E GERENCIAMENTO DE CONEXÃO .....	48
4.5-MODELAGEM DA CAMADA FÍSICA [59].....	51
4.5.1- OSNR .....	52
4.6-INCLUSÃO DAS RESTRIÇÕES DA CAMADA FÍSICA NO ALGORITMO.....	53

<b>5- HEURÍSTICA DO CANAL ESPECÍFICO PARA A ESCOLHA DO COMPRIMENTO DE ONDA .....</b>	<b>57</b>
5.1-INTRODUÇÃO .....	57
5.2-TÉCNICAS DE ESCOLHA DE COMPRIMENTOS DE ONDA .....	57
5.3-COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS .....	59
<b>6- ESQUEMA DE MONITORAMENTO DE REDES WDM BASEADO NA INTENSIDADE DE TRÁFEGO.....</b>	<b>65</b>
6.1- DEFINIÇÃO DE REDES ALEATÓRIAS E REDE SEM ESCALA .....	65
6.2 - LIBERAÇÃO DE RECURSO ATRAVÉS DO ESQUEMA DE MONITORAMENTO DE NÓS .....	65
6.3-INCLUSÃO DO ESQUEMA DE MONITORAMENTO DE NÓS NO ALGORITMO PROPOSTO.....	67
6.4 - DESEMPENHO DO ESQUEMA DE MONITORAMENTO.....	69
<b>7-RESULTADOS NUMÉRICOS.....</b>	<b>77</b>
7.1-ANÁLISE DO CUSTO E PROBABILIDADE DE BLOQUEIO DOS NÓS COM TROCA DE COMPRIMENTO DE ONDA .....	78
7.1.1-Análise do Custo e Probabilidade de Bloqueio dos Nós com Troca de Comprimento de Onda em nós MG-OXC de Uma Camada .....	78
7.1.2-Análise do Custo e Probabilidade de Bloqueio dos Nós com Troca de Comprimento de Onda e nós MG-OXC de Três Camadas.....	88
7.1.3-Comparação entre o Desempenho e Custo das Configurações de MG-OXC de Uma Camada e de Três Camadas.....	94
7.2-ANÁLISE DO CUSTO E PROBABILIDADE DE BLOQUEIO DOS NÓS COM WAVEBANDS DE “GRANULARIDADES” DIFERENTES .....	96
7.2.1-Análise dos Custos e Probabilidade de Bloqueio em Nós MG-OXC de Uma Camada com Diferentes Comprimentos de Onda Agregados ao Waveband. ....	96
7.2.2- Análise dos Custos e Probabilidade de Bloqueio em Nós MG-OXC de Três Camadas com Diferentes Comprimentos de Onda Agregados ao Waveband.....	104
7.2.3-Comparação Entre o Desempenho e Custo das Configurações de MG-OXC de Uma Camada e de Três Camadas.....	110
7.3-IMPLEMENTAÇÃO DA TÉCNICA WAVEBAND UTILIZANDO O MÉTODO DO CANAL ESPECÍFICO.....	111
7.4-RESTRICÇÕES FÍSICAS.....	121
7.4.1-Parâmetros do Sistema .....	121
7.4.2-Nós com Capacidade de Regeneração do Sinal Óptico .....	122
7.4.3-Comparação entre Redes Totalmente Ópticas e Redes com Conversão OEO em Nós Escolhidos Previamente.....	123
7.4.4-Probabilidade de Bloqueio Devido à Falta de Comprimentos de Onda com Banda Disponível na Camada de Rede e de Restrições Físicas.....	125
7.4.4.1-Bloqueio por Banda Insuficiente nos Comprimentos de Onda Disponíveis na Rede .....	126
7.4.4.2-Restrições Físicas.....	127
7.4.4.2.1-Bloqueio por BER .....	127
7.5-ADICIONANDO RECURSOS À REDE .....	127
7.6-INFLUÊNCIA DAS RESTRIÇÕES FÍSICAS NA TÉCNICA DE AGREGAÇÃO WAVEBAND .....	130
7.7-ANÁLISE DO ESQUEMA DE MONITORAMENTO DE REDES ÓPTICAS WDM EM CONJUNTO COM A TÉCNICA WAVEBAND.....	132
<b>8- CONCLUSÕES.....</b>	<b>139</b>
8.1- PROBLEMA .....	139
8.2- ABORDAGEM.....	139
8.3- RESULTADOS.....	140
8.3.1- MG-OXCs de uma e três camadas .....	140
8.3.2- Heurística do Canal Específico Para a Escolha do Comprimento de Onda .....	142
8.3.3- Restrições da camada física nas simulações dos nós MG-OXCs.....	143

## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

