



UFPA

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

NEILA CÂNDIDA FERREIRA DOS SANTOS

1^o SEMESTRE / 1998

**ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE
TRANSPORTE**

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

CENTRO TECNOLÓGICO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO GUAMÁBELÉM-PARÁ

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

Este Trabalho foi julgado em 18/11/1998 adequado para obtenção do Grau de Engenheiro Eletricista – Opção ELETRÔNICA, e aprovado na sua forma final pela banca examinadora que atribuiu o conceito BOM.

Prof^o Dr. João Crisóstomo Weyl Albuquerque da Costa
ORIENTADOR

Eng^o Especialista Talisman Cláudio de Queiroz Teixeira Júnior
CO-ORIENTADOR

Prof^o M.Sc. Agostinho Luiz da Silva Castro
MEMBRO DA BANCA EXAMINADORA

Prof^o. Especialista Wilson Pacheco Ferreira
MEMBRO DA BANCA EXAMINADORA

**ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE
TRANSPORTE**

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

Prof^o M.Sc. Orlando dos Santos Brito
COORDENADOR DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE
TRANSPORTE**

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

*" **N**ão basta ensinar ao homem uma especialidade, porque ele se tornará assim uma máquina utilizável, mas não uma personalidade. É necessário que adquira um sentimento, um senso prático daquilo que vale a pena ser empreendido, daquilo que é belo, do que é moralmente correto. A não ser assim, ele se assemelhará, com seus conhecimentos profissionais, mais a um cão ensinado do que a uma criatura harmoniosamente desenvolvida. Deve aprender as motivações dos homens, suas quimeras e suas angústias,*

**ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE
TRANSPORTE**

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

*para determinar com exatidão seu lugar preciso em relação
a seus próximos e a comunidade"*

(Albert Einstein)

DEDICATÓRIA

A Deus, que sempre guia meus passos, a quem devo tudo.

Aos meus pais Fernando e Graça.

**ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE
TRANSPORTE**

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

Aos meus irmãos Cláudio, Manoel e Ábner.

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, Criador de tudo que existe.

Aos meus pais, **Fernando** e **Graça**, por compreenderem as dificuldades que tive de enfrentar, por seu apoio e incentivo para que eu vencesse mais este desafio.

Ao Professor **João Crisóstomo** pela grande contribuição científica, pelo incentivo, pelo empenho e paciência.

Ao amigo Engenheiro **Talisman**, que sugeriu o tema deste trabalho e muito contribuiu com o mesmo.

À Engenheira **Graça Guimarães**, pela contribuição técnica e incentivo.

**ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE
TRANSPORTE**

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

Ao Professor **Agostinho Castro** pelas sugestões a este trabalho.

Ao Professor **Wilson Pacheco**, pelas sugestões apresentadas.

Ao colega Engenheiro **Marco Homci**, companheiro de estágio.

Aos colegas **Cláudio Roberto** e **Kaijiro Hiodo**, pela ajuda nos laboratórios da UFPA.

Aos colegas **Paulo Falcão** e **José Ronaldo Faro Barros**, pela contribuição técnica.

Ao amigo Engenheiro **Almendro Ferreira**, pela calma que me deu e pela disposição de ajudar.

Ao amigo Engenheiro **César Costa**, pela contribuição técnica.

Aos amigos **Carla Janaina**, **George Ramos**, **Adalbery Castro**, **Márcia Valéria**, **Adriana Ribeiro**, **Renilson Marinho**, **Ana Lúcia**, **Daniel Pinheiro**, **Paulo Sérgio Lima**, **Marcelo Buiatti** e a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para o êxito deste trabalho.

Ao meu amor **Alberto César**.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA HIERARQUIA SÍNCRONA DIGITAL (SDH).....	04
2.1. Introdução.....	04
2.2. Estrutura de Quadros.....	04
2.3. Estrutura de Multiplexação.....	06
2.4. Modelo em Camadas da Rede de Transporte.....	10
2.5. Modelo em Camadas de Gerência da Rede.....	11
2.6. Equipamentos Utilizados em SDH.....	13

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

2.7. Outras Características da Hierarquia Síncrona Digital.....	15
2.8. Descrição Funcional dos Bytes do SOH.....	19
3. SOBREVIVÊNCIA DE REDES DE TRANSPORTE ÓPTICAS.....	23
3.1 Conceitos e Considerações sobre Sobrevivenciabilidade.....	23
3.2 Planejamento da Sobrevivenciabilidade de Serviços.....	24
3.3 Disponibilidade da Rede – Conceitos.....	25
3.3.1 Controle do Processo de Restabelecimento.....	26
3.3.2 Nível de Restabelecimento do Sinal.....	26
3.3.3 Planejamento do Enlace ou Via Alternativa.....	27
3.4 Comutação Automática para Proteção.....	28
3.4.1 Arquiteturas APS.....	28
3.4.2 Protocolo APS.....	31
3.5 Dual Homing.....	32
3.5.1 Arquiteturas Ópticas Dual Homing.....	33
3.6 Conclusão.....	34
4. ANÉIS TOLERANTES A FALHAS (ATF) OU SELF HEALING RINGS (SHR).....	35
4.1 Introdução.....	35
4.2 Classificação dos SHR's.....	36
4.2.1 Quanto ao Sentido de Tráfego.....	36
4.2.2 Quantidade de Fibras.....	37
4.2.3 Mecanismos de Proteção.....	37
4.2.4 Camada SDH Utilizada para Proteção.....	39
4.3 Arquiteturas SHR.....	39
4.3.1 BSHR/4 com Proteção de Linha.....	39
4.3.2 BSHR/2 com Proteção de Linha.....	42
4.3.3 USHR com Proteção de Linha (USHR/L)	44
4.3.4 USHR com Proteção de Via (USHR/P)	44
4.4 Considerações de Projeto para Anéis SDH.....	46
4.4.1 BSHR/4 com Proteção de Linha.....	46
4.5 Planejamento e Gerência de Banda em SHR's SONET / SDH.....	49

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

4.6 Estudo de Aplicações de SHR's – Comparação com 1:1/DP.....	52
4.7 Conclusões.....	53
5. REDES DCS RECONFIGURÁVEIS.....	54
5.1 Introdução.....	54
5.2 Digital Cross-Connect System (DCS)	55
5.3 Aplicações de Redes DCS Reconfiguráveis.....	55
5.4 Rede DCS com Auto-Regeneração.....	56
5.5 Arquiteturas de Redes DCS com Auto-Regeneração.....	63
5.5.1 Caracterização do Problema de Projeto de uma Rede DCS com Auto-Regeneração.....	63
5.5.2 Rede DCS com Controle de Auto-Regeneração Centralizado.....	64
5.5.3 Rede DCS com Controle de Auto-Regeneração Distribuído.....	66
5.6 Conclusão.....	70
6. CONSIDERAÇÕES DE PROJETO DE ANÉIS SONET/SDH.....	72
6.1 Introdução.....	72
6.2 Projeto de Rede nas Camadas Lógica e Física.....	74
6.3 Projeto de Rede em Anel.....	74
6.3.1 Roteamento de Demanda e Cálculo de Capacidade para Anéis.....	75
6.3.2 Algoritmo para Roteamento de Demanda em BSHR.....	76
6.4 Conclusões.....	78
7. CONCLUSÃO.....	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 Estrutura de Quadro do STM-1.....	5
Figura 2.2 Estrutura de Multiplexação da SDH.....	7

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

Figura 2.3	Estrutura de Multiplexação Utilizada no Brasil.....	7
Figura 2.4	Modelo de Rede SDH.....	10
Figura 2.5	Camadas de Gerência e Aplicação do Overhead.....	12
Figura 2.6	Equipamentos Utilizados na SDH.....	14
Tabela 2.1	Níveis Hierárquicos SONET/SDH.....	15
Tabela 2.2	Padrões dos bits 5 a 8 do byte S1.....	22
Figura 3.1	Planejamento de Sobrevivência de Serviços.....	24
Figura 3.2	Arquitetura APS 1:N.....	30
Figura 3.3	Arquitetura APS 1+1.....	31
Figura 3.4	Rede baseada em Hubs.....	33
Figura 3.5	Arquitetura Dual Homing Distribuída com Proteção Diversa.....	34
Figura 4.1	Anéis Unidirecionais e Bidirecionais.....	37
Figura 4.2	Função Comutação de Linha e Função Loopback.....	38
Figura 4.3	Operação de Anel BSHR/4.....	40
Figura 4.4	Formatos dos Bytes K1 e K2 para Sistemas Ponto a Ponto.....	41
Figura 4.5	Exemplo de Operação BSHR/2 sob Condições Normal e de Falha.....	43
Figura 4.6	Exemplo de Operação USHR/L sob Condições Normal e de Falha.....	44
Figura 4.7	Exemplo de Operação USHR/P sob Condições Normal e de Falha.....	45
Figura 4.8	Análise de Custos entre Arquiteturas SHR para uma Rede de Seis Nós.....	47
Figura 4.9	Esquemas de Gerência de Banda para SONET.....	51
Tabela 5.1	Proteção de Facilidades Físicas e Proteção de Canal Lógico.....	54
Figura 5.1	Exemplo de Restauração de Rede DCS.....	57
Figura 5.2	Classificação das Arquiteturas de Redes DCS com Auto-Regeneração.....	58
Figura 5.3	Arquiteturas para Controle de Auto-Regeneração de uma Rede DCS.....	59
Tabela 5.2	Comparação entre Sistemas de Controle Centralizado e Distribuído para Auto-Regeneração.....	60
Figura 5.4	Métodos de Restauração de Demanda.....	62
Figura 5.5	Descrição do Problema dos Métodos de Restauração.....	64
Figura 5.6	Exemplo de Operação de Rede DCS com Controle de Auto-Regeneração Centralizado.....	65

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

Figura 5.7	Caso de Restauração de Linha em Rede DCS com Controle Distribuído.....	67
Figura 5.8	Processo de Busca de Caminhos Alternativos para o Caso de Falha Única.....	69
Tabela 5.3	Comparação entre as Redes com Auto-Regeneração DP, SHR e DCS.....	71
Figura 6.1	Modelo de Restauração Integrada da Rede.....	72
Figura 6.2	Modelo para Projeto de Rede SONET / SDH com sobrevivenciabilidade.....	73
Figura 6.3	Anéis Unidirecionais e Bidirecionais.....	75
Figura 6.4	Cálculo de Capacidade de Anel BSHR.....	77

**ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE
TRANSPORTE**

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

LISTA DE ABREVIATURAS

ADM	Add-Drop Multiplexer
AIS	Alarm Indication Signal
APS	Automatic Protection Switching
ATF	Anel Tolerante a Falhas
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AU	Administrative Unit
AUG	Administrative Unit Group
BER	Bit Error Rate
BIP	Bit-Interleaved Parity
B-ISDN	Broadband Integrated Services Digital Network
BSHR	Bidirectional Self Healing Ring
CCN	Cross-Connect Network
CO	Central Office (Estação)
DCC	Data Communications Channel
DCS	Digital Cross-connect System
DEMUX	Demultiplexador
DQDB	Distributed Queue Dual Bus
DH	Dual Homing
DP	Diverse Protection
E/O	Elétrico-Óptico
EOC	Embedded Operations Channel
HDTV	High Definition Television
ID	Identificação
ITU-T	International Telecommunication Union – Telecommunications Sector
LAN	Local Area Network
LOF	Loss Of Frame
LOP	Loss Of Pointer

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

LOS	Loss Of Signal
MSOH	Multiplex Section OverHead
MSP	Multiplex Section Protocol
MUX	Multiplexador
NE	Network Element
OC-N	Optical Carrier – Level N
OLTM	Optical Line Terminating Multiplexer
OOF	Out Of Frame
PDH	Hierarquia Digital Plesiócrons
PSC	Protection Switching Controller
RDI	Remote Damage Indication
REI	Remote Error Indication
REG	Regenerador
RSOH	Regeneration Section OverHead
SD	Signal Degrade
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SDXC	Synchronous Digital Cross-Connect
SF	Signal Failure
SH	Single Homing
SHR	Self Healing Ring
SM	Seção de Multiplexação
SOH	Section OverHead
SONET	Synchronous Optical Network
STM-N	Synchronous Transport Module – Level N
STS	Synchronous Transport Signal – Level N
TC	Tandem Connection
TELCO	Telephone Company
TM	Terminal Multiplexer
TSA	Time-Slot Assignment
TSI	Time-Slot Interchange

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

TU	Tributary Unit
TUG	Tributary Unit Group
USHR	Unidirectional Self-Healing Ring
VC	Virtual Container
WDM	Wavelength Division Multiplexing

RESUMO

A padronização da hierarquia síncrona para redes ópticas de transporte tornou possível para as empresas operadoras de telecomunicações oferecer serviços de faixa larga. O crescimento do número de usuários e de serviços implica em grande concentração de serviços nos elementos da rede, o que torna essencial a garantia da qualidade e confiabilidade dos serviços suportados pela rede.

Este trabalho tem como objetivo estudar as técnicas de restabelecimento de serviços em redes de transporte ópticas que atendem os padrões síncronos SONET (*Synchronous Optical Network*) e SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*). O estudo é baseado no modelo geral de redes de transporte, considerando as técnicas aplicáveis para cada nível de restabelecimento, bem como para as principais arquiteturas deste tipo de rede:

- As técnicas de restabelecimento de canal físico: Comutação Automática para Proteção (APS), Dual Homing (DH) e Anéis Tolerantes a Falhas (SHR) e
- A técnica de restabelecimento de canal lógico, implementada em redes com Comutadores Digitais Cruzados (DCS).

Para um melhor entendimento de tais técnicas, são descritas algumas características básicas de SDH, que é a hierarquia síncrona utilizada no Brasil. São feitas comparações entre as técnicas APS com Rota de Proteção diversa e SHR, bem como entre SHR e redes DCS.

Finalmente, é apresentado um modelo geral de planejamento integrado de restabelecimento da rede óptica de transporte e são feitas algumas considerações sobre o projeto de anéis SONET/SDH.

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A escolha da tecnologia para um sistema de transmissão é determinada pela capacidade, economia, confiabilidade e potencial de crescimento do mesmo. O uso crescente de fibras ópticas para redes de telecomunicações é devido a suas características superiores aos sistemas a rádio e aos cabos metálicos. Entre estas características estão: capacidade e confiabilidade mais altas, espaçamento maior entre repetidores, maior segurança, dimensão e peso menores, potencial de crescimento ilimitado, menores custos por sistema [1].

A alta capacidade das fibras ópticas pode ser aproveitada pelos sistemas de transmissão para melhorar os serviços existentes hoje, como transporte de voz e dados, além de possibilitar a implementação de serviços que necessitam de largura de banda maior, como dados a alta velocidade, vídeo e TV de alta definição (HDTV).

O meio de transmissão óptico possui confiabilidade inerente, uma vez que está livre de interferência eletromagnética, e não é afetado por condições climáticas adversas. Sistemas de transmissão a fibras ópticas atualmente disponíveis possuem taxas de erro de bit (BER) menores que $1,0 \times 10^{-11}$.

Em comparação com os sistemas a cabo metálico, os sistemas a fibra óptica também são superiores na distância média entre repetidores/regeneradores. Enquanto os sistemas metálicos precisam de repetidores a cada 1,5 km, os sistemas ópticos alcançam mais de 100 km sem a necessidade de regeneração do sinal, mas existe a possibilidade de que esta distância aumente ainda mais no futuro.

Sistemas de transmissão a fibra óptica não emitem nem induzem sinais para o ambiente externo, e qualquer interrupção do sinal pode ser detectada quase imediatamente. Portanto, uma vez em operação, estes sistemas são impossíveis de serem interceptados, sendo bastante aplicados, devido a alta segurança, para comunicações militares e bancárias.

A vantagem econômica dos sistemas a fibra óptica é devida principalmente ao alto tráfego de dados em poucas fibras, com espaçamento maior entre repetidores e menores custos

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

de manutenção.

Por todos estes motivos, e devido a demanda cada vez maior de serviços de faixa larga, as empresas operadoras têm suas redes de transporte suportadas por fibras ópticas, o que implica em concentração maior de tráfego em alguns elementos da rede. Se ocorrer uma falha nestes elementos ou nas rotas de fibra óptica, muitos usuários serão afetados pela degradação ou interrupção dos serviços, o que pode significar grandes prejuízos tanto para as empresas provedoras de serviços (operadoras), como para os clientes, em especial os grandes clientes.

Assim, torna-se importante uma discussão a respeito da tolerância da rede a falhas, sua disponibilidade (ou sobrevivenciabilidade). Sobrevivenciabilidade (*Survivability*) é definida como “a capacidade de uma rede de comunicação de resistir a qualquer interrupção ou perturbação do serviço, mais especialmente devido a guerra, fogo, abalo sísmico, radiação nociva, ou outras catástrofes físicas e naturais, do que de interferência eletromagnética e *crosstalk*, por exemplo”. [1]

Neste trabalho serão estudadas as principais técnicas de restabelecimento das redes ópticas de transporte que permitem aumentar a confiabilidade da rede, mantendo-a disponível, mesmo em casos de falha total em algum componente.

No Capítulo 2 são apresentadas as características básicas da Hierarquia Síncrona Digital (SDH), o modelo de camadas para uma rede de transporte, o modelo em camadas de gerência da rede e o conteúdo dos *overheads* do sinal SDH básico, conceitos importantes para o entendimento dos capítulos posteriores.

No Capítulo 3 são abordadas estratégias de planejamento global da rede, realizado em quatro fases que visam a fornecer capacidade de restabelecimento para a rede, desde o seu projeto inicial, até o caso em que todas as alternativas automáticas falham e se torna necessária a intervenção humana. Este trabalho se baseia na terceira fase, que trata das arquiteturas e estratégias para sobrevivenciabilidade da rede. Em seguida, no mesmo capítulo, são estudadas as técnicas de restabelecimento de canal físico ditas *convencionais*: Comutação Automática para Proteção (APS) e *Dual Homing* (DH) utilizadas em redes em estrela.

O Capítulo 4 trata dos Anéis Tolerantes a Falhas (ATF) ou *Self-Healing Rings* (SHR). São detalhadas diversas alternativas de configurações de anéis ópticos, apresentando os requisitos necessários, vantagens/desvantagens e aplicabilidade de cada uma. Em seguida é feita uma comparação de custos entre a arquitetura em anel BSHR/4 e a arquitetura APS 1:1/DP.

O Capítulo 5 trata de uma técnica *não-convencional*, a técnica de restabelecimento de canal lógico, implementada pelas redes com Comutadores (Roteadores) Digitais Cruzados (DCS). São apresentados os métodos de controle que realizam o processo de re-roteamento, além de um algoritmo para busca de novas rotas para o caso de falha simples na rede.

No Capítulo 6 é apresentado um modelo geral para planejamento integrado de restabelecimento de uma rede óptica de transporte e algumas considerações sobre o projeto de anéis SONET (*Synchronous Optical Network*)/SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*).

Finalmente, no Capítulo 7 são apresentadas as conclusões acerca deste trabalho com algumas comparações entre as diversas técnicas apresentadas, bem como sugestões para futuros trabalhos.

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

CAPÍTULO 2

CARACTERÍSTICAS GERAIS DA HIERARQUIA SÍNCRONA DIGITAL (SDH)

2.1. INTRODUÇÃO

Apesar da evolução da tecnologia de componentes ópticos, fibras ópticas e centrais de comutação, os equipamentos de transmissão, até há poucos anos atrás, vinham sendo usados com a função básica de interligar uma central a outra. Com esse propósito de conexões ponto a ponto, a Hierarquia Digital Plesiócrona (PDH) se mostrou bastante adequada.

Com a necessidade de aumentar a capacidade das redes de transporte para taxas da ordem de gigabits por segundo (Gbit/s), oferecer serviços com qualidade elevada e atender clientes mais rapidamente e sob demanda, a PDH se mostrou limitada. As características da PDH restringem sua utilização a aplicações ponto a ponto (devido a dificuldade de realizar derivação/inserção – *drop/insert*), com poucos recursos para gerência (não tem largura de banda suficiente para conter *overhead* de gerência) e com equipamentos de um único fornecedor (devido a pouca padronização para os equipamentos).

Neste capítulo são descritas as principais características da Hierarquia Síncrona Digital (SDH).

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

2.2. ESTRUTURA DE QUADROS

A descrição abaixo se refere ao sinal STM-1 (Synchronous Transport Module, Nível 1), que é o sinal de menor nível dentro da SDH. Esta descrição também pode ser estendida para um sinal STM- n em geral. A estrutura de quadro do STM-1 é mostrada na Figura 2.1. Para o caso de um quadro STM- n , estrutura básica é a mesma, mas a largura é ampliada n vezes.

O quadro STM-1 ocupa 9x270 bytes em 125 microssegundos, obtendo assim uma taxa de bits de 155,520 Mbits/s. Do mesmo modo, o sinal STM- n tem estrutura de quadro de 9x270 bytes x n , e a taxa de bits fica 155.520 x n Mbits/s.

A estrutura de quadro, conforme mostrada na Figura 2.1 possui três áreas principais que são: SOH, Ponteiro e “Payload”.

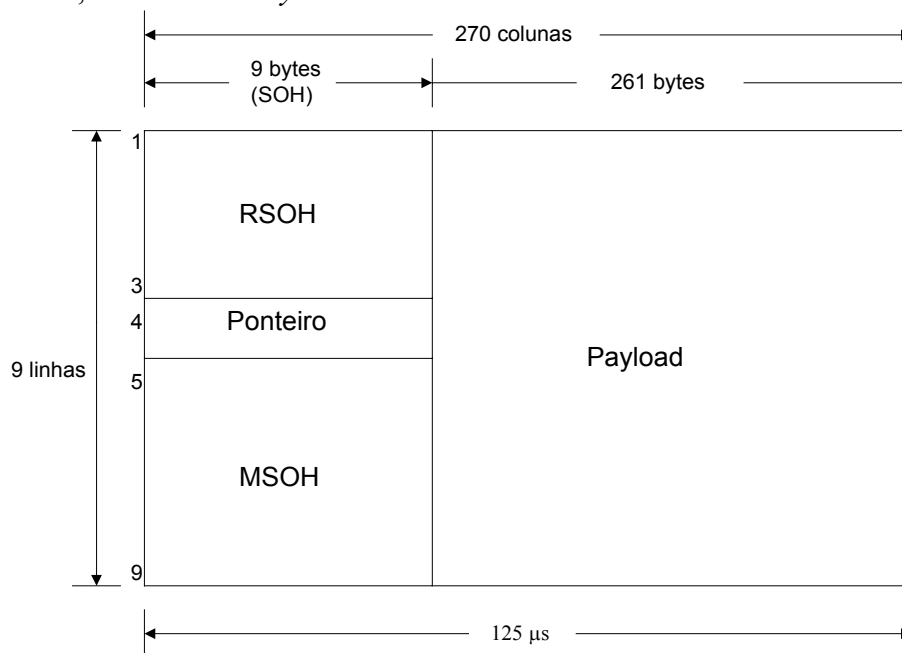


Figura 2.1. Estrutura de quadro do STM-1

O quadro STM-1 possui as seguintes características:

- comprimento total: 2430 bytes;
- duração de 125 microssegundos (frequência de repetição de 8 KHz);
- taxa de bit: 155,520 Mbits/s.

O bloco SOH (*Section Overhead*) de 8x9 bytes inclui os bytes necessários para serviço, como por exemplo, palavra de sincronismo de quadro, bytes adicionais para supervisão, gerenciamento e controle. O SOH está distribuído na estrutura de quadro do STM-1 da seguinte forma:

- nas linhas de 1 a 3 e colunas de 1 a 9 está o *Overhead* de Seção de Regeneração (RSOH);
- nas linhas de 5 a 9 e colunas de 1 a 9 está o *Overhead* da Seção de Multiplexação (MSOH);

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

Os sinais tributários de PDH entre 2 e 140 Mbit/s são transportados na área de *payload* de 9x261 bytes. Estes sinais são intercalados no bloco STM-1, de acordo com o quadro da figura 2.2. O *payload* ocupa as linhas de 1 a 9 e colunas de 10 a 270.

A relação de fase entre o *payload* e o quadro STM-1 é gravada no ponteiro, o qual permite a localização de tributários dentro do bloco do *payload*. Assim, após a interpretação do ponteiro, é possível acessar um único canal de usuário a qualquer momento, sem a necessidade de demultiplexar completamente o sinal STM-1. No bloco ponteiro estão definidos três ponteiros, cada um com 3 bytes. O ponteiro está localizado na linha 4 e colunas de 1 a 9.

A informação de SOH é adicionada ao *payload* para criar um sinal STM-n. Inclui blocos para informação de alinhamento, informação de manutenção, monitoração de desempenho e outras funções operacionais. A informação do SOH é dividida em RSOH, a qual é terminada nos regeneradores e MSOH, a qual passa transparentemente pelos regeneradores e é terminada onde os VC/ AUG (*Administrative Unit Group*) são montados e desmontados.

Para o quadro STM-n, os bytes do SOH são identificados por um vetor S de três coordenadas (a,b,c), onde “a” (1 a 3, 5 a 9) representa o número da linha, “b” (1 a 9) representa o número de um conjunto de colunas e “c” (1 a n) representa a profundidade de entrelaçamento dentro deste conjunto de colunas.

2.3. ESTRUTURA DE MULTIPLEXAÇÃO

No quadro STM-1, o *payload* transporta os sinais de informação, ou carga útil. São padronizadas algumas taxas que podem compor este *payload*, como por exemplo as taxas dos sinais PDH: 2, 34 e 140 Mbit/s (para hierarquia européia), e 1.5, 6 e 45 Mbit/s (para hierarquia americana), bem como qualquer sinal a estas taxas, ou que possa ser concatenado para ser transportado nestas taxas. A princípio não há limitação dos tipos de serviços a serem transportados e sim das interfaces de entrada padronizadas para os equipamentos SDH. Pode-se, por exemplo, transportar sinais de vídeo, células ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), células DQDB (*Distributed Queue Dual Bus*), etc.

A estrutura genérica de formação do *payload* de um sinal SDH, conforme padronizado internacionalmente, é mostrada na Figura 2.2. A estrutura de multiplexação padronizada para o Brasil é mais simplificada, utilizando apenas os tributários a taxas de 2Mbit/s, 34Mbit/s e 140Mbit/s.

A Figura 2.3 ilustra as três maneiras possíveis de formação do *payload* de um STM-1, partindo-se de tributários de 2.048Kbit/s, 34.368Kbit/s ou 139.264Kbit/s, apresentando a estrutura de multiplexação da SDH para o Brasil.

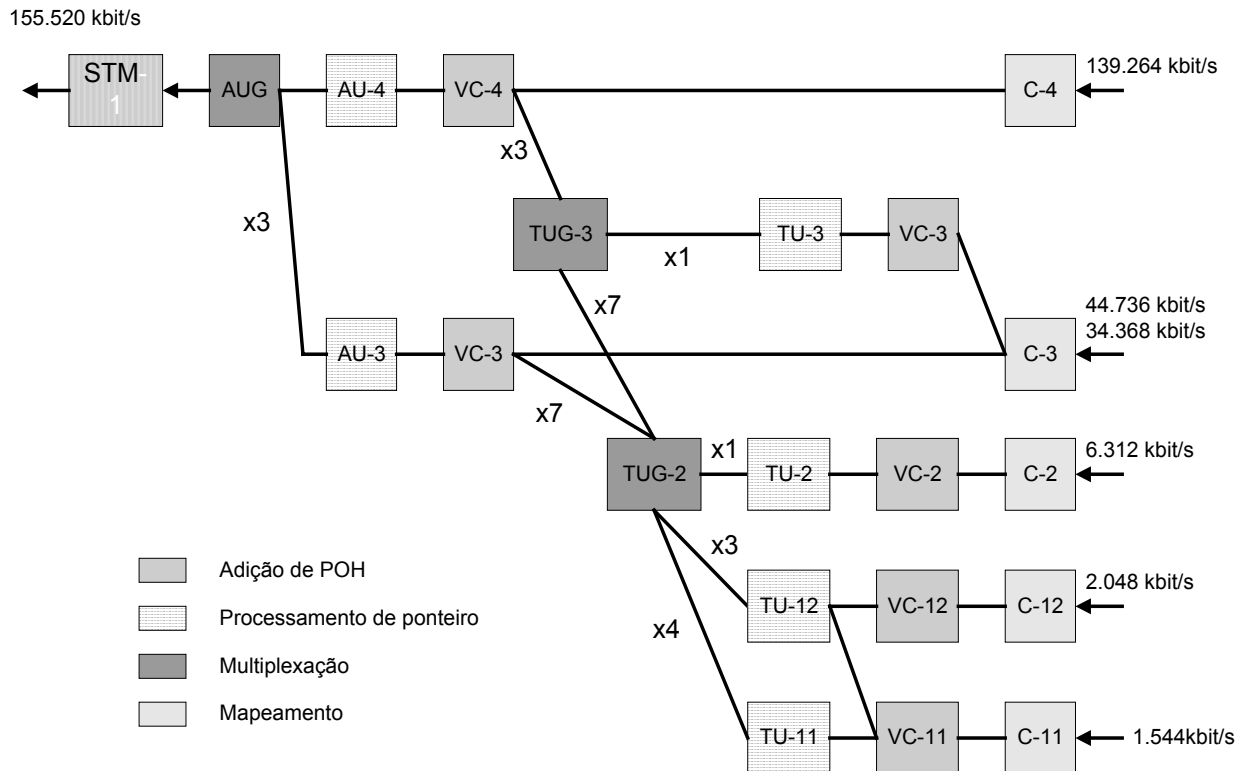


Figura 2.2. Estrutura de multiplexação da SDH

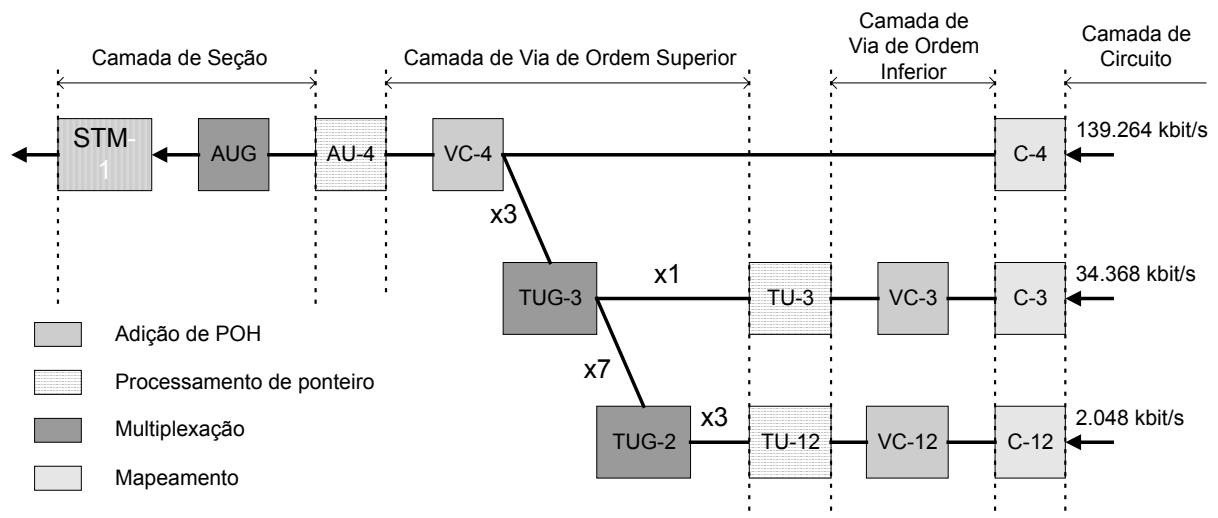


Figura 2.3. Estrutura de multiplexação SDH utilizada no Brasil

Estão padronizadas as interfaces para os sinais de 2M, 34M e 140M da PDH (E1, E3 e E4 na hierarquia européia). O ITU-T (*International Telecommunication Union – Telecommunications Standardizations Sector*) padronizou também o transporte de células ATM dentro da SDH. De maneira genérica, a SDH pode ser vista como a camada física de

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

transporte para os sinais das redes PDH e ATM, sendo compatível com ambas.

Antes que um tributário PDH, ATM ou SDH possa fazer parte de um quadro STM-1, existem diversas etapas de ajustes deste sinal. O primeiro passo é a inserção do sinal tributário em um *container* C-n ($n=12, 3$ e 4 , onde n indica o nível hierárquico). Os *containers* são estruturas de informação que alojam os sinais a serem transportados pela SDH. Existe um *container* apropriado para cada tipo de tributário a ser transportado (*payload*). A este processo de acomodação dos sinais dentro de *containers* adequados é denominada-se mapeamento. No processo de mapeamento dos tributários nos *containers*, são inseridos bytes (ou bits) fixos de enchimento, e bits de justificação e controle de justificação no caso de mapeamento de tributários assíncronos. Em seguida são adicionados bytes de *overhead* (contendo informações de desempenho, manutenção e alarmes de via) ao *container* C-n, formando assim a estrutura VC (*Virtual Container*).

O VC é uma estrutura de transporte constituída por um campo de *payload* e por um campo de informação de POH (*Path Overhead* ou *Overhead* de Via), organizados em uma estrutura de quadro que se repete a cada 125 ou 500 μ s. Os VCs podem ser de dois tipos:

- *Lower Order VC* (VC de Ordem Inferior) - O VC-m ($m=12$ ou 3) é formado por único *Container* de Ordem Inferior C-m ($m=12$ ou 3) associado a um POH apropriado;
- *Higher Order VC* (VC de Ordem Superior) - O VC-n ($n=3$ ou 4) é formado por um único *Container* de Ordem Superior associado a um POH apropriado.

O POH é a informação adicionada ao tributário para criar um VC. O POH contém informações sobre a integridade da comunicação entre os pontos onde é feita a montagem/desmontagem dos VCs.

Adicionando-se um ponteiro à estrutura do VC, forma-se uma TU (*Tributary Unit*). O TU é uma estrutura de transporte constituída por um VC de Ordem Inferior e por um ponteiro de TU que indica o início do quadro do VC de Ordem Inferior dentro do VC de Ordem Superior. O TU-m ($m=12$ ou 3) consiste de um VC-m e um ponteiro de TU.

Em seguida é feita a multiplexação dos TU's formando-se o TUG (*Tributary Unit Group*). O TUG é composto de um ou mais TU's ocupando posições definidas dentro de um VC-n.

O VC de Ordem Superior pode então ser formado por um *container* de Ordem Superior com adição do POH, ou através da multiplexação de estruturas de TUG. Para o padrão da estrutura de multiplexação utilizada no Brasil, o VC de Ordem Superior é o VC-4, sendo os outros VC's (VC-12 e VC-3) de Ordem Inferior.

Os sinais do VC de ordem superior são alinhados dentro de AUs (*Administrative Unit*), que é uma estrutura de transporte constituída por um VC de Ordem Superior (*Higher Order*) e por um ponteiro que indica o início do VC dentro da estrutura de transporte. São definidos dois tipos de AUs:

- O AU-4 consiste de um VC-4 mais um ponteiro de AU que indica a diferença de fase entre o VC-4 e o quadro STM-n;
- O AU-3 consiste de um VC-3 mais um ponteiro de AU, que indica a diferença de fase entre o VC-3 e o quadro STM-n.

O AUG (*Administrative Unit Group*) é uma estrutura de informação constituída por uma ou mais AUs multiplexadas e constitui o *payload* do STM-1. Um AUG pode ser formado por três AU-3 ou um AU-4. Adicionando-se os bytes do SOH ao AUG, forma-se o sinal STM-1.

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

O sinal STM-1 não precisa ser formado por um só tipo de tributário, podendo ser formada pelos diferentes tipos de tributários indicados na Figura 2.3, desde que respeitada a capacidade total e estrutura de multiplexação do sinal STM-1. Alguns exemplos de combinações possíveis para sinais de entrada para STM-1:

- 63 tributários de 2 Mbit/s ou
- 21 tributários de 2 Mbit/s e 2 tributários de 34 Mbit/s ou
- 1 tributário de 140 Mbit/s ou
- 3 tributários de 34 Mbit/s ou
- 42 tributários de 2 Mbit/s e 1 tributário de 34 Mbit/s.

Nos processos de multiplexação para formação do sinal STM-n, o entrelaçamento dos sinais é realizado em nível de byte. Através desta multiplexação temporal pode-se formar:

- 1 TUG-3 a partir de um TU-3 ou de 7 TUG-2;
- 1 TUG-2 a partir de 3 TU-12;
- 1 AUG a partir de 1 AU-4;
- 1 STM-1 a partir de 1 AUG.

A estrutura de quadro de sinais STM-n é obtida do mesmo modo descrito acima, a partir da multiplexação de N estruturas AUGs. O STM-n é então formado adicionando-se os bytes de SOH ao *payload*.

2.4. MODELO EM CAMADAS DA REDE DE TRANSPORTE

O ITU-T subdividiu a Rede de transporte SDH em três camadas que são:

- Camada de Circuito (*Circuit Layer Network*);
- Camada de Via (*Path Layer Network*);
- Camada de Meio de Transmissão (*Transmission Media Layer Network*).

Existe uma relação cliente/servidor entre essas camadas, conforme mostra a Figura 2.4. A camada inferior é cliente da camada imediatamente superior e esta é servidora da camada imediatamente inferior. Cada camada tem seus próprios procedimentos de operação e manutenção.

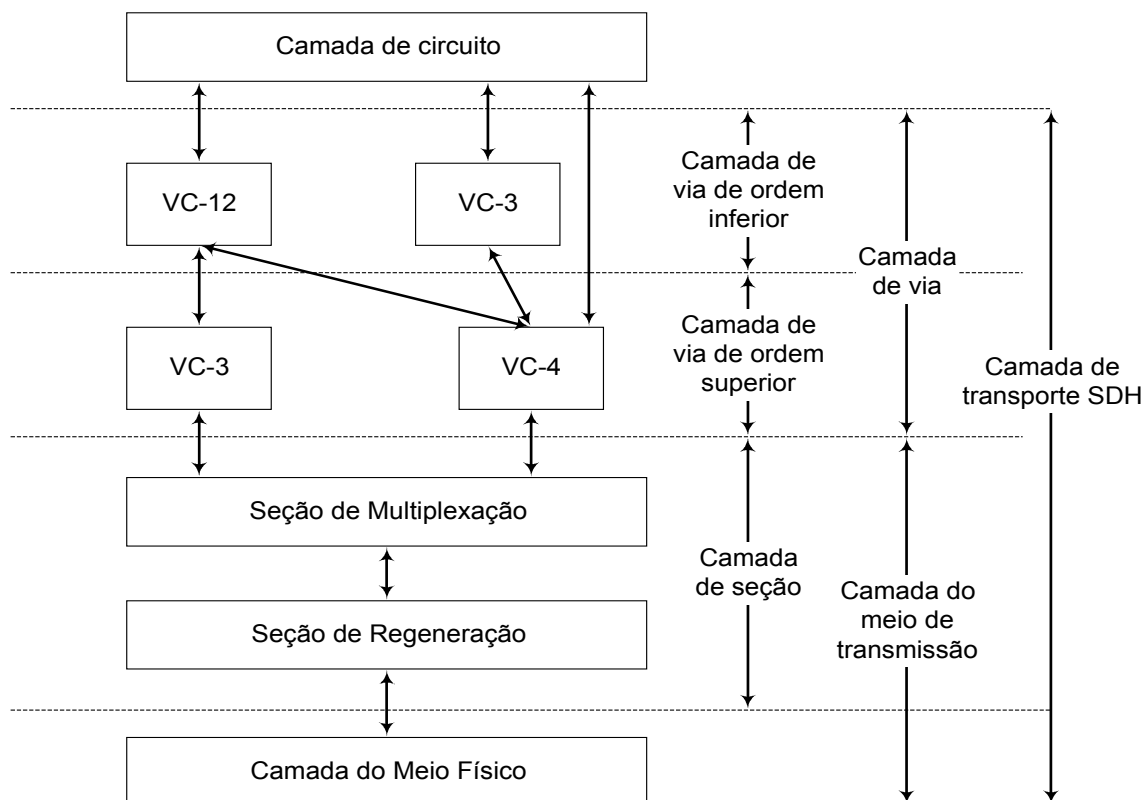


Figura 2.4. Modelo de Rede SDH

a) *Camada de Circuito*

Provê aos usuários serviços de telecomunicações tais como: comutação de circuitos e comutação de pacotes. Diferentes camadas de circuito podem ser identificadas de acordo com os serviços fornecidos;

b) *Camada de Via*

É utilizada para dar suporte aos diferentes tipos de camadas de circuito. No caso da SDH, existem dois tipos: a Camada de Via de Ordem Inferior (*Lower-Order Path Layer Network*) e a Camada de Via de Ordem Superior (*Higher-Order Path Layer Network*). A monitoração desta camada da rede é feita através do *Overhead de Via* (POH) de ordem inferior ou de ordem superior;

c) *Camada do Meio de Transmissão*

É dividida em Camada de Seção (*Section Layer Network*) e Camada de Meio Físico (*Physical Media Layer Network*). A Camada de Seção se ocupa de todas as funções para a transferência de informação entre dois nós na camada de Via. No caso do SDH existem dois tipos de Camada de Seção:

- a *Camada de Seção de Multiplexação*, que se ocupa da transmissão fim-a-fim

da informação entre locais que acessem (para roteamento ou terminação) a Via,
 - a *Camada de Seção de Regeneração*, que se ocupa da transmissão de informação entre regeneradores, e entre regeneradores e locais que acessem as Vias.

A Camada de Meio Físico se ocupa com o meio de transmissão (fibra óptica, rádio ou par metálico), a qual serve a camada de Seção. A monitoração desta camada de rede é feita pelo SOH.

2.5. MODELO EM CAMADAS DE GERÊNCIA DA REDE

Cerca de 5% da capacidade (banda) dos sinais da SDH é reservada para o transporte de bytes de *overhead*. Esses bytes auxiliam a realização das funções de gerência da rede SDH. São definidos três níveis de *overhead*: o *Overhead* de Seção de Regeneração (RSOH), o *Overhead* de Seção de Multiplexação (MSOH) e o *Overhead* de Via (POH).

A rede SDH é vista pela gerência de rede como uma superposição de três camadas de gerência, sendo que para cada camada está disponível um *overhead* específico. O POH está associado à camada de Via, o MSOH está associado à camada de Seção de Multiplexação e o RSOH à Seção de Regeneração.

Uma Via é definida entre os pontos onde é montado e desmontado um VC. Para a gerência de Via, não importa qual o caminho percorrido pelo VC na rede SDH e sim os pontos onde o VC é montado (POH inserido) e desmontado (POH retirado).

Uma Seção de Multiplexação é definida como o enlace entre dois equipamentos SDH adjacentes, excetuando-se os regeneradores. Os regeneradores e o meio físico estão incluídos na Seção de Multiplexação. No equipamento onde é originado o sinal STM-n, é inserido um MSOH que passa transparentemente pelos regeneradores e é lido no equipamento ao qual se destina. Para a gerência de Seção de Multiplexação, não importa qual o caminho físico percorrido pelo sinal da SDH, e sim os pontos onde o MSOH é inserido e retirado.

Uma Seção de Regeneração é o menor segmento que pode ser observado pela gerência de rede. É definida como o enlace entre dois equipamentos quaisquer da SDH, incluindo regeneradores. Assim, uma Seção de Multiplexação pode ser formada por algumas Seções de Regeneração que são definidas pelo ponto onde o RSOH é inserido e o ponto onde o RSOH é retirado. A Figura 2.5 ilustra as camadas de gerência e o limite de aplicação entre elas.

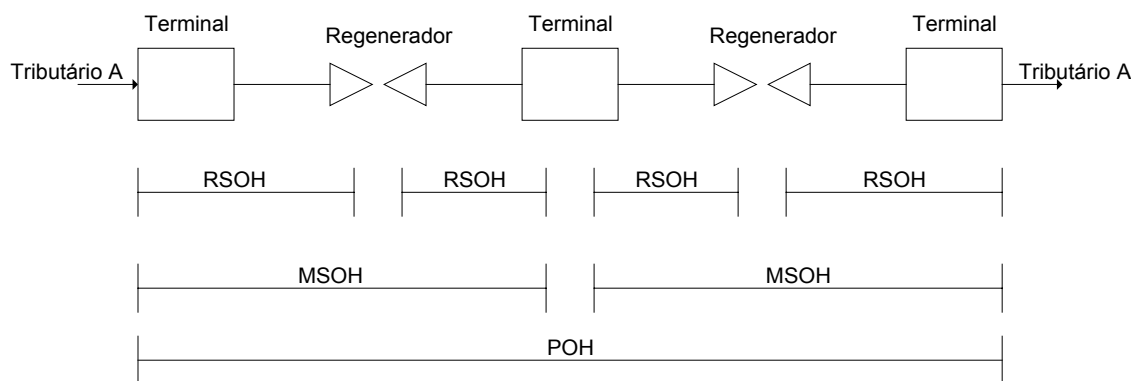


Figura 2.5. Camadas de Gerência e Aplicação do *overhead*

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

O ITU-T está padronizando uma nova camada denominada *Tandem Connection* (TC). Quando uma Via é constituída por segmentos pertencentes a mais de uma operadora de rede pode ser necessária a gerência de cada segmento pela respectiva operadora. Cada segmento de Via é denominado uma TC. Neste caso, a operadora compara o número de erros de paridade no sinal quando este entra em sua área e compara com o número de erros de paridade no sinal quando este sai de sua área. A diferença detectada corresponde à parcela de degradação introduzida na Via por aquela operadora. A informação de quantos erros foram detectados no sinal ao entrar em sua área é transmitida para o ponto onde o sinal sai de sua área através de *overhead* específico para *Tandem Connection*.

2.6. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS EM SDH

O ITU-T não padroniza a implementação dos equipamentos da SDH, porém todas as suas funcionalidades são padronizadas por uma descrição formal baseada em blocos lógicos. O ITU-T especifica um conjunto de blocos lógico genéricos, a partir dos quais qualquer tipo de equipamento da SDH pode ser configurado. Na especificação dos blocos, todas as funcionalidades de transmissão e de gerência são definidas. Assim, ao representar um equipamento qualquer da SDH a partir desses blocos funcionais, automaticamente estão especificadas todas as funcionalidades requeridas para o mesmo.

As facilidades de derivação e inserção descritas anteriormente permitem que dois novos tipos de equipamentos sejam viabilizados com a tecnologia SDH, o ADM (*Add-Drop Multiplexer*) e o SDXC (*SDH Digital Cross-Connect*), também denominado DCS (*Digital Cross-connect System*) em ambientes SONET. Estes equipamentos possuem matrizes de conexão que podem receber todos os VCs contidos nas interfaces STM-n ou originados no próprio nó onde o equipamento está instalado. Através de um mapa de conexões programável, estas matrizes roteiam os VCs possibilitando encaminhá-los para os STM-n de saída ou derivá-los localmente.

Há quatro tipos de equipamentos SDH, conforme está ilustrado na Figura 2.6: Terminal Multiplexador (TM), Multiplexador com deriva/insere (ADM), roteador síncrono (SDXC) e regenerador (REG). Todos estes equipamentos já incluem a função de terminação de linha (óptica).

a) Regeneradores (REG)

Os equipamentos regeneradores da SDH têm função semelhante aos da PDH, ou seja, regeneram o sinal de linha degradado devido à transmissão no meio físico. Estes equipamentos regeneram o sinal agregado STM-n e o retransmitem com características de amplitude, forma

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

de onda e sincronismo dentro dos limites padronizados.

b) Terminal Multiplexador (TM)

Terminais são equipamentos que multiplexam/demultiplexam sinais tributários (STM-n ou PDH), formatando/terminando o sinal agregado STM-n. Estes equipamentos geralmente estão na terminação de um sistema ponto-a-ponto ou em cadeia, não podendo ser utilizados em arquiteturas em anel, pois só possuem uma interface de agregado, sem capacidade *add-drop*.

c) Multiplexador com Deriva/Insere (ADM)

Este equipamento deriva e insere tributários STM-m e tributários PDH a partir de um sinal agregado STM-n. Equipamentos ADM diferem entre si quanto ao tipo de tributário e o modo como estes tributários são acessados.

Este equipamento deve ser utilizado na arquitetura em anel ou em cadeia porque possui duas interfaces de agregados e a capacidade de derivar tributários em cada nó onde estiver instalado. Em alguns casos pode operar também como terminal multiplexador, como por exemplo, no final de uma cadeia, bastando para isso que se utilize apenas uma das interfaces de agregado.

d) Roteador Síncrono (SDXC ou DCS)

Os roteadores síncronos formatam/terminam sinais digitais e realizam o roteamento de tráfego a nível de VC's. Existem dois tipos de roteadores síncronos: SDXC 4/1 e SDXC 4/4. O equipamento SDXC 4/4 realiza o roteamento a nível de VC-4 e o SDXC 4/1 realiza o roteamento a nível de VC-12.

Os equipamentos roteadores síncronos devem ser utilizados em pontos de rede onde é necessária alta flexibilidade no roteamento de tráfego. Diferem quanto ao tipo de VC que podem rotear. O SDXC 4/4 roteia apenas VC-4 e o SDXC 4/1 roteia VC-4 e VC-m.

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

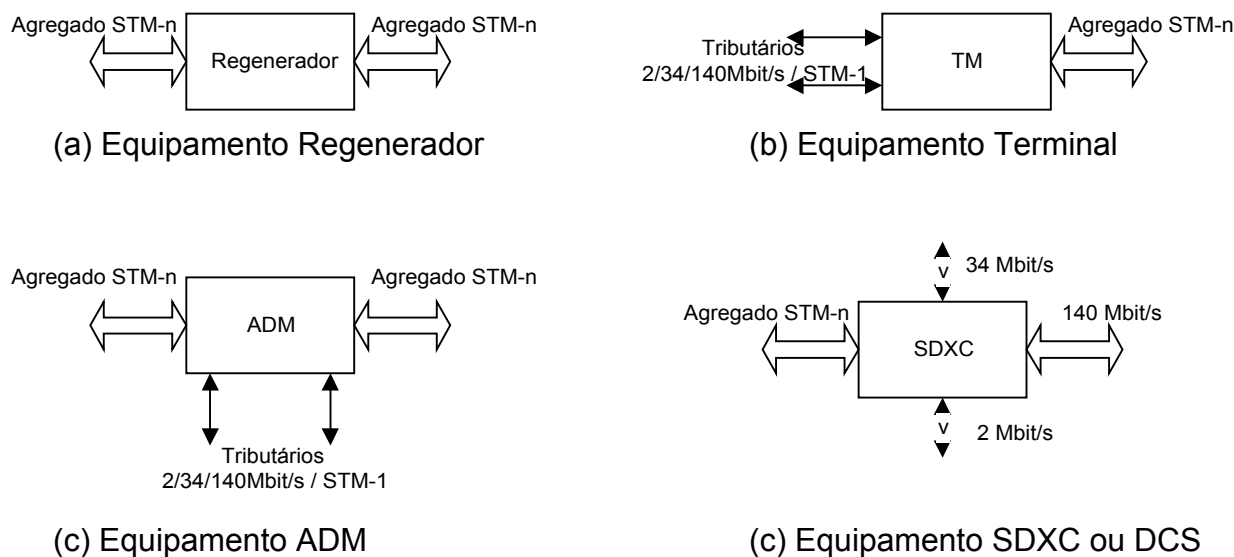


Figura 2.6. Equipamentos usados na SDH

2.7. OUTRAS CARACTERÍSTICAS DA HIERARQUIA SÍNCRONA DIGITAL (SDH)

e) Padronização Total

Um dos objetivos da SDH é permitir a convivência de vários fornecedores de equipamentos (ambiente multifornecedor) em uma mesma rede, tanto de transmissão como de gerência.

Para atingir tal objetivo, o ITU-T busca uma padronização completa da SDH, que envolve taxas de bits, estruturas de quadro e de multiplexação, interfaces de linha do sinal SDH, mecanismos de proteção, funcionalidades dos equipamentos de transmissão e gerência e interfaces de gerência.

f) Taxas de Bit da SDH

As taxas de bit padronizadas para SDH e representadas na Tabela 1 são: 155.520 Kbps, primeiro nível da SDH e denominado STM-1 (Synchronous Transport Module-1); 622.080 Kbps, segundo nível e denominado STM-4; 2.488.320 Kbps, terceiro nível e denominado STM-16. Cada nível tem taxa equivalente a quatro vezes a taxa anterior. Há também a padronização de um sub-nível com taxa de 51.840 Kbps, definido para enlace rádio e para aplicações via satélite, denominado STM-0 e não reconhecido pelo ITU-T como um nível hierárquico SDH.

Tabela 2.1. Níveis hierárquicos SONET/SDH e taxas de bit

SONET	Taxa (Mbps)	SDH
OC-1	51,840	----

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

<i>OC-3</i>	<i>155,520</i>	<i>STM-1</i>
<i>OC-9</i>	<i>466,560</i>	<i>----</i>
<i>OC-12</i>	<i>622,080</i>	<i>STM-4</i>
<i>OC-18</i>	<i>933,120</i>	<i>----</i>
<i>OC-24</i>	<i>1244,160</i>	<i>----</i>
<i>OC-36</i>	<i>1866,240</i>	<i>----</i>
<i>OC-48</i>	<i>2488,320</i>	<i>STM-16</i>
<i>OC-96</i>	<i>4976,640</i>	<i>----</i>
<i>OC-192</i>	<i>9953,280</i>	<i>STM-64</i>

g) *Interfaces de Linha*

A interface STM-1 está padronizada para os meios ópticos e elétricos, sendo definida também para enlace rádio. As interfaces STM-4 e STM-16 estão padronizadas apenas para o meio óptico.

h) *Interfaces de Gerência*

Existem três tipos de interfaces de gerência definidos pelo ITU-T para os equipamentos da SDH (*NE, Network Elements*). A interface F permite que o operador acesse o NE para sua gerência local. A interface Q3 permite a conexão direta entre o NE e a TMN (*Telecommunications Management Network*). A interface através do canal de comunicação de dados DCC (*Data Communications Channel*), embutido nos sinais STM-n, permite que as mensagens da TMN possam ser transportadas através da rede SDH até atingir qualquer NE que esteja ligado à rede SDH. Assim, o DCC permite a conexão entre qualquer NE e a TMN.

Na especificação de uma interface de gerência para um equipamento devem ser considerados pelo menos três aspectos: o *aspecto funcional de gerência*, que apresenta quais funcionalidades existentes no equipamento devem ser gerenciadas e de que forma; o *aspecto de informação*, que modela as funcionalidades que devem ser gerenciadas estabelecendo a sintaxe e a semântica das mensagens que tráfegarão na interface; finalmente, o *aspecto de comunicação*, que define qual o perfil de protocolo ideal para atender ao aspecto funcional e ao aspecto de informação definidos.

O ITU-T tem hoje padronizados o aspecto funcional de gerência e o aspecto de comunicação. Está completando a padronização do aspecto de informação através da especificação do Modelo de Informação que, em linguagem orientada a objetos, modela o aspecto funcional. Por não haver uma padronização completa das interfaces de gerência, ainda não é possível hoje se construir um ambiente multifornecedor para a rede de gerência.

i) *Funcionalidades de Gerência Embutidas nos Equipamentos*

O ITU-T padroniza também as funcionalidades de gerência que os equipamentos da SDH devem sofrer, tais como:

- informações de gerência (alarmes, primitivas de desempenho e dados para configuração) que devem tráfegar internamente aos equipamentos;

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

- teste de persistência que deve ser feito nos alarmes;
- análise de correlação que deve ser feita entre os alarmes;
- eventos de desempenho que devem ser calculados a partir das primitivas de desempenho, tais como ‘segundos errados’ e ‘segundos severamente errados’;
- quantidade de registros de 15 minutos de um dia que o equipamento deve dispor para histórico dos eventos de desempenho.

j) Entrelaçamento de Byte

Nos processos de multiplexação para formação do sinal STM-n, o entrelaçamento dos sinais é realizado em nível de byte. Na PDH o entrelaçamento é feito em nível de bit. O tratamento do sinal a nível de byte facilita o uso de microprocessadores e a integração de funções do equipamento em circuitos dedicados.

k) Duração dos Quadros

A duração do quadro é de 125 μ s para qualquer nível do sinal SDH. Se for necessário extrair um tributário de um sinal SDH e inseri-lo em outro sinal SDH, ainda que de nível hierárquico diferente, o retardo necessário para a operação é minimizado pelo fato da duração dos quadros ser a mesma.

l) Presença de Ponteiros

Uma das funções dos ponteiros existentes no sinal STM-n é indicar a posição dos VC's que transportam os tributários. Para que um VC possa ser localizado dentro de um sinal STM-n é necessário recuperar o alinhamento de quadro do sinal e ler o valor do ponteiro que está localizado em uma posição conhecida do quadro. A facilidade de localização dos VC's é semelhante para qualquer nível da hierarquia. A outra função dos ponteiros é permitir a justificação de byte dos VC's semelhante à justificação de bits da PDH. Caso haja uma diferença limitada de frequência entre dois sinais SDH, o ponteiro permite que um VC possa ser derivado de um feixe STM-n e que seja inserido no outro feixe STM-n sem perda de bytes. Isso é possível porque a cada quatro quadros o ponteiro pode ter o seu valor decrementado, indicando justificação negativa de byte, ou incrementado, indicando justificação positiva de byte.

m) Novos Equipamentos

As facilidades de derivação e inserção descritas permitem que dois novos tipos de equipamentos sejam viabilizados com a tecnologia SDH, o ADM¹ (*Add-Drop Multiplexer*) e o SDXC ou DCS² (*Digital Cross-Connect*). Estes equipamentos possuem matrizes de conexão que podem receber todos os VC's contidos nas interfaces STM-n ou originados no nó onde o equipamento está instalado. Através de um mapa de conexões programável, estas matrizes roteiam os VC's possibilitando encaminhá-los para os STM-n de saída ou derivá-los

¹ Aplicações de ADM são os anéis auto-regenerativos, que serão abordados no Capítulo 4.

² O Capítulo 5 detalha aplicações de equipamentos DCS para redes auto-regenerativas.

localmente.

n) Novas Arquiteturas de Rede

A existência do ADM e do DCS permite que arquiteturas de redes mais flexíveis sejam implementadas, tais como cadeia de ADMs e redes em anel. Estas redes podem, com uma mesma arquitetura física, representar várias configurações lógicas em função do padrão de tráfego existente ou mesmo em função do roteamento de tráfego em caso de falha. Isso diminui as operações de *jumper* nos DID's (Distribuidores Intermediários Digitais).

o) Conteúdo dos Overheads

No RSOH (bytes A1 e A2) é transportado o identificador do início do quadro do sinal STM-n. No RSOH (bytes D1 a D3) está disponível um canal de comunicação de dados para a seção de regeneração (DCC_R) a 192 Kbps e no MSOH (bytes D4 a D12) está disponível um canal de comunicação de dados para a Seção de Multiplexação (DCC_M) a 576 Kbps. O DCC_R é acessível em todos os elementos da rede (NE's), incluindo os regeneradores, e destina-se a transportar mensagens da TMN que se destinam aos NE's da SDH. Utilizando este canal como meio físico, é estabelecida uma rede lógica de gerência da SDH embutida na rede de transporte, com todos os NE's interligados à TMN. O DCC_M tem propósito geral e é acessado em todos os elementos de rede, exceto os regeneradores.

Dois tipos de canais de voz a 64Kbps podem ser transportados pelos sinais da SDH: um *canal ônibus*, acessível em todos os NE's (acessível RSOH, byte E1) e um *canal expresso*, acessível em todos os NE's, exceto nos regeneradores (disponível no MSOH, byte E2).

Estão disponíveis dois canais a 64 Kbps reservados para a operadora de rede: um no RSOH (byte F1) e um no POH (byte F2).

O protocolo da MSP (*Multiplex Section Protocol*) trafega embutido no MSOH (bytes K1 e K2). O ITU-T está padronizando um mecanismo de proteção semelhante ao MSP para a proteção de Via. O protocolo de controle desse mecanismo tráfegará embutido no POH.

No MSOH (byte S1) é possível identificar a qualidade da referência de sincronismo utilizada para gerar o sinal da SDH. Dessa forma, em um dado nó, é possível escolher entre os vários sinais entrantes, qual o de melhor qualidade para se extrair a referência de sincronismo, através da análise do MSOH (byte S1) de cada sinal.

Em todos os *overheads* existem disponíveis bytes que transportam códigos de paridade associados ao sinal a ser transmitido. O equipamento remoto calcula a paridade do sinal recebido e compara com o código de paridade transportado. Este mecanismo, existente em todas as camadas de gerência, é denominado BIP (*Bit Interleaved Parity*) e permite que seja feita a monitoração de desempenho em serviço como função do número de erros de paridade detectados entre o código transportado e o cálculo feito no sinal recebido.

O POH permite que outras funções auxiliares à gerência de rede sejam realizadas na camada de Via. Permite que o equipamento que monta o VC informe ao equipamento que desmonta o VC qual o tipo de sinal transportado pelo VC e qual a Via que o VC percorre. O equipamento distante compara a informação recebida com a informação esperada. Em caso de diferença entre elas, existe uma falha na operação da rede e esta é sinalizada para a TMN.

Caso o equipamento remoto detecte falhas ou erros de paridade, estas condições são informadas ao equipamento local através do MSOH e do POH do sinal STM-n que retorna do

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

equipamento remoto para e equipamento local. Esta facilidade permite a monitoração dos dois sentidos de transmissão a partir de um único ponto (nó local ou nó remoto).

2.8. DESCRIÇÃO FUNCIONAL DOS BYTES DO SOH

p) A1 e A2. Alinhamento de quadro.

Estes bytes são reservados para a transmissão da informação de início de quadro, denominada Palavra de Alinhamento de Quadro (PAQ). Através de um algoritmo de identificação e confirmação da PAQ, o receptor pode identificar o início do quadro STM-n. Dois tipos de bytes estão definidos para alinhamento:

- A1: 11110110
- A2: 00101000

q) J0. “Trace” de Seção de Regeneração.

O byte J0, localizado na posição S(1,7,1) de um STM-n, é alocado como “trace” de uma seção de regeneração. Seu uso entre duas operadoras de rede deve ter concordância mútua. O conteúdo deste byte ainda está em estudo. A definição dos bytes nas posições S(1,7,2) a S(1,7,n), denominados Z0, também está em estudo;

r) D1 a D12. Data Communication Channel (DCC)

Um canal de comunicação de dados a 192 Kbps é estabelecido usando-se os bytes D1, D2 e D3 como um DCC para a seção de regeneração. Um canal de 576 Kbps é estabelecido utilizando-se os bytes D4 a D12 como um DCC para a seção de multiplexação;

s) E1 e E2. Canais de Serviço

Estes dois bytes devem ser usados para prover canais de serviço para comunicação de voz. E1 é parte do RSOH e pode ser acessado nos regeneradores. E2 é parte do MSOH e pode ser acessado nas terminações da seção da multiplexação;

t) F1. Canal de Usuário.

Este byte é reservado para uso das Empresas Operadoras;

u) B1. BIP-8

Byte utilizado para a monitoração de erros na seção de regeneração. Esta monitoração é feita usando o código BIP-8 (*Bit Interleaved Parity-8*), que é um código de 8 bits usando paridade par. O BIP-8 é calculado sobre todos os bits do quadro STM-n anterior depois de embaralhado e é colocado no byte B1 antes do embaralhamento, de forma que o B1 recebido sempre se referirá ao quadro anterior;

v) B2. BIP-nx24

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

Byte utilizado para a monitoração de erro na seção de multiplexação. Essa monitoração é feita utilizando-se o código BIP-nx24 com paridade par. O BIP-nx24 é calculado sobre todos os bits do quadro STM-n anterior, exceto para as primeiras três linhas do SOH e é colocado nos bytes B2;

w) *K1 (completo) e K2 (bits b1 a b5). Comutação Automática de Proteção (APS)*

Bytes de sinalização de comutação automática de proteção. São utilizados para comunicação entre MSP local e remota, com propósitos de comutação através de um protocolo orientado a bit.

x) *K2 (bits b6 a b8). MS-RDI (Indicação de Defeito Remoto na Seção de Multiplexação)*

A indicação de defeito remoto da seção de multiplexação é usada para retornar uma indicação para o lado de transmissão de que o lado de recepção detectou uma falha de seção no sinal recebido ou está recebendo MS-SIA (Sinal Indicador de Alarme da Seção de Multiplexação). MS-RDI é detectado por um código “110” nos bits 6,7,8 do byte K2 após o desembaralhamento;

y) *Z1 e Z2.*

Bytes reservados para funções não definidas. Estes bytes não deverão ser utilizados até que sejam definidos pela Telebrás;

z) *S1 (bits b5 a b8). Status de Sincronização*

Os bits 5 a 8 do byte S1 (9,1,1) são alocados para Mensagens de Status de Sincronização. A Tabela 2.2 mostra os padrões de bits para os quatro níveis de sincronização. Dois padrões adicionais de bits são definidos, um para indicar que a qualidade da sincronização é desconhecida e outro para sinalizar que a seção não deve ser usada para sincronização. Os códigos restantes são reservados e não deve ser utilizados até que sejam definidos pela Telebrás;

aa) *M1. MS-REI (Indicação de Erro Remoto da Seção de Multiplexação)*

Em um sinal STM-n este byte transporta a contagem (0 a n) dos blocos errados detectados pelo BIP-nx24 (B2);

bb) *Bytes dependentes do meio de transmissão*

Para sistemas STM-1, 6 bytes estão reservados com finalidade específica de fornecimento de informações sobre o meio de transmissão;

cc) *Bytes reservados para uso nacional*

Para sistemas STM-1, 6 bytes estão reservados para uso nacional. Estes bytes não deverão ser utilizados até que sejam definidos pela Telebrás. O critério de utilização desses bytes deve ser tal que não gere seqüências longas de “0s” ou “1s” no sinal STM-n, já que estão fora do

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

processo de embaralhamento;

dd) Bytes reservados para futura padronização internacional

Para sistemas STM-126 bytes estão reservados para uma futura padronização internacional. Esses bytes não devem ser utilizados até que sejam definidos pela Telebrás.

Tabela 2.2. Padrões dos bits 5 a 8 do byte S1

<i>S1 (bits b5 a b8)</i>	<i>Descrição do nível de qualidade de Sincronização da Seção de Multiplexação da SDH</i>
<i>0000</i>	<i>Qualidade desconhecida</i>
<i>0001</i>	<i>Reservado</i>
<i>0010</i>	<i>G.811</i>
<i>0011</i>	<i>Reservado</i>
<i>0100</i>	<i>G.812 Trânsito</i>
<i>0101</i>	<i>Reservado</i>
<i>0110</i>	<i>Reservado</i>
<i>0111</i>	<i>Reservado</i>
<i>1000</i>	<i>G.812 Local</i>
<i>1001</i>	<i>Reservado</i>
<i>1010</i>	<i>Reservado</i>
<i>1011</i>	<i>SETS</i>
<i>1100</i>	<i>Reservado</i>
<i>1101</i>	<i>Reservado</i>
<i>1110</i>	<i>Reservado</i>
<i>1111</i>	<i>Não use para sincronização.</i>

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

CAPÍTULO 3

SOBREVIVÊNCIA DE REDES DE TRANSPORTE ÓPTICAS

3.1. CONCEITOS E CONSIDERAÇÕES SOBRE SOBREVIVENCIABILIDADE

A crescente tendência das redes de comunicação em utilizar sistemas de transmissão ópticos de alta capacidade, e suportando serviços especiais que exigem maior confiabilidade, torna importante uma discussão a respeito da tolerância da rede a falhas, sua sobrevivenciabilidade.

Sobrevivenciabilidade (*Survivability*) ou disponibilidade é definida como “a capacidade de uma rede de comunicação de resistir a qualquer interrupção ou perturbação do serviço, mais especialmente devido a guerra, fogo, abalo sísmico, radiação nociva, ou outras catástrofes físicas e naturais, do que de interferência eletromagnética e *crosstalk*”[1].

Falhas na rede podem ser atribuídas a problemas de hardware, software ou catástrofes naturais. Uma falha de software nos *switches* 4ESS da AT&T ocorrida em janeiro de 1990 bloquearam por nove horas 65 milhões de chamadas de longa distância. Outro exemplo é o corte de um cabo de fibra, que é uma causa comum de falha, que pode ser provocado por desastres naturais ou por intervenção inadvertida de terceiros.

Desse modo, falhas na rede geram interrupções nos serviços aos usuários, e essas interrupções de serviços causam danos tangíveis e intangíveis aos usuários e provedores de serviços (TELCO - *Telephone Company*, o provedor de serviços telefônicos). Exemplos são: evasão de divisas, perdas de bens patrimoniais, custos de restabelecimento, custos legais, insatisfação dos clientes e conseqüente perda de competitividade e credibilidade.

**ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE
TRANSPORTE**

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

Uma vez que nem sempre se pode evitar que ocorram falhas na rede, faz-se necessário minimizar as consequências destas. Por este motivo, é um fator importante para uma rede prever as falhas e implementar técnicas que minimizem as consequências destas. Este é o tema deste trabalho, a prevenção de interrupções nos serviços através da implementação de técnicas de restauração da rede em caso de falha.

**ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE
TRANSPORTE**

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

3.2. PLANEJAMENTO DA SOBREVIVÊNCIA DE SERVIÇOS

O planejamento da sobrevivência de serviços supõe alteração e regulamentação de situações para assegurar continuidade dos serviços e minimizar o nível de impacto causado pela interrupção dos serviços. Este planejamento pode ser dividido em quatro fases, como mostrado na Figura 3.1, que são: (1) prevenção, (2) detecção imediata, (3) auto-regeneração (*self-healing*) da rede através de projeto robusto e (4) restabelecimento manual.

Erro! Vínculo não válido.

Figura 3.1. Planejamento de sobrevivenciabilidade de serviços.

A primeira fase previne falhas na rede devido a pessoas ou ao ambiente. Sugere planos que minimizem estes problemas, como limitar o acesso ao prédio, controle ambiental, segurança contra fogo, *upgrade* rápido dos equipamentos, cabos blindados e enterrados mais profundamente.

A segunda fase se preocupa com a detecção rápida de falhas nos componentes da rede, sugere sistemas duplos de alarme de incêndio, programas para ligações com bombeiros e sistema de controle de fumaça.

A terceira fase enfoca a capacidade de auto-regeneração ou auto-restabelecimento da rede durante falhas em componentes da mesma. O conceito de auto-regeneração supõe a proteção da rede que é construída dentro desta desde o início e não adicionada depois; ou seja, uma rede com capacidade de auto-regeneração sempre que ocorrerem falhas e isto inclui estratégias de sobrevivenciabilidade, projeto e arquiteturas de redes sobreviventes a falhas. O projeto de redes com auto-regeneração pode representar um alto investimento para os provedores de serviços, mas o grande desafio é construir uma rede segura com custos aceitáveis que ofereça *segurança e disponibilidade* aos seus usuários. Somente esta fase será abordada neste trabalho.

A quarta fase enfatiza o planejamento e prática de restabelecimento caso a rede não consiga fazê-lo por si mesma. Sugere a eficiente utilização da força de trabalho, facilidades³ e equipamentos disponíveis, através de planos de disponibilidade de equipamentos, procedimentos de *backup*, treinamento de pessoal e determinação de responsabilidades. Pessoas especializadas e um plano completo de restabelecimento minimizam os danos quando a rede não funciona corretamente.

Os custos para implementação de sobrevivenciabilidade ficam bem menores se forem incluídos meios com suficiente diversidade e capacidade no projeto inicial.

³ Em ambientes TELCO, facilidade é uma linha ou equipamento usado para fornecer um circuito completo.

3.3. DISPONIBILIDADE DA REDE - CONCEITOS

Para assegurar disponibilidade ou sobrevivenciabilidade da rede, vários esquemas de *proteção* e *restabelecimento* podem ser usados.

Proteção utiliza capacidade de transporte previamente determinada entre os nós da rede. A arquitetura mais simples possui uma entidade de transporte de proteção dedicada para cada entidade principal (1+1). A arquitetura mais complexa possui *m* entidades de transporte de proteção compartilhadas por *n* entidades principais (m:n).

Restabelecimento utiliza qualquer capacidade de transporte disponível entre os nós da rede. Em geral envolve re-roteamento de tráfego. Quando é usado restabelecimento, parte da capacidade da rede de transporte deve ser reservada para re-roteamento do tráfego principal.

Técnicas de restabelecimento de tráfego envolvem a utilização de equipamentos com a capacidade de realizar roteamento de tráfego (*cross-connections*). Estas técnicas podem ser classificadas de acordo com as seguintes técnicas de implementação:

- *controle do processo de restabelecimento* (centralizado ou distribuído),
- *nível de restabelecimento do sinal* (enlace ou via);
- *planejamento do enlace ou via alternativa* (dedicada ou dinâmica).

3.3.1. Controle do processo de restabelecimento

Na técnica de restabelecimento que utiliza controle centralizado há um controlador central que concentra informações sobre mapas de conectividade e facilidades de transporte reservadas de todos os nós da rede. Quando ocorre uma falha, o controlador central é informado e escolhe o enlace ou via alternativa baseado nas últimas informações sobre a rede.

Na técnica que utiliza controle distribuído é necessário um controlador para cada equipamento com capacidade de realizar *cross-connections*. Este controlador pode ser externo ou interno ao equipamento. Cada controlador armazena a capacidade das facilidades de transporte em uso e reservadas de cada enlace que chega ao equipamento. Quando uma falha é detectada, um dos equipamentos afetados começa a procurar enlaces ou vias alternativas para restabelecer o tráfego afetado usando informações locais armazenadas em cada um dos equipamentos. Nesta técnica não é usado nenhum controlador central.

3.3.2. Nível de restabelecimento do sinal

Quando é utilizado o restabelecimento de enlace, todas as facilidades de transporte que passam por uma seção de multiplexação (SM) em falha são re-roteadas através de uma única rota alternativa que restabelece as facilidades de transporte entre as terminações da seção de multiplexação em falha.

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

No restabelecimento de via, cada uma das facilidades de transporte que passam pela seção de multiplexação em falha é re-roteada através de uma rota alternativa que restabelece as facilidades de transporte entre os seus pontos de terminação.

3.3.3. Planejamento do enlace ou via alternativa

No método pré-planejado o controlador (central ou do equipamento) possui todas ou a maioria das informações relacionadas à reestruturação da rede para todos os casos de falha pré-planejados.

No método dinâmico o controlador toma a decisão de re-roteamento com base no estado da rede (configuração, capacidade reservada, tipo de falha, etc.) no momento da falha.

Técnicas de restabelecimento são projetadas para utilizar ativamente as capacidades e diversidades disponíveis após uma tentativa de restabelecer automaticamente falhas em serviços. Podem ser divididas em duas grandes categorias:

Restabelecimento de tráfego é utilizado em redes comutadas⁴. Envolve roteamento de chamadas individuais em torno de um ponto de falha.

Restabelecimento de facilidades é aplicado em redes (de facilidades) de transporte. Envolve re-roteamento da banda de transmissão em grande escala em torno de um ponto de falha e demanda menos operações do que a restabelecimento de tráfego (que re-roteia cada chamada). Assim, restabelece mais serviços em tempo menor e por isso é mais indicada para redes de transporte a fibra óptica. Nestes sistemas ao se restabelecer um sinal STM-1, por exemplo, restabelece-se 63 feixes de 2 Mbit/s. As técnicas de restabelecimento de facilidades podem ser divididas em duas categorias: *facilidades de restabelecimento dedicadas e facilidades de restabelecimento dinâmicas*.

As técnicas de restabelecimento que utilizam facilidades dedicadas para proteção incluem a Comutação Automática para Proteção (*Automatic Protection Switching - APS*), *Dual Homing* (DH) e os Anéis Auto-regenerativos (*Self-Healing Rings - SHR*). Um projeto de rede baseado neste tipo de restabelecimento tem sobrevivência na camada física. As duas primeiras técnicas, chamadas convencionais, serão abordadas neste Capítulo. Os anéis auto-regenerativos serão abordados no Capítulo 4.

As técnicas de restabelecimento de facilidades dinâmicas usam DCS (*Digital Cross-connect System*) para re-rotear tráfego em torno de um ponto de falha. Um projeto de rede usando estas técnicas de restabelecimento tem sobrevivência na camada lógica. Estas técnicas serão discutidas no Capítulo 5.

3.4. COMUTAÇÃO AUTOMÁTICA PARA PROTEÇÃO (APS)

Os sistemas de proteção linear são sistemas que visam a garantir a sobrevivenciabilidade de redes de transmissão SDH de topologia linear. Os sistemas de proteção podem ser utilizados nas arquiteturas de redes ponto-a-ponto ou em redes em cadeia

⁴ Uma rede comutada é composta de comutadores de circuitos que comutam chamadas suportadas em circuitos ocupados.

(utilizando equipamentos ADM), que são as duas topologias mais comuns utilizadas em redes lineares.

Os mecanismos de proteção lineares para SDH são automáticos e já estão padronizados internacionalmente pelo ITU-T. Algumas características padronizadas são o protocolo de comutação automática de proteção (*Automatic Protection Switching*), o tempo máximo de comutação e os bytes do SOH utilizados para o transporte do protocolo.

A utilização de esquemas de proteção linear pode suportar a proteção em múltiplos elementos de uma rede SDH, como na topologia de rede em cadeia, que só foi possível com a utilização de equipamentos ADM. O protocolo de Comutação Automática de Proteção (APS) é o responsável pela coordenação da comutação em múltiplos elementos de rede.

APS é a técnica de restauração de facilidade mais simples e rápida. É utilizada principalmente para transferir serviços de uma rota para outra em casos de interrupções programadas, como em manutenção ou instalação de novos equipamentos; ou ainda para restabelecer facilidades em casos de falhas não esperadas, como falhas na rede.

O princípio de operação APS é simples: re-roteia automaticamente os sinais de uma linha principal para uma linha de proteção em caso de falha.

3.4.1. Arquiteturas APS

A arquitetura APS mais simples é aquela que fornece uma fibra de proteção para determinado enlace de fibras, denominada 1:N (uma fibra de proteção para N fibras em operação). Uma alternativa para o APS simples é o APS 1:N/DP (*Diverse Protection*), que permite a restauração parcial mesmo em caso de corte de cabo, porque neste caso a fibra do sistema de proteção segue uma rota diferente daquela do sistema em operação. Outra alternativa é APS 1:1/DP ou 1+1/DP, que podem restaurar completamente os serviços em caso de corte de cabo onde está a linha principal.

As arquiteturas possíveis para APS são de modo geral do tipo m:N, ou seja m canais de proteção para N canais de operação, onde $m \leq N$. A arquitetura APS m:N foi pouco utilizada e não é definida nos padrões SONET (*Synchronous Optical Network*) e SDH existentes, na verdade surgiu como alternativa para o APS 1:N, aumentando sua disponibilidade sem aumentar muito os custos. Desse modo, temos dois casos especiais mais comuns: APS 1:N e APS 1:1, com a alternativa de APS 1+1.

A arquitetura APS 1:N é a mais usada, por ser a mais simples. A Figura 3.2 mostra a arquitetura 1:N na qual N sistemas em operação compartilham um sistema de proteção. Neste caso, o sistema de proteção está na mesma rota física que os outros sistemas de operação. O sistema APS inclui módulos de comutação de proteção (*protection switching modules*), barramento 1:N e um controlador para comutação de proteção (*protection switching controller -PSC*). Na prática, sistemas a fibra com capacidade acima de 2,5 Gbit/s necessitam de proteção APS 1:1 ou mesmo APS 1+1[2].

O funcionamento de um sistema APS 1:N é descrito a seguir. Durante a operação normal os sinais são transmitidos através da linha principal. No lado da recepção, é monitorada a presença de sinal, além de padrão de

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

quadro (*frame*), código de linha, taxa de erro de bit (*bit error rate* - BER) e violações de *checksum*. Se for detectado na linha principal perda de sinal (*loss of signal* – LOS), taxa de erro elevada ou perda de alinhamento de quadro (*out of frame* - OOF) além de um determinado limite, ou se for detectado perda sinal (LOS), o receptor e o transmissor trocam mensagens de controle de alarme e comutam o sistema em operação para o sistema de proteção. Após a detecção inicial de BER, OOF ou LOSS, o sistema de proteção não é imediatamente comutado, aguardando-se um intervalo de tempo pré-determinado (da ordem de milissegundos); isto assegura que a “falha” detectada não é uma interrupção momentânea devido a comutação de proteção em um nível mais alto do sistema.

O sistema APS pode operar de modo reversível ou não. No primeiro caso, os serviços remanejados para os sistema de proteção retornam automaticamente para o sistema principal quando o problema é solucionado. No modo não-reversível os serviços não retornam para o sistema principal quando o problema é solucionado.

Nos sistemas APS 1:N os serviços são restabelecidos completamente quando ocorre falha em apenas um sistema em operação, que passa a utilizar o sistema de proteção. Se, por outro lado ocorrer falha simultaneamente em mais de um sistema deve haver prioridades estabelecidas entre estes para que apenas um seja restabelecido.

Erro! Vínculo não válido.

Figura 3.2. Arquitetura APS 1:N

Se ocorrer falha em vários sistemas simultaneamente devido a um rompimento do cabo de fibras, por exemplo, a fibra do sistema de proteção também será atingida. Neste caso, a arquitetura APS 1:N não poderá proteger a rede e os serviços serão interrompidos. Para evitar que isso aconteça, existe uma solução simples e comumente usada, a arquitetura 1:N/DP, que consiste em fazer com que a fibra do sistema de proteção siga uma rota diferente daquela seguida pelos N sistemas em operação. É uma solução barata quando se trata de redes de transporte metropolitanas, porque neste caso os custos maiores são aqueles referentes aos equipamentos e com esta solução estes custos não se alteram muito [1].

A arquitetura **APS 1:1/DP** consiste em um sistema de proteção para cada sistema em operação, sendo que cada sistema de proteção deve seguir uma rota diversa daquela seguida pelo sistema que está em operação. É mais cara, mas geralmente é usada em sistemas com maior capacidade, na faixa de Gigabit por segundo, em implementação semelhante à da Figura 3.2, com a diferença que neste caso há um sistema de proteção para cada sistema em operação. Com esta arquitetura, a rede pode se restabelecer 100% nos casos de corte de cabos ou falhas de equipamentos. Esta arquitetura tem sido preferida não apenas pela segurança que oferece, mas também por facilitar a transição para redes em anel, que são o futuro das redes de transporte atuais, quando serão implantados anéis de alta velocidade baseados em SDH.

Uma alternativa para a arquitetura APS 1:1 é a arquitetura APS 1+1, onde a ponte no lado da recepção é feito um paralelismo permanente, como mostrado (apenas para um sentido de transmissão) na Figura 3.3. Na arquitetura APS 1+1, os sinais são transmitidos, durante a operação normal simultaneamente no sistema principal e no sistema de proteção. No lado da recepção, um seletor é encarregado de decidir qual o melhor sinal que deve ser demultiplexado.

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

Erro! Vínculo não válido.

Figura 3.3. Arquitetura APS 1+1

3.4.2. Protocolo APS

A comunicação do protocolo para comutação de linha (APS) ocorre através dos bytes K1 e K2 localizados no *overhead* de linha dos padrões SONET/SDH. Quando uma falha é detectada, ou um pedido para ação de comutação é detectado no lado da recepção (RX), a lógica de proteção compara a prioridade desta nova condição com a prioridade do pedido do canal de operação (se houver um pedido deste) que deseja utilizar o canal de proteção. Se o novo pedido tem prioridade maior, o byte K1 é carregado com o código do pedido e número do canal que solicitou a linha de proteção e é enviado na linha de proteção para o lado de transmissão (TX).

Quando este byte K1 for confirmado (recebido identicamente por três quadros consecutivos) e avaliado no TX, é enviado de volta, contendo um código de confirmação do canal solicitante do canal de proteção. Assim é feita a ponte para este canal no lado RX. Esta ação inicializa a comutação bidirecional. Em seguida o byte K2 é carregado com o número do canal que está utilizando o canal de proteção. No lado do RX, quando este número é igual ao do canal que solicitou a comutação, este canal é selecionado para a linha de proteção.

Nos padrões SONET, os bytes K1 e K2 são sempre enviados na linha de proteção. Toda a operação de comutação, incluindo a troca de mensagens através dos bytes K1 e K2 deve ser completada dentro de 50 ms.

3.5. DUAL HOMING

Para uma rede de telecomunicações baseada em *hub*, como mostra a Figura 3.4, uma falha na estação *hub* pode isolar toda a área atendida por este como concentrador de demanda. Isto raramente ocorre, mas é importante se considerar porque o impacto para os usuários é grande. As arquiteturas citadas anteriormente não são eficientes para este caso, por isso a arquitetura *dual homing* utiliza um conceito de um *hub* reserva, ou *hub* estrangeiro (*foreign hub*) que é para assegurar em centrais especiais a sobrevivência de parte dos serviços da rede.

Como para cada central especial há dois *hubs*, um principal e um reserva, são necessários também dois sistemas de fibras para uma central especial. A demanda originada por uma central especial é dividida entre os dois *hubs*, o que garante que parte da demanda não será afetada pela falha em um *hub*.

Dual Homing não tem a capacidade de restabelecimento automático, mas pode prover sobrevivenciabilidade à rede quando usado com equipamentos DCS que restabeleçam o serviço e desde que haja capacidade sobressalente no enlace para o *hub* reserva.

Erro! Vínculo não válido.

Figura 3.4. Rede baseada em *hubs*.

3.5.1. Arquiteturas Ópticas Dual Homing

Há duas maneiras de utilizar proteção *dual homing*: *dedicada* e *broadcast*. A versão dedicada foi descrita

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

anteriormente e se baseia em sistemas de fibra dedicados de cada central especial para o *hub* principal e para o *hub* reserva. Quando um dos *hubs* falha, cada central restaura sua demanda através do outro *hub*. Como cada central é responsável por sua restauração. Este modelo de arquitetura é conhecido também como arquitetura *dual homing distribuída* (DH-D).

A Figura 3.5 mostra um exemplo de um DH-D com a rota de proteção diferente daquela de operação, denominada DH-D/DP. No exemplo da Figura 3.5, há dois casos possíveis: (1) Os sistemas em operação entre as centrais A e B podem ser diretamente ligadas ao *hub* principal; (2) Os sistemas passam por uma central intermediária C. Em qualquer dos casos, para implementar DH-D/DP são necessários quatro sistemas a fibra, dois (principal e reserva) para o *hub* principal e dois para o reserva. Os custos para essa implementação são muito altos se comparados ao arranjo com apenas um *hub*, por isso só é usado em casos muito especiais.

A versão *broadcast* surgiu como alternativa simples e econômica. Este modelo prevê sistema a fibra de cada central para o *hub* principal e faz *broadcast* dos sinais para o *hub* reserva; também é conhecido como *arquitetura dual homing centralizada* (DH-C), porque a proteção é realizada de forma centralizada para um dado *cluster* (agrupamento) de centrais. A arquitetura DH pode utilizar ainda outras arquiteturas de proteção, como APS 1:1 e APS 1:N.

Erro! Vínculo não válido.

Figura 3.5. Arquitetura Dual Homing Distribuída com Proteção Diversa (DH-D/DP)

3.6. CONCLUSÃO

Para o caso de falha na estação onde se encontra o *hub* que realiza a comutação para de proteção, a técnica APS não surte efeito. Para esse tipo de falha utiliza-se a técnica *Dual Homing*, que significa duplicidade de equipamento *hub*. *Dual Homing* é uma técnica que protege contra falhas no *hub* principal e permite que serviços permaneçam parcialmente intactos no caso de falha no *hub* (por exemplo no DCS ou no prédio onde fica o *hub*).

A eficiência de tais sistemas de proteção é obviamente melhorada se for utilizada diversidade de rota para os cabos ópticos de proteção e de serviço, embora nem sempre isto seja realizável em sistemas lineares, devido aos altos custos. Importante ressaltar também que a tendência de evolução das redes SDH ponto a ponto é para redes em malha ou em anel, e os sistemas de proteção ponto-a-ponto poderão migrar mais facilmente para sistemas de proteção em anel ou malha se já estiverem utilizando diversidade de rota.

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

CAPÍTULO 4

ANÉIS TOLERANTES A FALHAS (ATF) OU SELF HEALING RINGS (SHR)

4.1.INTRODUÇÃO

Uma rede em anel é um conjunto de nós formando uma malha fechada, onde cada nó é conectado com o nó adjacente via facilidades de comunicação *duplex*.

**ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE
TRANSPORTE**

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

Durante algum tempo a arquitetura de redes em anel não foi interessante para aplicações em redes de transporte entre estações, porque os cabos metálicos utilizados, apresentavam baixa capacidade, não podendo suportar estas aplicações, tornando-as caras e difíceis de implementar devido ao rápido crescimento destas redes.

Com a padronização das tecnologias síncronas (SONET/SDH) com operações de multiplexação, derivação e inserção de alta velocidade, esses problemas foram superados. Vantagens como custo, sobrevivenciabilidade e simplicidade de controle fizeram a arquitetura em anel ocupar um papel importante nos padrões de redes síncronas SONET/SDH.

Os equipamentos de multiplexação utilizados em arquiteturas em anel são os ADM's (*Add/Drop Multiplexers*), que em cada nó retiram da banda de serviço os canais que se destinam ao nó (*drop*), inserem canais para outros nós (*add*) e transmitem adiante a banda, juntamente com os canais que têm outro destino (*pass through*).

Anéis Tolerantes a Falhas (ATF) ou *Self Healing Rings* (SHR) são também denominados anéis auto-reconfiguráveis ou anéis auto-regenerativos. Na prática SHR é uma rede em anel com redundância de banda e/ou equipamentos de rede, suficiente para fazer uma reconfiguração, de tal maneira que os serviços sejam restabelecidos automaticamente após uma falha na rede, evitando que a falha seja percebida pelos usuários.

Os SHR's podem ser implementados de modo a garantir total disponibilidade do serviço mesmo em caso de quebra da fibra óptica ou de falha do nó, sem a necessidade de implantação de gerência de rede (*Telecommunication Management Network* – TMN), pois os mecanismos de proteção são automáticos e embutidos nos equipamentos SDH [1].

No Brasil, as operadoras de telecomunicações atualmente utilizam topologia de rede em anel para compor redes de transporte.

4.2. CLASSIFICAÇÃO DOS SHR's

Os SHR's podem ser classificados quanto ao sentido de tráfego, quantidade de fibras, mecanismos de proteção utilizados e a forma de operação dos canais de proteção (dedicada ou compartilhada). A combinação destas características resulta diversas arquiteturas utilizadas em redes SDH.

4.2.1. Quanto ao sentido de tráfego

De acordo com o sentido no qual o tráfego de serviço é transportado em condições normais, o anel pode ser classificado em duas categorias gerais que são: *unidirecionais* (USHR) e *bidirecionais* (BSHR). A Figura 4.1 mostra esta definição de anéis SHR.

a) Anéis Unidirecionais ou USHR (Unidirectional SHR)

Nos anéis unidirecionais o tráfego de serviço tem apenas um sentido (horário ou anti-horário), portanto é necessária apenas uma fibra para transportar este tráfego.

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

Na Figura 4.1(a), o tráfego do nó 1 para o nó 3 é roteado ao longo do anel no sentido horário (pelo caminho 1-2-3) e o tráfego que retorna do nó 3 para o nó 1 é transportado também no sentido horário (através do caminho 3-4-1). Assim, o tráfego chega ao nó 1 e ao nó 3 por caminhos diferentes.

Como em situações normais o tráfego no USHR ocorre apenas em uma direção, a capacidade do anel é determinada pela soma das demandas entre os nós. Nos USHR's, o anel de proteção tem sentido de transmissão oposto ao do anel de operação, por isso são também chamados de “*counter rotating rings*” (anéis de sentido contrário).

b) Anéis Bidirecionais ou BSHR (Bidirectional SHR)

Nos BSHR o tráfego de serviço é transportado nos dois sentidos do anel (horário e anti-horário). Entre dois nós adjacentes o tráfego de ida e de volta segue o mesmo caminho, ao contrário do USHR. Assim, são necessárias pelo menos duas fibras para carregar este tráfego.

A Figura 4.1(b) sob condições normais o tráfego flui do Nó 1 para o Nó 3 no caminho 1-4-3, e o tráfego do Nó 3 para o Nó 1 segue o mesmo caminho. Como o tráfego entre dois nós é roteado pelo mesmo caminho para os dois sentidos, a capacidade do anel pode ser determinada tomando-se por base a demanda por enlace, e não a soma de todas as demandas do anel como no caso unidirecional. Deve haver pelo menos duas fibras entre dois nós adjacentes (desconsiderando a utilização de WDM), já que o tráfego no anel é bidirecional.

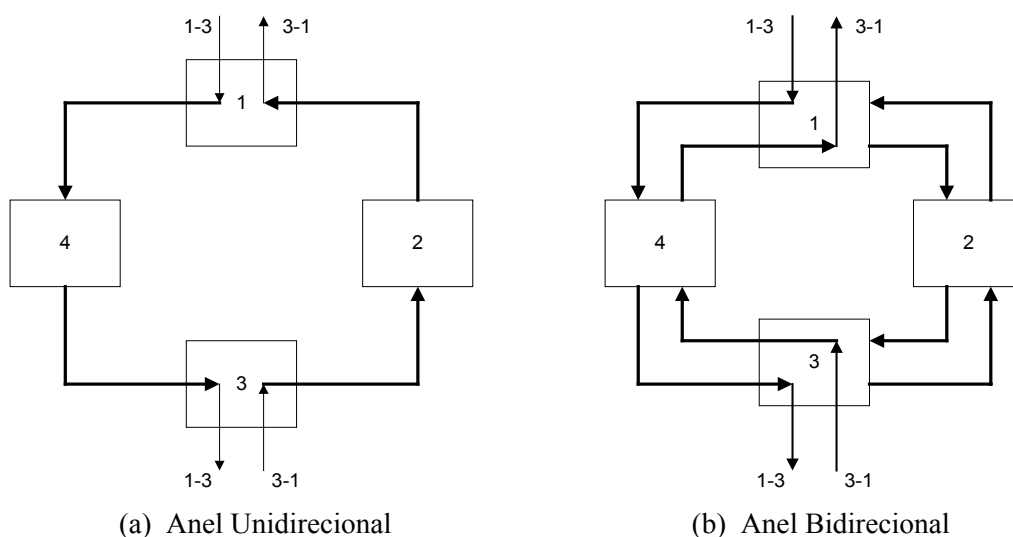


Fig. 4.1. Anéis Unidirecional e Bidirecional.

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

4.2.2. Quantidade de fibras

Os anéis SHR usados em SDH podem ter duas ou quatro fibras. Nos anéis unidirecionais são usadas apenas duas fibras: uma para serviço e outra para proteção.

Os anéis bidirecionais podem usar duas ou quatro fibras, dependendo da configuração da capacidade de proteção. Nos anéis bidirecionais a duas fibras (BSHR/2) os canais de serviço e de proteção usam a mesma fibra, com a metade da banda de transmissão reservada para proteção. Nos anéis bidirecionais a quatro fibras (BSHR/4), um segundo anel de comunicação, separado do primeiro, é usado para prover a proteção, ou seja, os anéis operam em configuração 1:1. Existe também a opção de configurar anéis bidirecionais como sistemas 1:N, com um anel de proteção para N canais de serviço, no entanto este tipo de proteção não garante que os anéis sejam 100% tolerantes a falhas e não estão padronizadas.

4.2.3. Mecanismos de proteção

Quanto aos mecanismos de proteção usados para restaurar serviços/demanda, há duas maneiras de se obter restauração dos serviços automaticamente:

- Dispor um segundo anel (proteção) em paralelo com o primeiro anel (operação), conforme Figura 4.2(b). Assim, uma falha neste anel pode ser superada através da transferência dos serviços para o segundo anel; isso também é chamado de *função comutação de linha (line switch)*;
- Dispor o segundo anel da mesma forma que a anterior, apenas com o sentido contrário, conforme mostra a Figura 4.2(c). Assim, mesmo que haja uma ruptura nos dois anéis entre dois nós adjacentes, cada nó remete para um anel as informações recebidas do outro anel (*loop*), isolando o trecho de cabo com defeito e formando um novo anel; esta função também é conhecida como *função loopback*.

A combinação destas duas funções nos dois lados da ruptura do anel é uma característica importante dos SHR's.

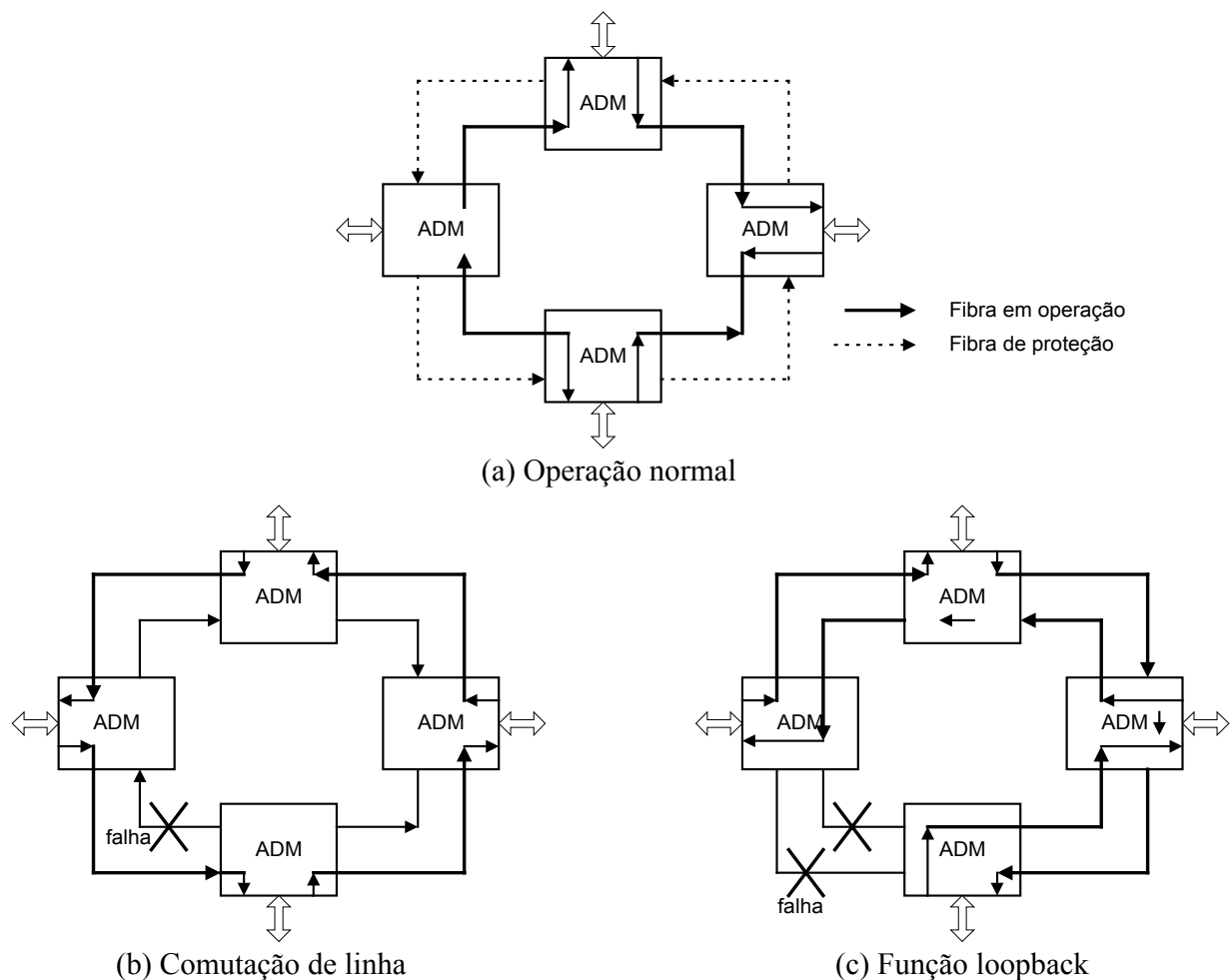


Figura 4.2 . Função comutação de linha e função *loopback* para restauração de anel.

4.2.4. Camada SDH utilizada para proteção

Os SHR podem ainda ser classificados em duas categorias quanto ao nível SONET/SDH utilizado para converter mensagens de erro e disparar a comutação de proteção e habilitar o anel a se recuperar automaticamente da falha:

a) SHR com comutação para proteção de linha. Utiliza o *overhead* de linha (camada de seção) do modelo SDH para converter mensagens de falha e comandar a comutação de proteção. A proteção age apenas na camada de seção, não envolvendo a camada de via do referido modelo. É realizada apenas através do uso de *loopback* do tráfego para o meio de transproteção. No caso de um rompimento do anel entre dois nós, é necessário que ambos os nós façam *loopback*. Esta opção de comutação é definida para USHR's e BSHR's, sendo mais indicada para BSHR's, pois neste tipo de anel o tráfego segue os mesmos princípios dos sistemas ponto-a-ponto (APS).

Especificamente em SDH, os Anéis com Proteção de Seção de Multiplexação utilizam as indicações de

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

eventos de falha desta seção (contidas no MSOH) para efetuar a comutação. Em caso de falha de uma seção de multiplexação, é utilizada a seção de multiplexação de proteção. A comutação é feita pelo protocolo APS visto no Capítulo 3.

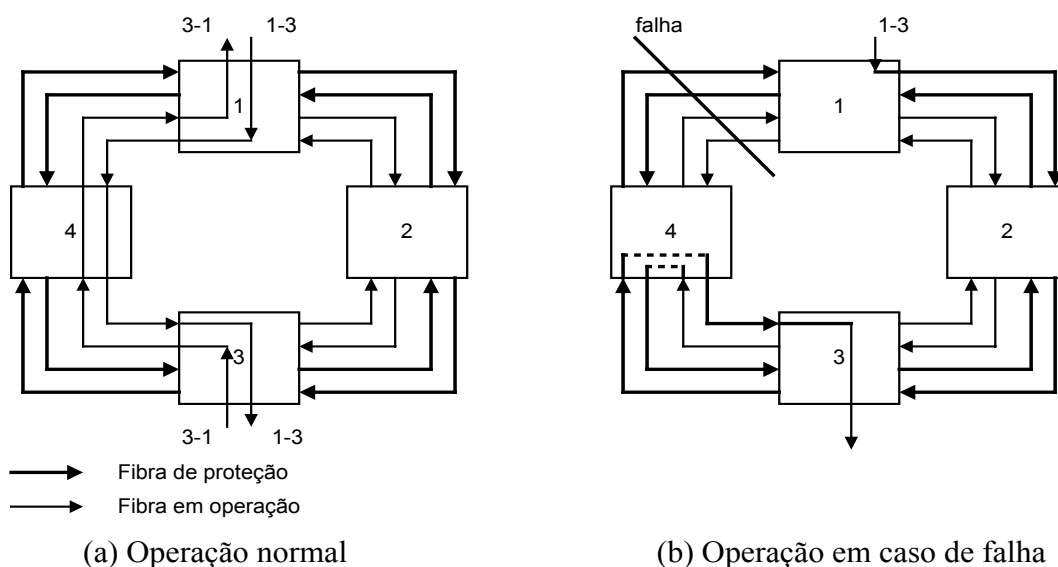
b) *SHR com comutação para proteção de via.* Utiliza um sinal da camada de via (SIA) para disparar a comutação de proteção. Como trabalha na camada de via do modelo SDH, restaura os canais fim a fim, além do que, a comutação de uma via é independente do *status* de outras vias na mesma seção de multiplexação. Nos anéis com proteção de SNC (que é um segmento de via), uma SNC de serviço, em caso de falha ou degradação de desempenho, é substituída por uma SNC de proteção. A proteção de SNC não precisa ser utilizada em todos os VC's dentro de uma seção de multiplexação. No nó de transmissão a via protegida é enviada em ambos os sentidos do anel. No nó de recepção apenas uma das duas vias é selecionada. A proteção de via independe da proteção da seção de multiplexação estar implementada (independe da utilização do protocolo APS).

4.3. ARQUITETURAS SHRs

4.3.1. BSHR /4 com proteção de linha

A Figura 4.3 mostra o exemplo da operação de um BSHR/4 sob duas condições: normal e de falha. Na condição normal o roteamento da demanda ocorre de maneira semelhante à que ocorre nos sistemas ponto a ponto. Em caso de falha em um componente da rede (nó ou *link*), os canais são feitos retornar (*loopback*) pelas facilidades de proteção. Este esquema de *loopback* simplifica a tarefa de reconfiguração do anel, pois apenas os dois nós adjacentes ao componente com falha são envolvidos na tarefa.

Há ainda uma implementação de BSHR/4 que utiliza uma combinação de *loopback* na linha e proteção APS. A função *loopback* protege contra cortes de cabo e o APS protege contra falhas de fibra e equipamentos. Essa configuração tem o mais alto grau de confiabilidade entre as alternativas SHR SONET/SDH.



ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

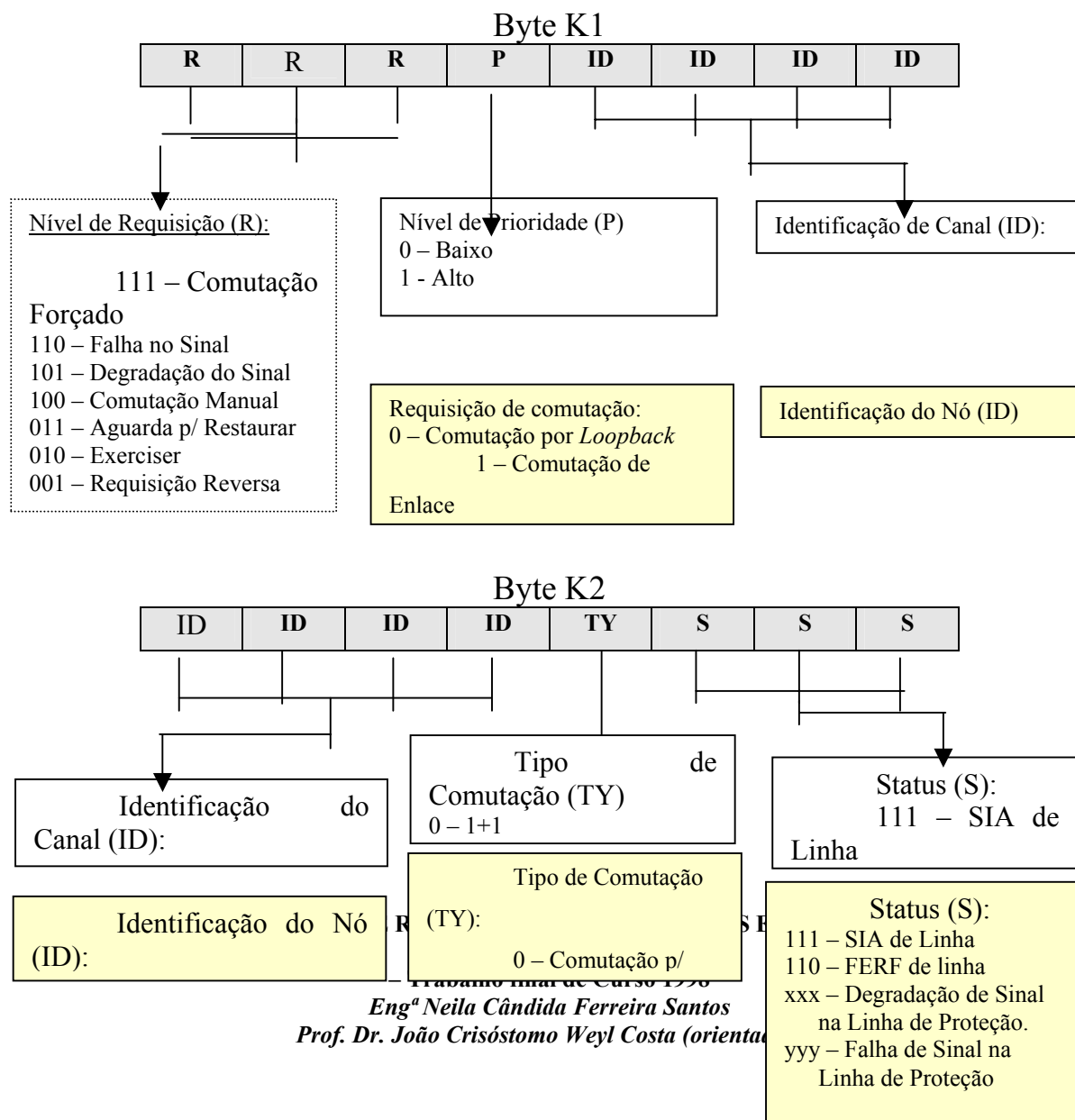
Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

Figura 4.3. Operação de anel BSHR/4

Basicamente o BSHR/4 evoluiu a partir dos sistemas ponto a ponto (rede em estrela), com sistemas de operação e proteção em fibras diferentes, por isso é a arquitetura SONET/SDH que causa menores mudanças nestes sistemas. Mesmo para o caso de áreas onde a quantidade de fibras está esgotada, pode-se utilizar WDM (Wavelength Division Multiplexing) para reduzir o número de fibras de 4 para 2. Assim, entre dois nós é necessário apenas duas fibras (*duplex*): uma para o sistema em operação e outra para o sistema de proteção.

Na arquitetura BSHR/4 a comutação para proteção de facilidades é disparada pela detecção de mensagens de falha no *overhead* da camada de seção. Os bytes K1 e K2 utilizados para APS são também aproveitados aqui, porque os BSHR's utilizam o mesmo princípio de roteamento de demanda que os sistemas ponto a ponto.



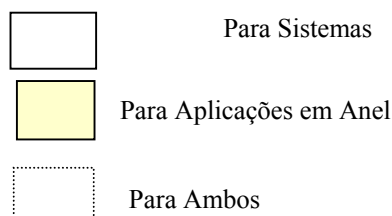


Figura 4.4 . Formatos dos bytes K1 e K2 para sistemas ponto a ponto e anel.

Entretanto os bytes K1 e K2 destinados a sistemas ponto a ponto não podem ser utilizados em aplicações em anel, porque neste caso um canal de proteção deve passar por um ou mais nós intermediários até encontrar seu nó destino; para isso, os ADM's de proteção em cada nó intermediário devem ser reconfigurados para passar adiante os bytes K1 e K2 para o nó de destino. Os nós necessitam, então, de sistema de endereçamento, para que se determine o destino dos bytes K1 e K2. A Figura 4.4 mostra o conteúdo destes bytes e seus respectivos usos.

Em cada nó são necessários dois tipos básicos de ADM's: um para os canais de operação e outro para os canais de proteção. Estas funções podem ser implementadas num só ADM (esquema 1+1) no qual terminam as quatro fibras, compartilhando uma unidade comum de controle (software de controle e circuitos de controle), ou como dois ADM's independentes conectados por comutadores de proteção externos.

As duas opções apresentam características complementares de custos e segurança. O esquema ADM 1+1 é mais barato, mas não tem capacidade de restauração no caso de falha da unidade comum. O esquema que utiliza dois ADM's é mais caro, mas tem total sobrevivenciabilidade para o caso de falha de um único ADM por nó. Há ainda uma terceira alternativa, que consiste em se utilizar, em vez de um ADM de proteção, apenas um regenerador como componente de proteção. Entretanto, é necessário um controle de proteção adicional porque o regenerador não “entende” o *overhead* da seção de multiplexação (bytes K1 e K2), e estes são partes importantes do protocolo de comutação de proteção de linha do BSHR.

4.3.2 - BSHR/2 com proteção de Linha

A arquitetura BSHR também pode ser implementada utilizando duas fibras, ou seja, entre dois nós há uma fibra de transmissão e outra de recepção. Os canais de operação e de proteção trafegam na mesma fibra, em porções diferentes da banda. Para que o anel tenha capacidade de auto-regeneração completa e simplicidade de controle, metade da largura de banda é dedicada para os canais de proteção.

Durante a operação normal o tráfego ocorre nos dois anéis, interno e externo, utilizando apenas metade da largura de banda de cada um, conforme mostra a Figura 4.5. Quando ocorre uma falha de fibra ou equipamento, o tráfego é automaticamente comutado para os *time-slots* vagos correspondentes na direção oposta,

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

para evitar interrupção dos serviços. Esta operação de comutação de *time-slots* é denominada *time-slot interchange* (TSI). Para isso, os ADM's de BSHR/2 precisam ter capacidade de TSI para mover os canais em operação da fibra com problema para os *time-slots* de proteção correspondentes na outra fibra. A capacidade de TSI é um esquema de multiplexação tipicamente usado em DCS's, que adiciona e/ou retira canais através de uma reconfiguração das posições relativas de *time-slots* dentro de um quadro (*frame*), e reconfigura o anel alterando a matriz de comutação quando há falha em um componente desta.

Apesar da operação normal ser muito parecida com a dos sistemas ponto a ponto, o procedimento em caso de falha é muito diferente.

Para implementar BSHR/2 é necessário que a capacidade dos equipamentos ADM tenha um número N (par) de canais, de modo que o tráfego normal utiliza apenas N/2 canais, ficando os outros N/2 canais para proteção. Assim, cada ADM deveria apenas de ter a capacidade de fazer *loopback* de dos canais com falha para os *time-slots* vagos da outra fibra. Durante uma falha de fibra, são necessárias apenas ações locais nos ADM's adjacentes ao trecho de fibra com falha para que os serviços sejam restaurados.

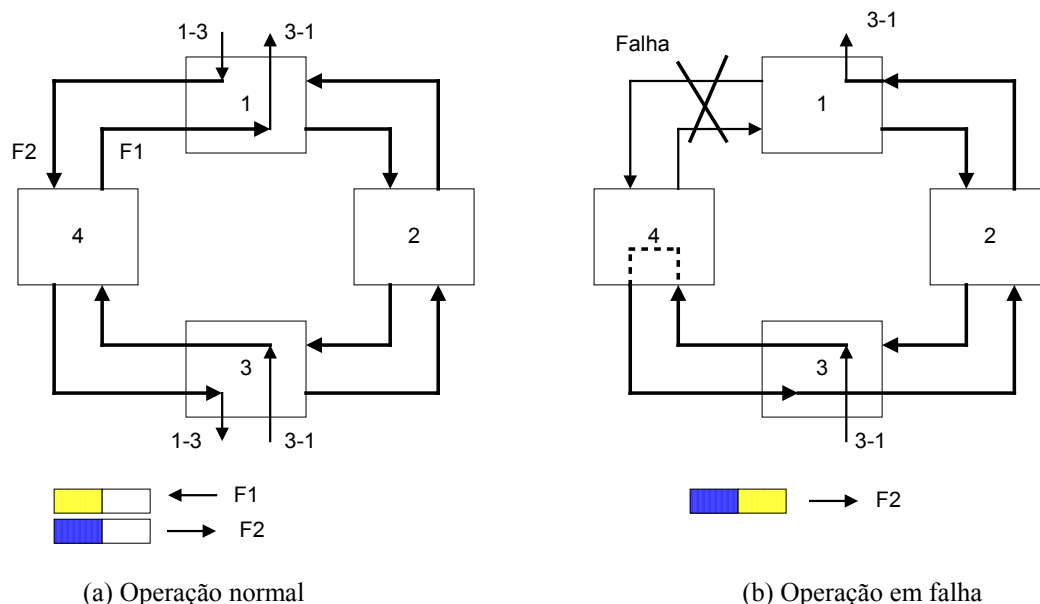


Fig. 4.5. Exemplo de operação BSHR/2 sob condições normal e de falha.

Para os casos em que os canais em operação utilizam mais do que 50% da largura de banda do sistema, há menos largura disponível para auto-regeneração, que não pode ser completamente efetuado. Assim, deve-se ter um esquema de prioridades, através do bit de prioridade no byte K1. Um anel deste tipo não é totalmente regenerável.

4.3.3. USHR com proteção de Linha (USHR/L)

Este modelo é um USHR 1:1 que, no caso de falha, faz um *loop* dos canais em

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998
 Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos
 Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

operação para um anel de proteção separado. A Figura 4.6 mostra um exemplo de operação normal e em falha do USHR/L. Em situação normal, os sinais são roteados unidirecionalmente no anel, como mostrado na Figura 4.6(a). Em caso de rompimento da fibra, os nós adjacentes ao rompimento realizam a função de *loopback*. Devido aos *loops* nos nós adjacentes à falha, o USHR/L permanece operando em anel após a falha, como mostrado na Figura 4.6 (b).

As posições dos *time-slots* afetados pela falha não se alteram quando estes são transferidos para a fibra de proteção no processo de restauração. Por isso, podem ser usados ADM's básicos, que possuem apenas capacidades TSA (*time-slot assignment*), para implementar esta arquitetura. Da mesma maneira, o formato dos bytes K1 e K2 e o esquema de comutação para proteção de linha podem ser semelhantes aqueles usados em BSHR/4, já que ambos partem do mesmo conceito de proteção 1:1.

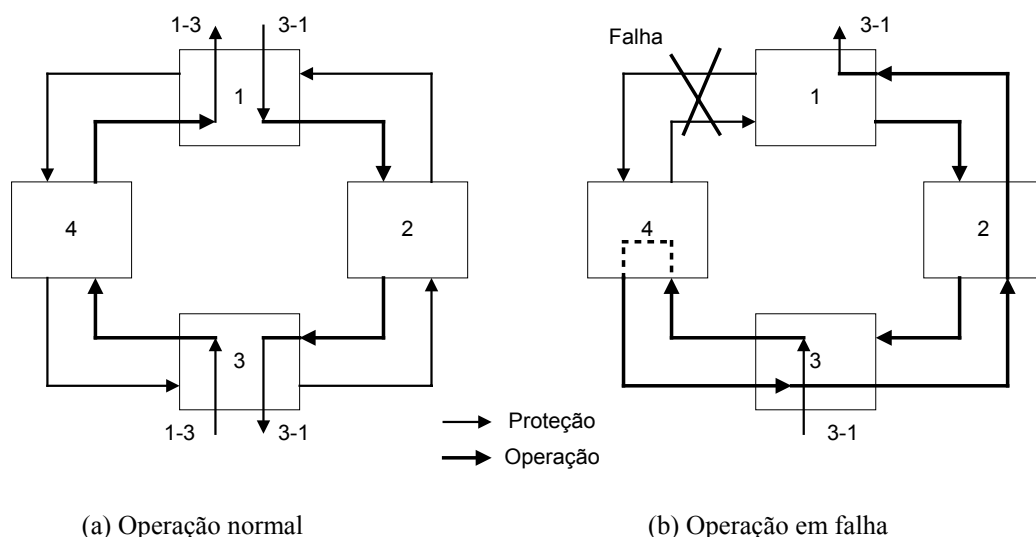


Fig. 4.6. Exemplo de operação USHR/L sob condições normais e de falha.

4.3.4. USHR com proteção de Via (USHR/P)

É uma arquitetura que opera com a topologia em anel sob condições normais, porém em casos de falha de componentes da rede opera como uma rede linear. A arquitetura SONET/SDH discutida aqui é baseada no conceito de sinal “*dual-feed*” ou proteção 1+1, ou seja, há um paralelismo constante no nó de transmissão; no nó de recepção um seletor decide qual dos dois sinais utilizar. Nesta arquitetura, em cada nó um ADM é equipado com um par de fibras operando em sentidos diferentes. As duas fibras operam em duplicidade.

A Figura 4.7 mostra exemplo de operação de USHR/P sob condições normais e de falha. Em condições normais, o sinal é transmitido (no exemplo, do nó 1 para o nó 3) nos dois anéis de sentidos contrários. Estes dois

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

sinais idênticos se propagam no anel até serem retirados pelo nó de destino (Nó 3).

No nó receptor são recebidos os sinais idênticos com *delays* diferentes. Supondo que estes sinais sejam previamente classificados como primário e secundário, em condições normais, apenas o primário seria aproveitado, apesar de ambos serem monitorados para verificar a ocorrência de sinais de alarme ou de controle. Se ocorrer falha nas fibras ou em algum componente da rede, é possível restabelecer os serviços através da seleção do sinal secundário.

Para realizar esta função, os ADM's precisam apenas identificar qual dos dois sinais (tributários) é válido. Como não é necessário capacidades TSI para a comutação para proteção de caminho, os ADM's usados para USHR/P podem ser ADM's básicos.

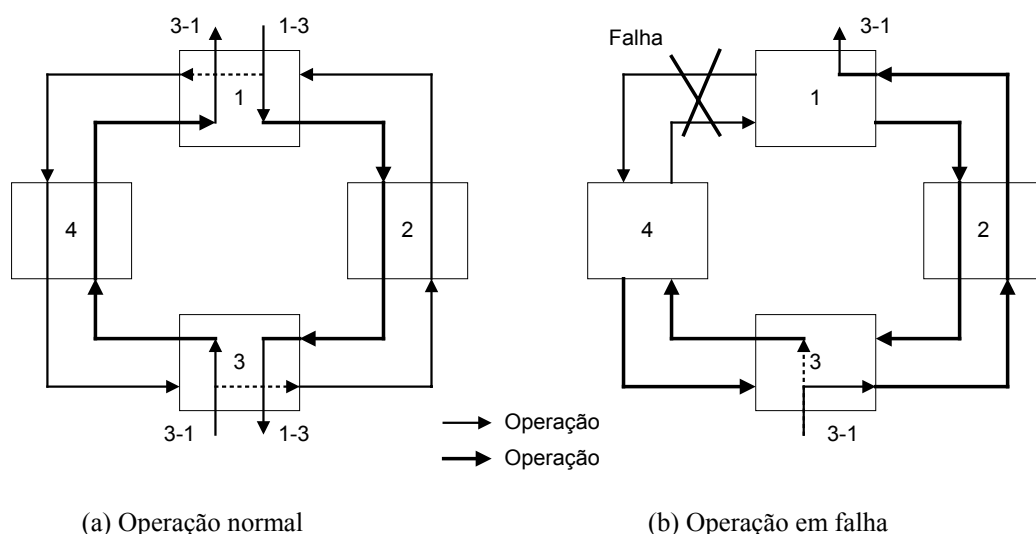


Figura 4.7. Exemplo de operação USHR/P sob condições normais e de falha.

Um mecanismo simples de controle para restabelecimento de USHR/P é o seguinte:

1. Detecção de LOS ou SIA na linha dispara inserção de SIA de caminho em todos os canais tributários inferiores.
2. Detecção de SIA de caminho em um dos dois tributários inicia comutação de proteção para o outro tributário. Esta operação é necessária porque o seletor monitora as interfaces de canal tributário.
3. Detecção de SIA de caminho nos dois tributários idênticos significa uma situação de falha múltipla e dispara a geração de SIA em todos os sinais retirados da banda (para baixo).

Neste mecanismo a comutação de proteção pode ser não-reversível (ou seja, o sistema não volta ao seu estado original após a remoção da falha), sem que isto altere seu desempenho. É irrelevante a identificação de anel primário ou secundário.

4.4. CONSIDERAÇÕES DE PROJETO PARA ANÉIS SDH

O problema da escolha de uma das arquiteturas em anel para determinada aplicação envolve diversos

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

fatores, como por exemplo: análise de custos e capacidades necessárias, tempo necessário para restabelecimento e, finalmente, o impacto causado nos serviços durante a implantação de tal arquitetura a partir de outra em funcionamento.

4.4.1. Aplicações: análise de custos e capacidades necessárias

Para avaliar uma aplicação, é necessário considerar-se a demanda para esta rede comparando os custos com a capacidade do anel. A melhor aplicação para cada tipo de arquitetura em anel depende de vários fatores, entre eles o tamanho da rede, o padrão de demanda entre os nós e a demanda em si.

Um método de se fazer esta análise das possíveis alternativas de arquiteturas em anel é descrito em [1]. Utiliza-se uma abordagem baseada nas possíveis alternativas a serem oferecidas ao cliente, independente de fabricantes. Este método assegura que o sistema é construído com custos/desempenho aceitáveis. Nesta abordagem, são utilizados equipamentos ADM com requisitos mínimos para atender uma dada arquitetura. Em seguida os custos da rede para cada uma das arquiteturas são comparados, baseados na mesma demanda.

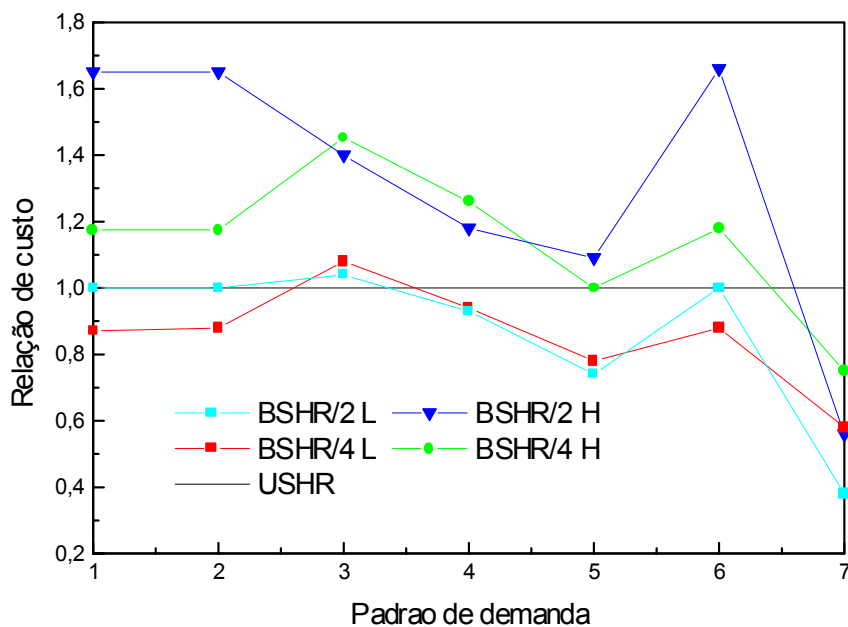
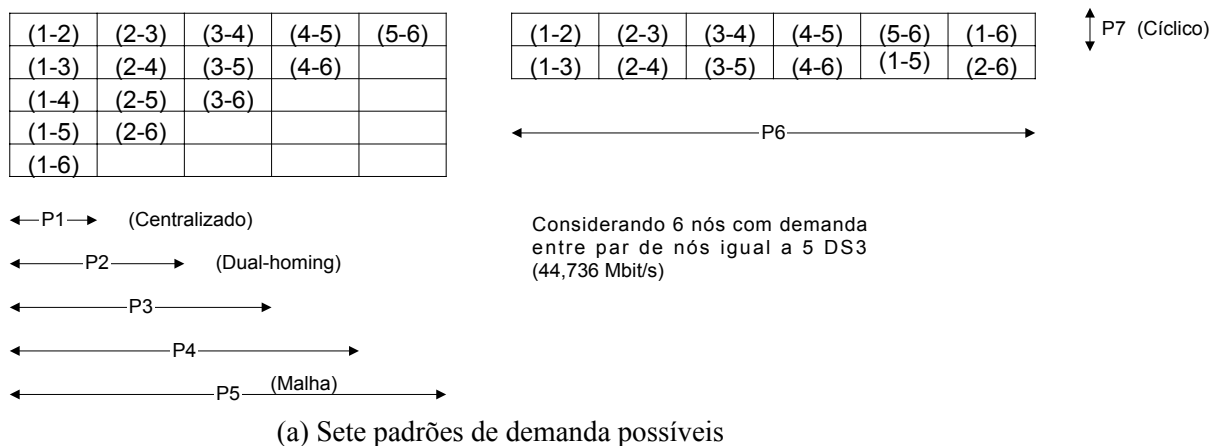
Os requisitos mínimos são: ADM básico para USHR's e BSHR/4, e ADM com capacidade TSI para BSHR/2. Se existirem regeneradores entre os nós, o número de regeneradores para BSHR/4 é o dobro do necessário para USHR e BSHR/2.

No Capítulo 6 será discutido um algoritmo para cálculo da capacidade de um BSHR.

Exemplo: Custos de anéis SONET para diversos padrões de demanda^[1]

Em [1] encontra-se um estudo de custos para diversas arquiteturas de redes em anel SONET, com sete padrões de demanda para uma rede de seis nós com demanda uniforme entre nós, isto é, a demanda entre dois nós quaisquer (se existir), é constante.

A Figura 4.8(a) mostra os padrões de demanda, que vão gradualmente se descentralizando até chegar ao padrão ponto a ponto puro. Os seguintes padrões de demanda são considerados:



(b) Comparação de custos entre padrões de demandas

Figura 4.8. Análise de custos entre arquiteturas SHR para uma rede de seis nós

- [P1] – essencialmente centralizado, todas as demandas se dirigem a um nó central;
- [P2] – padrão *dual homing*, onde todas as demandas se dirigem a dois nós centrais;
- [P3] – padrão misto, com 12 pares de demandas;
- [P4] – Idem, com 14 pares de demandas;
- [P5] – padrão de demanda em malha com 15 pares de demanda no total;

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

[P6] – padrão de demanda em que evolui do padrão [P5], acrescentando demandas entre nós alternados (com um nó intermediário);

[P7] – padrão ponto a ponto puro, onde todas as demandas são entre nós vizinhos⁵.

Estes padrões podem representar os méritos econômicos das alternativas de arquiteturas em anel para diferentes aplicações.

A Figura 4.8(b) mostra os resultados para uma demanda uniforme de 5 STS-1s para todos os pares de demanda (entre dois nós) sob diversos padrões de demandas.⁶

Os custos foram considerados em valores relativos da seguinte forma:

a) Os custos dos ADM SONET operando nas taxas OC-48 e OC-24 sendo iguais e 2,7 e 1,6 vezes o custo de um ADM SONET básico, respectivamente;

b) os custos dos ADM na taxa OC-N para BSHR/2 (com TSI) sendo igual a p vezes o custo de um ADM básico (sem TSI). O valor de p varia de 1 a 1,5, dependendo do fabricante;

c) o custo por nó de um anel BSHR/4 igual a q vezes o custo do ADM básico OC-N. O valor de q indica o custo relativo por nó do BSHR/4 em relação ao custo do ADM básico na mesma taxa. Os valores possíveis de q são:

$q = 2$ se são usados dois ADM's independentes em cada nó,

$q = 1,5$ a $1,7$ se forem usados um dos esquemas: ADM básico 1+1 ou um ADM básico mais um regenerador em cada nó.

Neste estudo são usados dois modelos de custo: o de maior custo, com $p=1,5$ e $q=2$, e o modelo de menor custo, usando $p=1$ e $q=1,5$. Em uma dada padrão de demanda, se uma arquitetura tem *razão de custo* maior que 1, isto indica que o USHR é mais econômico para aquele padrão.

Como pode ser visto na Figura 4.8(b), para o modelo de maior custo, o USHR é sempre mais econômico, exceto para o padrão cíclico P7. As arquiteturas BSHR são mais econômicas neste caso. No entanto, comparando as duas arquiteturas BSHR, conclui-se que:

a) BSHR/4 é mais econômico que BSHR/2 para os padrões de demanda centralizados P1 e P2;

b) BSHR/4 é aproximadamente igual ao BSHR/2 para os padrões P3 e P4;

c) BSHR/4 é igual ao USHR para o padrão P5;

d) BSHR/4 é mais econômico que BSHR/2 para o padrão P6;

e) BSHR/4 é menos econômico que este para o padrão cíclico P7.

Para o modelo de menor custo, o BSHR é mais econômico que USHR para todos os padrões de demanda, exceto para P3. A arquitetura BSHR/2 tem custo igual ao USHR para os padrões de demanda P1 e P2

⁵ O padrão de demanda ponto a ponto puro é também denominado padrão de demanda cíclico. No caso, o padrão de demanda cíclico tem seis pares de demandas: (1-2), (2-3), (3-4), (4-5), (5-6) e (6-1).

⁶ STS-1, Synchronous Transport Signal – Nível 1 é primeiro nível da hierarquia SONET, utilizada nos EUA.

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

(centralizadas) e P6 (malha).

A análise de custos baseada em padrões de demanda é útil porque dois destes padrões são especialmente interessantes em aplicações de redes SONET: os padrões centralizado e malha.

O padrão de tráfego centralizado, em que todo o tráfego em um anel vai para um nó central, é típico nas periferias de redes metropolitanas em anel. O padrão de demanda em malha é um padrão onde o tráfego é uniformemente distribuído entre os nós. Este é um padrão de tráfego típico de rede de transporte metropolitanas.

Para o padrão de demanda centralizado o USHR pode ser mais atrativo economicamente se for utilizado o modelo de maior custo, porém, para o modelo de menor custo, o BSHR se torna mais econômico porque possui o dobro de capacidade de serviços para cada *span*.

Para o padrão de demanda em malha com o modelo de maior custo, o BSHR/4 pode ser mais econômico que o USHR em muitos casos, dependendo da necessidade de tráfego, principalmente para anéis maiores. Sob as mesmas condições, o BSHR/2 pode não ter vantagens econômicas sobre o USHR, porque apenas metade da capacidade do BSHR/2 pode ser usada. Se for utilizado o modelo de menor custo para o padrão de demanda em malha, as arquiteturas BSHR são economicamente interessantes, especialmente o BSHR/4.

4.5. PLANEJAMENTO E GERÊNCIA DE BANDA EM SHR's SONET/SDH

A demanda entre duas estações em uma rede de transporte metropolitana normalmente é da ordem de alguns poucos feixes E1 (2 Mbit/s), ou seja, poucos circuitos de 64 Kbit/s, a maioria nem alcançando a taxa de E3 (34 Mbit/s).

Para utilizar eficientemente uma rede de fibras utilizando a tecnologia ponto a ponto, deve-se concentrar a demanda em um ponto (*hub*). Assim, cada Estação deve ter um enlace de fibra com o *hub* (centro). Para arrumar a demanda em parcelas maiores, até alcançar o nível de E3, pode ser utilizado economicamente um DCS com capacidade de *cross-connect* na taxa de E1. Nestas circunstâncias esta aplicação de *hub* é muito interessante.

As arquiteturas em anel SONET/SDH, por outro lado, podem alterar este quadro. A estrutura de quadros e ponteiros utilizada nestes padrões torna relativamente fácil localizar e extrair tributários sem a necessidade de demultiplexar o quadro inteiro. Taxas maiores podem ser obtidas através da técnica de entrelaçamento de bytes. A idéia principal deste tipo de arquitetura é multiplexar pequenas demandas na maior taxa de linha possível, que deve exceder a soma das pequenas demandas de todas as estações. Na recepção então, cada estação retira a informação de seu interesse e preenche os *time-slots* vagos com as informações que tem para transmitir.

Em algumas situações é vantajoso usar equipamentos DCS, em anéis SDH, para concentrar a demanda para estações especiais em alguns feixes E3, por exemplo. Assim, o nó precisa apenas de ADM's com capacidade TSA para acessar os feixes E3 de interesse na estação, fazendo *add/drop* nos mesmos *time-slots*. Por outro lado, geralmente é vantajoso utilizar a função *hub* de um DCS para atender estações adicionais que não podem ser atendidos economicamente pelo anel. Como a sobrevivenciabilidade da rede com apenas um DCS *hub* seria insuficiente, um arranjo *dual-homing* pode ser implementado utilizando-se dois DCS's. Este esquema que utiliza

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

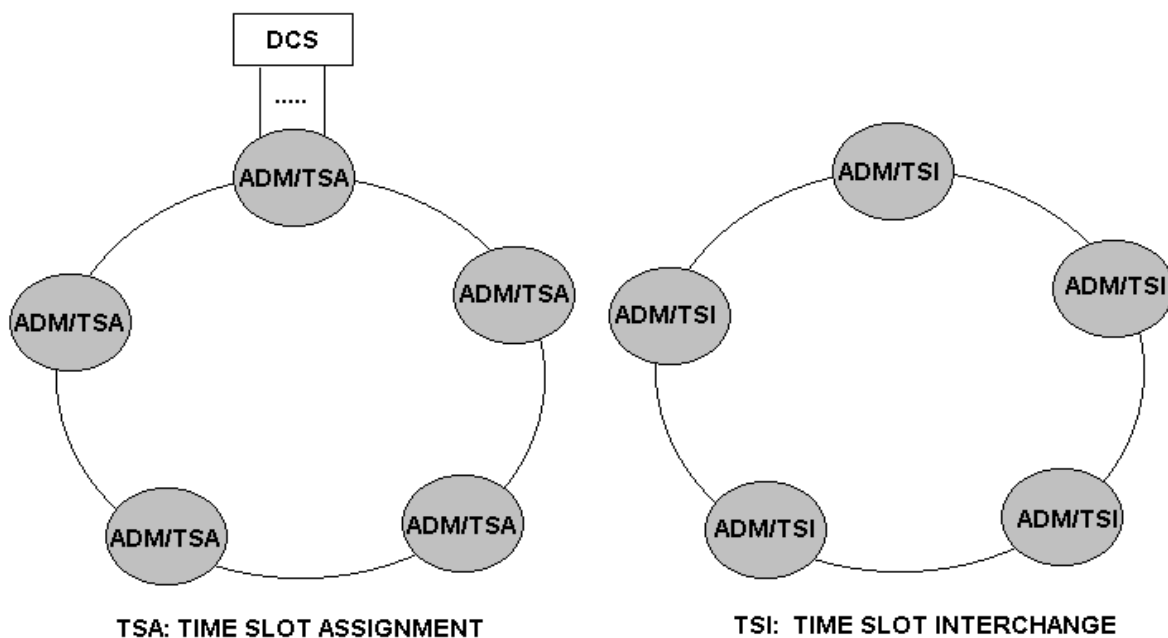
DCS para gerenciar a largura de banda do SHR é chamada de *esquema centralizado de gerência (arranjo) de banda*.

Outra alternativa seria usar ADM's com capacidade TSI, para otimizar (de maneira distribuída) a largura de banda de transmissão, que é chamado *esquema distribuído de gerência da banda do anel*.

A Figura 4.9 mostra estes dois esquemas de gerência da banda. A escolha de qual dos dois esquemas utilizar depende da estratégia de planejamento (econômico e global) da rede. O esquema de anel centralizado usando DCS's pode melhor utilizar as redes em estrela, que já têm um DCS em cada *hub*. O esquema de anel distribuído tem mais flexibilidade para re-roteamento de demanda em cada nó e pode ser aplicado em qualquer arquitetura de rede.

Além destes dois esquemas, há ainda um terceiro, que deve ser considerado quando as demandas ponto a ponto são altas. Neste esquema, sinais E3 ponto a ponto são designados para cada par de nós, e a demanda de feixes E1 de cada par de nós é inserida diretamente nestes feixes E3 dedicados. Este esquema também é chamado de "anel *building-to-building*".

Outro problema que pode ocorrer em termos de largura de banda nos SHR's é a saturação do anel, que ocorre quando a taxa em que ele opera é insuficiente para a demanda de todos os nós. Este é o maior problema da arquitetura SHR/ADM SONET (ou SDH). No SHR todos os equipamentos de rede (NE's) operam a uma mesma taxa de dados. Se a capacidade do anel for excedida, são necessárias grandes alterações para atender a demanda adicional. Se isso ocorrer, as seguintes providências devem ser tomadas:



(a) Gerência de Banda Centralizada

(b) Gerência de Banda Distribuída

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

Figura 4.9. Dois esquemas possíveis de gerência de banda para SONET.

Construir um novo anel de ADM's paralelo ao antigo, para atender a demanda extra. Este método é fácil de visualizar, mas não necessariamente mais interessante economicamente.

Colocar as maiores parcelas de demanda em um novo anel que tem ADM's em apenas alguns nós, reduzindo assim a carga no anel original. A medida que a demanda cresce no novo anel, novos ADM's podem ser instalados.

- Tratar as maiores demandas através de *hub*, com *links* entre o *hub* e as estações maiores. Assim, a demanda destas estações seriam atendidas por novas facilidades, deixando o anel original livre para as demandas de estações menores.

No projeto inicial devem ser consideradas as demandas iniciais, a previsão de crescimento, quais nós devem ficar próximos (vizinhos) no anel, etc. A questão econômica a ser considerada é a seguinte: qual o dimensionamento ótimo para que a capacidade do anel não seja saturada rapidamente? Se ocorrer a saturação, isto representará custos extras muito maiores do que aqueles considerados no projeto inicial.

4.6. ESTUDO DE APLICAÇÕES DE SHR's – COMPARAÇÃO COM 1:1/DP

Um estudo de caso relatado em [1] busca comparar os anéis SHR com outra arquitetura alternativa que apresente a mesma sobrevivenciabilidade para o caso de cortes de cabo óptico. A arquitetura escolhida então foi APS 1:1/DP (*Diverse Protection*).

A rede utilizada para este estudo é uma rede de transporte metropolitana com 36 nós e 64 *links*. Como a sobrevivenciabilidade para as duas arquiteturas é a mesma para o caso de corte do cabo de fibras, é feita uma comparação de sobrevivenciabilidade destas arquiteturas para o caso de falha no *hub*.

Sobrevivenciabilidade de *hub* é definida como a porcentagem da demanda total que permanece intacta quando o *hub* se torna inacessível (falha).

Para SHR com apenas um *hub*, apenas a demanda que não passa por este continua intacta quando ocorre falha no *hub*. Para SHR *dual-homing*, a demanda não é afetada porque pode ser restaurada pelo outro *hub*.

O estudo citado sugere que quanto maior a área a ser atendida, maiores são os benefícios econômicos que o SHR pode trazer, se comparado com uma rede em estrela, se um único anel puder atender a área. Quando a demanda da área requer múltiplos anéis, é preferível que estes anéis estejam apenas parcialmente sobrepostos, não sendo aconselhável que sejam totalmente sobrepostos.

Conclui também que um anel SHR com *dual homing* é ideal para aumentar as vantagens de sobrevivenciabilidade e custos deste tipo de arquitetura, quando comparado com

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

redes 1:1/DP.

Outro estudo citado em [1] indica que a arquitetura BSHR/4, pode atender muito mais nós no anel do que a arquitetura USHR. Isto porque, para um mesmo conjunto de nós, a demanda pode ser atendida por um BSHR/4 ou USHR, mas o BSHR/4 pode utilizar a sua capacidade sobressalente para atender pequenos nós, enquanto o USHR deve reservar banda para restauração.

Para áreas onde a demanda é altamente desbalanceada, isto é, existem demandas altas apenas entre poucos nós e pequenas demandas entre os outros, um sistema ponto a ponto em estrela pode ser usado para concentrar a demanda e só então entregá-la ao anel. Estas conclusões foram retiradas de um estudo de caso em [3]. O modelo usado é uma parte de rede de transporte metropolitana que consiste de 9 estações, uma das quais é concentradora de demanda (*hub*). Para o caso foram considerados 16 pares de demandas com 82 feixes STS-1 (equivalente ao nível E3 da hierarquia européia), para projeto num período de cinco anos. Entre os pares de demanda existe um que é muito maior que os outros. O projeto utilizando dois sistemas ponto a ponto em conjunto com outro em anel apresentou economia de 10% quando comparado com um sistema em anel apenas.

4.7. CONCLUSÕES

A tecnologia SONET/SDH associada à flexibilidade e alta velocidade da tecnologia ADM, tornou os anéis SHR SONET/SDH práticos e econômicos para redes de transporte. Os sistemas ponto a ponto são muito eficientes e baratos quando a demanda entre dois pontos é compatível com a capacidade do sistema utilizado. Por outro lado, os anéis SHR SONET/SDH oferecem compartilhamento de equipamentos e facilidades de fibras entre várias estações; em especial oferecem vantagens no preço e na sobrevivenciabilidade de serviços para aplicações de *dual homing*, que não podem ser implementadas economicamente nos modelos de redes tradicionais.

Foram discutidas as duas arquiteturas em anel USHR e BSHR. Pode-se concluir que o USHR é economicamente interessante em áreas onde a demanda é centralizada, ao contrário do BSHR que se torna mais econômico em áreas onde a demanda é descentralizada. Em alguns casos, como nas áreas periféricas das redes metropolitanas, onde a demanda é centralizada se torna mais interessante a aplicação da função *hub* de um DCS. Assim, fica clara necessidade de métodos de projeto mais globais, que determinem de maneira ótima a configuração da rede para os requisitos de tráfego existentes e prevendo o crescimento da rede em um dado período.

Uma análise do projeto de anéis SDH será vista no Capítulo 6.

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

CAPÍTULO 5

REDES DCS RECONFIGURÁVEIS

5.1. INTRODUÇÃO

**ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE
TRANSPORTE**

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

Há dois métodos de se obter sobrevivenciabilidade de uma rede a fibra, que são: proteção de facilidades físicas e proteção de canal lógico. O método de proteção de facilidades físicas utiliza uma facilidade de proteção dedicada em *standby*. As arquiteturas de redes que implementam este método de proteção são *APS* e *SHR*, descritas nos Capítulos 3 e 4, respectivamente. O método de proteção do canal lógico reserva uma parte da capacidade das facilidades em operação para proteção. É implementado pelas arquiteturas *BSHR/2* e redes *DCS* reconfiguráveis.

Projetos de redes baseados nos métodos de proteção de facilidades físicas e de canal lógico são chamados respectivamente de projetos de rede baseados na camada física e projetos de rede baseados na camada lógica. As diferenças básicas entre as redes baseadas nas camadas física e lógica são o projeto e os meios utilizados para proteção. O projeto de rede baseado na camada física é seccionalizado, feito por partes, utilizando facilidades de fibra e/ou equipamentos separados como meios de proteção. O projeto de uma rede baseado na camada lógica é mais global, pois utiliza capacidade sobressalente dentro dos canais em operação para protegê-los.

Em geral, uma rede com proteção baseada na camada lógica (uma rede *DCS*, por exemplo) utiliza de maneira mais eficiente a capacidade sobressalente da fibra do que uma rede com proteção baseada na camada física. O custo disto é a complexidade maior nas redes *DCS*. A Tabela 5.1 ilustra as características dos dois tipos de proteção:

Tabela 5.1. Proteção de facilidades físicas e proteção de canal lógico

<i>Características</i>	<i>Proteção de Facilidades Físicas</i>	<i>Proteção de Canal Lógico</i>
Capacidade sobressalente necessária	Maior	Menor
Tempo de restauração	Mais rápido	Mais lento
Complexidade do sistema	Simple	Complexo
Tamanho da rede (dimensões)	Menor	Maior
Confiabilidade da rede	Mais alta	Mais baixa

5.2. DIGITAL CROSS-CONNECT SYSTEM (DCS)

Digital Cross-connect System (DCS) ou Roteador Síncrono Cruzado Digital (SDXC), é um tipo de comutador que recebe sinais digitais de entrada e internamente faz a conexão cruzada (ou roteamento) entre estes sinais, ou entre os canais (tributários) que os constituem. Esta conexão é feita de acordo com uma mapa armazenado em memória. O *DCS* é projetado para integrar múltiplas funcionalidades, como *add/drop*, *cross-connect* e multiplexação/demultiplexação de sinais em um único elemento de rede (*network element – NE*). Este equipamento pode eliminar multiplexações em *back-to-back* e reduzir a necessidade de distribuidores intermediários (DID's), bem como das conexões (*jumpers*) entre estes. Além disso, os sistemas *DCS* proporcionam economia em operação devido ao controle eletrônico das conexões, facilidade para testes de

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

acesso, *loopback* e manutenção.

Um *DCS SDH*, normalmente denominado *SDXC*, recebe e faz conexão cruzada de sinais *SDH*. Com interface *SDH*, é possível a conexão direta das fibras ópticas ao sistema, sem necessidade de conversão óptico-elétrica (O/E). Exemplos são: o *SDXC 4/1* que possui interfaces 2 Mbit/s, 140 Mbit/s e STM-n, e realiza o roteamento a nível de VC-12, e o *SDXC 4/4*, que possui interfaces 140 Mbit/s e STM-n, e realiza roteamento a nível de VC-4.

Com o desenvolvimento crescente das redes *SDH*, cada vez mais serão oferecidos novos serviços para este tipo de rede, entre estes estão: utilização eficiente da rede, serviço comutado E1/E3, restauração da rede, e controle e gerência feitos pelos próprios usuários.

A capacidade de comutação dos *DCS* permite uma maneira flexível de oferecer sobrevivenciabilidade para a rede. Assim, o *DCS* fornece capacidade de restauração para a rede através de roteamento alternativo de sinais em caso de falhas. É possível também montar tabelas de prioridades de restauração quando a capacidade sobressalente da rede é limitada.

5.3. APLICAÇÕES DE REDES DCS RECONFIGURÁVEIS

A capacidade de reconfiguração é possível devido a matriz de comutação dos *DCS*, que pode ser controlada de maneira centralizada ou não. A reconfiguração flexível da rede fornece os seguintes benefícios para aplicações de redes *DCS*:

- Custos de operação reduzidos, devido a automatização de tarefas;
- Melhores resultados / lucros;
- Melhor utilização da capacidade da rede, porque reduz o número de equipamentos e pode atender de maneira eficiente a demandas inesperadas;
- Aumenta a sobrevivenciabilidade da rede, porque reduz a necessidade de facilidades para restauração e responde mais eficientemente a múltiplos casos de falhas.

Para oferecer os benefícios acima, uma rede *DCS* precisa de um controle mais complexo que uma rede *SHR*, por exemplo. Por isso pode ser mais vulnerável a falhas de software (pois este é um sistema essencialmente orientado por software), e dessa forma pode afetar muito mais serviços de uma só vez.

As duas principais aplicações de redes reconfiguráveis *DCS* são: controle flexível da rede e capacidade de restauração eficiente da mesma. Uma rede *DCS* projetada apenas para ser uma rede flexível pode não ser apropriada para restauração de rede, e vice-versa. Em geral, a primeira aplicação para uma rede reconfigurável *DCS* é o controle de rede flexível, sendo que a capacidade de auto-regeneração é adicionada em seguida.

A aplicação de controle flexível da rede permite à rede *DCS* fazer provisionamento rápido de serviços e utilizar eficientemente os recursos desta. Para esta aplicação, é importante considerar o crescimento a longo prazo da rede, bem como a melhor utilização da sua capacidade; o tempo de reconfiguração não é o principal fator a se considerar aqui. Uma rede *DCS* com esta finalidade é chamada *Rede DCS para gerência de banda*.

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

Para aplicação de restauração da rede, o objetivo principal é restaurar o máximo de serviços no menor período de tempo possível. Uma rede *DCS* com esta finalidade é chamada *Rede DCS com auto-regeneração*. Neste trabalho será apresentada apenas esta aplicação de redes *DCS*.

5.4. REDE DCS COM AUTO-REGENERAÇÃO

Uma rede *DCS* é dita com auto-regeneração se puder restaurar automaticamente os serviços afetados por uma falha ocorrida em uma facilidade óptica, equipamento ou estação. A Figura 5.1 mostra um diagrama simplificado da restauração de um sinal *STM-N* em um *DCS* com auto-regeneração.

Neste exemplo, o sinal *STM-N* é enviado da Estação A para a Estação D através da Estação C sob condições normais. Supondo que ocorra uma falha no *link* da Estação C para a Estação D, e que exista um controle centralizado de roteamento, a falha é imediatamente comunicada para o controlador central e uma nova rota $A \rightarrow B \rightarrow D$ é obtida e enviada para as Estações A, B e D, para que estas mudem as matrizes de comutação nos seus respectivos *DCS*s. A escolha da nova rota pode ser feita através de uma sequência de caminhos pré-planejados ou através de decisão dinâmica de re-roteamento.

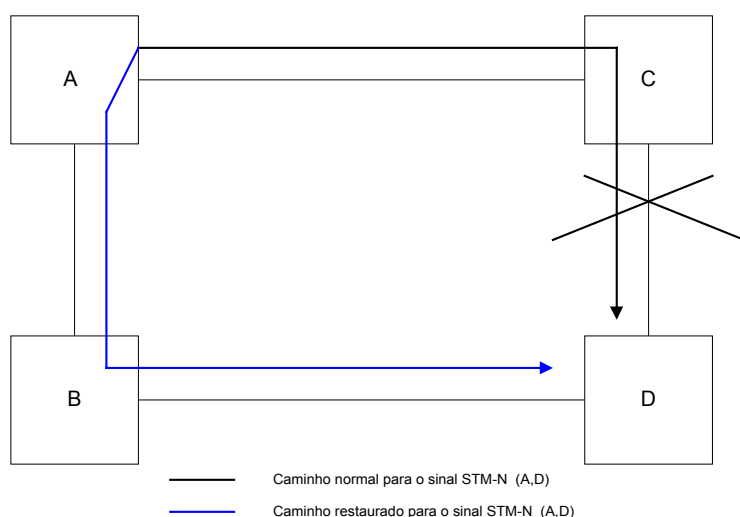


Fig. 5.1. Exemplo de restauração de rede DCS.

Se for utilizado controle distribuído de roteamento, a Estação de origem (A), após receber um *SIA* da Estação D, envia mensagens de controle para outros nós, inclusive o *DCS* da Estação D, para buscar caminhos alternativos. Se existir tal caminho, o *DCS* da Estação D responde para a Estação A (pelo mesmo caminho) indicando conexão com sucesso.

Os métodos de restauração de uma rede *DCS* respondem a uma falha de rede da seguinte maneira:

1. Detecção. Detecção de uma falha pelo sistema operacional, controlador ou elemento de rede (*NE*);

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

2. Propagação da mensagem de controle. *Broadcast* da falha para outros elementos de rede e início do processo de restauração;
3. Seleção de rota. Escolha de uma rota alternativa para cada serviço/demanda afetado
4. Re-Roteamento. Conexão cruzada dos serviços existentes para as rotas alternativas.
5. Retorno à condição normal. Detecção da solução da falha e retorno à condição operacional normal da rede.

Para cada um dos passos acima, há uma variedade de técnicas de implementação. A rede DCS com auto-regeneração pode ser classificada de acordo com as seguintes técnicas de implementação:

1. Controle de auto-regeneração. Centralizado ou distribuído.
2. Plano de Re-roteamento. Pré-planejado ou dinâmico;
3. Nível de restauração do sinal. Restauração de linha ou de caminho (via).

A Figura 5.2 ilustra esta classificação.

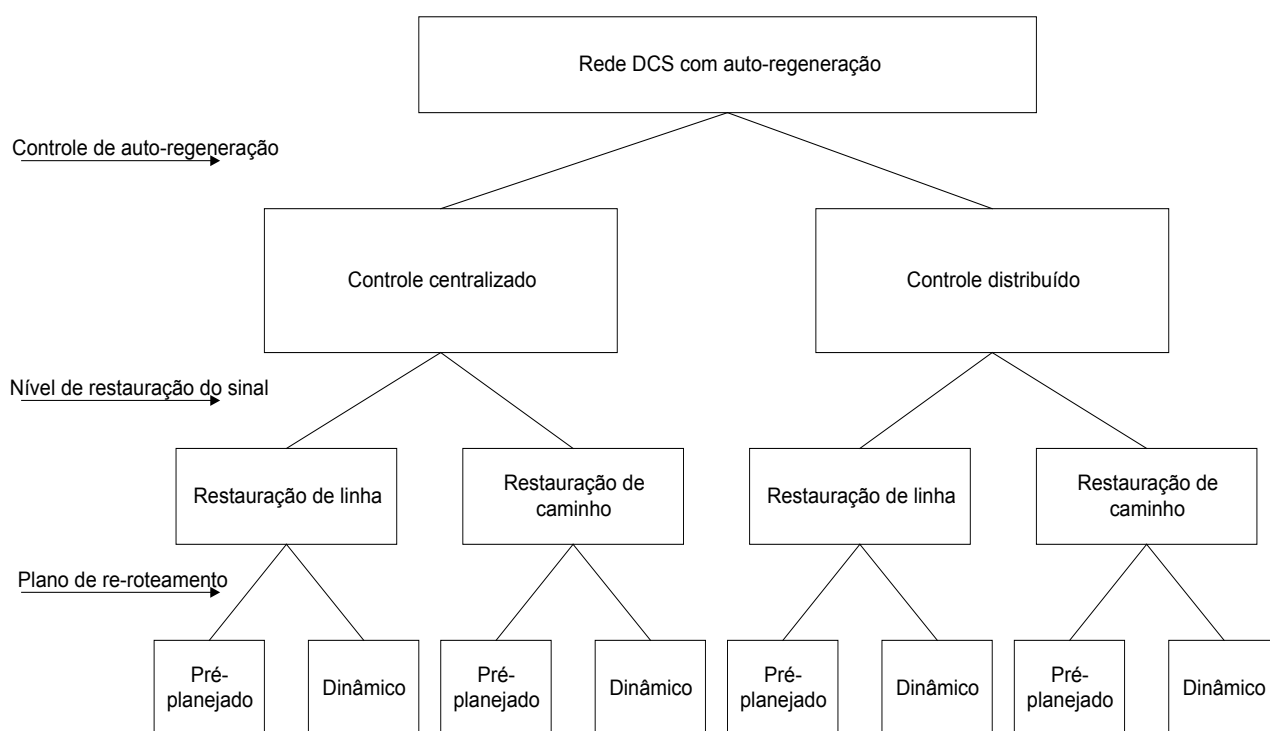


Fig. 5.2. Classificação das arquiteturas de redes DCS SONET com auto-regeneração.

Arquiteturas para controle de auto-regeneração (Centralizado x Distribuído)

As duas possíveis arquiteturas de controle são mostradas na Figura 5.3. A arquitetura de controle de

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998
 Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos
 Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

auto-regeneração centralizada opera a partir de um controlador central, de acordo com a Figura 5.3(a). As informações a respeito de todos os nós da rede, mapas de conectividade, e facilidades sobressalentes estão armazenadas na base de dados do controlador central. Na Figura 5.3(a) a rota normal entre as estações A e B é através de um *link* entre o *DCS#1* e o *DCS#2*. Quando o controlador central recebe a informação de que este *link* falhou (através de um *link* de controle separado), ele busca o melhor caminho de re-roteamento baseado no estado atual da rede. O controlador então envia comandos para o *DCS#1*, *DCS#2* e *DCS#3*, solicitando que estes mudem suas matrizes de comutação para re-rotear a demanda entre A e B através de um *link* entre *DCS#1* e *DCS#3* e outro *link* entre *DCS#2* e *DCS#3*.

Para a arquitetura de controle distribuído, é necessário um controlador externo para cada *DCS*, como mostrado na Figura 5.3(b). Esta função também pode ser implementada no próprio *DCS*. Cada *DCS* armazena informações locais que incluem capacidade em operação e sobressalentes associadas a cada *link* deste *DCS*. Quando ocorre uma falha no *link* entre o *DCS#1* e *DCS#2*, um dos *DCS* afetado inicia a busca por caminhos disponíveis para re-rotear a demanda, usando as informações locais armazenadas em cada *DCS*. A Tabela 5.2 resume uma comparação entre as arquiteturas de controle centralizada e distribuída para redes *DCS* com auto-regeneração.

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

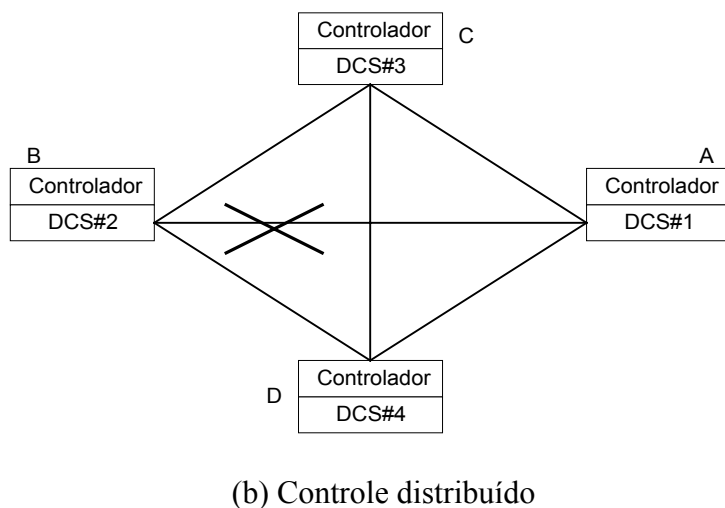
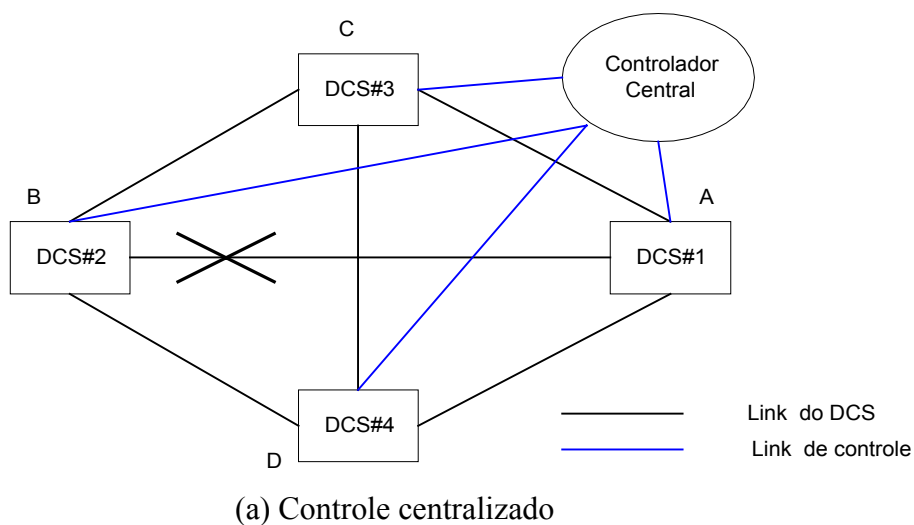


Figura 5.3. Arquiteturas para controle de auto-regeneração de uma rede DCS.

Como o esquema de controle centralizado não necessita de comunicação entre *DCS*'s, é mais fácil a convivência de equipamentos de fabricantes diferentes. O esquema centralizado pode necessitar ou não de canal *DCC* para restauração. Se o canal *DCC* for utilizado, este precisa de proteção para fins de sobrevivenciabilidade. O esquema de restauração centralizado pode facilmente ser incorporado em um sistema operacional centralizado, o que pode facilitar a coordenação de capacidades e a restauração. A estratégia de sobrevivenciabilidade somente pode funcionar bem se: (1) o algoritmo de planejamento fornecer capacidade sobressalente adequada através da rede; (2) os algoritmos de roteamento têm acesso a capacidades sobressalentes de maneira eficiente e controlada. A previsibilidade dos algoritmos é necessária para obter este nível de coordenação entre planejamento e restauração. Esta previsibilidade é um fator que favorece o controle centralizado, pois é difícil obtê-la em esquema de controle distribuído. Entre as desvantagens do esquema de controle de restauração centralizado estão

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

o alto *overhead* de administração, maior vulnerabilidade do sistema (devido a estrutura centralizada), menor velocidade de restauração.

Tabela 5.2. Comparação entre sistemas de controle centralizado e distribuído para auto-regeneração.

Características	Controle Centralizado	Controle Distribuído
Ambiente multi-fornecedor	<i>Fácil</i>	<i>Difícil</i>
Complexidade do sistema	<i>Simples</i>	<i>Complexo</i>
Probabilidade de restauração de demanda	Maior	<i>Menor</i>
Retorno à condição normal	Fácil	<i>Difícil</i>
Padronização necessária	<i>Mensagem</i>	<i>Mensagem/algoritmos</i>
Tempo de restauração	<i>Lento (minutos)</i>	<i>Rápido (segundos)</i>
Vulnerabilidade	<i>Alta</i>	<i>Baixa</i>
Overhead de administração	<i>Maior</i>	<i>Menor</i>
Coordenação entre planejamento de capacidades e restauração em tempo real	<i>Fácil</i>	<i>Difícil</i>

O esquema de controle de restauração distribuído restaura mais rapidamente as demandas, diminui a vulnerabilidade do sistema e diminui os custos de administração. Porém os custos disso são: a imprevisibilidade do sistema, a complexidade do sistema de controle, uma necessidade maior de padronização e a utilização menos eficiente da capacidade sobressalente. No entanto, é necessário considerar a seguinte questão: *deseja-se aproveitar o ambiente de operações centralizado para controlar a restauração ou a preocupação maior é com o tempo de restauração?* Se o tempo de restauração for o principal fator, então a escolha é o controle distribuído, senão, a melhor escolha é o esquema centralizado.

Nível de restauração de sinal (Restauração de caminho ou de linha)

Como já foi visto no Capítulo 4, a restauração de demanda pode ser tratada em dois níveis: linha ou via (caminho). Restauração de via restaura um canal lógico ponto a ponto, restauração de linha restaura todos os serviços afetados transportados por uma determinada facilidade em falha. A Figura 5.4 mostra exemplos das técnicas de restauração de caminho e de linha.

Nestes exemplos, o *link* entre os nós 2 e 3 transporta dois sinais *STM-1* [*STM-1* (1,6) e *STM-1* (4,6)]. Supondo uma falha neste *link*, observa-se o seguinte:

- no método de restauração de linha, a rota 2-3 é substituída pela rota 2-5-3, e todos os canais que

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

deveriam passar pelo *link* 2-3 utilizam esta nova rota.

- No método de restauração de caminho, cada canal afetado procura uma nova rota para restauração. No exemplo, *STS-1* (1,6) pode selecionar a rota 1-4-5-6 e o *STS-1* (4,6) pode selecionar a rota 4-5-6.

A restauração de caminho utiliza a capacidade sobressalente de maneira mais eficiente que a restauração de linha, contudo a restauração de linha é mais rápida, porque necessita de uma decisão de roteamento mais simples.

Métodos de re-roteamento (Pré-planejado ou dinâmico)

No método pré-planejado, cada controlador de rede *DCS* transporta toda a informação de re-roteamento relacionada à reestruturação da rede para cada cenário de falha pré-planejado. O método de roteamento dinâmico requer que cada controlador de rede *DCS* armazene apenas informação local necessária, e a decisão de re-roteamento é tomada de acordo com o *status* da rede (configuração, capacidade sobressalente, etc.) no momento que ocorre a falha.

Em geral, comparado com o método de re-roteamento dinâmico, o método pré-planejado necessita de maior quantidade de memória e pode ter maior dificuldade de adaptação às mudanças rápidas das redes, mas possui capacidade de restauração mais rápida e menor complexidade do sistema. O método pré-planejado possui menor confiabilidade que o método dinâmico porque é difícil implementar todos os possíveis cenários de falha.

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

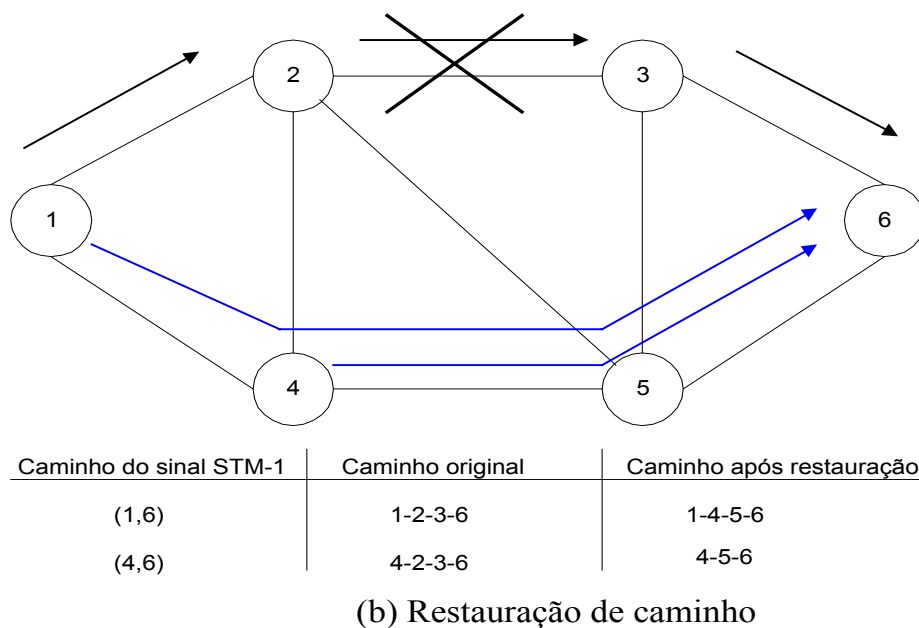
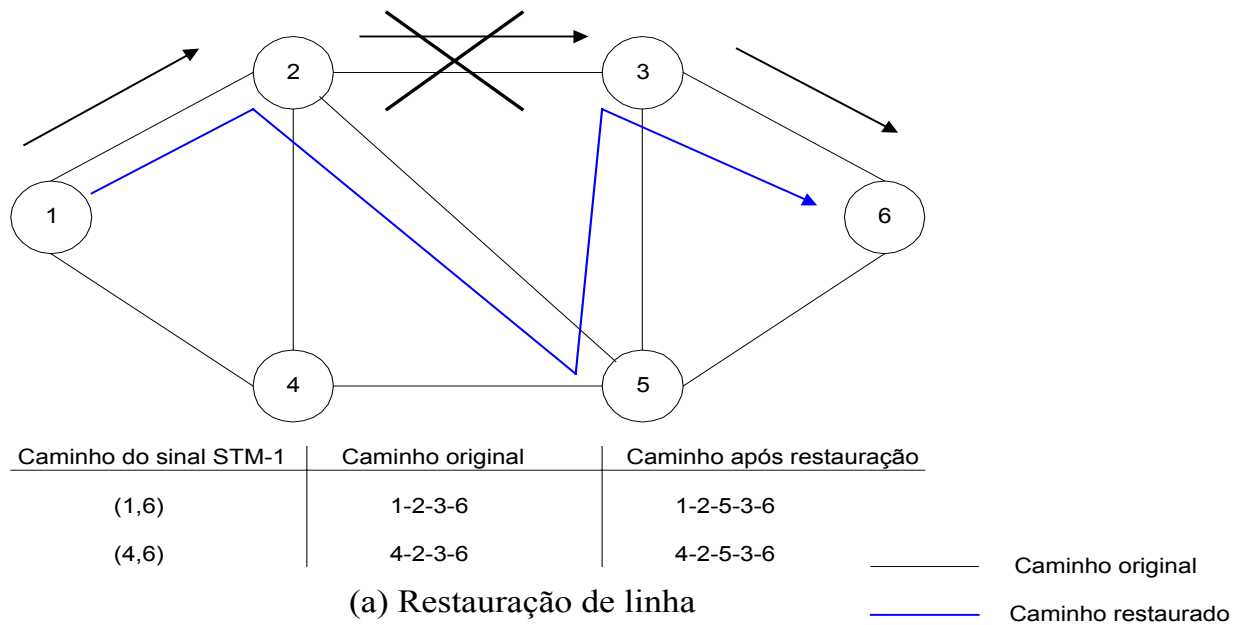


Figura 5.4. Nível de restauração de demanda.

5.5. ARQUITETURAS DE REDES DCS COM AUTO-REGENERAÇÃO

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

A escolha de uma arquitetura para a rede *DCS* com auto-regeneração pode ser avaliada baseada nos seguintes fatores:

- Tempo de restauração: é o tempo que a rede leva para restaurar as demandas afetadas após a detecção da falha;
- Razão de restauração: é a razão entre o número de demandas restauradas e o número de demandas afetadas pela falha;
- Coordenação com a rede de gerência de banda para provisionamento rápido e controle de rede flexível;
- Quantidade de memória necessária para restauração da rede;
- Modificações em hardware/software no *DCS* necessárias para a implementação da capacidade de restauração na rede;
- Relação de custo: relação entre o custo da rede com e sem a capacidade de auto-regeneração.

5.5.1. Caracterização do problema de projeto de uma rede *DCS* com auto-regeneração

O objetivo do método de restauração de uma rede *DCS* é restaurar a máxima demanda possível o mais rapidamente possível. Assim, o problema de se encontrar um caminho de re-roteamento é essencialmente uma combinação de dois métodos: encontrar a máxima capacidade sobressalente disponível (problema do fluxo máximo) e encontrar um conjunto de k menores caminhos para cada par de nós afetados.

Os dois métodos fornecem resultados muito similares. Tipicamente, se o critério principal é restaurar as demandas afetadas o mais rápido possível, o método dos caminhos mais curtos pode ser usado, senão, o método do fluxo máximo pode ser usado. Em qualquer caso, o método usado depende do protocolo de auto-regeneração de cada *DCS*.

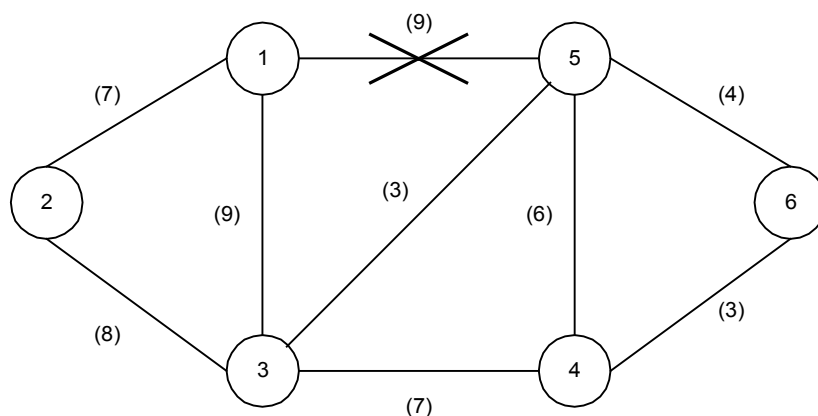
Observa-se que o critério dos caminhos mais curtos pode ter o menor número de nós entre o par de nós afetados. A posição do par afetado depende do método de restauração utilizado. Para restauração de caminho, o par afetado são as duas pontas de cada demanda afetada. Para restauração de linha, par de nós afetados são os dois pontos finais da facilidade afetada. A Figura 5.5 mostra um exemplo de restauração utilizando o método de restauração de linha através do método dos k caminhos mais curtos para uma falha simples em uma fibra. No exemplo, o sistema pode encontrar dois caminhos: 1-3-5 e 1-3-4-5, que restauram três *STM-1* e seis *STM-1*, respectivamente, para o total de nove *STM-1* afetados no *link* 1-5.

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)



(x) = capacidade de STM-1 sobressalente

Caminhos possíveis para restaurar os 9 STM-1 afetados do caminho (1,5):

- (1) 1-3-5 restaura 3 STM-1 e 1-3-4-5 restaura 6 STM-1
- (2) 1-3-5 restaura 3 STM-1 e 1-2-3-4-5 restaura 6 STM-1

Figura 5.5. Descrição do problema dos métodos de restauração

Assim, de acordo com este exemplo simples, o problema de restauração usando a aproximação dos k menores caminhos pode ser resumido: *encontrar um conjunto de k caminhos cuja capacidade total é pelo menos igual à demanda afetada, de modo que toda demanda afetada possa ser restaurada o mais rápido possível*. Estes k caminhos podem ou não ser diferentes, dependendo da preocupação ou não com o balanço das capacidades sobressalentes. Este balanço requer maior conectividade da rede.

5.5.2. Rede DCS com controle de auto-regeneração centralizado

A Figura 5.6 ilustra a operação centralizada de auto-regeneração. Como já foi visto, este sistema requer um controlador central que armazena informações globais da rede, incluindo capacidade sobressalente em cada *link*.

A principal função do controlador central é identificar os melhores caminhos para re-roteamento de demanda (após ter recebido uma mensagem de falha de algum *DCS*) e enviar comandos aos *DCS*'s afetados para alterar as configurações de suas matrizes de comutação.

O controlador central para restauração pode ser incorporado ao sistema operacional centralizado para gerência de banda (que já faz parte da rede *DCS*), para facilitar a coordenação entre as funções de gerência de banda (em operação e de reserva) e de planejamento de restauração.

Como mostrado na Figura 5.6, quando um ou mais *DCS*'s detectam uma falha através dos sinais de manutenção (no *overhead* de linha), os *DCS*'s afetados enviam uma mensagem de restauração ao controlador

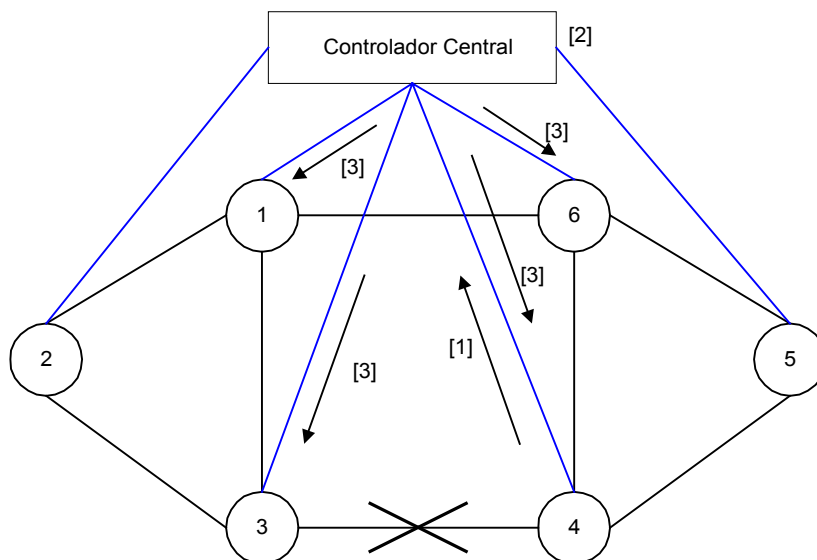
ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

centralizado através de um *link* dedicado para esse fim. Quando o controlador central recebe a mensagem de restauração, este consulta a atual configuração da rede para então decidir qual o melhor caminho para re-rotear os canais afetados pela falha. Depois de re-rotear a informação, o controlador central envia comandos aos *DCS*'s afetados para alterar suas matrizes de comutação, o que completa o processo de re-roteamento de canais.



[1] O nó afetado (por exemplo, o nó 4) envia a mensagem de manutenção ao controlador central.

[2] O controlador central processa a mensagem de manutenção e fornece os caminhos de restauração.

[3] O controlador central envia comandos aos *DCS*'s afetados para alterarem suas matrizes de comutação baseados no caminho de restauração encontrado.

Figura 5.6. Exemplo de operação de rede DCS com auto-regeneração centralizada

Na arquitetura de controle de auto-regeneração centralizada, o algoritmo utilizado para gerência dinâmica de banda (projetado para controle de rede flexível) pode ser usado para reconfiguração da rede (e portanto, para restauração) com a adição de uma função: o tratamento para falhas (catastróficas). Assim uma falha em uma facilidade ou estação deve disparar a execução do algoritmo de reconfiguração da rede. Para esta arquitetura, o método de restauração de linha pode ser mais eficiente (até do ponto de vista econômico) do que o método de restauração de caminho, porque requer algoritmos menores e menor número de reconfigurações de *DCS* (e portanto, menos re-roteamento). Além disso, a otimização global das capacidades sobressalentes pode ser preservada devido às características do método centralizado.

5.5.3. Rede *DCS* com controle de auto-regeneração distribuído

Na arquitetura com controle de auto-regeneração distribuído, cada nó inclui um *DCS* e um controlador (que pode ser integrado ao *DCS*, dependendo do fabricante). Cada controlador local armazena apenas a

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

informação local, incluindo as capacidades sobressalentes para cada *link* deste nó. A reconfiguração da rede para executar a auto-regeneração é baseada apenas nestas informações locais armazenadas no controlador do *DCS*. Esta arquitetura considera cada nó como um nó inteligente, assim, ela só pode funcionar corretamente se todos os nós executam corretamente o protocolo de auto-regeneração distribuído.

Método de *flooding* para restauração

No método de controle distribuído, cada nó não tem uma visão global da rede, por isso quando um componente falha é importante a comunicação entre os nós para obter informações que auxiliem a configuração de novos caminhos. Para isso utiliza-se a técnica de “*flooding*” (inundação), que faz *broadcast* de mensagens de restauração pela rede. A técnica de *flooding*, muito usada em redes de dados comutadas por pacotes, é uma técnica comum usada em todos os métodos de restauração envolvendo *DCS*. A diferença está na razão para utilização desta técnica nos dois tipos de redes.

Para redes de comutação por pacotes, são tomadas as decisões de roteamento baseadas no *status* da rede no momento do estabelecimento de uma conexão e devem ser feitas em tempo real. O método de *flooding* é então usado para enviar periodicamente mensagens de manutenção para a rede de modo a manter atualizada a tabela de roteamento. Neste caso, a técnica de *flooding* é usada *apenas* para atualizar as informações de configuração e recursos da rede armazenadas em cada nó. A decisão de roteamento é feita por outros algoritmos de roteamento.

O roteamento de demanda para redes *DCS* com auto-regeneração deve permanecer constante por um período de tempo bem maior, se comparado com redes comutadas por pacotes, mas deve reagir o mais rapidamente possível a uma falha em um componente. A técnica de *flooding* descrita aqui identifica um conjunto de rotas alternativas com capacidade suficiente para restaurar as demandas afetadas.

Protocolo de controle distribuído de auto-regeneração em redes *DCS*

A maioria dos protocolos para controle de auto-regeneração de redes *DCS* apresentam duas características principais que são: (1) busca de rotas através de múltiplas mensagens (*flooding*), e (2) uma mensagem para seleção de rota.

A Figura 5.7 ilustra um modelo geral para restauração de linha em *DCS* para o caso de falha em um único *link*.

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

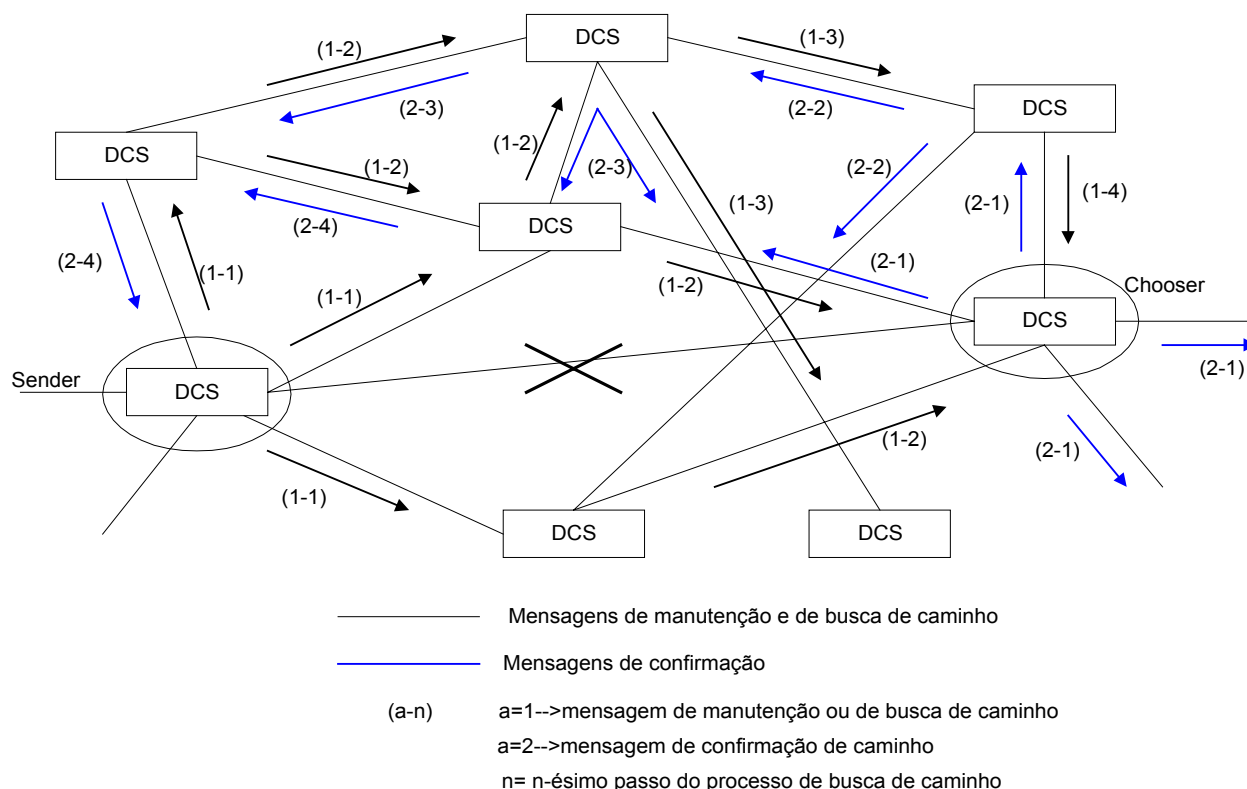


Figura 5.7. Caso de restauração de linha em rede DCS com controle distribuído

Na Figura 5.7, quando dois nós adjacentes detectam uma falha em um *link*, um deles se torna o *Sender* (enviador) e o outro o *Chooser* (seletor); todos os outros nós que participam do processo de restauração são chamados de nós *Tandem*. O *Sender* começa então a transmitir mensagens de restauração em todas as direções possíveis (*broadcasting*), exceto na direção do *Chooser*. Os nós *Tandem* atualizam o mapa de configuração do *DCS* baseados nas mensagens recebidas, re-transmitem (*broadcast*) as mensagens recebidas para outros nós adjacentes baseados no algoritmo de *flooding* utilizado. Alguns critérios de tempo são utilizados, como contagem de *hops* (saltos), por exemplo. Quando a mensagem encontra o *Chooser*, fica identificado um caminho para re-roteamento, e uma mensagem de confirmação é enviada na direção contrária utilizando o novo caminho identificado. As matrizes de comutação dos *DCS*'s nos nós *tandem* que fazem parte de caminho são alteradas de acordo com instruções contidas na mensagem de confirmação. Ao receber a mensagem de confirmação, o *Sender* altera a matriz de comutação de seu *DCS* para desviar as demandas afetadas para as rotas alternativas identificadas.

Uma mensagem típica de restauração inclui as seguintes informações:

- Largura de banda solicitada para restauração;
- Capacidade sobressalente disponível da rota;
- Identificação do *Sender/Chooser* (IDs);

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

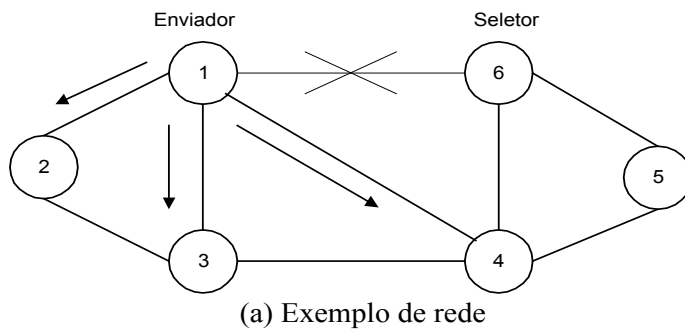
Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

- Identificação do *link* usado pela mensagem de restauração;
- Identificação dos nós por onde a mensagem de restauração passou;
- Contagem de *hops*, ou outro parâmetro utilizado como critério de restrição de tempo para a mensagem de *flooding*.

O objetivo da troca de mensagem é identificar os “melhores” caminhos alternativos entre o enviado e o seletor, baseado em algum critério de desempenho (menor número de hops, por exemplo), e instruir os DCS's afetados a fazerem a restauração da demanda afetada através de nova conexão.

A Figura 5.8 mostra um exemplo de como identificar caminhos alternativos através da técnica de *flooding*, usando o procedimento de três fases descrito anteriormente para o caso de falha única. De acordo com este exemplo, as seguintes questões devem ser respondidas, dependendo do algoritmo implementado:

- Como a mensagem de restauração é enviada (*flooded*) para os nós adjacentes?
- Como o nó decide que mensagens processar ou não?
- Que informações cada mensagem deve transportar?
- Como este processo de busca e seleção de caminho pode ser realizado o mais rapidamente possível?

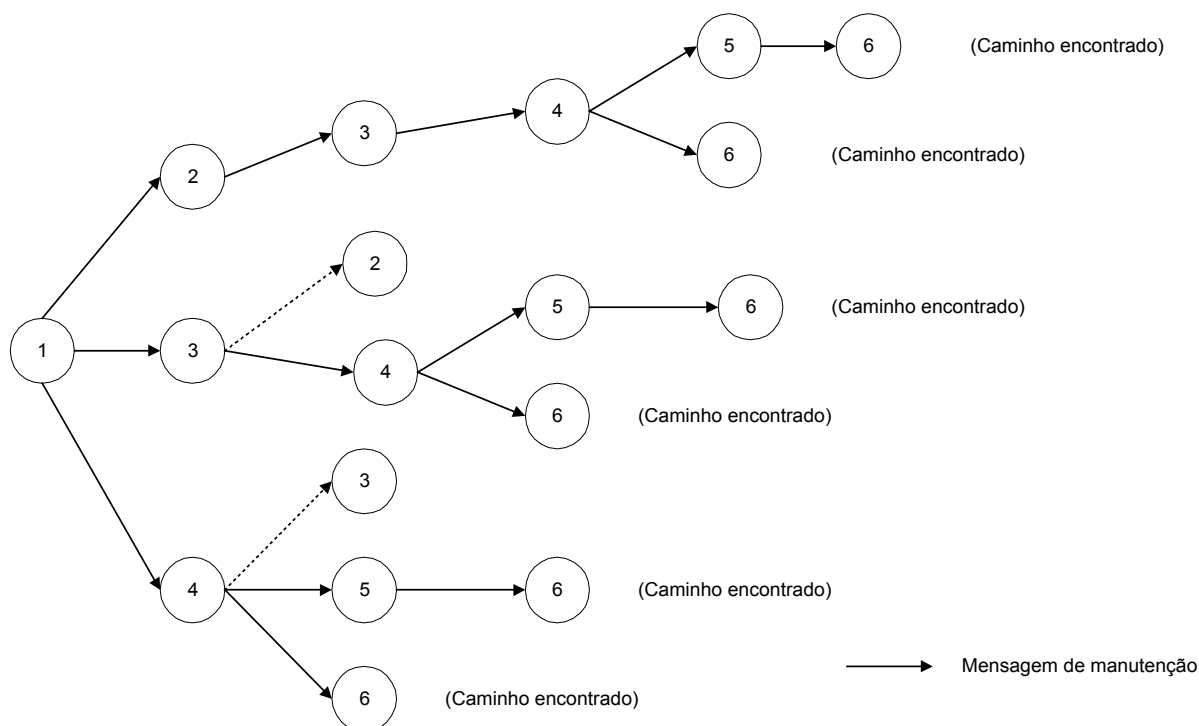


ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)



(b) Fase I: Flooding de mensagens de manutenção

Caminhos possíveis	Seleção de caminhos
(1) 1-2-3-4-5-6	É a seleção dos primeiros k caminhos encontrados que podem restaurar a demanda afetada pelo(s) link(s) com falha. No exemplo, o link (1,6)
(2) 1-2-3-4-6	
(3) 1-3-4-5-6	
(4) 1-3-4-6	
(5) 1-4-5-6	
(6) 1-4-6	

(c) Fase II: Seleção de caminho

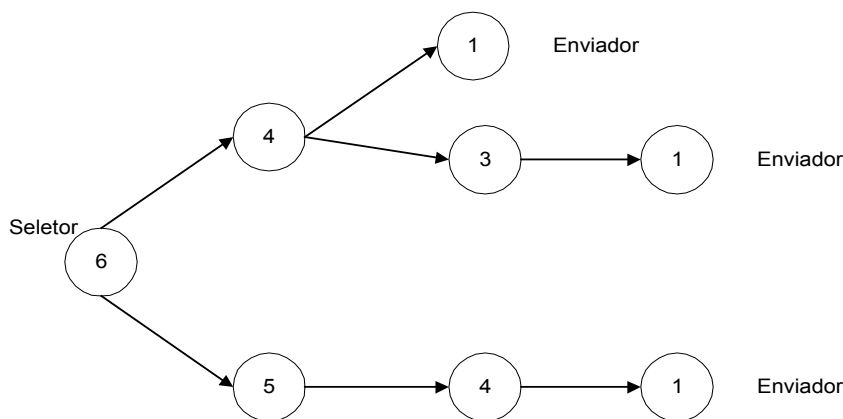
Figura 5.8. Processo de busca de caminhos alternativos para o caso de falha única.

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)



(d) Fase III: Mensagens de confirmação e reconfiguração de DCS's

Figura 5.8. Processo de busca de caminhos alternativos para o caso de falha única [Continuação].

As mensagens entre DCS's podem ser transmitidas através de canais de mensagens (*DCC – Data Communications Channel*) ou canais físicos (*bytes K1 e K2*). As mensagens utilizando canais físicos são mais rápidas que aquelas de utilizam canais de mensagens [1]. Entretanto, os canais físicos para *SONET/SDH* já foram padronizados para outras aplicações⁷.

O caso de falha em um nó é apenas ligeiramente diferente do caso de falha em um *link*, pois requer a escolha mais de um seletor. O caso de restauração de falhas múltiplas é ainda mais complicado, pois requer, por exemplo, vários pares de “enviador-seletor”, e uma técnica para evitar contenção, mas os princípios gerais de *flooding* não são alterados.

5.6. CONCLUSÃO

Em uma rede DCS, a capacidade sobressalente tem alto grau de compartilhamento, por isso esta é menor do que aquela necessária a uma rede SHR ou DP (proteção por diversidade de rotas). Para isso, no entanto, a rede DCS requer maior conectividade da rede (topologia em malha) e equipamentos maiores e mais caros (DCS's) que o SHR que utiliza ADM's. A tabela 5.3 mostra várias características das redes citadas acima e que pode ajudar a comparação entre estas.

Como a rede DCS com auto-regeneração compete diretamente com as redes em DP e em anel para os mesmos tipos de falha, a questão a se considerar é a seguinte: *a economia de capacidades sobressalentes pode justificar investimentos maiores em conectividade e em equipamentos mais caros?* A resposta desta questão ajuda no projeto de uma rede que utiliza a característica de auto-regeneração das redes DCS para complementar as redes SHR e DP.

⁷ Maiores detalhes sobre a utilização dos bytes de canal físico são apresentados no Capítulo 4.

Tabela 5.3. Comparação entre as redes com auto-regeneração *DP*, *SHR* e *DCS*.

<i>Características</i>	DP	<i>SHR/ADM</i>	<i>DCS</i>
Capacidade sobressalente necessária	Maior	Média	Menor
Custo por nó	Médio (OLTM / <i>APS</i>)	Menor (<i>ADM</i>)	Maior (<i>DCS</i>)
Quantidade de fibras	Maior	Menor	Médio
Conectividade necessária	Menor	Média	Maior (malha)
Tempo de restauração	Rápido	Rápido	Lento
Velocidades na linha (fibra)	Sim	Não	Sim
Complexidade de software	Pequena	Média	Grande
Impacto causado por uma falha de software nos serviços	Pequeno	Pequeno	Significante
Complexidade de projeto / operação	Pequena	Moderado	Grande
Dimensão da rede	2 pontos	Regional	Global

Neste capítulo faz-se a comparação apenas entre as redes *DCS* e *SHR*, uma vez que a comparação entre *SHR* e *DP* já foi vista no capítulo 4.

Comparado ao *SHR*, a rede *DCS* requer menor capacidade para proteção, mas tem um tempo maior de restauração que pode chegar a minutos, enquanto a restauração em um *SHR* é sempre menor que 50 ms. Esta economia de capacidade de proteção é devida a um complexo sistema de controle da rede, o qual pode trazer também inúmeros problemas quando apresenta alguma falha e não funciona corretamente.

A rede *SHR* é seccionalizada devido as suas restrições de capacidade, enquanto a rede *DCS* pode crescer bastante. Em geral, uma rede seccionalizada, quando comparada com uma rede global, apresenta maior robustez para o caso de uma falha de software, mas tem menor flexibilidade na utilização da capacidade sobressalente. Assim, para evitar a paralisação total da rede *DCS* no caso de uma falha de software, pode ser necessário seccionalizar a rede *DCS* para aumentar sua confiabilidade. No entanto, quando a rede *DCS* é seccionalizada, ela perde flexibilidade para alocação eficiente de banda e pode ter custos com fibras e equipamentos, maiores que uma rede *SHR*. Esta preocupação com confiabilidade e capacidade sugerem que uma aplicação das redes *DCS* seccionalizadas seria em uma área com alta demanda e alta conectividade de fibras.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES DE PROJETO DE ANÉIS SONET/SDH

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

6.1. INTRODUÇÃO

Como já foi visto nos capítulos anteriores, as arquiteturas SONET/SDH que podem oferecer sobrevivência para as redes de transporte são: Comutação Automática de Proteção (APS), Anéis Tolerantes a Falhas (SHR's) e redes DCS reconfiguráveis. Estas arquiteturas de redes podem ser divididas em duas camadas de rede: física e lógica. As principais diferenças entre estes dois níveis de restauração de serviços foram mostradas na Tabela 5.1.

Na prática, os provedores de serviços devem buscar as melhores características de cada uma destas alternativas de restauração para atender às necessidades dos clientes. Normalmente é utilizada uma mistura destas alternativas, numa *abordagem híbrida*, de maneira que se possa fazer um balanço entre preços e *performance* de restauração para cada serviço oferecido. Por exemplo, serviços com prioridade maior podem ser re-roteados por anéis ou sistemas 1:1/DP (mais rápidos), enquanto outros serviços podem utilizar restauração na camada lógica (mais lenta), otimizando a utilização das capacidades reservas.

Um modelo hierárquico de restauração para proteção de serviços é proposto em [1]. Este modelo é estruturado de forma descendente, conforme a Figura 6.1. O controle manual (feito pelo operador) é solicitado se o esquema APS não consegue restaurar completamente os serviços, ou se a rede DCS não tem banda suficiente para restauração.

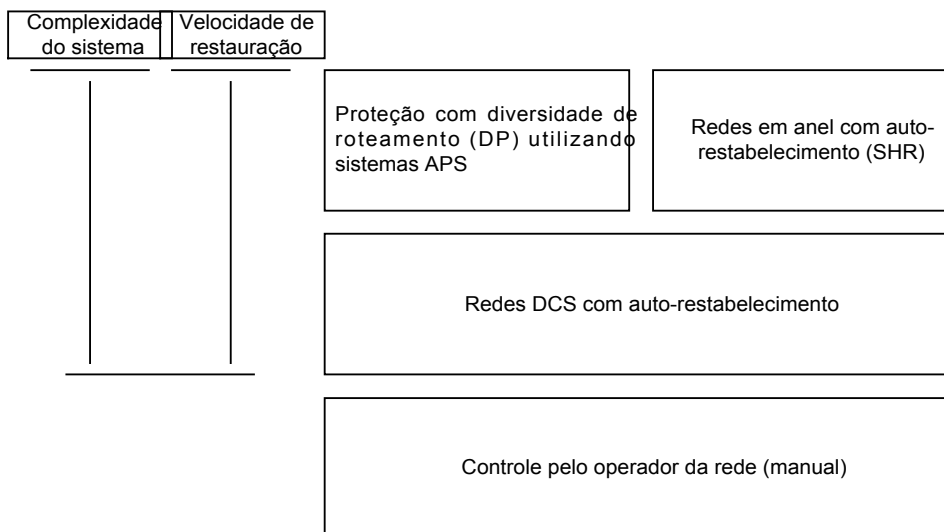


Figura 6.1. Modelo de Restauração Integrada da Rede

A partir desta hierarquia de proteção pode ser derivado um modelo de projeto para redes SONET/SDH, conforme mostrado na Figura 6.2. Neste modelo, a demanda total pode ser dividida em duas partes: de acordo com a necessidade de restauração ser imediata ou não. As demandas de alta prioridade são restauradas na camada física, enquanto as outras demandas são restauradas na camada lógica.

De acordo com o modelo, as camadas física e lógica podem ser projetadas separadamente, compartilhando facilidades. Este conceito de compartilhamento de facilidades é chamado *projeto integrado de*

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

sistema com auto-restabelecimento.

Esta é uma área relativamente nova e por isso não existe na literatura pública referências projeto de redes SONET/SDH. Em [1] é descrito um sistema para projeto nesta camada baseado nos sistema desenvolvido pela Bellcore, chamado “*Strategic Options*”. O modelo serve de ponto de partida para a análise geral dos passos de um projeto de rede SONET, e que pode ser aplicado a redes SDH, com ligeiras modificações. O objetivo deste modelo é determinar quando e qual tipo de anel se deve utilizar. Neste trabalho apenas será feita uma abordagem geral do projeto de SHR’s, que é um projeto de rede na camada física.

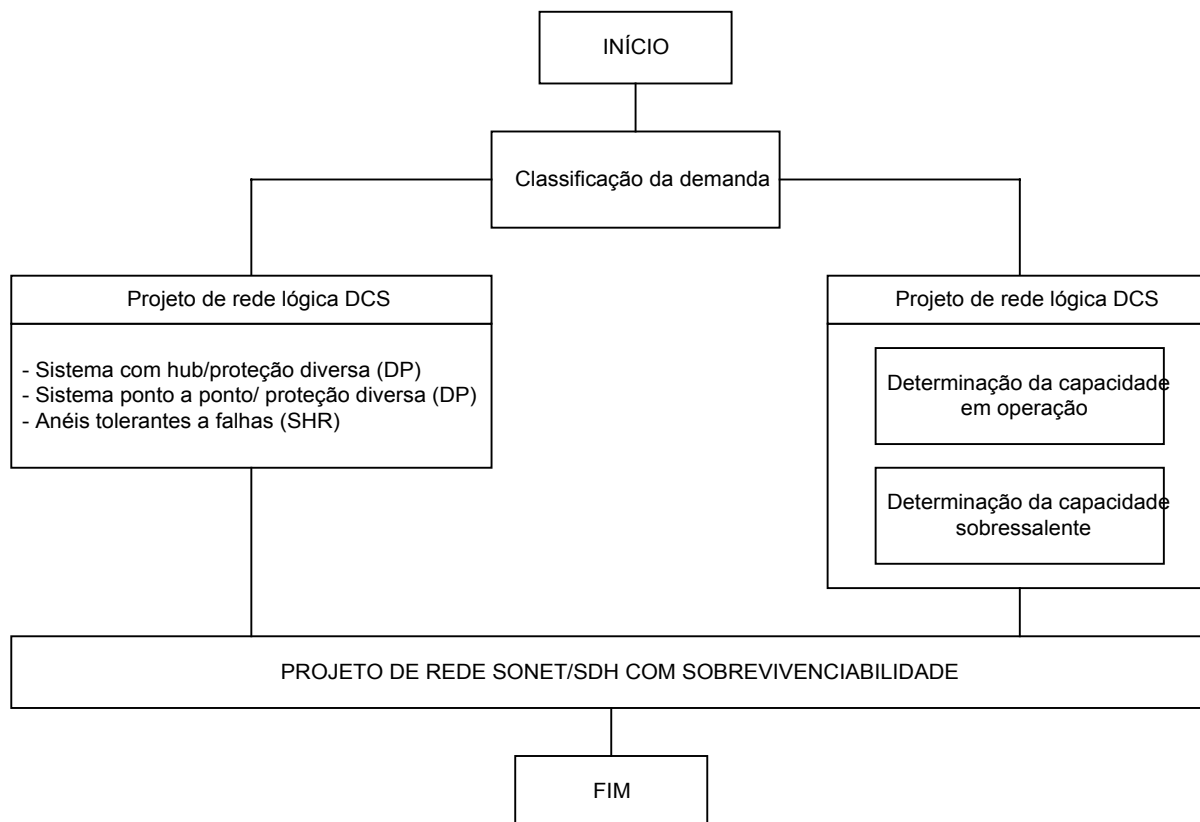


Figura 6.2. Modelo para projeto de rede SONET/SDH com sobrevivenciabilidade

6.2. PROJETO DE REDE NAS CAMADAS LÓGICA E FÍSICA

O problema de projeto de uma rede com sobrevivenciabilidade na camada lógica envolve a minimização do número de canais em operação e de proteção. Para fins computacionais este problema pode ser dividido em dois sub-problemas:

1. atender a demanda ponto a ponto da rede DCS e
2. assegurar um nível pré-determinado de sobrevivenciabilidade de rede.

A determinação das capacidades em operação envolve a minimização do número total de canais em

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

operação para a demanda fim a fim (origem-destino) da rede DCS, dada a topologia da rede, o número de nós e sua localização estratégica na rede. Assim, a demanda da rede pode ser distribuída (roteada) com base em um critério de roteamento. O critério mais comum e simples é o de encontrar o caminho mais curto, onde o caminho mais curto pode ser o caminho que apresenta menor distância, o caminho de custo mínimo ou o caminho com menor número de *hops*. Em [1] é descrito um algoritmo para roteamento de demanda em rede DCS baseado nos critérios acima. Após o roteamento das demandas, pode ser obtida a capacidade de canais em operação para cada link da rede DCS.

O problema de determinação de capacidade sobressalente para rede DCS é dispor a quantidade mínima de capacidade sobressalente para restaurar uma porcentagem pré-determinada de demandas (razão de restauração), para o caso de falha de componentes da rede, dados os canais em operação e a topologia da rede. A razão de restauração, que é a relação entre as demandas restauradas e as demandas afetadas, depende do protocolo de auto-restabelecimento e do tipo de falha (única ou múltipla). A determinação da capacidade reserva projetada para restauração de linha⁸ é suficiente para restauração de caminho [1].

Por outro lado, o projeto de rede na camada física procura utilizar as melhores características de sistemas DP e SHR para atender de maneira econômica os diversos tipos de demandas, sempre considerando o cenário de crescimento da rede.

6.3. PROJETO DE REDE EM ANEL

Neste Capítulo considera-se um conjunto de estações a serem conectadas em um dos tipos de arquitetura em anel. Esta arquitetura pode ter sido determinada, por exemplo, com base num modelo semelhante ao modelo da *Bell*. Assim, torna-se necessária a determinação do tipo de anel a ser utilizado: USHR, BSHR/2 ou BSHR/4, da estratégia de roteamento e da conseqüentemente, da capacidade do anel para atender a demanda solicitada.

O tipo de anel pode ser determinado também com base em um procedimento descrito no Capítulo 4 (seção 4.4.1), mas não é necessário conhecer o tipo de anel para se determinar a capacidade final do mesmo, conforme pode ser visto no procedimento descrito a seguir.

6.3.1. Roteamento de demanda e cálculo de capacidade para anéis

O cálculo da capacidade de um anel SHR é feito baseado em uma matriz de demandas entre estações (pares de demandas). Para redes SONET, a unidade de demanda utilizada é o STS-1 (51 Mbit/s); para redes SDH, no Brasil, podem ser utilizadas como unidades de demanda para redes de transporte as taxas de E1 (2 Mbit/s) e E3 (34Mbit/s).

Como foi discutido no Capítulo 4, as arquiteturas SHR's podem ser divididas em duas categorias: unidirecionais (USHR) e bidirecionais (BSHR). O tipo do anel depende do caminho físico utilizado por uma

⁸ No Capítulo 5 podem ser encontrados maiores detalhes sobre restauração de linha e de caminho.

comunicação *duplex* entre duas estações. No anel bidirecional, ambas as direções da transmissão *duplex* utilizam a mesma rota física; no anel unidirecional, as duas direções de um canal *duplex* utilizam caminhos opostos, conforme pode ser observado na Figura 6.3.

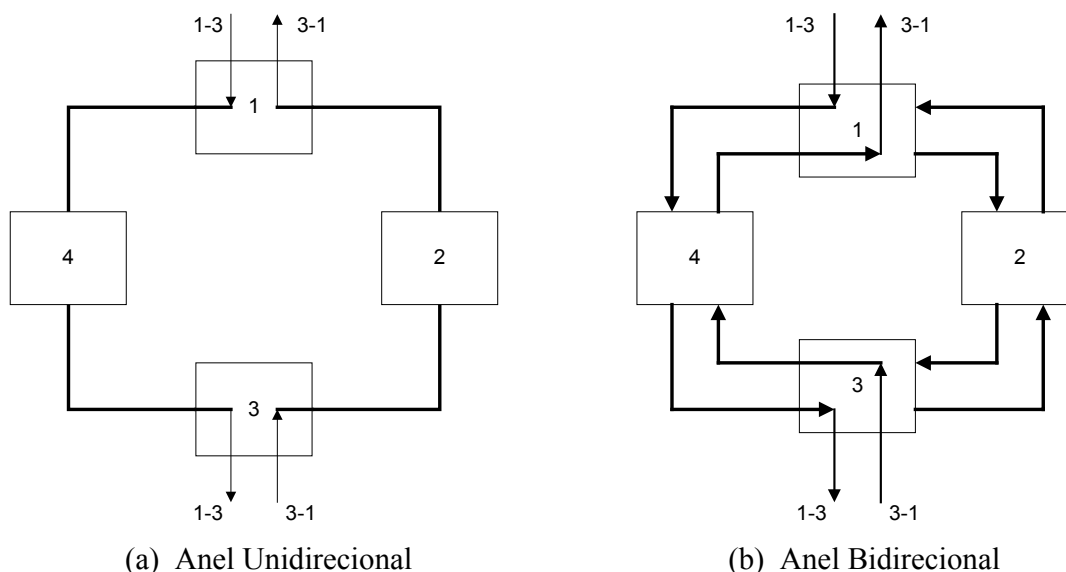


Figura 6.3. Anéis Unidirecionais e Bidirecionais

A capacidade do anel é definida como sendo a maior demanda em um *link* do anel. A taxa de (linha) agregado do anel é baseada na capacidade do anel.

A demanda por *link* de um anel USHR é a mesma, devido à sua regra de roteamento (a demanda de um nó para outro sempre seguem o mesmo sentido). A capacidade total para tal anel é a soma de todas as unidades de demanda de todos os pares de demanda no anel.

A regra de roteamento para anéis BSHR é mais complexa. A demanda entre duas estações quaisquer pode ser roteada por dois caminhos possíveis no anel (no sentido horário ou no sentido anti-horário). Por exemplo, para o anel da Figura 6.3, a demanda entre as estações 1 e 3 é roteada através do caminho 1-4-3, mas poderia ser roteada também através do caminho 1-2-3, ou ainda, o nó 1 poderia dividir sua demanda em duas partes: uma roteada por 1-4-3 e outra roteada por 1-2-3.

A capacidade de um anel BSHR é calculada com base em um algoritmo para roteamento de demandas dentro anel. Em [1] é descrito um método heurístico para cálculo da capacidade do anel BSHR. O algoritmo considera que a demanda não pode ser dividida, ou seja, toda demanda de uma estação para outra segue o mesmo caminho.

6.3.2. Algoritmo para roteamento de demanda em BSHR

Dada uma matriz de demandas entre estações:

1. Organizar os pares de demanda (em uma lista) em ordem decrescente;

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

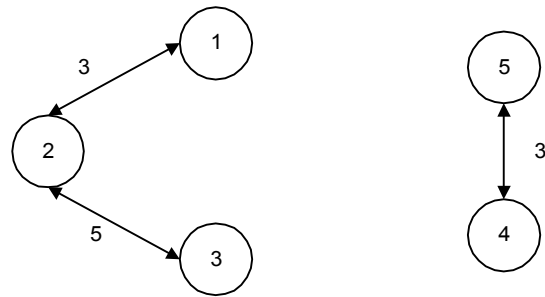
Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

2. Selecionar pares de demanda que podem ser *links* do anel (um conjunto de *links* disjuntos) e retirar estes pares da lista;
3. Distribuir pelos *links* encontrados em (2) as demandas restantes na lista (1), nos dois sentidos (horário e anti-horário), e repetir o seguinte processo até que todos os pares de demandas tenham sido processados:
 - a) Compara a capacidade máxima por *link* quando a demanda é roteada no sentido horário e anti-horário. Rotear a demanda no sentido em que a capacidade máxima por *link* for menor;
 - b) Se a capacidade máxima por *link* for igual em ambas as direções, comparar o número de *links* entre as estações de origem e destino e rotear a demanda na direção que tiver menos *links*.
 - c) Se o número de *links* for igual nas duas direções, rotear a demanda alternadamente nas duas direções.

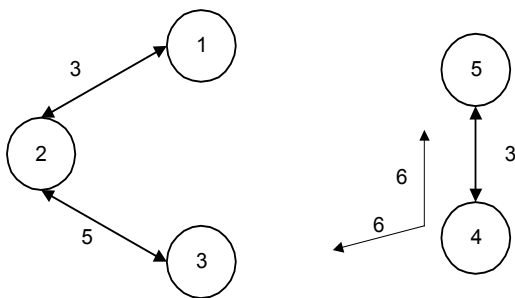
A Figura 6.4 ilustra um exemplo de como o algoritmo funciona, baseado numa rede de 5 nós com o padrão de demanda mostrado na Figura 6.4(a).

Par	demanda de STS-1
(3,5)	6
(2,3)	5
(1,3)	4
(2,5)	4
(1,2)	3
(4,5)	3
(1,4)	2

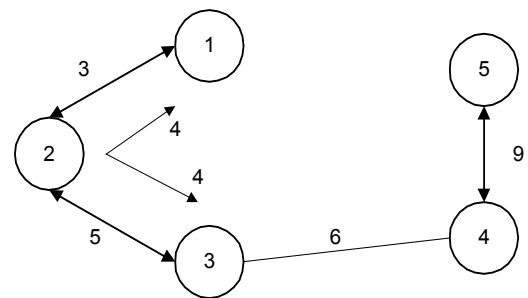


(a) Demanda em ordem decrescente

(b) Conjunto de links disjuntos



(c) Inclusão da demanda (3,5)=6



(d) Inclusão da demanda (1,3)=4

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

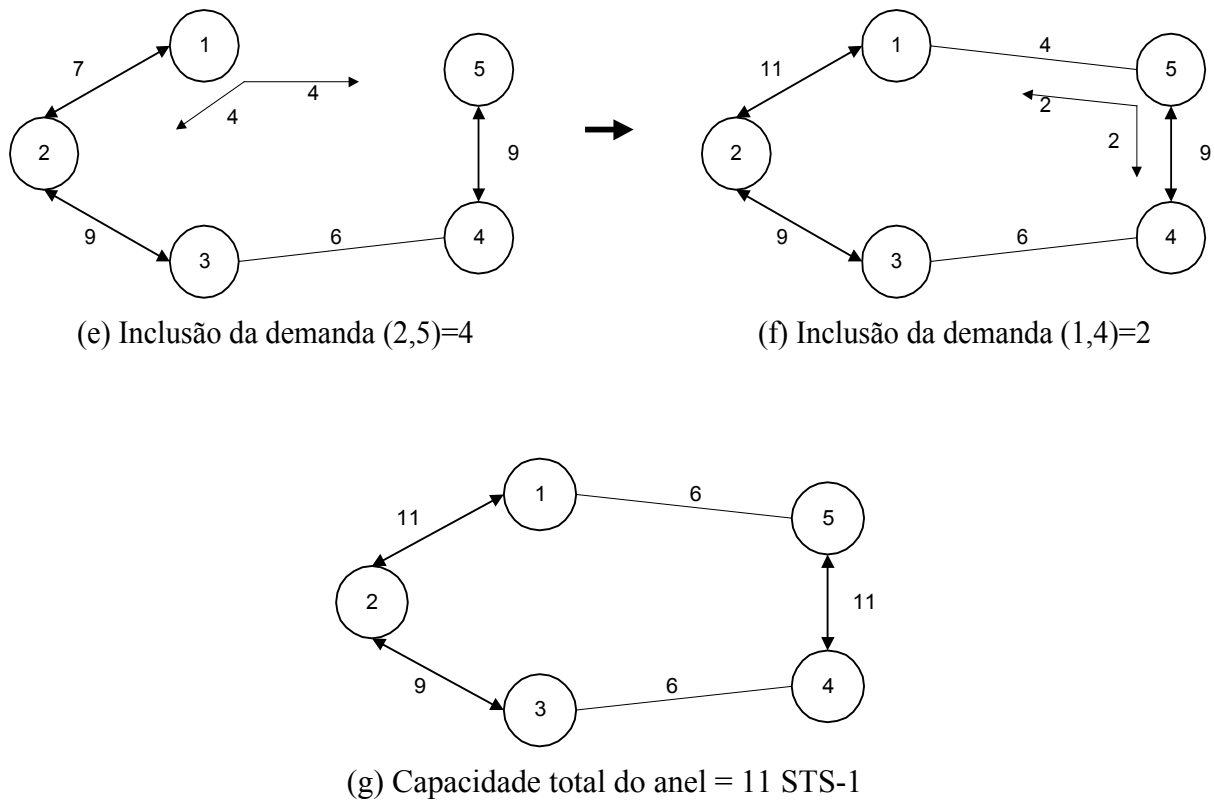


Figura 6.4. Cálculo de capacidade de anel BSHR.

- Primeiro, a demanda é organizada em ordem decrescente, com a maior demanda colocada na primeira posição;
- Depois é determinada a demanda de links independentes (que podem compor um anel);
- Em seguida é feita a distribuição das demandas restantes através destes links independentes, de maneira balanceada, repetindo o processo até que todos os pares de demandas tenham sido processados.

A Figura 6.4(g) mostra o resultado final para o problema de roteamento de demandas, que resulta na necessidade de 11 STS-1 de capacidade para o anel. Assim, para este exemplo, um BSHR/4 pode ter uma taxa de linha OC-12 por anel (de operação e de proteção), enquanto que um BSHR/2 precisaria ter uma taxa de linha OC-24 (porque só usa a metade da capacidade do anel para operação, ficando a outra metade reservada para proteção). Em geral o anel BSHR/2 requer o dobro da capacidade de um anel BSHR/4.

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

6.4. CONCLUSÕES

Para reduzir a capacidade sobressalente necessária para uma rede óptica de transporte com auto-regeneração, pode ser considerado o conceito de compartilhamento destas capacidades entre diversos esquemas de restauração. Em geral, os sistemas 1:1/DP e os anéis SHR não compartilham capacidades de reserva, sendo por isso utilizados na restauração de tráfego de alta prioridade. Como a rede DCS é uma rede essencialmente lógica, que pode ser construída sobre a rede física (anéis e sistemas DP), é possível o compartilhamento de capacidades entre estes dois tipos de rede.

Neste sentido, uma diretriz muito interessante é o uso de sistemas ponto a ponto em conjunto com SHR's para melhorar soluções de rede em ambientes SONET/SDH onde não há uniformidade de demanda (poucos pares com demanda muito alta).

As futuras redes de transporte SONET/SDH devem utilizar esta combinação de esquemas de restauração, para compor um sistema de restauração integrado e economicamente viável. O projeto de redes SONET/SDH com sobrevivenciabilidade exige intenso uso de métodos computacionais. Como é uma área relativamente nova, praticamente não existem referências para projeto de tais sistemas.

**ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE
TRANSPORTE**

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

CAPÍTULO 7

CONCLUSÃO

Neste trabalho foram estudadas as principais técnicas de restabelecimento das redes ópticas de transporte que permitem aumentar a confiabilidade da rede, mantendo-a disponível, mesmo em casos de falha total em algum componente.

Inicialmente, foram apresentadas as características básicas da Hierarquia Síncrona Digital (SDH), bem como o modelo geral de camadas para uma rede de transporte, o modelo em camadas de gerência da rede e o conteúdos dos *overheads* do sinal SDH básico.

Em seguida, abordou-se as estratégias de planejamento global da rede que, em quatro fases visam fornecer capacidade de restabelecimento para a rede desde o seu projeto inicial até o caso em que todas as alternativas automáticas falham e se torna necessária a intervenção humana. Foram discutidas também as técnicas de restabelecimento de canal físico ditas convencionais: Comutação Automática para Proteção (APS) e Dual Homing (DH).

Estas técnicas são indicadas para redes ponto-a-ponto (lineares e/ou em estrela) e com padrão de demanda concentrado. APS protege a rede contra falhas em *links*, mas não é útil quando ocorre falha no *hub*. Para este caso, é mais indicada a arquitetura *Dual Homing*, que permite a restauração dos serviços (em estações especiais) através de um *hub* reserva. A eficiência destas duas técnicas é aumentada se houver diversidade de rota entre os *links* de operação e de proteção. Esta diversidade pode ser aproveitada posteriormente na migração das

**ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE
TRANSPORTE**

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

redes lineares para redes em anel.

Foi apresentada também a técnica de auto-restabelecimento baseada nos Anéis Tolerantes a Falhas (SHR). Os anéis oferecem compartilhamento de equipamentos e facilidades de fibras entre várias estações, apresentando sobrevivenciabilidade maior do que as técnicas anteriores, no entanto, correm o risco de ter sua capacidade saturada, o que torna necessário a troca de todos os equipamentos ADM dos nós.

Entre as arquiteturas em anel, pode-se concluir que o USHR é mais indicado para áreas onde a demanda é centralizada, enquanto o BSHR é indicado para demandas descentralizadas.

Outra técnica apresentada tratou do restabelecimento de canal lógico, implementada pelas redes com Computadores (Roteadores) Digitais Cruzados (DCS). Foram apresentadas arquiteturas e métodos de controle para realizar o processo de re-roteamento, além de um algoritmo para busca de novas rotas para o caso de falha simples na rede.

Uma rede DCS requer maior conectividade da rede. Comparada ao SHR, a rede DCS requer menor capacidade reserva para proteção, mas leva um tempo maior para restaurar os serviços, pois trabalha com re-roteamento de demanda. A economia de capacidade é devida a um complexo sistema de controle da rede, o qual pode trazer inúmeros problemas quando apresenta alguma falha e não funciona corretamente.

A rede SHR é seccionada devido as suas restrições de capacidade, enquanto a rede DCS pode crescer bastante. Em geral, uma rede seccionada, quando comparada com uma rede global apresenta maior robustez para o caso de uma falha de software de controle, mas tem menor flexibilidade na utilização da capacidade sobressalente.

Para evitar a paralização total da rede DCS (global) no caso de uma falha de software, pode ser necessário seccioná-la. No entanto, quando a rede DCS é seccionada, ela perde flexibilidade para alocação eficiente de banda, e seus custos com fibras e equipamentos podem ser até maiores que os de uma rede SHR.

A preocupação com capacidade e confiabilidade da rede sugere a aplicação de redes DCS seccionadas em áreas com alta demanda e alta conectividade de fibras.

Finalmente, foram apresentadas algumas considerações sobre o projeto de anéis SONET/SDH, bem como um modelo geral para planejamento integrado de restabelecimento da rede. O planejamento integrado pretende diminuir a quantidade de capacidades sobressalentes reservadas para restabelecimento da rede, através do compartilhamento das facilidades para restauração da camada física e da camada lógica. Pretende-se com isso, também, adequar a velocidade de restabelecimento a níveis diferenciados de tarifas de serviços. Foi apresentado também um algoritmo para cálculo de capacidade de agregado para um anel bidirecional a quatro fibras (BSHR/4).

Algumas das técnicas discutidas aqui ainda estão sob estudo, enquanto outras já foram bastante discutidas e se encontram à disposição dos engenheiros que planejam este tipo de rede. Assim, são sugeridos os seguintes tópicos para futuros trabalhos:

- desenvolvimento de algoritmo para determinação de roteamento ótimo de demanda entre nós (em redes em anel bidirecional);
- desenvolvimento de ferramenta para planejamento multi-período para redes SDH, baseado no crescimento incremental da rede em cada período, visando adequar os custos da rede com o retorno

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

econômico da mesma.

- desenvolvimento de algoritmos mais rápidos para reconfiguração de rede DCS;

Por se tratar de um conceito novo em planejamento de redes, ainda não existem ferramentas suficientes disponíveis para este tipo de projeto. Este trabalho se limitou a mostrar as diretrizes que tal planejamento deve tomar, baseado num protótipo proprietário da Bellcore para projeto de redes SONET. Futuros trabalhos podem desenvolver as ferramentas computacionais sugeridas para projeto de redes de transporte baseadas em SDH.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. WU, Tsong-Ho. "Fiber Network Service Survivability". Norwood. Artech House. 1992.
2. LEE, Byeong Gi. e KANG, Minho "Broadband Telecommunications Technology". Norwood. Artech House. 1996.
3. EQUITEL. "Multiplexação Síncrona – Conceitos Básicos para SMA". Curitiba. 1997.
4. EQUITEL. "Multiplexação Síncrona – Conceitos Avançados". Curitiba. 1997.
5. TELEBRÁS. "Curso Básico de SDH".
6. RUMIANTZEFF, M. C. L. "Gerência de Configuração da SDH Segundo a Arquitetura TMN: Um Estudo de Caso". Tese de Mestrado do IME. Rio de Janeiro. 1998.

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)

7. ARAÚJO, P. S. R. “SDH – Hierarquia Síncrona Digital”. Apostila do Curso de Pós-Graduação Lato-Sensu em Gerência de Redes e Telecomunicações. Brasília. 1998.
8. BEAN, A.; WOOD, D. e FAIRLOUGH, W. “Specifying Goal-Oriented Network Management Systems”. IEEE Communications Magazine. Maio, 1993.
9. FATATO, M. “Modeling telecommunications Network Transmission Systems”. IEEE Communications Magazine. Março, 1996.
10. ITU-T – Recommendation G.702 – “Digital Hierarchy Bit Rates”. 1993.
11. ITU-T – Recommendation G.707 – “Network Node Interface for the Synchronous Digital Hierarchy (SDH)”. Março, 1996.
12. ITU-T – Recommendation G.774 – “Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Management Information Model for the Network Element View”. Julho, 1995.
13. ITU-T – Recommendation G.783 – “Characteristics of Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Equipment Functional Blocks”. Dezembro, 1996.
14. ITU-T – Recommendation G.784 – “Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Management”. Abril, 1997.
15. ITU-T – Recommendation G.803 – “Architectures of Transport Networks Based on the Synchronous Digital Hierarchy (SDH)”. Novembro, 1996.
16. ITU-T – Recommendation G.805 – “General Functional Architectures of Transport Networks”. Novembro, 1995.
17. ITU-T – Recommendation G.841 – “Types and Characteristics of SDH Network Protection Architectures”. Setembro, 1995.
18. SEXTON, M. e REID, A., “Transmission Networking: SONET and The Synchronous Digital Hierarchy”. Artech House. 1992.

ESTUDO DAS TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE SERVIÇOS EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

– Trabalho final de Curso 1998

Eng^a Neila Cândida Ferreira Santos

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Costa (orientador)