

CAPÍTULO 4

PROJETOS DE ROTEAMENTO DE DEMANDA E ENLACES ÓPTICOS

4.1. Introdução

De acordo com o que foi desenvolvido no terceiro capítulo, fez-se dois projetos: um baseado no algoritmo e o outro de enlaces ópticos. Estes projetos basearam-se em cinco estações ligadas em anel denominadas A, B, C, D e E, como mostra a figura 4.1. Sendo estações fictícias separadas geograficamente, com um determinado interesse de tráfego. Feita essas considerações projetou-se um anel óptico, que na verdade são diversas ligações ponto a ponto, com proteção de linha de 2xBSHR-2, permitindo assim uma alta confiabilidade do sistema, no que diz respeito a tolerância a falhas.

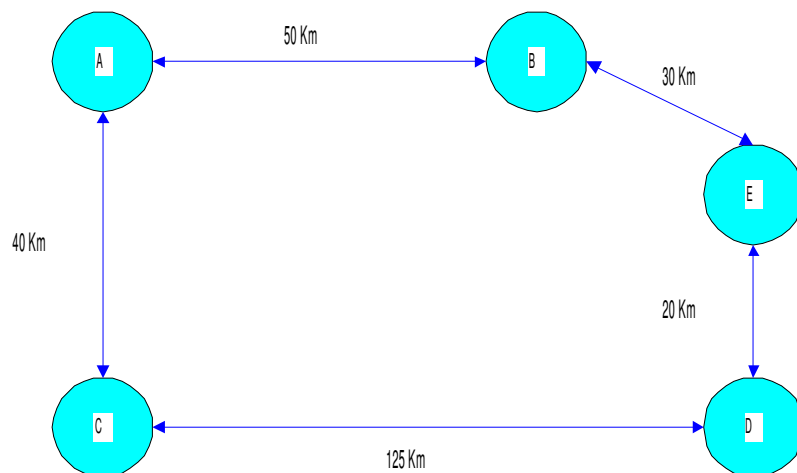


Figura 4.1: Estações e suas respectivas distâncias.

4.2 Projeto de roteamento e de cálculo de capacidade para anéis

Primeiramente baseado na matriz de demandas entre as estações (tabela 4.1), calcula-se a capacidade do anel e faz-se o roteamento de demanda através do algoritmo para BSHR descrito no capítulo 3.

As figuras de 4.2a a 4.2h descrevem este procedimento, primeiro a demanda é organizada em ordem decrescente (ver tabela 4.2), depois é determinada a demanda de links disjuntos. Em seguida é feita a distribuição das demandas restantes através destes links independentes, de maneira balanceada, repetindo o processo até que todos os pares

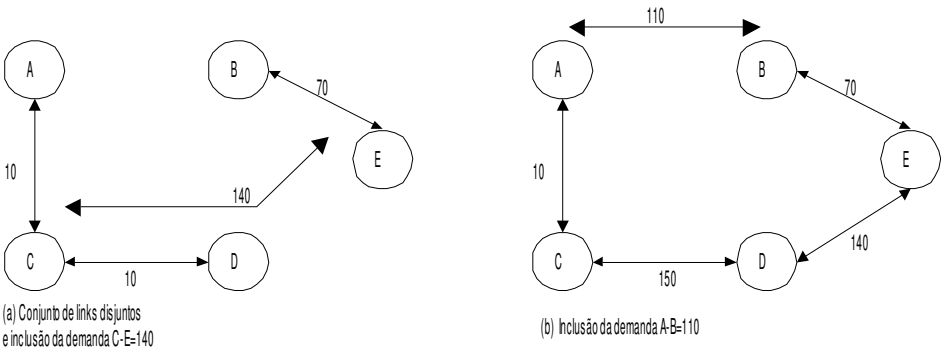
de demandas tenham sido processados. A figura 4.2h mostra o resultado final do roteamento para um anel com proteção 2xBSHR-2; note que a capacidade total do anel é dado pelo link de maior demanda que neste caso é o A-B com 250 feixes de 2M que resulta em um STM-4, já que um STM-1 transporta 63 feixes de 2M, um STM-4 transporta $4 \times 63 = 252$.

Tabela 4.1: Matriz de demandas entre as estações com feixes de 2M.

Estações	Demandas				
	A	B	C	D	E
A	X	110	10	20	40
B	X	X	100	80	70
C	X	X	X	10	140
D	X	X	X	X	15
E	X	X	X	X	X

Tabela 4.2: Demandas ordenadas de forma decrescente:

Pares	Feixes de 2M	Pares	Feixes de 2M
1.C-E	140	6.A-E	40
2.A-B	110	7.A-D	20
3.B-C	100	8.D-E	15
4.B-D	80	9.A-C	10
5.B-E	70	10.C-D	10



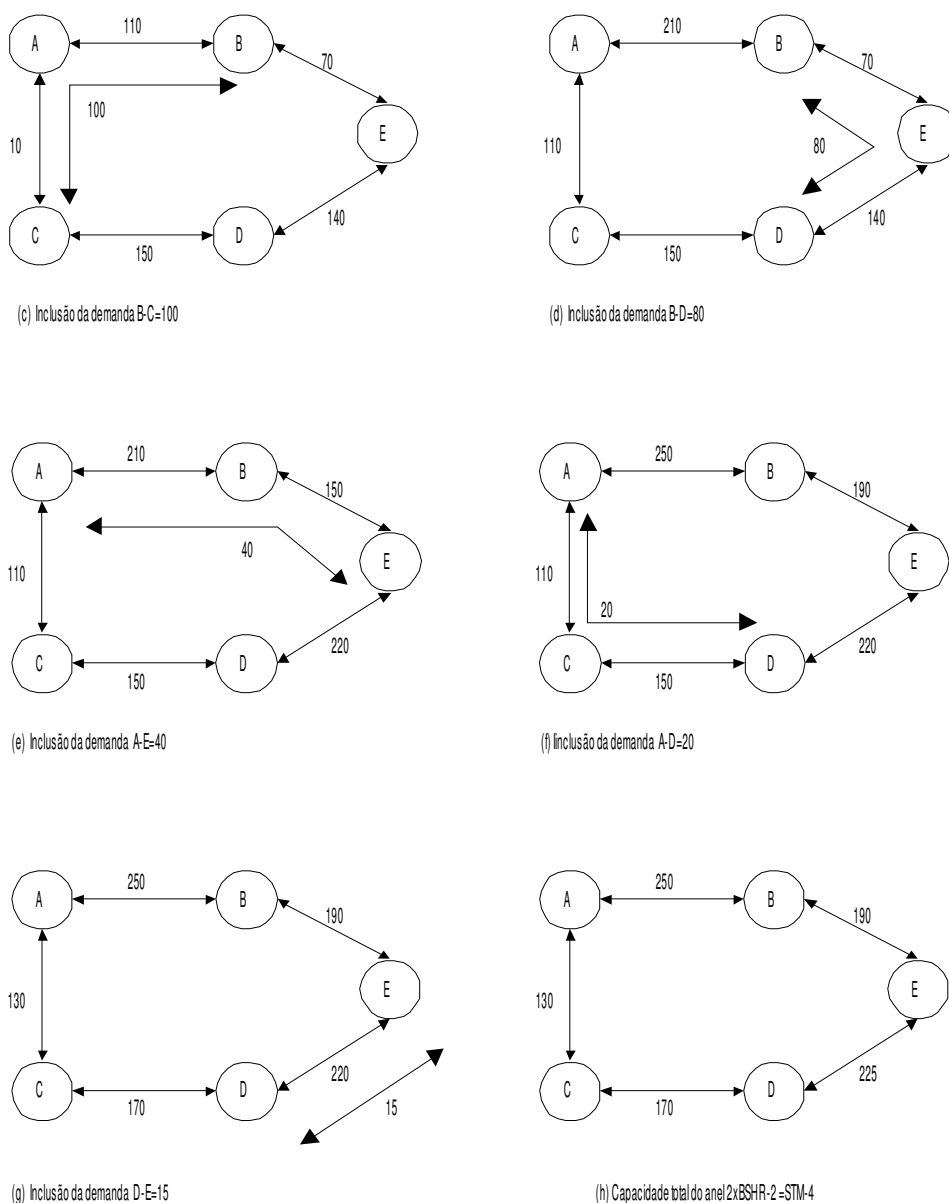


Figura 4.2: Cálculo de capacidade e roteamento do anel 2xBSHR-2.

Mostra-se através da figura 4.3 a proteção 2xBSHR-2, duas vezes, por que se tem dois sistemas com proteção BSHR-2. Vê-se as interfaces ópticas OI 622 Mbit/s, cada par de interface de lados opostos forma um sistema. São quatro interfaces em cada estação, sendo que duas estão dedicadas para o lado leste e duas para o lado oeste. Trabalham com apenas meia banda para serviço e a outra para proteção. Em cada interface 2xSTM-1 ou $2 \times 63 = 126$ feixes de 2M estão para proteção. Em cada lado estão disponíveis 4xSTM-1 de banda de proteção, resultando em $4 \times 63 = 252$ feixes.

Se uma interface em qualquer dos lados parar ou a fibra quebrar, sua banda de serviço será roteada para a banda de proteção de uma das interfaces do lado oposto. Se um lado inteiro parar toda banda será roteada para o lado oposto restabelecendo assim o serviço.

Considerando qualquer estação da figura 4.3, os números em azul representam os feixes de cada link que foram encontrados na figura 4.2. Assim, foram divididos de forma balanceada para cada interface.

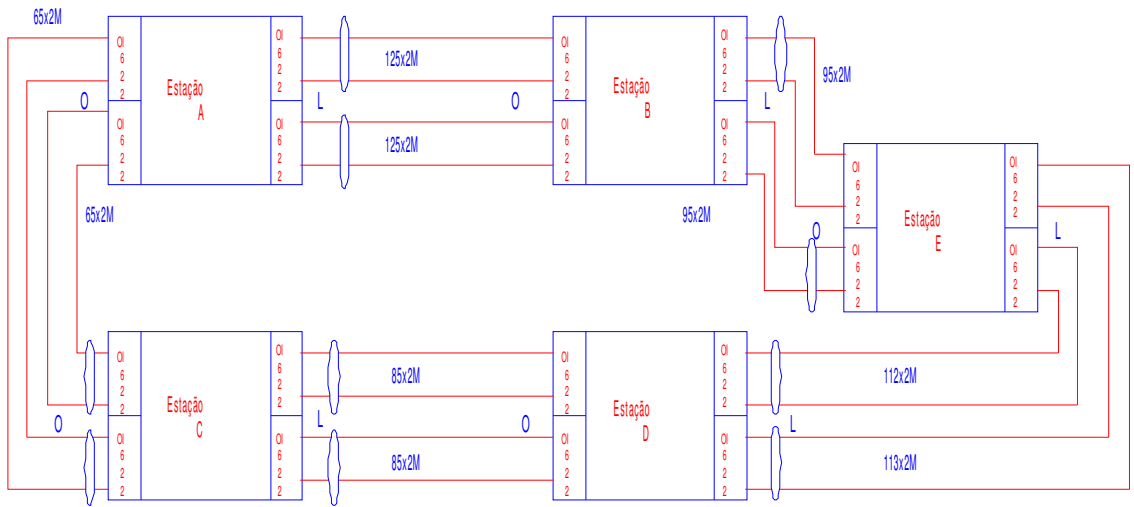


Figura 4.3: Anel com proteção 2xBSHR-2, mostrando os feixes de cada link.

4.3 Projeto dos enlaces ópticos

A tabela 4.1 mostra um resumo das distâncias entre as estações de cada trecho, retirados da figura 4.1 e de algumas características da fibra como: atenuação, comprimento de onda e o tipo de cabo subterrâneo usado neste projeto, retirado do catálogo da Furukawa do anexo A. Observando-se a tabela 4.1, há trechos que se usou fibra na 2ª janela, pois estes são enlaces curtos, permitindo assim o barateamento do enlace.

Tabela 4.1: Características gerais da fibra e do cabo usado em cada trecho.

Trecho	Distância (Km)	Atenuação da fibra (dB/Km)	Comprimento de onda (nm)	Cabo externo subterrâneo (Furukawa)
A-B	50	0.3	1550	CFOA-SM-DPE-G
B-E	30	0.4	1310	CFOA-SM-DPE-G
E-D	20	0.4	1310	CFOA-SM-DPE-G
D-C	80	0.3	1550	CFOA-SM-DPE-G
C-A	40	0.3	1550	CFOA-SM-DPE-G

Trecho A-B com 50 Km

Neste trecho usou-se o cabo óptico da Furukawa CFOA-SM-DPE-G de 1550 nm, de acordo com a recomendação descrita na tabela 3.1 para enlaces de longa distância (*long-haul*) L.4.2. Usou-se os valores da tabela 4.3 para se calcular a atenuação através da equação 3.8.

Tabela 4.3: Valores dos parâmetros usados no trecho A-B para o cálculo do enlace.

Po (dB)	Pr (dB)	D (Km)	Lf (dB/Km)	Le (dB)	De (Km)	Da (Km)	Mc (dB/Km)	Lt (dB/Km)	Nc	Lc (dB)	Me (dB)	Dd (dB)
-3	-36	50	0.3	0.1	5	5	0.05	0.01	4	0.5	2	1

Considerações:

Os valores de Lt, Lc e Le são típicos e foram retirados do projeto SDH TRAMO-OESTE. Os valores de Mc e Lf foram retirados do catálogo da Furukawa no anexo A.

O Me e Dd foram retirados das considerações descritas no capítulo 3. O Po e o Pr foram retirados da tabela 3.1 segundo as normas internacionais G.957 do ITU-T.

A tabela 4.4 faz um resumo dos valores calculados pelas diversas equações descritas no capítulo 3. O cálculo da atenuação foi calculado através da equação 3.8, resultando em 25 dB, o cálculo da máxima atenuação suportável do enlace foi feito através da subtração da mínima potência do laser com a sensibilidade mínima do receptor:

$$Po = -3 \text{ dBm (critério do pior caso)}$$

$$Pr = -36 \text{ dBm}$$

$$Po - Pr = -3 - (-36) = 33 \text{ dB}$$

Esta topologia garante com 33 dB de potência, a eventual atenuação máxima admitida para o trecho de 25 dB. Além de estar de acordo com a atenuação óptica permitida segundo a norma que é de 10 a 32 dB. (ver tabela 3.1). Utilizou-se o laser SLM e o fotodetector III/V APD para um BER = 10^{-10} . (ver tabela 3.1).

Em seguida, fez-se o cálculo aproximado de dispersão global através da equação 3.6 e comparou-se com o valor dado pelo fabricante.

Como se viu, o enlace óptico não é limitado por atenuação, depois averiguou-se, se o mesmo é limitado por dispersão cromática:

Calculou-se primeiramente a dispersão cromática máxima do enlace (D_{SRmax}) por intermédio da equação 3.4. Fez-se $\xi = 0.306$ segundo as considerações feitas no capítulo 3 e $\delta\lambda = 0.3$ ns valor típico e de acordo com a tabela 3.1 obteve-se:

$D_{SRmax} = 1639.69$ ps/nm, sendo de acordo com a norma que estabelece 3.500 ps/nm máximo. Com este valor e com a dispersão máxima dada pelo fabricante (D_{max}), calculou-se através da equação 3.7 o comprimento máximo do enlace resultando em 91.09Km.

Então, conclui-se que o enlace não é limitado por dispersão cromática. Já que o enlace não é limitado nem por atenuação nem por dispersão o enlace está garantido de acordo com as normas descritas na tabela 3.1.

Fez-se também uma estimativa do tempo de subida através das equações 3.9, 3.10, 3.11 e 3.12 calculando-se a dispersão material, o tempo do sistema e largura de banda elétrica. No caso da contribuição do fotodetector e do fotoemissor considerou-se $t_{tx} = t_{rx} = 0.5$ ns, pois o valor calculado foi muito maior que este, permitindo assim usar este valor de 0.5 ns. Como a largura de banda é de 700MHz, conclui-se que é suficiente pois a taxa é de 622.08 Mbit/s.

Tabela 4.4: Valores calculados no trecho A-B.

Balanço de potência		Dispersão					Balanço do tempo de subida			
Po-Pr (dB)	Po-Pr (dB)	Calculada (ps/nm.Km)	Fabricante (ps/nm.Km)	D_{SRmax} (ps/nm)	$\delta\lambda$ (ns)	Ld (Km)	t_{mat} (ns)	t_{sys} (ns)	$T_{tx}=t_{rx}$ (ns)	B_r (MHz)
25	33	2,35	18	1639,69	0.3	91.09	0.27	1.125	0.5 ns	700

Trecho B-E com 30 Km

Usando-se os mesmos valores dos parâmetros trecho A-B obteve-se:

$$Po - Pr = 17 \text{ db}$$

Atende os requisitos de atenuação máxima, porém como a distância é modesta usou-se nesse trecho a fibra monomodo 1310 nm Furukawa CFOA-SM-DPE-G para enlaces longos L- 4.1, fotoemissor MLM e fotodetector Ge-APD segundo a tabela 3.1, com a finalidade de diminuir o custo do sistema.

A fibra escolhida tem atenuação de 0.4 dB/Km retirado do anexo A. A fonte óptica é MLM com potência nominal de 0 a 3 dBm e largura espectral $\delta\lambda = 1.7$ nm, o receptor tem sensibilidade de -32.5 dBm de acordo com a tabela 3.1.

Tabela 4.5: Valores dos parâmetros usados no trecho B-E para o cálculo do enlace.

Po (dB)	Pr (dB)	D (Km)	Lf (dB/Km)	Le (dB)	De (Km)	Da (Km)	Mc (dB/Km)	Lt (dB/Km)	Nc	Lc (dB)	Me (dB)	Dd (dB)
-3	-32.5	30	0.4	0.1	5	5	0.05	0.01	4	0.5	2	1

Para o cálculo da atenuação usou-se a equação 3.8 e os valores da tabela 4.5, resultando:

$$Po - Pr = 30 \times (0.4 + 0.1/5 + 0.1/5 + 0.05 + 0.01) + 4 \times 0.5 + 2 + 1$$

$$Po - Pr = 20 \text{ dB} \rightarrow \text{atenuação máxima para o trecho}$$

Como $Po = -3$ dBm (pior caso) e $Pr = -32.5$ dBm então:

$Po - Pr = -3 - (-32.5) \rightarrow 29.5$ dBm é a máxima atenuação suportável para o enlace usando estes dispositivos.

Conclui-se que esta atenuação de 29.5 dB garante com folga a atenuação máxima calculada para o trecho.

Cálculo da máxima distância limitada pela dispersão:

Para fotoemissores MLM $\xi = 0.115$ ps segundo a consideração feita no capítulo 3, usando a equação 3.4, então tem-se:

$$0.115 = 10^{-6} \times 622.08 \times D_{SRmax} \times 1.7, \text{ resultando em :}$$

$D_{SRmax} = 108.74$ ps/nm, como segundo a tabela 3.1 a dispersão máxima é 130 ps/nm, então o trecho está dentro do limite permitido. A partir disso, calculou-se através da equação 3.7 o comprimento máximo do enlace limitado pela dispersão:

$$Ld = 108.75/3.5 \rightarrow 31 \text{ Km}$$

Portanto conclui-se que não há limitação por dispersão cromática.

Balanco do tempo de subida:

No balanço do tempo de subida, fez-se as mesmas considerações que no trecho A-B. Os valores t_{mat} , t_{sys} , t_{tx} , t_{rx} e B_r estão mostrados na tabela 4.6.

Tabela 4.6: Valores calculados no trecho B-E.

Balanço de potência		Dispersão					Balanço do tempo de subida			
Po-Pr (dB)	Po-Pr (dB)	Calculada (ps/nm.Km)	Fabricante (ps/nm.Km)	D _{SRmax} (ps/nm)	$\delta\lambda$ (ns)	Ld (Km)	t _{mat} (ns)	t _{sys} (ns)	t _x =t _{rx} (ns)	B _r (MHz)
20	29.5	2,35	3.5	108.74	1.7	31	0.178	1.125	0.5 ns	700

Trecho E-D com 20 Km

Cálculo da atenuação: Usou-se os mesmos valores do sistema do trecho B-E com exceção é claro da distância do enlace.

$$Po - Pr = 20 \times (0.4 + 0.1/5 + 0.1/5 + 0.05 + 0.01) + 4 \times 0.5 + 2 + 1$$

$$Po - Pr = 15 \text{ dB}$$

Atende os requisitos de atenuação de 29.5 dB calculado no trecho B-E e a norma G.957 com valores de atenuação óptica permitida de 3 dB a 30 dB. Ver tabela 3.1

Os valores da máxima distância limitada pela dispersão, como também o balanço de tempo de subida são os mesmos do trecho B-E, já que usou-se a mesma fibra, fotodetector e fototransmissor. Com exceção do tempo do tmat = 0.119 ns, pois este parâmetro depende da distância. Ver tabela 4.6

Trecho D-C com 125 Km

Usando os mesmos valores dos parâmetros da tabela 4.3 e as mesmas considerações que no trecho A-B, têm-se:

$$Po - Pr = 125 \times (0.3 + 0.1/5 + 0.1/5 + 0.05 + 0.01) + 4 \times 0.5 + 2 + 1$$

$$Po - Pr = 55 \text{ dB}$$

Nesse caso essa topologia não garante com 33 dB , a eventual máxima atenuação admitida para o trecho de 55 dB. Assim sendo, não só foi necessário projetar a inserção de um amplificador óptico na saída do fotoemissor do equipamento SDH, nas

localidades D e C, como também a inserção de pré-amplificadores na entrada dos fotodetectores.

Desse modo, considerando os valores tirados do projeto TRAMO-OESTE, tem-se:

$P_o = 17 \text{ dBm}$ (potência de saída do amplificador óptico)

$P_r = -43 \text{ dBm}$ (sensibilidade do pré-amplificador óptico), resultando em:

$$P_o - P_r = 17 - (-43) = 60 \text{ dB}$$

Este resultado 60 dB garante a eventual máxima atenuação no enlace de 55 dB. Os valores de máxima distância e de balanço de potência é igual ao trecho A-B, com exceção do t_{mat} . **DÚVIDA !**

Trecho C-A com 40 Km

Usando-se os mesmos valores que nos trechos A-B e D-C, tem-se:

$$P_o - P_r = 40 \times (0.25 + 0.1/5 + 0.1/5 + 0.05 + 0.01) + 4 \times 0.5 + 2 + 1$$

$$P_o - P_r = 29.5 \text{ dB}$$

O valor de 29.5 dB garante assim a atenuação máxima de 20 dB. Com relação ao cálculo da máxima distância por dispersão e do balanço de potência, os valores são os mesmos que no trecho A-B. Excetuando-se o $t_{mat} = 0.216 \text{ ns}$.