

Este exemplar corresponde a redação final da tese
defendida por JOSÉ REYNALDO FORMIGONI FILHO
e aprovada pela Comissão
Julgadora em 15 / 09 / 95

Orientador

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SISTEMAS

REDE EXTERNA: PLANEJAMENTO DE ROTAS ESTRATÉGICAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

JOSÉ REYNALDO FORMIGONI FILHO

Orientador: Raul Vinhas Ribeiro

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de
Campinas, da Universidade Estadual de
Campinas - UNICAMP- como parte dos
requisitos exigidos para obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Setembro / 95

DATA	20/01/96
CHAMADA:	T/UNICAMP
	F 767K
Ex.	
NO. HC/	26486
OC.	667/96
C	☐ D ☒
ECO	R\$ 11,00
FE	13/01/96
CPD	

CM-00082532-4

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

F767r

Formigoni Filho, José Reynaldo

Rede externa: planejamento de rotas estratégicas /
José Reynaldo Formigoni Filho.--Campinas, SP: [s.n.],
1995.

Orientador: Raul Vinhas Ribeiro.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica.

1. Análise de redes (Planejamento). 2. Teoria dos
grafos. 3. Pesquisa operacional. 4. Linhas de
telecomunicação. 5. Sistemas de telecomunicação. I.
Ribeiro, Raul Vinhas. II. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica. III. Título.

A meus pais

José e Nelly

A Luciana e Pedro

AGRADECIMENTOS

Gostaria de fazer um agradecimentos geral aos colegas do CPqD e da Unicamp que colaboraram de forma direta ou indireta para realização desse trabalho. Entretanto, não poderia deixar de ressaltar, de modo especial o meu agradecimento:

Na Unicamp

- . Ao Professor Raul pelo valioso trabalho de orientação.
- . Ao Professor Hermano pelo constante incentivo e pelas inúmeras discussões, as quais foram muito importantes para a elaboração desse trabalho.

No CPqD Telebrás:

- . Trindade pelo incentivo e sugestões.
- . Ide e Adriana pelo companheirismo e paciência no momentos difíceis.
- . Juliano pelos comentários e pela revisão minuciosa.
- . Equipe do Projeto Pesquisa Aplicada em Rede Óptica de Assinante pelas discussões e conhecimentos transmitidos.

No STB

- . Ao Grupo de Trabalho de Rede Óptica de Assinante, pelas informações fornecidas.

Em especial a Luciana pelo carinho, compreensão e paciência.

RESUMO

A utilização de fibras ópticas em redes de telecomunicações vêm crescendo ano a ano, em taxa superior a 20%. A maior parte da demanda concentra-se nas redes de entroncamento. A partir de meados da década de 80, algumas Empresas Operadoras começaram a falar na utilização de fibras na rede externa. Dois fortes motivos contribuíram para essa nova abordagem da rede externa: a perspectiva de surgimento de novos serviços com elevadas taxas de transmissão e as solicitações dos usuários por serviços de melhor qualidade. Essa realidade resultou na adoção de planos de implantação de fibra óptica na rede externa. No Brasil as Empresas Operadoras decidiram fazer essa implantação em três etapas: atendimento dos grandes clientes com redes específicas de fibra óptica denominadas *Rotas Estratégicas* (RE), introdução de fibra nas redes primárias (redes alimentadoras), constituindo as Redes Ópticas Primárias (ROP) e finalmente a introdução de fibras na rede secundária (redes distribuidoras), constituindo as *Redes Ópticas de Assinante* (ROA). O objetivo desse trabalho é apresentar uma metodologia de planejamento de *Rotas Estratégicas*, assim como um modelo matemático de otimização concebido para auxiliar o planejador na alocação de equipamentos da rede.

ABSTRACT

Over the past several years, the annual growth in the world wide utilization of fiber optic for communication applications has exceeded 20 percent. Most of them are used in the trunking network. Since 80's some Operating Companies are considering the introduction of fiber in the local loop to improve the quality of the actual services and to provide new services for their subscribers. In Brazil, the biggest Operating Companies will introduce the fiber in the local loop in three stages: introduction of an optical fiber network called *Business Oriented Optical Access Network* (BOAN) to attend their main subscribers, introduction of Fiber Feeder Network and, finally, introduction of Optical Access Network, where the fiber cable will reach all subscriber premises or near them. In this work we will present a planning methodology and an optimization mathematical model to choose the topology, technology and capacity of equipments for BOAN.

Índice

1. Introdução	1
2. Rede Óptica de Acesso	
2.1 Introdução	4
2.2 Estrutura do Sistema Nacional de Telefonia	5
2.3 Evolução da Rede Externa Rumo à Rede Óptica de Assinante	8
2.4 Proposta de Evolução Adotada no Brasil	10
2.5 Rotas Estratégicas	11
2.6 Rede Óptica Primária	12
2.7 Rede Óptica de Assinante	14
3. Revisão Bibliográfica	
3.1 Introdução	22
3.2 Metodologia de Planejamento	22
3.3 Modelos de Análise Econômica	24
3.4 Modelos de Dimensionamento de Redes e Equipamentos	25
3.5 Ferramentas de Planejamento	27
3.6 Comentários Finais sobre a Revisão Bibliográfica	28
4. Topologias, Configurações de Atendimento e Tecnologia da RE	
4.1 Introdução	30
4.2 Topologias Previstas e Configuração de Atendimento	30
4.3 Equipamentos Utilizados	32
4.4 Tipos de Tecnologia	35
5. Planejamento da RE	
5.1 Introdução	44
5.2 Planejamento de RE - Descrição do Problema	44
5.3 Metodologia de Planejamento da RE	46
6. Modelos Matemáticos Para Dimensionamento de Equipamento	
6.1 Introdução	55
6.2 Objetivo do Modelo e sua Utilização	55
6.3 Formulação do Modelo	56
6.4 Aplicação do Modelo à Rede Exemplo	57
6.5 Aspectos de Segurança	67
6.6 Considerando Custo de Armário/Abrigos no Modelo	68
6.7 O Modelo Arco-Caminho - Algumas Comparações	69
7. Aplicação do Modelo a uma Rede Existente	
7.1 Introdução	68
7.2 Descrição da Área Estudada	68
7.3 Relação de Custo dos Equipamentos/Abrigos Utilizados	69
7.4 Cenários Estudados	69
7.5 Cenário Considerando Aspectos de Segurança na Rede	77
7.6 Estudo Utilizando Preços Atuais	78
7.7 Comentários Sobre os Resultados Encontrados	80
8. Considerações Finais	
8.1 Conclusões	83
8.2 Perspectivas de Continuidade	84
Apêndice	
A.1 Referências Bibliográficas	86
A.2 Glossário	91
A.3 Descrição da PREST - Ferramenta de Planejamento de Rotas Estratégicas	93

Capítulo 1

Introdução

A utilização de fibras ópticas em redes de telecomunicação é uma realidade. O crescimento do consumo anual de fibras nos últimos anos para esse fim foi superior a 20%. Os fabricantes de fibra calculam que a quantidade total de fibras instaladas no mundo até 1993 era de 60 milhões de quilômetros, estando distribuídas, em termos geográficos, da seguinte forma: 47 % nos Estados Unidos, 23% na Europa, 17% no Japão, 11% na Ásia/Pacífico e 2% na América Latina. Previsões conservadoras estimam um crescimento anual de 15% no consumo de fibra nos próximos anos. Essas previsões não incluem a aplicação de fibras na rede de acesso, considerando somente sua utilização nas redes de entroncamento, onde atualmente concentra-se grande parte da demanda.

Até meados da década de 80, as preocupações das Empresas Operadoras quanto aos problemas de demanda, tráfego e confiabilidade estavam concentrados nas redes de entroncamento. A partir dessa data algumas empresas passaram a ter essas preocupações aplicadas também à rede de acesso. Dois fortes motivos contribuíram para mudança no tratamento da rede externa:

- *Melhor qualidade de serviços* - os usuários passaram a solicitar melhor qualidade dos serviços telefônicos e redes com padrões de qualidade que permitissem a transmissão de dados em taxas mais elevadas.
- *Novos Serviços* - possibilidade de surgimento de novos serviços que necessitam de elevadas taxas de transmissão, tais como: videofone, vídeo-conferência, vídeo ou TV interativa e comunicação de dados em alta velocidade.

A rede externa atual foi concebida para transmitir basicamente os sinais gerados pelos serviços telefônicos. Considerando os motivos acima, podemos concluir que essa rede representa limitações técnicas para implementação dos novos serviços.

A necessidade de oferecer novos serviços e melhorar a qualidade dos serviços existentes, aliado a uma crescente queda nos preços dos dispositivos opto/elétricos, têm estimulado as Empresas Operadoras a implementar uma política de introdução de fibra óptica na rede externa. No caso brasileiro as empresas do STB, juntamente com a Telebrás, adotaram um plano de implantação dividido em três etapas:

- Atendimento aos grandes clientes com redes de fibra óptica, denominadas *Rotas Estratégicas* (RE);
- Introdução de fibra nas redes primárias (redes alimentadoras), constituindo a *Rede Óptica Primária* (ROP);
- Introdução de fibras na rede secundária (redes distribuidoras), constituindo a *Rede Óptica de Assinante* (ROA);

Prevê-se que a implantação das duas primeiras etapas ocorrerá no curto ou médio prazo, enquanto a última deverá ocorrer no longo prazo.

O objetivo desse trabalho é apresentar uma metodologia de planejamento de *Rotas Estratégicas* e um modelo matemático de otimização que pode ser utilizado na alocação de equipamentos da rede. Apresentamos também os resultados de um estudo de caso de planejamento de *Rotas Estratégicas* (RE) utilizando o modelo matemático.

No capítulo 2 situamos a rede de acesso no sistema de telecomunicações e descrevemos as etapas de evolução da rede de acesso rumo a rede óptica de assinante.

No capítulo 3 apresentamos os resultados da revisão bibliográfica realizada para elaboração desse trabalho. São citados os principais artigos relacionados com: metodologia de planejamento, modelos de análise econômica, modelos de dimensionamento de redes e equipamentos, e ferramentas de planejamento.

No capítulo 4 descrevemos quais os tipos de equipamento e tecnologias que poderão ser utilizados nas *Rotas Estratégicas*.

No capítulo 5 descrevemos o problema do planejamento de *Rotas Estratégicas* e propomos uma metodologia para realizá-lo.

No capítulo 6 propomos um modelo matemático de otimização aplicado à alocação de equipamentos numa *Rota Estratégica*.

No capítulo 7 mostramos os resultados de um estudo de caso utilizando o modelo matemático aplicado à uma rede real.

No capítulo 8 descrevemos as conclusões dessa dissertação de mestrado e apresentamos propostas de continuidade do trabalho.

Finalmente, no apêndice citamos as referências bibliográficas utilizadas, listamos o glossário e apresentamos uma ferramenta de planejamento de *Rotas Estratégicas* denominada PREST, a qual foi desenvolvida no CPqD/Telebrás.

Capítulo 2

Rede Óptica de Acesso

2.1 Introdução

Um sistema de telecomunicações pode ser entendido como um conjunto de equipamentos, cabos, linhas, fios, etc. que permite a transferência de informações de um ponto a outro. Atualmente, um sistema público de telecomunicações é composto por vários tipos de rede. Além da rede de telefonia convencional, existe a rede de telex e algumas redes de computadores. A seguir relacionamos quais são as principais redes públicas do sistema brasileiro de telecomunicações.

- **RNT** - a Rede Nacional de Telefonia conta com aproximadamente 13 milhões de terminais. Além da transmissão de voz, essa rede tem sido utilizada para transmissão de dados em baixa velocidade, através da utilização de modems, e de fax. Dependendo das condições da rede é possível fazer conexões ponto a ponto para transmissão de dados em 2 Mbps.
- **RNTx** - a Rede Nacional de Telex é a evolução natural dos antigos telégrafos. É uma rede destinada a transmissão de telegramas, sendo administrada pela Embratel. Com o advento do fax, o número de terminais instalados tem diminuído.
- **TRANSDATA** - é uma rede de transmissão de dados em pequenas e médias taxas. A ligação pode ser ponto a ponto ou ponto multiponto, estando disponível para o usuário 24 horas por dia.
- **RENPAc** - a Rede Nacional de Pacotes é destinada à transmissão de dados em pequenas e médias velocidades, utilizando a tecnologia de comutação por pacotes. Ela é tecnologicamente mais evoluída que a rede TRANSDATA, permitindo que o usuário se conecte com qualquer outro usuário da rede.

Fazemos a seguir uma descrição geral sobre a RNT, com ênfase na rede de acesso. Apresentamos os principais elementos da rede de acesso, a sua evolução rumo à Rede Óptica de Assinante e caracterizamos cada uma das etapas de evolução previstas.

2.2 Estrutura do Sistema Nacional de Telefonia

O sistema nacional de telefonia é composto pelas seguintes partes:

- Rede de Acesso
- Rede de Entroncamento Local
- Rede de Entroncamento Interurbano
- Sistemas de Comutação

Na figura 2.1 apresentamos cada uma dessas partes.

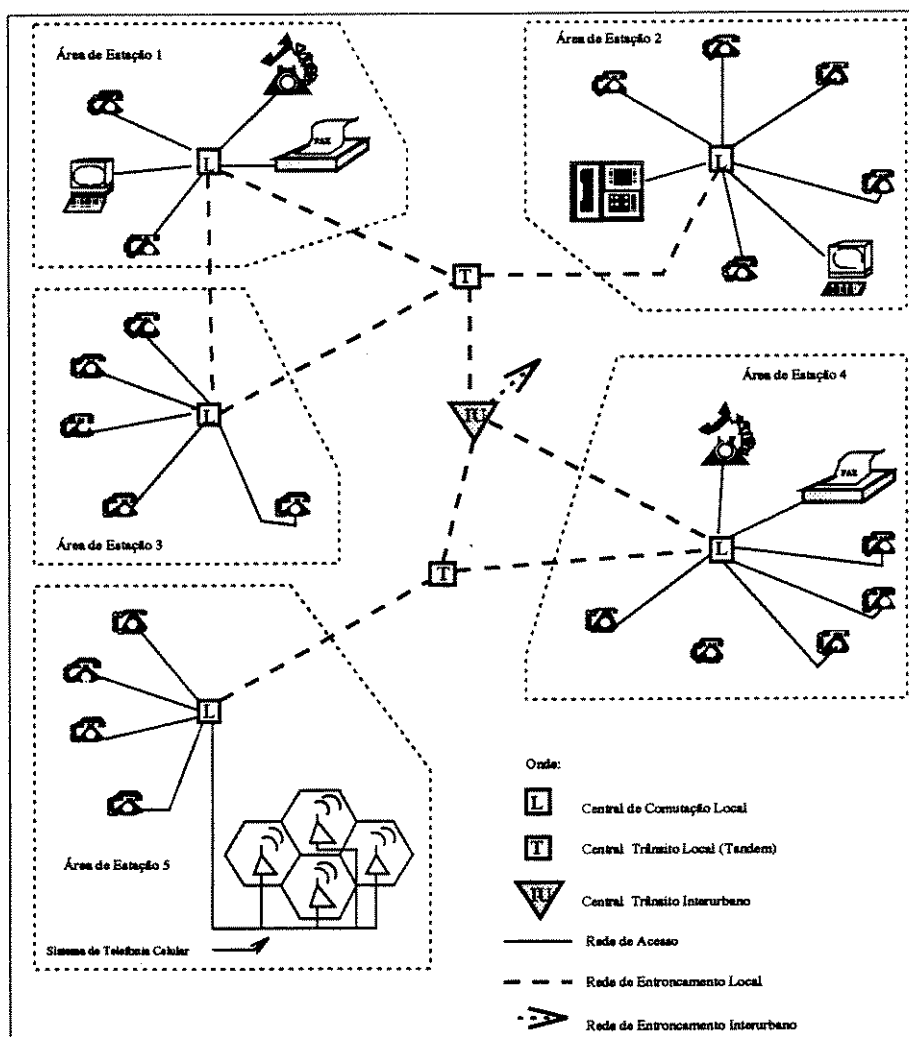


Figura 2.1 - Estrutura da Rede de Telefonia Nacional

a) Rede de Acesso

A Rede de Acesso é a rede que interliga os assinantes até a central de comutação. Ela é composta pela Rede Externa de Assinantes e pelos Sistemas de Telefonia Móvel Celular.

Futuramente, a rede de acesso contará também com os sistemas de Telefonia Celular Fixos e o PCN (Personal Communication Network).

Na figura 2.2 apresentamos uma Área de Estação com a sua Rede Externa de Assinante. Segundo a **Prática Telebrás SDT-235-300-600** (Princípios Gerais de Planejamento e Projeto de Redes), a Área de Estação é a área geográfica atendida por uma estação telefônica e sua respectiva rede de cabos de assinante.

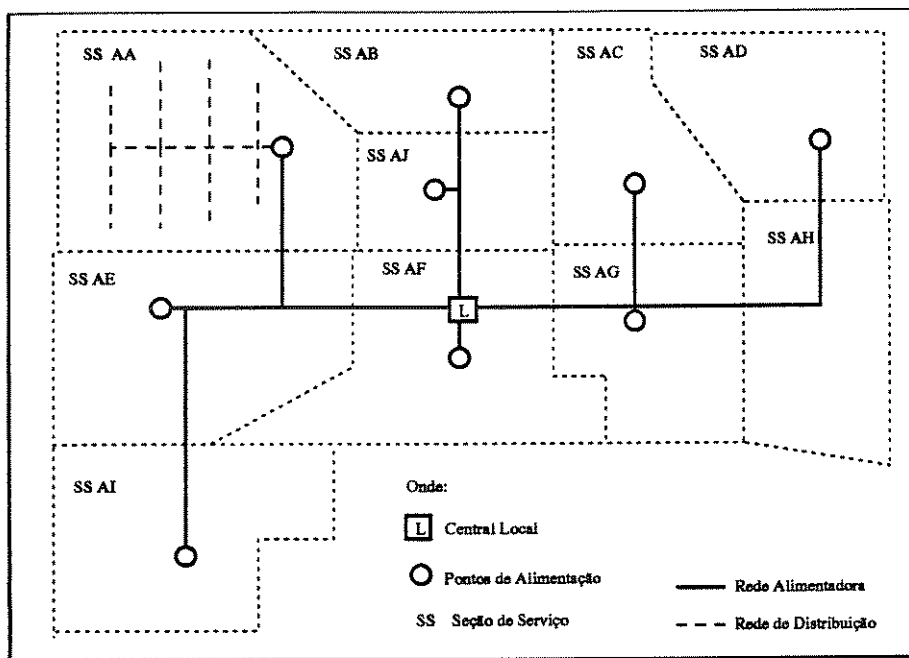


Figura 2.2 - Rede Externa de Assinante

Como mostra a figura 2.2, uma Área de Estação é composta por várias Seções de Serviços (SS). Uma Seção de Serviço é atendida por um ponto de alimentação, composto por um armário de distribuição e é considerada a menor unidade para controle de planejamento e projeto de cabos de alimentação. Numa seção de serviço são atendidos em média 400 assinantes.

Na Rede Externa de Assinantes a interligação dos assinantes até a central é feita por pares de fios de cobre, sendo dividida em duas partes: Rede Alimentadora (ou primária) e Rede de Distribuição (ou secundária).

A Rede Alimentadora é o conjunto de cabos alimentadores que realizam a interligação entre a central e os pontos de alimentação. Geralmente, esses cabos são instalados em dutos subterrâneos.

A Rede de Distribuição interliga os assinantes ao ponto de alimentação dentro de uma Seção de Serviço. No Brasil os cabos dessa rede geralmente são aéreos, sendo instalados em postes.

b) Rede de Entroncamento Local

A Rede de Entroncamento Local é responsável pela interligação das centrais de uma Área Local. Segundo a **Prática Telebrás SDT-235-300-600**, uma Área Local é a área geográfica atendida pelo conjunto de Áreas de Estação e suas respectivas redes de cabos. As centrais são ligadas diretamente entre si ou através de centrais tandem. Estas interligações são denominadas junções e se efetuam através de juntores localizados nas centrais. Inicialmente, os juntores eram interligados por simples pares de fios. Com o surgimento dos sistemas PCM (Pulse Code Modulation) foi possível um melhor aproveitamento da Rede de Entroncamentos. Em 2 pares de fios de cobre era possível transmitir 24 ou 30 ligações simultâneas (dependendo do padrão adotado). Atualmente observamos, principalmente nos grandes centros metropolitanos, a substituição do cobre por fibra óptica na rede de entroncamento, possibilitando a transmissão de milhares de ligações simultâneas em um único par de fibras.

c) Rede de Entroncamento Interurbano

A Rede de Entroncamento Interurbano é responsável pela interligação entre as centrais de diferentes Áreas Locais. O sistema de transmissão utilizado nessa interligação dependerá da distância entre as centrais e do tráfego existente entre elas. No Brasil grande parte das interligações são feitas por enlaces de microondas. Nos últimos anos tem aumentado a utilização de sistemas utilizando fibra óptica para interligação de grandes centros. Para um cenário de curto prazo, prevê-se a instalação de redes de fibra óptica interligando os centros urbanos de médio e grande porte, utilizando a tecnologia de transmissão Synchronous Digital Hierarchy (SDH), apresentada no capítulo 4 desse trabalho. Em alguns casos especiais a interligação entre centrais é feita utilizando-se enlaces via satélite.

d) Sistema de Comutação

Os sistemas de comutação são as centrais de comutação por circuito, as quais são instaladas nas estações telefônicas. Numa estação telefônica é possível instalar uma ou mais centrais. As principais funções de uma central de comutação são: realizar a

conexão entre os assinantes que estão conectados a ela e promover a conexão entre esses assinantes e os assinantes ligados a outras centrais.

2.3 Evolução da Rede Externa Rumo à Rede Óptica de Assinante

a) Necessidade de Introduzir a Fibra Óptica na Rede de Acesso

Segundo Moncalvo, nos últimos anos a Rede Externa de Assinante tem sido objeto de atenção das empresas operadoras e dos usuários. Esses últimos, especialmente a classe empresarial, tem requisitado serviços de melhor qualidade e disponibilidade. Eles tem necessitado de serviços que possibilitem a transmissão dos dados em altas taxas. Essa solicitação reflete diretamente sobre a Rede Externa de Assinante, onde existem limitações quanto a faixa de passagem dos sinais e uma rede metálica com elevado processo de deterioração.

Na tentativa de melhor aproveitar os recursos da Rede Externa e oferecer melhores serviços, foi desenvolvido o conceito de Rede Digital de Serviços Integrados (RDSI). Na sua concepção inicial, a RDSI provê serviços de voz e dados, utilizando a rede externa atual. O acesso à rede é feito em dois tipos de interface: básica com capacidade de dois canais de 64 Kbps e um canal de 16 Kbps e a primária com capacidade de 30 canais de 64 Kbps. Essa rede, denominada RDSI Faixa Estreita (RDSI-FE), tem sido implantada no Japão, Estados Unidos e alguns países da Europa, porém com demanda bastante inferior às expectativas iniciais. Uma das causas da baixa penetração da RDSI-FE refere-se aos serviços (voz e dados em baixas e médias velocidades), os quais podem ser oferecidos conjuntamente pela rede de telefonia e as redes de computadores atualmente existente.

O conceito de RDSI-FE evoluiu para a RDSI Faixa Larga (RDSI-FL) onde os usuários, além dos tradicionais serviços de voz e dados, terão acesso a vários serviços que necessitam de taxas de transmissão mais elevada, tais como: videofone, CATV, vídeo sob demanda, vídeo conferência, dados em altas taxas, etc. Para essa rede é necessário grandes mudanças tecnológicas ao longo de toda a rede de telefonia convencional. As centrais de comutação por circuito deverão ser substituídas por centrais de comutação de pacotes em alta velocidade, utilizando a tecnologia Asynchronous Transfer Mode (ATM). Na interligação entre as centrais deverão ser utilizados sistemas de transmissão por fibra óptica com tecnologia Synchronous Digital Hierarchy (SDH). Em função das altas taxas, a interligação dos usuários com as centrais não poderá ser feita com o par metálico convencional e sim com fibra óptica. Para algumas arquiteturas de rede poderá

ser utilizado cabo coaxial para conectar o assinante a um armário localizado nas proximidades da sua residência.

Segundo **Adams & Hornung**, a realidade das empresas operadoras mudou muito nos últimos anos. Em vários países tem ocorrido a quebra de monopólio dos serviços de telecomunicações e, em alguns casos, a privatização. Consequentemente, a competitividade tem aumentado. Paralelamente, observa-se o surgimento de novos serviços e novas tecnologias, as quais muitas vezes não são de domínio dessas empresas. Portanto, segundo os autores, torna-se imperativo uma mudança de postura por parte das empresas operadoras em relação à implantação da Rede Óptica de Acesso. A maior parte dos serviços previstos demandarão altas taxas, as quais necessitarão de sistemas de transmissão por fibra óptica.

b) A transição da Rede Metálica para Rede de Fibra Óptica

Os sistemas de transmissão por fibra óptica tem sido largamente utilizado na rede de entroncamento das grandes metrópoles. No Brasil, as empresas operadora começaram a implantar esses sistemas no início da década de 80. Entre 84 e 85, a Telesp implantou em São Paulo vários enlaces ópticos utilizando o equipamento ELO 34 (Equipamento de Linha Óptico de 34 Mbps) e fibra multimodo. Segundo **Hood**, a viabilização econômica desses sistemas, para esse tipo de aplicação, ocorre devido a utilização da capacidade plena dos enlaces. Segundo o mesmo autor, em 1983 tornou-se viável, em algumas situações especiais, a aplicação de fibra óptica na Rede Alimentadora.

Observamos que as opiniões quanto a viabilização da utilização da fibra óptica na rede de acesso muitas vezes não são convergentes. **Reed et alii** em seu artigo conclui que a opticalização da Rede Alimentadora seria viável a partir de 1990 e a rede Óptica de Assinante a partir do Século XXI. **Sirbu et alii** acreditam que a viabilização econômica da Rede Óptica de Acesso ocorrerá devido aos serviços de vídeo-entretenimento.

Considerando as indefinições quanto à tecnologia a ser utilizada, aos serviços a serem oferecidos e o elevado custo de implantação, maioria dos países desenvolvidos optou por realizar a implantação da fibra óptica na rede externa por etapas, as quais são descritas a seguir:

- *Utilização de equipamentos de transmissão na Rede Externa de Assinante:* foram desenvolvidos equipamentos de transmissão e comutação objetivando a máxima utilização da rede de cobre convencional. Dentre eles podemos destacar:

- PCMs de Assinante: são equipamentos similares ao PCM convencional, porém adaptados ao ambiente agressivo da Rede Externa.
 - HDSL (High bit rate Digital Subscriber Line) para transmissão, em par de cobre, de feixes de 2 Mbps da central até o assinante em distância de até 4 quilômetros sem repetidor;
 - ADSL (Asymmetrical Digital Subscriber Line) que permitirá a transmissão de até 4 canais de TV em linha de cobre (cada canal demandando 1.5 Mbps)
 - concentradores e pequenas centrais digitais.
- *Atendimento de Grandes Assinantes por Fibra Óptica:* os assinantes que demandam altas taxas recebem um tratamento diferenciado, sendo atendidos por fibra óptica. Esse atendimento pode ser feito caso a caso ou com critério, através da instalação de uma rede dedicada. O conceito de Rotas Estratégicas, que é apresentado no item 2.4, surgiu em função desse tipo de atendimento.
 - *Implantação da Fibra Óptica na Rede de Alimentação:* nessa etapa a rede alimentadora de cobre deverá ser substituída por fibra óptica. A rede de distribuição permanece a mesma. A conversão dos sinais ópticos em sinais elétricos analógicos poderá ocorrer nos pontos de alimentação. Os armários de distribuição poderão ser substituídos por centrais de pequeno porte, por concentradores ou multiplexadores.
 - *Implantação da Rede Óptica de Assinante:* essa será a última etapa de implantação da rede óptica de acesso. A fibra óptica deverá chegar até à casa do assinante, onde ocorrerá a conversão óptico/elétrica dos sinais, ou até aos armários próximos às residências. No armário será instalado o equipamento de conversão, com capacidade para atender os assinantes de uma pequena região, que poderá ser, por exemplo uma quadra. Dependendo dos serviços demandados, a ligação do armário até o assinante será feita por cabo coaxial ou par metálico trançado.

2.4 Proposta de Evolução Adotada no Brasil

Ao contrário da Rede de Entroncamento Local e Interurbano, na Rede Externa de Assinante brasileira não tem ocorrido grandes modificação tecnológicas. De maneira geral, as empresas operadoras não tem utilizado equipamentos de transmissão ou comutação na rede externa.

Objetivando uma melhor utilização dessa rede, foi criado no CPqD o projeto Comutação Digital Distribuída (CDD). Esse projeto tem como "filosofia" a distribuição das funções

de comutação na rede, utilizando a topologia em anel, de modo a levar a eletrônica mais perto do assinante, reduzindo os custos da rede (Pessoa et alii). Uma das frentes desse projeto é o sistema CLAD (Concentrador de Linha de Assinante Distribuído), o qual encontra-se em fase final de desenvolvimento no Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CPqD) da Telebrás. A função básica do CLAD é substituir a rede telefônica secundária. Ela seria substituída por anéis, com capacidade de até 512 assinantes.

As empresas operadoras do Sistema Brasileiro de Telecomunicações (STB), juntamente com a Telebrás, decidiram que a implantação da fibra óptica ocorrerá em três etapas. Na primeira etapa serão implantadas redes para atendimento dos grandes usuários, denominadas *Rotas Estratégicas (RE)*. Na segunda a rede de alimentação será gradativamente substituída por fibra óptica, denominada *Rede Óptica Primária (ROP)*. Na última etapa a rede secundária será substituída por fibra óptica, constituindo finalmente a *Rede Óptica de Assinante (ROA)*. A seguir são descritas cada uma dessas etapas.

2.5 Rotas Estratégicas (RE)

Segundo a Prática Telebrás SDT-210-001-102, Rotas Estratégicas são rotas de cabos de fibras ópticas para atender grandes clientes e/ou grandes concentrações de assinantes. Grandes clientes são aqueles que demandam taxas de transmissão iguais ou superiores a 2 Mbps. Uma concentração de assinante é composta por dois ou mais clientes cuja somatória das demandas seja igual ou superior a 2 Mbps. Segundo o planejamento da Telebrás, as RE's deverão ser implantadas no curto prazo, se possível até final de 1997.

O objetivo principal da RE é fornecer uma grande flexibilidade de serviços com alta confiabilidade. Atualmente estão previstos os seguintes serviços: voz, dados em baixa e médias taxas (até 64 Kbps), feixes de 2 Mbps e RDSI-FE. As RE deverão apresentar muita flexibilidade para atender os aumentos de demanda não programados dos serviços existentes e também atender a demanda por novos serviços.

A RE deve ser planejada para atender regiões com alta densidade de grandes clientes. Uma RE terá sua abrangência restrita à área de tarifação, mas *preferencialmente* ela deverá atender os assinantes de uma mesma área de estação. O número de fibras por cliente deverá ser no mínimo 4. No capítulo 4 descrevemos com detalhes quais são as topologias e tecnologias de equipamentos utilizadas numa RE.

2.6 Rede Óptica Primária (ROP)

O objetivo de realizar a opticalização das Redes Alimentadoras é obter um melhor aproveitamento da infra-estrutura existente e redução nos custos de implantação. O custo de implantação da ROP vem caindo ano a ano em consequência da diminuição dos custos de cabos de fibra óptica e dos equipamentos a serem utilizados nesse tipo de rede. Consequentemente, algumas empresas operadoras já estão realizando projeto de implantação de ROP.

A seguir descrevemos quais são os modelos de ROP a serem adotados no Brasil e quais os tipos de tecnologias e equipamentos utilizados.

a) Modelos Possíveis

Segundo a Prática Telebrás SDT-210-120-1xx, existirão três modelos de ROP.

Seção de Serviço com Acesso Óptico (SSAO):

Nesse modelo cada Seção de Serviço é atendida por no mínimo 6 fibras ópticas. Os equipamentos são localizados nas imediações ou no próprio ponto do armário de distribuição da Seção de Serviço. Este ponto é chamado de Estágio Remoto (ER). A figura 2.3 apresenta um esquema desse modelo.

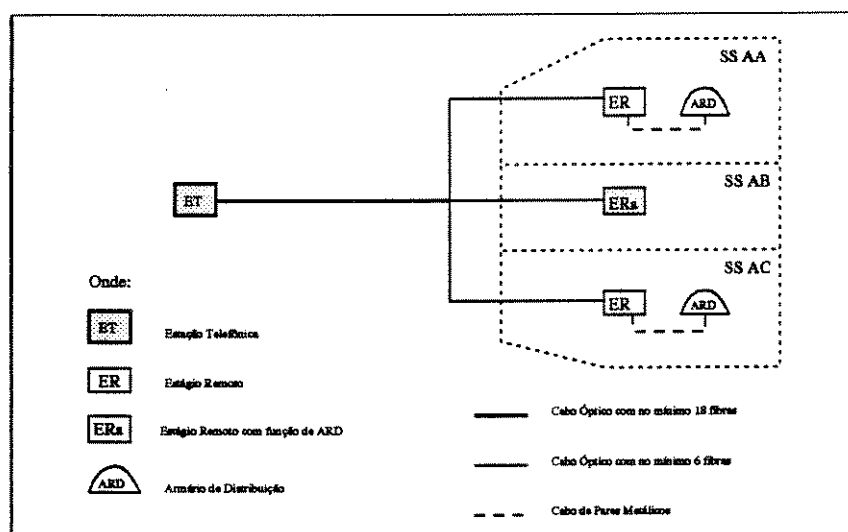


Figura 2.3 - SSAO

Área de Serviço Remota Óptica com Seções de Serviço Atendidas por Cabos Alimentadores de Pares Metálicos (ASRO-P):

Como mostra a figura 2.4, diversas Seções de Serviço são agrupadas em uma mesma área de serviço remota (ASR), que será atendida por um único Estágio Remoto. A conexão entre o ER e os armários de distribuição é feita por cabos alimentadores de pares metálicos.

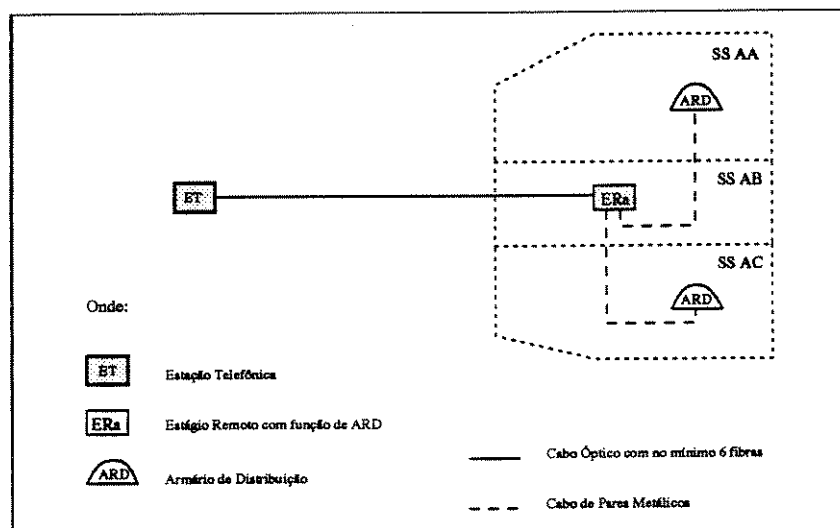


Figura 2.4 - ASRO-P

Área de Serviço Remota Óptica com Seções de Serviço Atendidas por Unidades Remotas - (ASRO-UR):

Como mostra a figura 2.5, diversas Seções de Serviço são agrupadas em uma mesma ASR e servidas por um único Estágio Remoto, o qual é conectado a cada Seção de Serviço por cabos metálicos sem repetidores ou cabos ópticos. Cada Seção de Serviço deverá possuir uma Unidade Remota com equipamentos de multiplexação, concentração ou comutação. Ela deverá ser localizada no ponto do Armário de Distribuição ou nas imediações.

b) Tecnologias e Tipos de Equipamentos

Na ROP prevê-se a utilização dos seguintes tipos de equipamentos:

- PCM de Assinante
- Comutação Distribuída por Concentrador de Assinantes - são os Estágios de Linha Remotos (ELR) com concentradores de assinantes. Eles deverão suportar o

crescimento estimado para atendimento da capacidade final da Seção de Serviço e/ou da Área de Serviço Remota.

- Comutação Distribuída através de Minicentrais - são centrais de comutação de pequeno porte, totalmente independentes, aplicadas nas Seções de Serviço.

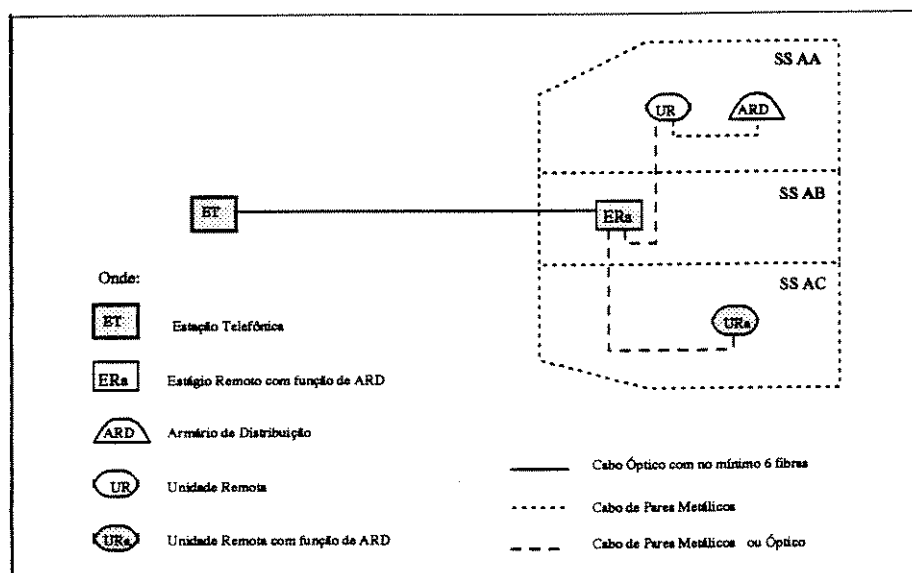


Figura 2.5 - ASRO-UR

2.7 Rede Óptica de Assinante (ROA)

No Brasil, a instalação da Rede Óptica de Assinante (ROA) deverá ocorrer a médio e longo prazo. A viabilidade de instalação dependerá da evolução dos custos dos equipamentos utilizados nesse tipo de rede, da disponibilização de novos serviços, principalmente de vídeo-entretenimento, e da concentração de assinantes da área considerada. Segundo Malleyet alii, a ROA já se mostra viável nas áreas comerciais urbanas das grandes cidades americanas.

A seguir descreveremos, baseados no Relatório PD.33.RS.EAA.0009A/RT-01-AA (Topologia e Configurações Preferencias da Rede Óptica de Assinantes), quais são as principais topologias e configurações de atendimento a serem utilizadas na ROA. Descrevemos ainda quais são os prováveis serviços a serem fornecidos.

a) Topologias

Na ROA supõe-se a utilização de três tipos de topologia: Dupla Estrela Ativa, Dupla Estrela Passiva e Anel/Estrela.

- **Dupla Estrela Ativa**

A característica básica desse tipo de topologia é a utilização de um (ou mais) Estágio Remoto ativo entre a central e os assinantes. O ER poderá ser um multiplexador, concentrador ou mesmo um comutador local. Ele poderá abrigar sistemas de alimentação e, quando necessário, equipamentos de climatização. Como mostra a figura 2.6, a conexão Central- ER e ER-Assinante é feita utilizando fibra óptica.

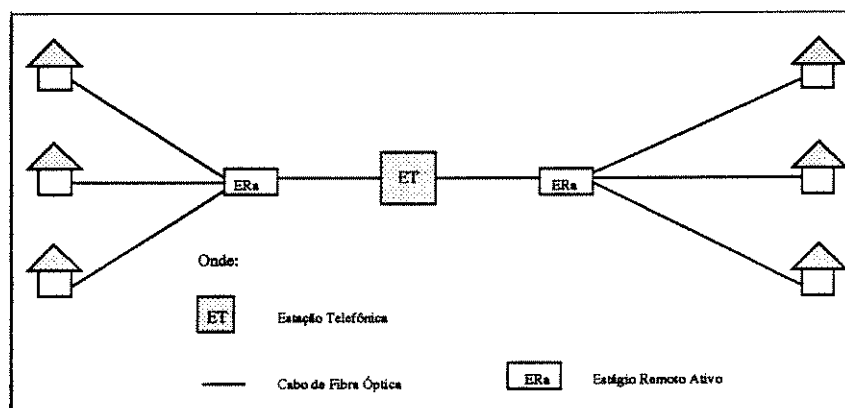


Figura 2.6 - Topologia Dupla Estrela Ativa

- **Dupla Estrela Passiva**

Assim como na topologia anterior, existirá um ER entre a central e os assinantes. Neste caso porém, o ER será composto unicamente por componentes passivos, dispensando a alimentação e climatização local. Ele será responsável pela distribuição dos sinais ópticos vindos da central e pela agregação dos sinais vindos dos assinantes. Poderão ser utilizados no ER acopladores ópticos ou dispositivos de multiplexação por comprimento de onda (WDM). A figura 2.7 mostra em esquema dessa topologia.

Segundo Hong, a topologia Dupla Estrela Passiva tem sido considerada a solução mais econômica para atendimento dos serviços de telefonia básica e distribuição de canais de vídeo.

- **Topologia Anel/Estrela**

Como mostra a figura 2.8, os ER's são conectados entre si e à central através de um anel. Os assinantes poderão estar conectados aos ER's ou ainda, se for um assinante com alta demanda, fazer parte do anel. Numa ROA poderão existir vários anéis. Um

anel poderá estar ligado diretamente à central ou indiretamente através de um outro anel. Ele poderá ser mono ou bidirecional.

As principais características dessa topologia são: reduzido consumo de fibras no anel, elevada flexibilidade, segurança e privacidade. Como a rede de dutos atual geralmente possui uma configuração radial poderá ser necessário investimentos em infraestrutura para que se possa instalar um anel.

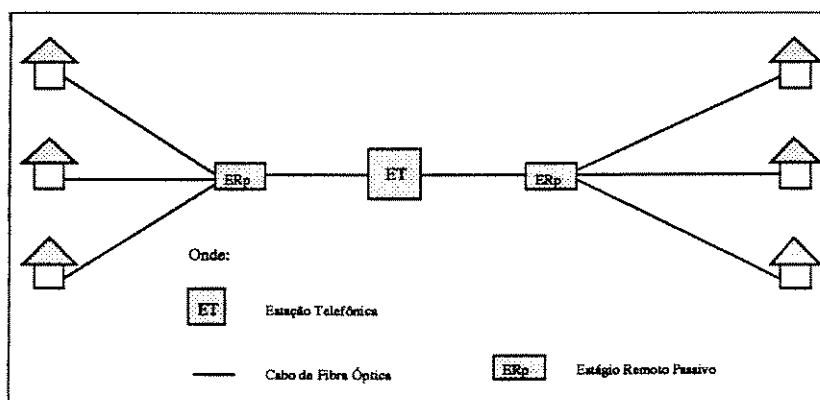


Figura 2.7 - Topologia Dupla Estrela Passiva

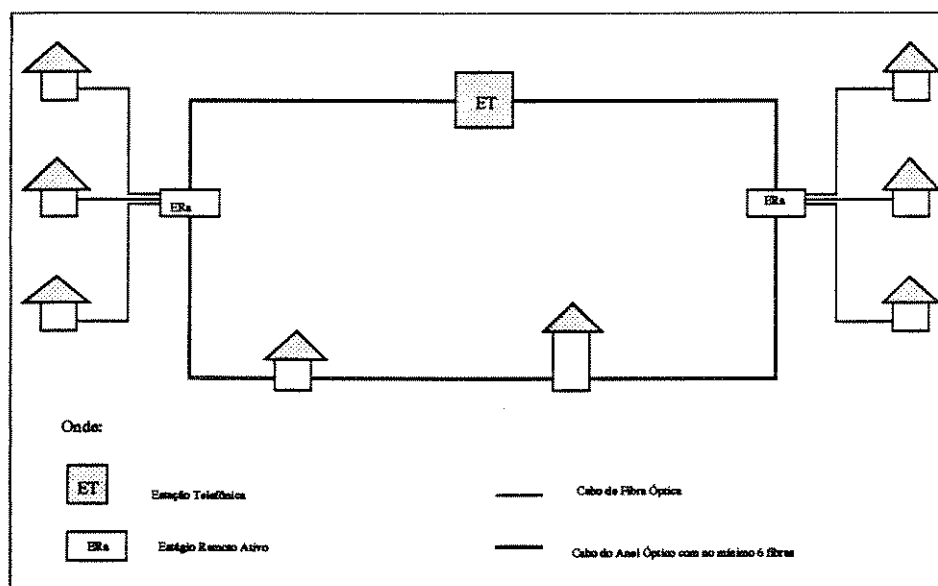


Figura 2.8 - Topologia Anel/Estrela

b) Configurações de Atendimento

A configuração de atendimento caracteriza o modo como a fibra alcança a instalação do assinante ou as suas imediações. Como mostra a figura 2.9, para a ROA são previstas as

seguintes configurações de atendimento Fiber-to-the-Home (FTTH), Fiber-to-the-Curb (FTTC) e Fiber-to-the-Office (FTTO), as quais são descritas a seguir.

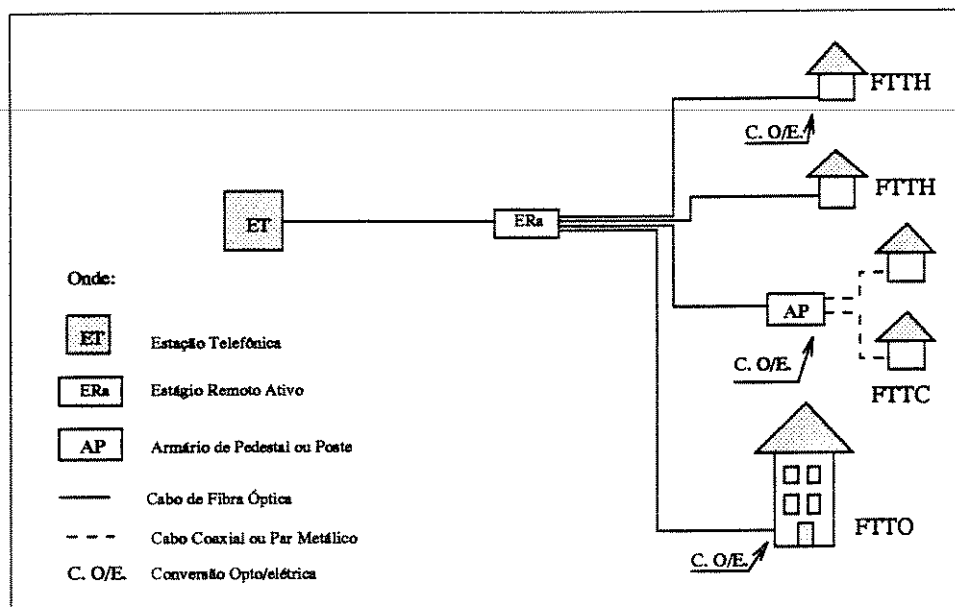


Figura 2.9 - Configurações de Atendimento para ROA

- **Configuração Fiber - To - The - Home (FTTH)**

Nessa configuração existe um ou mais pares de fibra dedicados a cada assinante. O enlace da central até a residência do assinante é totalmente óptico. Sua viabilização passa pela resolução de dois problemas básicos: elevado custo dos conversores opto-eletrônicos e sistemas de alimentação. Atualmente existem duas opções de alimentação elétrica: a telealimentação, onde a energia é fornecida pela central ou ER, e a alimentação local com a energia sendo obtida nas instalações do próprio usuário.

- **Configuração Fiber - To - The - Curb (FTTC)**

Nessa configuração a fibra chega até um armário de pedestal ou poste, localizados a algumas dezenas de metros das residências dos usuários. No armário são localizados equipamentos encarregados da conversão opto-elétrica dos sinais. A conexão dos usuários ao armário dependerá do tipo de serviço solicitado. Ela pode ser um par metálico convencional ou um cabo coaxial. Em alguns casos essa rede metálica pode ser substituída por um sistema de rádio acesso celular.

Em termos econômicos a configuração FTTC atualmente é mais viável que a FTTH. Isso ocorre porque na configuração FTTC existe o compartilhamento do equipamento de

conversão opto-elétrica entre os usuários atendidos pelo armário, reduzindo os custos de implantação da rede.

- **Configuração Fiber - To - The - Office (FTTO)**

Na configuração FTTO a fibra chega às instalações de assinantes não residenciais ou pontos de concentração de assinante, tais como edifícios e condomínios. Ela é dividida nas seguintes classes:

- FTTB (Building) : a fibra alcança uma sala do edifício ou condomínio onde é instalado um estágio remoto que faz a conversão opto-elétrica do sinal. A rede metálica interna não é modificada.
- FTTB (Business) : a fibra é utilizada para atender grandes clientes que ocupam um ou mais pavimentos de um edifício. Parte da rede interna sofre modificações, uma vez que a fibra deverá alcançar o(s) pavimento(s) onde se localizam esses grandes assinantes.
- FTTR (Riser) : a fibra alcança as instalações de cada usuário, necessitando de uma completa modificação na rede interna do edifício.

d) Técnicas de Transmissão e Acesso

Na ROA poderão ser utilizadas várias técnicas de transmissão e acesso. Dentre elas podemos citar:

- TDM/TDMA (Time Division Multiplexing/ TDMAccess)
- WDMA (Wave Length Division Multiple Access)
- SDH (Synchronous Digital Hierarchy)
- ATM (Asynchronous Transfer Mode)

A escolha da melhor opção vai depender da topologia e da configuração de atendimento utilizada na rede. No capítulo 4 fazemos considerações sobre essas técnicas.

d) Serviços

A Rede Óptica de Assinante será uma rede com elevada capacidade de transmissão. Consequentemente será possível fornecer aos assinantes um grande número de serviços. Além do tradicional serviço de voz, será possível transmitir dados em altas taxas e imagem. Baseado no Relatório PD.33.RS.EAA.0003A/RT-01-AA (*Estudos Sobre*

Possíveis Serviços de Faixa Larga em Rede Óptica de Assinantes) relacionamos quais são os possíveis serviços a serem oferecidos pela Rede Óptica de Assinante.

TV a Cabo ou CATV

A TV a Cabo é um serviço de difusão de sinais de TV que apresenta várias vantagens em relação à TV convencional que utiliza o sistema de rádio difusão. Devido a grande largura de banda dos sistemas de CATV é possível fornecer ao usuário um grande número de canais simultâneos. Por ser um meio de transmissão fechado é possível oferecer um serviço com imagens de melhor qualidade.

Do ponto de vista do usuário esse serviço será dividido em:

- CATV simples: o custo da programação que o usuário recebe é coberto pela veiculação de comerciais. O assinante paga uma pequena taxa, referente à conexão e manutenção do sistema.
- CATV paga: nesse tipo de serviço não existe comerciais. A tarifação pode ser mensal fixa para os canais desejados ou por minuto assistido (pay-per-view), com franquia inicial da ordem de alguns minutos.
- Vídeo Sob Demanda: nesse serviço a programação é solicitada pelo usuário. O programa solicitado pode ser transmitido num horário pré-definido e eventualmente com sinais adicionais para acionamento remoto de um vídeo-cassete.

Videofone

Além da transmissão de voz, no videofone ocorre a transmissão da imagem dos dois usuários envolvidos na conexão. Além da utilização de sinais de áudio e vídeo, para aplicações profissionais poderá ser utilizado um canal adicional de dados, em baixa e média velocidade, para transmissão simultânea de fax e arquivos. A comunicação é ponto a ponto, bidirecional e faixa larga. Existem sistemas funcionando em faixa estreita (64 Kbps), mas a qualidade das imagens é baixa.

Vídeo-Conferência

Esse serviço é considerado uma evolução do videofone por permitir a participação de duas ou mais pessoas na conversação. São esperados dois tipos de vídeo-conferência:

- **Vídeo-Bridge:** um determinado número de usuários tem seus videofones interconectados, de modo a participarem de uma conversa simultânea. A transmissão de sinais deverá ser feita usando n canais simultâneos (onde n é o número de participantes da conferência) para possibilitar a seleção ou composição da imagem no terminal de cada assinante. Outra possibilidade é realizar a composição dos canais na central. O sinal composto utilizaria um único canal de vídeo para cada assinante receptor.
- **Vídeo-Conferência com padrão de estúdio:** transmissão ponto a ponto ou ponto multiponto de imagens com padrão de estúdio, dispondo de facilidades como telas de grandes dimensões, alta definição, fax colorido de alta resolução, etc. Prevê-se a utilização simultânea de diversos canais de vídeo e dados em cada usuário envolvido. Esse serviço poderá ser aplicado na área educacional/científica, em forma de teleconferências.

Vídeo ou TV Interativa

Esse serviço será utilizado para entretenimento, educação, treinamento e como apoio aos segmentos de comércio e serviço. Ele é considerado uma evolução da CATV, havendo uma comunicação mais intensa no sentido usuário-provedor de serviços. Dependendo da aplicação, essa comunicação poderá necessitar de um canal faixa larga (shows com participação do público, por exemplo) por um curto período de tempo ou retornos frequentes em faixa estreita (vídeo-games e tele-ensino).

Comunicação de Dados em Alta Velocidade

Esse serviço fornecerá conexões bidirecionais ponto a ponto e ponto multiponto para transmissão de dados em alta velocidade. Ele poderá ser utilizado na conexão de computadores, permitindo a estabelecimento de redes virtuais privadas ou redes públicas de alta velocidade.

Acesso a Bancos de Informações

Esse serviço possibilitará dois tipos acesso a bancos de dados: recuperação de informações e acesso interativo. No primeiro caso o acesso é feito somente para leitura, podendo ser utilizado para recuperação de documentos, filmes de curta e longa duração, etc.. No acesso interativo o usuário poderá ler e escrever no bando de dados, podendo

ser utilizado para fazer pedidos de reserva de passagens aéreas, movimentação de conta bancária, etc.

Correio Eletrônico

A InterNet atualmente já fornece o correio eletrônico (E-mail), porém em faixa estreita. Esse serviço proporcionará a transmissão e recepção de dados em altas velocidades, viabilizando a transmissão de figuras, gráficos, voz e imagem em mensagens de curta duração.

Monitoração e Controle Remotos

Esse serviço possui várias aplicações, tais como:

- Proteção residencial e comercial;
- Acompanhamento médico;
- Processos industriais com planta distribuída e controle em tempo real;
- Monitoração de grandes sistemas distribuídos através da rede pública.

Capítulo 3

Revisão Bibliográfica

3.1 Introdução

No início da década de 80 foi firmado um convênio entre a Telebrás e a Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade de Campinas para desenvolvimento de várias ferramentas de planejamento de rede externa. Como resultado desse convênio podemos destacar a elaboração de uma metodologia de planejamento de rede apresentada por **Tavares et alii** e os seguintes aplicativos de planejamento:

- **LOCUS** - é um programa destinado a realizar a localização ótima de centrais urbanas no ano horizonte de planejamento. **Yamakami et alii** faz uma descrição geral desse aplicativo e apresenta uma aplicação do mesmo para a cidade de Curitiba.
- **CRONOS** - segundo **Fernandes et alii**, o aplicativo se encarrega de fazer o cronograma de implantação dos novos centros de fio a partir dos resultados obtidos pelo **LOCUS** no ano horizonte.
- **PEOR** - uma descrição do aplicativo é feita por **França et alii**. O programa é uma ferramenta auxiliar no planejamento da expansão de redes locais de telecomunicações. A partir da rede existente no ano zero de planejamento, ele procede à sua evolução realizando os cortes de área em cada período de planejamento.

Em sua tese de mestrado Cassilda **Ribeiro** apresenta uma proposta para alocação de concentradores, indicação de centros de fios e localização de estágios de linha remotos utilizando as seguintes ferramentas: **NUVEM**, **LOCUS**, **ERAH**, **CRONOS**, **PEOR** e **PALCO DINÂMICO**.

Em sua tese de mestrado **Freitas** faz um levantamento detalhado sobre os principais trabalhos de planejamento da rede externa convencional, apresentando alguns softwares de planejamento desenvolvidos no Brasil.

Com a possibilidade de utilização de equipamentos de transmissão e fibra óptica na rede de acesso surgem os primeiros trabalhos sobre o planejamento da Rede Óptica de Acesso, a

qual abrange os conceitos de Rotas Estratégicas (RE), Rede Óptica Primária (ROP) e Rede Óptica de Assinante (ROA).

O planejamento da Rede Óptica de Acesso é um assunto bastante amplo e a bibliografia sobre o tema contempla aspectos relativos à metodologia de planejamento, modelos matemáticos para dimensionamento de redes e análises econômicas, assim como descrição de softwares de planejamento. Os itens a seguir apresentam os principais trabalhos relacionados à esses aspectos.

3.2 Metodologia de Planejamento

Observamos uma grande quantidade de artigos sobre metodologia de planejamento. Em linhas gerais, eles descrevem critérios a serem considerados na implantação da rede óptica, tais como: determinação de áreas a serem atendidas, modelos de custo adotados, escolhas de topologia, configuração de atendimento e evolução da rede.

Sirbu et alii apresenta um modelo de custo detalhado, destinado a avaliar o custo médio por assinante das seguintes arquiteturas: estrela simples, dupla estrela ativa e passiva. Em função dos altos custos dos equipamentos e de indefinições na evolução de demanda e serviços, o artigo coloca a necessidade de se fazer uma implantação de rede óptica por etapas. É ressaltada a importância da localização adequada dos estágios remotos na redução dos custos finais. O custo de implantação da Rede Óptica de Assinante é elevado e que a viabilização da mesma em áreas residenciais ocorrerá devido a popularização dos serviços de vídeo-entretenimento.

O Bell Communications Research (Bellcore) possui em New Jersey-USA uma equipe de desenvolvimento de ferramentas de planejamento de rede. A seguir são destacados três artigos sobre metodologia escritos por membros dessa equipe .

Lu et alii fazem uma análise detalhada de custo das topologias dupla estrela ativa (utilizando a técnica TDM de alta velocidade) e passiva (utilizando WDM). O artigo apresenta o modelo de custos utilizado e faz considerações sobre a composição de custos dos equipamentos. Os ganhos de escala, os quais ocorrerão em função do aumento de produção dos equipamentos, são considerados utilizando-se o método da curva de ganho de escala (Learning Curve). Para realizar uma comparação criteriosa entre várias topologias

de rede, **Shumate** coloca a necessidade de se considerar, além dos custo de instalação da rede, o custo futuro dos equipamentos, de manutenção e de alimentação elétrica.

Eiger & Harrington [1990] mostram qual é economia que pode ser obtida quando uma Rede Óptica de Assinante é instalada por etapas. Foram estudadas configurações FTTH (Fibre-to-the-Home) e FTTC (Fibre-to-the-Curb) utilizando as topologias dupla estrela ativa e passiva. Os resultados encontrados apontam economia de 25 a 40%, dependendo da configuração e da topologia da rede estudada. A principal causa dessa economia é atribuída ao gasto com equipamento. Fazendo uma implantação por etapas é possível adiar a compra de equipamentos e também colocar equipamentos sub-equipados na rede. O aumento de capacidade ou ampliação ocorre de acordo com o crescimento da demanda.

Gambaro & Roso apresentam uma metodologia para o planejamento de uma rede óptica de acesso, a ser utilizada na Itália, denominada "Metodologia de Planejamento Orientada ao Mercado". Sua função é o atendimento de grandes clientes localizados em grandes áreas metropolitanas. Ela possui funções e características similares ao conceito de Rotas Estratégicas apresentado no capítulo anterior. A partir de informações sobre a densidade de assinantes, é estabelecida a prioridade de introdução da fibra na região considerada, assim como o trajeto mais adequado para implantação das mesmas.

No início da década de 90 surgiram no Brasil os primeiros trabalhos sobre metodologia de planejamento da Rede Óptica de Acesso.

Dall'Antonia [1991] propõe as topologias e configurações de atendimento a serem utilizadas numa Rede Óptica de Assinante. É feita uma análise comparativa entre as topologias propostas. **Dall'Antonia [1992]** apresenta recomendações para atualização tecnológica dos procedimentos e projeto de rede externa. Nesse artigo é apresentado o conceito de rotas estratégicas utilizado no presente trabalho. **Dall'Antonia & Cristofidis [1994]** apresentam de modo detalhado a conceituação das características básicas de Rotas Estratégicas, assim como os procedimentos de planejamento e projeto dessas rotas.

Além dos trabalhos acima citados, o Grupo de Trabalho em Rede Óptica de Assinante da Telebrás (GT-ROA), do qual participam várias empresas operadoras do STB, produziu até o presente momento as seguintes práticas sobre o assunto:

- Atualização Tecnológica dos Procedimentos de Planejamento e Projeto da Rede de Assinante (**Prática SDT-210-120-102**). Nesse documento são estabelecidas as diretrizes para o planejamento e projeto da rede de assinantes, considerando-se a utilização de fibras ópticas, tecnologia digital e capacitação para prestação de novos serviços.
- Planejamento de Rotas Estratégicas para Atendimento de Grandes Clientes (**Prática SDT-210-001-102**). O objetivo desse documento é estabelecer, em nível de planejamento, os critérios para atendimento de grandes clientes utilizando Rotas Estratégicas.
- Conceitos de Rede Óptica Primária (**Prática SDT-210-120-1XX**). O documento descreve os principais conceitos utilizados na ROP, as topologias possíveis, as tecnologias e tipos de equipamento utilizados. É apresentada também a filosofia de aplicação da ROP.

3.3 Modelos de Análise Econômica

Durante a realização do planejamento de uma Rede Óptica de Acesso, o planejador poderá gerar várias soluções, utilizando diferentes topologias, arquiteturas e equipamentos. Para decidir qual é a melhor solução em termos econômicos não basta considerar o custo total de implantação da rede. Deverão ser considerados outros aspectos, tais como inflação prevista para o período de planejamento, taxa de juros, evolução dos custos de dispositivos utilizados na rede, redução dos custos operacionais e receita estimada. Para considerar esses aspectos é necessário a utilização de modelos de análise econômica.

Reed & Sirbu propõem um modelo de análise econômica cuja função é determinar uma estratégia ótima de investimento para implantação de uma Rede Óptica de Assinante. Ele é dividido em três partes: na primeira é feita uma previsão da evolução dos custos de equipamentos no período considerado (20 anos). É calculado então o custo de instalação para diferentes cenários evolutivos. Finalmente, através de um modelo de programação dinâmica, é determinado a estratégia ótima de investimento, considerando a evolução dos custos dos diversos dispositivos a serem utilizados na rede (equipamentos, cabos, acopladores, etc.), previsão de demanda e taxa de inflação esperada.

Um outro modelo é apresentado por **Malley & Tonguz**. O artigo propõe um modelo de composição de custo da rede. Esse modelo é aplicado em diferentes cenários estudados, os quais utilizam diferentes topologias e tecnologias de equipamento. A partir do custo total de cada cenário, é feita uma análise econômica com o objetivo de se determinar quando e com

que grau de penetração esses cenários se tornam viáveis. São apresentados os indicadores econômicos utilizados e a equação de fluxo de caixa.

3.4 Modelos de Dimensionamentos de Rede e Equipamento

A quantidade de artigos apresentando modelos matemáticos para dimensionamento da rede foi bem menor que a quantidade de artigos relacionados com os itens 3.2 e 3.3.

Em 1986, a Nippon Telegraph and Telephone Corporation (NTT) publicou na "Review of the Electrical Communications Laboratories" (volume 34, número 1) alguns artigos que apresentavam modelos para o planejamento e construção de rede de acesso usando cabos ópticos.

Y.Yamamoto et alii apresentam um sistema para construção de uma rede de acesso utilizando cabos ópticos chamado PAOS (Plant Administration and Operating System for subscriber optical fibre cable network). São descritos métodos heurísticos de dimensionamento ótimo das áreas de serviço, de cabos na rede de alimentação e distribuição.

H. Yamamoto et alii descrevem um método para instalação econômica de rede, durante seus primeiros estágios. É apresentado um modelo matemático de Programação Dinâmica para elaboração de uma estratégia ótima de instalação dos cabos, considerando o crescimento da demanda e o decréscimo dos custos de cabos de fibra óptica e dos dispositivos ópticos utilizados. O modelo determina um cronograma de instalação da rede, para um determinado período de planejamento.

Oikawa et alii apresentam um modelo de estimativa de crescimento da demanda e também um modelo para localização ótima de armários de distribuição e dimensionamento das seções de serviço.

Nesses artigos observamos que a metodologia de planejamento da NTT considera a utilização somente da topologia estrela simples. Consequentemente, os modelos apresentados procuram a otimização da rede de fibra.

Nos artigos mais recentes, citados a seguir, são propostas outras topologias, existindo uma preocupação maior com os custos dos equipamentos de transmissão e comutação a ser utilizado na rede.

Salasoo & Sanice descrevem o módulo de planejamento (PLAN) de uma ferramenta do Bellcore chamada LEIS System, cuja função é auxiliar os planejadores na escolha da tecnologia de transmissão (cobre, fibra e PCM de assinante). Ele destaca a necessidade de utilização de modelos matemáticos para escolha ótima de equipamentos e descreve o método de resolução utilizado pelo PLAN, o qual é dividido em quatro etapas. Na primeira, é proposto um modelo de representação dos equipamentos. Na segunda etapa, dada a topologia da rede e a demanda por serviços ao longo do período considerado, é feita uma escolha econômica dos locais a serem atendidos por fibra óptica. Na terceira etapa são dimensionadas, para cada subperíodo considerado, as capacidades dos equipamentos multiplexadores utilizados. Esse dimensionamento é feito com auxílio de um algoritmo de programação dinâmica. Na última etapa é feito o dimensionamento de cabos utilizando-se também um algoritmo de programação dinâmica. O custo obtido nas soluções com a implementação do PLAN foi, em média, 20% menor quando comparado com as soluções manuais propostas pelos planejadores.

Os artigos a seguir estão relacionados com o planejamento da rede alimentadora. Eles apresentam modelos para localização ótima de estágios remotos na rede.

Em 1992 a GTE Corporation, apresentou um sistema de planejamento de rede de alimentação chamado NETCAP (NETwork Computer Aided Planning). Esse sistema auxilia o planejador na localização e dimensionamento de estágios remotos na rede externa e também propõe um cronograma ótimo de implantação. O modelo, apresentado por **Jack et alii** e **Shulman & Vachani [1993]**, na formulação original é um problema de programação linear inteira mista. Devido à sua complexidade, a resolução do mesmo é dividida em duas etapas.

A partir dos artigos do NETCAP, **Freitas** propõe uma alternativa de automatização do planejamento da rede de alimentação utilizando-se um sistema chamado PLANAL. A principal função do sistema é auxiliar o planejador na localização e definição de dimensionamento de unidades remotas na rede externa. A resolução do problema é feita em duas fases: Planejamento Estático e Dinâmico. No Planejamento Estático define-se a configuração das unidades remotas no horizonte final de planejamento. O Planejamento Dinâmico visa definir a forma como a rede vai evoluir da rede presente até o ano horizonte,

considerando os períodos intermediários. O PLANAL é um protótipo desenvolvido para fins acadêmicos. Com algumas adaptações, ele poderá se tornar uma ferramenta importante para auxiliar as empresa operadoras no planejamento da Rede Óptica Primária.

3.5 Ferramentas de Planejamento de Rede Óptica de Acesso

Além das ferramentas citadas no item anterior, encontramos artigos específicos apresentando ferramentas de planejamento de Rede Óptica de Acesso.

Em 1994 o Bellcore lançou uma ferramenta de planejamento de Rede Óptica de Acesso chamada OPTIACCESS, a qual é apresentada por **Eiger [1994]**. Ela pode ser utilizada para o planejamento de diferentes tipos de arquitetura de rede, incluindo rede óptica primária, rede de CATV utilizando cabo coaxial ou rede mista (fibra e coaxial). Refletindo o que foi colocado nos artigos do Bellcore, a ferramenta possui recursos para realizar análises econômicas. Além de calcular os custos de instalação da rede em uma ou várias etapas, é possível considerar a curva de ganho de escala (The Learning Curve), a taxa de inflação média e a taxa de juros do período de estudo. A ferramenta não utiliza modelos matemáticos de otimização para construção das topologias. Para as futuras versões está prevista a utilização desses modelos na localização de amplificadores na rede de CATV.

O consórcio do mercado comum europeu denominado RACE (Research and Development in Advance Communication Technology in Europe), do qual participam as empresas operadoras, desenvolveu uma ferramenta de planejamento denominada TITAN (Tool for Introduction scenario and Techno-economic evaluation of Access Network - RACE 2087 project). Uma descrição superficial e aplicação da TITAN é feita por **Olsen et alii**. Seu principal objetivo é planejar os seguintes tipos de rede de acesso: cobre, fibra e celular fixa. É possível considerar vários tipos de topologia, tecnologias e evolução de serviços. Ela utiliza um modelo geográfico para simular o "layout" da rede e dimensionar os cabos. A partir de informações de receita (estimada pelas previsões de demanda e tarifa) e evolução de custos, a ferramenta possui recursos para realizar uma análise econômica detalhada do investimento a ser realizado. O artigo apresenta os resultados de um estudo de caso considerando quatro tipos de topologia: cobre convencional, dupla estrela passiva com configuração de atendimento FTTC, dupla estrela passiva com configuração de atendimento FTTB e celular fixa.

Combes & Mariton apresentam uma metodologia de avaliação de cenários de Rede Óptica de Acesso utilizada na France Télécom. Ela é suportada por sistema computacional que pode ser utilizado como uma ferramenta de simulação ou dimensionamento. No primeiro caso, o planejador pode propor e comparar vários cenários utilizando, por exemplo, diferentes equipamentos de transmissão ou topologias. No segundo caso a ferramenta pode, para um determinado cenário, determinar a localização dos concentradores, utilizando algoritmos específicos de localização e otimização. Os dados de entrada da ferramenta são fornecidos e atualizados pelas bases de dados da France Télécom Information System. A rede é representada por um modelo composto por sete camadas: localização geográfica dos edifícios, dutos, cabos e canais de rádio, meios de transmissão, sistemas, roteamento e serviços.

3.6 Comentários Finais sobre o Levantamento Bibliográfico

Nos últimos 10 anos foram publicados vários trabalhos sobre planejamento de redes de acesso. A maioria desses tratam de questões relacionadas a metodologia de planejamento da Rede Óptica de Acesso. A partir de 1992 observamos um acréscimo no número de publicações sobre modelos e ferramentas de planejamento. Vale ressaltar que os artigos sobre modelos matemáticos raramente apresentam as formulações utilizadas. Em geral esses artigos descrevem de maneira superficial o modelo utilizado e, em alguns casos, citam qual foi a técnica de resolução utilizada.

Desse levantamento podemos concluir que existe dificuldade de se realizar o planejamento das Redes Ópticas de Acesso. Como causas dessa dificuldades, podemos destacar:

- Existência de várias opções de arquiteturas, topologias e técnicas de transmissão;
- Dificuldade de se determinar a evolução dos custos de implantação da rede, assim como custos de operação e manutenção;
- Ampla indefinição quanto aos serviços a serem oferecidos e às receitas esperadas.

Esse ambiente de indefinição tem estimulado o desenvolvimento de ferramentas com abordagem de simulação e a utilização de modelos de análise econômica. A abordagem de simulação significa uma ferramenta com recursos gráficos e interface homem-máquina bastante amigável. Utilizando uma ferramenta com essas características, o planejador tem condições de elaborar rapidamente vários cenários para estudos comparativos. Os modelos de análise econômica auxiliam o planejador na realização dos estudos comparativos.

Uma ênfase menor tem sido dada aos modelos de dimensionamento de rede e equipamentos. Os modelos matemáticos a serem utilizados são, em geral, dependentes de custo e demanda. Segundo **Formigoni et alii [1994]**, as indefinições quanto a evolução dos custos e da demanda por novos serviços dificultam a elaboração de modelos matemáticos plausíveis. No caso específico de RE's, **Formigoni et alii [1995]** verificaram que o custo de equipamentos representa no mínimo 85% do custo total de implantação. Essa realidade nos estimulou a elaborar um modelo para dimensionamento ótimo de equipamentos na rede, o qual apresentamos no capítulo 6 desse trabalho. Esse modelo apresenta uma certa similaridade com os modelos apresentados por **Quaglia et alii** e por **Bortolon et alii**, onde os autores propõem modelos matemáticos para alocação de equipamentos de transmissão na rede de entroncamento local, considerando a utilização de anéis SDH bidirecionais. Como veremos no capítulo 6, no caso de Rotas Estratégicas, consideramos o uso de anéis SDH unidirecionais.

Capítulo 4

Topologias, Equipamentos e Tecnologias de Transmissão para Rotas Estratégicas

4.1 Introdução

Neste capítulo descrevemos as principais características das Rotas Estratégicas (RE's). Apresentamos quais as topologias, os equipamentos e tecnologias de transmissão que poderão ser utilizados nas RE's.

4.2 Topologias Previstas e Configuração de Atendimento

Segundo a Prática Telebrás-210-001-102, estão previstas cinco topologias básicas de Rotas Estratégicas:

- Dupla Estrela Ativa
- Dupla Estrela Passiva
- Anel/Estrela
- Barramento/Estrela
- Estrelas Simples

As três primeiras topologias são idênticas às topologias de ROA apresentadas no item 2.7. As demais são apresentadas a seguir.

Barramento/Estrela

Como mostra a figura 4.1, nesta topologia os assinantes são conectados à central através de um barramento de fibra óptica. A conexão ao barramento é feita utilizando-se dispositivos ópticos passivos, denominados acopladores ópticos 1/2. Os equipamentos ativos estarão localizados na Unidade de Central (UC) e nas Unidades de Assinante (UA's). Essa topologia apresenta limitações quanto ao número de assinantes a serem atendidos em função da perda de potência óptica gerada em cada acoplador. O acoplador 1/2 tipo fusão apresenta uma perda aproximada de 3 db. A tecnologia atualmente utilizada nesse tipo de topologia (TDM/TDMA) apresenta limitações na evolução para serviços faixa larga.

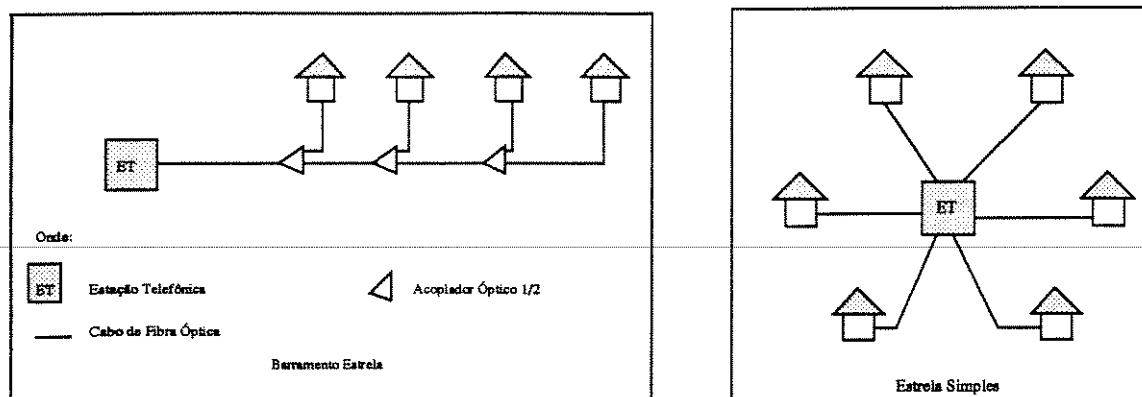


Figura 4.1 - Topologias da RE

Estrela Simples

Na topologia Estrela Simples (figura 4.1) os usuários são conectados diretamente à central utilizando fibras dedicadas. Ela apresenta um elevado consumo de fibras, conectores, detectores e fontes ópticas. Suas características não possibilitam alívio na infraestrutura de prédios e dutos. Em contrapartida ela possui elevada flexibilidade para introdução de novos serviços e novas tecnologias. Como os sinais são transmitidos em linhas dedicadas, a topologia oferece elevada privacidade e segurança aos assinantes. Prevê-se que essa topologia será utilizada em RE's com pequeno número de assinantes, os quais estarão localizados próximos à estação telefônica.

Escolha da Topologia da Rota Estratégica

O planejador poderá escolher uma das topologias apresentadas ou criar uma topologia mista, utilizando duas ou mais topologias básicas. Na escolha da topologia deverão ser considerados:

- A demanda atual e futura dos grandes clientes, uma vez que a topologia pode apresentar limitações quanto ao crescimento da demanda ;
- Os serviços a serem oferecidos, uma vez que a tecnologia de transmissão poderá oferecer limitações ao atendimento de novos serviços;
- A infraestrutura existente, tais como a rede de dutos ociosa e a necessidade de ampliação na estação telefônica (sala de transmissão e túnel de cabos);
- Necessidade de criação de rotas alternativas.

Configuração de Atendimento

Independentemente da topologia escolhida, a única configuração de atendimento prevista para as RE's é a Fiber-to-the-Office (FTTO). Nesse tipo de configuração a fibra óptica chega às dependências do assinante assegurando uma grande flexibilidade de serviços, alta confiabilidade e alto desempenho. Nas dependências do usuário poderão ser utilizadas uma das três subclasses da FTTO: FTTB (Building), FTTB (Business) e FTTR (Riser).

4.2 Equipamentos Utilizados

Nas RE's prevê-se a utilização de equipamentos na estação telefônica, nos estágios remotos (topologias ativas) e nas dependências dos grandes assinantes.

a) Unidade de Central (UC)

Para cada RE existirá um equipamento ativo localizado na estação telefônica, denominado Unidade de Central (UC). Suas principais funções são:

- Interface com uma ou mais centrais localizadas na estação telefônica: a UC receberá os sinais provenientes da central e os converterá para o modo de transmissão apropriado, o qual dependerá da tecnologia de transmissão escolhida. No sentido contrário, a UC receberá os sinais provenientes dos grandes assinantes (no caso de estrela simples) ou dos estágios remotos e fará a conversão para as taxas compatíveis com as centrais. Segundo a **Prática Telebrás 235-001-607**, a UC deverá prover os seguintes tipos de interface:
 - Analógica com 2 e 4 fios;
 - Digital em 64 e 2048 Kbps.
- Conversão opto-elétrica dos sinais: os sinais elétricos proveniente da central de comutação são convertidos em sinais ópticos e os sinais ópticos provenientes dos Estágios Remotos ou dos Grandes Clientes são convertidos em sinais elétricos.

Esses equipamentos deverão possuir os mesmos parâmetros físicos de climatização e alimentação utilizados pelos equipamentos instalados na estação telefônica.

b) Unidade de Estágio Remoto (ER)

Com exceção da topologia estrela simples, as demais topologias utilizarão ER's. Para as topologias Anel/Estrela e Dupla Estrela Ativa os estágios remotos utilizarão dispositivos ativos, necessitando de alimentação elétrica. Nas topologias Dupla Estrela Passiva e Barramento Estrela os estágios remotos utilizarão dispositivos ópticos passivos.

Estágios Remotos Ativos

Dependendo da tecnologia utilizada um ER ativo poderá ter funções de multiplexação ou de comutação. Ele deverá abrigar equipamentos para realizar a conversão opto-elétrica na conexão ER-UA, ER-UC e ER-ER. Dependendo dos equipamentos utilizados poderá ser necessária a utilização de equipamentos de climatização. A alimentação deverá ser feita em corrente alternada comercial local com sistemas de reserva de energia com autonomia mínima de 8 horas. A figura 4.2 mostra um exemplo de ER ativo utilizado equipamentos de tecnologia PDH e SDH.

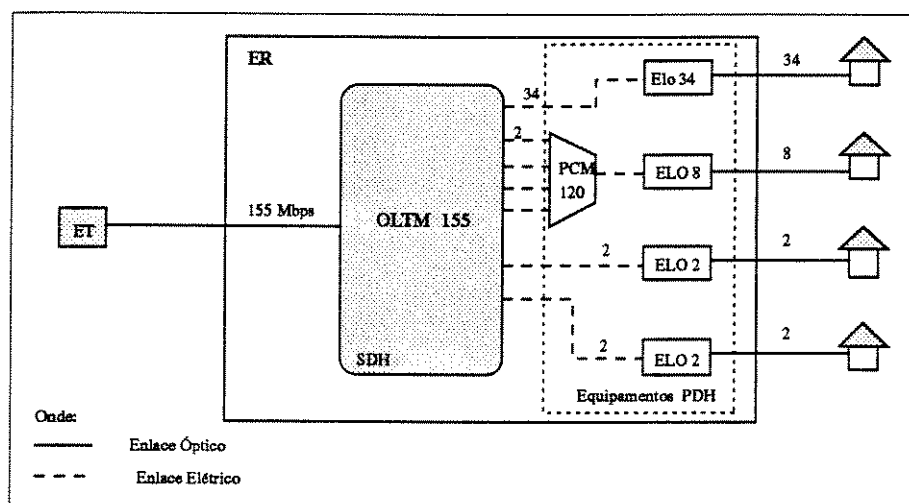


Figura 4.2 - Estágio Remoto Ativo

Estágios Remotos Passivos

Nas RE's poderão ser utilizados dois tipos de dispositivos ópticos passivos: acopladores ópticos e Mux/Demux ópticos. Os acopladores ópticos ou "splitters" são dispositivos divisores de potência óptica. Como mostra a figura 4.3, os acopladores permitem interligar uma fibra óptica com duas ou mais fibras.

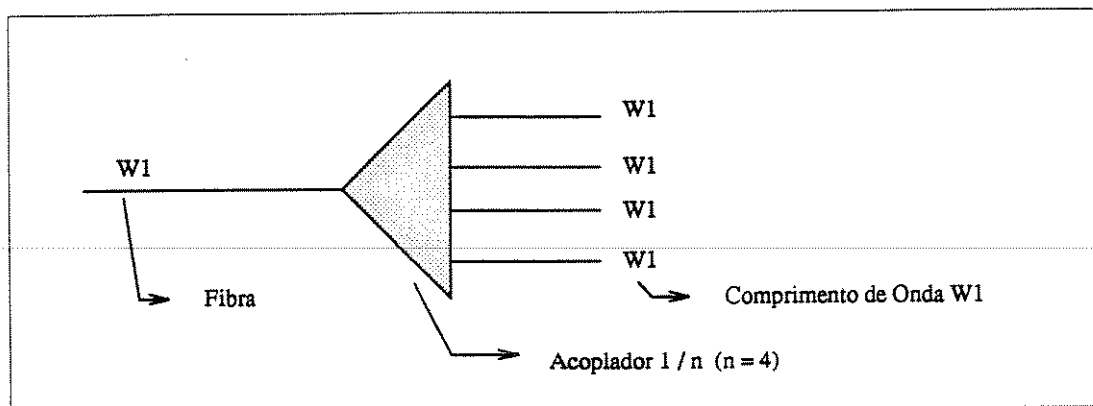


Figura 4.3- Acoplador Óptico

Mux/Demux Óptico

Os Mux/Demux óptico são componentes divisores de comprimento de onda. Atualmente eles possuem custos superiores aos acopladores. Como mostra a figura 4.4, um feixe de luz contendo vários comprimentos de onda é dividido no Mux/Demux e encaminhado para diferentes fibras, onde cada uma receberá um feixe de luz com um comprimento de onda específico.

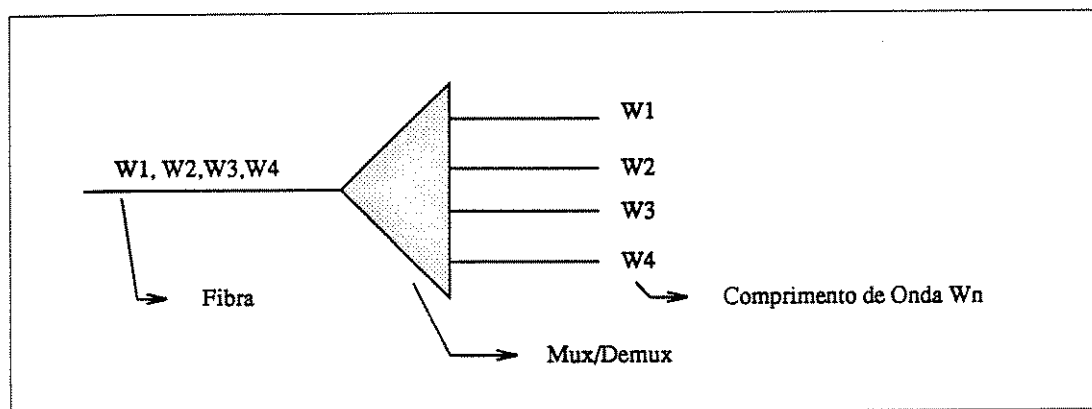


Figura 4.4 - Mux/Demux Óptico

c) Unidade de Assinante (UA)

A UA é o equipamento opto-eletrônico instalado nas dependências do assinante. As principais funções da UA são: fazer a conversão opto-elétrica do sinal óptico proveniente do ER ou UC (no caso da topologia Estrela Simples) e prover acesso digital ao assinante. A UA deverá possuir um empacotamento mecânico compacto, não necessitar de climatização e deverá permitir alimentação em corrente alternada nos níveis de tensão comerciais. Será necessário um banco de baterias para garantir reserva de energia com autonomia mínima de 8 horas. O tipo de interface a ser fornecida para o assinante dependerá do serviço utilizado. Para oferecer maior flexibilidade no atendimento do

crescimento de demanda, recomenda-se que essa taxa seja superior a 2048 Kbps (no enlace óptico).

4.3 Tipos de Tecnologia

As Empresas Operadoras estão prevendo o emprego das seguintes tecnologias nas RE's: PDH, SDH, TDM/TDMA e ATM. A seguir são feitas considerações sobre cada tecnologia.

a) PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)

Características

Os sistemas PDH realizam a transmissão de sinais digitais e foram desenvolvidos para otimizar a utilização dos pares metálicos na rede de entroncamento. Segundo **Omidyar & Aldrige**, o primeiro PCM surgiu em 1965 em Holmdel, New Jersey/USA. Sua capacidade era de 24 canais e a taxa de transmissão era de 1.544 Mbps. Em 1968 os europeus anunciaram uma nova padronização onde a capacidade do PCM era de 32 canais e a taxa de transmissão de 2.048 Mbps.

Esses sistemas baseiam-se na técnica de multiplexação por divisão no tempo (TDM) de sinais plesiócronicos e atualmente possui várias hierarquias. A padronização do antigo CCITT, adotada pelo Brasil, possui as seguintes hierarquias:

Nome da Hierarquia	Capacidade (No. Canais de 64 Kbps)	Taxa de Tx (Mbps)
E1	30	2.048
E2	120	8.448
E3	480	34.368
E4	1920	139.264

Atualmente existem equipamentos não padronizados de hierarquia E5 com capacidade de 7680 canais e taxa de transmissão de 565.148 Mbps. Um outro equipamento não padronizado é o PCM 2/34 ou duplo salto, o qual possuiu 16 tributários de 2.048 Mbps e um agregado de 34.368 Mbps.

Um sistema PDH é composto basicamente por dois tipos de equipamentos:

- **Multiplexadores:** são responsáveis por agregar os tributários em hierarquias superiores. Com exceção do PCM 2/34 que possui 16 tributários, os multiplexadores

PDH possuem 4 tributários independente da hierarquia. Exemplo: um multiplexador de hierarquia E2 tem capacidade para atender até 4 tributários de hierarquia E1.

- *Equipamentos de Linha Ópticos (ELO's)*: são responsáveis pela conversão opto-elétrica dos sinais.

Considerando uma RE com tecnologia PDH, serão necessários os seguintes tipos de equipamentos na rede:

- Equipamentos PDH na UA e UC: um ELO e um ou mais multiplexadores PDH em cada ponta do enlace.
- Equipamentos PDH no ER: será necessário um ELO para cada conexão ER-UA e ER-UC e multiplexadores.

Aplicações

Equipamentos PDH podem ser aplicados em topologia Anel/Estrela, mas a aplicação típica desse tipo de tecnologia são as topologias Estrela Simples e Dupla Estrela Ativa. Segundo Formigoni et alii (1995), grande parte dos assinantes de RE apresentam atualmente demandas inferiores a 51 Mbps. Como a menor hierarquia do SDH é 155 Mbps, os equipamentos PDH poderão ser largamente utilizados nas conexões UA-ER e UA-UC, uma vez que eles possuem hierarquias com menores taxas de transmissão.

b) SDH (Synchronous Digital Hierarchy)

Características

A tecnologia SDH foi proposta pelo Bellcore em 1984. Segundo Malavazi, um dos principais objetivos da criação do SDH era obter uma interface óptica compatível entre os diferentes fabricantes de equipamentos de transmissão, com facilidades de inserção e derivação de feixes mais simples que o PDH. As principais características do SDH são:

- Trabalha com sinais síncronos;
- Unifica os padrões europeu e americano;
- Pode utilizar fibra óptica ou rádio como meio de transmissão;
- Utiliza inteligência nos multiplexadores permitindo oferecer facilidades de gerenciamento da rede;
- Compatível com os quadros PDH;
- Compatível com as técnicas ATM;

- Compatibilidade entre fornecedores de equipamentos terminais;
- Acesso direto aos tributários de baixas velocidades (2 Mbps, por exemplo), não havendo necessidade de passar por estágios intermediários.

A padronização do ITU-T, a qual foi adotada pelo Brasil, prevê três níveis de hierarquia para os equipamentos SDH. Nos Estados Unidos a tecnologia de transmissão síncrona, denominada Synchronous Optical NETWORK (SONET), possui uma padronização diferente, com 8 níveis hierárquicos. A tabela a seguir mostra as hierarquias dos dois padrões.

Hierarquia SONET	Hierarquia SDH	Taxa (Mbps)	Capacidade (em feixes de 2Mbps)
OC-1	-	51.840	21
OC-3	STM-1	155.520	63
OC-9	-	466.560	189
OC-12	STM-4	622.080	252
OC-18	-	933.120	378
OC-24	-	1.244.160	504
OC-36	-	1.866.240	756
OC-48	STM-16	2.488.320	1008

Segundo Nakamura et alii existem atualmente 4 tipos de equipamento SDH:

- *Terminal Multiplexer (TM) ou Optical Line Terminal Multiplexer (OLTM)*: é um multiplexador que pode ser utilizado em ligações ponto a ponto e nas extremidades de ligações em cadeia. O agregado pode ter hierarquia STM1, STM4 ou STM16. Ele possui interfaces para aceitar tributários PDH ou SDH. Um OLTM com agregado STM1 pode oferecer acesso nas seguintes taxas: 2 (até 63 portas), 34 (até 3), 45 Mbps (até 3) .
- *Add-Drop Multiplexer (ADM)*: é um equipamento multiplexador utilizado em ligações tipo anel ou como nó interno de uma cadeia. Sua principal característica é a capacidade de adicionar e extrair os canais digitais individuais de um sinal multiplexado em SDH de hierarquia mais alta, sem necessidade de demultiplexar o sinal inteiro.
- *Roteador Síncrono (SDXC)*: atua como nó de rede e substitui equipamentos multiplexadores. São equipamentos utilizados em pontos da rede onde é necessária alta flexibilidade no roteamento de tráfego. Em função dessas características, acredita-se ele não será usado nas RE's.

- *Regenerador*: sua principal função é regenerar os sinais de linha degradados devido à transmissão no meio físico. Considerando que as distâncias UA-ER, UA-UC, ER-ER e ER-UC não serão grandes, esse equipamento não será usado com frequência nas RE's.

Aplicações

Segundo a *Prática Telebrás 235-001-607*, a tecnologia SDH pode ser utilizada em qualquer das topologias apresentadas. Porém um melhor aproveitamento de suas potencialidades é feito quando aplicado a topologia Anel/Estrela com equipamentos Add/Drop nos nós. Sua utilização em RE's permitirá, em médio e longo prazo a integração da rede de acesso à de transporte, a qual evoluirá para a tecnologia síncrona.

Em função das taxas de transmissão das hierarquias SDH, prevê-se uma aplicação conjunta das tecnologias PDH e SDH. Em enlaces de baixa velocidades, como por exemplo os acessos aos nós do anel SDH, poderá ser mais viável a utilização de sistemas PDH.

Um trabalho apresentando a utilização de anéis SDH auto-reconfiguráveis na rede de acesso é feita por Sosnosk. Numa das topologias propostas, o autor prevê a utilização de anéis SDH interligando os ER's e a central de comutação. Nesse tipo de topologia existe proteção contra rupturas de cabos no anel, mas não contra falhas na central, a qual é viabilizada com outra topologia apresentada na figura 4.5. Nesta topologia existe um anel principal interligando as centrais locais e vários anéis secundários, denominados anéis de acesso, interligando os ER's. A interligação entre os anéis é feita por dois nós, utilizando-se ADM's ou SDXC. Se ocorrer falha em uma das centrais, uma ou mais centrais assumirão a comutação desta. Segundo o autor, esse tipo de arquitetura elimina a fronteira entre a rede de acesso e a de entroncamento local.

Segundo Labelle et alii, o uso de conexões ponto a ponto na rede de acesso é conflitante com as atuais necessidades de maior "sobrevivencialidade" de rede. Ele propõe a utilização de anéis SDH unidirecionais na rede de acesso, utilizando uma topologia semelhante a apresentada por Sosnosky. Nessa topologia participam do anel SDH os ER's e duas centrais de comutação. Ocorrendo falha em uma das centrais a outra assume integralmente as função de comutação, atendendo todos os ER's do anel.

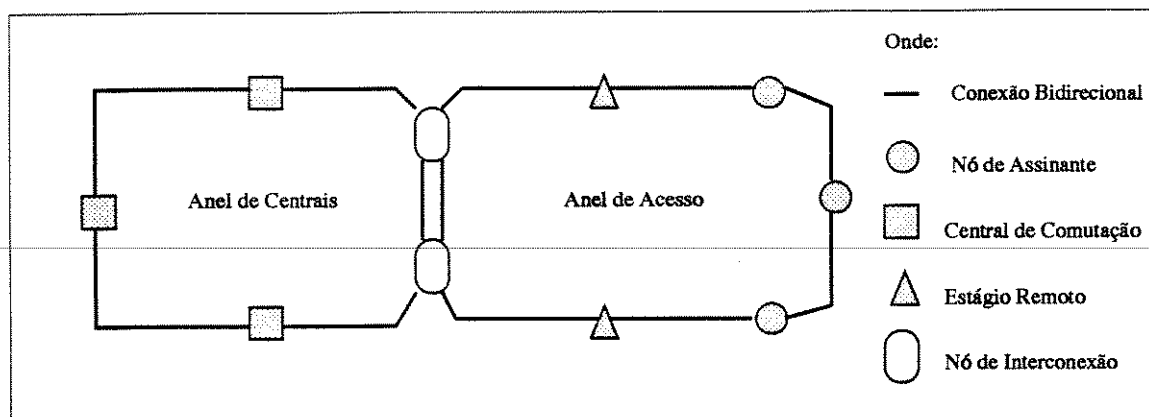


Figura 4.5 - Arquitetura Duplo Anel

c) TDM/TDMA (Time Division Multiplexing/Time Division Multiple Access)

Nessa tecnologia os sinais provenientes da central são multiplexados no tempo e colocados em quadros TDM (Time Division Multiplexing) e enviados a todos os assinantes participantes da RE. No sentido contrário, nos assinantes os sinais são multiplexados no tempo e colocados num quadro denominado TDMA (Time Division Multiple Access). O quadro TDMA é compartilhado por todos os assinantes, onde cada um possui um espaço específico no quadro para enviar o seu sinal. Esse espaço é denominado surto e sua capacidade (quantidade de bits reservada) estará associada com os serviços demandados pelo assinante. A taxa de transmissão no sentido UC-UA e UA-UC é a mesma. Consequentemente a quantidade de bits dos dois quadros também será a mesma.

Segundo Clarke et alii, na tecnologia TDM/TDMA o bom desempenho do sistema é associado às características básicas dos quadros, ou seja: a taxa de transmissão e a estrutura de quadros utilizada

Um dos aspectos mais delicados desses sistemas é o sincronismo necessário entre o equipamento localizado na central e os equipamentos terminais. Cada equipamento terminal deverá escrever no tempo correto a quantidade de bits que lhe é reservada no quadro TDMA, caso contrário haverá superposição de surtos no quadro. No quadro TDM o equipamento terminal deverá estar perfeitamente sincronizado com o sistema para fazer as leituras corretas dos surtos que lhes são destinados.

Além dos acopladores ópticos passivos, localizados nos ER's, existem basicamente dois tipos de equipamentos a serem utilizados na rede:

- *Equipamento de Central (Head-End)*: é um equipamento localizado na estação, responsável pela interface entre a central de comutação e a RE. Ele recebe os sinais da central, os quais são multiplexados em quadros TDM e convertidos em sinais ópticos a serem enviados para os assinantes. No sentido contrário, o equipamento converte o sinal óptico em elétrico, transforma os surtos do quadro TDMA em sinais possíveis de serem enviados para a central. Ele realiza também as funções de sincronismo, gerenciamento e controle do sistema.
- *Terminais Remotos*: são equipamentos compactos a serem instalados nas dependências dos assinantes. Além de realizar a conversão opto-elétrica dos sinais, ele recebe o quadro TDM da central e seleciona os surtos de controle e dados que lhes são destinados. Os surtos de dados são enviados para as unidades de interfaces onde são convertidos em sinais a serem entregues para o usuário. No sentido contrário o terminal remoto recebe os sinais do usuário (voz e dados, por exemplo) e os converte em surtos que são inseridos no quadro TDMA.

Aplicações

Segundo a Prática Telebrás 235-001-607, esse tipo de tecnologia foi desenvolvido para topologias que estejam baseadas em derivações ópticas passivas, ou seja as topologias Dupla Estrela Passiva e Barramento/Estrela. O relatório PD.33.RS.EAA.0009A/RT-01-AA (Topologias e Configurações Preferenciais de Rede Óptica de Assinante) coloca que essa tecnologia tem se mostrado mais apropriada para a transmissão de sinais de telefonia básica, dados e RDSI- Faixa Estreita. No caso de sinais de faixa larga é necessário empregar um esquema auxiliar para aumentar a capacidade de escoamento dos enlaces. Isso ocorre porque a taxa efetiva destinada a cada assinante é muito menor que a taxa de transmissão do sistema. Quanto maior o número de assinantes atendidos menor será a quantidade de bits reservada para cada um nos quadros TDM/TDMA, ou seja menor será a capacidade de transmissão média de cada assinante. Como exemplo, podem ser citados os sistemas atuais de topologia Dupla Estrela Passiva, em que as taxas de transmissão são superiores a 20 Mbps mas os assinantes recebem canais de 64 ou 144 Kbps.

Considerando que nas RE's os assinantes deverão demandar taxas superiores a 2 Mbps, não são esperadas aplicações frequentes da tecnologia TDM/TDMA. Segundo MacGregoret alii, ela deverá ser utilizada com bastante frequência na ROA, pois a utilização de acopladores passivos nos ER's e a possibilidade de oferecer os serviços

RDSI-FE e serviços faixa larga unidirecional (CATV, por exemplo) farão com que essa tecnologia se mostre bastante competitiva para essa aplicação.

d) ATM (Asynchronous Transfer Mode)

A tecnologia ATM é um modo de transferência de informação concebido para suportar os serviços previstos na RDSI-FL. Ele é baseado na multiplexação de conexões virtuais, e utiliza a técnica de divisão de tempo assíncrona e comutação de pacotes de células de tamanho fixo. Os sinais de voz, dados e vídeo são transformados em pacotes, os quais trafegarão na rede ATM. Na rede existirão multiplexadores estatísticos e centrais de comutação de pacotes de altíssima velocidade. As principais características da tecnologia ATM são:

- Possibilita a alocação dinâmica de banda em função dos serviços transportados;
- Possui protocolos simples sem controle de fluxo, favorecendo a comutação de pacotes em alta velocidade. Em contrapartida, pode apresentar perdas de células em sobrecarga e na presença de taxas de erro excessivas;
- Apresenta independência temporal entre a fonte de informação e a rede de transporte;
- Possui facilidade de integração da transmissão e da comutação;
- Pode ser utilizado em qualquer meio de transmissão;
- Realiza otimização de recursos na rede através da multiplexação estatística dos enlaces.

Aplicações

A Prática Telebrás 235-001-607 prevê que esse tipo de tecnologia poderá ser aplicada a qualquer uma das topologias previstas, mas apresenta maiores vantagens nas topologias que empregam estágio remotos ativos. Neste caso os estágios remotos atuariam como multiplexadores estatísticos, sendo bastante apropriados para a transmissão de dados.

Segundo Hong et alii, a rede de acesso é considerada parte essencial da rede ATM. Em seu artigo ele propõe, para uma fase introdutória da tecnologia ATM a utilização de uma estrutura híbrida na rede de acesso, incorporando as topologias em anel e estrela simultaneamente. Como mostra a figura 4.6, a rede seria composta basicamente por um nó principal ATM, o qual faz a conexão com a central de comutação, nós de anel onde os anéis são conectados ao nó principal e nós de concentração (Estágios Remotos)

conectados diretamente ao nó principal. O nó principal realiza funções de comutação em pequena escala e também concentração e distribuição de tráfego.

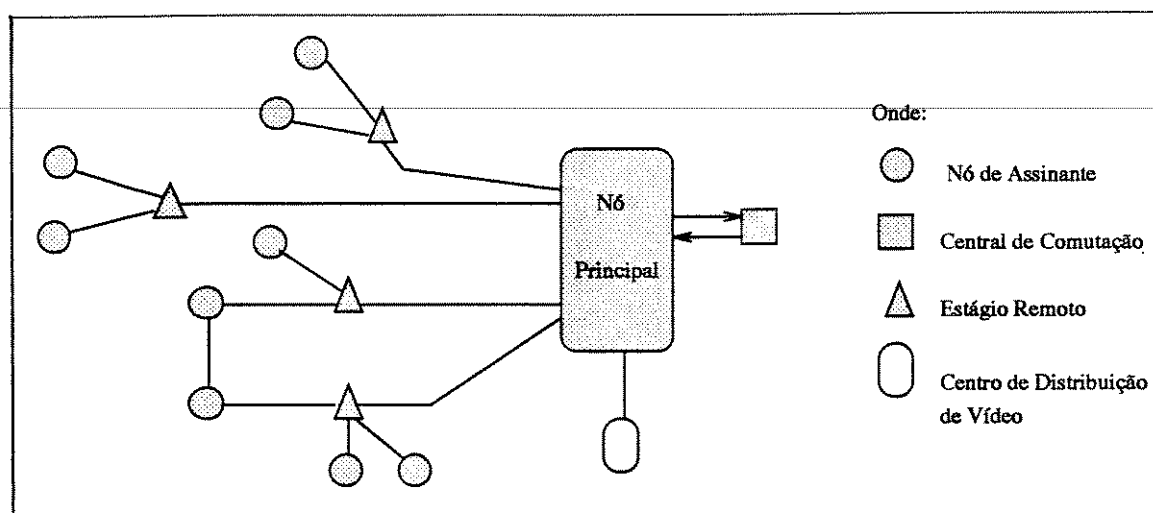


Figura 4.6 - ATM no Rede de Acesso

Uma aplicação utilizando a topologia dupla estrela passiva é descrita por **Chaffaut et alii**. Segundo os autores, conexões ponto a ponto e em anel são mais apropriadas para atendimento de grandes assinantes que necessitam de sistemas com alta disponibilidade. A aplicação da tecnologia ATM em dupla estrela passiva seria apropriada para atendimento de assinantes residenciais e comerciais de pequeno porte.

e) Considerações sobre WDM (Wave Length Division Mutiplex)

Características

Nessa tecnologia a informação é dividida em vários comprimentos de onda e transmitida numa única fibra óptica. Cada comprimento de onda poderá ser utilizado para transportar um tipo de serviço, ou ainda ser dedicado ao atendimento dos serviços de um assinante. Utilizando-se essa técnica, a capacidade da rede é aumentada sem necessidade de se elevar as taxas de transmissão.

Os sistemas WDM são atualmente classificados em baixa e alta densidade. Nos sistemas de baixa densidade a separação entre os comprimentos de onda é igual ou maior que 10nm. Nos de alta densidade a separação deve ser menor que 10nm e podem empregar diferentes técnicas de modulação da fonte óptica, como por exemplo a modulação coerente. Segundo o Relatório PD.33.RS.EAA.0001A/RT-01-AA (Rede Óptica de Assinante - Cenário de Longo Prazo), a utilização da modulação coerente viabilizaria o emprego de milhares de comprimentos de onda em uma mesma janela. Em contrapartida

necessitam de dispositivos opto-eletrônicos sofisticados que não apresentam, até o presente momento, desempenho adequado e custos suficientemente reduzidos para tornar esses sistemas viáveis.

Aplicação

Segundo a Prática Telebrás 235-001-607 essa tecnologia não será utilizada em RE's. Por ser uma tecnologia incipiente, o custo dos equipamentos utilizados ainda é alto. Como a RE foi concebida para ser instalada no curto prazo, o alto custo dos equipamento (Mux/Demux óptico, por exemplo) inviabilizam sua utilização .

Diferentemente da RE, a ROA será instalada no longo prazo e, conseqüentemente, haverá tempo para um amadurecimento dessa tecnologia, tornando-a viável em termos econômicos e técnicos. O Relatório PD.33.RS.EAA.0010A/RT-01-AA considera sua utilização nas topologias Anel/Estrela, Dupla Estrela Passiva e Ativa.

Capítulo 5

Metodologia de Planejamento de RE'S

5.1 Introdução

Neste capítulo apresentaremos uma metodologia de planejamento de Rotas Estratégicas. Baseado nesta metodologia, foi desenvolvida no Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Telebrás (CPqD) a Ferramenta de Planejamento de Rotas Estratégicas denominada PREST. No apêndice A.3 fazemos uma descrição sucinta dessa ferramenta.

5.2 Planejamento de Rotas Estratégicas - Descrição do Problema

Como colocado no Capítulo 2, as Rotas Estratégicas são dedicadas ao atendimento de grandes clientes, os quais demandam taxas iguais ou superiores a 2 Mbps. Uma RE deverá preferencialmente se restringir a uma área de estação. Todo tráfego gerado nas Unidades de Assinante (UA's) é encaminhado à estação telefônica. Não estão previstas ligações diretas entre os assinantes da mesma RE. Para realizar o planejamento da RE é necessário considerar os seguintes elementos da rede:

- *Nó de Estação Telefônica*: representa a localização geográfica da estação telefônica. Nele poderão ser alocadas uma ou mais Unidades de Central (UC). Cada RE possui uma UC.
- *Nó de Controle*: os pontos de controle representam as caixas subterrâneas e as caixas terminais da rede.
- *Nó de Estágio Remoto (ER)*: local onde será localizado o ER. Ele pode ser instalado num nó de assinante ou num nó de controle.
- *Nó de Assinante ou de Demanda*: localização geográfica do grande cliente ou do nó principal de uma concentração de assinantes. É o local onde será instalada a UA.
- *Arcos*: ligação subterrânea ou aérea entre dois nós da rede;

- Rede de *Canalização de Dutos Ociosos*: representa o conjunto dos arcos com um ou mais dutos ociosos.

A figura 5.1 mostra os elementos de rede de uma área de estação.

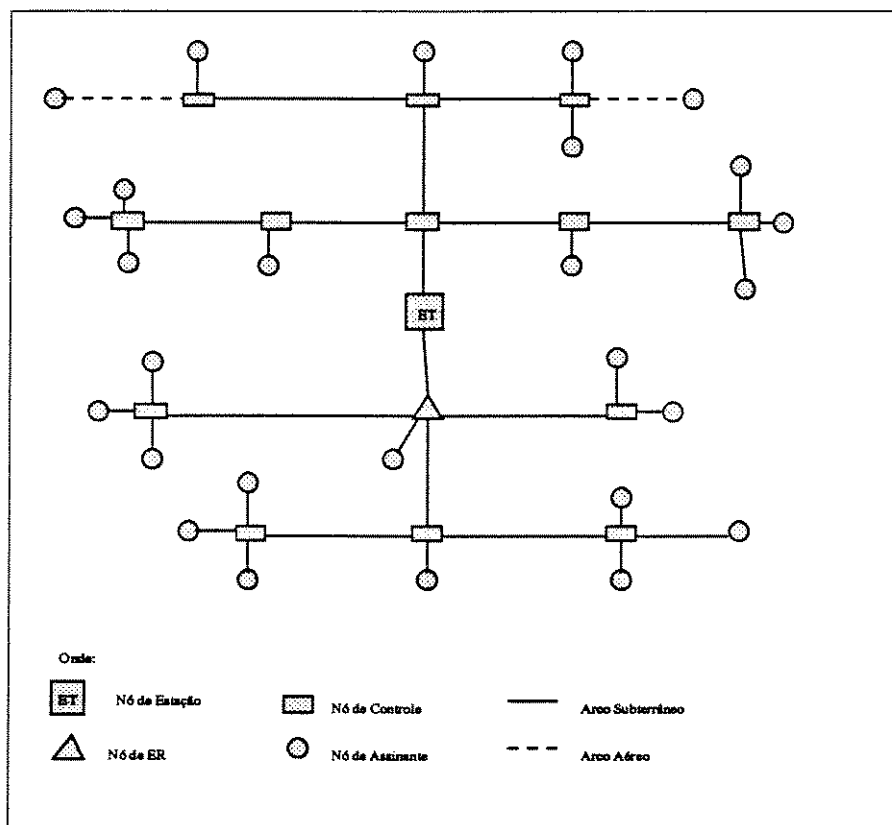


Figura 5.1 - Elementos da Rede

No planejamento completo de uma RE, o planejador deverá realizar os seguintes passos:

- Cadastramento dos dispositivos utilizados (equipamentos, cabos, dutos e subdutos) e dos serviços oferecidos;
- Inserção dos dados da rede;
- Localização e demanda dos assinantes;
- Definição da abrangência das RE's.

Para cada RE deverá ser realizado:

- Escolha da topologia e tecnologia de transmissão;

- Localização dos ER's;
- Definição das conexões entre UA's, ER's e UC;
- Dimensionamento dos equipamentos nas UA's, UC e ER's;
- Dimensionamento de cabos em cada arco;
- Ocupação de dutos ociosos e abertura de novos dutos nos arcos;
- Cálculo de custo;
- Estimativa de receita.

Para realizar essas atividades de forma organizada, propomos uma metodologia de planejamento da RE. Ela é composta por duas etapas onde são consideradas as atividades citadas acima. O item a seguir apresenta essas etapas.

5.3 Metodologia de Planejamento da RE

O planejamento de RE é dividido em duas etapas: cadastramento geral e realização de estudos.

5.3.1 Cadastramento Geral

No cadastramento geral são cadastrados os equipamentos, cabos, canalização de dutos, subdutos e serviços.

Cadastramento de Equipamentos

Deverão ser cadastrados os equipamentos de todas as tecnologias de transmissão, inclusive os equipamentos ópticos passivos. Nesse cadastro são fornecidas, dentre outras, as informações de capacidade e custo de cada equipamento.

Cadastramento de Cabos

Para cada cabo considerado são necessárias informações relativas ao custo, à capacidade (em número de fibras) e ao tipo (aéreo ou subterrâneo) de cabo.

Cadastramento de Canalização de Dutos

Deverá ser informado o custo fixo (custo de abertura e fechamento de vala), o custo variável (custo do duto) e também a capacidade (quantidade de dutos) de cada tipo da canalização.

Cadastramento de Subdutos

O subduto é um dispositivo feito de material plástico que é inserido dentro do duto. Ele possibilita o lançamento de até 4 cabos de fibra óptica no duto, permitindo um melhor aproveitamento da rede de dutos. No cadastro deverá ser informado o custo e a capacidade (número de bocas) do subduto.

Cadastramento de Serviços

Para cada serviço oferecido pela RE existe um canal associado, com uma certa taxa de transmissão. Nessa atividade é definida a receita gerada por canal de cada serviço. A tabela a seguir mostra a relação dos serviços oferecidos, a taxa de transmissão e a coluna onde deve ser declarada a receita mensal estimada.

Tipo de serviço	Unidade	Taxa de tx considerada	Receita Estimada
1. Voz Analógica	No. de canais	64 Kbps /canal	
2. Voz Digital	No. de canais	64 Kbps /canal	
3. Tronco Analógico	No. de troncos	64 Kbps /tronco	
4. Tronco Digital	No. de troncos	64 Kbps /tronco	
5. LP's de Voz	No. de LP's	64 Kbps /LP	
6. LP's de Dados < 64Kbps	No. de LP's	64 Kbps /LP	
7. LP's de Dados > 64Kbps	No. de LP's	n x 64Kbps /LP	
8. RDSI-FE acesso básico	No. de acessos	144Kbps/ acesso	
9. RDSI-FE acesso primário	No. de acessos	2048 Kbps /acesso	
10. Feixes de 2 Mbps	No. de feixes	2048 Kbps /feixe	

5.3.2 Realização de Estudos

A realização de um estudo é dividida em duas fases: inserção dos dados de rede e elaboração do cenário.

a) Inserção dos Dados de Rede

Nessa fase são inseridos os dados de rede representados na figura 5.1. Na inserção são realizados os seguintes procedimentos:

- Localização dos nós de controle;
- Localização da(s) estação(ões) telefônica(s);
- Localização dos nós de assinante com as respectivas demandas;
- Definição dos arcos;
- Definição dos pontos de concentração de assinante.

b) Elaboração do Cenário

Nesta fase o planejador deverá realizar:

- Definição das topologias das RE;
- Escolha da tecnologia de transmissão e dimensionamento de equipamentos;
- Dimensionamentos de cabos e canalização de dutos;
- Cálculo de custo;
- Estimativa de receita.

Definição de Topologia

Na definição da topologia de uma RE, o planejador deve realizar as atividades descritas a seguir.

Definição da abrangência de cada RE

Uma vez localizados os assinantes, a estação telefônica e as canalizações de dutos ociosas, é necessário definir a abrangência de uma RE. Em princípio todos os assinantes com taxa igual ou superior a 2 Mbps são candidatos a participar de uma RE. Para verificar a obrigatoriedade de atendimento do assinante com taxa superior a 2 Mbps, são realizados os seguintes procedimentos:

- Para cada rota alimentadora (definida no capítulo 2) da estação telefônica, deverá ser somada a demanda de cada assinante com taxa igual ou superior a 2 Mbps;
- Se o resultado da somatória for igual ou superior a 34 Mbps, esses assinantes deverão ser *obrigatoriamente* atendidos por uma rota estratégica;

- Se o resultado da somatória for inferior a 34 Mbps, caberá ao planejador decidir, a partir de considerações de receita e previsão de demanda, se os assinantes associados a ela, com demanda superior a 2 Mbps serão atendidos;
- Se um assinante possui demanda inferior a 2 Mbps, o planejador poderá associá-lo a um ou mais assinantes, criando pontos de concentração de assinantes, com demandas superiores a 2 Mbps.

A abrangência de uma RE pode contemplar uma ou mais regiões de rotas alimentadoras. O planejador deverá definir quantas RE serão implantadas e qual será a abrangência de cada uma.

Escolha da topologia

O planejador deverá definir qual a topologia utilizada em cada RE, considerando a distribuição geográfica dos assinantes, a capacidade de cada rota, a evolução de demanda esperada, a necessidade de rotas alternativas e os tipos de tecnologias disponíveis.

Localização dos Estágios Remotos (ER's)

Com exceção da topologia Estrela Simples, para as demais topologias será necessário localizar os ER's de cada RE. O planejador poderá localizar um ER sobre um nó de assinante (nó de demanda). A localização dos ER's deverá ser feita considerando a minimização do custo de instalação da rede, facilidade de instalação e aspectos de segurança da rede.

Definição das Conexões

Nessa atividade são definidas todas as conexões existentes em cada RE. Existem os seguintes tipos de conexão nas RE'S:

- UA-UC (para Estrela Simples e Anel/Estrela);
- UA - ER (Dupla Estrela e Anel/Estrela);
- ER - ER (Dupla Estrela e Anel/Estrela);
- ER - UC (Dupla Estrela e Anel/Estrela);
- UA - UA (Anel/Estrela).

Na definição de uma conexão deverá ser considerada a canalização de dutos ociosos, procurando-se evitar a abertura de novos dutos.

Escolha da Técnica de Transmissão e Dimensionamento dos Equipamentos

Cada RE terá uma técnica de transmissão associada. A escolha vai depender da topologia da rota e deverá considerar a possibilidade de aumento de demanda dos assinantes atendidos. Definida a tecnologia, deverão ser dimensionados os equipamentos a serem utilizados nas UA's, ER's e UC.

Essa atividade poderá ser feita de três modos distintos:

- Modo manual: o planejador escolhe a tecnologia e dimensiona os equipamentos em cada nó;
- Modo automático: o planejador escolhe a tecnologia e uma ferramenta dimensiona os equipamentos utilizados em cada nó. No apêndice 3 apresentamos o aplicativo que faz esse dimensionamento na ferramenta PREST. O planejador poderá, a partir da solução apresentada pela ferramenta, criar outras soluções;
- Modo otimizado: um modelo matemático de otimização define a topologia, a tecnologia e dimensiona os equipamentos. O planejador candidata vários sistemas (ponto a ponto, anel SDH e TDM/TDMA) e o modelo, que é apresentado no capítulo 6, determina a solução de menor custo.

Dimensionamento dos Cabos Ópticos e Canalização de Dutos

O dimensionamento dos cabos é feito para cada arco da RE. Fisicamente um arco pode representar uma canalização de dutos ociosos ou um trecho onde serão instalados cabos aéreos. Para definir a capacidade do cabo é necessário saber qual a quantidade de fibras ópticas utilizadas no arco. Esse número está associado ao número de conexões que utilizam o arco. No arco poderão passar uma ou mais conexões onde cada uma delas deve ser atendida por um certo número de fibras. Este número depende do tipo da conexão. Dependendo da capacidade dos cabos cadastrados, poderá ser necessário lançar mais de um cabo no arco.

Se o arco for subterrâneo será analisada a necessidade de se abrir novos dutos. Essa análise e o dimensionamento dos cabos é feita pela ferramenta PREST, descrita no apêndice 3.

Cálculo de Custo

A ferramenta deverá levar em consideração custos de equipamentos, cabos e infraestrutura. O custo total da solução é dado pela seguinte equação:

$$C_{total} = C_{eq} + C_{cab} + C_{ie}$$

onde:

- C_{eq} : custo total dos equipamentos utilizados na RE;
- C_{cab} : custo total dos cabos utilizados na RE;
- C_{ie} : custo total de infraestrutura.

Custo de Equipamento (C_{eq})

O custo total dos equipamentos da RE é composto pelos custos dos equipamentos de RE localizados na UC (C_{equc}), nos ER's (C_{eqer}) e nas UA's (C_{equa}), e é representado pela seguinte equação:

$$C_{eq} = C_{equc} + C_{eqer} + C_{equa}$$

Custo de Cabos (C_{cab})

O custo total de cabos na RE é dado por:

$$C_{cab} = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} n_{ij} Clca_{ij}$$

onde:

- I - conjunto dos arcos da RE;
- J - conjuntos dos cabos cadastrados segundo as capacidades;
- n_{ij} - quantidade de cabos do tipo j no arco i ;
- $Clca_{ij}$ - custo do cabo de tipo j no arco i .

Custo de Infraestrutura (Cie)

No cálculo do Cie são considerados os custos de:

- Canalização de dutos (Ccadu) - quando necessária uma ampliação da canalização em algum arco;
- Subdutos (Csubd) - quando lançado em um duto ocioso ou em duto de uma nova canalização.
- Abrigos e armários utilizados nos ER's (Cabr) - inclui custo de energia e climatização (se necessário);
- Infraestrutura da central telefônica (Cieet) - inclui custo de ampliação da sala de transmissão, ampliação de túneis de cabo, climatização, energia, etc..

Logo, o custo total de infraestrutura (Cie) é dado pela seguinte equação:

$$Cie = Ccadu + Csubd + Cabr + Cieet$$

Estimativa de Receita

O cálculo de estimativa de receita é baseado em duas informações: a demanda de cada assinante da RE e a receita gerada pelos serviços oferecidos. Logo, a receita total da RE é dada pela seguinte equação:

$$Rectot = \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} Nca_{lm} . rec_m$$

onde:

Rectot - receita total da RE;

L - conjunto das UA's da RE;

M - conjunto dos serviços oferecidos pela RE;

Nca - número de canais do serviço de tipo m demandado na UA l ;

rec - receita gerada pelo serviço m .

Capítulo 6

Modelo Matemático de Otimização para Alocação de Equipamentos em Rotas Estratégicas

6.1. Introdução

Os custos de equipamentos utilizados nas Rotas Estratégicas (RE) têm se mostrado elevados quando comparados com os custos de cabos e infraestrutura. A alocação de equipamentos nas RE's deve, sempre que possível, utilizar modelos matemáticos de otimização. Estes podem ser simplificados, não considerando na modelagem os custos de cabos ópticos e de canalização de dutos por serem considerados pequenos frente aos custos dos equipamentos. Estudos preliminares mostram que os custos de equipamentos representam de 80 a 90% do custo total da RE (Formigoni et alii - 1995). Para instalação das RE existe a possibilidade de utilização da canalização de dutos ociosos, diminuindo ainda mais os gastos com infraestrutura.

Como colocado no capítulo 5, não estão previstas ligações diretas entre os assinantes da RE, ou seja, todo tráfego gerado nos nós de demanda são encaminhados para o nó de estação. Essa particularidade da RE nos permite representar o problema de alocação de equipamentos como um grafo onde cada "nó de demanda" corresponde a um nó fonte e o único nó sumidouro do grafo é o nó de estação. Essa representação é feita utilizando-se um modelo clássico de otimização de redes denominado N6-Arco (Bazaraa, pp. 425). Trata-se de um modelo linear misto onde as variáveis reais do modelo correspondem ao fluxo nos arcos e as variáveis inteiras às facilidades (sistemas de transmissão) instaláveis em cada arco para atendimento da demanda.

6.2 Objetivo do Modelo e sua Utilização

O objetivo do modelo é realizar a alocação dos equipamentos da RE a um custo mínimo, considerando as restrições de demanda, de capacidade e tecnologia de transmissão dos equipamentos, topologia da rede e segurança.

Para utilizar esse modelo o planejador deve colocar em cada possível conexão um ou mais sistemas de transmissão. Esses sistemas são os candidatos potenciais a serem utilizados para atendimento da demanda. Essas conexões correspondem aos arcos do

grafo e os sistemas formam o conjunto de facilidades do arco. As conexões podem ser do tipo Unidade de Assinante-Unidade de Central (UA-UC), Unidade de Assinante-Estágio Remoto (UA-ER), ER-UC ou ER-ER. Através desse procedimento o planejador pode definir vários tipos de topologias candidatas, possibilitando que o modelo promova uma competição entre elas. O resultado fornecido pelo modelo poderá ser uma das topologias descritas anteriormente ou um misto de duas ou mais topologias.

6.3 Formulação do Modelo

O modelo de otimização para alocação de equipamentos na RE tem a seguinte forma:

Minimizar CT = custo total dos equipamentos

Sujeito a:

- . Restrições de satisfação de demanda
- . Restrições técnicas de capacidade
- . Restrições adicionais

A função objetivo CT é dada por:

$$CT = \sum_{(i,j) \in A} \sum_{n \in N} c_n x_{ijn}$$

onde:

A - conjunto de arcos da rede,

N = onde é o conjunto de facilidades (sistema de transmissão) candidatas a serem utilizada no arco (i,j),

c_n - custo da facilidade de tipo n ,

x_{ijn} - variável inteira binária que indica se a facilidade n é ou não utilizada no arco (i,j).

Para cada nó i da RE temos a seguinte equação de satisfação de demanda:

$$\sum_{j \in J1} y_{ij} - \sum_{j \in J2} y_{ji} = d_i$$

onde:

J1 - conjunto dos nós j que são ligados diretamente ao nó i , por arcos que emanam do nó i para j ,

J_2 - conjunto dos nós j que são ligados diretamente ao nó i , por arcos que emanam do nós j para i ,

y_{ij} - variável real que representa o fluxo (em feixes de 2 Mbps) no arco (i,j) ,

d_i - demanda no nó i .

As restrições de capacidade ocorrem em cada arco (i,j) previsto pelo planejador e são representadas pela seguinte equação:

$$\sum_{n \in F} Cap_n x_{ijn} \geq y_{ij} \geq 0 \quad \text{para todo arco } (i,j)$$

onde:

Cap_n - capacidade da facilidade de tipo n candidata no arco (i,j) .

As restrições adicionais são apresentadas no item 6.4 e estão relacionadas com a representação de anéis e da topologia dupla estrela passiva e com aspectos de segurança na rede.

Para melhor entendimento do modelo, apresentamos a seguir sua aplicação a uma rede exemplo. Modelaremos esta rede utilizando, como recurso didático, somente ligações ponto a ponto entre os nós para, logo após, considerar também topologias do tipo anel SDH unidirecional. Segundo Sosnosky, o anel unidirecional é mais apropriado para Redes Externas, em que toda demanda deve ser encaminhada ao nó de estação.

6.4 Aplicação do Modelo à Rede Exemplo

A rede exemplo é uma rede pequena que possui 7 nós de demanda e o nó de Estação (figura 6.1). A demanda total da rede é 120 feixes de 2 Mbps.

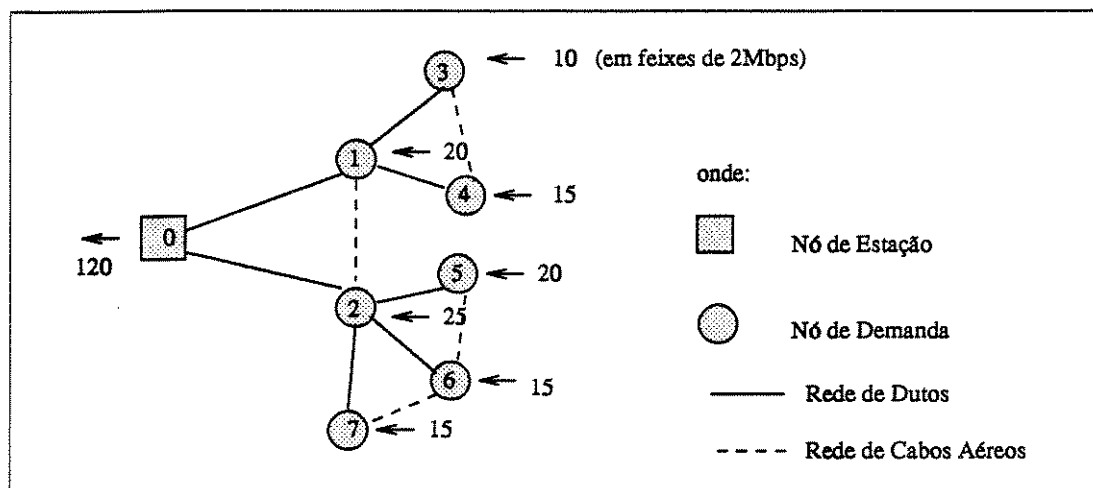


Figura 6.1 - Rede Exemplo

a) Representação de Sistemas Ponto a Ponto

A aplicação mais simples do modelo ocorre no estudo das topologias Estrela Simples, Dupla Estrela Ativa e um misto das duas. Neste caso todas as ligações entre os nós são do tipo ponto a ponto.

Para simplificar o exemplo utilizamos como candidatos somente os sistemas de transmissão ponto a ponto de 34 Mbps (PDH) e de 155 Mbps (SDH). A tabela a seguir mostra a capacidade, o valor do subíndice n utilizado na formulação e o custo de cada sistema. O custo apresentado é o custo total de equipamentos utilizados nas duas pontas da conexão.

Equipamento	Capacidade (Feixes de 2 Mbps)	Valor de n	Custo (US\$ x 1000)
34	16	1	22
2 x 34	32	2	44
155	63	3	60

A figura 6.2 mostra os sistemas candidatos (facilidades) em cada par de nós da rede. Repare que o arco (0,3) não representa um lance de galeria, mas um sistema constituído por um equipamento em cada um dos nós e por um ou dois pares de fibra óptica (dependendo dos requisitos de segurança desejados) interligando os mesmos. Estas fibras se utilizam dos lances de galeria (0,1) e (1,3) mostrados na figura 6.1, onde são representados os lances de galeria. O grafo da figura 6.2 representa a rede de transmissão candidata.

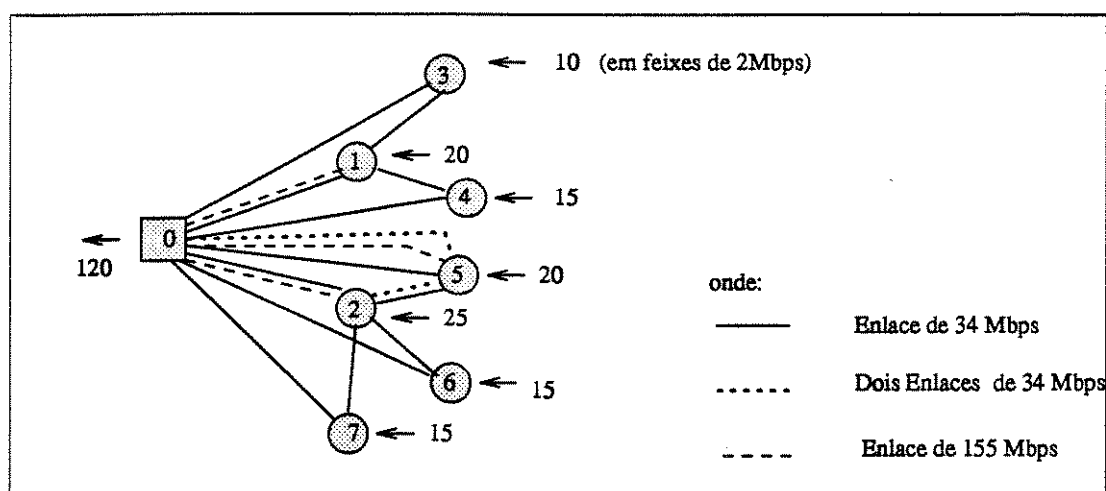


Figura 6.2 - Rede Exemplo com Candidatos Ponto a Ponto

O modelo permite considerarmos pares de ligação ponto a ponto de mesma velocidade. Na figura 6.2 podemos observar que o nó 5 pode ser ligado ao nó zero de quatro formas diferentes:

- Ligação direta utilizando um sistema de 155 Mbps;
- Ligação direta utilizando dois sistemas de 34 Mbps;
- Uma ligação direta e outra indireta (via nó 2), ambas utilizando um sistema de 34Mbps;
- Ligação indireta (via nó 2) utilizando em (5,2) dois sistemas de 34 Mbps.

No elenco de sistemas candidatos propostos na figura 6.2, podemos obter as topologias Estrela Simples, Dupla Estrela Ativa ou uma combinação delas. A seguir apresentamos três exemplos de topologias representadas no modelo acima:

- Estrela Simples: 0-1, 0-2, 0-3, 0-4, 0-5, 0-6 e 0-7.
- Dupla Estrela Ativa: 0-1, 0-2, 1-3, 1-4, 2-5, 2-6 e 2-7.
- Mista: 0-1, 0-3, 0-4, 0-2, 2-5, 2-6 e 2-7.

Aplicando o modelo à rede exemplo temos o seguinte conjunto de equações:

Função objetivo

$$\begin{aligned} \text{MIN } & 22 X_{011} + 60 X_{013} + 22 X_{021} + 60 X_{023} + 22 X_{031} + 22 X_{041} + 22 X_{051} + 44 X_{052} \\ & + 60 X_{053} + 22 X_{061} + 22 X_{071} + 22 X_{131} + 22 X_{141} + 22 X_{251} + 44 X_{252} + 22 X_{261} \\ & + 22 X_{271} \end{aligned}$$

Restrições de Satisfação de Demanda

Nó 0:	- Y01 - Y02 - Y03 - Y04 - Y05 - Y06 - Y07	= -120
Nó 1:	Y01 - Y13 - Y14	= 20
Nó 2:	Y02 - Y25 - Y26 - Y27	= 25
Nó 3:	Y03 + Y13	= 10
Nó 4:	Y04 + Y14	= 15
Nó 5:	Y05 + Y25	= 20
Nó 6:	Y06 + Y26	= 15
Nó 7:	Y07 + Y27	= 15

Restrições Técnicas de Capacidade

Arco 0-1:	$16 X_{011} + 63 X_{013}$	$\geq Y_{01} \Rightarrow$	$16 X_{011} + 63 X_{013}$	$- Y_{01} - F_{01} = 0$
Arco 0-2:	$16 X_{021} + 63 X_{023}$	$\geq Y_{02} \Rightarrow$	$16 X_{021} + 63 X_{023}$	$- Y_{02} - F_{02} = 0$
Arco 0-3:	$16 X_{031}$	$\geq Y_{03} \Rightarrow$	$16 X_{031}$	$- Y_{03} - F_{03} = 0$
Arco 0-4:	$16 X_{041}$	$\geq Y_{04} \Rightarrow$	$16 X_{041}$	$- Y_{04} - F_{04} = 0$
Arco 0-5:	$16 X_{051} + 44 X_{052} + 63 X_{053}$	$\geq Y_{05} \Rightarrow$	$16 X_{051} + 44 X_{052} + 63 X_{053}$	$- Y_{05} - F_{05} = 0$
Arco 0-6:	$16 X_{061}$	$\geq Y_{06} \Rightarrow$	$16 X_{061}$	$- Y_{06} - F_{06} = 0$
Arco 0-7:	$16 X_{071}$	$\geq Y_{07} \Rightarrow$	$16 X_{071}$	$- Y_{07} - F_{07} = 0$
Arco 1-3:	$16 X_{131}$	$\geq Y_{13} \Rightarrow$	$16 X_{131}$	$- Y_{13} - F_{13} = 0$
Arco 1-4:	$16 X_{141}$	$\geq Y_{14} \Rightarrow$	$16 X_{141}$	$- Y_{14} - F_{14} = 0$
Arco 2-5:	$16 X_{251} + 44 X_{252}$	$\geq Y_{25} \Rightarrow$	$16 X_{251} + 44 X_{252}$	$- Y_{25} - F_{25} = 0$
Arco 2-6:	$16 X_{261}$	$\geq Y_{26} \Rightarrow$	$16 X_{261}$	$- Y_{26} - F_{26} = 0$
Arco 2-7:	$16 X_{271}$	$\geq Y_{27} \Rightarrow$	$16 X_{271}$	$- Y_{27} - F_{27} = 0$

Como pode ser observado, para cada nó da rede é escrito uma equação de restrição de demanda. Esse sistema de equações lineares pode ser representado matricialmente utilizando-se a matriz de Incidência Nó-Arco:

$$A y = d$$

onde:

- A - matriz de Incidência Nó-Arco do modelo, onde cada coluna está relacionada com um arco da rede,
- y - vetor das variáveis de fluxo nos arcos,
- d - vetor de demanda de cada nó da rede.

Este sistema de equações possui uma equação redundante que pode ser eliminada na resolução do problema.

Para cada arco da rede escrevemos uma equação de restrição técnica de capacidade. Essas equações foram reescritas na forma de igualdade inserindo-se uma variável de folga F_{ij} correspondente a cada arco (i,j) , que representa a capacidade ociosa de(s) cada arco.

Esta rede exemplo apresenta um conjunto de soluções ótimas. Uma delas é mostrada na figura 6.3.

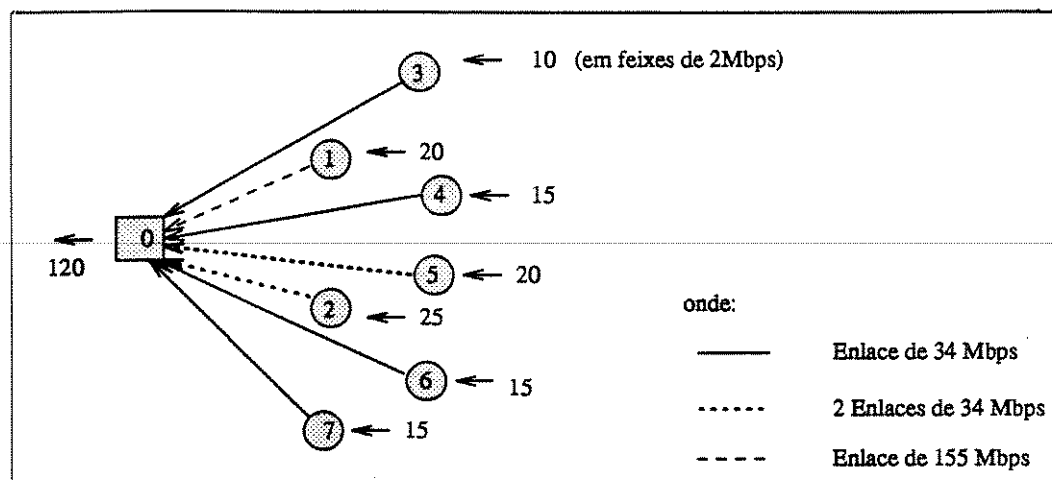


Figura 6.3 - Solução da Rede Exemplo

b) Representações de Anéis SDH Unidirecionais

Uma das principais características do modelo é a sua capacidade de representar anéis SDH unidirecionais, em uma rede onde toda demanda é direcionada para um único nó. O anel candidato poderá estar conectado diretamente ao nó de estação ou estar conectado a um ER.

Nos nós que participam do anel são colocados um ou mais equipamentos multiplexadores ADM. A tabela abaixo define as características dos ADM's que são usados nos exemplos descritos a seguir.

Equipamento	Capacidade (Feixes de 2 Mbps)	Valor de n	Custo (US\$ x 1000)
ADM1	63	4	33
ADM4	252	5	84

A figura 6.4 mostra a rede exemplo com os candidatos ponto a ponto e ainda um anel SDH unidirecional entre os nós 0, 1, 2, 4 e 5, com capacidade de 63 feixes de 2 Mbps (sinal STM 1).

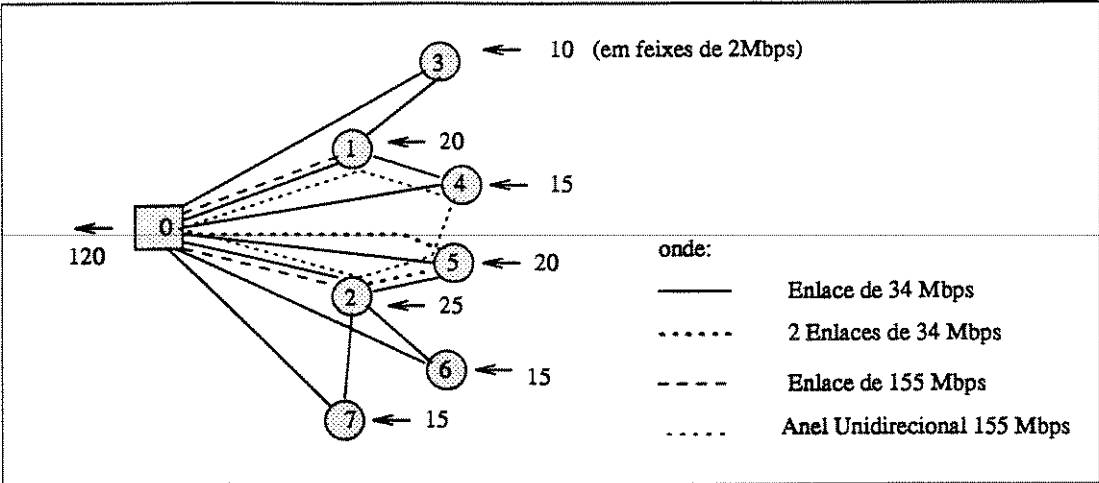


Figura 6.4 - Rede Exemplo com Anel SDH

O modelo proposto permite a representação de anéis SDH unidirecionais através da criação de um nó fantasma (nó 8) para cada anel. Como mostra a figura 6.5, o nó fantasma possui um arco de ligação com cada nó candidato a participar do anel. Ao arco ligando o nó de demanda ao nó fantasma associamos o custo do ADM a ser instalado no nó de demanda e a capacidade do ADM candidato. Ao arco ligando o nó fantasma ao nó de estação associamos o custo do ADM a ser instalado no nó de estação e a capacidade total do anel unidirecional. Vale ressaltar que a solução encontrada pelo modelo pode ser um anel composto por um subconjunto dos nós candidatos a participar do anel proposto.

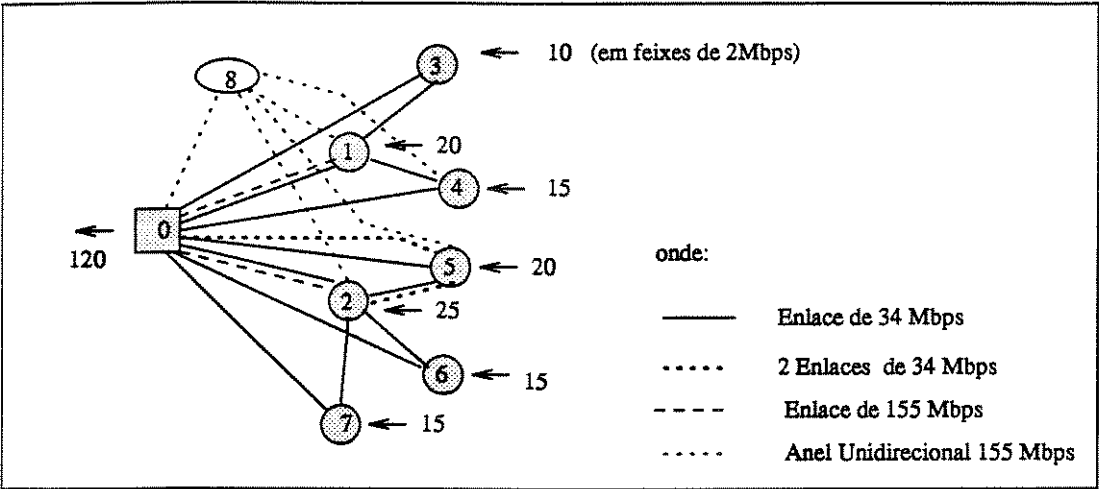


Figura 6.5 - Representação do Anel na Rede Exemplo

Com a introdução do nó fantasma ocorrem as seguintes modificações no modelo:

Função Objetivo

Deve ser incluído o custo do ADM de cada nó candidato a entrar no anel. No caso da rede exemplo, a função objetivo fica:

$$\begin{aligned} \text{MIN } & 22 X_{011} + 60 X_{013} + 22 X_{021} + 60 X_{023} + 22 X_{031} + 22 X_{041} + 22 X_{051} \\ & + 44 X_{052} + 60 X_{053} + 22 X_{061} + 22 X_{071} + 22 X_{131} + 22 X_{141} + 22 X_{251} \\ & + 44 X_{252} + 22 X_{261} + 22 X_{271} + 33 X_{084} + 33 X_{184} + 33 X_{284} + 33 X_{484} \\ & + 33 X_{584} \end{aligned}$$

Restrições de Demanda

O conjunto de restrições de demanda recebe uma nova equação relacionada com o nó fantasma. Nas equações dos nós candidatos a participar do anel devemos considerar o fluxo do arco que conecta este nó ao nó fantasma. Para a rede exemplo, o conjunto de restrição de demanda considerando o anel será (as modificações estão escritas em **negrito**):

Nó 0:	-Y01-Y02-Y03-Y04-Y05-Y06-Y07-Y08			= -120
Nó 1:	Y01	-Y13-Y14 + Y18		= 20
Nó 2:	Y02		-Y25-Y26-Y27+Y28	= 25
Nó 3:	Y03	+Y13		= 10
Nó 4:	Y04	+Y14	+ Y48	= 15
Nó 5:	Y05	+Y25	+ Y58	= 20
Nó 6:	Y06	+Y26		= 15
Nó 7:	Y07	+Y27		= 15
Nó 8:	Y08	- Y18	- Y28 - Y48 - Y58	= 0

Os fluxos Y18, Y28, Y48 e Y58 representam respectivamente a quantidade de feixes de 2 Mbps que os nós 1, 2, 4 e 5 poderão enviar ao nó de estação através do anel. O fluxo Y08 representa o total de feixes de 2 Mbps que circula no anel unidirecional.

Restrições de Capacidade

Para cada novo arco associamos uma equação de capacidade. Consequentemente, no caso da rede exemplo, acrescentamos ao conjunto de restrições de capacidade as seguintes equações:

$$\begin{aligned} \text{Arco 0-8: } & 63 X_{084} - Y_{08} - F_{08} = 0 \quad (1) \\ \text{Arco 1-8: } & 63 X_{184} - Y_{18} - F_{18} = 0 \quad (2) \\ \text{Arco 2-8: } & 63 X_{284} - Y_{28} - F_{28} = 0 \quad (3) \\ \text{Arco 4-8: } & 63 X_{484} - Y_{48} - F_{48} = 0 \quad (4) \end{aligned}$$

$$\text{Arco 5-8: } 63 X_{584} - Y_{58} - F_{58} = 0 \quad (5)$$

A equação (1) representa a restrição de capacidade do anel (63 feixes de 2 Mbps) e as equações (2), (3), (4) e (5) a capacidade de dos ADM's candidatos nos nós 1, 2, 4 e 5.

O planejador pode candidatar dois ou mais tipos de ADM's no anel. Neste caso as equações de restrição de demanda permanecem iguais. Nas equações de restrição de capacidade de equipamento é necessário considerar a capacidade de todos os ADM's candidatos. Candidatando no anel da rede exemplo ADM1 e ADM4, as equações (1), (2), (3), (4) e (5) ficam:

$$\text{Arco 0-8: } 256 X_{085} + 63 X_{084} - Y_{08} - F_{08} = 0 \quad (1)$$

$$\text{Arco 1-8: } 256 X_{185} + 63 X_{184} - Y_{18} - F_{18} = 0 \quad (2)$$

$$\text{Arco 2-8: } 256 X_{285} + 63 X_{284} - Y_{28} - F_{28} = 0 \quad (3)$$

$$\text{Arco 4-8: } 256 X_{485} + 63 X_{484} - Y_{48} - F_{48} = 0 \quad (4)$$

$$\text{Arco 5-8: } 256 X_{585} + 63 X_{584} - Y_{58} - F_{58} = 0 \quad (5)$$

Além das modificações nas equações de restrição de capacidade, são definidas duas novas restrições:

$$\text{Anel de 155: } X_{184} + X_{284} + X_{484} + X_{584} \geq X_{084} \quad (6)$$

$$\text{Anel de 622: } X_{185} + X_{285} + X_{485} + X_{585} \geq X_{084} \quad (7)$$

As restrições (6) e (7) são necessárias para garantir que no arco (0,8) sejam utilizados ADM's compatíveis com os utilizados nos arcos (1,8), (2,8), (4,8) e (5,8). Essa restrições se fazem necessárias para impedir que o modelo aloque, por exemplo, ADM1 nos nós 1 e 2 e ADM4 no nó 8.

Na função objetivo é necessário acrescentar os seguintes termos:

$$84 X_{085} + 84 X_{185} + 84 X_{285} + 84 X_{485} + 84 X_{585}$$

c) Representação de TDM/TDMA

O modelo permite que o planejador candidate em seus estudos sistemas de transmissão TDM/TDMA para as topologias Dupla Estrela Passiva ou Barramento Estrela. Sua representação é semelhante a utilizada para o anel SDH. Cada sistema TDM/TDMA é associado a um nó fantasma e todos os nós candidatos a serem atendidos pelo sistema são conectados a ele. O nó fantasma é conectado diretamente ao nó de estação. A figura

6.6 mostra a utilização de um sistema TDM/TDMA na rede exemplo. O nó fantasma é o de número 9 e os nós candidatos são os números 5,6 e 7. Fisicamente o nó fantasma poderia ser um acoplador localizado, por exemplo, no nó 2.

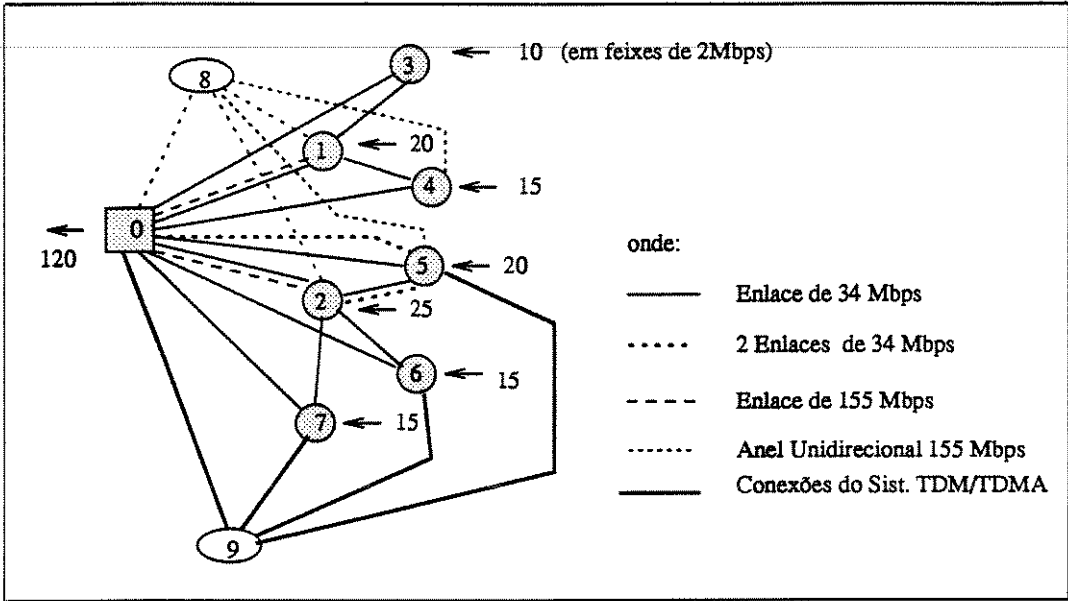


Figura 6.6 - Rede Exemplo com Sistema TDM/TDMA

A tabela a seguir mostra as características dos equipamentos que compõe o sistema TDM/TDMA:

Equipamento	Capacidade (Feixes de 2 Mbps)	Valor de n	Custo (US\$ x 1000)
Equip. Central	30	6	15
Equip. Terminal	15	7	10

Considerando o sistema TDM/TDMA como candidato na rede exemplo, descrevemos a seguir as modificações que ocorrem no modelo.

Função Objetivo

Na função objetivo são acrescentados os seguintes custos:

- Custo fixo do equipamento multiplexador localizado na central. Este custo corresponde ao custo total do equipamento menos o custo das placas terminais. Na rede exemplo ele está associado ao arco (0,9) e é representado por C096 (valor de C095 = US\$ 15000);
- Custo de cada equipamento terminal colocado nos nós candidatos. Inclui custo do equipamento terminal, custo da placa terminal utilizada no equipamento de central e

o custo médio de uma porta do acoplador passivo. Na rede exemplo este custo está associado aos arcos (5,9), (6,9) e (7,9), sendo representados por C597, C697 e C797 (valor = US\$ 10000);

Considerando todos os sistemas candidatos da figura 6.7 (incluindo ADM4), a função objetivo fica:

$$\begin{aligned} \text{MIN } & 22 X011 + 60 X013 + 22 X021 + 60 X023 + 22 X031 + 22 X041 + 22 X051 \\ & + 44 X052 + 60 X053 + 22 X061 + 22 X071 + 22 X131 + 22 X141 + 22 X251 \\ & + 44 X252 + 22 X261 + 22 X271 \quad (\text{sistemas ponto a ponto}) \\ & + 33 X084 + 33 X184 + 33 X284 + 33 X484 + 33 X584 + 84 X085 + 84 X185 \\ & + 84 X285 + 84 X485 + 84 X585 \quad (\text{anéis SDH}) \\ & + 15 X096 + 10 X597 + 10 X697 + 10 X797 \quad (\text{sistemas TDM/TDMA}) \end{aligned}$$

Na equação acima os termos relacionados com os sistemas ponto a ponto são escritos utilizando caracteres comuns, os ADM's estão em **negrito** e o sistema TDM/TDMA em *itálico*.

Restrições de Demanda

Assim como no anel, o conjunto de restrições de demanda recebe uma nova equação relacionada com o nó fantasma (nó 9). Nas equações de demanda dos nós 5,6 e 7 são considerados os fluxos entre esses nós e o nó 9. O conjunto de restrições de demanda considerando os sistemas ponto a ponto, anel e TDM/TDMA fica:

Nó 0:	-Y01-Y02-Y03-Y04-Y05-Y06-Y07-Y08-Y09	=	-120
Nó 1:	Y01	-Y13-Y14 + Y18	= 20
Nó 2:	Y02	-Y25-Y26-Y27+Y28	= 25
Nó 3:	Y03	+Y13	= 10
Nó 4:	Y04	+Y14	= 15
Nó 5:	Y05	+Y25	+Y59 = 20
Nó 6:	Y06	+Y26	+Y69 = 15
Nó 7:	Y07	+Y27	+Y79 = 15
Nó 8:	Y08	- Y18	- Y28 = 0
Nó 9:	Y09	- Y59 - Y69 - Y79	= 0

Restrições de Capacidade

Para cada novo arco associamos ao conjunto de restrições de capacidade uma nova equação. No caso da rede exemplo teremos:

Arco 0-9: $30 X_{096} - Y_{09} - F_{09} = 0$ (8)

Arco 5-9: $15 X_{597} - Y_{59} - F_{59} = 0$ (9)

Arco 6-9: $15 X_{697} - Y_{69} - F_{69} = 0$ (10)

Arco 7-9: $15 X_{797} - Y_{79} - F_{79} = 0$ (11)

A equação (8) representa a restrição de capacidade do sistema do sistema TDM/TDMA (30 feixes de 2 Mbps). As equações (9), (10) e (11) representam a capacidade dos equipamentos terminais. A figura 6.7 mostra a solução do modelo considerando os sistemas descritos.

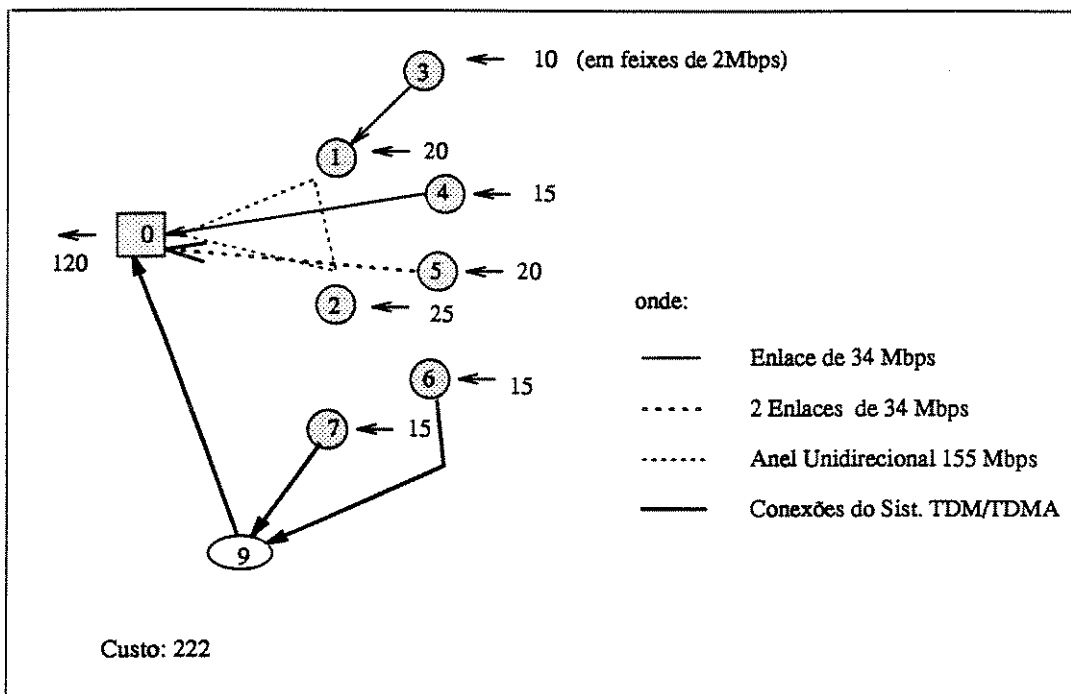


Figura 6.7 - Solução da Rede Exemplo

6.5 Aspectos de Segurança

Por diferentes razões como, por exemplo, elevada demanda ou importância estratégica, o planejador pode dar um tratamento especial a determinados nós de demanda ou ER da rede. Para aumentar a confiabilidade desses nós, eles poderiam ser atendidos por mais de um sistema ponto a ponto ou por um anel.

O procedimento para considerar esses aspectos no modelo é simples. A seguir descrevemos qual o procedimento utilizado para cada tipo de sistema:

- *Sistema Ponto a Ponto*: para obrigar que um determinado sistema ponto a ponto participe da rede, basta fixar o valor da variável x_{ijn} em 1;

- *Sistema TDM/TDMA e Anel SDH*: a entrada obrigatória de um desses sistemas é feita fixando todas as variáveis x_{ijn} do modelo em 1 ou criando uma restrição do tipo:

$$\sum_I x_{ijn} = NI$$

onde:

I - conjunto dos nós que participam do sistema e que obrigatoriamente deverão participar da solução, exceto o nó fantasma,

j - número do nó fantasma,

NI - quantidade de elementos do conjunto I.

Aplicando esses procedimentos a rede exemplo, poderíamos impor que o anel SDH1 fosse alocado na rede. Para isso a seguinte restrição é acrescentada ao modelo:

$$X084 + X184 + X284 + X484 + X584 = 3 \quad (12)$$

6.6 Considerando Custo de Armários/Abrigos no Modelo

Segundo dados oferecidos pelas empresas operadoras, os custos de abrigos ou armários utilizados para instalação dos estágios remotos têm se mostrado significativos quando comparados com os custos dos equipamentos da RE. Portanto, o planejador pode julgar conveniente considerar tais custos no modelo apresentado. Para isso faz-se necessário acrescentar um novo termo na função objetivo e um novo conjunto de restrições ao modelo.

A função objetivo fica:

$$CT = \sum_{(i,j) \in A} \sum_{n \in N} c_{ijn} x_{ijn} + \sum_{m \in M} c_m w_m$$

onde

M - conjunto dos ER's candidatos da RE, sendo m o número do nó onde será instalado o ER,

c_m - custo de instalação de abrigo ou armário no nó m,

w_m - variável inteira binária que indica se a facilidade é ou não utilizada no arco onde são colocados os sistemas candidatos a transportar toda demanda do ER.

O conjunto de restrições garante que se o ER for utilizado o valor de w_m será 1. Então, para cada nó candidato a ser colocado um ER (conjunto M), devemos escrever a seguinte equação:

$$w_m - x_{lmn} \geq 0 \quad \text{para todo } n$$

onde:

x_{lmn} - variável inteira binária que indica se o sistema de tipo n é usado no arco lm .

O arco lm é um arco destinado a atender a demanda (ou parte desta) que emana do ER de número m .

6.7 O Modelo Arco-Caminho - Algumas Comparações

A formulação Arco-Caminho é utilizada com frequência para resolução de problemas de planejamento de redes de telecomunicação. Os artigos de Quaglia et alli e Bortolon et alii, apresentam modelos utilizando esta formulação para o planejamento de redes SDH utilizando anéis bidirecionais.

Tal formulação pode ser considerada uma particularização da formulação Nó-Arco e é utilizada na resolução de problemas de grande porte, como por exemplo o planejamento de redes de entroncamento metropolitanas, onde a quantidade de nós é grande e o número de arcos candidatos pode ser enorme.

Nas RE's a quantidade de nós de assinantes e ER's não é grande e consequentemente o número de arco também não. Essas características da RE viabiliza a utilização do modelo Nó-Arco e permite ao planejador candidatar num estudo uma boa quantidade de sistemas ponto a ponto, anel e TDM/TDMA.

Capítulo 7

Aplicação do Modelo a uma Rede Existente

7.1 Introdução

Nesse capítulo fazemos um estudo de caso baseado em dados de uma área de estação existente. São elaborados vários cenários considerando variações de demanda e custos dos equipamentos SDH. O objetivo do estudo é verificar o comportamento do modelo quando aplicado a uma rede real e observar as soluções obtidas, considerando as variações propostas. Para resolução do programa linear inteiro misto, que modela o problema, utilizamos aplicativos comerciais.

7.2 Descrição da Rede Utilizada

A rede utilizada nesse estudo é baseada em dados reais e representa parte da região central de uma cidade brasileira de grande porte. Como mostra a figura 7.1, ela abrange uma área de estação com 22 pontos de demanda (grandes clientes), totalizando 150 feixes de 2 Mbps. A demanda indicada em cada nó de assinante refere-se ao ano de 1997.

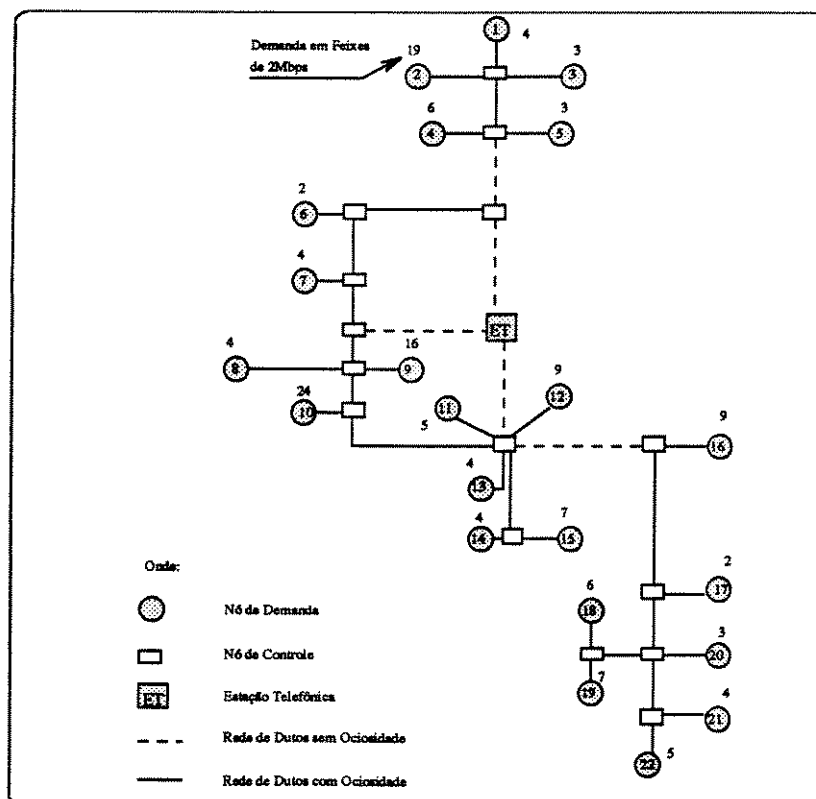


Figura 7.1 - Área de Estação Utilizada

7.3 Relação de Custo dos Equipamentos/Abrigo Utilizados

A relação de custos de equipamentos utilizada baseia-se em dados fornecidos por algumas empresas operadoras e por fabricantes. Por dificuldade de obtenção de custo de equipamentos TDM/TDMA, nesse estudos consideramos somente as tecnologias SDH e PDH. O sistema utilizado como referência é o PDH de 34Mbps. A tabela a seguir mostra a relação de custos relativos dos sistemas utilizados.

Equipamento	Tecnologia	Custo Relativo
1 Sistema PDH 34 M	PDH	1,00
2 Sistemas PDH 34 M	PDH	2,00
OLTM 21 portas (sistema)	SDH	2,18
OLTM 42 portas (sistema)	SDH	2,45
OLTM 63 portas (sistema)	SDH	2,73
ADM 21 portas	SDH	1,23
ADM 42 portas	SDH	1,36
ADM 63 portas	SDH	1,50

Tabela 1 - Custos Relativos de Equipamentos

Obs.: os 5 primeiros sistemas consideram os equipamentos utilizados nas duas pontas do enlace ponto a ponto.

Na elaboração desta relação de custos relativos foram adotadas a seguintes premissas:

- Os ADM's considerados são utilizados em anéis unidirecionais, necessitando portanto duas interfaces ópticas;
- Por motivos de confiabilidade, supõe-se a utilização de duas interfaces ópticas em cada OLTM. Consequentemente o custo de um equipamento OLTM é semelhante ao custo de um ADM. O custo relativo de um OLTM 63 portas é 1,36 (custo do sistema dividido por 2) enquanto a preço de um ADM é 1,50. Essa diferença se deve a uma placa de comutação utilizada somente no ADM.
- A expansão de um equipamento SDH é feita em módulos de 21 portas, com custo relativo de 0,14 por módulo.

Para instalação dos ER's candidatos, supõe-se utilização de um abrigo com custo unitário relativo de 2,73.

7.4 Cenários Estudados

A partir de um cenário referência, com dados de demanda de 1997, geramos cenários variando a demanda e custos de equipamento SDH isoladamente e depois simultaneamente. Os dados apresentados a seguir foram obtidos utilizando-se o aplicativo de otimização denominado OSL, da IBM, em uma estação de trabalho Sun SPARCstation 5.

7.4.1 Cenário Referência

A figura 7.2 mostra os sistemas candidatos e a solução encontrada pelo modelo. Na figura contendo os sistemas candidatos não foram desenhadas as conexões diretas entre assinantes e a estação telefônica (sistemas ponto a ponto - topologia Estrela Simples), para evitar que ela ficasse muito carregada.

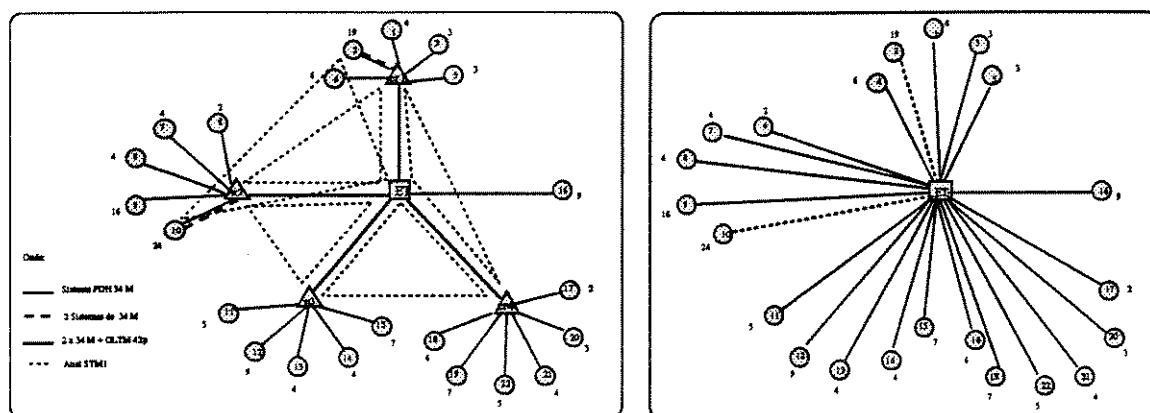


Figura 7.2 - Sistemas Candidatos e Solução para Cenário Referência

Resultados obtidos:

No. de Sistemas PDH 34 M utilizados:	24
No. de Sistemas SDH (OLTM's) utilizados:	-
No. de Anéis SDH utilizados:	-
Valor da Função Objetivo:	24
Número de Variáveis Inteiras no Modelo	76
Tempo de CPU (s)	7.5

Como mostra a figura 7.2, a solução encontrada é uma RE (Rota Estratégica) com topologia Estrela Simples utilizando somente sistemas PDH de 34 Mbps.

7.4.2 Variações na Demanda

As variações de demanda são feitas tomando como referência a demanda de 1997. Além do crescimento da demanda dos nós existentes, consideramos também o surgimento de novos pontos de demanda na rede.

a) Demanda $97 \times 1,25 + 4$ novos nós

Neste cenário consideramos um aumento de 25% na demanda de 1997 e surgimento de 4 novos nós de demanda (figura 7.3).

A figura 7.4 mostra os sistemas candidatos e a solução encontrada pelo modelo.

Resultados obtidos:

No. de Sistemas PDH 34 M. utilizados:	25
No. de Sistemas SDH (OLTM's) utilizados:	-
No. de Anéis SDH utilizados:	1
Valor da Função Objetivo:	29,32
Número de Variáveis Inteiras no Modelo	96
Tempo de CPU (s)	9,0

Como mostra a figura 7.4, a RE encontrada possui uma topologia mista Estrela Simples - Anel, com 23 nós sendo atendidos por sistemas ponto a ponto e 3 nós sendo atendido por um anel STM1.

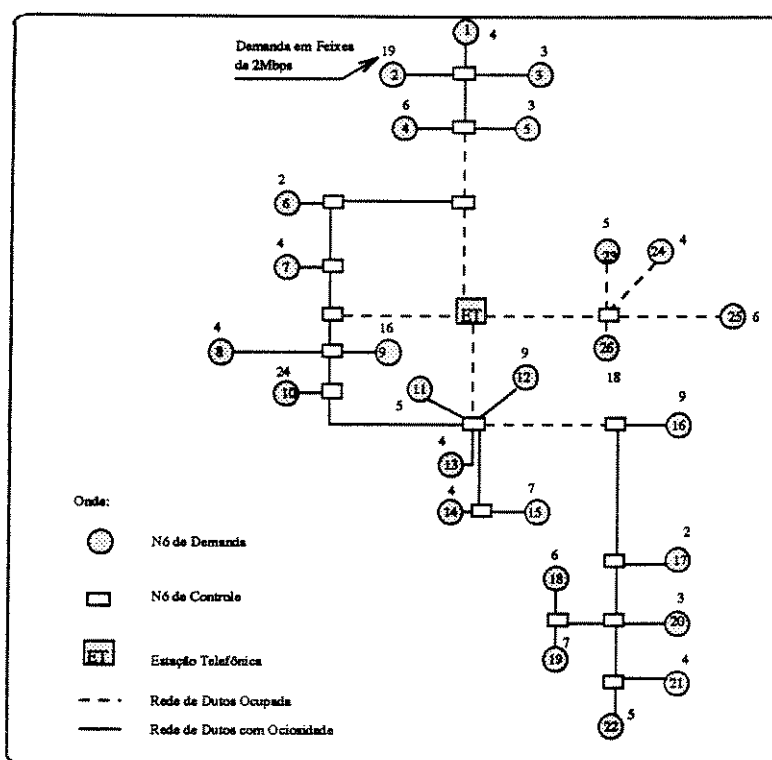


Figura 7.3 - Rede 97 x 1,25 + 4 novos nós

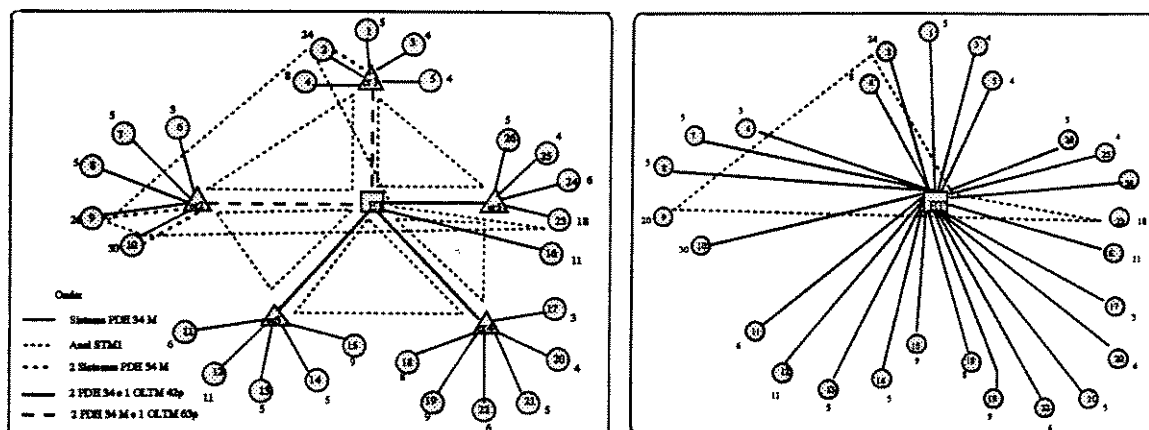


Figura 7.4 - Sistemas Candidatos e Solução para Cenário Referência

b) Demanda 97 x 1,50 + 8 novos nós

Neste cenário consideramos um aumento de 50% na demanda de 97 e o surgimento de 8 novos nós de demanda (figura 7.5).

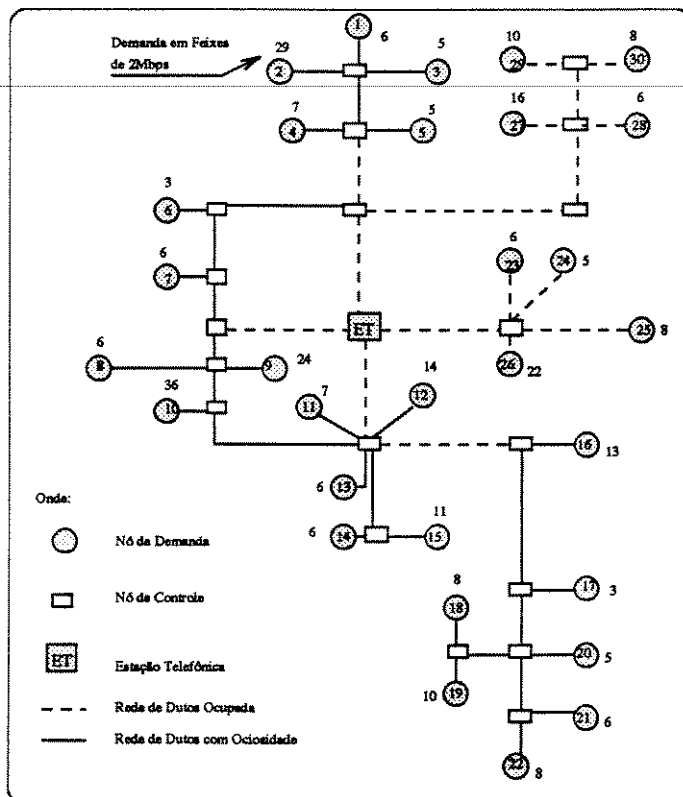


Figura 7.5 - Rede 97 x 1,5 + 8 nós de demanda

A figura 7.6 mostra os sistemas candidatos e a solução encontrada pelo modelo.

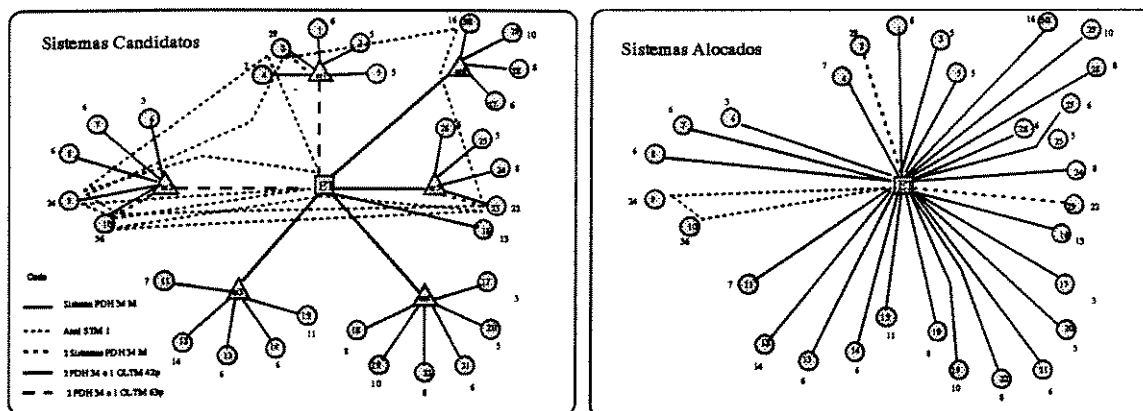


Figura 7.6 - Sistemas Candidatos e Solução para Cenário Referência

Resultados obtidos:

No. de Sistemas PDH 34 M utilizados:	30
No. de Sistemas SDH (OLTM's) utilizados:	-
No. de Anéis SDH utilizados:	1
Valor da Função Objetivo:	34,23
Número de Variáveis Inteiras no Modelo	95
Tempo de CPU (s)	9,3

Como mostra a figura 7.6, como no cenário anterior, a RE encontrada possui uma topologia mista Estrela Simples/Anel. Existem 28 nós sendo atendidos por sistemas ponto a ponto e 2 nós sendo atendido por um anel STM1.

c) Demanda $97 \times 1,75 + 13$ novos nós

Neste cenário consideramos um aumento de 75% na demanda de 97 e surgimento de 13 novos nós de demanda (figura 7.7).

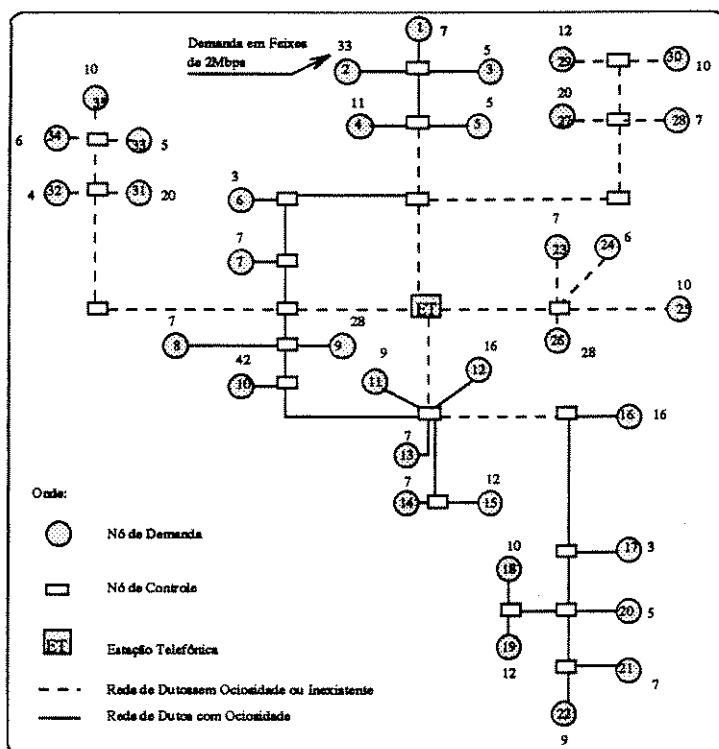


Figura 7.7 - Rede $97 \times 1,75 + 13$ nós de demanda

A figura 7.8 mostra os sistemas candidatos e os sistemas alocados nesse cenário.

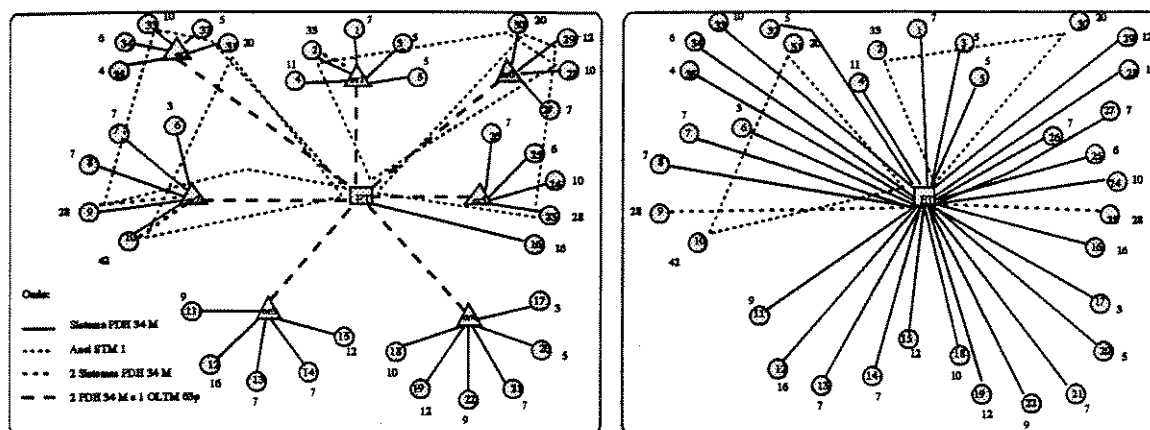


Figura 7.8 - Sistemas Candidatos e Solução

Resultados obtidos:

No. de Sistemas PDH 34 M utilizados:	34
No. de Sistemas SDH (OLTM's) utilizados:	-
No. de Anéis SDH utilizados:	2
Valor da Função Objetivo:	40,18
Número de Variáveis Inteiras no Modelo	137
Tempo de CPU (s)	25,7

Como mostra a figura 7.8, a RE encontrada possui uma topologia mista Estrela Simples/Anel. Existem 31 nós sendo atendidos por sistemas ponto a ponto e 4 nós sendo atendido por anéis STM1.

e) Demanda 97 x 2,0 + 18 novos nós

Neste cenário consideramos um aumento de 100% na demanda de 97 e surgimento de 18 novos nós de demanda (figura 7.9), totalizando 40 nós de demanda na rede.

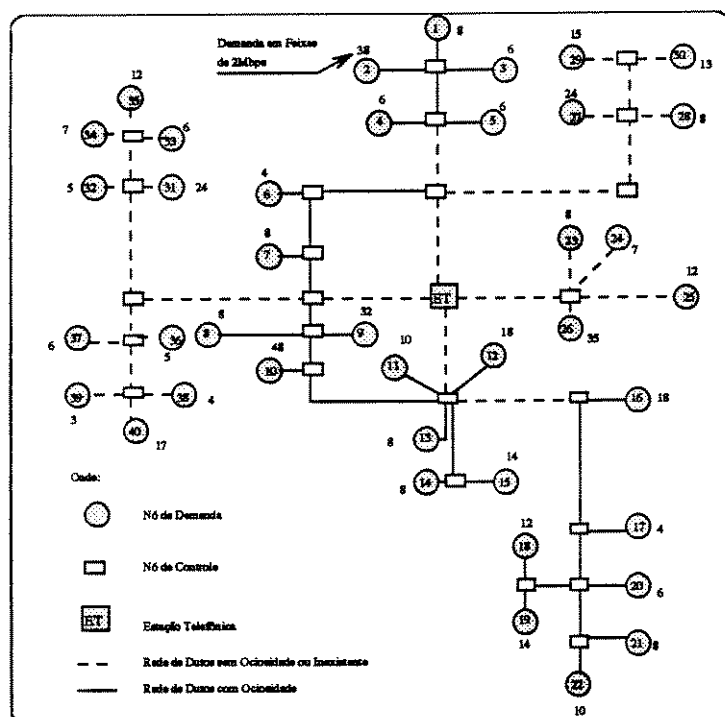


Figura 7.9 - Rede 97 x 2,0 + 18 nós de demanda

A figura 7.10 mostra os sistemas candidatos e as soluções encontradas.

Como mostra a figura 7.10, a RE encontrada possui uma topologia mista Estrela Simples/Anel. Existem 34 nós sendo atendidos por sistemas ponto a ponto, com o nó 10 sendo atendido por um sistema SDH de 63 portas e 6 nós sendo atendido por anéis

STM1. Novamente, para não carregar a figura, não foram desenhados os sistemas PDH de 34 M ligando os nós de assinante diretamente à estação.

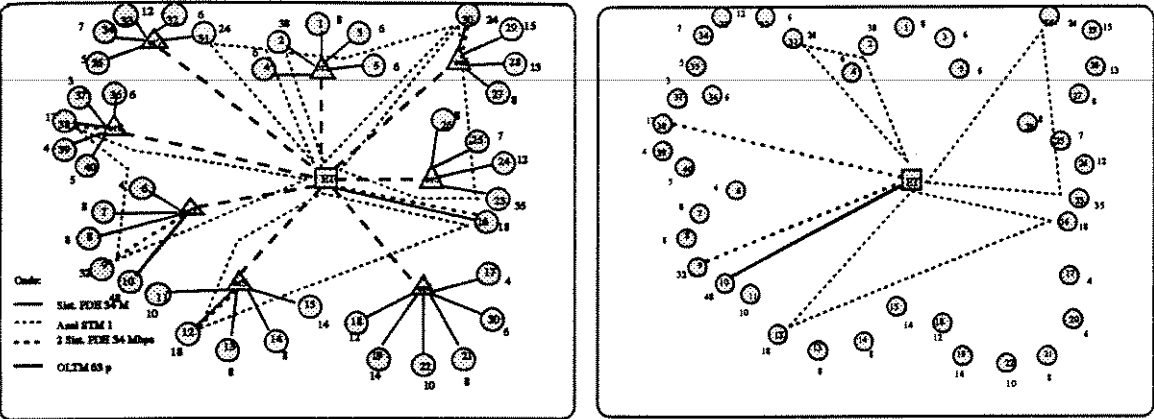


Figura 7.10 - Sistemas Candidatos e Alocados

Resultados obtidos:

No. de Sistemas PDH 34 M utilizados:	35
No. de Sistemas SDH (OLTM's) utilizados:	1
No. de Anéis SDH utilizados:	3
Valor da Função Objetivo:	50
Número de Variáveis Inteiras no Modelo	155
Tempo de CPU (s)	81,5

7.4.2 Variações de Custo

Os cenários de variação de custo foram feitos considerando a demanda de 97 (demanda fixa), e uma diminuição no custo dos equipamentos de SDH de 10 a 40% em relação ao custo apresentado no item 7.3.

A figura 7.11 mostra os sistemas ponto a ponto e os 9 anéis STM1 candidatos na rede. Para a figura ficar menos congestionada, não foram desenhados os sistemas candidatos ponto a ponto ligando diretamente cada nó de assinante à central.

Resultados Obtidos	10%	20%	30%	40%
No. de Sistemas PDH 34 M utilizados:	20	19	4	4
No. de Sistemas SDH (OLTM's) utilizados:	-	-	-	-
No. de Anéis SDH utilizados:	1	2	2	2
Valor da Função Objetivo:	23,68	23,23	21,66	19,14
Número de Variáveis Inteiras no Modelo	126	126	126	126
Tempo de CPU (s)	20,3	25,2	24,7	26,0

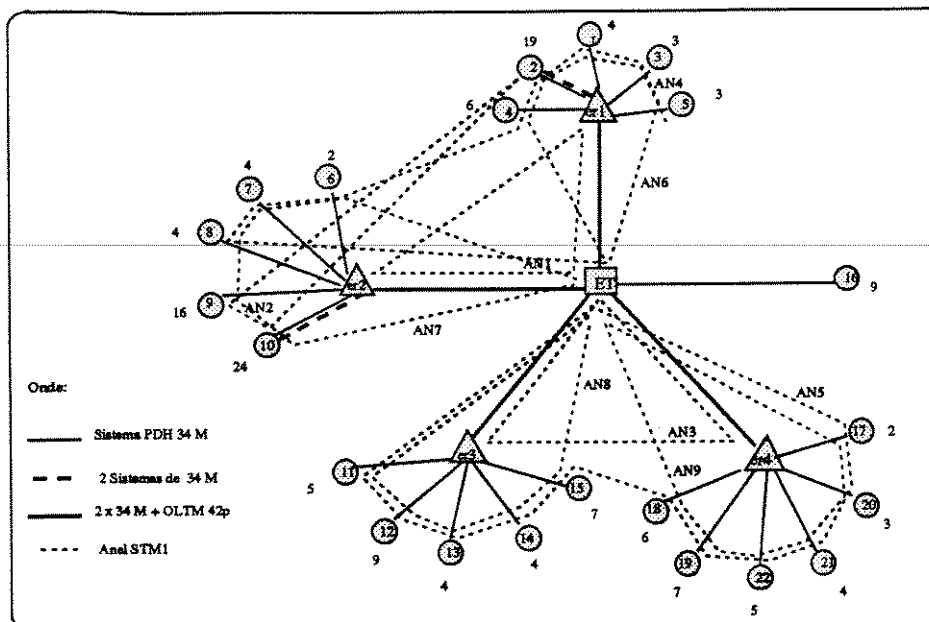


Figura 7.11 - Sistemas Candidatos para Cenários de Variação de Custo

A figura 7.12 mostra os sistemas escolhidos para as variações de custo indicadas.

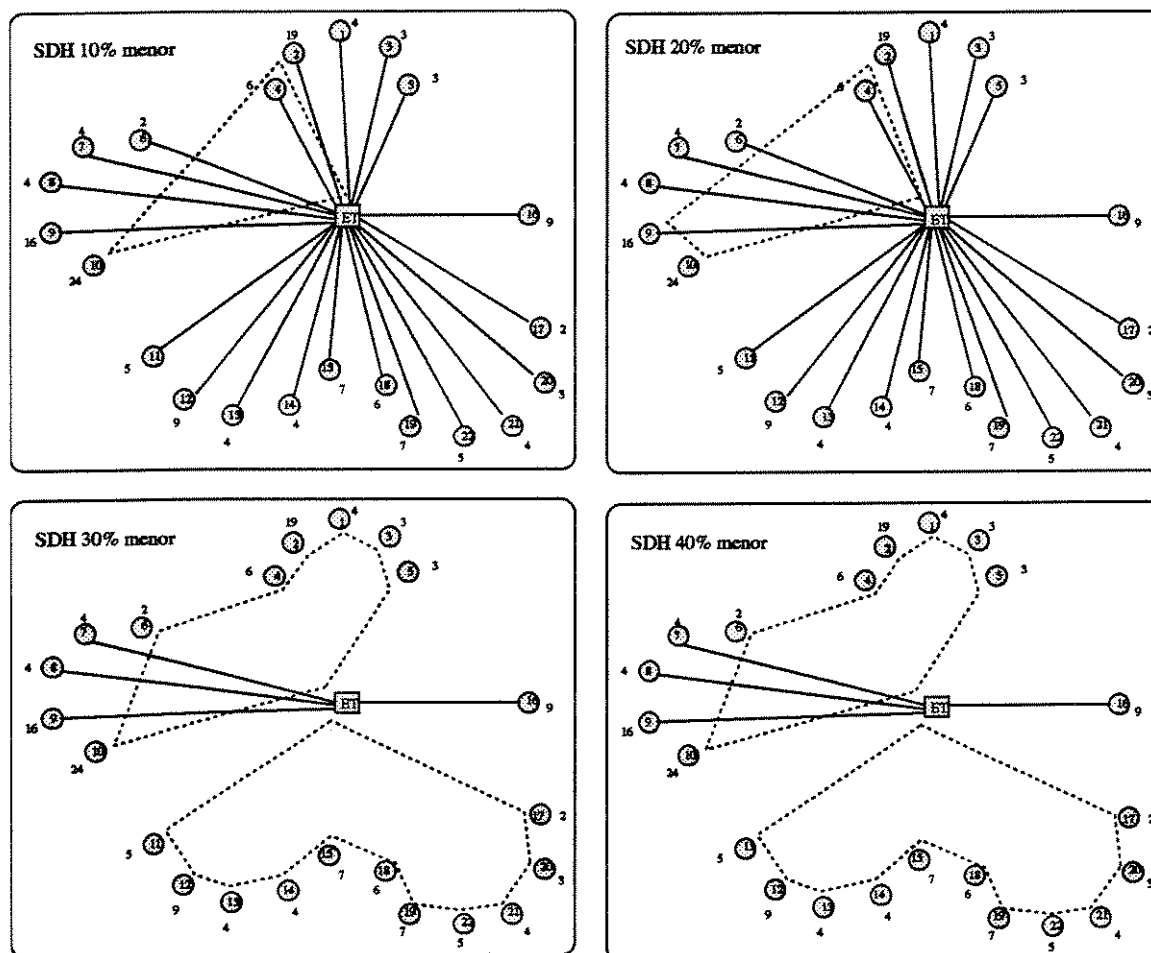


Figura 7.12 - Variações no Custo de SDH

7.4.3 Variação de Custo e Demanda Simultaneamente

A título ilustrativo, fizemos um cenário considerando a demanda de $1997 \times 2,0 + 18$ novos nós e uma queda de 30% nos equipamentos SDH. Vale ressaltar que esta variação simultânea é o que na prática ocorrerá, porém não necessariamente com os índices aqui utilizados. Além dos sistemas candidatos da figura 7.8, foram colocados mais 12 anéis STM1 candidatos, totalizando 18 anéis. A figura 7.13 mostra os sistemas alocados pelo modelo.

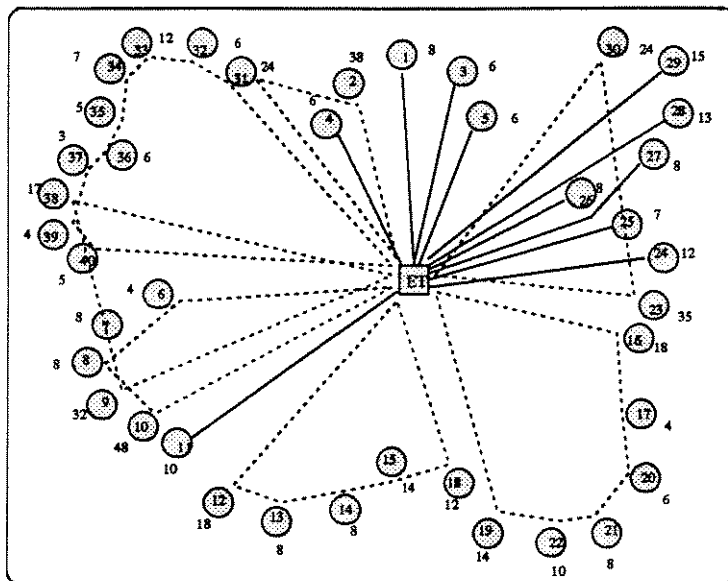


Figura 7.13 - Sistemas Alocados para Variação de Custo e Demanda

Resultados obtidos:

No. de Sistemas PDH 34 M utilizados:	11
No. de Sistemas SDH (OLTM's) utilizados:	-
No. de Anéis SDH utilizados:	7
Valor da Função Objetivo:	44,07
Número de Variáveis Inteiras no Modelo	224
Tempo de CPU (s)	215,7

7.5 Cenário Considerando Aspectos de Segurança na Rede

Neste cenário consideramos uma solução onde todos os nós de assinante participam de um anel STM1 unidirecional. Esse tipo de solução pode ser adotada quando o planejador quer atender os grandes clientes com uma rede de maior disponibilidade e, consequentemente, com melhor qualidade de serviço.

A figura 7.14 mostra a solução encontrada utilizando os dados de custo e demanda do cenário referência.

Resultados obtidos:

No. de Sistemas PDH 34 M utilizados:	-
No. de Sistemas SDH (OLTM's) utilizados:	-
No. de Anéis SDH utilizados:	4
Valor da Função Objetivo:	32,73
Número de Variáveis Inteiras no Modelo	86
Tempo de CPU (s)	5,7

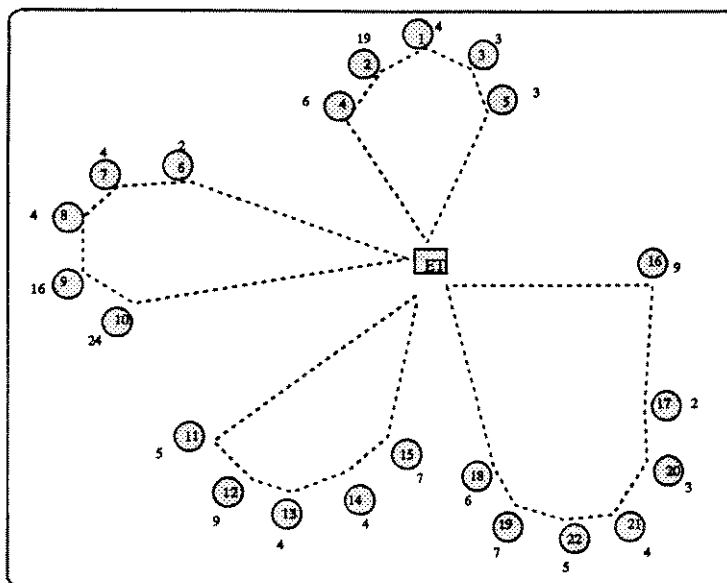


Figura 7.14 - Solução Utilizando Somente Anéis

7.6 Estudo Utilizando Preços Atuais

O objetivo desse estudo é calcular o preço de uma RE utilizando os custos atualmente praticados no mercado. O estudo considera os custos de equipamento, cabos ópticos instalado, canalização de dutos, subdutos e alimentação. O cenário utilizado foi o referência. Os custos apresentados a seguir, são baseados em informações fornecidas pelas empresas operadoras e fabricantes de equipamentos.

- Custo do sistema ELO 34 (utilizado como referência): US\$ 22.000. Para os demais equipamentos, calcula-se os custos utilizando-se a relação de custos relativos apresentada no item 7.3.
- Custo do equipamento PCM 30: US\$ 3.500. Esse equipamento é utilizado para converter os sinais analógicos de telefonia em feixes de 2 Mbps, com capacidade de 30 canais. Para os usuários que utilizam serviços de voz convencional, linhas privativas de voz e dados, faz-se necessária a sua utilização. No cenário considerado

esses serviços demandam 240 PCM 30, sendo 120 instalados nos nós de assinante e 120 na central.

- Custo de Cabo Óptico Subterrâneo (incluindo instalação) e quantidade utilizada na RE:

Nome	No. fibras	Custo (US\$/m)	Quantidade Utilizada (m)
Cabo APL6	6	10,3	360
Cabo APL12	12	11,0	440
Cabo APL18	18	11,6	90
Cabo APL24	24	12,3	70
Cabo APL36	36	12,8	812

- Custo de Canalização de Dutos e Subdutos e a quantidade demandada:

Item	No. de Bocas	Custo (US\$/m)	Quantidade Utilizada (m)
Canaliz. de Duto	4	53	480
Subduto	4	10	1385

- Outros custos:

Item	Custo (US\$)	Quantidade Utilizada	Observações
Alimentação Eletr. Usuário	650	22	uma por assinante
Alimentação Eletr. Central	350	22	uma por assinante
Caixa de Emenda Óptica	1045	12	inclui custo de emenda
Conectores Ópticos	90	178	8 por assinante

Resultados obtidos:

Item	Custo (US\$)	%
Equipamentos (exceto PCM 30)	528.000	35,7
PCM 30	840.000	56,8
Cabos (inclui emenda e conectores)	49.201	3,3
Dutos e Subdutos	39.290	2,7
Sistema de Alimentação	22.000	1,5
Total	1.478.491	100

No gráfico da figura 7.15, agrupamos os custos de equipamento e também os custos de infraestrutura (dutos, subdutos e alimentação).

O custo final da RE considerando a solução do item 7.5 (topologia Anel) será:

Item	Custo (US\$)	%
Equipamentos (exceto PCM 30)	720.000	43,6
PCM 30	840.000	50,8
Cabos (inclui emenda e conectores)	31.775	1,9
Dutos e Subdutos	39.290	2,4
Sistema de Alimentação	22.000	1,3
Total	1.653.065	100

Distribuição de Custos na RE

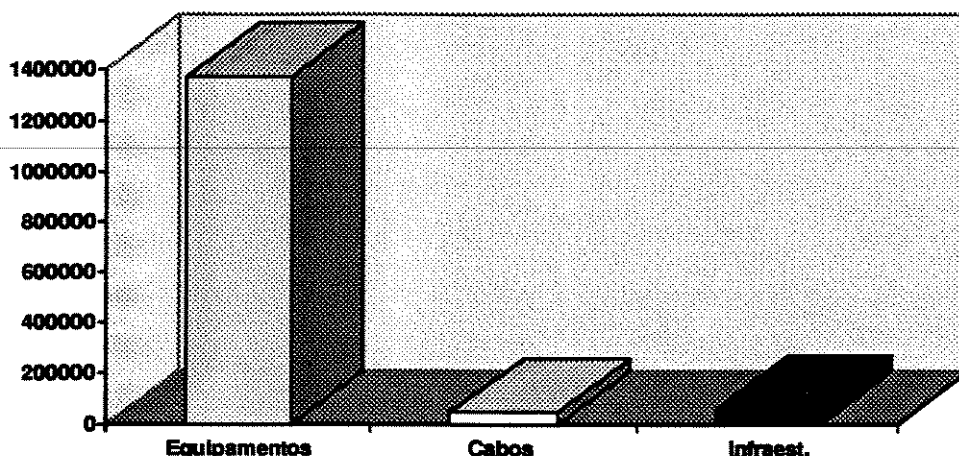


Figura 7.15

7.7 Comentários sobre os Resultados Encontrados

Analisando os resultados obtidos nos cenários estudados, podemos concluir que:

- Considerando os preços atualmente praticados no mercado, prevalece a utilização de sistemas ponto a ponto PDH de 34 Mbps, em topologia Estrela Simples.
- Os custos dos abrigos e armários não viabilizam a utilização de Estágios Remotos. Consequentemente não obtemos soluções utilizando a topologias Dupla Estrela Ativa e Anel/Estrela. Prevalecem as topologias Estrela Simples, Anel e um misto de Estrela Simples com Anel. Acreditamos que as topologias que utilizam estágios remotos somente serão viabilizadas na Rede Óptica Primária e Rede Óptica de Assinante.
- A utilização de anéis passa a ser viável em algumas situações em que existem 2 ou mais nós de assinante com demanda superior a 16 feixes de 2 Mbps. Consequentemente, conforme aumentamos a demanda da rede, observamos a entrada gradativa dos anéis STM1. Essa tendência é reforçada quando ocorre também uma queda no custo dos ADM's.
- Como mostra a figura 7.12, os ADM's passam a competir fortemente com os sistemas PDH ponto a ponto quando seu preço for 30% menor. Como existe uma perspectiva de queda nos custos desses equipamentos podemos concluir que a topologia anel poderá ser bastante utilizada no futuro.
- Na escolha do cenário a ser instalado deverão ser considerados outros aspectos além do custo final, tais como redundância e flexibilidade. As rotas estratégicas deverão

apresentar uma alta taxa de "sobrevivenciabilidade" (survivability), uma vez que atenderá usuários com altas taxas de demanda. Elas deverão apresentar também muita flexibilidade para atender aos aumentos de demanda dos serviços existentes e de novos serviços atualmente não contemplados. Comparando os custos da RE na solução ponto a ponto (US\$ 1.478.491) com a solução usando somente sistemas ADM1 mostrado no item 7.5 (US\$ 1.653.065), vemos que o último é somente 11,8% superior e é um bom exemplo de atendimento de tais aspectos. Ele apresenta maior segurança e, conseqüentemente, melhor qualidade de serviço, uma vez que utiliza somente anéis SDH.

- O custo de equipamento mostrou-se muito alto em relação aos demais custos da rede (92,5%). Essa relação tende a diminuir com a queda no preço dos equipamentos SDH e do PCM 30. Outro fator que poderá contribuir para isso é a utilização menor de PCM 30 na estação telefônica, através do uso de centrais digitais, as quais permitem a entrada direta do feixe de 2 Mbps.
- No nosso estudo, o custo do feixe de 2 Mbps (Cfe2) pode ser calculado da seguinte forma:

$$Cfe2 = (\text{Custo total da RE} - \text{Custo de PCM 30}) / 150 = \text{US\$ } 638.491 / 150$$

$$Cfe2 = \text{US\$ } 4.256,61$$

O custo do canal de 64 Kbps (Cca64) pode ser calculado da seguinte forma:

$$Cca64 = (Cfe2 + \text{Custo do PCM30}) / 30 = \text{US\$ } 7.756,61 / 30$$

$$Cca64 = \text{US\$ } 258,55$$

O valor por canal de 64 Kbps, é competitivo em relação à rede de cobre para a qual o custo de instalação situa-se entre 600 e 900 US\$ por canal. Este resultado sinaliza para a viabilidade de implantação da Rede Óptica Primária. Esta viabilidade fica enfatizada se lembrarmos que a rede do cenário referência tem capacidade para veicular 384 feixes de 2 Mbps e que está sendo utilizada por apenas 150 feixes: há, portanto, uma folga razoável (234), cuja utilização (futura) virá a baratear ainda mais o custo rateado do canal de 64 Kbps.

- Observando a figura 7.12, podemos concluir, como era de se esperar, que o modelo apresenta uma forte dependência de custo.

- A maioria dos grandes clientes demandarão taxas inferiores a 51 Mbps. Consequentemente, para os países que utilizam o SDH no padrão europeu, deveria ser discutida a conveniência de se propor a padronização de equipamentos SDH de hierarquia inferior (51 Mbps) para utilização na rede de acesso.
-

Capítulo 8

Considerações Finais

8.1 Conclusões

Gostaríamos de ressaltar duas conclusões importantes a respeito desse trabalho. A primeira relacionada com o desempenho do modelo e a segunda com os custos obtidos.

O modelo proposto apresentou um comportamento aceitável. O tempo de execução utilizando pacotes comerciais foi baixo, da ordem de segundos para a maior parte das rodadas do modelo. No pior caso, foram necessários 215,7 segundos para resolução de um cenário com 41 pontos de demanda e 224 variáveis inteiras. Considerando que a maior parte das redes apresentarão de 20 a 30 pontos de demanda, podemos concluir que o modelo pode ser utilizado no planejamento das Rotas Estratégicas, encontrando em tempo satisfatório a solução ótima de alocação de equipamentos. Consequentemente, o modelo pode ser incorporado à ferramenta de Planejamento de Rotas Estratégicas denominada PREST, apresentada no Apêndice 3.

Vale ressaltar que esses resultados mostram que não se faz necessário o desenvolvimento de um resolvidor dedicado para o modelo. Os pacotes comerciais, atualmente disponíveis a preços razoáveis, se mostraram eficientes para resolução do problema.

Em função dos resultados satisfatórios obtidos nesse trabalho, podemos utilizar esse modelo como referência para o planejamento das demais redes ópticas aqui apresentadas. Para a Rede Óptica Primária praticamente não existe necessidade de modificações. Considerando que a rede secundária demanda uma grande quantidade de fibra óptica, para a Rede Óptica de Assinante deverá ser considerado o custo da fibra no modelo.

Em relação aos resultados mostrados no capítulo anterior, podemos concluir:

- As RE's são dedicadas ao atendimento de grandes clientes, os quais necessitam de redes com alta disponibilidade. Considerando que a solução utilizando a topologia em

Anel é somente 11,8% mais cara que a solução de custo mínimo (topologia Estrela Simples) e que oferece mais segurança, podemos concluir que a topologia em Anel se mostrou bastante apropriada para ser utilizada nas RE's.

- Os custos obtidos por canal de 64 Kbps e 2 Mbps mostram que as Empresas Operadoras devem considerar a implantação da Rede Óptica Primária para os dias atuais e não para o futuro. Vale ressaltar que em 1994 34% da Rede Primária dos Estados Unidos já era constituída de fibra óptica.

8.2 Perspectivas de Continuidade

O planejamento da Rede Óptica de Acesso, a qual engloba as Rotas Estratégicas, a Rede Óptica Primária e a Rede Óptica de Assinante, será um grande desafio para as Empresas Operadoras. A existência de várias topologias, a indefinição dos custos de instalação, operação e manutenção, bem como indefinições relativas aos novos serviços e a receita gerada pelos mesmos, tornam o planejamento dessa rede bastante complexo. Neste sentido as empresas operadoras necessitarão de ferramentas de planejamento que as auxiliem na realização desta atividade.

As ferramentas atualmente utilizadas pelas empresas operadoras no planejamento de Rede Externa foram, na sua maioria, produzidas na década de 80 e não contemplam os avanços tecnológicos aqui apontados. Consequentemente, será necessário a atualização das ferramentas existentes e/ou o desenvolvimento de novas ferramentas. A ferramenta de planejamento de Rotas Estratégicas (PREST), a qual foi desenvolvida considerando a nova concepção de estrutura de software e de interface com o usuário, pode ser considerada um primeiro passo para resolução desse problema.

Baseado nas expectativas das empresas operadoras, podemos apontar como futuros trabalhos o desenvolvimento de modelos matemáticos de otimização para serem utilizados no planejamento da Rede Óptica Primária e Rede Óptica de Assinante, e também a necessidade da criação de uma nova metodologia de planejamento, que considere a rede externa como um todo. Nesta futura rede estarão presentes, não só a Rede Óptica de Acesso, como também as redes de telefonia celular (móvel e fixa) e as redes de CATV. Para essa nova metodologia será necessário o desenvolvimento de

ferramentas e, conseqüentemente, modelos matemáticos com uma nova abordagem, que considere não somente os custos mas também as expectativas de evolução dos mesmos e a receita gerada pelos novos serviços oferecidos pela nova rede.

Apêndice 1

Referências Bibliográficas

- ADAMS, P.F., HORNUNG, S., *The Impact of New Technology on the Planning and Operation of Access Network*, Proceedings of Sixth International Network Planning Symposium, Hungary, 1994, pp. 557-562.
- BAZARAA, Mokhtar S., JARVIS, J.J., SHERALI, H.D., *Linear Programming and Network Flows*, WILEY, New York, 1990.
- BORTOLON, Saulo, TAVARES, H. M.F., RIBEIRO, R.V., *A Heuristic Solution to the Bundling Problem and its Application to Large Fiber Optical Metropolitan Transmission Networks Planning*, Proceeding of 3rd International Conference on Telecommunication Systems, Nashville, March 1995, pp. 450.
- CHAFFAUT, G. DU, BORGNE, M., CARPENTIER, S., QUERE, J., *An Attractive ATM PON Proposal for FTTH Connection*, Fiber Optics, January 1993, pp. 33-36.
- CLARKE, D.E.A., HALE, M.A., CHUTER, J.B., *Control Aspects of TDMA System for Passive Optical Networks*, IEEE International Telecommunications Symposium, Rio de Janeiro, 1990, pp. 0033-0037.
- COMBES, M.C., MARITON, S., *Methodology for Evaluation of Fibre in the Loop Scenarios*, Proceedings of Sixth International Network Planning Symposium, Hungary, 1994, pp. 599-603.
- COSTA, Rômelo A. V., *Uma Heurística para o Problema de Localização de Centros de Fios -MICROLOCUS*, Tese de Mestrado, Instituto de Ciências Exatas, Departamento de Ciências da Computação, UFMG, Belo Horizonte, 1991.
- DALL' ANTONIA, Juliano, *Esboço de uma Rede Óptica de Assinante para o STB*, Anais do VIII Seminário de Rede Externa do Sistema Telebrás, 1991, Brasília-DF, pp. 95-110.
- DALL' ANTONIA, Juliano, *Atualização Tecnológica dos Procedimentos de Planejamento e Projetos de Rede Externa*, Anais do IX Seminário de Rede Externa do Sistema Telebrás, 1992, Brasília-DF, pp. 63-73.
- DALL' ANTONIA, Juliano, CRISTOFIDIS, M. L., *Rotas Estratégicas-Metodologia de Planejamento e Projeto*, Anais do XI Seminário de Rede Externa do Sistema Telebrás, 1994, Brasília-DF, pp. 95-103.
- EIGER, Martin, HARRINGTON, C., *Present Value of Expenditures for Phased Fibre-in-the-Loop Deployment*, Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference, December 91, pp. 1834-1838.

- EIGER, Martin, *A New Approach to Network Planning and Engineering*, Bellcore-artigo de divulgação da ferramenta OPTIACCESS, 1994.
- FERNANDES, Jurandir F.R., BASTOS, M.R., CARLOS M.C.F., *CRONOS - Um Programa para determinar o estágio de Implantação de Centrais*, Revista Telebrás, Número 29, Julho 1984, pp. 21-26.
- FERNANDES, Jurandir F.R. et alii, *PALCO - Utilização de Concentradores em Redes Urbanas*, Revista Telebrás, Número 29, Julho 1984, pp. 39-48.
- FORMIGONI, José R. F., TAVARES, H. M. F., RIBEIRO, R. V., *Ferramenta de Planejamento de Rotas Estratégicas - FPPE*, Anais do XXVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Florianópolis, 1994, pp. 399-404.
- FORMIGONI, José R. F., TAVARES, H. M. F., RIBEIRO, R. V., *A Software Planning Tool for a Business Oriented Optical Access Network*, aceito no IEEE GLOBECOM'95, Novembro 1995, Cingapura.
- FRANÇA, Paulo, FRAISLEBEM, F., TAVARES, H., *O Programa Peor - Uma Metodologia para a Evolução Dinâmica de Cortes de Área*, Revista Telebrás, Número 29, Julho 1984, pp. 27-38.
- FREITAS, José L. S., *Planejamento da Rede Externa: Rumo à Rede Óptica de Assinante*, Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia Elétrica - Densis - UNICAMP, 1994.
- GAMBARO, A., ROSO G., *Planning of Business Oriented Optical Loop Plant*, Proceedings of Fifth International Network Planning Symposium, Kobe, Japan, 1992, pp. 13-18.
- GARCIA, Ailton S., RIBEIRO, R.V., *PORRUS/PORULP - Uma Metodologia Otimizante par Cálculo do Roteamento a Longo Prazo com Segurança*, Revista Telebrás, Número 29, Julho 1984, pp. 49-58.
- HONG, Sugwon, KIM, K., CHUNG, T., *Design of A Hybrid Structure for the Broadband Subscriber Access Network*, Proceedings of Sixth International Network Planning Symposium, Hungary, 1994, pp. 551-556.
- HOOD, Richard C., *The Progress of Fiber-in-the-Loop (FITL)*, Anais do XI Seminário de Rede Externa do Sistema Telebrás, 1994, Brasília-DF, pp. 177-181.
- JACK, Carolyn, KAY, S. SHULMAN, A., *NETCAP - An Interactive Optimization System for GTE Telephone Network Planning*, Interfaces 22, 1992, pp. 72-89.
- LABELLE, Serge, FORD, D., ELHAGE, S., *Access and Switch Diversity - Exclusive Option or Basic Service*, Proceedings of Fifth International Network Planning Symposium, Kobe, Japan, 1992, pp. 25-30.
- LU, Kevin, EIGER, M. I., LEMBERG, H.L., *System and Cost Analyses of Broad-Band Fibre Loop Architectures*, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 8, No. 6, August, 1990, pp. 1058-1067.

- McGREGOR, Ian M., SEMPLE, G.J., NICHOLSON, G., *Implementation of a TDM Passive Network for Subscriber Loop Applications*, Journal of Lightwave Technology, Vol. 7, No. 11, November 1989, pp. 1752-1758.
- MALAVAZI, José Luiz, *Aspectos Gerais da Rede Síncrona*, Revista Telebrás-Edição Tecnologia, Agosto, 1991, pp. 29-34.
- MALLEY, Daniel P., TONGUZ, O.K., *Fibre in The Loop: Where and When is it Feasible*, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 10, No. 9, December 1992, pp. 1523-1544.
- MONCALVO, Agostino, *Trends of Distribution Network*, CSELT Technical Reports, Vol. XXI, No. 3, Agosto, 1993.
- NAKAMURA, Roberto, SOUZA F., A. O., MENDES, J.L.A., *Funcionalidades e Aplicações de Equipamentos da Hierarquia Digital Síncrona (SDH)*, Relatório Interno, CPqD-Telebrás, Março 1995, Campinas.
- OIKAWA, Hisao, YAMAMOTO, H., YAMAMATO, Y., *Design of plant Expansion in Subscriber Optical Fibre Cable Network*, Review of the Electrical Communications Laboratories, Vol.34 No. 1, 1986, pp. 497-503.
- OLSEN, B.T. et alii, *Access Network Alternatives From Race 2087/TITAN*, CSELT Technical Reports - Focus on Evolution of the Distribution Network, Vol. XXI, No. 3, Itália, August 1993.
- OMIDYAR, Cambyse G., ALDRIDGE, A., *Introduction to SDH/SONET*, IEEE Communications Magazine, September 1993, pp. 30-33.
- PESSOA, Paulo M.C., Minohara D., Carvalho M.A., NUNES, E.C., CORTEZ, M.C., MORAIS, A.S., *Concentrador de Linhas de Assinante Distribuído em Anel*, Revista Telebrás-Edição Tecnologia, Vol. 16, No. 56, Outubro 1992, pp. 51-56.
- PRÁTICA SDT - 235-300-600, emitida em Maio de 1979; *Princípios Gerais de Planejamento e Projeto de Redes*, Telebrás, Brasília.
- PRÁTICA SDT - 210-120-102, emitida em Nov. de 1993; *Atualização Tecnológica de Procedimentos de Planejamento e Projeto da Rede de Assinante*, Telebrás, Brasília.
- PRÁTICA SDT - 210-001-102, emitida em Fev. de 1994; *Planejamento de Rotas Estratégicas para Atendimento de Grandes Clientes*, Telebrás, Brasília.
- PRÁTICA SDT - 235-001-607, emitida em Junho de 1994; *Procedimento de Projeto para Rotas Estratégicas*, Telebrás, Brasília.
- PRÁTICA SDT - 210-120-1XX, emitida em Agosto/94; *Conceitos de Rede Óptica Primária*, Telebrás, Brasília.

- QUAGLIA, Eduardo J., TAVARES, H. M.F., RIBEIRO, R.V., *O Enfeixamento no Planejamento da Transmissão: Um Estudo de Caso*, 13º Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, Águas de Lindóia, Setembro 1995, pp. 458-463
- REED, David P., SIRBU, M., *An Optimal Investment Strategy Model for Fibre to the Home*, Journal of Lightwave Technology, Vol. 7, No 11, November, 1989, pp. 1868-1875.
- RELATÓRIO "Avaliação das Ferramentas de Planejamento", relatório interno do CPqD/Telebrás elaborado pelo projeto FPLAN, Abril, 1994.
- RELATÓRIO PD.33.RS.EAA.0003A/RT-01-AA, *Estudo Sobre Possíveis Serviços de Faixa Larga em Rede Óptica de Assinantes*, CPqD/Telebrás, Julho, 1992.
- RELATÓRIO PD.33.RS.EAA.0010A/RT-01-AA, *Rede Óptica de Assinantes - Cenário de Longo Prazo*, CPqD/Telebrás, Abril, 1995.
- RELATÓRIO PD.33.RS.EAA.0009A/RT-01-AA, *Topologia e Configurações Preferenciais da Rede Óptica de Assinantes*, CPqD/Telebrás, Fevereiro, 1994.
- RIBEIRO, Cassilda M., *Planejamento de Redes Telefônicas: Alocação de Concentradores, Indicação de Centros de Fios e Localização de Estágios de Linha Remotos*, Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia Elétrica - UNICAMP, Campinas, 1985.
- RODRIGUES, Marcelo de M. R., *Sistemas Integrados de Configuração de Redes Telefônicas*, Tese de Mestrado, CPGCC - UFMG, Belo Horizonte, 1993.
- SALASOO, A., SANICE, I., *Optimizing Fibre Planning in the Loop*, CH2536/88/000-0156, IEEE 1988, pp. 0156-0160.
- SHULMAN, Alexander, VACHANI, R., *A Decomposition Algorithm for Capacity Expansion of Local Access Network*, IEEE Transactions on Communication, Vol. 41, No. 7, 1993, pp. 1063-1073.
- SHUMATE, Paul W., *Economic Considerations for Fibre to the Subscriber*, Proceedings of European Conf. on Optical Communication (ECOC'93), September, 1993, Montreux, Switzerland, pp. 12-16
- SIRBU, Marvin A., REED D., FERRANTE, F., *An Engineering and Policy Analysis of Fibre Introduction into Residential Subscriber loop*, Vol. 7, No 11, November, 1989, pp. 1876-1884.
- SOSNOSKY, Josepf, TSONG-HO, W., *SONET Ring Applications for Survivable Fiber Loop Network*, IEEE Communications Magazine, June 1991, pp. 51-58.
- TAVARES, Hermano, AQUINO, L.A.C., FRANÇA, P.M., LYRA Filho, C., *Planejamento de Redes Telefônicas Locais - Concepção e Ferramental*, Revista Telebrás, Número 29, Julho 1984, pp. 5-11.

- YAMAKAMI, Akebo, NAKAGAWA J.M., TAVARES, H. , *LOCUS - Um Método Otimizante para Localização de Centro de Fios*, Revista Telebrás, Número 29 Julho 1984, pp. 12-20.
- YAMAMOTO, Hideo, YAMAMATO, Y., OIKAWA, H, *Design of plant Expansion in Subscriber Optical Fibre Cable Network*, Review of the Electrical Communications Laboratories, Vol.34 No. 1, 1986, pp. 489-495.
- YAMAMOTO, Yoshikazu, KOYAMA, Y., OIKAWA, H., *Construction of Subscriber Optical Fibre Cable Network*, Review of the Electrical Communications Laboratories, Vol.34 No. 1, 1986, pp. 39-45.

Apêndice 2

Glossário

A seguir descrevemos o significado das siglas e termos utilizados neste trabalho.

AE - Topologia Anel/Estrela para Rotas Estratégicas e Rede Óptica de Assinante
ADM - Add-Drop Multiplexer
ADSL - Asymmetrical Digital Subscriber Line
ATM - Asynchronous Transfer Mode
BE - Topologia Barramento/Estrela para Rotas Estratégicas
Bellcore - Bell Communication Research
CATV - TV a Cabo
CPAT - Central por Programa Armazenado Temporal
CPqD - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Telebrás
DE - Topologia Dupla Estrela (ativa ou passiva) para Rotas Estratégicas e Rede Óptica de Assinante
DEA - Topologia Dupla Estrela Ativa para Rotas Estratégicas e Rede Óptica de Assinante
DEP - Topologia Dupla Estrela Passiva para Rotas Estratégicas e Rede Óptica de Assinante
ELO - Equipamento de Linha Óptico
EO's - Empresas Operadoras
ER - Estágio Remoto
ES - Topologia Estrela Simples para Rotas Estratégicas
FPROAc - Ferramenta de Planejamento de Rede Óptica de Acesso
FPlan - Projeto de Ferramentas de Planejamento
FTTB - Fiber to the Building ou Fiber to the Business
FTTC - Fiber to the Curb
FTTF - Fiber to the Feeder
FTTH - Fiber to the Home
FTTR - Fiber to the Riser
HDSL - High bit rate Digital Subscriber Line
ITU-T - International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector.
Kbps - 1.000 bips por segundo
LP - Linha Privativa
Mbps - 1.000.000 de bits por segundo
OLTM - Optical Line Terminal Multiplexer
ORACLE - Software Gerenciador de base de dados
PDH - Plesiocronos Digital Hierarchy
RDSI - Rede Digital de Serviços Integrados
RDSI-FE - Rede Digital de Serviços Integrados - Faixa Estreita
RDSI-FL - Rede Digital de Serviços Integrados - Faixa Larga
RE - Rota Estratégica
RENPAc - Rede Nacional de Pacotes
RNT - Rede Nacional de Telefonia
RNTx - Rede Nacional de Telex
ROA - Rede Óptica de Assinante

ROP - Rede Óptica Primária
SDH - Synchronous Digital Hierarchy
SONET - Synchronous Optical Network
SS - Seção de Serviço
STB - Sistema Telebrás
TDM - Time Division Multiplexing
TDMA - Time Division Multiple Access
TM - Terminal Multiplexer
UA - Unidade de Assinante
UC - Unidade de Central
u.m - Unidade Monetária
UNIX - Sistema Operacional
WDM - Wave Length Division Mutiplexing
WDMA - Wave Length Division Mutiple Access

Apêndice 3

FERRAMENTA de PLANEJAMENTO de ROTAS ESTRATÉGICAS - PREST -

1. Principais Objetivos

A PREST (ferramenta de Planejamento de Rotas ESTRatégicas) foi desenvolvida para auxiliar o planejador na execução das etapas da metodologia de planejamento de RE descritas no capítulo 5.

A utilização de uma interface homem-máquina amigável possibilita ao planejador gerar vários cenários alternativos em um curto espaço de tempo. Isso permite uma análise mais abrangente da rede estudada, pois considera diferentes topologias e tecnologias de transmissão. Logo, a ferramenta funciona como um importante instrumento de apoio à decisão, onde o planejador poderá escolher a melhor solução comparando os vários cenários, considerando o custo de instalação, confiabilidade e flexibilidade da rede.

2. Principais Características de uma Ferramenta de Planejamento

O sistema Telebrás possui várias ferramentas de planejamento de rede. Segundo o Relatório "Avaliação das Ferramentas de Planejamento", as principais causas da pouca utilização dessas ferramentas são:

- *Desatualização tecnológica:* a maioria das ferramentas foi desenvolvida na década de 80 e não tem condições de considerar as novas tecnologias que estão sendo incorporadas atualmente nas redes.
- *Interface homem-máquina pouco amigável:* as ferramentas não utilizam interfaces amigáveis, dificultando a inserção dos dados de entrada e a análise dos resultados encontrados.

O desenvolvimento de uma ferramenta de planejamento pode ser dividido nas seguintes etapas: especificação de requisitos, projeto de software, implementação, integração sistêmica, testes sistêmicos e transferência para o usuário.

Na especificação de requisitos a equipe de desenvolvimento estabelece, juntamente com as empresas operadoras quais são requisitos de funcionamento da ferramenta. A participação das Empresas Operadoras se faz necessário porque elas serão as usuárias da ferramenta. As principais características a serem consideradas durante a definição dos requisitos básicos da ferramenta de planejamento são:

- Utilização de uma interface homem máquina amigável, se possível utilizando recursos gráficos. Essa interface deverá possibilitar ao planejador uma fácil inserção dos dados de entrada, uma vez que esse tipo de ferramenta utiliza uma grande quantidade de dados e uma fácil interpretação dos resultados através de relatórios e saídas gráficas.
- Elaboração de um projeto de software modular permitindo que a ferramenta contemple os avanços tecnológicos que venham a ocorrer na rede. Considerando que esses avanços têm ocorrido com frequência, essa característica é importante para que a ferramenta não se torne obsoleta no curto espaço de tempo.
- Disponibilidade do planejador realizar as atividades de planejamento manualmente ou com auxílio de modelos matemáticos.
- Utilização de plataforma hardware/software difundida nas Empresas Operadoras. Atualmente as plataformas mais promissoras são os microcomputadores utilizando o ambiente WINDOWS com processador 486 ou superior e as estações de trabalho tipo RISC com sistema operacional UNIX.

Na especificação de requisitos da PREST uma das maiores preocupações foi desenvolver uma ferramenta que atendesse as características acima e que pudesse ser utilizada sem maiores dificuldades pelos planejadores das Empresas Operadoras.

3. Descrição Funcional

Em termos funcionais a PREST é dividida em três módulos (figura 1):

- *Interface Homem - Máquina:* esse módulo é responsável pela geração de todas as telas necessárias para elaboração do planejamento da RE, as quais são baseadas na metodologia descrita no capítulo 5.
- *Banco de Dados:* nesse módulo são armazenados e gerenciados todos os dados necessários para a elaboração do planejamento.
- *Aplicativos:* nesse módulo existem vários aplicativos para dimensionamento dos equipamentos, cabos e verificação de consistência de topologia de RE.

A comunicação entre os módulos é intensa, sendo realizada através de vários tipos de rotinas. A figura 1 mostra quais são as principais informações trocadas pelos módulos.

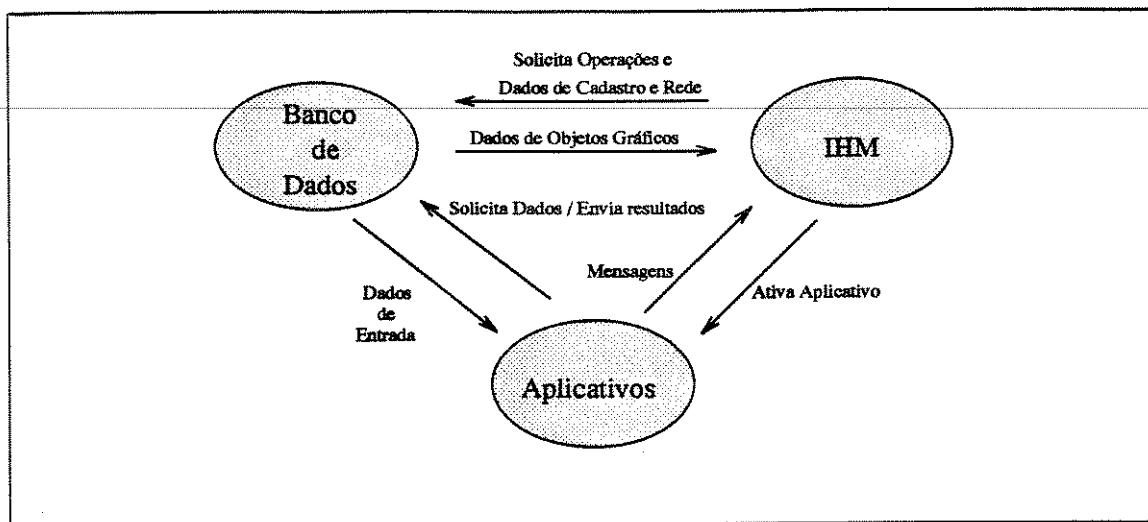


Figura 1 - Módulos da PREST

Nos itens a seguir são descritas as funções de cada módulo.

3.1 Interface Homem - Máquina

A interface foi implementada utilizando-se um aplicativo específico para geração de telas no padrão Motif, denominado TeleUSE. As funções desse módulo são descritas a seguir.

Geração das Telas Utilizadas - a ferramenta possui os seguintes tipos de tela:

- Cadastro Geral - utilizada para o planejador cadastrar os equipamentos, cabos, dutos, subdutos e serviços.
- Cadastro de Elementos de Rede - utilizada para o planejador cadastrar os atributos associados a cada elemento de rede, como por exemplo os atributos de estação, nó de controle, ER, UC, UA e arcos.
- Geração de Cenário: essa tela é o principal ambiente de trabalho da PREST, onde o planejador localiza graficamente todos os nós e arcos da região que está sendo estudada.
- Mensagem de Erro - utilizada para informar ao planejador quando ocorreu algum erro de procedimento, problemas no Banco de Dados ou nos aplicativos.

Gerenciamento da Navegação - o planejador deverá utilizar a ferramenta seguindo a metodologia de planejamento descrita no capítulo 5. Para auxiliar o planejador, a ferramenta possui um sistema de navegação onde as telas e operações só são disponibilizadas no momento adequado, de acordo com a metodologia.

Consistência de Alguns Dados de Entrada - a consistência de alguns dados editados pelo planejador é feita diretamente pela interface, impedindo que o mesmo seja transferido para o Banco de Dados com erro.

Controle dos Objetos Gráficos- a interface disponibiliza para o planejador vários objetos gráficos que são utilizados na tela de Geração de Cenário, como por exemplo nós, arcos e imagens (mapa de fundo).

Ativa Rotinas no Banco de Dados e Aplicativos - a interface solicita a execução de rotinas no Banco de Dados e dos programas do módulo Aplicativos.

3.2 Banco de Dados

O Banco de Dados foi implementado utilizando-se um gerenciador de Banco de Dados denominado Oracle. As principais funções do Banco de Dados são:

Armazenamento de Dados - no Banco de Dados são armazenados em tabelas os dados de cadastro, dados de rede e os resultados de cada cenário estudado.

Gerenciamento dos Dados Armazenados - existe um gerenciamento para evitar redundância e inconsistência dos dados armazenados .

Cálculo de Custo e Estimativa de Receita - o Banco de Dados é responsável pelo cálculo de custo e estimativa de receita.

Geração de Relatórios - o Banco de Dados realiza a geração de relatórios referentes ao cadastro geral e aos resultados dos cenários estudados.

Gerenciamento da Geração de Cenários - o Banco de Dados permite que o planejador guarde os cenários estudados em forma de arquivos e os recupere posteriormente para realização de novos estudos.

3.3 Aplicativos

Algumas atividades complexas não podem ser realizadas no Banco de Dados. Tais atividades são feitas por vários aplicativos implementados em linguagem "C", os quais são descritos a seguir.

a) Consistência da Topologia Dupla Estrela e Barramento Estrela

As principais funções desse aplicativo são:

- Estabelecer níveis de profundidade para os ER's da topologia Dupla Estrela: os demais aplicativos necessitam da informação do nível de profundidade de cada ER da RE, o qual está relacionado com a forma como um ER está ligado à UC. Se o ER for ligado diretamente a UC, seu nível de profundidade é 1. Se o ER for conectado a UC indiretamente, através de um ER de nível 1, seu nível de profundidade será 2. Generalizando, o nível de profundidade de um ER2, que está conectado como tributário de um ER1 de profundidade n , será $n+1$. O estabelecimento desses níveis é feito por um algoritmo tipo Busca em Profundidade em Árvore, que percorre toda a árvore definida pela topologia Dupla Estrela ou Barramento Estrela. A figura 2 mostra uma topologia Dupla Estrela e as profundidades dos ER's.

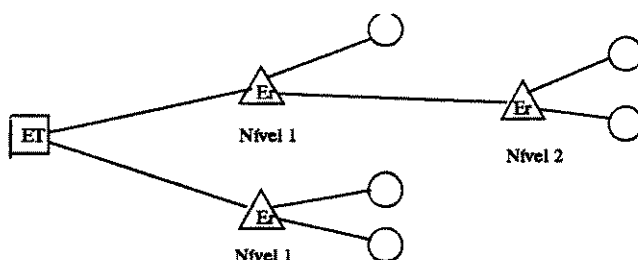


Figura 2 - Profundidade de ER's na Topologia Dupla Estrela

- Verificar consistência da topologia: para realizar a consistência de topologia o aplicativo verifica se todos os ER's estão com profundidade definida e se o número de conexões da topologia é igual a:

$$N_{\text{conex}} = N_{\text{nós}} - 1$$

onde:

N_{conex} = número de conexões da rede;

$N_{\text{nós}}$ = número de nós da rede (nós de demanda, ER e UC).

b) Dimensionamento de Equipamentos

O aplicativo de Dimensionamento de Equipamento é ativado pela interface sempre que o planejador faz a opção de dimensionar os equipamentos da RE no modo automático. Sua principal função é dimensionar e inserir os equipamentos utilizados em cada nó de UA,

ER e UC da RE. Atualmente o aplicativo contempla as seguintes tecnologias e topologias:

- PDH em Estrela Simples e Dupla Estrela Ativa;
- SDH em Estrela Simples, Dupla Estrela Ativa e Anel Estrela;
- PDH/SDH em Estrela Simples e Dupla Estrela Ativa e Anel Estrela;
- TDM/TDMA em Barramento Estrela e Dupla Estrela Passiva.

As indefinições quanto às características funcionais dos equipamentos de tecnologia ATM, a serem utilizados em redes públicas, não permitiram a implementação de algoritmos de dimensionamento para esta tecnologia.

Para contemplar as combinações de tecnologia e topologia acima, o software foi dividido em três funções as quais são descritas a seguir.

Alocação de Equipamentos PDH/SDH em Dupla Estrela Ativa e Estrela Simples

A ordem de alocação dos equipamentos para cada RE é representada pelo fluxograma da figura 3.

Independente da topologia escolhida, primeiramente são dimensionados os equipamentos em cada UA da RE. Se a topologia em estudo for Dupla Estrela Ativa, finalizado o dimensionamento de equipamentos de UA, são dimensionados os equipamentos dos ER's da RE. Existe uma prioridade na escolha de ER sendo dimensionados primeiramente aqueles com maior nível de profundidade. Após o dimensionamento dos equipamentos de todos os ER's, o algoritmo dimensiona os equipamentos da UC.

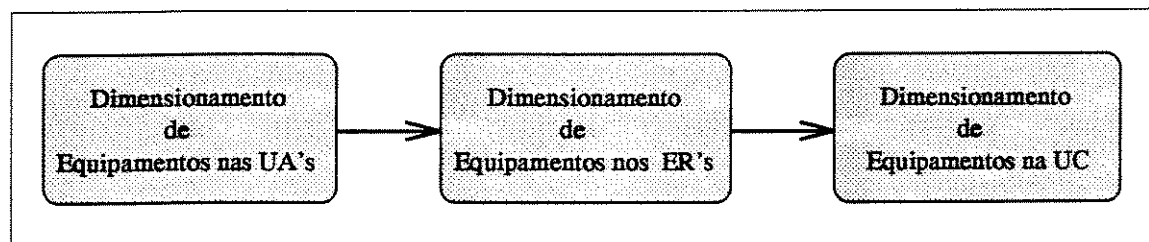


Figura 3 - Dimensionamento dos Equipamentos SDH/PDH em ES e DEA

Alocação de Equipamentos SDH/PDH em Anel/Estrela

Na topologia Anel/Estrela com tecnologia SDH/PDH a ordem de alocação de equipamentos segue a sequência representada na figura 4.

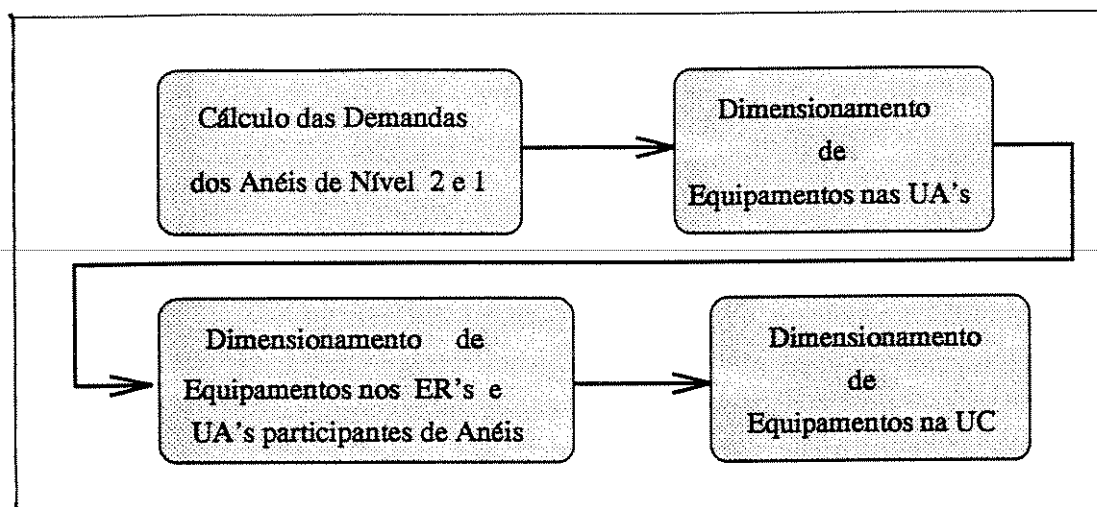


Figura 4 - Dimensionamento dos Equipamentos SDH/PDH em AE

Primeiramente são calculadas as demandas dos anéis de nível 2 e depois a do nível 1. Em seguida são dimensionados os equipamentos de todas as UA's que não participam dos anéis. Esse procedimento é idêntico ao utilizado para topologia Dupla Estrela Ativa com equipamentos PDH ou SDH. O algoritmo escolhe o sistema que atende à demanda pelo menor custo.

Como mostra a figura 5, para os ER's localizados na interconexão de anéis, são colocados dois ADM's, estando cada um conectado a um anel e interligados entre si.

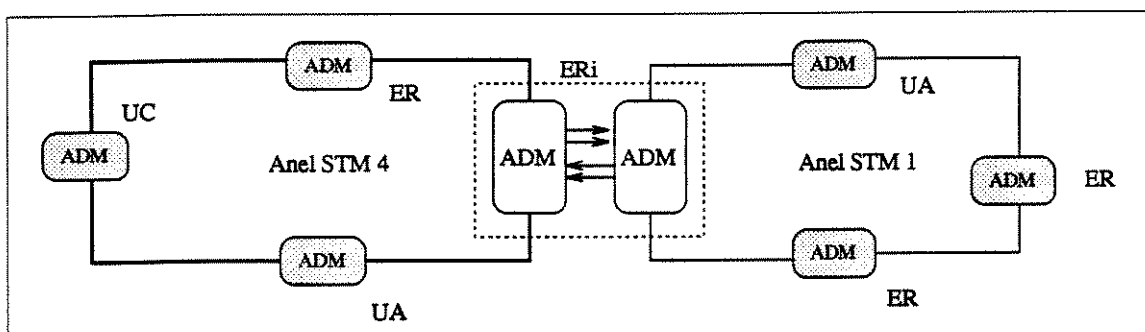


Figura 5 - Interconexão de Anéis de Nível 1 e 2

Alocação de Equipamentos TDM/TDMA em Barramento Estrela e Dupla Estrela Ativa

Esse algoritmo realiza a alocação de equipamentos TDM/TDMA na UC e UA's de RE que utilizam a topologia Barramento Estrela ou Dupla Estrela Passiva. Ele realiza também o dimensionamento dos acopladores passivos utilizados no ER's. A figura 6 representa de modo simplificado os principais procedimentos do algoritmo.

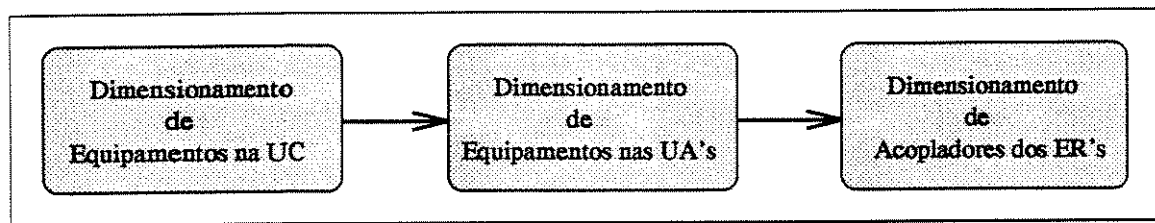


Figura 6 - Dimensionamento dos Equipamentos TDM/TDMA em BE e DEP

No dimensionamento dos equipamentos TDM/TDMA na UC e nas UA's são realizadas as seguintes operações:

- Cálculo da demanda total da RE;
- Escolha do equipamento TDM/TDMA de UC de menor custo que atenda à demanda de toda RE;
- Se existir equipamento cadastrado que atenda à demanda, ele é inserido na UC e em todas as UA's são colocados equipamentos compatíveis com o equipamento de UC;
- Se não existir equipamento cadastrado que atenda a demanda, o algoritmo alocará dois ou mais equipamentos TDM/TDMA na UC, priorizando a alocação de equipamentos de maior capacidade. Esse procedimento é adotado porque quanto maior a quantidade de equipamentos de UC maior será a quantidade de fibras utilizadas e o gasto com manutenção de equipamentos diferentes. Cada equipamento de UC escolhido atenderá um grupo de UA's cuja demanda será menor ou igual a capacidade do equipamento.

Para dimensionar os acopladores dos ER's o algoritmo realiza para cada ER da rede as seguintes operações:

- Calcula a quantidade total de equipamentos terminais utilizados em todas as UA's conectadas ao ER (N_{eqter});
- Supondo que o ER em questão possui nível de profundidade n , o algoritmo verifica a quantidade total de ER de profundidade $n+1$ conectados ao mesmo (N_{ertr});
- O acoplador a ser alocado no ER terá então capacidade 1: n onde n é representado pela seguinte equação:

$$n = N_{eqter} + N_{ertr}$$
- Em cada ER são inseridos dois acopladores com essa capacidade.

c) Dimensionamento de Cabos e Canalização de Dutos

Esse algoritmo é responsável pelo dimensionamento dos cabos aéreos ou subterrâneos utilizados em cada arco da RE e pelo procedimento de ocupação e, se necessário,

ampliação da rede de dutos existente. A figura 7 mostra quais são os principais procedimentos do algoritmo.

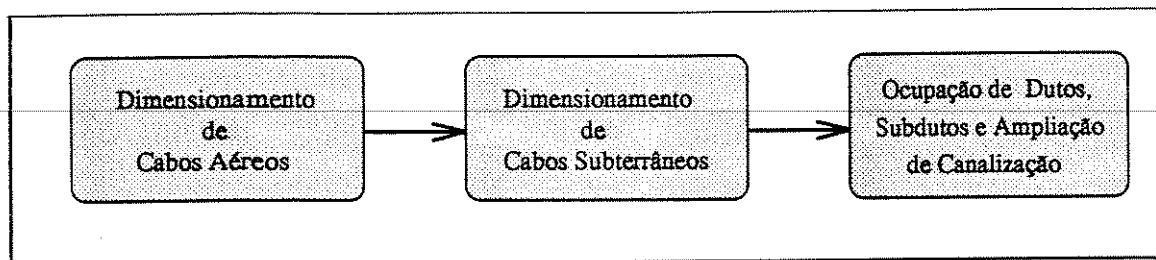


Figura 7 - Alocação de Cabos e Canalização de Dutos