

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

PLANEJAMENTO DA REDE EXTERNA: RUMO À REDE ÓPTICA DE ASSINANTES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

JOSÉ LUIZ DE SOUZA FREITAS

Orientador: Raul Vinhas Ribeiro

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

Este exemplar corresponde à redação final da tese
defendida por JOSÉ LUIZ DE SOUZA FREITAS
FCET/2005 e aprovada pela Comissão
Julgadora em 05/10/1990.

Orientador

A meus pais e avó

José, Marlene e Adélia

A meus irmãos

Maria Conceição

Ana Cláudia

Carlos Henrique

A Iêda e Raíssa

AGRADECIMENTOS

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Na Unicamp em especial a:

- Raul pelo valioso trabalho de orientação
- Hermano pelas discussões iniciais e definição do objetivo a atingir
- Demais professores pelo conhecimento transmitido

No CPqD Telebrás em especial a:

- Geovane e Xavier pelo apoio
- Toda equipe do projeto SAGRE pela amizade e companheirismo
- Trindade pela amizade e incentivo
- Equipe do Projeto Ferramentas de Planejamento pelos comentários e revisão
- Equipe da Pesquisa Aplicada em Rede Óptica de Assinantes pelas discussões

Na Telebahia em especial a:

- Heraldo e Assis pela oportunidade
- Colegas do Departamento de Engenharia da Rede Externa pelos ensinamentos e amizade
- Colegas do Departamento de Planejamento pelo fornecimento de dados

Em especial a Iêda pelo amor e compreensão.

RESUMO

A revolução da comunicação na sociedade moderna, exigindo cada vez mais a troca de informações que agreguem voz, dados, textos e imagens, implica na necessidade de evolução da Rede Externa rumo a Rede Óptica de Assinantes. As atuais ferramentas de planejamento não tratam de forma adequada o novo cenário. Este trabalho propõe uma alternativa de automatização do planejamento da Rede Externa e procura gerar conhecimentos que servirão de alicerces para desenvolvimentos futuros, visto que a Rede Externa Nacional encontra-se no momento dando os primeiros passos rumo a esta nova tecnologia.

ABSTRACT

The communication revolution in the modern society is requiring the exchange of information more and more, that encompass voice, data, texts and images. Such revolution implies the need of evolution in the Outside Plant towards the subscribers optical network. The current planning tools are not quietly adequate to the new scenery. This works proposes an alternative for the automation of Outside Plant Planning, considering that the National Outside Plant is taking its first steps towards this new technology and having the purpose of increasing the experience and knowledge that future developments can be based on.

Índice

Capítulo 1 INTRODUÇÃO	1
Capítulo 2 SISTEMA DE TELECOMUNICAÇÕES	3
2.1 ESTRUTURA DO SISTEMA DE TELECOMUNICAÇÕES	3
2.2 EVOLUÇÃO DO SISTEMA DE TELECOMUNICAÇÕES DAS EMPRESAS OPERADORAS	9
2.3 EVOLUÇÃO DA REDE EXTERNA	10
2.3.1 Rede totalmente metálica	11
2.3.2 Rede metálica mais dispositivos de ganho de par	11
2.3.3 Rede óptica de assinantes	11
2.4 Topologias para a rede óptica de assinantes	11
2.5 Configurações de atendimento ao usuário	14
Capítulo 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 FERRAMENTAS DE PLANEJAMENTO PARA A REDE EXTERNA	17
3.2 CONCLUSÃO	20
Capítulo 4 PLANEJAMENTO DA REDE EXTERNA DE ALIMENTAÇÃO	23
4.1 INTRODUÇÃO	23
4.2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	24
4.3 NOTAÇÃO ADOTADA PARA DESCRIÇÃO DA REDE, DOS PARÂMETROS E VARIÁVEIS DE DECISÃO	28
4.4 MODELO MATEMÁTICO	30
Capítulo 5 PLANAL	35
5.1 DESCRIÇÃO FUNCIONAL DO SISTEMA PLANAL: PLANEJAMENTO ESTÁTICO E DINÂMICO	35
5.2 FASE I : O PLANEJAMENTO ESTÁTICO	37
5.3 FASE II : O PLANEJAMENTO DINÂMICO	44
Capítulo 6 APLICAÇÃO DO PLANO DE ALIMENTAÇÃO EM REDE DA TELEBAHIA E CONCLUSÕES	51
Apêndice A BIBLIOGRAFIA	61
Apêndice B GLOSSÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS EM TELECOMUNICAÇÕES	63
Apêndice C DADOS DA REDE	65

Figuras

Figura 2.1: SISTEMA DE TELECOMUNICAÇÕES	4
Figura 2.2: LIMITE DE SEÇÕES DE SERVIÇO DE UMA ÁREA DE ESTAÇÃO	5
Figura 2.3: DIAGRAMA DA REDE DE ALIMENTAÇÃO	6
Figura 2.4: REDE DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA E REDE DE CANALIZAÇÃO	8
Figura 2.5: ESQUEMÁTICO DE CAIXA SUBTERRÂNEA	9
Figura 2.6: EVOLUÇÃO DO SISTEMA DE TELECOMUNICAÇÕES DAS EMPRESAS OPERADORAS	10
Figura 2.7: EVOLUÇÃO RUMO A REDE ÓPTICA VIA TOPOLOGIA DUPLA ESTRELA PASSIVA	12
Figura 2.8: EVOLUÇÃO RUMO A REDE ÓPTICA VIA TOPOLOGIA DUPLA ESTRELA ATIVA	13
Figura 2.9: EVOLUÇÃO RUMO A REDE ÓPTICA VIA TOPOLOGIA ANEL ESTRELA	14
Figura 2.10: CONFIGURAÇÕES DE ATENDIMENTO	15
Figura 4.1: REDE DE ARCOS E NÓS	25
Figura 4.2: NECESSIDADE DE ACRÉSCIMO DE PARES PARA ATENDIMENTO VIA CABO METÁLICO	26
Figura 4.3: NECESSIDADE DE ACRÉSCIMO DE PARES PARA ATENDIMENTO VIA CABO METÁLICO E UNIDADE REMOTA	27
Figura 5.1: DIAGRAMA DE CONTEXTO	36
Figura 5.2: DETALHAMENTO DO SISTEMA PLANAL	37
Figura 5.3: PROGRAMAÇÃO DINÂMICA PARA O PLANEJAMENTO ESTÁTICO	38
Figura 5.4: DETALHAMENTO PLANEJAMENTO ESTÁTICO	39
Figura 5.5: SAÍDA DA FUNÇÃO 2.1	40
Figura 5.6: SAÍDA DA FUNÇÃO 2.2	41
Figura 5.7: REDE RESULTANTE APÓS A RETIRADA DOS NÓS QUE CONTÉM URs E NÓS FILIADOS A URs	41
Figura 5.8: SAÍDA DA FUNÇÃO 2.1	42
Figura 5.9: REDE RESULTANTE APÓS A RETIRADA DOS NÓS QUE CONTÉM URs E NÓS FILIADOS A URs	42
Figura 5.10: ALTERNATIVA DE PLANEJAMENTO ESTÁTICO	43
Figura 5.11: Estrutura de custos modificada pelo fator a	43
Figura 5.12: DETALHAMENTO PLANEJAMENTO DINÂMICO	44
Figura 5.13: PROGRAMAÇÃO DINÂMICA PARA O ARCO (1,3)	47
Figura 5.14: PLANEJAMENTO ESTÁTICO	49
Figura 6.1: REDE DE ARCOS E NÓS	52
Figura 6.2: ALTERNATIVA DE MENOR CUSTO UTILIZANDO UR – CENÁRIO 1	53
Figura 6.3: ALTERNATIVA DE MENOR CUSTO UTILIZANDO UR (COM CUSTO REDUZIDO EM 25%) – CENÁRIO 2	54

Figura 6.4: ALTERNATIVA DE MENOR CUSTO UTILIZANDO UR (COM CUSTO REDUZIDO EM 50%) – CENÁRIO 3	55
Figura 6.5: ALTERNATIVA DE MENOR CUSTO UTILIZANDO UR (COM CUSTO REDUZIDO EM 75%) CENÁRIO 4	56
Figura 6.6: ALTERNATIVA DE MENOR CUSTO UTILIZANDO UR (COM CUSTO REDUZIDO EM 75%) E CONSIDERANDO DUTO VAGO NOS ARCOS NOVOS – CENÁRIO 6	57

Tabelas

Tabela 4.1: DEMANDA DE PARES POR ANO	27
Tabela 5.1: PLANEJAMENTO DINÂMICO PARA A FIGURA 5.1 CONSIDERANDO APENAS CABO METÁLICO	48
Tabela 5.2: PLANEJAMENTO DINÂMICO PARA A FIGURA 5.14	49
Tabela 6.1: DADOS COMPARATIVOS DOS CENÁRIOS 0 à 4	56
Tabela 6.2: DADOS COMPARATIVOS DOS CENÁRIOS 5 e 6	58
Tabela C.1: DEMANDA DE PARES PARA SERVIÇOS DE VOZ	66
Tabela C.2: DADOS DA REDE	69
Tabela C.3: PREÇOS DO METRO DE CABO	71
Tabela C.4: PREÇOS DO METRO DE DUTO	71
Tabela C.5: EXPANSÃO EXCLUSIVAMENTE COM PARES METÁLICOS – CENÁRIO 0	72
Tabela C.6: EXPANSÃO UTILIZANDO UNIDADES REMOTAS – CENÁRIO 1	75
Tabela C.7: EXPANSÃO UTILIZANDO UNIDADES REMOTAS COM REDUÇÃO DE 25% NO CUSTO – CENÁRIO 2	78
Tabela C.8: EXPANSÃO UTILIZANDO UNIDADES REMOTAS COM REDUÇÃO DE 50% NO CUSTO – CENÁRIO 3	81
Tabela C.9: EXPANSÃO UTILIZANDO UNIDADES REMOTAS COM REDUÇÃO DE 75% NO CUSTO – CENÁRIO 4	84
Tabela C.10: EXPANSÃO UTILIZANDO APENAS PARES METÁLICOS E CONSIDERANDO A EXISTÊNCIA DE DUTO VAGO NOS ARCOS NOVOS – CENÁRIO 5	88
Tabela C.11: EXPANSÃO UTILIZANDO UNIDADES REMOTAS COM REDUÇÃO DE 75% NO CUSTO E A EXISTÊNCIA DE DUTO VAGO NOS ARCOS NOVOS – CENÁRIO 6	91

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

A sociedade moderna exige de maneira crescente, meios para troca de enormes quantidades de informações que agreguem voz, dados, textos e imagens. Nos próximos anos, a natureza dos serviços e o volume de demanda na indústria de telecomunicações deve mudar drasticamente. O maior crescimento será para outros serviços que não voz, tais como dados, vídeo, facsímile e informações gráficas.

O conceito de uma rede digital de serviços integrados (RDSI) começou a desenvolver-se no início dos anos 70 como forma de atender a demanda por serviços integrados. É, portanto, fundamental que as empresas operadoras de telecomunicações evoluam para Redes Digitais de Serviços Integrados em Faixa Larga (RDSI-FL). Para que isso seja possível, é necessário a modernização da rede externa, através da implantação de redes ópticas de assinantes.

A rede externa é responsável pela parcela mais expressiva dos investimentos no sistema de telecomunicações, em torno de 40%. Isto deve-se principalmente ao alto investimento que é necessário para instalação de cabos e construção de dutos. É o segmento onde se concentra o maior contingente de mão de obra empregado pelas operadoras e é um dos segmentos mais carentes de automatização. Visando contrabalançar esse quadro o sistema Telebrás está desenvolvendo o SAGRE (Sistema Automatizado de Gerência de Rede Externa) que visa automatizar diversas atividades das empresas operadoras relacionadas a rede externa. Uma dessas atividades é o planejamento da rede externa.

O planejamento da rede externa é hoje quase que exclusivamente baseado no bom senso e na experiência de projetistas e planejadores. Em um cenário de transição tecnológica as tarefas de planejamento se tornam mais complexas e ferramentas de apoio à decisão são cada vez mais necessárias. Por isso propomos neste trabalho uma ferramenta que, utilizando-se da pesquisa operacional, possa auxiliar no planejamento da evolução otimizada da rede externa.

No capítulo 2 situamos a rede externa no sistema de telecomunicações, assim como, descrevemos sua evolução.

No capítulo 3 analisamos a bibliografia existente na área de planejamento da rede externa.

No capítulo 4 descrevemos o processo de planejamento e propomos um modelo matemático para sua solução.

No capítulo 5 fazemos a descrição funcional do Planal, uma implementação computacional do modelo descrito no capítulo 4.

No capítulo 6 aplicamos o Sistema Planal a uma rede exemplo da Telebahia e apresentamos as conclusões desta dissertação de mestrado.

No apêndice A, citamos a referência bibliográfica, no apêndice B, apresentamos um pequeno glossário de termos técnicos em telecomunicações e no apêndice C listamos os dados da rede exemplo utilizada no capítulo 6, assim como os resultados da aplicação do Planal a esta rede.

Capítulo 2

SISTEMA DE TELECOMUNICAÇÕES

2.1 ESTRUTURA DO SISTEMA DE TELECOMUNICAÇÕES

Na figura 2.1 apresentamos a estrutura de um moderno sistema de telecomunicações que conforme vemos pode ser dividida em vários segmentos:

- Rede interna de assinante;
- Rede externa de assinantes;
- Sistema de comutação;
- Rede de entroncamento local;
- Rede de entroncamento interurbano;
- Sistema de telefonia móvel.

A rede interna de assinantes é composta pelos equipamentos possuídos e mantidos pelo assinante.

A rede externa de assinantes é responsável pela ligação entre a rede interna do assinante e a estação telefônica que o atende. A rede externa é constituída pelo seguinte conjunto de itens destinados a interligar os assinantes às estações, bem como estas entre si: cabos telefônicos (inclusive cabos de entrada em edifício, fios de distribuição externa); equipamentos e acessórios externos às centrais telefônicas (entrada da vertical do distribuidor geral); canalização subterrânea e posteação.

O sistema de comutação permite um usuário se conectar com qualquer outro através da discagem do número do assinante: eliminando assim a necessidade de conexão ponto a ponto entre cada assinante (o que seria impraticável).

A rede de entroncamento local tem como função interligar as centrais telefônicas de uma área local. Em áreas com um grande número de centrais telefônicas, a ligação entre cada central através de troncos diretos também seria impraticável, sendo então utilizado uma central tandem com a função de conectar as diversas centrais.

A rede de entroncamento interurbano tem como função interligar duas áreas locais.

Os sistemas de telefonia móvel permitem a utilização de telefones móveis portáteis. A área de atendimento é dividida em células, sendo estas transparentes para os usuários, que conseguem trafegar livremente pelas mesmas.

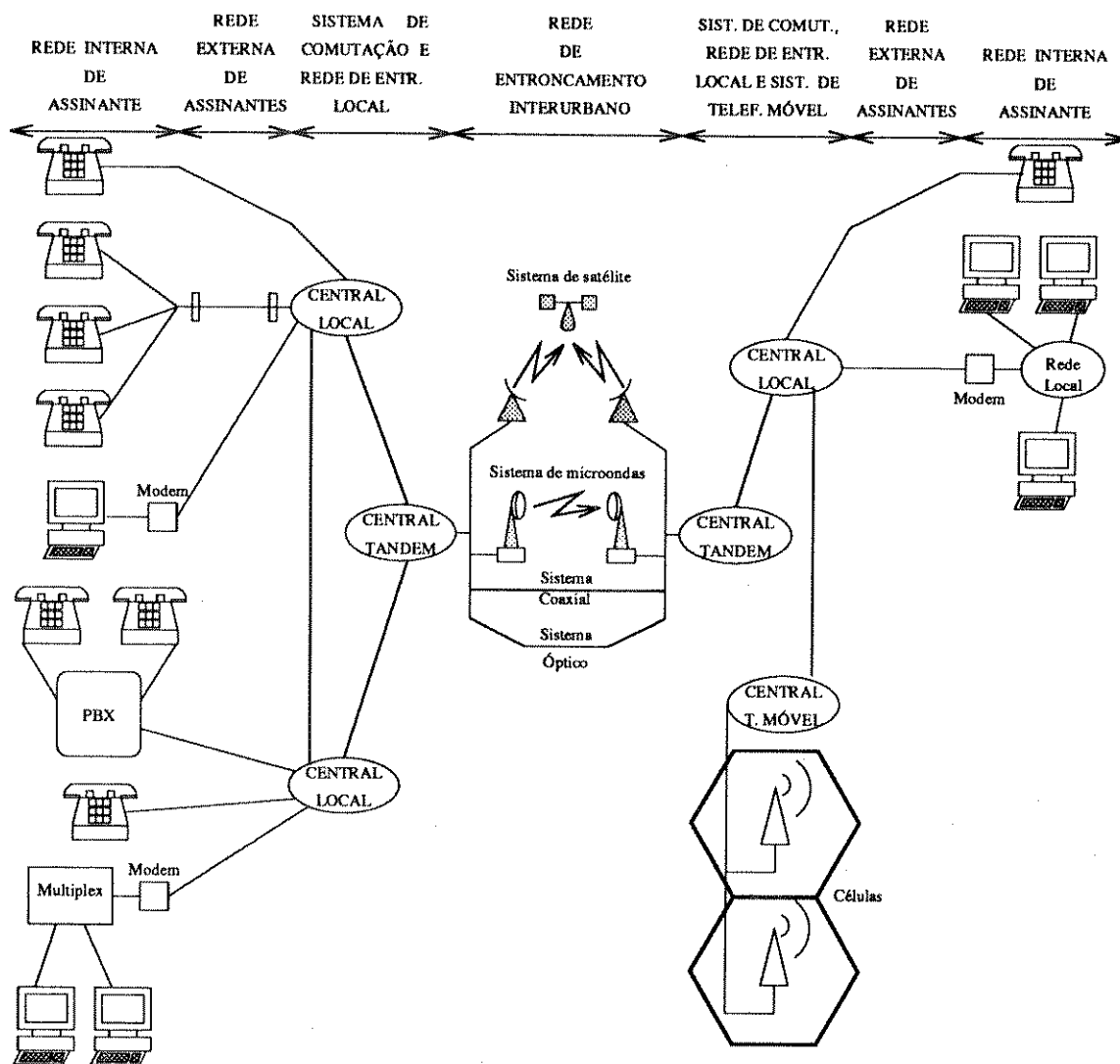


Figura 2.1: SISTEMA DE TELECOMUNICAÇÕES

A área de uma localidade é atendida por uma ou mais estações telefônicas, cada uma com seu limite de atendimento específico (limite de estação). A área de atendimento de uma estação compreende uma rede externa, subdividida em rede de alimentação e rede de distribuição. A área de estação é subdividida em seções de serviço, com seus correspondentes limites de atendimento, conforme ilustrado na fig 2.2¹ pela linha de traço mais grosso. As seções de

1. Por deficiência de editores gráficos utilizados neste documento, os textos apresentados em algumas das figuras aparecem sem a devida acentuação.

serviço constituem a menor unidade para controle de planejamento e projeto de cabos de alimentação.

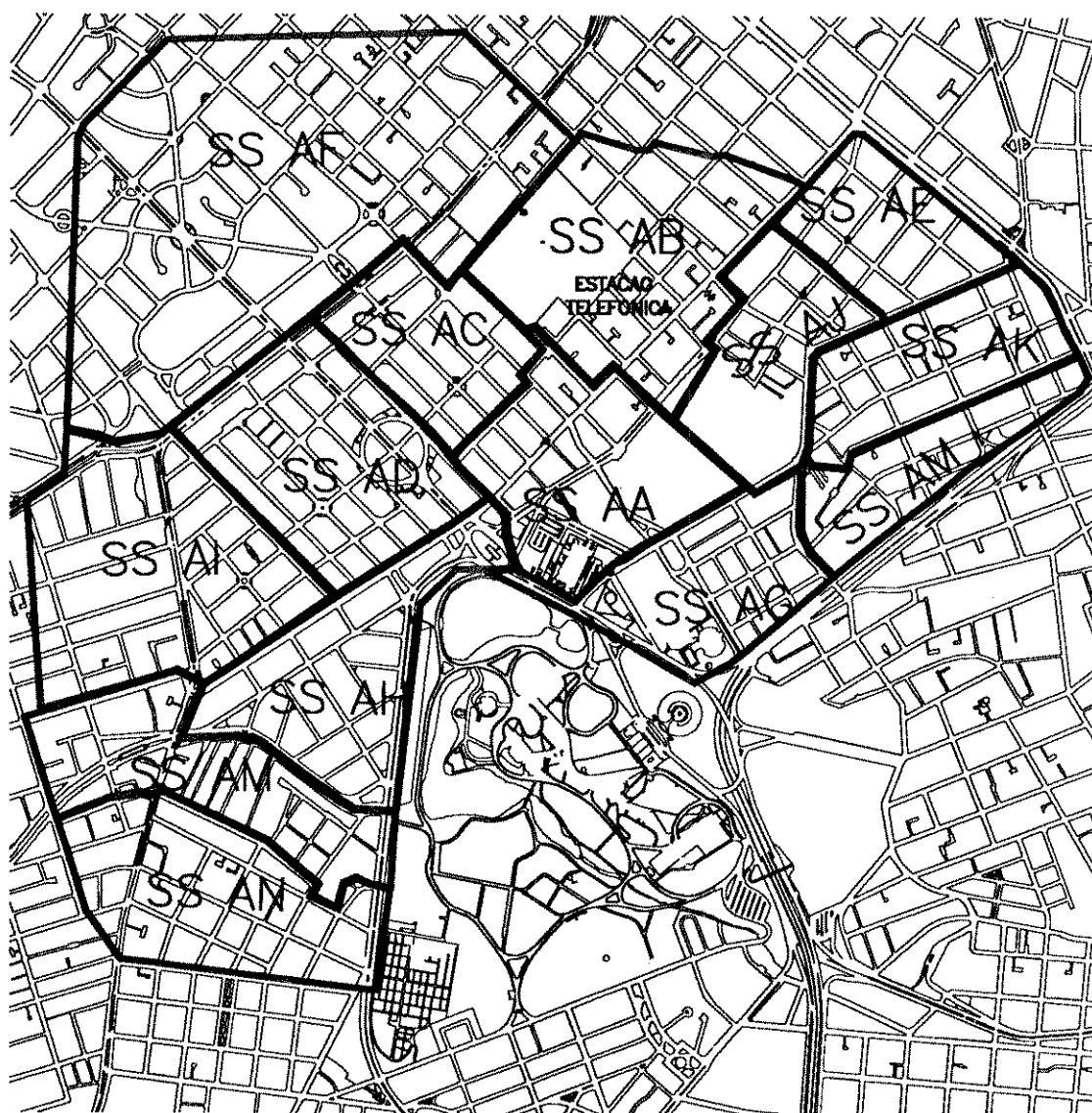


Figura 2.2: LIMITE DE SEÇÕES DE SERVIÇO DE UMA ÁREA DE ESTAÇÃO

A rede de alimentação é responsável pela ligação entre os pontos de alimentação das seções de serviço e a estação telefônica conforme ilustrado na figura 2.3 pela linha de traço mais grosso. Nesta linha o ponto 0 representa a estação telefônica, 1 representa uma derivação na rede e de (2 a 15) representam pontos de alimentação das seções de serviço.

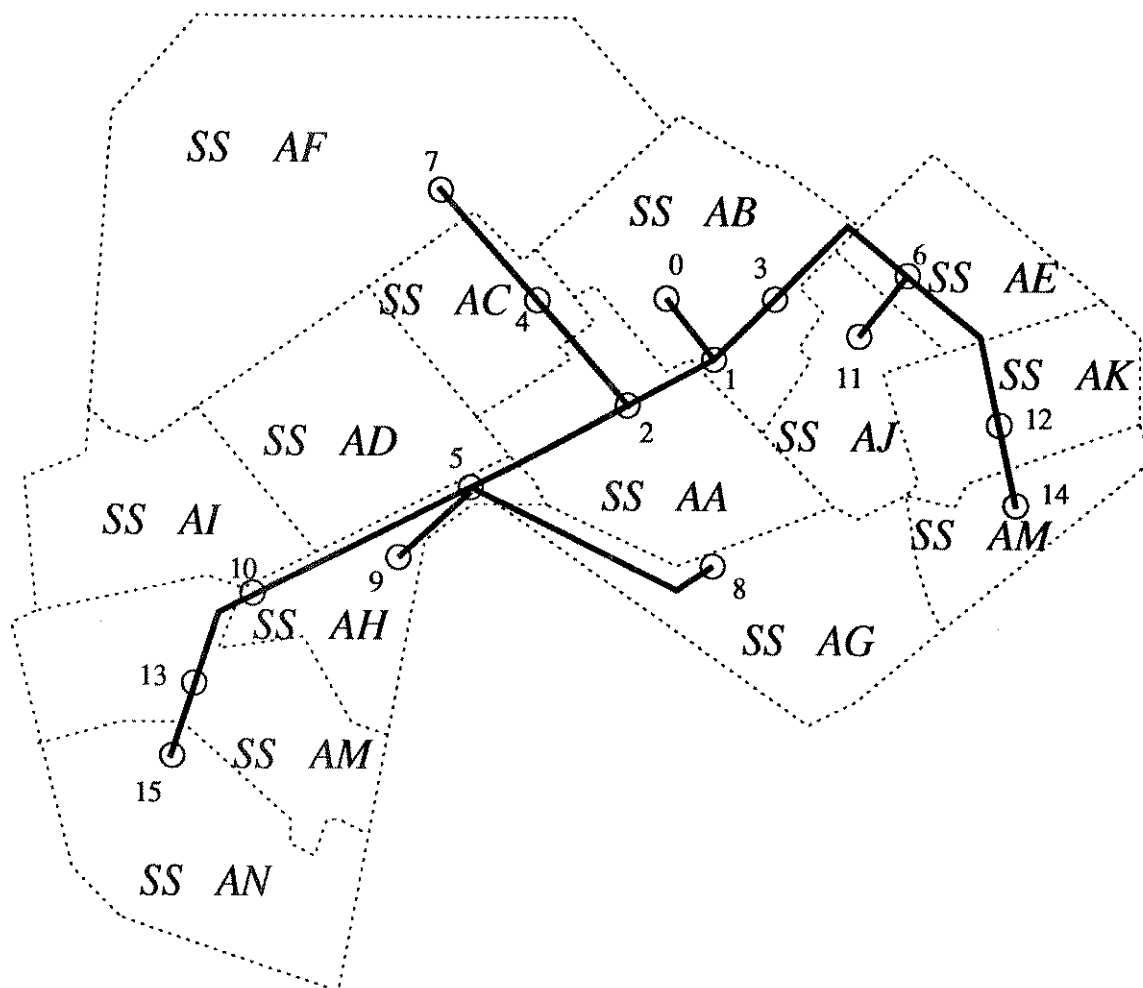


Figura 2.3: DIAGRAMA DA REDE DE ALIMENTAÇÃO

A rede de alimentação normalmente é subterrânea. Ou seja os cabos se encontram no interior dos dutos da canalização subterrânea.

A rede de distribuição é responsável pela ligação entre a rede interna de assinante e o ponto de alimentação da seção de serviço, a rede de distribuição é normalmente aérea, ou seja, os cabos são sustentados por postes.

A transição entre a rede de alimentação e distribuição normalmente é feita via armário de distribuição, caracterizando uma rede flexível ao contrário da rede rígida em que a transição se faz sem o mesmo. Os cabos de distribuição alimentam as caixas terminais. Destas é que saem os fios externos para atendimento aos assinantes.

Na figura 2.4 apresentamos o desenho de um trecho da rede que atende a seção de serviço AF. Nesta figura vemos parte da rede de distribuição e parte da rede de canalização subterrânea por onde passam os cabos que alimentam a SS AF.

O lance de duto é um conjunto de tubulações que interligam pontos para passagem de lances de cabos subterrâneos. Em “dados de lance de dutos” (figura 2.4) temos:

- 2X2 PVC-L 100 Significa que é um lance de dutos que apresenta 4 furos agrupados em duas camadas de dois furos ou dutos, o material do duto é PVC liso e o diâmetro do duto é de 100 milímetros.
- PP 63 Significa que a distância parede a parede entre CS 5243 e CS 5245 é de 63 metros.
- CC 68 Significa que a distância centro a centro entre CS 5243 e CS 5245 é de 68 metros.

A caixa subterrânea é uma caixa de passagem instalada sob o chão, constituída, normalmente, de tijolo ou concreto, tendo como finalidade permitir o puxamento dos lances de cabos, acomodar emendas, derivar lances de cabos, receber equipamentos de tratamento de linha (repetidores, potes de pupinização, etc.) e permitir os trabalhos no seu interior.

O duto lateral é um lance de dutos que permite a instalação de lances de cabo que fazem a transição entre a rede aérea e subterrânea.

Como podemos ver, a rede da figura 2.4 é flexível pois seus lances de cabo de alimentação terminam em um armário de distribuição. Este é um equipamento destinado a suportar e abrigar blocos de conexão que possibilitam a interligação dos lances de cabo da rede de alimentação com os lances de cabo da rede de distribuição. O armário se apoia em uma base, estrutura de concreto, que permite o seu assentamento assim como a terminação dos dutos por onde passam os cabos da rede de alimentação e da rede de distribuição, o armário pode também ser instalado em postes.

A subida de lateral é um lance de cabo que faz a transição entre a rede aérea e a rede subterrânea/enterrada.

A emenda é o elemento que tem como função permitir a conexão de lances de cabos.

A caixa terminal é o elemento que atua como meio de ligação entre o lance de cabo de distribuição e os fios externos ou entre o lance de cabo de entrada de prédios e a rede interna do mesmo.

Em “dados de lance de cabo” (figura 2.4) temos:

- CA 40 200 Significa que o lance de cabo apresenta os condutores isolados em plástico e a capa externa é APL, o diâmetro dos condutores é 0.40 milímetros e a capacidade é de 200 pares.
- AF 1 – 17 Representa a contagem do lance de cabo, AF representa a origem da contagem que é o armário AF. E 1 – 17 é identificação dos pares no armário que vai do par 1 ao par 170.
- 30 X M Significa que trinta pares do lance de cabo são mortos ou seja não alcançam o armário, logo não tem contagem associada.

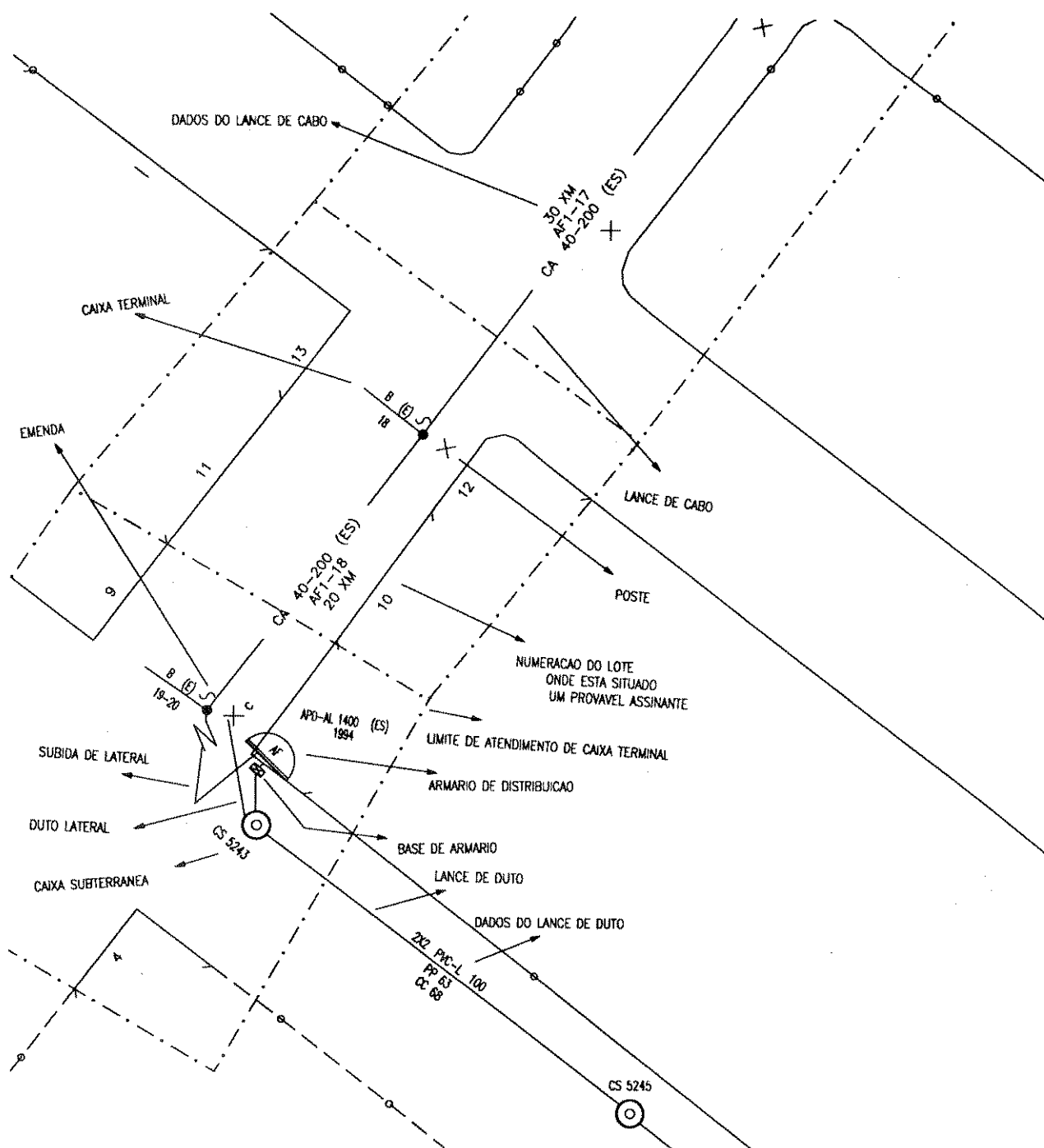


Figura 2.4: REDE DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA E REDE DE CANALIZAÇÃO

Na figura 2.5 apresentamos o esquemático da caixa subterrânea CS 5245 da figura 2.4, ilustrando os lances de cabos e equipamentos no seu interior.

A “formação de dutos” (figura 2.5) representa a visão de um corte do lance de dutos, detalhando a sua ocupação.

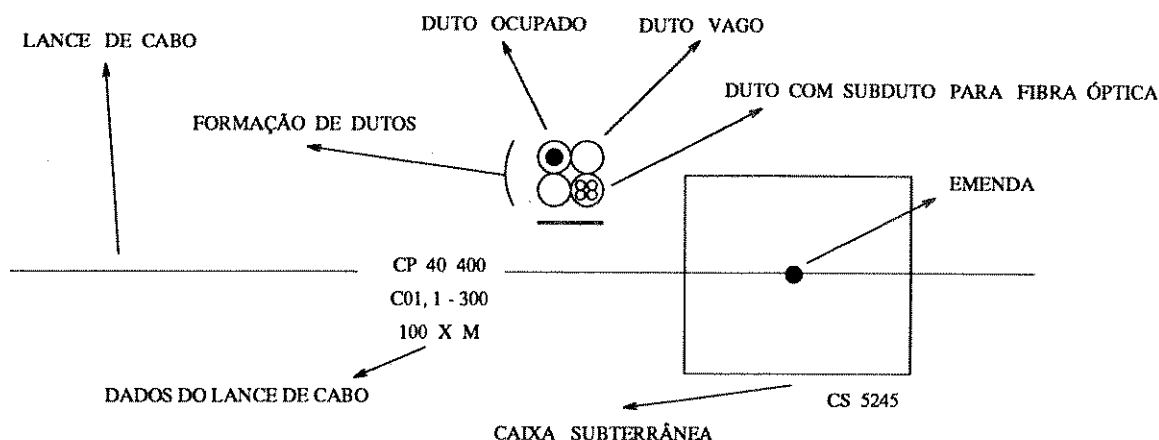


Figura 2.5: ESQUEMÁTICO DE CAIXA SUBTERRÂNEA

A rede de distribuição tem sido tradicionalmente planejada para atender a demanda final de um período de estudo: visando explorar a economia de escala. Em contrapartida, a rede de alimentação sofre periodicamente pequenas expansões de forma a atender a demanda a médio prazo.

2.2 EVOLUÇÃO DO SISTEMA DE TELECOMUNICAÇÕES DAS EMPRESAS OPERADORAS

As empresas operadoras de serviços de telecomunicações evoluíram no tempo através de estágios como ilustrado na figura 2.6[1]. A meta é chegar à Rede Digital de Serviços Integrados em Faixa Larga (RDSI-FL).

No estágio 1, que ocorreu até os anos 50, temos uma rede totalmente analógica.

No estágio 2, que ocorreu nos anos 60 e 70 temos a introdução da transmissão digital.

No estágio 3, que ocorreu de meados dos anos 70 e anos 80 temos a introdução das centrais digitais.

No estágio 4, que ocorre nos anos 90, teremos experiência de introdução da RDSI.

No estágio 5, que ocorrerá após os anos 90, teremos a introdução da RDSI-FL.

Até o momento, a rede externa ligando usuários residenciais e comerciais à central telefônica mais próxima com pares metálicos tem sofrido poucas mudanças, apesar da revolução nas tecnologias de comutação e transmissão nas duas décadas passadas. É no segmento rede externa que se encontra a menor evolução tecnológica do setor de telecomunicações, constituindo-se assim num dos principais fatores limitantes à expansão do sistema no país [2].

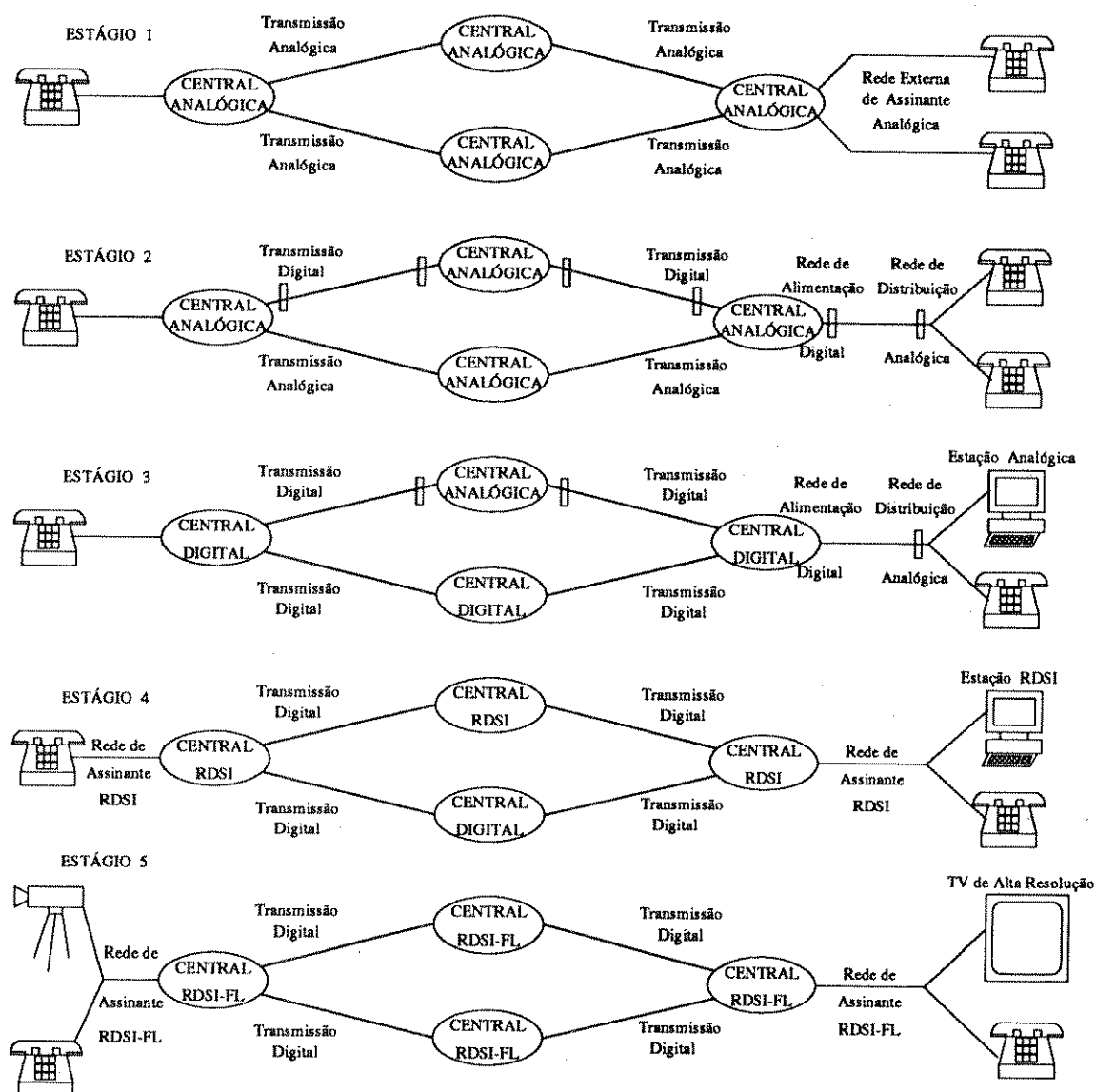


Figura 2.6: EVOLUÇÃO DO SISTEMA DE TELECOMUNICAÇÕES DAS EMPRESAS OPERADORAS

2.3 EVOLUÇÃO DA REDE EXTERNA

Do ponto de vista de planejamento podemos dividir a evolução da rede externa em três estágios [3]:

1. rede totalmente metálica,
2. rede metálica mais dispositivos de ganho de par,
3. rede óptica de assinantes.

2.3.1 Rede totalmente metálica

Na rede totalmente metálica para cada assinante existe um par de fios que o interliga a central telefônica. O grande problema desta consiste em determinar para cada trecho da rede se o mesmo atende a demanda futura. No caso de ser necessário expandir a rede, procura-se tirar o máximo proveito da competição entre: economia de escala² x custo do dinheiro no tempo. Neste confronto cada trecho da rede pode ser analisado separadamente, já que em termos de capacidade de cabo não há interferência de um trecho com os demais. Há interferências entre os trechos na determinação da bitola dos cabos, de forma a atender a limites de transmissão.

2.3.2 Rede metálica mais dispositivos de ganho de par

O próximo passo na evolução da rede externa foi dado com o advento de dispositivos que permitem diversos assinantes compartilhar um único par. A estes chamaremos genericamente de dispositivos de ganho de par(DGP). Os DGPs apresentam uma ou algumas das características abaixo:

- Multiplexagem,
- Concentração,
- Comutação local.

Acrescenta-se aos problemas descritos em 2.3.1 a necessidade de se localizar e dimensionar os DGPs.

2.3.3 Rede óptica de assinantes

Com o surgimento das fibras ópticas e com a redução em seu custo crescem as oportunidades de sua utilização na rede externa, devendo ser empregada inicialmente na rede de alimentação, mas devendo chegar, em futuro às proximidades do assinante, à esquina (“curb”), e posteriormente às instalações do mesmo.

A fibra óptica deve ser utilizada em conjunto com equipamentos optoeletrônicos que chamaremos genericamente de estágio remoto(ER). Existem várias topologias possíveis para a rede óptica de assinantes que dependem dos equipamentos a serem utilizados e de critérios de custos.

2.4 Topologias para a rede óptica de assinantes

Após estudos realizados pelo CPqD da Telebrás [4], foram selecionados três topologias como mais adequadas para o sistema Telebrás:

Dupla Estrela Passiva – Topologia que emprega um estágio intermediário entre a central (CT) e o assinante. Este estágio é formado unicamente por componentes passivos, que distribuem os sinais a todos os assinantes cobertos pelo ER. Os assinantes estão ligados ao estágio remoto por meio de uma fibra ou um par de fibras dedicadas. A figura 2.7 ilustra a única configuração possível

2. A economia de escala se refere ao custo do par telefônico que é decrescente com o acréscimo na capacidade dos cabos

de evolução da rede metálica para uma rede óptica de assinantes em topologia dupla estrela passiva.

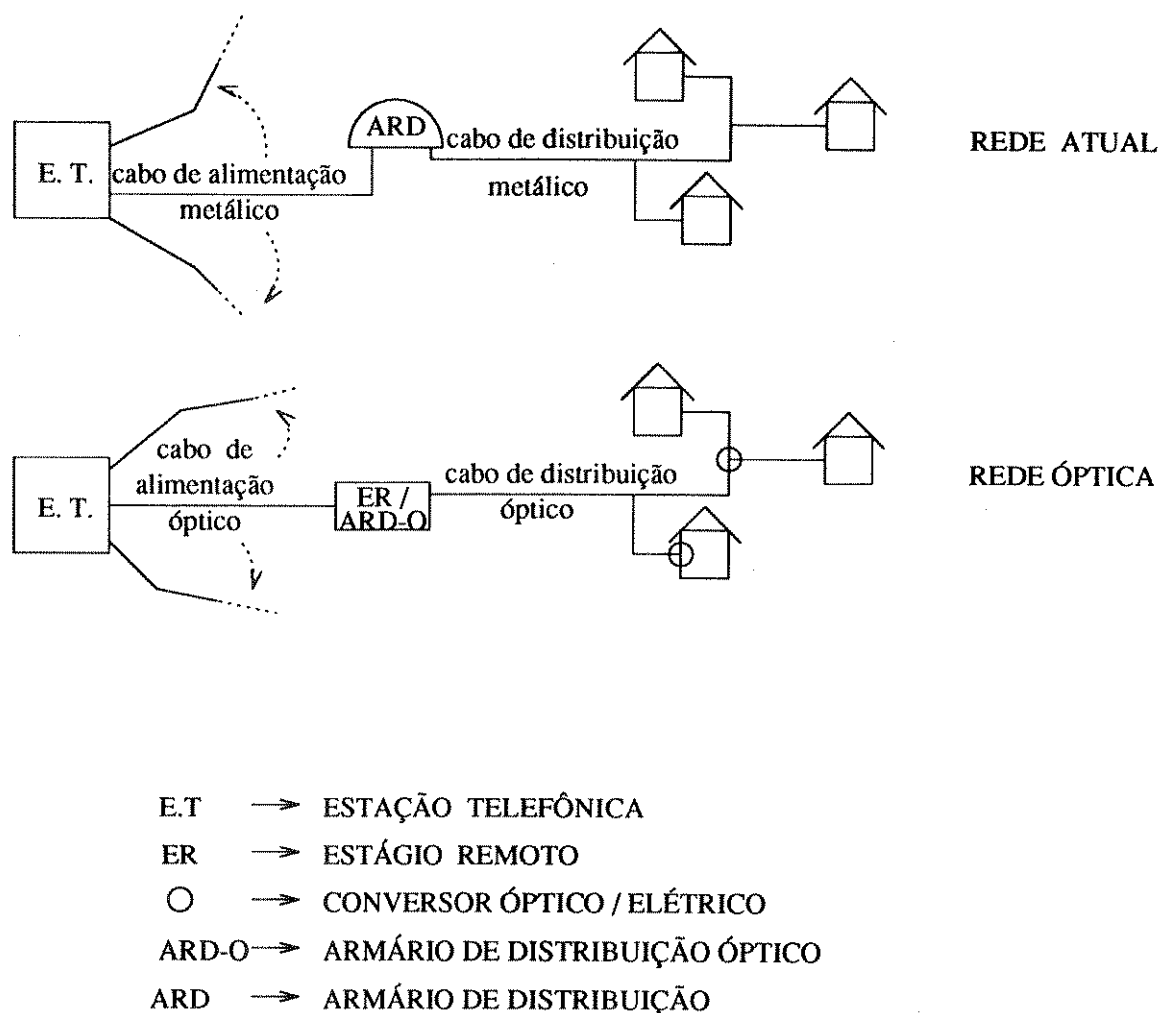


Figura 2.7: EVOLUÇÃO RUMO A REDE ÓPTICA VIA TOPOLOGIA DUPLA ESTRELA PASSIVA

Dupla Estrela Ativa – A topologia dupla estrela ativa é bastante similar à dupla estrela passiva, com a diferença de que o estágio remoto é composto de equipamentos optoeletrônicos ou ativos. O principal objetivo, assim como no caso anterior, é reduzir os custos da rede através do compartilhamento de recursos entre a CT e o ER, conforme ilustrado na figura 2.8.

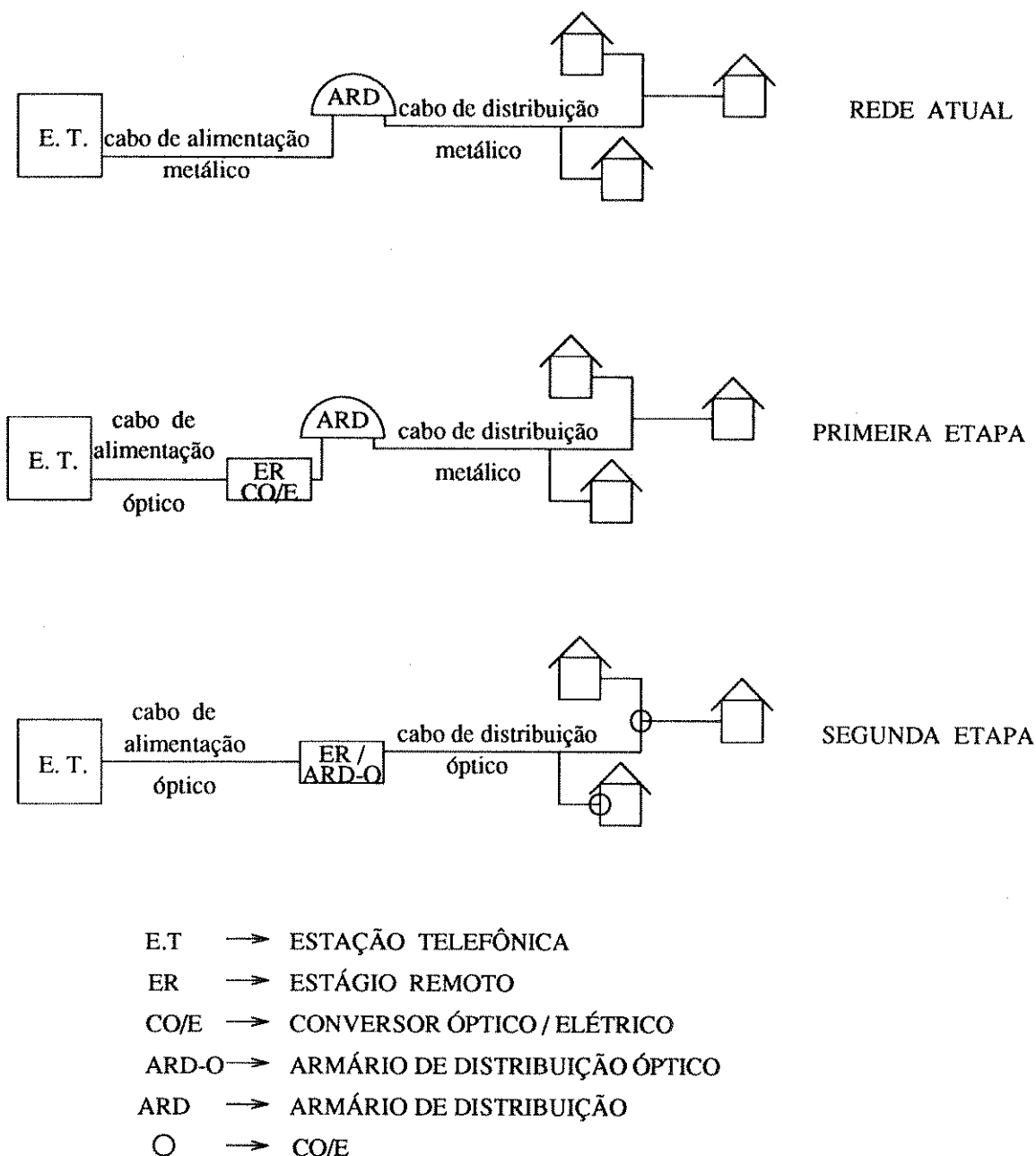


Figura 2.8: EVOLUÇÃO RUMO A REDE ÓPTICA VIA TOPOLOGIA DUPLA ESTRELA ATIVA

Esta topologia, em relação a penetração dos cabos ópticos, permite uma aplicação imediata em RDSI-FE com utilização de cabos alimentadores ópticos ligados a estágios remotos, multiplexando diversos assinantes de acesso básico e primário, em rede secundária metálica. Com a necessidade de introdução de novos serviços e taxas de transmissão só há a necessidade de serem alterados os equipamentos ativos dos ERs para hierarquias superiores, até a total saturação da rede secundária, quando esta deverá ser substituída por uma rede totalmente óptica.

Anel/Estrela –

Esta topologia híbrida tem estas principais características: reduzido consumo de fibras do anel e elevada flexibilidade; segurança e privacidade da Estrela.

A evolução da rede metálica atual para uma rede óptica em topologia Anel/Estrela só é possível após profundas modificações na infra-estrutura de dutos, para interligar os estágios remotos em anel. Após a execução destas obras, a implantação da rede óptica pode ser feita em duas etapas, conforme mostrado na figura 2.9.

Na primeira etapa, somente a rede de alimentação (anel) será óptica, com a distribuição permanecendo metálica. Assim, como na dupla estrela ativa, na medida em que for sendo necessário a implantação de novos serviços ou taxas de transmissão, os equipamentos ativos dos ERs irão sendo substituídos por outros de maiores hierarquias. Com a saturação, a rede metálica de distribuição deverá ser trocada por outra totalmente óptica, como mostra a segunda etapa da figura 2.9.

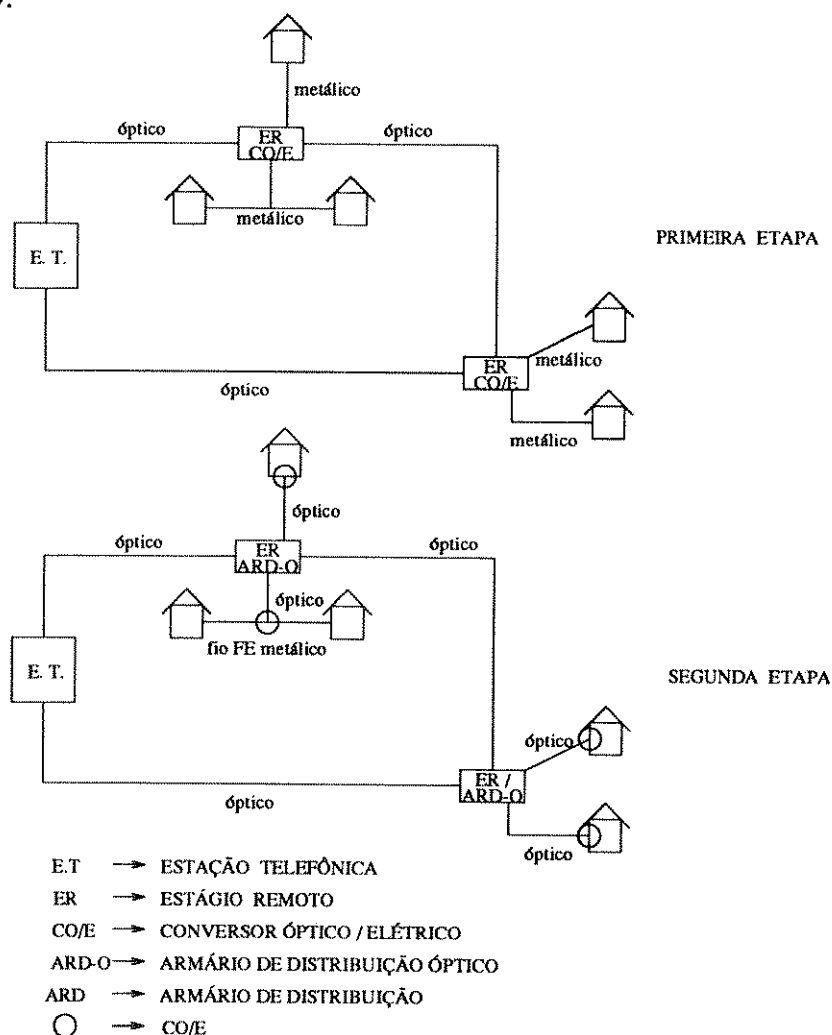


Figura 2.9: EVOLUÇÃO RUMO A REDE ÓPTICA VIA TOPOLOGIA ANEL ESTRELA

2.5 Configurações de atendimento ao usuário

Na figura 2.10, apresentamos as possíveis configurações de atendimento que são estas:

FTTO (fiber to the office) – Utilizada na primeira etapa da evolução, já iniciada. Esta configuração destina-se ao atendimento a grandes usuários, através do lançamento de fibras ópticas em rotas consideradas estratégicas, ao longo da qual há concentração de assinantes comerciais, industriais ou institucionais com potencial para demandar serviços digitalizados.

FTTZ (fiber to the zone) e FTTC (fiber to the curb) – Utilizada na etapa seguinte da evolução. É caracterizada por levar fibra óptica até a concentração de assinantes. No caso da FTTC os pontos de concentração supervisionarão poucos assinantes a distâncias típicas de poucas dezenas de metros, na FTTZ os pontos de concentração supervisionarão uma ou mais seções de serviço.

FTTH (fiber to the home) – Na última etapa teremos a rede óptica plena, na qual a conversão eletro/óptica se dará nas dependências do usuário.

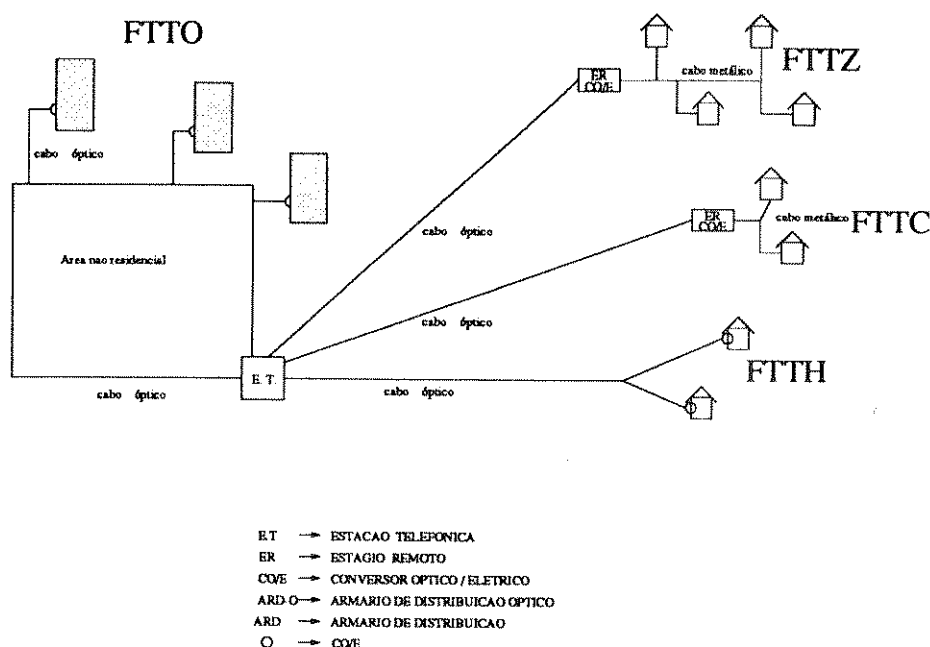


Figura 2.10: CONFIGURAÇÕES DE ATENDIMENTO

Capítulo 3

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A rede externa nacional tem se utilizado muito pouco de equipamentos eletrônicos ou ópticos. O atendimento aos assinantes tem sido feito quase que exclusivamente baseado em pares metálicos. E as ferramentas de planejamento de rede externa existentes não conseguem tratar de forma adequada o novo cenário.

Com a necessidade de introdução da rede óptica de assinantes e com o surgimento de equipamentos que conseguem fazer trafegar altas taxas de transmissão pela rede de pares convencional por distâncias significativas sem a necessidade da utilização de repetidores, tem-se uma pressão pelo desenvolvimento de ferramentas que auxiliem na localização e dimensionamento dos referidos equipamentos.

Dado o exposto, desenvolvemos o presente trabalho que pretende gerar conhecimentos que servirão de alicerces para desenvolvimentos futuros, visto que a rede externa nacional encontra-se no momento apenas dando os primeiros passos rumo a esta nova tecnologia.

A bibliografia sobre ferramentas para planejamento da rede externa é bastante restrita, se limitando a poucas publicações. Visando situar este trabalho apresentamos a seguir uma breve descrição de outros trabalhos realizados na área de planejamento de rede externa. Nos limitaremos a descrever apenas alguns trabalhos mais recentes, visto que os mesmos já referenciam trabalhos anteriores.

3.1 FERRAMENTAS DE PLANEJAMENTO PARA A REDE EXTERNA

Apresentaremos a seguir uma breve descrição de quatro ferramentas que envolvem o planejamento da rede externa. Três destes trabalhos são teses de mestrado nacionais e frutos de contratos entre universidades e empresas do Sistema Nacional de Telecomunicações e o último é uma ferramenta chamada NETCAP desenvolvida dentro da GTE, empresa operadora de telecomunicações norte americana.

Em [8] José Ribeiro apresenta em sua tese de mestrado, que chamaremos de trabalho 1, uma proposta para a Expansão à Curto Prazo de Redes Telefônicas Primária, na qual o planejamento da rede de alimentação é dividida em 3 etapas por ele denominadas de Deteta, Alivia e Liga.

Na etapa Deteta é efetuada a determinação do déficit ou superavit de pares em cada trecho da rede.

Na etapa Alivia são determinadas para cada trecho da rede:

- O melhor período de planejamento para lançar os cabos que vão eliminar os déficits detectados

- A melhor modularidade (capacidade) para cada um dos cabos que serão lançados
- O número de furos da rede de dutos utilizado

Na etapa Alivia é determinado o planejamento ótimo para o lançamento de pares nos trechos deficitários da rede. O critério estabelecido para encontrar a solução ótima é o custo do lançamento de pares de fios, independente do número de furos da rede de dutos que estes pares de fios utilizam.

A etapa Liga determina quantas e quais camadas de cada cabo serão distribuídos aos pontos de controle que servem. O objetivo perseguido é minimizar o custo de emendas e situar a oferta de camadas distribuídas a cada ponto de controle dentro de faixas percentuais pré estabelecidas.

Também em sua tese de mestrado [5], que chamaremos de trabalho 2, Marcelo Rodrigues descreve uma proposta de Sistemas Integrados de Configuração de Rede Telefônica composta por cinco ferramentas:

- CONES – Configurador de seção de serviço
- LICEU – Localizador interdependente de centrais urbanas
- CONET – Configurador de seção terminal
- PLOTTER – Plano otimizador de topologia em rede
- CORDIS – Configurador de rede de distribuição

O processo de planejamento se inicia com o CONES que tem como função fechar seções de serviço segundo critérios não muito rígidos, a fim de que se apure a demanda de pares alimentadores (DPA). Apurada a DPA, associa-se a cada seção de serviço um ponto de controle, estes dados são então passados ao LICEU.

A função do LICEU [14] é identificar a necessidade e localizar novos centros de fios para instalação em determinado ano horizonte de estudo. O mesmo considera tanto a possibilidade de ampliação de centros de fios existentes quanto a possibilidade de instalação de novos. São considerados os custos de equipamentos de comutação e transmissão e também o custo da rede, sendo este último de forma bastante simplificada. A partir da área de abrangência de cada centro de fios definida pelo LICEU é que ocorrem as fases seguintes.

O CONET a partir de um grafo de arruamento da área de estação e da demanda dos lotes define as seções terminais (limite de atendimento de caixas terminais) com demanda normalizada de 10 ou 20 pares. Esta seção terminal consiste em ponto de referência no grafo e a relação de lotes a ela pertencentes.

A próxima etapa é obtida através da interação entre o CORDIS [15] e o PLOTTER [7]

O CORDIS tem como função fechar as seções de serviço e definir a rede de distribuição e o PLOTTER tem como função definir a rede de alimentação. A interação CORDIS/PLOTTER, permite que o planejamento da rede de distribuição considere os custos da rede de alimentação e vice-versa. O PLOTTER consta de 3 etapas: Inicialização, Heurística e Otimização.

A Inicialização procura o caminho mais curto de cada ponto de alimentação à estação.

A Heurística trabalha tentando coincidir caminhos a fim de que o custo de dutos seja diminuído.

A Otimização tenta encontrar alternativas locais de caminhamento. Ela estuda todos os Nós da rede e verifica a possibilidade de ligar cada um deles, de forma mais econômica, através de algum outro Nó da rede à estação.

Cassilda Ribeiro, em sua tese de mestrado [9], que chamaremos de trabalho 3, apresenta uma proposta para a Alocação de Concentradores, Indicação de Centro de Fios e Localização de Estágios de Linha Remotos composta por seis ferramentas:

- NUVEM
- LOCUS
- ERAH
- CRONOS
- PEOR
- PALCO DINÂMICO

O processo tem início com a indicação de candidatos à estação, o que é feito pelo programa NUVEM. Os candidatos são passados ao programa LOCUS [16], o qual tira uma fotografia do estado ótimo a ser alcançado no ano horizonte, determinando os seguintes itens:

- O número de novas centrais a serem construídas
- Eventuais expansões das centrais atuais
- A localização geográfica das novas centrais
- As capacidades das centrais para atender a demanda
- Uma estimativa da filiação dos assinantes às novas e atuais centrais

A definição dos candidatos a estágios de linha remota é desempenhada também pelo programa NUVEM.

Os candidatos são então passados ao programa ERAH, o qual tem como função alocar os estágios de linha remota. O mesmo compreende 3 fases:

- Fase de cálculo das distâncias entre os candidatos e as centrais mais próximas
- Fase de preparação da rede
- Fase iterativa

A próxima função consiste em determinar o cronograma de implantação de estações e estágios de linha remotos, que é desempenhada pelo programa CRONOS [17].

A seguir, através do programa PEOR [18], procede-se a evolução da rede atual até o ano meta realizando os cortes de área de modo a aproveitar a rede existente de cabos.

Executado o PEOR passa-se a alocação de concentradores, que é realizada pelo PALCO DINÂMICO em duas fases:

- Confirmação de Concentradores (Facon)
- Adição de Concentradores (Fadic)

Inicialmente é determinada a distância crítica (DC) que é a distância após a qual um nó é candidato a receber concentrador e para cada nó é determinado o seu potencial econômico (POTE) que é o custo marginal de se ligar este nó até a central, levando em conta o comprimento necessário de fio e a dificuldade de se ligar este fio até a central devido a presença de obstáculos (rios, morros, etc.) neste percurso.

A Facon inicia-se através da formação do vetor de candidatos, que são os Nós com $POTE > DC$, os quais são ordenados de acordo com o POTE. Cria-se então um Arco artificial interligando o candidato a central e calcula-se um valor de custo de rede para esta situação. Se a rede com concentrador for mais barata, deve-se fazer a instalação do mesmo e passa-se a analisar outro candidato.

Na Fadic serão testados os Nós que possuem um $POTE > DC$ e que não foram concentrados no estágio anterior. A diferença fundamental entre as duas subrotinas é que aqui os concentradores serão instalados primeiro nos Nós que irão propiciar o maior lucro, o que antes era feito nos Nós de maior potencial.

Os trabalhos relacionados ao NETCAP [10], [11], [12] e [13], que chamaremos de trabalho 4, apresentam uma proposta para solução do problema de planejar a rede de alimentação em que é adotada a estratégia de dividir o problema em dois subproblemas LHP (location and homing subproblem) e SP (scheduling subproblem).

Em LHP são definidos os alvos a serem atingidos no horizonte final do planejamento através da determinação dos Nós que serão candidatos a colocação de equipamentos e os Nós que serão filiados ao mesmo. Através de um fator multiplicador que é aplicado ao custo de atendimento via cabo metálico consegue-se gerar os vários alvos a serem atingidos.

Em SP são confirmados os candidatos que receberão equipamentos, o período de instalação dos equipamentos assim como sua capacidade, o período de instalação de cabos assim como sua modularidade.

Esta estratégia será melhor detalhada no capítulo 5, quando da descrição do Sistema Planal.

3.2 CONCLUSÃO

As ferramentas citadas atendem em grau variado as 3 fases de evolução da rede externa, descritas no capítulo anterior:

- a. rede totalmente metálica,
- b. rede metálica mais dispositivos de ganho de par,
- c. rede óptica de assinantes.

O trabalho 1 atende apenas à fase *a* de evolução da rede. O que é feito de forma dinâmica ou seja determina as expansões de cabo da rede de alimentação ao longo do período de planejamento. Não trata porém a expansão na rede de dutos e na rede de distribuição.

O trabalho 2 atende apenas à fase *a* de evolução da rede. O que é feito de forma estática ou seja determina a situação em termos de pares na rede de alimentação e distribuição e dutos para o horizonte final de planejamento.

O trabalho 3 atende às fases *a* e *b* de evolução da rede. O que é feito de forma estática ou seja determina apenas a situação em termos de pares na rede de alimentação e dutos para o horizonte final de planejamento. Não considera as modularidades (capacidades) de cabos.

O trabalho 4 atende às 3 fases de evolução da rede. O que é feito de forma dinâmica ou seja determina as expansões de equipamento e cabo da rede de alimentação ao longo do período de planejamento. Não trata porém a expansão na rede de dutos e na rede de distribuição.

Neste trabalho nos baseamos em grande parte no trabalho 4 ou seja nos artigos referentes ao NETCAP, aos quais acrescentamos o tratamento da rede de dutos e acrescentamos o devido detalhamento aos aspectos genericamente colocados. Nos baseamos também no trabalho 1 incorporando grande parte do mesmo, como veremos no capítulo 5.

Capítulo 4

PLANEJAMENTO DA REDE EXTERNA DE ALIMENTAÇÃO

4.1 INTRODUÇÃO

O sistema de telecomunicações é um campo fértil para desenvolvimento e aplicação de modelos de otimização devido a dois fatores:

- Enormes investimentos que possibilitam oportunidade significativa para redução de custos.
- Rápida evolução tecnológica, permitindo diversas alternativas para expansão do sistema.

Devido a interdependência entre os diversos segmentos constituintes do sistema de telecomunicações, deveríamos planejar a evolução do sistema como um todo, porém visando simplificar a tarefa de planejamento, dada à complexidade do problema, dividimos nos seus diversos segmentos.

- Planejamento da rede de entroncamento interurbano,
- Planejamento dos sistemas de comutação,
- Planejamento da rede de entroncamento local,
- Planejamento do sistema de telefonia móvel,
- Planejamento da rede externa de alimentação,
- Planejamento da rede externa de distribuição.

O planejamento da rede externa de alimentação que descreveremos considera que já foram solucionados os seguintes problemas:

- A localização da estação telefônica, assim como, o seu limite de atendimento ao longo do período de estudo;
- O limite de seções de serviço, assim como, a localização do seu ponto de alimentação. Em [5], é discutida a interdependência entre as redes de alimentação e distribuição, para a determinação do ponto de alimentação.

Chamaremos de Unidade Remota (UR) ao conjunto de equipamentos, dispositivos, acessórios e respectivas instalações localizado na rede externa, com a função básica de concentrar linhas de assinantes. Podendo então a Unidade Remota ser constituída por DGP (dispositivos de ganho de

par) ou ER (estágios remoto). Lembramos que o DGP se interliga a estação telefônica através de pares metálicos e o ER se interliga através de fibras ópticas.

Embora seja evidente que a rede óptica será a solução para os problemas da rede externa, não sabemos como se dará esta evolução, nem com que velocidade, estando tudo isto condicionado à velocidade com que cresce a demanda por novos serviços e ao custo de implantação da nova tecnologia. As empresas já fizeram grandes investimentos em cabos metálicos, que com os avanços obtidos em técnicas de codificação de sinais [6] permite ainda oferecer uma gama variada de serviços.

Como uma primeira estratégia para o planejamento da rede tomamos algumas premissas:

- Aproveitar ao máximo a infraestrutura de cabos metálicos existentes;
- Evitar expansão com cabos metálicos;
- Evitar expansão na infraestrutura de canalização subterrânea;
- Planejar rotas estratégicas para atendimento a concentração de grandes usuários não residenciais, através de sistemas ópticos;
- Evoluir a rede dos demais assinantes através da introdução da rede óptica na topologia dupla estrela ativa.

4.2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Podemos dividir o planejamento da rede de alimentação em:

- a. Definição do trajeto por onde encaminhar a rede de cabos, postes e canalização subterrânea: Na figura 2.2, fica claro que existem diversos trajetos possíveis para encaminhar a rede de alimentação das seções de serviço à estação telefônica. Em [7] é discutido o problema de seleção do trajeto da rede de alimentação. Em virtude do trajeto da rede de alimentação já se encontrar definido na maioria das situações, coincidindo com a rede de canalização subterrânea existente, não trataremos deste problema aqui.
- b. Definição de quando expandir a rede de cabos e que capacidades e bitolas utilizar: Com a redução do raio de atendimento das estações telefônicas há a tendência de se utilizar uma única bitola, eliminando assim a necessidade de se efetuar combinação de bitolas, logo, não trataremos desse problema neste trabalho.
- c. Definição de quando e que quantidade de dutos utilizar na expansão da rede de canalização subterrânea.
- d. Definição de quando, onde, qual tecnologia e que capacidades utilizar na localização de Unidades Remotas.
- e. Definição da zona de filiação de Unidades Remotas: Chamamos de zona de filiação de Unidades Remotas à área atendida pela Unidade Remota.
- f. Definição da distribuição dos pares a alocar aos pontos de demanda: A definição da contagem dos pares a alocar aos pontos de demanda é mais apropriada de ser efetuada na

fase de projeto de rede de alimentação, não sendo tratada neste trabalho. Em [8] é tratado a distribuição de pares.

O presente trabalho visa auxiliar o planejador nos ítems *b*, *c*, *d* e *e*.

A descrição do problema será feita através do exemplo apresentado na figura 4.1, que é a rede de Arcos e Nós da figura 2.3.

Os Nós representam pontos de interesse da rede de telecomunicações para efeito de planejamento da rede de alimentação, que são pontos onde há mudança na característica do cabo (mudança de capacidade, bitola, derivações) ou mudança nas características da canalização (mudança no número de furos, tipo, diâmetro e derivações).

Os Arcos representam os percursos que interligam dois Nós: podendo ser um percurso aéreo, subterrâneo, enterrado ou subaquático).

Na figura 4.1, o Nó correspondente a estação telefônica é o Nó 0, cuja representação é um triângulo. Os demais Nós são representado por um círculo, o valor próximo à seta apontando para os Nós corresponde a demanda de pares dos Nós (a maior demanda do Nó ao longo do período de planejamento). Os Arcos são representados pelo segmento de reta ligando os Nós, o valor próximo ao Arco indica a quantidade de pares existente no mesmo.

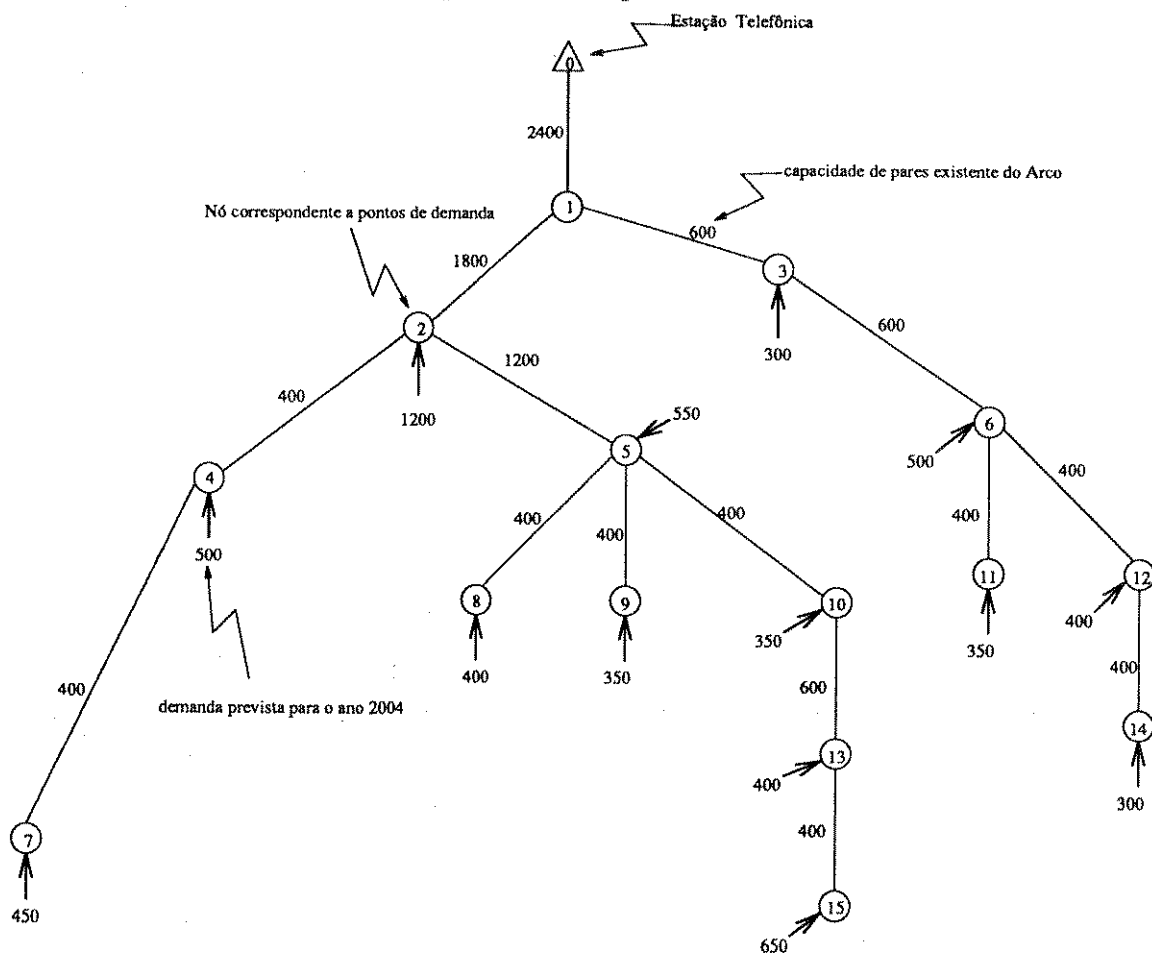


Figura 4.1: REDE DE ARCOS E NÓS

Para atender as demandas indicadas podemos lançar mão de dois expedientes:

1. lançamento apenas de cabos metálicos;
2. lançamento de cabos em conjunto com a colocação de Unidades Remotas.

No caso da opção pela alternativa 1, teríamos a necessidade de acréscimo de pares nos Arcos tracejados, conforme indicado no interior dos retângulos na figura 4.2.

Sendo $NAP = NP - PE$, ou seja a necessidade de acréscimo de pares (NAP) é dada pela diferença entre a somatória da demanda de pares dos Nós cujo atendimento passa pelo Arco (NP – necessidade de pares) e o total de pares existente no Arco (PE – pares existente). Por exemplo, considerando o Arco (2,5) que interliga os Nós 2 e 5 :

NAP do Arco (2,5) = somatório das demandas de pares dos

Nós {5, 8, 9, 10, 13, 15} – total de pares existente no Arco(2,5).

NAP Arco (2,5) = (550 + 400 + 350 + 350 + 400 + 650) – 1200 = 1500

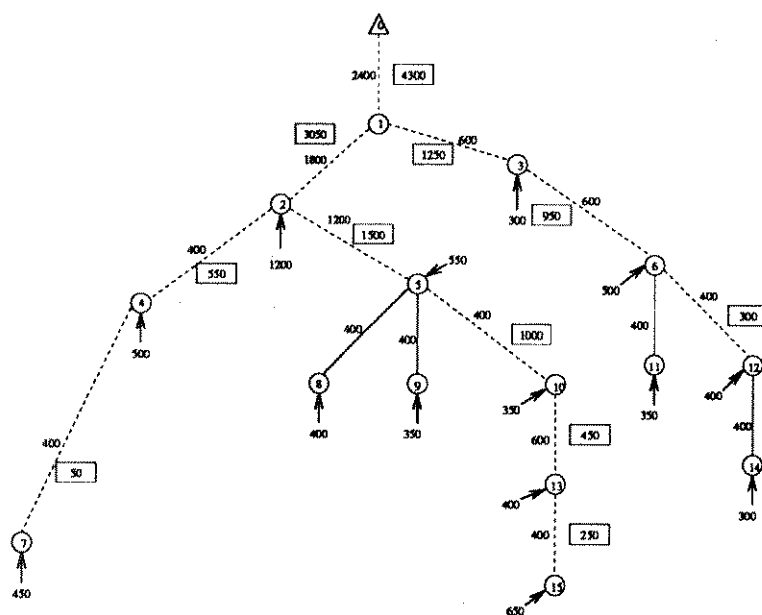


Figura 4.2: NECESSIDADE DE ACRÉSCIMO DE PARES PARA ATENDIMENTO VIA CABO METÁLICO

No caso da opção pela alternativa 2, considerando a colocação de Unidade Remota nos seguintes Nós: Nó 13 filiando os Nós {10, 13, 15}, Nó 6 filiando os Nós {6, 11, 12, 14} e no Nó 7 filiando o Nó {7}, teremos a necessidade de acréscimo de pares totalmente alterada, conforme ilustrado na figura 4.3. Por exemplo, temos que:

NAP do Arco (2,5) = somatório das demandas de pares dos Nós {5, 8, 9} –

total de pares existente no Arco (2,5) = (550 + 400 + 350) – 1200 = 100

As demandas dos Nós 10, 13, 15 são concentradas na Unidade Remota colocada no Nó 13 e são encaminhadas para a estação telefônica via Arcos (0,1), (1,2), (2,5), (5,10) e (10,13). Por necessidade de simplificação, não consideraremos a demanda concentrada para efeito do cálculo da necessidade de pares nos referidos Arcos. O que é uma simplificação razoável já que no caso da UR ser um ER, bastaria algumas unidades de fibras para trafegar a demanda concentrada e no caso de ser um DGP, a demanda concentrada dependeria do Fator de Concentração (FC) do DGP. Se considerarmos, por exemplo, um multiplex pelo qual trafega 30 canais em 2 pares (um de transmissão e outro de recepção) teremos $FC = 30/2 = 15$, ou seja, a Demanda Concentrada

será igual ao somatório das demandas dos Nós concentrados dividida por FC. Esta demanda concentrada utilizará então somente 1/15 ou seja aproximadamente 7% dos pares de cabos utilizados pela demanda original.

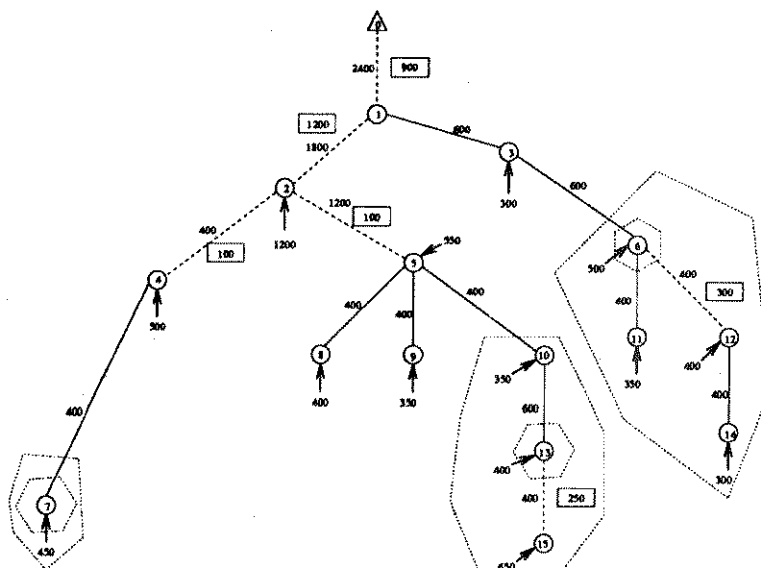


Figura 4.3: NECESSIDADE DE ACRÉSCIMO DE PARES PARA ATENDIMENTO VIA CABO METÁLICO E UNIDADE REMOTA

Dada a diversidade de possibilidades de colocação e filiação de Unidades Remotas, implicando em uma correspondente diversidade de custos, podemos constatar que a solução do problema de expansão da rede de alimentação, visto de uma forma estática, é um problema de difícil solução, se tratando de um problema combinatorialmente explosivo. Esse problema fica bem mais complicado se considerarmos, agora, a necessidade de tratarmos o mesmo de forma dinâmica. Para ilustrar suponha-se que para o exemplo da figura 4.1, tenha-se como horizonte de planejamento o ano 2004 (ano presente 1994) e que o período de planejamento esteja dividido em 10 subperíodos anuais³ e tenha-se as demandas totais de pares no início de cada subperíodo de planejamento conforme mostrado na tabela 4.1.

Tabela 4.1: DEMANDA DE PARES POR ANO

Nó	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	210	360	460	600	670	748	830	950	1050	1200
3	110	155	170	177	185	200	220	245	265	300
4	195	205	240	290	330	360	400	430	470	500
5	115	120	125	210	260	300	350	410	460	550
6	225	235	260	270	280	300	330	390	440	500
7	210	225	245	260	280	300	330	360	400	450
8	198	202	230	235	240	260	280	310	360	400
9	165	170	175	182	191	210	240	270	300	350
10	174	177	180	185	190	210	230	255	280	350
11	170	190	200	220	235	250	270	290	315	350
12	—	65	110	135	155	200	240	290	340	400
13	192	198	210	230	250	270	280	340	360	400
14	180	185	195	210	225	240	255	270	280	300
15	240	260	350	425	460	500	540	580	600	650

3. Estes subperíodos não precisam ser anuais e nem sequer iguais, por exemplo, poderíamos ter como anos iniciais destes subperíodos os anos (1995, 1996, 1997, 1999, 2001, 2004)

Considerando agora o Arco (1,2) que interliga os Nós 1 e 2 podemos obter então, a partir da figura 4.1 e tabela 4.1 supondo apenas o atendimento via cabo metálico para exemplificar, a seguinte necessidade de pares no Arco por período:

ANO	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
NECESSIDADE DE PARES	1699	1917	2215	2617	2871	3158	3480	3905	4280	4850

Como no Arco (1,2), temos instalado 1800 pares, necessitaremos fazer acréscimos na rede já a partir do ano 1995 para atender a demanda de 1996 (1917 pares). Até o ano 2004 teremos que acrescentar no mínimo 3050 pares no Arco. Visando atender a demanda ao longo do período e considerando que os cabos são disponíveis nas capacidades de (400, 600, 900, 1200, 1800 e 2400) pares, poderíamos lançar mão de inúmeras alternativas, para exemplificar citamos algumas:

alternativas ^{ano}	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
1	1800	0	0	0	0	0	900	0	400
2	2400	0	0	0	0	0	0	900	0
3	900	0	0	400	400	0	1800	0	0
4	1800	0	0	0	0	0	1800	0	0

Estas alternativas entre inúmeras outras atendem a necessidade do Arco (1,2), porém com custos diversos. O problema de planejar rede visto de forma dinâmica é um confronto entre:

economia de escala x custo do dinheiro no tempo

que em termos de equipamento, adotando-se uma política de expansão limitada de cabos metálicos com a colocação de UR, se traduzirá na competição entre:

Unidades Remotas x cabos

Nesse trabalho não estamos detalhando as características específicas das Unidades Remotas para a rede óptica, visto que a tecnologia ainda encontra-se em fase de evolução.

4.3 NOTAÇÃO ADOTADA PARA DESCRIÇÃO DA REDE, DOS PARÂMETROS E VARIÁVEIS DE DECISÃO

Apresentamos a seguir a notação ou nomenclatura utilizada o que facilitará o entendimento do modelo matemático que apresentaremos posteriormente. Esta nomenclatura será apresentada em três subconjuntos, a saber:

- Notação para a descrição da rede atual
- Notação para a descrição dos parâmetros de custos
- Notação para a descrição das variáveis

Descrição da rede atual:

- N = conjuntos de Nós na rede, excluindo a estação telefônica, com $|N| = n$;

- $0 = O$ Nó raiz (correspondendo à estação telefônica);
- A = Conjunto de Arcos na rede, $|A| = n$;
- $A1$ = Subconjunto de Arcos correspondentes a rede subterrânea;
- $A2$ = Subconjunto de Arcos correspondentes a rede enterrada;
- $A3$ = Subconjunto de Arcos correspondentes a rede aérea;
- $A4$ = Subconjunto de Arcos correspondentes a rede subaquática;
- $P(i,j)$ = Conjunto de Arcos no único caminho de i para j ;
- T = Número de anos no horizonte de planejamento;
- d_j^t = A demanda originada no Nó j no ano t ;
- c_e = A capacidade de pares existente no Arco $e \in A$;
- m_e = A quantidade de dutos vagos existente no Arco $e \in A1$;
- S = Conjunto de tipos de Unidades Remotas disponíveis;
- Q = Conjunto de tipos de cabos disponíveis;
- $Q1$ = Subconjunto de tipos de cabos disponíveis para aplicação em rede subterrânea;
- $Q2$ = Subconjunto de tipos de cabos disponíveis para aplicação em rede enterrada;
- $Q3$ = Subconjunto de tipos de cabos disponíveis para aplicação em rede aérea;
- $Q4$ = Subconjunto de tipos de cabos disponíveis para aplicação em rede subaquática; e
- H = Formações padrões de dutos.

Parâmetros de custo:

- C_q = Capacidade do cabo tipo q ;
- K_{qe}^t = Custo do cabo tipo q no Arco e no ano t . Este custo inclui tanto o custo de instalação como a soma dos custos anuais de manutenção para o período de t à T para o cabo tipo q ;
- M_h = Capacidade da formação padrão de duto tipo h ;
- G_{he}^t = Custo de rede de duto com formação tipo h no Arco e no ano t . Este custo inclui tanto o custo de instalação como a soma dos custos anuais de manutenção para o período de t à T para a formação de duto tipo h ;
- R_s = Capacidade final⁴ da Unidade Remota tipo s ;

4. Capacidade final é máxima capacidade que a Unidade Remota pode assumir.

- F_{si}^t = Custo fixo de uma Unidade Remota tipo s no Nó i no ano t . Novamente este custo inclui tanto o custo de instalação como a soma dos custos anuais de manutenção para o período de t à T ; e
- V_{si}^t = Custo variável de uma Unidade Remota tipo s no Nó i no ano t . Está associado a expansão na capacidade instalada⁵.

Variáveis:

- $u_i = 1$ se uma Unidade Remota é colocada em i e 0 em caso contrário;
- $v_i^t = 1$ se o período t é o primeiro período no qual uma Unidade Remota é colocada em i e 0 caso contrário. Se nenhuma Unidade Remota é colocada em i em qualquer período, então $v_i^t = 0$ para todos os t ;
- $y_{ij} = 1$ se j está conectado à Unidade Remota em i , $i \neq 0$, em qualquer época do horizonte de planejamento e 0 em caso contrário;
- $w_{ij}^t = 1$ se j está conectado à Unidade Remota em i no período t e 0 em caso contrário;
- $x_{qe}^t = 1$ se o cabo tipo q é usado para expandir a capacidade do Arco e no ano t e 0 em caso contrário;
- $b_{he}^t = 1$ se a formação de dutos tipo h é usado para expandir a capacidade do Arco e no ano t e 0 em caso contrário; e
- $z_{si}^t = 1$ se uma Unidade Remota tipo s é colocada no Nó i no ano t e 0 em caso contrário.
- o_{si}^t = Expansão realizada na capacidade instalada da Unidade Remota tipo s no Nó i no ano t .

4.4 MODELO MATEMÁTICO

Apresentaremos a seguir o modelo matemático que adotamos que é com pequenas variações o mesmo apresentado em [10], [11], [12] e [13].

Apresentamos inicialmente as restrições e ao final a função objetivo a ser otimizada. Neste caso quer-se obter o custo mínimo de instalação da rede externa.

$$(1) y_{ij} \leq u_i \quad \forall i, j \in N,$$

Garante que um Nó j só pode ser filiado a um Nó i , se em i houver uma Unidade Remota.

$$(2) \sum_{i \in N} y_{ij} \leq 1 \quad \forall j \in N,$$

Garante que um Nó j só pode ser filiado no máximo a um Nó i ao longo do período de planejamento.

5. Capacidade instalada é a capacidade presente da Unidade Remota que deve ser menor ou igual a capacidade final.

$$(3) y_{ij} \leq y_{ik} \quad \forall i, j, k \text{ no caminho de } i \text{ para } j$$

Garante que se o Nó j é filiado ao Nó i então qualquer Nó que esteja no caminho entre j e i também deve ser filiado ao Nó i .

$$(4) \sum_{t=1}^T v_i^t = u_i \quad \forall i \in N,$$

Garante que no Nó i seja instalado Unidade Remota no máximo uma vez ao longo do período de planejamento.

$$(5) w_{ij}^t \leq y_{ij} \quad \forall i, j \in N, t \in [1, T],$$

Garante que o Nó (j) pode estar filiado ao Nó i no período t apenas se $y_{ij} = 1$.

$$(6) w_{ij}^t \leq \sum_{\tau=1}^t v_i^{\tau} \quad \forall i, j \in N, t \in [1, T],$$

Garante que o Nó (j) pode está filiado ao Nó i no período t apenas se uma Unidade Remota é instalada em i no período t ou nos períodos anteriores.

$$(7) w_{ij}^t \leq w_{ij}^{t+1} \quad \forall i, j \in N, t \in [1, T],$$

Garante que se o Nó j estar filiado ao Nó i no período t então também estará filiado no período $t + 1$.

$$(8) w_{ij}^t + (1 - y_{ij}) \geq v_i^t \quad \forall i, j \in N, t \in [1, T],$$

Garante que se uma Unidade Remota é instalada em i no período t então todos os Nós que serão filiado a i , o farão no período t .

$$(9) \sum_{i \in N} w_{ij}^t \geq \sum_{i \in N} w_{ik}^t \quad \forall i, k \text{ no caminho de } j \text{ para estação telefônica},$$

Garante que um Nó j não pode ser filiado a qualquer Unidade Remota depois que qualquer Nó antecessor seja filiado a qualquer Unidade Remota.

$$(10) \sum_{ij | e \in P(i,j)} d_j^t w_{ij}^t + \sum_{j | e \in P(0,j)} d_j^t (1 - \sum_{i \in N} w_{ij}^t)$$

$$\leq c_e + \sum_{\tau=1}^t \sum_{q \in Q} C_q x_{qe}^{\tau} \quad \forall e \in A, t \in [1, T],$$

Garante que a quantidade de pares existente no Arco e no período t é maior ou igual a necessidade de pares do Arco neste período.

$$(11) \sum_{\tau=1}^t \sum_{q \in Q} x_{qc}^{\tau} \leq m_c + \sum_{\tau=1}^t \sum_{h \in H} M_h b_{hc}^{\tau} \quad \forall e \in A, t \in [1, T],$$

Garante que a quantidade de dutos existentes no Arco e no período t é maior ou igual que a necessidade de dutos do Arco neste período.

$$(12) \sum_{t=1}^T \sum_{h \in H} b_{hc}^t \leq 1 \quad \forall e \in A,$$

Garante que seja efetuada uma única expansão na rede de dutos no Arco e ao longo do período de planejamento.

$$(13) \sum_{j \in N} d_j^t w_{ij}^t \leq \sum_{\tau=1}^t \sum_{s \in S} R_s z_{si}^{\tau} \quad \forall i, s, t \in [1, T],$$

Garante que a capacidade final de Unidades Remotas instalada no Nó i no período t seja maior ou igual a somatória da demanda de pares dos Nós filiados a i .

$$(14) \sum_{t=1}^t o_{si}^{\tau} \leq \sum_{\tau=1}^t \sum_{s \in S} R_s z_{si}^{\tau} \quad \forall i, s, t \in [1, T],$$

Garante que a capacidade instalada na Unidade Remota tipo s no período t no Nó i seja menor ou igual que a capacidade final já implantada de Unidade Remota tipo s no Nó i .

$$(15) \sum_{j \in N} d_j^t w_{ij}^t \leq \sum_{\tau=1}^t \sum_{s \in S} o_{si}^{\tau} \quad \forall i, s, t \in [1, T],$$

Garante que a capacidade instalada de Unidades Remotas instalada no Nó i no período t seja maior ou igual a somatória da demanda de pares dos Nós filiados a i .

$$(16) u_i, v_i^t, y_{ij}, w_{ij}^t, x_{qc}^t, z_{si}^t, b_{hc}^t = 0 \text{ ou } 1 \quad \forall i, j \in N, t \in [1, T], q \in Q, e \in A, s \in S, h \in H.$$

E como função objetivo temos:

$$\begin{aligned} \text{MIN} \quad & \sum_{t=1}^T \sum_{i \in N} \sum_{s \in S} F_{si}^t z_{si}^t + \\ & \sum_{t=1}^T \sum_{i \in N} \sum_{s \in S} V_{si}^t o_{si}^t + \\ & \sum_{t=1}^T \sum_{e \in A} \sum_{q \in Q} K_{qc}^t x_{qc}^t + \\ & \sum_{t=1}^T \sum_{e \in A} \sum_{h \in H} G_{hc}^t b_{hc}^t \end{aligned}$$

Sendo que:

- O primeiro termo refere-se ao custo fixo de instalação das Unidades Remotas;
- O segundo termo refere-se ao custo variável de instalação de Unidades Remotas;
- O terceiro termo refere-se ao custo de instalação de lance de cabo;
- O quarto termo refere-se ao custo de construção de lances de dutos nos Arcos subterrâneos.

Com relação ao modelo apresentado pelo NETCAP, a função objetivo foi modificada de forma a contemplar aos seguintes itens:

- Correção no modelo, visando a considerar apenas o acréscimo na expansão da capacidade instalada da Unidade Remota no cálculo do custo variável, segundo termo;
- Acréscimo dos custos de expansão na rede de dutos, quarto termo;

Quanto às restrições:

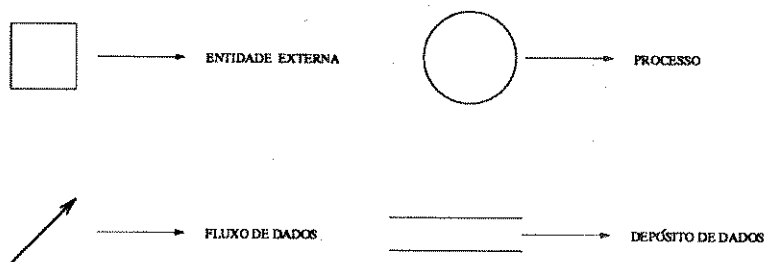
- Foram incluídas restrições de forma a garantir a expansão na rede de dutos, restrições 11 e 12;
- Foram incluídas restrições de forma a garantir a correção no modelo citada anteriormente, restrições 14 e 15.

Capítulo 5

PLANAL

5.1 DESCRIÇÃO FUNCIONAL DO SISTEMA PLANAL: PLANEJAMENTO ESTÁTICO E DINÂMICO

Para ilustrar a funcionalidade do sistema, faremos uso da simbologia usada em análise estruturada de sistemas:



- Entidade Externa: representa uma origem ou destino de informações que se encontra fora das fronteiras do sistema a ser modelado
- Processo: representa uma transformação de informações dentro das fronteiras do sistema a ser modelado
- Fluxo de Dados: representa o fluxo de um item de dado, ou de um conjunto de itens de dados. A seta indica a direção do fluxo de dados
- Depósito de Dados: representa um conjunto de dados armazenados para uso por um ou mais processos

Como solução para o problema de planejar a rede de alimentação, descrito no modelo matemático do capítulo anterior, propomos o Sistema Planal (PLANo de ALimentação), cujo diagrama de contexto é apresentado na figura 5.1.

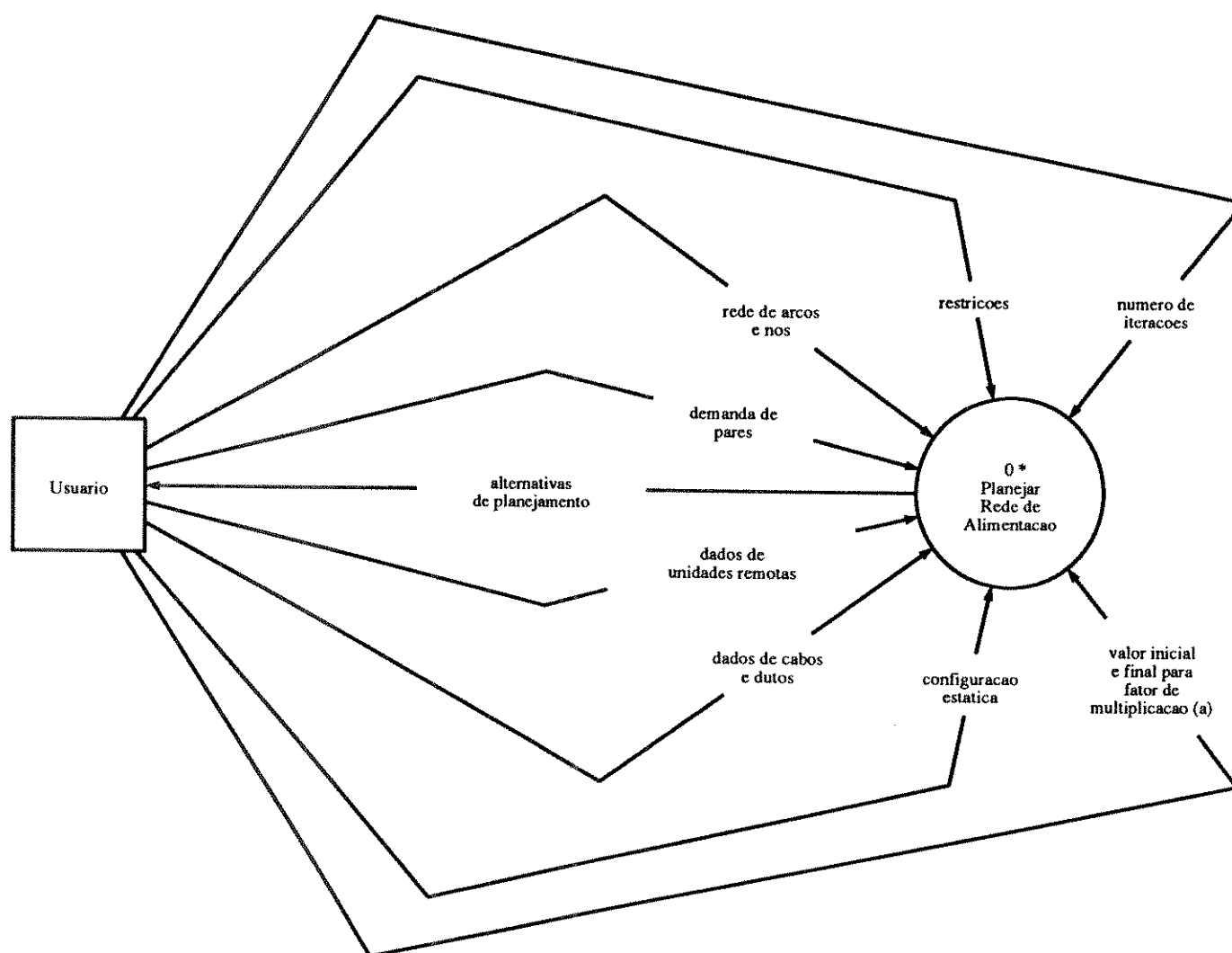


Figura 5.1: DIAGRAMA DE CONTEXTO

A solução do problema é de grande complexidade visto que para uma rede contando com 80 a 100 Nós e considerando 10 subperíodos de planejamento tem-se mais de 64000 variáveis inteiras 0-1 só devido a variável w_{ij}^t . O que torna este problema impraticável de ser resolvido por um algoritmo genérico de programação inteira.

De acordo com a proposta apresentada em [9], [10], [11], [12] para resolver o problema dividiu-se o Planal em duas fases: planejamento estático e dinâmico. O planejamento estático define o objetivo a ser atingido, ou seja, define a rede no ano horizonte de planejamento. O planejamento dinâmico define a forma de evoluir a rede do presente, ao longo dos vários períodos intermediários, até atingir o objetivo. O detalhamento do Sistema Planal é apresentado na figura 5.2

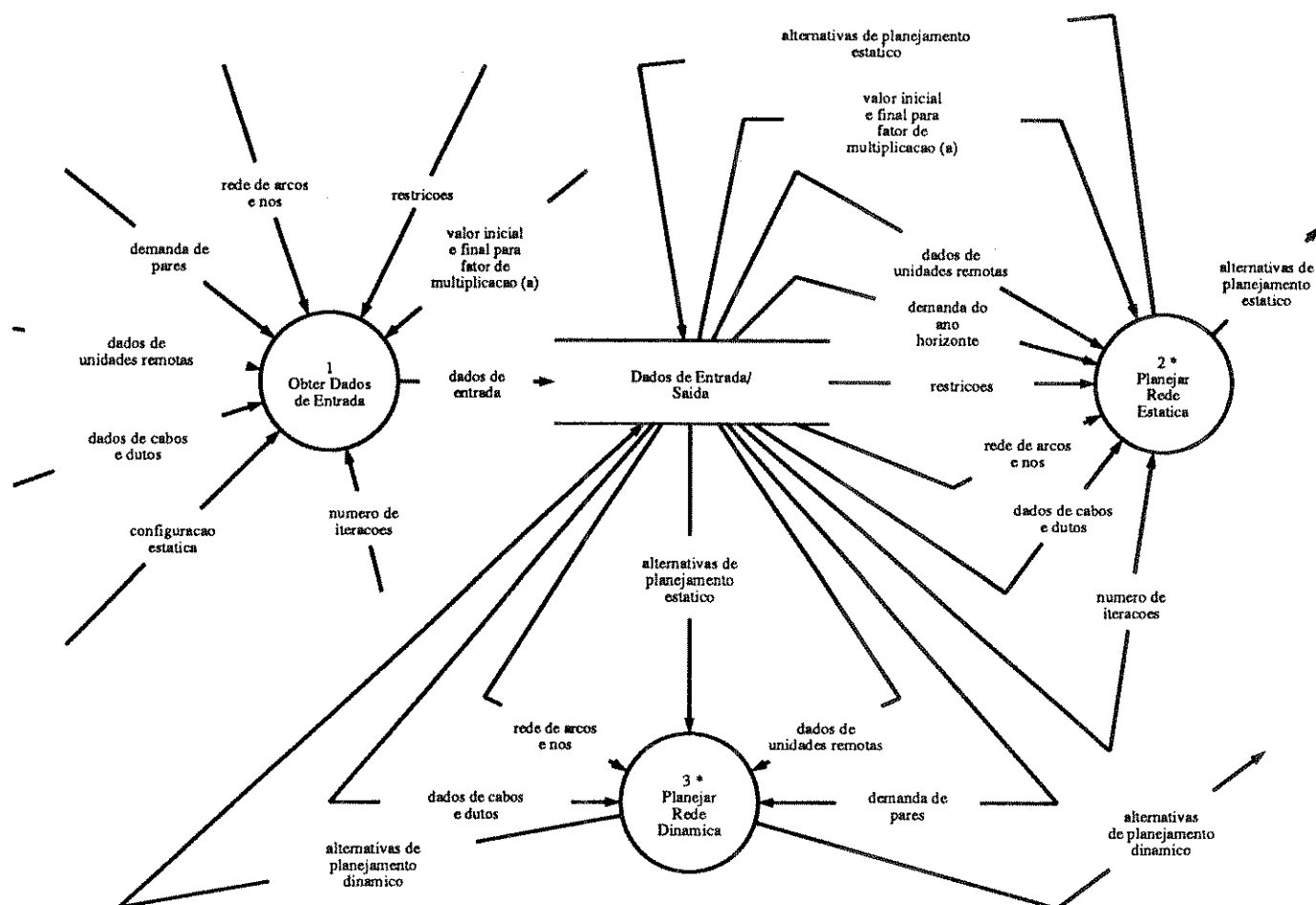


Figura 5.2: DETALHAMENTO DO SISTEMA PLANAL

5.2 FASE I : O PLANEJAMENTO ESTÁTICO

O planejamento estático visa definir a configuração de Unidades Remotas no horizonte final do planejamento.

Para tal lançou-se mão de um modelo de programação dinâmica, em que os estágios correspondem aos Nós da rede, os estados correspondem às demandas acumuladas no Nó e as decisões correspondem aos equipamentos (tipo de cabo ou tipo de Unidades Remotas) utilizados para atender a demanda acumulada. Este modelo será apresentado através do exemplo da Figura 4.1. Neste caso considera-se que os cabos são disponíveis para rede subterrânea nas capacidades de (400, 600, 900, 1200, 1800 e 2400) pares, que os dutos são construídos nas capacidades de (4, 6, 8 e 12) furos e as Unidades Remotas nas capacidades de (96, 400, 1536 e 6144) linhas de assinantes de 64 Kb/s. Associa-se então ao estado de cada Nó um custo que é a somatória do custo (C) dos Nós anteriores e do custo (CD) associado às decisões que levaram ao estado do referido Nó.

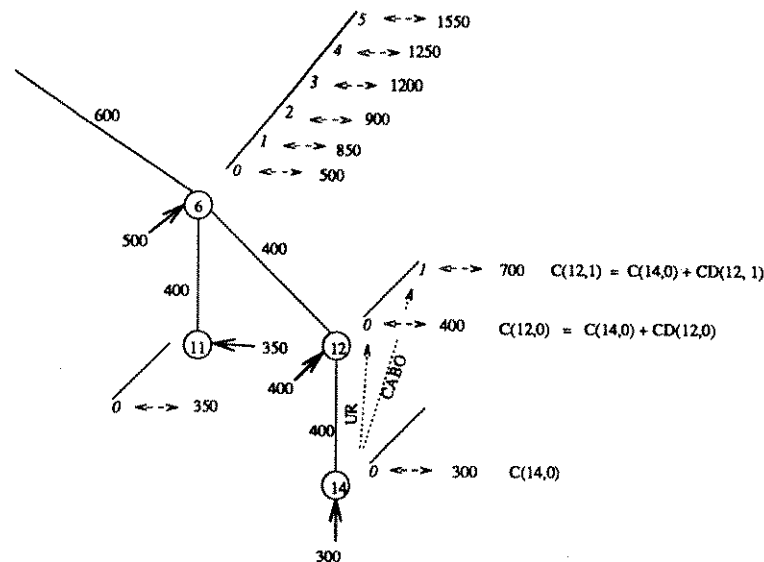


Figura 5.3: PROGRAMAÇÃO DINÂMICA PARA O PLANEJAMENTO ESTÁTICO

No exemplo mostrado na figura 5.3 (parte da rede da figura 4.1) tem-se que ao estado 0 do estágio (ou Nó) 14 corresponde uma demanda acumulada de 300 pares que é a demanda do próprio Nó, neste caso $C(14,0) = 0$ já que não existem Nós anteriores.

As decisões a serem tomadas no estágio 14 podem ser:

1. Atender a demanda via UR, o que implica em instalar a menor Unidade Remota (UR) que atende a demanda.
2. Atender a demanda via cabo, o que implica em lançar cabos (caso não haja capacidade suficiente instalada) observando que quanto maior a capacidade do mesmo, menor o custo por par. No lançamento de cabos deve-se verificar se existem dutos vagos suficientes para isto, caso não haja dutos, ao custo da decisão CD de atendimento via cabo deve ser acrescido o custo de dutos.

Tomada a decisão (1), a demanda do Nó 14 não se propaga ao Nó 12, que permanecerá com demanda acumulada igual a demanda do próprio Nó que é 400 pares. Isto corresponde ao estado 0 do estágio 12. O custo desta decisão representado por $CD(12,0)$ é o custo de instalação de uma UR de capacidade 400 no Nó 14.

Tomada a decisão (2), a demanda do Nó 14 se propaga ao Nó 12, que passará a ter demanda acumulada de 700 pares. Isto corresponde ao estado 1 deste Nó. Como no Arco (12, 14) já temos instalado 400 pares que é maior que a demanda do Nó, não precisaremos lançar nada. O custo da decisão $CD(12,1)$ então é nulo.

Procede-se da forma descrita até atingir a estação telefônica, tem-se então condições de traçar o caminho de volta, obtendo assim a configuração ótima de Unidades Remotas para o ano horizonte. Esta configuração poderá ou não ser atingida na fase II (planejamento dinâmico).

Na figura 5.1 temos um fluxo chamado restrições que corresponde a condições impostas pelo planejador como por exemplo:

- Que em determinado Nó seja instalado uma Unidade Remota independente do custo, o que pode ser facilmente implementado se impusermos para esse determinado Nó apenas a decisão 1, ou seja a instalação de Unidade Remota.
- Que seja bloqueado a instalação de cabo metálico, o que pode ser conseguido se limitarmos a aplicação da decisão 2 (atendimento via cabo metálico) para o caso em que a capacidade existente no Arco seja superior a demanda acumulada no estado.

Da forma como o problema estático está sendo tratado uma Unidade Remota instalada em um Nó filiará apenas os Nós que o sucedem na árvore. Por exemplo, uma UR instalada no Nó 14 filiará apenas este Nó, instalada em 12 poderá filiar o próprio Nó 12 e, eventualmente, o 14 mas nunca o nó 6 ou outros antecessores. Porém como as Unidades Remotas são modulares, poderá haver folga suficiente para filiar também alguns dos Nós antecessores. Para resolver esse problema o planejamento estático foi dividido em duas funções conforme ilustrado na figura 5.4.

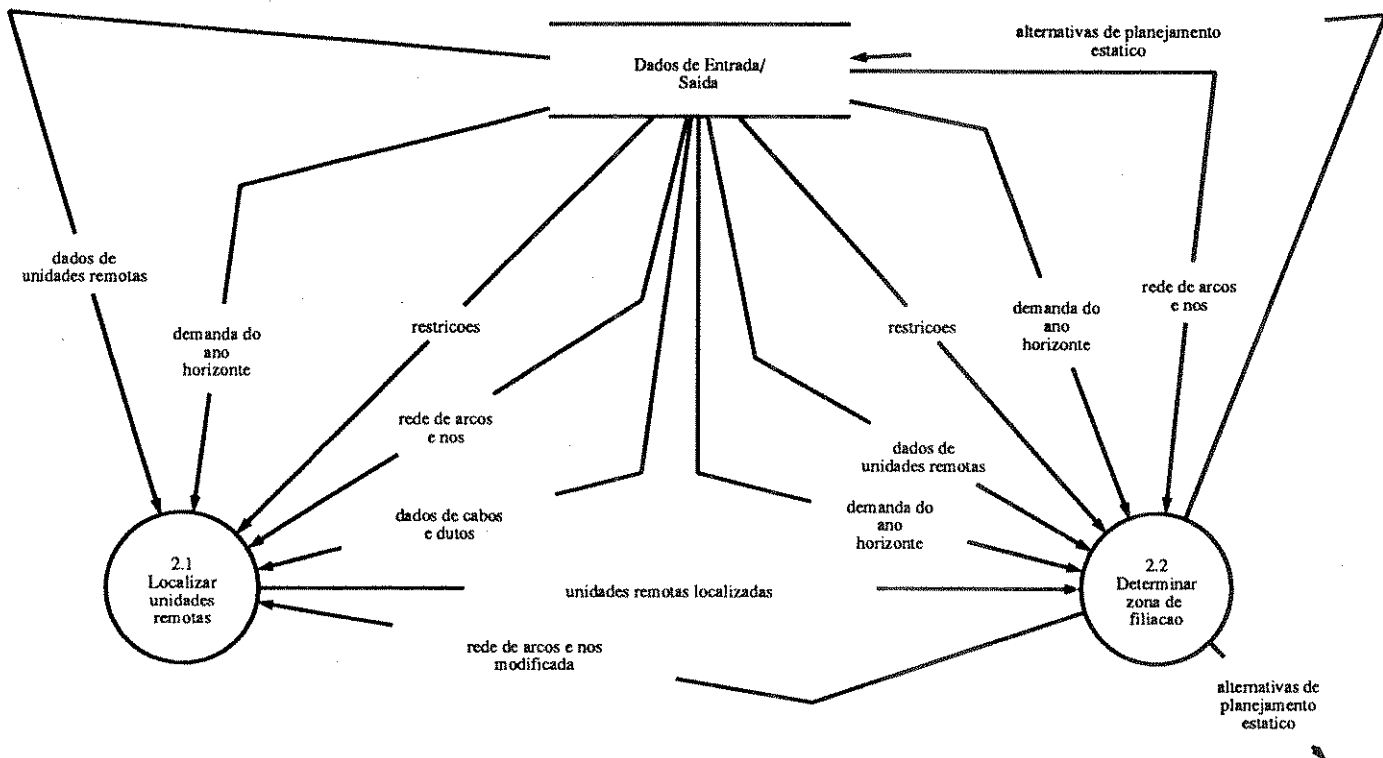


Figura 5.4: DETALHAMENTO PLANEJAMENTO ESTÁTICO

A função 2.1 localiza as Unidades Remotas da forma já ilustrada e passa esses dados para a função 2.2. Essa por sua vez fixa apenas as Unidades Remotas nos Nós tais que, se deslocando destes em direção às pontas da rede não se encontra outros Nós candidatos a receberem Unidades Remotas. Uma vez essas unidades fixas, filia-se a estas, todos os Nós que estão entre as mesmas e as pontas. Utilizando-se a folga das Unidades Remotas verifica-se a viabilidade de filiar alguns Nós entre as URs e a estação. Os Nós filiados às URs o devem ser integralmente. Ou seja a capacidade das URs deve ser maior que a somatória das demandas dos Nós filiados conforme restrição 13 do modelo matemático. Os Nós filiados às Unidades Remotas fixadas são então

retirados da rede, e repete-se o processo com a rede resultante. Como ilustração apresentamos nas figuras 5.5 à figura 5.9 uma sequência de iterações entre as funções 2.1 e 2.2 aplicadas à rede exemplo da figura 4.1.

A função 2.1 gera a saída ilustrada na figura 5.5. Pela figura nota-se que foram localizadas Unidades Remotas nos Nós :

- 4 filiando o Nó {4};
- 5 filiando os Nós {5, 8, 9, 10}
- 6 filiando os Nós {6, 11, 12}
- 7 filiando o Nó {7};
- 13 filiando o Nó {13};
- 14 filiando o Nó {14};
- 15 filiando o Nó {15}.

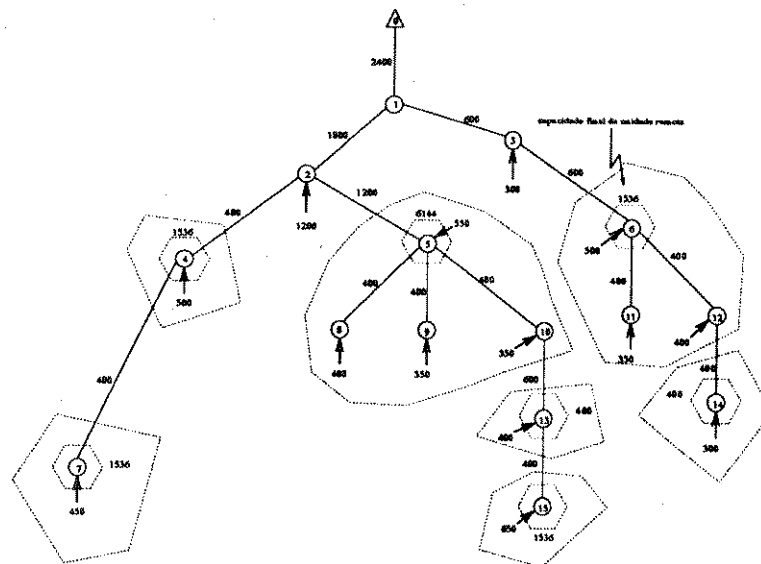


Figura 5.5: SAÍDA DA FUNÇÃO 2.1

A partir da saída da função 2.1, conforme ilustrado na figura 5.6, a função 2.2 fixa as Unidades Remotas nos Nós:

- 7 filiando o Nó {7};
- 14 filiando o Nó {14};
- 15 filiando os Nós {10, 13, 15}

Repare que a UR localizada no Nó 15 filiou os Nós antecessores 10 e 13. Note que a demanda neste Nó é de 650 pares e a UR tem uma capacidade de 1536 terminais, ou seja, uma capacidade

ociosa de 886 terminais, permitindo portanto atender os Nós 13 e 10 que somam uma demanda de 750 unidades.

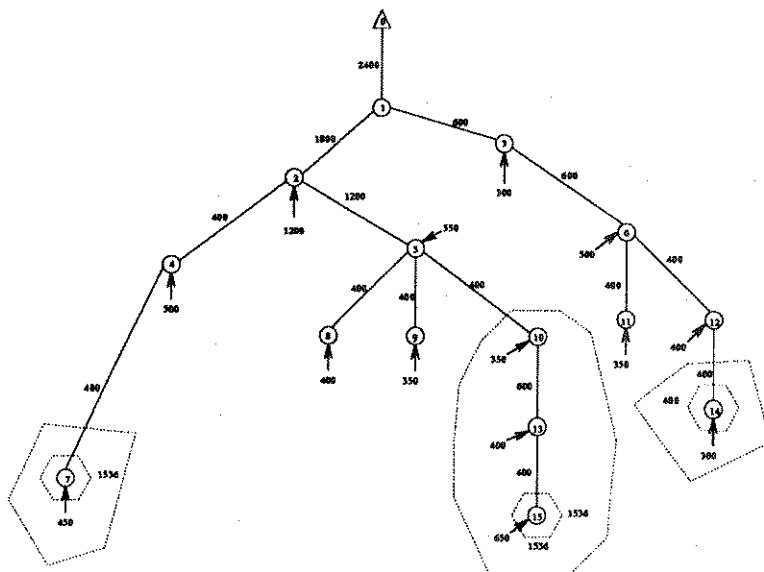


Figura 5.6: SAÍDA DA FUNÇÃO 2.2

Os Nós já filiados são então retirados da rede resultando na rede ilustrada na figura 5.7.

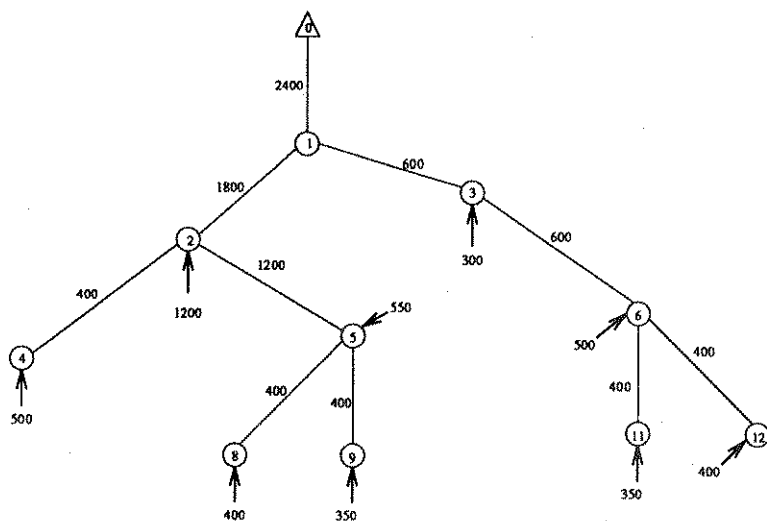


Figura 5.7: REDE RESULTANTE APÓS A RETIRADA DOS NÓS QUE CONTÉM URs E NÓS FILIADOS A URs

A partir da rede da figura 5.7, a função 2.1 gera a saída ilustrada na figura 5.8. Foram localizadas Unidades Remotas nos Nós :

- 4 filiando o Nó {4};
- 5 filiando os Nós {5, 8, 9}
- 6 filiando os Nós {6, 11, 12}

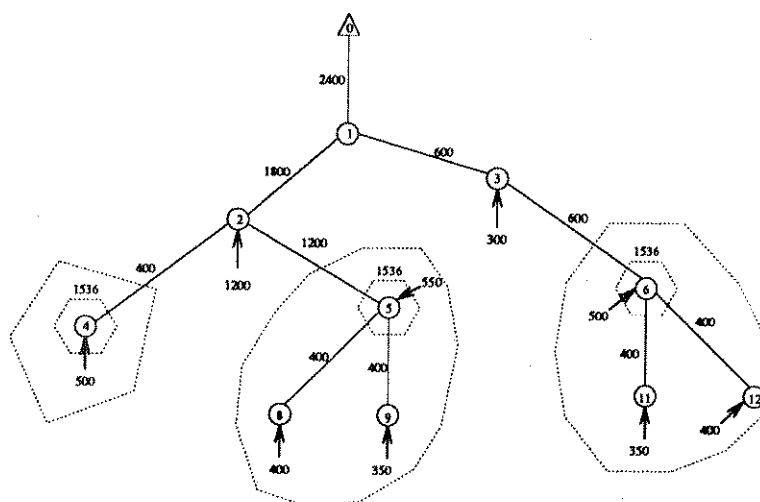


Figura 5.8: SAÍDA DA FUNÇÃO 2.1

A partir da saída da função 2.1, conforme ilustrado na figura 5.8, a função 2.2 fixa Unidades Remotas. Neste caso o resultado não se altera, obtemos uma saída idêntica à figura 5.8. Os Nós filiados são então retirados da rede como mostrado na figura 5.9.

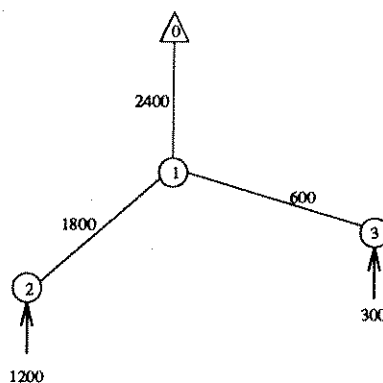


Figura 5.9: REDE RESULTANTE APÓS A RETIRADA DOS NÓS QUE CONTÉM URs E NÓS FILIADOS A URs

A partir da rede da figura 5.9, a função 2.1 não localizou mais nenhuma Unidade Remota, o que interrompe o processo. O planejamento estático ao final desta fase é ilustrado na figura 5.10.

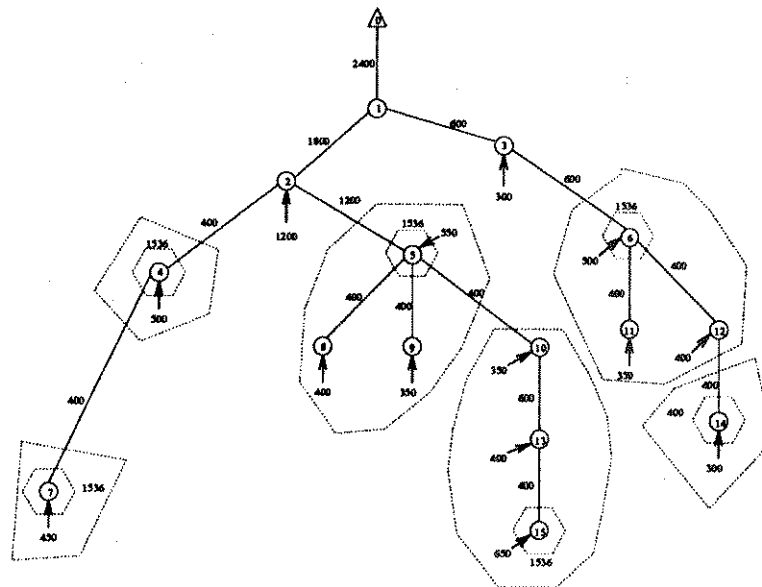


Figura 5.10: ALTERNATIVA DE PLANEJAMENTO ESTÁTICO

Alternativas de atendimento via cabos metálicos e URs exigem investimentos em instantes diversos ao longo do período de planejamento. Estas alternativas de investimento poderão ter valores presentes relativos diferentes. Uma forma de levar em consideração este efeito e reduzir as distorções introduzidas com a separação do Planal em planejamento estático e dinâmico é a criação de um mecanismo que gere vários alvos a serem atingidos no ano horizonte. Tal objetivo pode ser alcançado com a introdução de um fator a multiplicador do custo da decisão de atendimento via cabo metálico. Com isso a estrutura de custos da figura 5.3, ficaria conforme figura 5.11. Note que no estágio (Nó) 12 temos que no custo associado ao estado 1 aparece o fator a multiplicando o custo da decisão de atendimento via cabo metálico.

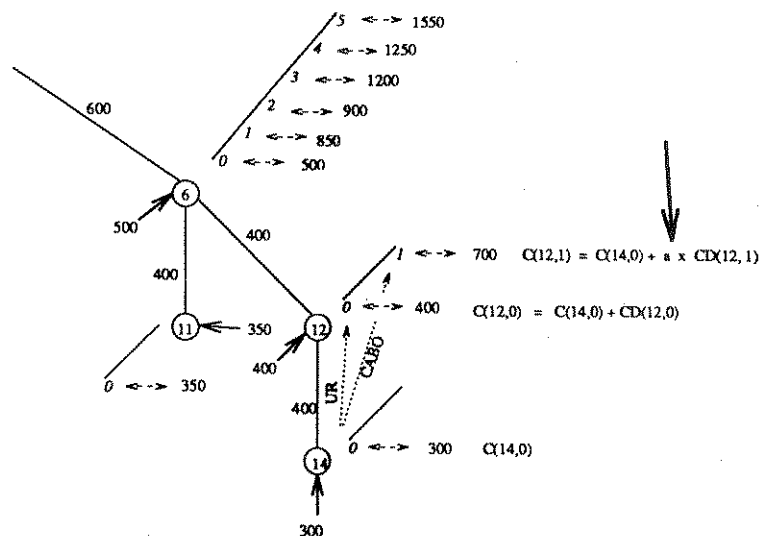


Figura 5.11: Estrutura de custos modificada pelo fator a

Através da variação do fator a , direcionamos a configuração da rede de alimentação. Valores de a maiores que 1 (um), equivale a aumentarmos o preço relativo de cabo frente as Unidades Remotas ou seja levará a ter-se mais Unidades Remotas e estas a estarem mais próximas. Valores de a menores que 1 (um) terão efeito contrário.

O usuário deve entrar com o valor inicial e final para a , assim como o número de iterações conforme ilustrado na figura 5.1. Para cada iteração é considerado

$$a = (\text{valor inicial}) + ((\text{valor final} - \text{valor inicial}) / \text{número de iterações} - 1) \times \text{iteração atual}.$$

Assim se considerarmos valor inicial $vi = 0.4$; valor final $vf = 4.0$; número de iterações $ni = 10$. Teremos:

$$a = 0.4 + (4.0 - 0.4) / 9 \times \text{iteração atual}$$

$$a = 0.4 + 0.4 \times \text{iteração atual}$$

fazendo-se variar o valor de iteração atual ia de 0 a 9 teremos a assumindo os valores { 0.40 0.80 1.20 1.60 2.00 2.40 2.80 3.20 3.60 4.00 }.

Obtendo-se a cada iteração uma alternativa de planejamento estático que será passada a fase de planejamento dinâmico.

5.3 FASE II : O PLANEJAMENTO DINÂMICO

O planejamento dinâmico visa definir a expansão da rede ao longo do período de estudo.

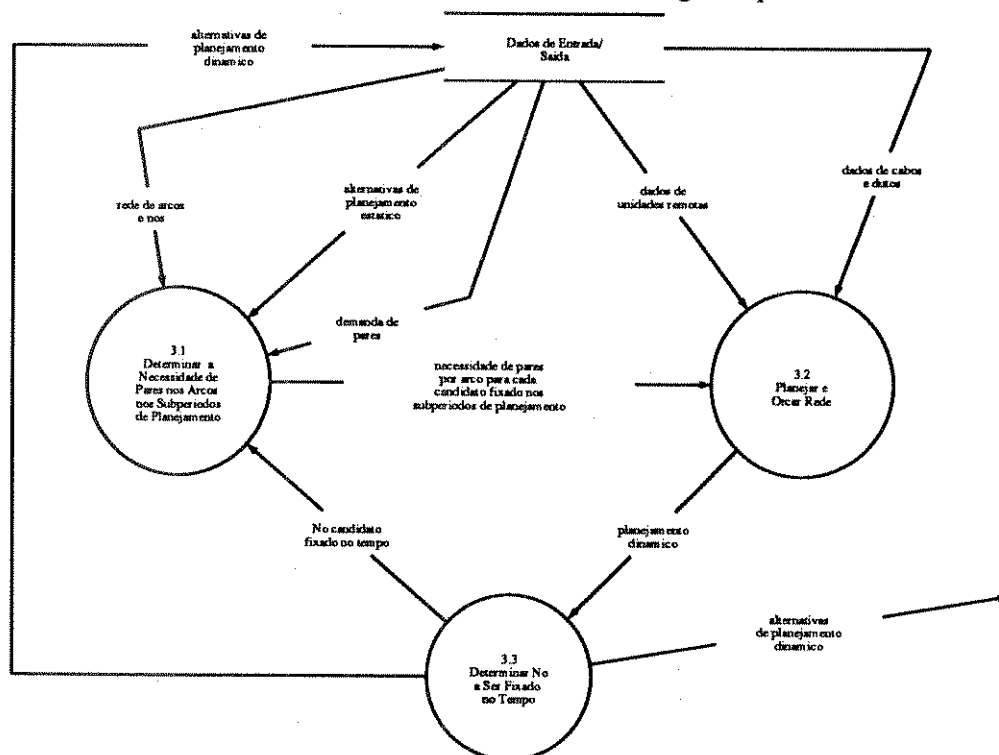


Figura 5.12: DETALHAMENTO PLANEJAMENTO DINÂMICO

Na figura 5.12, vemos o processo de planejamento dinâmico. O planejamento dinâmico é feito em até $n + 1$ passos, onde n é o número de Nós candidatos a receberem URs obtidos na Fase I (planejamento estático). O passo 1 tem início com a função 3.1 que determina a necessidade de pares para atendimento da demanda, levando em consideração apenas a expansão com cabos metálicos, sem a colocação de UR. Essa necessidade é passada então a função 3.2 que vai dar origem à primeira alternativa de planejamento dinâmico, ilustrada na tabela 5.1 para a rede exemplo da figura 4.1. Nesta tabela temos a necessidade de expansão da rede de cabos e dutos ao longo do tempo para cada Arco da rede exemplo. Os próximos passos darão origem as demais alternativas, que serão obtidas a partir da saída do planejamento estático conforme procedimento descrito a seguir.

Cada passo é constituída por uma sequência de aplicações das funções 3.1, 3.2 e 3.3 nesta ordem. No passo i , ao final da aplicação da função 3.3 tem-se uma das seguintes situações :

- a. Uma rede com uma nova UR fixada e mais barata que a rede da iteração $i-1$. E volta-se a função 3.1 no caso de ainda se ter candidato a UR ou interrompe-se o processo caso não haja candidato a UR.
- b. Uma rede mais cara que a rede da iteração anterior, considera-se então como alternativa de planejamento a saída da iteração $i-1$ e interrompe-se o processo

Para ilustrar o processo vamos tomar uma das alternativas de planejamento estático obtida na FASE I e mostrada na figura 5.14. Conforme vemos temos os seguintes Nós como candidatos a colocação de Unidades Remotas, { 6, 7, 13}.

A função 3.1 inicia determinando a necessidade de pares considerando separadamente a fixação de um candidato em cada subperíodo de planejamento, isto é feito para todos os candidatos. Ou seja é determinada a necessidade de pares em cada Arco da rede considerando-se cada uma das m configurações, onde $m = n^{\circ}$ de candidatos $\times n^{\circ}$ de subperíodos. No caso $m = 3 \times 10 = 30$, correspondendo as seguintes configurações:

Configuração 1 ==> Unidade Remota no Nó 6 no subperíodo 1;
Configuração 2 ==> Unidade Remota no Nó 6 no subperíodo 2;

Configuração 11 ==> Unidade Remota no Nó 7 no subperíodo 1;
Configuração 12 ==> Unidade Remota no Nó 7 no subperíodo 2;

Configuração 21 ==> Unidade Remota no Nó 13 no subperíodo 1;
Configuração 22 ==> Unidade Remota no Nó 13 no subperíodo 2;

Configuração 30 ==> Unidade Remota no Nó 13 no subperíodo 10.

Na saída da função 3.1 para cada configuração é gerada a necessidade de pares em cada Arco para cada subperíodo de planejamento de forma a atender a demanda. O cálculo da necessidade de pares é feito conforme explicado no capítulo 4. Sendo que lá foi definido a necessidade de pares para atender a demanda no horizonte final de planejamento, mas o procedimento é o mesmo para o cálculo em cada subperíodo de planejamento bastando que se considere a respectiva demanda e que uma Unidade Remota colocada em determinado subperíodo, permanecerá até o horizonte final de planejamento.

A função 3.2 determina então o planejamento dinâmico para cada configuração, conforme será explicado em parágrafo que se segue. A função 3.3 seleciona a configuração que apresenta o planejamento de menor custo que passa a ser o custo atual da rede, e então fixa o correspondente candidato no respectivo subperíodo sendo este retirado da lista dos candidatos. No exemplo, supondo que a configuração 1 resultou na rede com menor custo, este passa a ser o custo atual da rede, então teremos as novas configurações considerando os candidatos restantes { 7, 13 } conforme segue:

Configuração 1 ==> Unidade Remota no Nó 6 no subperíodo 1 e Unidade Remota no Nó 7 no subperíodo 1;

Configuração 2 ==> Unidade Remota no Nó 6 no subperíodo 1 e Unidade Remota no Nó 7 no subperíodo 2;

Configuração 11 ==> Unidade Remota no Nó 6 no subperíodo 1 e Unidade Remota no Nó 13 no subperíodo 1;

Configuração 12 ==> Unidade Remota no Nó 6 no subperíodo 1 e Unidade Remota no Nó 13 no subperíodo 2;

Configuração 20 ==> Unidade Remota no Nó 6 no subperíodo 1 e Unidade Remota no Nó 13 no subperíodo 10;

O processo então continua até que não haja mais nenhum Nó candidato ou os novos custos de planejamento dinâmico não sejam inferiores ao custo atual da rede. O processo então é repetido para as demais alternativas de planejamento estático. A tabela 5.2 apresenta o planejamento dinâmico para o planejamento estático ilustrado na figura 5.14. Que conforme vemos resultou na colocação de UR nos três candidatos.

A função 3.2 é a função chave em todo esse processo e é responsável por determinar o planejamento da rede para cada Arco, a partir da necessidade de pares nos subperíodos de planejamento. Para conseguir alcançar tal objetivo lançou-se mão mais uma vez da programação dinâmica. Tal que os estágios agora correspondam aos subperíodos de planejamento, os estados correspondam à quantidades de pares nos Arcos e as decisões correspondam a capacidade de cabos a lançar, conforme proposto em [8]. Nos custos associados as decisões são considerados os respectivos valores presentes.

Na figura 5.13 temos o resultado da aplicação da programação dinâmica ao Arco (1,3) da figura 4.1, para o cenário do passo 1 (atendimento exclusivamente através de cabos metálicos). O procedimento é análogo para todos os outros passos, para as diversas configurações e para todos os outros Arcos.

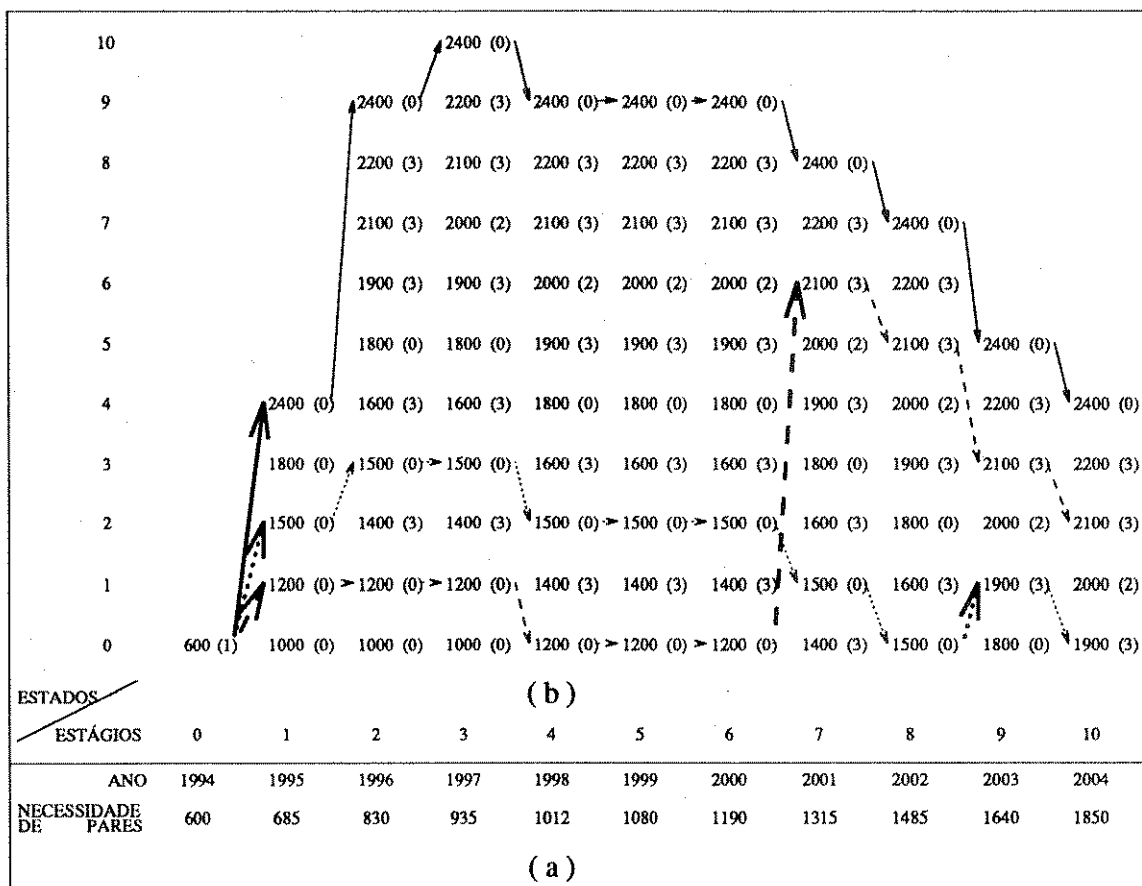


Figura 5.13: PROGRAMAÇÃO DINÂMICA PARA O ARCO (1,3)

Como podemos verificar na parte (a) da figura temos a necessidades de pares para o referido Arco em cada subperíodo de planejamento e na parte (b) temos os estágios, estados e decisões. Associado a cada estado de cada estágio existe uma quantidade de dutos disponíveis, valor que aparece entre parênteses, e inicialmente é 1. As linhas cheias, tracejadas e pontilhadas ilustram as trajetórias ótimas para se atingir respectivamente os estados 4, 2 e 0 no estágio 10. As linhas mais grossas representam a decisão de lançamento de cabo na trajetória ótima, na trajetória cheia temos somente a decisão de lançamento de 1800 pares no estágio 0. Na trajetória tracejada temos a decisão de lançamento 600 pares no estágio 0 e a decisão de lançamento de 900 pares no estágio 6. Na trajetória pontilhada temos a decisão de lançamento de 900 pares no estágio 0 e a decisão de lançamento de 400 pares no estágio 8. Caso a quantidade de dutos existente seja insuficiente para atender ao lançamento de cabo, acrescenta-se ao custo do estado no estágio, o custo da rede de dutos que atenda a demanda até o final do período de planejamento. No caso da decisão tomada no estágio 8 da trajetória pontilhada temos a construção de uma linha de dutos com 4 furos.

Na verdade, deveríamos considerar aqui uma implementação com duas variáveis de estado: quantidade de pares existente e quantidade de dutos vagos. Para fugir ao problema da dimensionalidade só consideramos a primeira.

Dutos só devem ser expandidos uma única vez, conforme restrição 12 do modelo matemático. Esta expansão é feita considerando que o número de dutos a serem implantados é dado pela menor formação (4, 6, 8 ou 12) de dutos maior que n.

Com $n = (\text{maior necessidade de pares do Arco} - \text{capacidade existente}) / (\text{cabo médio})$

onde

$\text{cabo médio} = (\text{capacidade total de pares existente no Arco}) / (\text{quantidade de dutos ocupados})$

Se eventualmente esta capacidade se esgota em um estágio posterior da programação dinâmica, volta-se ao estágio da tomada de decisão de expansão e adota-se a formação de dutos imediatamente superior. Refazendo-se o procedimento a partir deste ponto.

Na tabela 5.1 podemos verificar que foi escolhida a alternativa ilustrada em linha cheia para atendimento ao Arco (1,3).

Tabela 5.1: PLANEJAMENTO DINÂMICO PARA A FIGURA 5.1 CONSIDERANDO APENAS CABO METÁLICO

A necessidade de expansão da rede de cabos e dutos (entre()) por ano é:

ARCO	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
(0,1)	—	2400	—	—	—	—	—	2400(4)	—	—
(1,2)	—	2400	—	—	—	—	—	—	900(4)	—
(1,3)	1800	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(2,4)	600	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(2,5)	—	—	1800	—	—	—	—	—	—	—
(3,6)	—	1200	—	—	—	—	—	—	—	—
(4,7)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	400
(5,8)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(5,9)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(5,10)	1200	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(6,11)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(6,12)	—	—	—	—	—	400	—	—	—	—
(10,13)	—	—	—	600	—	—	—	—	—	—
(12,14)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(13,15)	—	—	—	400	—	—	—	—	—	—

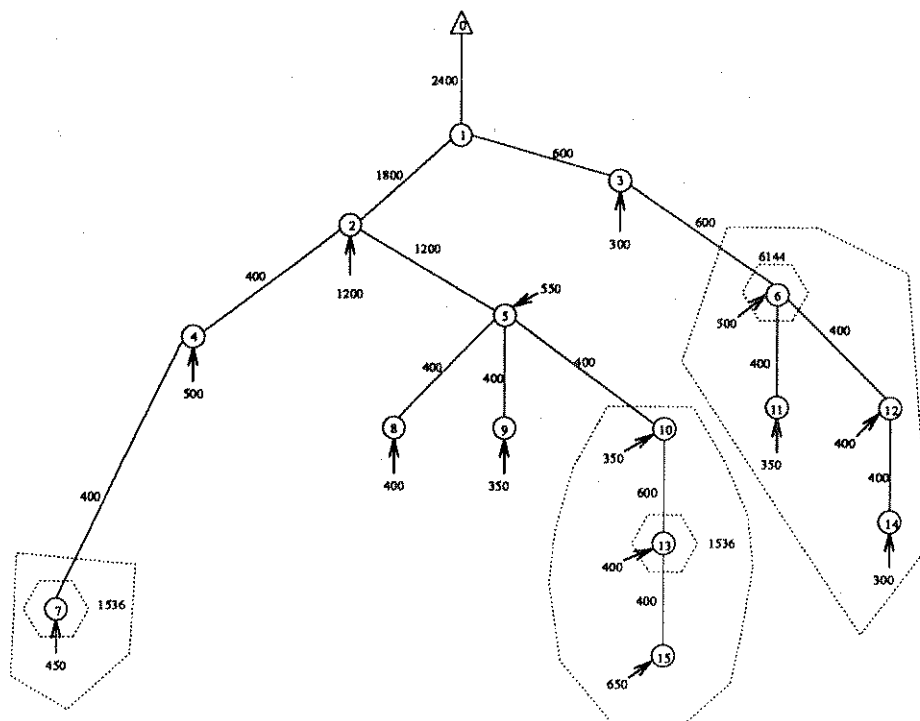


Figura 5.14: PLANEJAMENTO ESTÁTICO

Tabela 5.2: PLANEJAMENTO DINÂMICO PARA A FIGURA 5.14

Instalação de Unidade Remota com capacidade final de 1536 assinantes no Nó = 13,
no ano de 1995

filiando os Nós : 10 13 15

Instalação de Unidade Remota com capacidade final de 6144 assinantes no Nó = 6,
no ano de 1995

filiando os Nós : 6 11 12 14

Instalação de Unidade Remota com capacidade final de 1536 assinantes no Nó = 7,
no ano de 2003

filiando os Nós : 7

A necessidade de expansão da rede de cabos por ano é:

ARCO	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
(0,1)	—	—	—	—	—	—	900	—	—	—
(1,2)	—	—	—	—	1200	—	—	—	—	—
(1,3)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(2,4)	400	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(2,5)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	400
(3,6)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(4,7)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(5,8)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(5,9)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(5,10)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(6,11)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(6,12)	—	—	—	—	—	400	—	—	—	—
(13,15)	—	—	—	400	—	—	—	—	—	—

Capítulo 6

APLICAÇÃO DO PLANO DE ALIMENTAÇÃO EM REDE DA TELEBAHIA E CONCLUSÕES

Para ilustrar o funcionamento do Sistema Planal, selecionamos a rede da estação telefônica J.J. SEABRA da cidade de FEIRA DE SANTANA na BAHIA, ilustrada na figura 6.1. Os dados relacionados a esta rede assim como aos resultados desta aplicação serão apresentados no apêndice C.

A rede é composta por 151 Nós. As tabelas C.1 e C.2 apresentam respectivamente os valores de demanda e dados da rede existente. Os dados em C.2 são : Nó origem do Arco, Nó destino do Arco, quantidade de pares existente no Arco, comprimento do Arco, quantidade de dutos vagos e distância do Nó destino à estação. Preços de cabos utilizados em rede subterrânea são ilustrados na tabela C.3 e os preços dos dutos na tabela C.4

Como UR consideramos equipamento com capacidade de 576 assinantes. A transmissão e recepção é feita em única fibra. Apresenta um custo fixo de R\$ 130000.00 e um custo variável de R\$ 350.00. Este custo já totaliza os equipamentos na estação e os equipamentos em campo. O Planal permite que se considere diversos tipos de equipamentos, embora nesta aplicação tenhamos optado por um único tipo em função da dificuldade de se obter dados sobre os mesmos.

Consideramos uma taxa de retorno de investimentos de 10% ao ano.

As soluções foram obtidas utilizando-se 10 iterações no planejamento estático, fazendo-se o multiplicador α assumir 10 valores no intervalo de 0.25 à 4.0, conforme procedimento já descrito no final da seção 5.2.

A solução apresentada pelo Sistema Planal para a expansão utilizando apenas pares metálicos que chamaremos de cenário 0 é ilustrada na tabela C.5 e resumidamente para efeito de comparação na tabela 6.1.

Na tabela 6.1 temos os seguintes dados:

- identificação do cenário;
- o custo da expansão da rede de cabo em valor absoluto e em percentual relativo ao custo total;
- a expansão da rede de cabos em kmpar⁶;
- o custo da expansão da rede de dutos em valor absoluto e em percentual relativo ao custo total;

6. kmpar é um indicador que se obtém multiplicando a capacidade em pares dos cabos pelo seu comprimento em quilômetro.

- a expansão da rede de dutos em kmduto⁷;
- o custo da expansão de equipamentos em valor absoluto e em percentual relativo ao custo total;
- a expansão dos equipamentos em quantidade de URs;
- o custo total do cenário;
- o percentual do custo do cenário em relação ao custo do cenário 0 que é atendimento exclusivamente via cabo metálico.

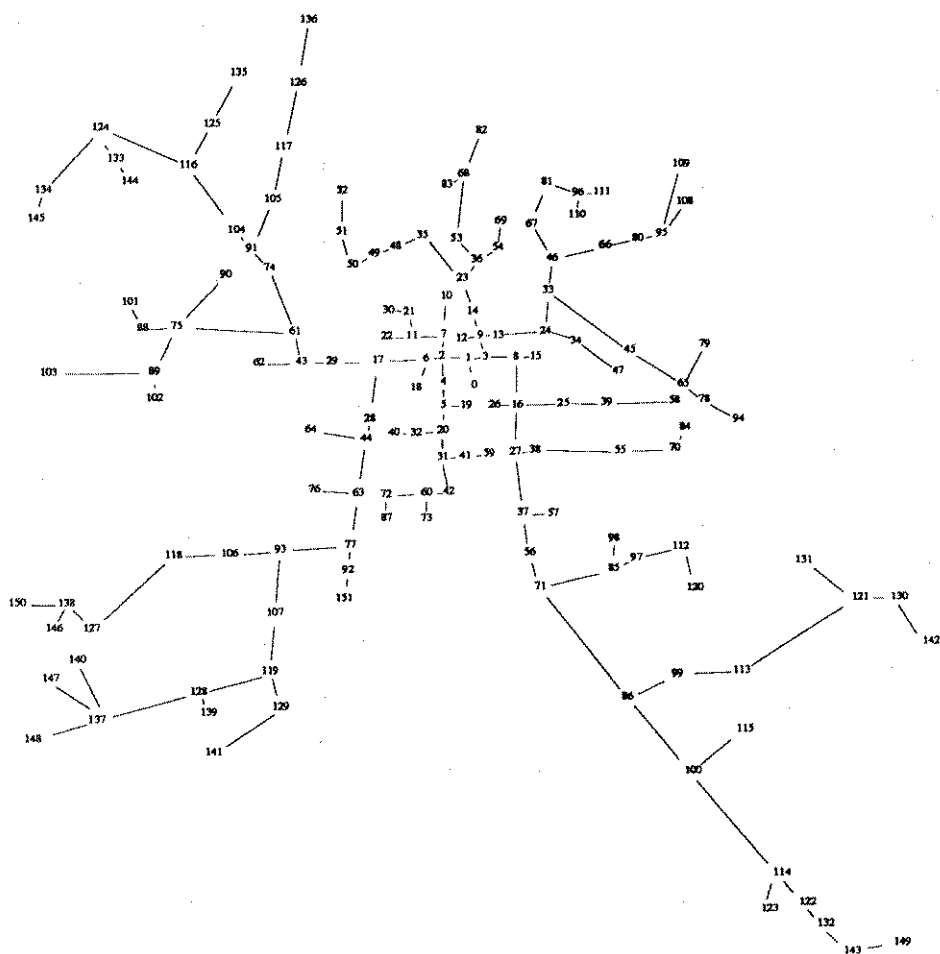


Figura 6.1: REDE DE ARCOS E NÓS

No cenário 0 tem-se um custo total de R\$ 3,98 milhões sendo que 62% dos custos corresponde a expansão na rede de dutos, isto se deve a existência na rede de uma série de Arcos novos propostos pelo planejador em decorrência da necessidade de se dividir seções de serviço existentes.

7. kmduto é um indicador que se obtém multiplicando a quantidade de dutos dos lances de dutos pelo seu comprimento em quilômetro.

Entre as alternativas que utilizam Unidade Remota a de menor custo que chamaremos de cenário 1 é ilustrada na fig 6.2 (tabela C.6) e resumidamente para efeito de comparação na tabela 6.1. Como podemos verificar nesta tabela a melhor alternativa utilizando UR, causou uma redução de apenas 2% em relação ao atendimento exclusivamente via cabo metálico (cenário 0). Verificamos ainda que foi proposta apenas uma única Unidade Remota (Nó 148), o que nos leva a concluir que com os preços considerados para UR, temos que a rede óptica não é competitiva com a rede metálica.

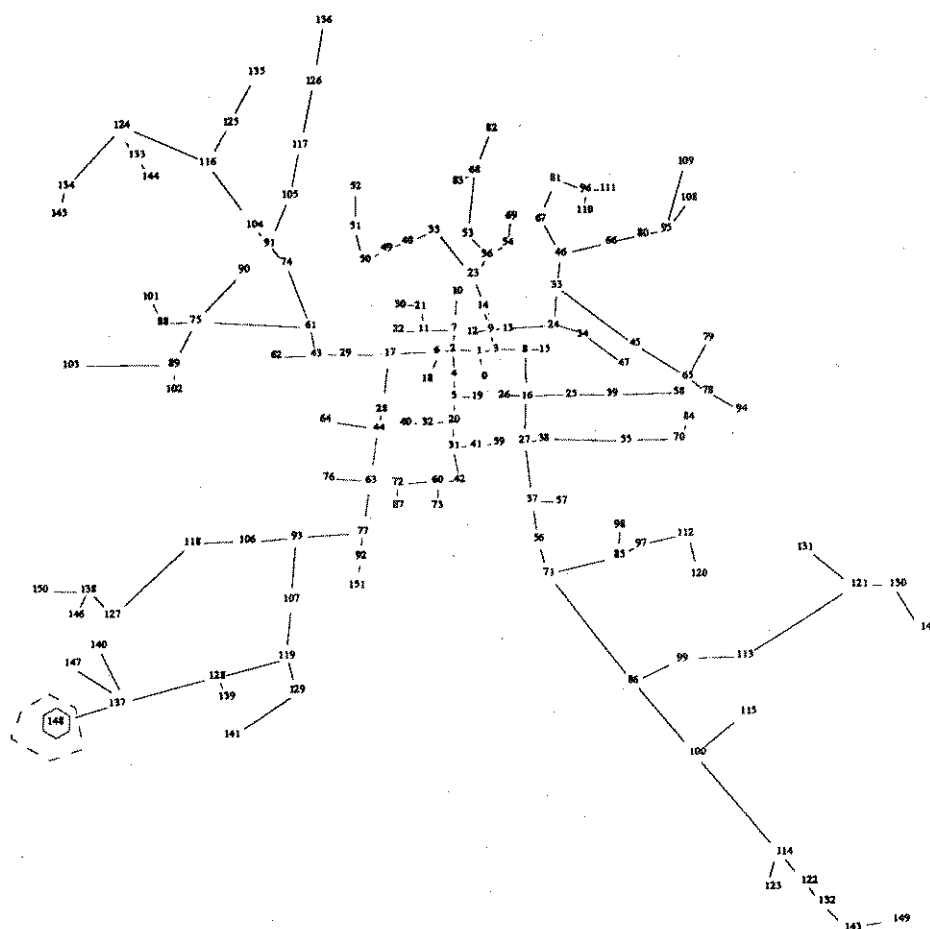


Figura 6.2: ALTERNATIVA DE MENOR CUSTO UTILIZANDO UR – CENÁRIO 1

Fazendo uma análise qualitativa da solução apresentada vê-se que o nó 148 é um forte candidato a UR porque o Arco (137,148), conforme ilustrado na tabela C.2, não apresenta pares metálicos, não apresenta dutos vagos, apresenta um comprimento de 1500 metros e o Nó destino encontra-se a 5730 metros distante da estação. A colocação da UR neste Nó, elimina a necessidade de construir a referida infraestrutura, conforme podemos constatar comparando as tabelas C.5 e C.6 no que se refere a expansão no referido Arco. Estamos considerando que na ligação UR/estação telefônica que é feita via fibra óptica, poderemos utilizar cabo óptico aéreo eliminando a necessidade de construção da rede de dutos.

A Unidade Remota instalada no Nó 148 embora apresente uma capacidade final de 576 assinantes e uma capacidade instalada de 154 assinantes não utilizou a folga de 422 assinantes para filiar outros Nós. Visando atender a restrição 9 do modelo matemático, o Planal não pode filiar apenas o Nó 137 e sim o conjunto {137, 140, 147} que apresenta uma demanda total de 925

que é superior a folga existente. Mesmo que a folga fosse superior que a demanda dos referidos Nós existe ainda o problema de ter que se construir dutos para levar a demanda até o nó 148, o que nesse caso provavelmente resultaria em uma solução mais cara. É importante frisar que o planejador pode realizar variações na solução apresentada e submeter ao Planal, verificando assim o novo custo da rede.

A impossibilidade de utilizar a folga existente nas URs, é um obstáculo a sua utilização devido ao acréscimo no custo por terminal/assinante. Este fato pode ser minimizado com a utilização de equipamentos com capacidade final diferenciadas.

Para as demais alternativas que apresentaremos não realizaremos esta análise qualitativa, mas no apêndice C, apresentamos os dados que possibilitam este tipo de análise.

Visando analisar o efeito de uma redução esperada no custo da UR, efetuamos rodadas considerando redução de 25%, 50% e 75%.

A melhor solução apresentada pelo Planal considerando redução de 25% no custo da Unidade Remota que chamaremos de cenário 2 é ilustrada na figura 6.3 (tabela C.7) e resumidamente para efeito de comparação na tabela 6.1.

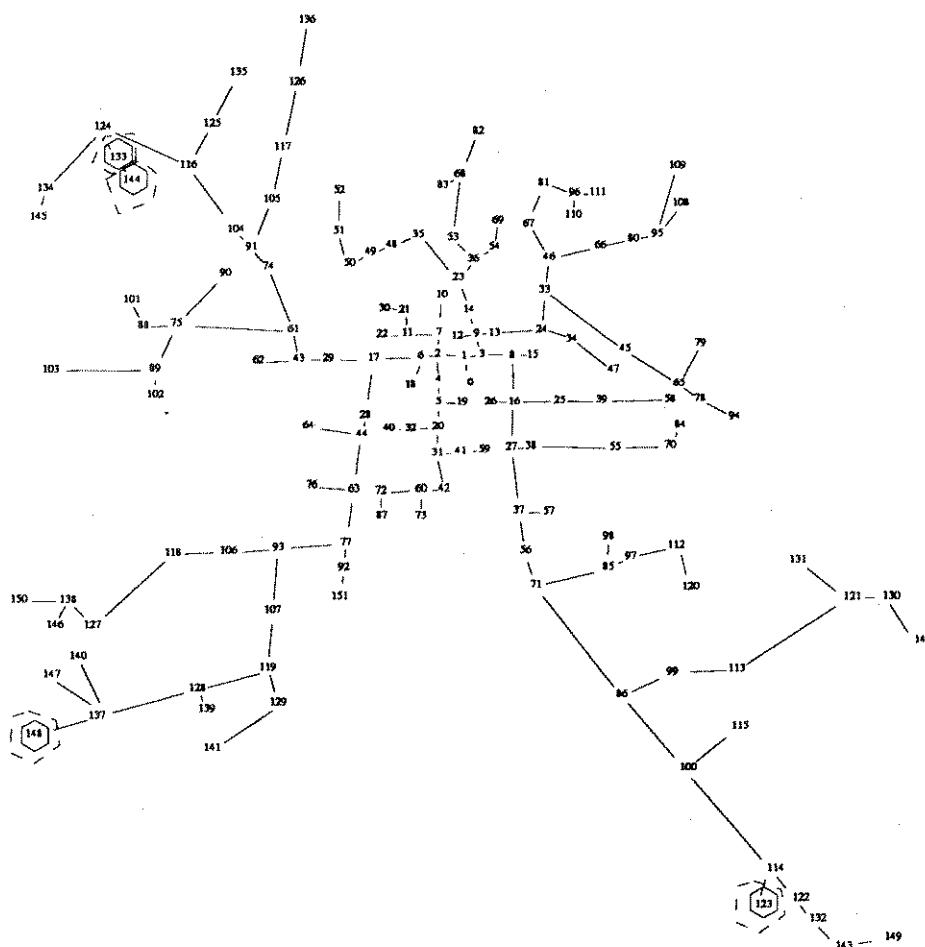


Figura 6.3: ALTERNATIVA DE MENOR CUSTO UTILIZANDO UR (COM CUSTO REDUZIDO EM 25%) – CENÁRIO 2

A redução de 25% no custo da UR, fez com que a melhor alternativa utilizando UR apresentasse uma redução de 5% em relação a alternativa de atendimento exclusivo via cabo metálico. Verificamos ainda que foram propostas 4 URs.

A melhor solução apresentada pelo Planal considerando redução de 50% no custo da Unidade Remota que chamaremos de cenário 3 é ilustrada na figura 6.4 (tabela C.8) e resumidamente para efeito de comparação na tabela 6.1. A redução de 50% no custo da UR, fez com que a melhor alternativa utilizando UR apresentasse uma redução de 13% em relação a alternativa de atendimento exclusivo via cabo metálico. Verificamos ainda que foram propostas 10 URs e a participação de equipamentos igualou-se a participação dos cabos na composição do custo total.

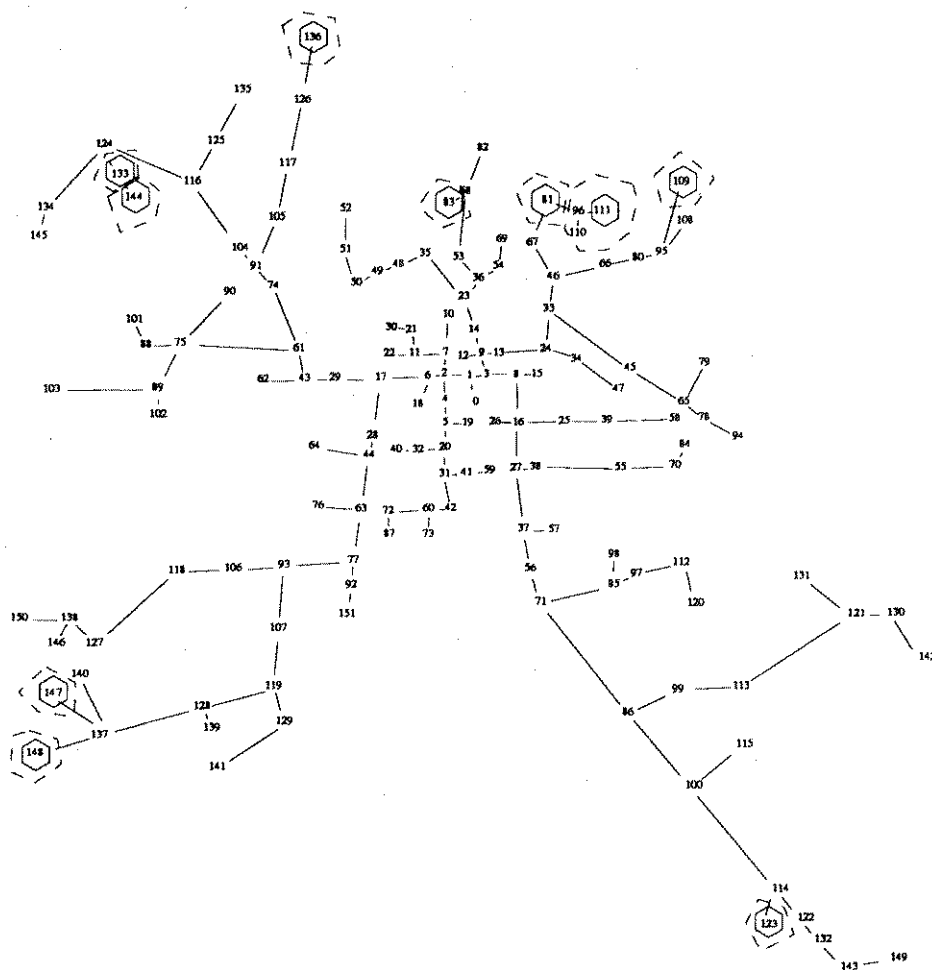


Figura 6.4: ALTERNATIVA DE MENOR CUSTO UTILIZANDO UR (COM CUSTO REDUZIDO EM 50%) – CENÁRIO 3

E finalmente a melhor solução apresentada pelo Planal, considerando redução de 75% no custo da Unidade Remota que chamaremos de cenário 4 é ilustrada na figura 6.5 (tabela C.9) e resumidamente para efeito de comparação na tabela 6.1. Na tabela 6.1 podemos constatar que a redução de 75% no custo da UR, fez com que a melhor alternativa utilizando UR apresentasse uma redução de 37% em relação a alternativa de atendimento exclusivo via cabo metálico. Verificamos ainda que foram propostas 25 URs e a participação de equipamentos ultrapassou a

participação dos cabos e até mesmo a participação dos dutos na composição do custo total. Ou seja neste cenário 4 a rede óptica de assinantes é altamente competitiva com a rede de cabos metálicos.

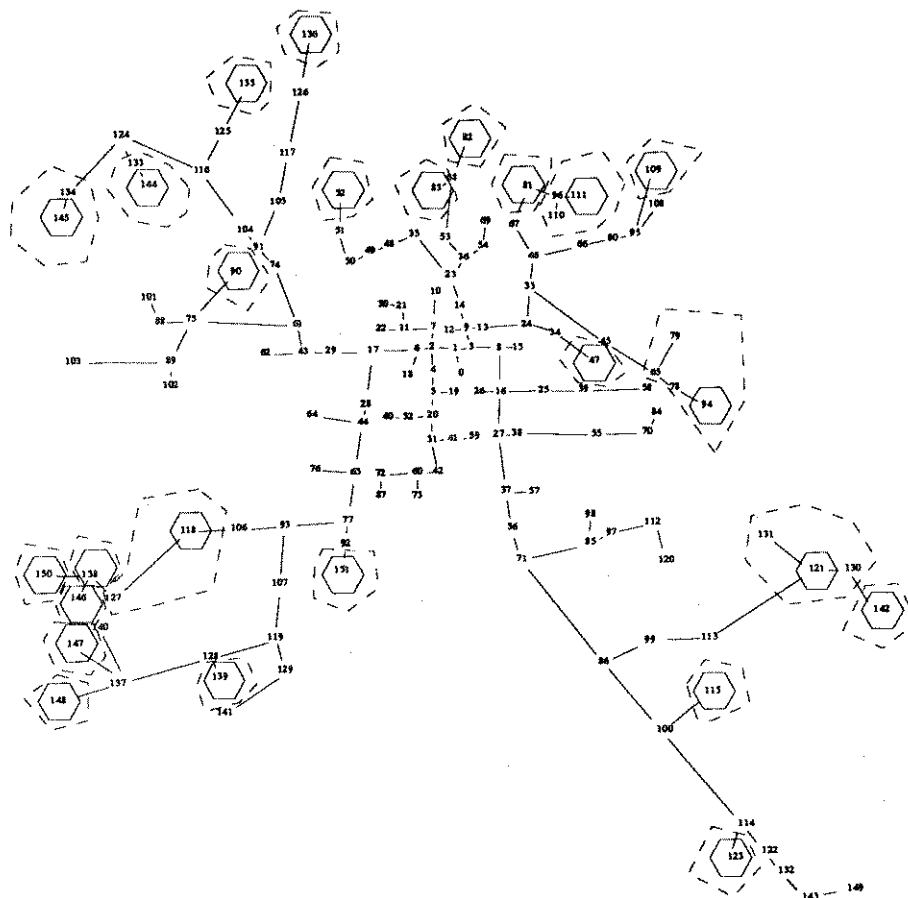


Figura 6.5: ALTERNATIVA DE MENOR CUSTO UTILIZANDO UR (COM CUSTO REDUZIDO EM 75%) CENÁRIO 4

Na figura 6.5 podemos observar que o Planal concentrou as URs nas pontas da rede (o que coincide com os Arcos novos) reduzindo assim a expansão em kmduto e em kmpar e liberando pares metálicos para atendimento aos demais Nós.

Tabela 6.1: DADOS COMPARATIVOS DOS CENÁRIOS 0 à 4

CENÁRIO	CUSTO CABO R\$ (x10 ⁶)	%	KMPAR x10 ³	CUSTO DUTO R\$ (x10 ⁶)	%	KMDUTO	CUSTO EQUIP R\$ (x10 ⁶)	%	URs	CUSTO TOTAL	% CENÁRIO 0
0	1.52	38	28.9	2.45	62	99.8	—	—	—	3.98	100
1	1.45	37	27.9	2.30	59	93.8	0.16	4	1	3.91	98
2	1.29	34	25.0	2.03	53	82.8	0.47	13	4	3.79	95
3	0.91	26	16.9	1.60	46	66.4	0.95	27	10	3.47	87
4	0.42	16	58.2	0.92	36	37.0	1.19	47	25	2.53	63

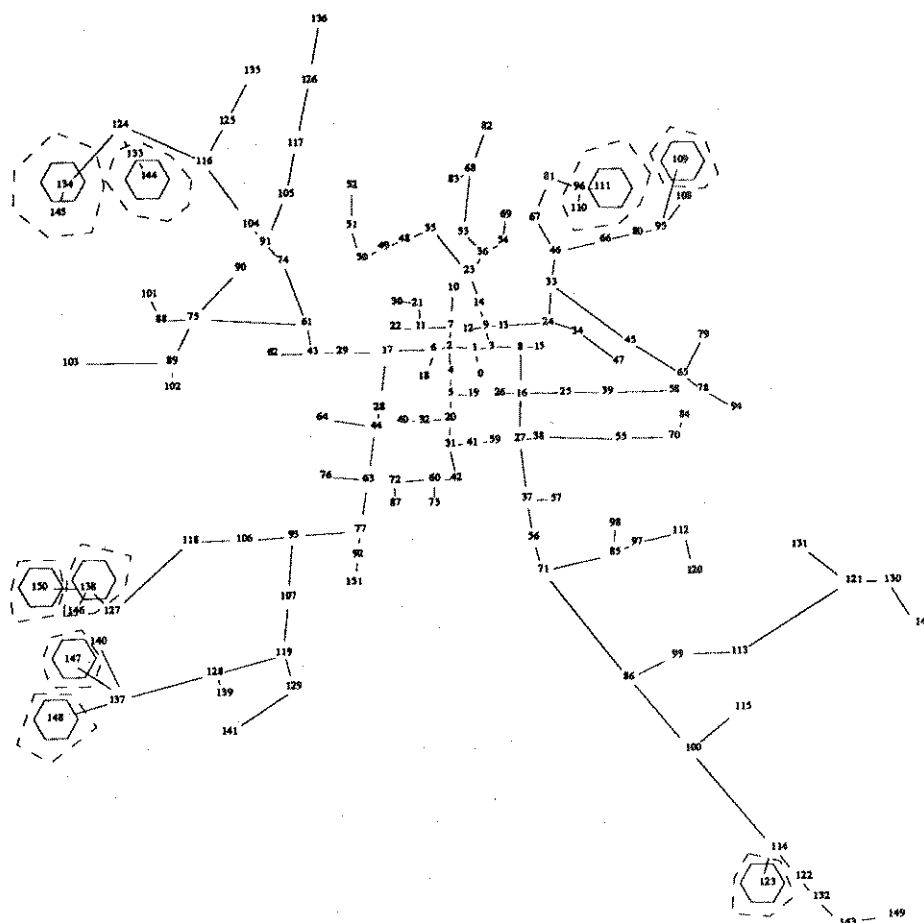


Figura 6.6: ALTERNATIVA DE MENOR CUSTO UTILIZANDO UR (COM CUSTO REDUZIDO EM 75%) E CONSIDERANDO DUTO VAGO NOS ARCOS NOVOS – CENÁRIO 6

Visando reduzir o efeito da rede de canalização dos Arcos novos na localização das URs, consideramos a mesma rede porém supondo a existência de dutos vagos nestes Arcos. Mantivemos a redução de 75% no custo da UR. A solução apresentada pelo Sistema Planal para a expansão utilizando apenas pares metálicos que chamaremos de cenário 5 é ilustrada na tabela C.10. Entre as alternativas que utilizam Unidade Remota a de menor custo que chamaremos de cenário 6 é ilustrada na fig 6.6 e tabela C.11. Ambos os cenários são ilustrados resumidamente para efeito de comparação na tabela 6.2.

A tabela 6.2 tem a mesma composição da tabela 6.1.

Comparando o cenário 6 com o cenário 4, temos como seria de se esperar uma redução no número de URs propostas, porém mesmo sem a pressão da rede de canalização foram propostas 9 URs e a participação das mesmas no custo total atingiu 33%. Houve ainda uma redução de 11% no custo total em relação ao cenário 5 (atendimento exclusivo via cabo metálico), ou seja com a redução do custo dos equipamentos ópticos para patamares adequados teremos inúmeras oportunidades para implantação da rede óptica de assinantes, permitindo assim a evolução tecnológica da rede externa.

Tabela 6.2: DADOS COMPARATIVOS DOS CENÁRIOS 5 e 6

CENÁRIO	CUSTO CABO		KMPAR	CUSTO DUTO		KMDUTO	CUSTO EQUIP		URs	CUSTO TOTAL	% CENÁRIO 5
	R\$ (x10 ⁶)	%	x10 ³	R\$ (x10 ⁶)	%		R\$ (x10 ⁶)	%			
5	1.52	99	28.9	8.5	1	0.8	—	—	—	1.53	100
6	0.91	67	15.3	—	—	—	4.47	33	9	1.36	89

O Planal foi executado em estações de trabalho Risc com performance de 86.1 MIPS e 10.6 MFLOPS. Para a rede do exemplo que tem 151 Nós, o Planal gastou um tempo médio total de 35 min para apresentar uma alternativa de atendimento; sendo que 5 min foram gastos no planejamento estático e 30 min no planejamento dinâmico.

Para uma rede de 100 Nós e considerando também 10 períodos de planejamento, o Planal apresentou 10 soluções em 65 min equivalendo a um tempo/plano de 6.5 min sendo que 3.7 min foram gastos no planejamento estático e 2.8 min foram gastos no planejamento dinâmico.

Para uma rede de 60 Nós e considerando também 10 períodos de planejamento, o Planal apresentou 10 soluções em 16 min equivalendo a um tempo/plano de 1.6 min sendo que 0.8 min foram gastos no planejamento estático e 0.8 min foram gastos no planejamento dinâmico.

Para redes grandes é conveniente a separação do problema em rotas, reduzindo assim o tempo de execução total.

A decisão de colocação de UR, conforme vimos, é grandemente influenciada por condições locais, como disponibilidade de pares e de dutos. Tornando imprescindível a substituição da utilização de critérios genéricos como distância à estação pela utilização de ferramentas de otimização na definição da configuração de Unidades Remotas.

Devido a grande quantidade de dados necessários à utilização das ferramentas de planejamento de rede externa, à necessidade de visualizar graficamente as diversas alternativas geradas e a necessidade de intervenção do usuário impondo condições, é importante a integração de ferramentas de planejamento ao SAGRE (Sistema Automatizado de Gerência de Rede Externa) possibilitando acesso imediato às informações da rede existente e provendo uma interface gráfica baseada em SIG (Sistemas de Informações Geográficas).

A importância deste trabalho está no fato de ter desenvolvido conceitos, que constituem módulos construtivos básicos a serem generalizados em trabalhos futuros visando atender a necessidade de planejar a rede em diversos cenários não contemplados atualmente:

- Utilização de fibra óptica na rede de distribuição
- Atendimento à demanda para serviços diversos (voz, RDSI-FE acesso básico, RDSI-FE acesso primário, feixes de 2Mbps, TV, etc.)
- Utilização de equipamentos diversos como, por exemplo, ADMs.

- Utilização de topologia em anel visando aspectos de segurança.
- Consideração da receita visando ao objetivo de maximização de receitas em substituição ao de minimização de custos

Estamos certo que este trabalho preenche uma lacuna existente e que com contribuições e envolvimento de outras pessoas se tornará uma ferramenta de grande valor ao profissional da rede externa.

Apêndice A

BIBLIOGRAFIA

- [1] Minoli, Daniel; Telecommunications technology handbook.
- [2] Diretrizes do CPqD – Revista Telebrás – Edição tecnologia –16(56):Out. 92
- [3] C. Balakrishnam, T Magnanti, C. Shulman, and R. Wong, “Models for Planning Capacity Expansion in Local Access Telecommunication Networks,”; Annals of Operations Research 33(1991)239 – 284.
- [4] Dall’Antonia, Juliano C., Esboço de uma Rede Óptica de Assinantes para o STB, VIII Seminário de Rede Externa do Sistema Telebrás, junho de 1991, pg. 95 – 110, Brasília – DF.
- [5] Rodrigues, Marcelo de M. R. Sistemas Integrados de Configuração de Rede Telefônica, Dissertação de Mestrado, CPGCC – UFMG, Belo Horizonte, 1993.
- [6] Nicholas C. Stanley, Fibre Optic Transmission Systems for Large Business Users: A Qualitative Look at an Access Architecture, X Seminário de Rede Externa do Sistema Telebrás, agosto de 1993, pag. 383 – 403, Brasília – DF.
- [7] Cabral, Regina H. B. Um Sistema Para Planejamento de Redes Telefônicas Urbanas, Dissertação de Mestrado, CPGCC – UFMG, Belo Horizonte, 1985.
- [8] Ribeiro, José F. F. Expansão a Curto Prazo de Redes Telefônicas Primárias, Dissertação de Mestrado, UNICAMP, Campinas, 1985.
- [9] Ribeiro, C. M. Planejamento de Redes Telefônicas: Alocação de Concentradores, Indicação de Centro de Fios e Localização de Estágios de Linha Remotos.
- [10] Jack, C., S. R. Kai AND C. Shulman. 1992. NETCAP – An Interactive Optimization System for GTE Telephone Network Planning. Interfaces 22, 72 – 89.
- [11] Shulman, C., and Vachani, R. 1990, “An Algorithm for Capacity Expansion of Local Access Networks” IEEE Infocom ‘90, San Francisco, California, June 5 – 7
- [12] Jack, C., S. R. Kai and C. Shulman. 1992. Design and Implementation of an Interactive Optimization System for Telephone Network Planning. Operations Research, Vol 40, No. 1, 15 – 25.
- [13] Shulman, C., and Vachani, R. 1993, “A Decomposition Algorithm for Capacity Expansion of Local Access Networks” IEEE Transactions on Communications, Vol 41, No. 7

- [14] Costa, Rômelo Amarildo Vasconcelos. Uma Heurística para o Problema de Localização de Centro de Fios – MICROLOCUS. Dissertação de Mestrado. DCC-ICEx-UFMG, 1991
- [15] Luna, Henrique P. L.; Mateus, Geraldo R.; Patrocínio, Zenilton K. G.; Rodrigues, Marcelo de M. R. Caracterização do Sistema Configurador de Rede de Distribuição (CORDIS). Relatório Técnico RT 10/93, contrato UFMG-TELEMIG, 1993
- [16] Nakagawa, J. M.; Yamakami, A.; Tavares, H. M. F. Manual Técnico do Programa LOCUS II, Relatório Técnico RT-34, contrato UNICAMP-TELEBRÁS 024A/83, Dez. 1984.
- [17] Carlson Fº, C.M. Cronograma de Implantação de Estações Telefônicas, Planejamento de Sistemas Telefônicos : Plano de Interligação e Cronograma de Implantação de Estações Urbanas, Tese de Mestrado, UNICAMP/FEC/DEE, Dez. 1984, parte II
- [18] Fraisleben, F.; França, P. M.; Tavares, H. M. F. Manual Técnico do PEOR – Programa de Evolução Otimizada da Rede, Relatório Técnico RT-37, contrato UNICAMP-TELEBRÁS 024A/83, jan. 1985
- [19] Prática SDT – 210-120-102 (PADRÃO) emissão 01/10/93; Atualização Tecnológica de Procedimentos de Planejamento e Projeto da Rede de Assinante

Apêndice B

GLOSSÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS EM TELECOMUNICAÇÕES

ACESSO BÁSICO

Estrutura de interface para RDSI formada por dois canais de 64 kb/s e um canal de 16 kb/s.

ACESSO PRIMÁRIO

Estrutura de interface para RDSI formada por trinta canais de 64 kb/s e um canal de 16 kb/s.

ADM – ADD/DROP MULTIPLEX

Equipamento de tecnologia SDH capaz de adicionar e extrair os canais digitais individuais de um sinal multiplexado da SDH de hierarquia mais alta, sem necessidade de demultiplexar o sinal inteiro.

ARMÁRIO DE DISTRIBUIÇÃO

Dispositivo destinado a suportar e abrigar blocos de conexão que possibilitam a interconexão dos cabos da rede de alimentação, que ali terminam, com os cabos da rede de distribuição.

BITOLA

É o diâmetro dos fios condutores do par telefônico.

CAIXA SUBTERRÂNEA

É uma caixa de passagem instalada sob o chão, constituída, normalmente, de tijolo ou concreto, tendo como finalidade permitir o puxamento dos cabos, acomodar emendas, derivar cabos, receber equipamentos de tratamento de linha (repetidores, potes de pupinização, etc.) e permitir os trabalhos no seu interior.

CENTRAL TELEFÔNICA

Conjunto de equipamentos de comutação destinados ao encaminhamento e/ou estabelecimento de chamadas telefônicas.

DGP – DISPOSITIVO DE GANHO DE PAR

Unidade remota que se interliga à estação telefônica através de pares metálicos.

DUTO

Qualquer tipo de tubulação que permite a instalação de cabos telefônicos.

EMENDA

Elemento que permite a junção de lances de cabos.

ESTAÇÃO TELEFÔNICA

Conjunto constituído por prédio (ou unidades volantes) e de uma ou mais centrais telefônicas nele instaladas.

ER – ESTÁGIO REMOTO

Unidade remota que se interliga à estação telefônica através de fibras ópticas.

RDSI

A Rede Digital de Serviços Integrados representa o último estágio de evolução do sistema de telecomunicações, provendo conexão digital ponta a ponta com acesso à serviços de voz e dados sobre as mesmas facilidades de transmissão e comutação.

ROTA

Parte de uma área de estação telefônica, independente para efeito de planejamento e projeto de redes.

SEÇÃO DE SERVIÇO

Menor unidade para controle de planejamento e projeto de cabos sob o aspecto de distribuição e determinação de capacidades.

UNIDADE REMOTA

Conjunto de equipamentos, dispositivos, acessórios e respectivas instalações localizado na rede externa, com a função básica de concentrar linhas de assinantes. Podendo então a Unidade Remota ser constituída por DGP (dispositivos de ganho de par) ou ER (estágios remoto).

ZONA DE FILIAÇÃO

Área geográfica atendida por uma estação telefônica ou Unidade Remota.

Apêndice C
DADOS DA REDE

Tabela C.1: DEMANDA DE PARES PARA SERVIÇOS DE VOZ

	ANO1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Nº										
1	199	209	219	228	239	247	256	264	273	282
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	298	309	320	332	343	354	366	378	389	401
4	306	322	339	355	373	390	408	429	446	465
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	232	243	255	267	279	291	303	315	328	341
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	92	95	97	100	103	105	108	111	113	116
11	305	316	326	336	347	357	367	377	388	398
12	251	260	269	279	288	298	308	318	328	339
13	147	154	161	168	175	182	189	197	204	212
14	165	173	181	188	196	203	211	218	226	233
15	173	180	187	193	200	207	214	220	227	234
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	253	266	280	294	309	323	338	353	368	383
18	285	298	311	323	335	345	356	367	376	387
19	112	116	119	123	126	129	132	135	138	141
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	122	126	130	134	139	143	147	152	156	161
22	122	126	130	134	139	143	147	152	156	161
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	250	263	276	289	303	316	330	343	357	371
25	200	206	212	218	224	230	236	242	248	254
26	112	116	119	123	126	129	132	135	138	141
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	149	158	166	175	184	192	201	210	219	228
29	113	118	122	127	132	137	141	146	151	156
30	197	207	218	230	241	253	264	276	288	300
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	162	172	182	193	204	216	227	239	251	263
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	133	137	141	145	150	154	158	163	167	171
35	240	247	255	263	272	280	289	297	306	315
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	200	206	212	218	224	230	236	242	248	254
39	166	171	175	180	184	189	193	198	202	206
40	221	235	248	261	275	287	300	313	327	340
41	221	235	248	261	275	287	300	313	327	340
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	106	111	116	121	126	131	136	142	147	153
46	156	163	169	176	182	189	196	203	210	217
47	106	111	116	121	126	131	136	142	147	153
48	141	146	151	157	162	167	173	179	184	190
49	242	253	265	276	288	300	312	325	337	350
50	234	243	253	262	271	281	291	301	311	322
51	197	207	218	230	241	253	264	276	288	300
52	156	163	169	176	182	189	196	203	210	217
53	366	386	406	426	447	468	489	510	531	553
54	221	230	239	248	259	266	276	285	295	304
55	139	142	145	148	152	155	158	161	165	168
56	148	152	157	161	165	170	174	178	183	187
57	148	152	157	161	165	170	174	178	183	187
58	144	156	168	180	193	207	221	235	250	266
59	173	180	187	193	200	207	214	220	227	234
60	164	174	184	192	200	208	216	223	231	239
61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
62	239	249	260	270	280	291	302	313	324	335
63	138	144	151	157	163	169	176	182	189	196
64	113	118	122	127	132	137	141	146	151	156
65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nº	ANO1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
68	323	341	359	377	395	413	431	449	466	484
69	208	212	216	221	225	229	234	238	242	247
70	139	142	145	148	152	155	158	161	165	168
71	259	274	290	305	321	337	352	368	384	401
72	125	128	131	135	138	142	145	148	152	156
73	166	171	175	180	184	189	193	198	202	206
74	239	249	260	270	280	291	302	313	324	335
75	144	156	168	180	193	207	221	235	250	266
76	149	158	166	175	184	192	201	210	219	228
77	139	144	149	155	160	166	171	182	188	0
78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
79	106	111	116	121	126	131	136	142	147	153
80	125	128	131	135	138	142	145	148	152	156
81	323	341	359	377	395	413	431	449	466	484
82	92	95	97	100	103	105	108	111	113	116
83	50	60	68	76	83	89	96	101	106	111
84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
86	114	121	129	136	144	151	159	166	173	181
87	155	163	172	180	189	198	207	216	225	234
88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
89	290	299	308	317	326	335	344	353	362	371
90	117	123	130	136	143	150	157	164	171	178
91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
93	146	153	160	167	174	182	189	196	203	210
94	160	173	186	200	214	229	245	261	277	294
95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
96	76	89	100	111	121	131	141	150	158	166
97	133	148	160	171	182	192	201	211	219	227
98	164	174	184	192	200	208	216	223	231	239
99	82	86	90	93	97	101	104	108	112	115
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
101	53	68	82	95	107	119	129	138	147	155
102	162	172	182	193	204	216	227	239	251	263
103	264	272	280	289	297	306	315	323	332	341
104	226	236	247	257	268	278	289	300	310	321
105	220	238	256	274	290	306	323	340	359	375
106	175	182	189	196	203	210	216	223	229	235
107	146	153	160	167	174	182	189	196	203	210
108	222	238	255	272	291	309	329	349	370	392
109	222	238	255	272	291	309	329	349	370	392
110	64	78	91	104	115	125	135	144	153	162
111	70	81	91	102	111	120	129	137	145	153
112	82	86	90	93	97	101	104	108	112	115
113	82	86	90	93	97	101	104	108	112	115
114	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
115	114	121	129	136	144	151	159	166	173	181
116	239	254	269	285	301	317	334	350	368	385
117	155	163	172	180	189	198	207	216	225	234
118	139	144	149	155	160	166	171	177	182	188
119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	328	341	354	368	381	395	408	422	436	450
121	201	209	217	225	234	242	251	260	268	278
122	86	93	99	106	113	121	128	137	145	154
123	28	42	54	65	76	86	96	105	113	121
124	490	526	564	603	643	685	728	772	818	865
125	133	137	141	145	150	154	158	163	167	171
126	117	123	130	136	143	150	157	164	171	178
127	53	72	90	108	122	134	145	156	166	176
128	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
129	174	185	196	207	219	230	241	253	265	276
130	72	93	104	114	123	132	142	151	159	167
131	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
132	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
133	115	137	152	166	179	191	203	215	226	236
134	84	105	125	144	163	180	196	211	225	238
135	113	118	122	127	132	137	141	146	151	156
136	117	123	130	136	143	150	157	164	171	178
137	144	156	168	180	193	207	221	235	250	266
138	66	90	113	132	149	161	173	183	192	200

	ANO1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Nº										
139	100	112	123	134	145	154	163	172	180	188
140	248	263	279	296	312	328	341	356	368	383
141	175	182	189	196	203	210	216	223	229	235
142	201	209	217	225	234	242	251	260	268	278
143	181	198	217	236	257	279	302	327	353	380
144	28	43	54	65	77	87	97	106	115	124
145	215	222	228	235	242	248	255	262	268	275
146	66	90	113	132	149	161	172	183	192	200
147	174	185	196	207	219	230	241	253	265	276
148	86	93	99	106	113	121	128	137	145	154
149	193	203	212	223	231	239	248	257	266	275
150	153	228	240	257	279	296	311	324	336	347
151	138	144	151	157	163	169	176	182	189	196

Tabela C.2: DADOS DA REDE

NÓ OR.	NÓ DEST.	PARES EXIST.	COMPRIMENTO	DUTOS VAGOS	DIST.
0	1	24000	50	14	50
1	2	12700	200	4	250
1	3	12300	70	3	120
2	4	3300	160	9	410
4	5	2400	140	9	550
2	6	7800	90	6	340
2	7	1500	150	4	400
3	8	6000	220	3	340
3	9	5800	140	1	260
7	10	400	120	3	520
7	11	1000	210	2	610
9	12	400	70	2	330
9	13	2400	120	2	380
9	14	3800	150	3	410
8	15	400	100	2	440
8	16	6000	300	3	640
6	17	7800	340	2	680
6	18	600	150	3	490
5	19	600	140	2	690
5	20	2400	150	9	700
11	21	0	100	0	710
11	22	400	160	3	770
14	23	3200	150	0	560
13	24	1800	320	3	700
16	25	800	100	2	740
16	26	0	200	0	840
16	27	5400	290	3	930
17	28	3400	390	1	1070
17	29	4500	320	1	1000
21	30	0	100	0	810
20	31	2400	160	9	860
20	32	600	200	3	900
24	33	1200	230	3	930
24	34	400	230	2	930
23	35	2600	50	1	610
23	36	800	100	2	660
27	37	4200	250	1	1180
27	38	1200	110	3	1040
25	39	800	220	2	960
32	40	0	200	0	1100
31	41	800	130	1	990
31	42	1800	150	10	1010
29	43	4500	190	1	1190
28	44	2500	100	0	1170
33	45	400	660	3	1590
33	46	800	220	2	1150
34	47	0	350	0	1280
35	48	1400	200	1	810
48	49	1200	120	1	930
49	50	1000	50	1	980
50	51	800	300	2	1280
51	52	0	500	0	1780
36	53	800	100	2	760
36	54	800	100	2	760
38	55	400	520	2	1560
37	56	4200	320	2	1500
37	57	0	100	0	1280
39	58	0	250	0	1210
41	59	0	250	0	1240
42	60	800	120	2	1130
43	61	4200	200	1	1390
43	62	0	300	0	1490
44	63	2550	280	0	1450
44	64	0	300	0	1470
45	65	0	250	0	1840
46	66	400	350	3	1500
46	67	0	250	0	1400

NÓ OR.	NÓ DEST.	PARES EXIST.	COMPRIMENTO	DUTOS VAGOS	DIST.
53	68	600	490	3	1250
54	69	600	170	2	930
55	70	0	250	0	1810
56	71	3600	200	2	1700
60	72	400	270	3	1400
60	73	0	200	0	1330
61	74	3000	620	0	2010
61	75	1400	780	1	2170
63	76	0	200	0	1650
63	77	2300	390	0	1840
65	78	0	250	0	2090
65	79	0	500	0	2340
66	80	400	200	3	1700
67	81	0	650	0	2050
68	82	0	400	0	1650
68	83	0	500	0	1750
70	84	0	100	0	1910
71	85	2400	300	1	2000
71	86	1300	820	1	2520
72	87	0	200	0	1600
75	88	1300	400	3	2570
75	89	1000	340	2	2510
75	90	0	400	0	2570
74	91	2600	100	0	2110
77	92	0	100	0	1940
77	93	1900	450	1	2290
78	94	0	200	0	2290
80	95	400	310	3	2010
81	96	0	1000	0	3050
85	97	2400	320	1	2320
85	98	0	100	0	2100
86	99	0	700	0	3220
86	100	900	350	1	2870
88	101	0	200	0	2770
89	102	0	400	0	2910
89	103	400	700	3	3210
91	104	1600	100	0	2210
91	105	1300	100	2	2210
93	106	400	350	3	2640
93	107	1300	340	2	2630
95	108	400	200	3	2210
95	109	0	900	0	2910
96	110	0	300	0	3350
96	111	0	1000	0	4050
97	112	2100	310	1	2630
99	113	0	400	0	3620
100	114	900	1000	1	3870
100	115	0	300	0	3170
104	116	800	500	2	2710
105	117	1000	550	2	2760
106	118	0	600	0	3240
107	119	1300	400	2	3030
112	120	400	500	3	3130
113	121	0	500	0	4120
114	122	900	200	1	4070
114	123	0	800	0	4670
116	124	400	650	3	3360
116	125	0	300	0	3010
117	126	600	400	3	3160
118	127	0	600	0	3840
119	128	900	500	3	3530
119	129	600	50	1	3080
121	130	0	250	0	4370
121	131	800	330	4	4450
122	132	700	1000	2	5070
124	133	0	950	0	4310
124	134	0	350	0	3710
125	135	0	400	0	3410
126	136	0	650	0	3810
128	137	900	700	3	4230
127	138	0	800	0	4640
128	139	0	250	0	3780
137	140	400	450	3	4680
129	141	0	200	0	3280
130	142	0	200	0	4570

NÓ OR.	NÓ DEST.	PARES EXIST.	COMPRIMENTO	DUTOS VAGOS	DIST.
132	143	700	600	1	5670
133	144	0	800	0	5110
134	145	0	300	0	4010
138	146	0	200	0	4840
137	147	0	400	0	4630
137	148	0	1500	0	5730
143	149	400	2500	3	8170
138	150	0	400	0	5040
92	151	0	250	0	2190

Tabela C.3: PREÇOS DO METRO DE CABO

CAPACIDADE(PARES)	PREÇO (R\$)
400	34.20
600	37.58
900	40.46
1200	57.93
1800	76.76
2400	88.38

Tabela C.4: PREÇOS DO METRO DE DUTO

CAPACIDADE(DUTOS)	PREÇO (R\$)
4	100.00
6	117.90
8	155.76
12	187.08

Tabela C.5: EXPANSÃO EXCLUSIVAMENTE COM PARES METÁLICOS – CENÁRIO 0

O custo é de R\$ 3982920.00 sendo R\$ 1525646.00 devido a expansão na rede de cabos exigindo o lançamento de 28890 kmpar e R\$ 2457274.00 devido a expansão na rede de dutos exigindo a construção de 99.8 kmduto.

A necessidade de expansão da rede de cabos e dutos (entre ()) é:

ANO	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
ARCO										
(0,1)	-	3x2400	-	1200	1200	900	1200	1200	900	900
(1,2)	-	-	-	-	900	-	400	600	600	400(4)
(1,3)	-	-	-	-	-	-	900	-	900	-
(2,4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(4,5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(2,6)	-	2400	-	-	-	-	900	-	900	-
(2,7)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(3,8)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(3,9)	-	-	-	2400	-	-	-	-	-	-
(7,10)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(7,11)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	400
(9,12)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(9,13)	-	900	-	-	-	-	-	400	-	-
(9,14)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(8,15)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(8,16)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(6,17)	-	-	2400	-	-	-	-	900	-	-
(6,18)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(5,19)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(5,20)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(11,21)	600(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(11,22)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(14,23)	-	-	-	-	-	-	-	400(4)	-	-
(13,24)	900	-	-	-	-	900	-	-	-	-
(16,25)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(16,26)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(16,27)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(17,28)	-	-	-	1200	-	-	-	-	-	-
(17,29)	-	-	-	1800	-	-	-	-	-	-
(21,30)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(20,31)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(20,32)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	400
(24,33)	900	-	-	-	900	-	-	-	-	-
(24,34)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(23,35)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(23,36)	900	-	-	-	-	-	-	-	400	-
(27,37)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(27,38)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(25,39)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(32,40)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(31,41)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(31,42)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(29,43)	-	-	-	1800	-	-	-	-	-	-
(28,44)	1200(4)	-	-	-	-	900	-	-	-	-
(33,45)	-	-	400	-	-	-	-	-	-	-
(33,46)	900	-	-	-	-	600	-	-	-	-
(34,47)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(35,48)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(48,49)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(49,50)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(50,51)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(51,52)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(36,53)	600	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(36,54)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(38,55)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(37,56)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(37,57)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(39,58)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(41,59)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(42,60)	-	-	-	-	-	-	-	-	400	-
(43,61)	-	-	-	1800	-	-	-	-	-	-
(43,62)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(44,63)	900(4)	-	-	-	900	-	-	-	-	-
(44,64)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ANO	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
ARCO										
(45,65)	600(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(46,66)	600	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(46,67)	900(4)	-	-	-	-	-	-	-	400	-
(53,68)	-	-	-	-	-	400	-	-	-	-
(54,69)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(55,70)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(56,71)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	400
(60,72)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(60,73)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(61,74)	-	-	-	1200	-	-	-	-	-	-
(61,75)	-	-	-	-	-	-	-	400	-	-
(63,76)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(63,77)	900(4)	-	-	-	-	600	-	-	-	-
(65,78)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(65,79)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(66,80)	600	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(67,81)	900(4)	-	-	-	-	-	-	-	400	-
(68,82)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(68,83)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(70,84)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(71,85)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(71,86)	1200	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(72,87)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(75,88)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(75,89)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(75,90)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(74,91)	-	-	-	1200(4)	-	-	-	-	-	-
(77,92)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(77,93)	1800	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(78,94)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(80,95)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(81,96)	600(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(85,97)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(85,98)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(86,99)	900(4)	-	-	-	-	-	-	-	400	-
(86,100)	-	-	-	-	-	-	400	-	-	-
(88,101)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(89,102)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(89,103)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(91,104)	1200(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(91,105)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(93,106)	900	-	-	-	-	-	-	-	-	400
(93,107)	-	900	-	-	-	-	-	-	-	-
(95,108)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(95,109)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(96,110)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(96,111)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(97,112)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(99,113)	900(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(100,114)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	400
(100,115)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(104,116)	900	-	-	900	-	-	-	-	-	-
(105,117)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(106,118)	1200(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(107,119)	-	-	-	600	-	-	-	-	-	-
(112,120)	-	-	-	-	-	-	400	-	-	-
(113,121)	900(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(114,122)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(114,123)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(116,124)	900	-	-	-	600	-	-	-	-	-
(116,125)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(117,126)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(118,127)	900(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	400
(119,128)	-	-	-	400	-	-	-	-	-	-
(119,129)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(121,130)	600(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(121,131)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(122,132)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(124,133)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(124,134)	600(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(125,135)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(126,136)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(128,137)	-	-	-	-	-	-	400	-	-	-
(127,138)	900(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ANO	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
ARCO										
(128,139)	400(4)	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(137,140)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(129,141)	400(4)	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(130,142)	400(4)	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(132,143)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(133,144)	400(4)	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(134,145)	400(4)	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(138,146)	400(4)	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(137,147)	400(4)	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(137,148)	400(4)	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(143,149)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(138,150)	400(4)	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(92,151)	400(4)	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 148, no ano de 1995 filiando os Nós : 148
com as seguintes expansões anuais : 86 7 6 7 7 8 7 9 8 9
O custo é de R\$ 3917097.00 sendo R\$ 1456863.00 devido a expansão na rede de cabos exigindo o lançamento de 27927.0 kmpar, R\$ 2301183.00 devido a expansão na rede de dutos exigindo a construção de 93.8 kmduto e R\$ 159051.00 devido a instalação de equipamentos.

[illegible]

ANO	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
ARCO										
(41,59)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(42,60)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(43,61)	-	-	-	1800	-	-	-	-	400	-
(43,62)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(44,63)	-	900(4)	-	-	-	600	-	-	-	-
(44,64)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(45,65)	600(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(46,66)	600	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(46,67)	900(4)	-	-	-	-	-	-	-	400	-
(53,68)	-	-	-	-	-	400	-	-	-	-
(54,69)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(55,70)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(56,71)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	400
(60,72)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(60,73)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(61,74)	-	-	-	1200(4)	-	-	-	-	-	-
(61,75)	-	-	-	-	-	-	-	400	-	-
(63,76)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(63,77)	-	900(4)	-	-	-	-	600	-	-	-
(65,78)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(65,79)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(66,80)	600	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(67,81)	900(4)	-	-	-	-	-	-	-	400	-
(68,82)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(68,83)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(70,84)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(71,85)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(71,86)	1200	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(72,87)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(75,88)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(75,89)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(75,90)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(74,91)	-	-	-	1200(4)	-	-	-	-	-	-
(77,92)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(77,93)	1800	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(78,94)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(80,95)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(81,96)	600(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(85,97)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(85,98)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(86,99)	900(4)	-	-	-	-	-	-	-	400	-
(86,100)	-	-	-	-	-	-	400	-	-	-
(88,101)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(89,102)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(89,103)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(91,104)	1200(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(91,105)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(93,106)	900	-	-	-	-	-	-	-	-	400
(93,107)	-	-	600	-	-	-	-	-	-	-
(95,108)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(95,109)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(96,110)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(96,111)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(97,112)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(99,113)	900(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(100,114)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	400
(100,115)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(104,116)	900	-	-	900	-	-	-	-	-	-
(105,117)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(106,118)	1200(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(107,119)	-	-	-	-	-	400	-	-	-	-
(112,120)	-	-	-	-	-	-	400	-	-	-
(113,121)	900(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(114,122)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(114,123)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(116,124)	900	-	-	-	600	-	-	-	-	-
(116,125)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(117,126)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(118,127)	900(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	400
(119,128)	-	-	-	-	-	400	-	-	-	-
(119,129)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(121,130)	600(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(121,131)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(122,132)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

[illegible]

Tabela C.7: EXPANSÃO UTILIZANDO UNIDADES REMOTAS COM REDUÇÃO DE 25% NO CUSTO – CENÁRIO 2

Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 148, no ano de 1995
filiando os Nós : 148

com as seguintes expansões anuais : 86 7 6 7 7 8 7 9 8 9

Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 123, no ano de 1995
filiando os Nós : 123

com as seguintes expansões anuais : 28 14 12 11 11 10 10 9 8 8

Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 144, no ano de 1995
filiando os Nós : 144

com as seguintes expansões anuais : 28 15 11 11 12 10 10 9 9 9

Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 133, no ano de 1995
filiando os Nós : 133

com as seguintes expansões anuais : 115 22 15 14 13 12 12 12 11 10

O custo é de R\$ 3795736.00 sendo R\$ 1293307.00 devido a expansão na rede de cabos exigindo o lançamento de 25013 kmpar, R\$ 2027198.00 devido a expansão na rede de dutos exigindo a construção de 82.8 kmduto e R\$ 475231.00 devido a instalação de equipamentos.

A necessidade de expansão da rede de cabos e dutos (entre ()) é:

ANO	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
ARCO										
(0,1)	—	3x2400	—	600	1200	1200	900	1200	900	900
(1,2)	—	—	—	—	—	1200	—	400	400	400
(1,3)	—	—	—	—	—	—	—	600	900	—
(2,4)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(4,5)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(2,6)	—	2400	—	—	—	—	—	1200	—	—
(2,7)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(3,8)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(3,9)	—	—	—	2400	—	—	—	—	—	—
(7,10)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(7,11)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	400
(9,12)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(9,13)	—	900	—	—	—	—	—	400	—	—
(9,14)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(8,15)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(8,16)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(6,17)	—	—	—	2400	—	—	—	—	400	—
(6,18)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(5,19)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(5,20)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(11,21)	600(4)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(11,22)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(14,23)	—	—	—	—	—	—	—	400(4)	—	—
(13,24)	900	—	—	—	—	900	—	—	—	—
(16,25)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(16,26)	400(4)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(16,27)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(17,28)	—	—	—	1200	—	—	—	—	—	—
(17,29)	—	—	—	—	1800	—	—	—	—	—
(21,30)	400(4)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(20,31)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(20,32)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	400
(24,33)	900	—	—	—	900	—	—	—	—	—
(24,34)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(23,35)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(23,36)	900	—	—	—	—	—	—	—	400	—
(27,37)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(27,38)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(25,39)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(32,40)	400(4)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(31,41)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(31,42)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(29,43)	—	—	—	—	—	1200	—	—	—	—
(28,44)	900(4)	—	—	—	900	—	—	—	—	—
(33,45)	—	—	400	—	—	—	—	—	—	—
(33,46)	900	—	—	—	—	600	—	—	—	—
(34,47)	400(4)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(35,48)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

[illegible]

ANO	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
ARCO										
(114,123)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(116,124)	900	-	-	-	-	-	-	-	400	-
(116,125)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(117,126)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(118,127)	900(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	400
(119,128)	-	-	-	-	-	400	-	-	-	-
(119,129)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(121,130)	600(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(121,131)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(122,132)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(124,133)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(124,134)	600(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(125,135)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(126,136)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(128,137)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	400
(127,138)	900(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(128,139)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(137,140)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(129,141)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(130,142)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(132,143)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(133,144)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(134,145)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(138,146)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(137,147)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(137,148)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(143,149)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(138,150)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(92,151)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela C.8: EXPANSÃO UTILIZANDO UNIDADES REMOTAS COM REDUÇÃO DE 50% NO CUSTO – CENÁRIO 3

Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 148, no ano de 1995
 filiando os Nós : 148
 com as seguintes expansões anuais : 86 7 6 7 7 8 7 9 8 9
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 123, no ano de 1995
 filiando os Nós : 123
 com as seguintes expansões anuais : 28 14 12 11 11 10 10 9 8 8
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 144, no ano de 1995
 filiando os Nós : 144
 com as seguintes expansões anuais : 28 15 11 11 12 10 10 9 9 9
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 133, no ano de 1995
 filiando os Nós : 133
 com as seguintes expansões anuais : 115 22 15 14 13 12 12 12 11 10
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 111, no ano de 1995
 filiando os Nós : 96 110 111
 com as seguintes expansões anuais : 210 38 34 35 30 29 29 26 25 25
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 109, no ano de 1995
 filiando os Nós : 109
 com as seguintes expansões anuais : 222 16 17 17 19 18 20 20 21 22
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 81, no ano de 1995
 filiando os Nós : 81
 com as seguintes expansões anuais : 323 18 18 18 18 18 18 18 17 18
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 150, no ano de 1995
 filiando os Nós : 150
 com as seguintes expansões anuais : 153 75 12 17 22 17 15 13 12 11
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 147, no ano de 1995
 filiando os Nós : 147
 com as seguintes expansões anuais : 174 11 11 11 12 11 11 12 12 11
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 83, no ano de 1995
 filiando os Nós : 83
 com as seguintes expansões anuais : 50 10 8 8 7 6 7 5 5 5

O custo é de R\$ 3472886.00 sendo R\$ 915764.00 devido a expansão na rede de cabos exigindo o lançamento de 16991 km par, R\$ 1604192.00 devido a expansão na rede de dutos exigindo a construção de 66.4 km duto e R\$ 952930.00 devido a instalação de equipamentos.

A necessidade de expansão da rede de cabos e dutos (entre ()) é:

ANO	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
ARCO										
(0,1)	—	4800	600	900	1200	900	900	900	1200	600
(1,2)	—	—	—	—	—	—	900	—	900	—
(1,3)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(2,4)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(4,5)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(2,6)	—	—	2400	—	—	—	—	—	600	—
(2,7)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(3,8)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(3,9)	—	—	—	—	—	—	—	—	600	—
(7,10)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(7,11)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	400
(9,12)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(9,13)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(9,14)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(8,15)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(8,16)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(6,17)	—	—	—	—	2400	—	—	—	—	—
(6,18)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(5,19)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(5,20)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(11,21)	600(4)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(11,22)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(14,23)	—	—	—	—	—	—	—	—	400(4)	—
(13,24)	—	—	—	—	—	—	400	—	—	—
(16,25)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(16,26)	400(4)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(16,27)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(17,28)	—	—	—	—	—	—	600	—	—	—

ANO	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
ARCO										
(17,29)	-	-	-	-	1800	-	-	-	-	-
(21,30)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(20,31)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(20,32)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(24,33)	-	-	-	-	-	-	-	400	-	400
(24,34)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(23,35)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(23,36)	900	-	-	-	-	-	-	-	-	400
(27,37)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(27,38)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(25,39)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(32,40)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(31,41)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(31,42)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(29,43)	-	-	-	-	-	1200	-	-	-	-
(28,44)	-	-	1200(4)	-	-	-	-	-	-	-
(33,45)	-	-	400	-	-	-	-	-	-	-
(33,46)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(34,47)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(35,48)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(48,49)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(49,50)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(50,51)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(51,52)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(36,53)	-	400	-	-	-	-	-	-	-	-
(36,54)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(38,55)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(37,56)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(37,57)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(39,58)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(41,59)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(42,60)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(43,61)	-	-	-	-	1200	-	-	-	400	-
(43,62)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(44,63)	-	-	-	900(4)	-	-	-	-	-	-
(44,64)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(45,65)	600(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(46,66)	-	-	-	400	-	-	-	-	-	-
(46,67)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(53,68)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(54,69)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(55,70)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(56,71)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(60,72)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(60,73)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(61,74)	-	-	-	-	-	900(4)	-	-	-	-
(61,75)	-	-	-	-	-	-	-	400	-	-
(63,76)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(63,77)	-	-	-	900(4)	-	-	-	-	-	-
(65,78)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(65,79)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(66,80)	-	-	-	400	-	-	-	-	-	-
(67,81)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(68,82)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(68,83)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(70,84)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(71,85)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(71,86)	900	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(72,87)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(75,88)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(75,89)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(75,90)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(74,91)	-	-	-	-	900(4)	-	-	-	-	-
(77,92)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(77,93)	-	-	900	-	-	-	-	-	-	-
(78,94)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(80,95)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(81,96)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(85,97)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(85,98)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(86,99)	900(4)	-	-	-	-	-	-	-	400	-
(86,100)	-	-	-	-	-	-	-	-	400	-
(88,101)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(89,102)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

[illegible]

Tabela C.9: EXPANSÃO UTILIZANDO UNIDADES REMOTAS COM REDUÇÃO DE 75% NO CUSTO – CENÁRIO 4

Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 148, no ano de 1995
 filiando os Nós : 148
 com as seguintes expansões anuais : 86 7 6 7 7 8 7 9 8 9
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 144, no ano de 1995
 filiando os Nós : 133 144
 com as seguintes expansões anuais : 143 37 26 25 25 22 22 21 20 19
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 111, no ano de 1995
 filiando os Nós : 96 110 111
 com as seguintes expansões anuais : 210 38 34 35 30 29 29 26 25 25
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 109, no ano de 1995
 filiando os Nós : 109
 com as seguintes expansões anuais : 222 16 17 17 19 18 20 20 21 22
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 123, no ano de 1995
 filiando os Nós : 123
 com as seguintes expansões anuais : 28 14 12 11 11 10 10 9 8 8
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 81, no ano de 1995
 filiando os Nós : 67 81
 com as seguintes expansões anuais : 323 18 18 18 18 18 18 18 17 18
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 150, no ano de 1995
 filiando os Nós : 150
 com as seguintes expansões anuais : 153 75 12 17 22 17 15 13 12 11
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 147, no ano de 1995
 filiando os Nós : 147
 com as seguintes expansões anuais : 174 11 11 11 12 11 11 12 12 11
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 136, no ano de 1995
 filiando os Nós : 136
 com as seguintes expansões anuais : 117 6 7 6 7 7 7 7 7 7
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 145, no ano de 1995
 filiando os Nós : 134 145
 com as seguintes expansões anuais : 299 28 26 26 26 23 23 22 20 20
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 135, no ano de 1995
 filiando os Nós : 135
 com as seguintes expansões anuais : 113 5 4 5 5 5 4 5 5 5
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 83, no ano de 1995
 filiando os Nós : 83
 com as seguintes expansões anuais : 50 10 8 8 7 6 7 5 5 5
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 52, no ano de 1995
 filiando os Nós : 52
 com as seguintes expansões anuais : 156 7 6 7 6 7 7 7 7 7
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 90, no ano de 1995
 filiando os Nós : 90
 com as seguintes expansões anuais : 117 6 7 6 7 7 7 7 7 7
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 82, no ano de 1995
 filiando os Nós : 82
 com as seguintes expansões anuais : 92 3 2 3 3 2 3 3 2 3
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 151, no ano de 1995
 filiando os Nós : 92 151
 com as seguintes expansões anuais : 138 6 7 6 6 6 7 6 7 7
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 139, no ano de 1995
 filiando os Nós : 139
 com as seguintes expansões anuais : 100 12 11 11 11 9 9 9 8 8
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 146, no ano de 1995
 filiando os Nós : 146
 com as seguintes expansões anuais : 66 24 23 19 17 12 11 11 9 8
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 138, no ano de 1995
 filiando os Nós : 138
 com as seguintes expansões anuais : 66 24 23 19 17 12 12 10 9 8
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 118, no ano de 1995
 filiando os Nós : 118 127
 com as seguintes expansões anuais : 192 24 23 24 19 18 16 17 15 16
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 47, no ano de 1995
 filiando os Nós : 47
 com as seguintes expansões anuais : 106 5 5 5 5 5 5 6 5 6
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 94, no ano de 1995
 filiando os Nós : 65 78 79 94
 com as seguintes expansões anuais : 266 18 18 19 19 20 21 22 21 23
 Unidade Remota com capacidade final de 576 assinantes no nó = 115, no ano de 1995

ANO	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
ARCO										400
(43,61)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(43,62)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(44,63)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(44,64)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(45,65)	-	-	-	400	-	-	-	-	-	-
(46,66)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(46,67)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(53,68)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(54,69)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(55,70)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(56,71)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(60,72)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(60,73)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(61,74)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(61,75)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(63,76)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(63,77)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(65,78)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(65,79)	400(4)	-	-	400	-	-	-	-	-	-
(66,80)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(67,81)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(68,82)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(68,83)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(70,84)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(71,85)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(71,86)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(72,87)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(75,88)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(75,89)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(75,90)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(74,91)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(77,92)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(77,93)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(78,94)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(80,95)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(81,96)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(85,97)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(85,98)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(86,99)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(86,100)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(88,101)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(89,102)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(89,103)	-	-	-	-	-	-	-	-	400(4)	-
(91,104)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(91,105)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(93,106)	-	-	-	-	-	-	-	-	400	-
(93,107)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(95,108)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(95,109)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(96,110)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(96,111)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(97,112)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(99,113)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(100,114)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(100,115)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(104,116)	900	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(105,117)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(106,118)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(107,119)	-	-	-	-	-	-	400	-	-	-
(112,120)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(113,121)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(114,122)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(114,123)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(116,124)	600	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(116,125)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(117,126)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(118,127)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(119,128)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(119,129)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(121,130)	400(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(121,131)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(122,132)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(124,133)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

[illegible]

Tabela C.10: EXPANSÃO UTILIZANDO APENAS PARES METÁLICOS E CONSIDERANDO A EXISTÊNCIA DE DUTO VAGO NOS ARCOS NOVOS – CENÁRIO 5

O custo é de R\$ 1534127.00 sendo R\$ 1525646.00 devido a expansão na rede de cabos exigindo o lançamento de 28890 kmpar e R\$ 8481.00 devido a expansão na rede de dutos exigindo a construção de 0.8 kmduto.

A necessidade de expansão da rede de cabos e dutos (entre ()) é:

ANO	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
ARCO										
(0,1)	--	7200	--	1200	1200	900	1200	1200	900	900
(1,2)	--	--	--	--	900	--	400	600	600	400(4)
(1,3)	--	--	--	--	--	--	900	--	900	--
(2,4)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(4,5)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(2,6)	--	2400	--	--	--	--	900	--	900	--
(2,7)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(3,8)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(3,9)	--	--	--	2400	--	--	--	--	--	--
(7,10)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(7,11)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	400
(9,12)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(9,13)	--	900	--	--	--	--	--	400	--	--
(9,14)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(8,15)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(8,16)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(6,17)	--	--	2400	--	--	--	--	900	--	--
(6,18)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(5,19)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(5,20)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(11,21)	600	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(11,22)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(14,23)	--	--	--	--	--	--	--	400	--	--
(13,24)	900	--	--	--	--	900	--	--	--	--
(16,25)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(16,26)	400	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(16,27)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(17,28)	--	--	--	1200	--	--	--	--	--	--
(17,29)	--	--	--	1800	--	--	--	--	--	--
(21,30)	400	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(20,31)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(20,32)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	400
(24,33)	900	--	--	--	900	--	--	--	--	--
(24,34)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(23,35)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(23,36)	900	--	--	--	--	--	--	--	400	--
(27,37)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(27,38)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(25,39)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(32,40)	400	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(31,41)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(31,42)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(29,43)	--	--	--	1800	--	--	--	--	--	--
(28,44)	1200	--	--	--	--	900	--	--	--	--
(33,45)	--	--	400	--	--	--	--	--	--	--
(33,46)	900	--	--	--	--	600	--	--	--	--
(34,47)	400	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(35,48)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(48,49)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(49,50)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(50,51)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(51,52)	400	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(36,53)	600	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(36,54)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(38,55)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(37,56)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(37,57)	400	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(39,58)	400	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(41,59)	400	--	--	--	--	--	--	--	--	--
(42,60)	--	--	--	--	--	--	--	--	400	--
(43,61)	--	--	--	1800	--	--	--	--	--	--

ANO	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
ARCO										
(43,62)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(44,63)	900	-	-	-	900	-	-	-	-	-
(44,64)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(45,65)	600	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(46,66)	600	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(46,67)	900	-	-	-	-	-	-	-	400	-
(53,68)	-	-	-	-	-	400	-	-	-	-
(54,69)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(55,70)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(56,71)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	400
(60,72)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(60,73)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(61,74)	-	-	-	1200	-	-	-	-	-	-
(61,75)	-	-	-	-	-	-	-	400	-	-
(63,76)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(63,77)	900	-	-	-	-	600	-	-	-	-
(65,78)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(65,79)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(66,80)	600	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(67,81)	900	-	-	-	-	-	-	-	400	-
(68,82)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(68,83)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(70,84)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(71,85)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(71,86)	1200	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(72,87)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(75,88)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(75,89)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(75,90)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(74,91)	-	-	-	1200	-	-	-	-	-	-
(77,92)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(77,93)	1800	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(78,94)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(80,95)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(81,96)	600	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(85,97)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(85,98)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(86,99)	900	-	-	-	-	-	-	-	400	-
(86,100)	-	-	-	-	-	-	400	-	-	-
(88,101)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(89,102)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(89,103)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(91,104)	1200	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(91,105)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(93,106)	900	-	-	-	-	-	-	-	-	400
(93,107)	-	900	-	-	-	-	-	-	-	-
(95,108)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(95,109)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(96,110)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(96,111)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(97,112)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(99,113)	900	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(100,114)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	400
(100,115)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(104,116)	900	-	-	900	-	-	-	-	-	-
(105,117)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(106,118)	1200	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(107,119)	-	-	-	600	-	-	-	-	-	-
(112,120)	-	-	-	-	-	-	400	-	-	-
(113,121)	900	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(114,122)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(114,123)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(116,124)	900	-	-	-	600	-	-	-	-	-
(116,125)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(117,126)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(118,127)	900	-	-	-	-	-	-	-	-	400
(119,128)	-	-	-	400	-	-	-	-	-	-
(119,129)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(121,130)	600	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(121,131)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(122,132)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(124,133)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(124,134)	600	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(125,135)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ANO	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
ARCO										
(126,136)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(128,137)	-	-	-	-	-	-	400	-	-	-
(127,138)	900	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(128,139)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(137,140)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(129,141)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(130,142)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(132,143)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(133,144)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(134,145)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(138,146)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(137,147)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(137,148)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(143,149)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(138,150)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(92,151)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela C.11: EXPANSÃO UTILIZANDO UNIDADES REMOTAS COM REDUÇÃO DE 75% NO CUSTO E A EXISTÊNCIA DE DUTO VAGO NOS ARCOS NOVOS – CENÁRIO 6

Unidade Remota com capacidade de 576 assinantes no nó = 144, no ano de 1995
 filiando os Nós : 133 144

com as seguintes expansões : 143 37 26 25 25 22 22 21 20 19

Unidade Remota com capacidade de 576 assinantes no nó = 148, no ano de 1995
 filiando os Nós : 148

com as seguintes expansões : 86 7 6 7 7 8 7 9 8 9

Unidade Remota com capacidade de 576 assinantes no nó = 123, no ano de 1995
 filiando os Nós : 123

com as seguintes expansões : 28 14 12 11 11 10 10 9 8 8

Unidade Remota com capacidade de 576 assinantes no nó = 150, no ano de 1995
 filiando os Nós : 150

com as seguintes expansões : 153 75 12 17 22 17 15 13 12 11

Unidade Remota com capacidade de 576 assinantes no nó = 138, no ano de 1995
 filiando os Nós : 138 146

com as seguintes expansões : 132 48 46 38 34 24 23 21 18 16

Unidade Remota com capacidade de 576 assinantes no nó = 111, no ano de 1995
 filiando os Nós : 96 110 111

com as seguintes expansões : 210 38 34 35 30 29 29 26 25 25

Unidade Remota com capacidade de 576 assinantes no nó = 109, no ano de 1995
 filiando os Nós : 109

com as seguintes expansões : 222 16 17 17 19 18 20 20 21 22

Unidade Remota com capacidade de 576 assinantes no nó = 147, no ano de 1995
 filiando os Nós : 147

com as seguintes expansões : 174 11 11 11 12 11 11 12 12 11

Unidade Remota com capacidade de 576 assinantes no nó = 134, no ano de 1999
 filiando os Nós : 134 145

com as seguintes expansões : 0 0 0 0 405 23 23 22 20 20

O custo é de R\$ 1364811.00 sendo R\$ 917625.00 devido a expansão na rede de cabos exigindo o lançamento de 15266 kmpar e R\$ 447186.00 devido a instalação de equipamentos.

A necessidade de expansão da rede de cabos é:

ANO	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
ARCO										
(0,1)	—	4800	900	900	600	900	900	900	1200	600
(1,2)	—	—	—	—	—	—	—	—	900	—
(1,3)	—	—	—	—	—	—	—	—	600	—
(2,4)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(4,5)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(2,6)	—	—	—	900	—	—	1200	—	—	—
(2,7)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(3,8)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(3,9)	—	—	—	—	—	1200	—	—	—	—
(7,10)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(7,11)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	400
(9,12)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(9,13)	—	—	—	—	—	—	400	—	—	—
(9,14)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(8,15)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(8,16)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(6,17)	—	—	—	—	—	—	900	—	400	—
(6,18)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(5,19)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(5,20)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(11,21)	600	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(11,22)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(14,23)	—	—	—	—	—	—	—	400	—	—
(13,24)	—	—	900	—	—	—	—	—	—	—
(16,25)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(16,26)	400	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(16,27)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(17,28)	—	—	—	—	—	—	—	—	400	—
(17,29)	—	—	—	—	—	—	900	—	—	—
(21,30)	400	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(20,31)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(20,32)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	400
(24,33)	—	900	—	—	—	—	—	—	—	—

ANO	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
ARCO										
(24,34)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(23,35)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(23,36)	900	-	-	-	-	-	-	-	400	-
(27,37)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(27,38)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(25,39)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(32,40)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(31,41)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(31,42)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(29,43)	-	-	-	-	-	-	-	900	-	-
(28,44)	-	-	-	900	-	-	-	-	-	-
(33,45)	-	-	400	-	-	-	-	-	-	-
(33,46)	600	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(34,47)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(35,48)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(48,49)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(49,50)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(50,51)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(51,52)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(36,53)	600	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(36,54)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(38,55)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(37,56)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(37,57)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(39,58)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(41,59)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(42,60)	-	-	-	-	-	-	-	-	400	-
(43,61)	-	-	-	-	-	-	-	600	-	-
(43,62)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(44,63)	-	-	-	-	600	-	-	-	-	-
(44,64)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(45,65)	600	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(46,66)	-	-	-	400	-	-	-	-	-	-
(46,67)	600	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(53,68)	-	-	-	-	-	400	-	-	-	-
(54,69)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(55,70)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(56,71)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(60,72)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(60,73)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(61,74)	-	-	-	-	-	-	-	-	400	-
(61,75)	-	-	-	-	-	-	-	400	-	-
(63,76)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(63,77)	-	-	-	-	-	400	-	-	-	-
(65,78)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(65,79)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(66,80)	-	-	-	400	-	-	-	-	-	-
(67,81)	600	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(68,82)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(68,83)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(70,84)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(71,85)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(71,86)	900	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(72,87)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(75,88)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(75,89)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(75,90)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(74,91)	-	-	-	-	-	-	-	400	-	-
(77,92)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(77,93)	-	-	-	-	600	-	-	-	-	-
(78,94)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(80,95)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(81,96)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(85,97)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(85,98)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(86,99)	900	-	-	-	-	-	-	-	400	-
(86,100)	-	-	-	-	-	-	-	-	400	-
(88,101)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(89,102)	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(89,103)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(91,104)	-	-	400	-	-	-	-	-	-	-
(91,105)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(93,106)	-	-	400	-	-	-	-	-	-	-
(93,107)	-	-	-	-	-	400	-	-	-	-

[illegible]