

Este exemplar corresponde a redação final da tese
defendida por FERNANDO BASSETO
e aprovada pela Comissão
Julgada em 1 / Carlos Carlson Filho
Orientador

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

METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO DE REDES DE ACESSO FULL-SERVICE

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Autor : **Fernando Basseto**
Orientador : **Prof. Dr. Carlos Magnus Carlson Filho**
Co-orientador : **Prof. Dr. Raul Vinhas Ribeiro**

Banca Examinadora:

Dr. Carlos Magnus Carlson Filho (Presidente)
Dr. Aldionso Marques Machado - Fundação CPqD
Dr. Takaaki Ohishi - FEEC/UNICAMP

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

Campinas, março de 2000

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE



71784000

UNIDADE	B C
N.º CHAMADA:	T/UNICAMP
	B294m
V.	Ex.
TOMBO BC/	42069
PROC.	16-278/00
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREC@	R\$ 11,00
DATA	09/09/00
N.º CPD	

CM-00145904-B

313 15 276971

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

B294m Basseto, Fernando
Metodologia de planejamento de redes de acesso full-
service / Fernando Basseto.--Campinas, SP: [s.n.],
2000.

Orientadores: Carlos Magnus Carlson Filho e Raul
Vinhas Ribeiro.

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

1. Telecomunicações - Metodologia. 2. Análise de
redes (Planejamento). 3. Análise econômico-financeira.
I. Carlson Filho, Carlos Magnus. II. Ribeiro, Raul
Vinhas. III. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. IV.
Título.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo propor uma metodologia para o planejamento de redes de acesso *full-service* de sistemas de telecomunicações. A metodologia proposta divide-se em duas etapas denominadas planejamento estratégico e planejamento técnico. Na primeira o planejador, auxiliado por ferramentas computacionais de análise de investimento, determina quais as melhores alternativas tecnológicas, dentre as várias possibilidades, para a evolução da rede. Na segunda, utilizando algoritmos de otimização, realiza a expansão ótima da rede, visando a maximização das receitas geradas. São documentadas aplicações da metodologia a redes reais. Análises de sensibilidade dos resultados em relação a parâmetros de entrada são realizadas e comentadas. Verifica-se que a adoção de duas etapas para o planejamento elimina a questão da excessiva complexidade, devido às inúmeras alternativas de evolução, produzindo, não obstante, soluções otimizadas sob o critério da receita. A metodologia proposta encontra aplicação na expansão das redes de acesso atuais, visando o atendimento de serviços faixa-larga e faixa-estreita.

ABSTRACT

The objective of this work is to propose a methodology for planning full services access networks. The proposed methodology is divided in two stages called strategic planning and technical planning. In the first one the planner, helped by computational tools of financial analysis, defines the best technologies, among several available, for upgrading the existing network. In the second one, using optimization algorithms, the planner executes the optimal expansion of the network, seeking the maximization of the revenue generated. Applications of the methodology to actual networks are reported. Sensitivity analysis are made and commented. It has been verified that the adoption of two stages in the planning diminish the excessive complexity of the problem, because of the great number of evolutionary paths, producing optimized solutions under the criterion of maximizing revenues. The methodology proposed applies to the expansion of actual access networks, seeking the attendance of both broadband and narrowband services.

UNICAMP

BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

Este trabalho é fruto de um convênio entre a UNICAMP e Fundação CPqD (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações); e contou também com o apoio financeiro do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), através de uma bolsa de estudos oferecida pela Fundação CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior).

Dedico este trabalho
a minha mãe

Vitalina

e a minha tia

Adelina (in memoriam).

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho não seria possível não fosse a colaboração de inúmeras pessoas. Em virtude disso, gostaria de agradecer a todos aqueles que, de algum modo, me apoiaram e incentivaram durante esta jornada:

- Carlos e Raul, pela orientação e amizade, além das valiosas lições de vida;
- Reynaldo, pela amizade e paciência em compartilhar sua vasta experiência profissional;
- Takaaki, Aldionso e Franklina, pela disponibilidade e por sugestões que enriqueceram esse trabalho;
- Marcão, Berga, Joana, Cris, Felipe, Carlos HE, Yusef e demais amigos do DENSIS e da UNICAMP (a lista é enorme!);
- Márcia e Noêmia, meus anjos da guarda (sem vocês, nada acontece);
- Eunice, Moacir, Jerônimo e demais amigos do CPqD, que muito contribuíram;
- Minha família e meus amigos, por entenderem meus momentos de total ausência e mau humor insuportáveis!

ÍNDICE

Lista de Acrônimos	01
1. Introdução	03
2. Rede de Acesso – Serviços e Tecnologias Consideradas	05
2.1. Sistemas de Telecomunicações	05
2.2. Serviços	07
2.3. Tecnologias Consideradas	08
3. Apresentação da Metodologia	17
3.1. Introdução	17
3.2. Planejamento Estratégico	17
3.3. Planejamento Técnico	24
4. Ferramenta de Apoio ao Planejamento Estratégico	29
4.1. Introdução	29
4.2. Características da Ferramenta de Suporte ao Planejamento	30
4.3. Principais Funcionalidades da Ferramenta Utilizada	33
5. Modelos de Otimização Utilizados no Planejamento Técnico	39
5.1. Introdução	39
5.2. Modelo Geral de Maximização de Receitas	40
5.3. Modelo Geral de Minimização de Custos	45
5.4. Estagiamento no Planejamento Técnico	47
6. Aplicações da Metodologia	51
6.1. Introdução	51
6.2. Cenário 1 – Residencial com Baixa Penetração de serviços BB	52

6.3. Cenário 2 – Residencial com 2 Serviços Faixa-larga	59
6.4. Cenário 3 – Região Central.	67
7. Análise de Sensibilidade	77
7.1. Introdução	77
7.2. Análise de Sensibilidade do Cenário 1	77
7.3. Análise de Sensibilidade do Cenário 2	82
7.4. Análise de Sensibilidade do Cenário 3	87
8. Conclusões	93
Referências Bibliográficas	97
Apêndice A – Modelo Econômico	101
Apêndice B – Custos dos Componentes Utilizados	105

Lista de Acrônimos

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AMPL	A Modeling Language for Mathematical Programming
APON	ATM based Broadband Passive Optical Network
ARD	Armário de Distribuição
ASB	Asymmetric Switched Broadband
ASR	Área de Serviço Remota
ASRO-P	Área de Serviço Remota Óptica com Seções de Serviço Atendidas por Cabos Alimentadores de Pares Metálicos
ASRO-UR	Área de Serviço Remota Óptica com Seções de Serviço Atendidas por Unidades Remotas
ASTRA	Ambienti di Studi Tecnico-economico delle Reti di Accesso
ATM	Asynchronous Transfer Mode
CEV	Control Environment Vault
CNU	Coaxial Network Unit
CPqD	Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações
CSELT	Centro Studi e Laboratori Telecomunicazioni
ER	Estágio Remoto
ET	Estação Telefônica
FSAN	Full Service Access Network
FTTC	Fiber-to-the-Curb
GIS	Geographical Information System
GPS	Global Positioning System
HDSL	High-data-rate Digital Subscriber Line
HFC	Hybrid Fiber-Coax
IFC	Installed First Cost
ISDN	Integrated Services Digital Network
ITU-T	International Telecommunication Union – Telecommunication

	Standardization sector of ITU
Kbps	Kilobits por segundo
LC	Line Card
Mbps	Megabits por segundo
MTBF	Mean Time Between Fails
MTR	Módulo Terminal da Central
MTTR	Mean Time to Repair
NT	Network Termination
OA&M	Operation, Administration and Maintenance
ODNI	Optical Distribution Network Interface
OLT	Optical Line Terminal
OLTM	Optical Line Transmission Multiplexer
ONU	Optical Network Unit
POTS	Plain Old Telephone Service
PSTN	Public Switched Telephone Network
RACE	Research in Advanced Communications in Europe
RNT	Rede Nacional de Telefonia
ROI	Return over Investment
ROP	Rede Óptica Primária
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SS	Seção de Serviço
SSB	Symmetric Switched Broadband
TITAN	Tool for Introduction Scenario and Techno-economic Evaluation of Access Network
TR	Terminador de Rede
Tx / Rx	Transmissor / Receptor
xDSL	Digital Subscriber Line
WYSIWYG	<i>What You See Is What You Get</i>

Capítulo 1

Introdução

Na última década, a popularização dos computadores pessoais e da Internet têm produzido um aumento do tráfego no sistema de telefonia, em especial nas Centrais Telefônicas responsáveis pela ligação dos usuários (denominada rede de acesso). Isso se explica devido à característica diversa das aplicações multimídia, que demandam maiores taxas de transmissão por parte das empresas operadoras de telecomunicações, quando comparadas ao serviço de telefonia convencional. Não obstante, esse processo tem sido acompanhado pelo desenvolvimento de novas tecnologias capazes de transportar quantidades de informação cada vez maiores até o usuário. Paralelamente a isso, no final da década, o processo de privatização das empresas de telecomunicações criou um cenário caracterizado principalmente pela desregulamentação e consequente competição no setor.

Assumida essa conjuntura, as recém privatizadas empresas de telecomunicações devem levar em consideração a necessidade de expansão de suas redes de acesso para redes *full-service* (FSAN – *Full Service Access Network*) a fim de atender à crescente demanda pelos novos serviços multimídia, assim como eventual demanda reprimida pelo serviço de telefonia convencional, visando dessa forma evitar (ou ao menos reduzir) a perda de mercado para empresas concorrentes.

A expansão da rede de telecomunicações, contudo, não é uma tarefa trivial. A grande quantidade de serviços que podem ser oferecidos, associada à grande quantidade de tecnologias capazes de suportá-los, gera inúmeros cenários que devem ser analisados pelo planejador. Deve-se levar em conta, ainda, as incertezas associadas à penetração de novos serviços, custos de equipamentos, custos de OAM, entre outros. Além disso, a quantidade de capital envolvida, seja com respeito

aos custos de instalação, seja com relação às receitas geradas pela rede, torna essa tarefa de suma importância para as empresas operadoras.

Isto leva à conclusão de que uma metodologia de planejamento de redes de acesso se faz não somente desejável como também necessária.

O objetivo desse trabalho é propor uma metodologia de planejamento de redes de acesso visando a maximização da receita gerada pela rede. Tal metodologia é dividida em duas etapas, quais sejam, planejamento estratégico e planejamento técnico. A diferença entre as duas etapas consiste no nível de detalhamento com que a rede de acesso é abordada em cada uma delas.

Na primeira etapa o planejador, com o auxílio de ferramentas computacionais de análise financeira, define quais serão os novos serviços oferecidos e quais são as tecnologias mais viáveis, economicamente, que devem ser encaminhadas ao planejamento técnico.

Na segunda etapa o planejador projeta a rede a ser implantada propriamente dita, utilizando-se para tanto de algoritmos de otimização que determinam a melhor maneira de se expandir a rede estudada, visando a maximização da receita gerada pelos serviços oferecidos pela mesma.

O presente documento se divide da seguinte maneira: o capítulo 2 introduz os conceitos básicos utilizados ao longo do documento; o capítulo 3 apresenta a metodologia propriamente dita; os capítulos 4 e 5 mostram as principais características da ferramenta computacional utilizada no planejamento estratégico e os modelos de otimização utilizados no planejamento técnico, respectivamente; o capítulo 6 relata os resultados da aplicação da metodologia a diferentes cenários ao passo que o capítulo 7 relata a análise de sensibilidade dos resultados do planejamento estratégico; finalmente a seção 8 conclui o trabalho.

Capítulo 2

Rede de Acesso – Serviços e Tecnologias Consideradas

Este capítulo tem como objetivo introduzir certos conceitos básicos que serão utilizados no decorrer deste documento. A seguir são apresentados os principais componentes de um sistema de telecomunicações, serviços que podem ser oferecidos e por fim as tecnologias utilizadas nas aplicações da metodologia proposta nesse trabalho.

2.1. Sistema de Telecomunicações

O sistema de telecomunicações estudado aqui se baseia na *Rede Nacional de Telefonia* (RNT). Tal sistema deve evoluir no sentido de atender novos serviços tais como vídeo-sobre-demanda, telemedicina, entre outros. A figura 2-1 mostra os principais componentes desse sistema [deSousa 1999a] [Carlson 1998] [Formigoni 1995].

Nesse sistema, cada *usuário* (também denominado *assinante*), está conectado à uma *Estação Telefônica* (ET). Na estação telefônica, equipamentos de comutação permitem que cada assinante se comunique com os demais. Essa rede pode ser dividida em três níveis hierárquicos: Rede de Entroncamento Interurbano, Rede de Entroncamento Local e Rede de Acesso.

A Rede de Entroncamento Interurbano interliga diferentes estações telefônicas de diferentes áreas. Pode-se utilizar diversos meios de transmissão para tal, como fibras ópticas, enlaces de microondas, conexões por satélite, entre outros.

A Rede de Entroncamento Local (também denominada *Rede de Transporte*) promove a interligação de estações telefônicas de uma mesma área, como por

exemplo uma cidade. As ET's são ligadas diretamente entre si ou através de *centrais-tandem*. O meio mais utilizado, atualmente, é a fibra óptica, a qual possibilita a transmissão de informações a altas velocidades.

A Rede de Acesso (também denominada *Local Loop*) corresponde a coleção de equipamentos e infra-estrutura necessária para conectar os assinantes às suas respectivas estações telefônicas. A rede de acesso pode ser construída em várias topologias, tais como ponto-a-ponto, ponto-multi-ponto, barramento. O planejamento dessa parte da rede constitui o objetivo deste trabalho.

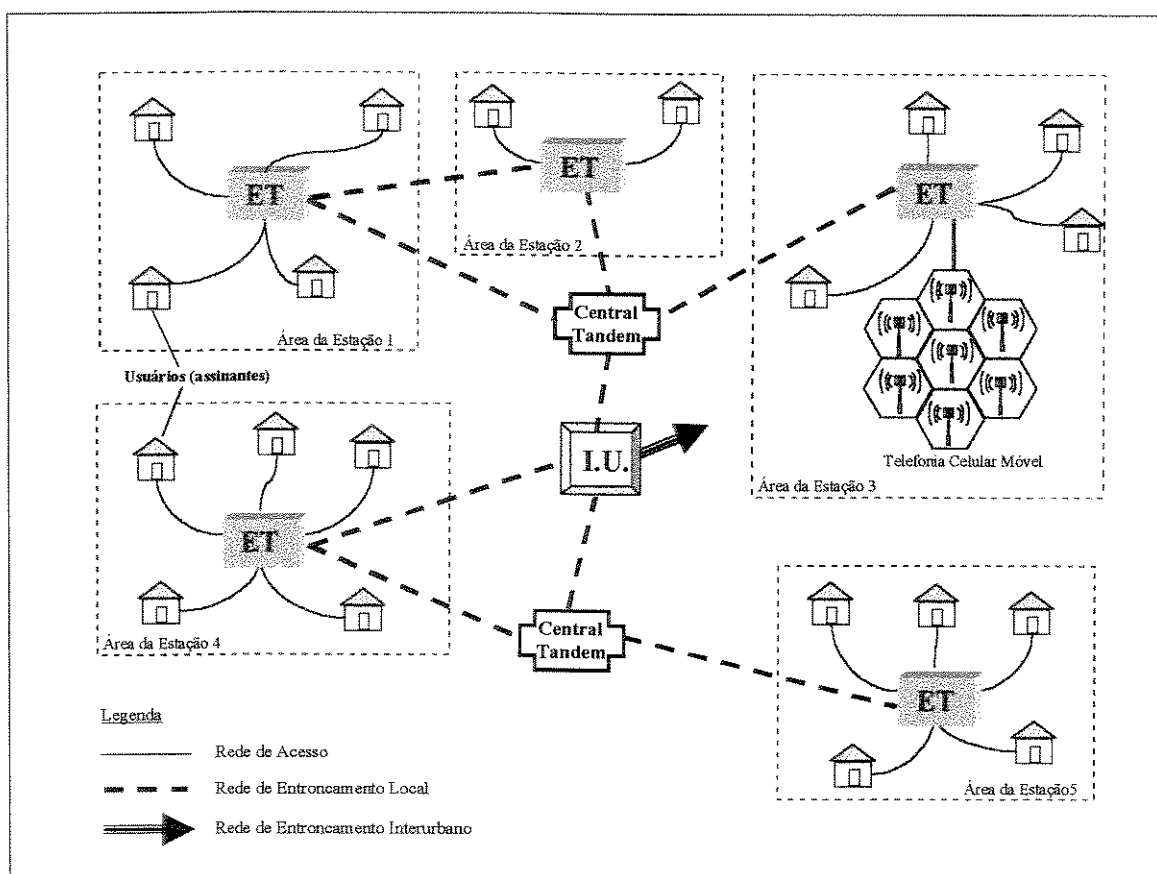


Figura 2-1: Componentes da Rede Nacional de Telefonia.

A rede de acesso tal como é atualmente utiliza linhas dedicadas (pares metálicos) para conectar cada usuário à ET. A área de uma estação telefônica é denominada *Área de Estação*. A área de estação é dividida em *Seções de Serviço* (SS) as quais são atendidas por um ponto de flexibilidade da rede, denominado *Nó*

de Acesso. A rede responsável pela ligação entre o nó de acesso e os usuários é denominada *rede de distribuição* (ou *rede secundária*, geralmente aérea), ao passo que a rede responsável pela ligação entre os nós de acesso e a ET é denominada *rede de alimentação* (ou *rede primária*, geralmente subterrânea).

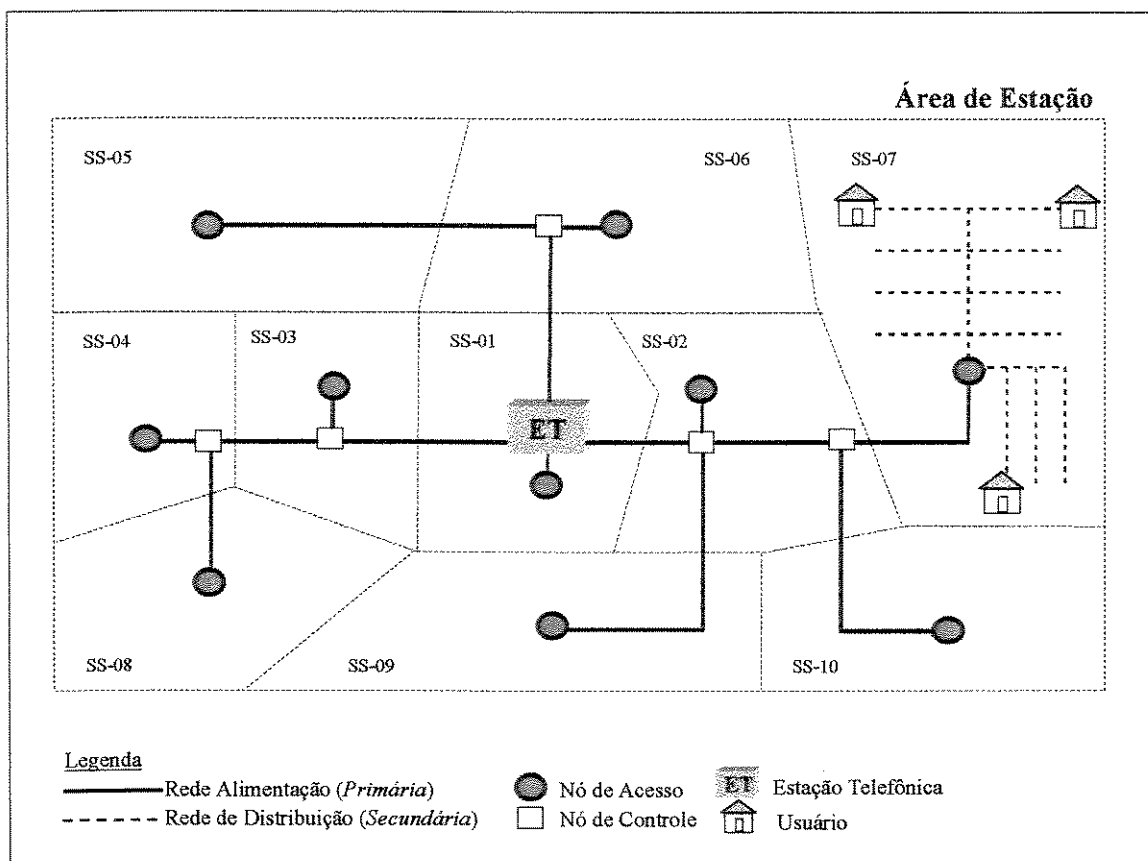


Figura 2-2: Componentes da Rede de Acesso.

2.2. Serviços

Entenda-se serviço de telecomunicações como “aquilo que é oferecido por um provedor a seu cliente a fim de satisfazer uma necessidade específica de telecomunicações” [ITU-T 1993]. O desenvolvimento de novas tecnologias de transmissão e comutação tornou possível que a rede de acesso seja capaz de suportar diversos serviços, de diferentes taxas de transmissão *downstream* e *upstream*. Esses parâmetros definem as velocidades de transmissão no sentido ET-usuário e usuário-ET, respectivamente.

Os serviços considerados nesse trabalho foram:

- POTS: é o clássico serviço de transmissão de voz a 64kbps;
- ISDN: serviço comutado demandando dois canais de 64kbps e um de 16kbps para sinalização, totalizando 144kbps.
- ASB: serviço comutado assimétrico de 2Mbps *downstream* e 64kbps *upstream*;
- SSB: serviço comutado simétrico de 2Mbps.

2.3. Tecnologias Consideradas

Para suportar os serviços convencionais e os novos serviços de telecomunicações existem várias opções tecnológicas disponíveis. A seguir estão descritas as soluções adotadas nas aplicações da metodologia.

2.3.1. Linha Digital de Assinantes (xDSL)

Esta é a solução de evolução de rede que menos mudanças provoca na rede externa, por isso também chamada solução conservadora. A parte metálica da rede permanece inalterada ao passo que a grande mudança consiste na alocação de modems de alta velocidade (xDSL) que são colocados nas duas extremidades da rede (Estação Telefônica e usuário). Maiores detalhes podem ser encontrados em [HUMPHREY 1997].

Evidentemente, para atendimento da telefonia, a rede de acesso não demanda novos equipamentos, apenas ampliação da rede de pares trançados existentes, quando necessário. Como mostra a figura 2-3, para suportar os serviços previstos nas aplicações da metodologia são necessários diferentes tipos de equipamentos, descritos a seguir.

Equipamentos para ISDN

Para suportar o serviço ISDN, faz-se necessária a implementação desta funcionalidade na central telefônica e a instalação da interface ISDN (denominada Terminador de Rede - TR) nas dependências do assinante.

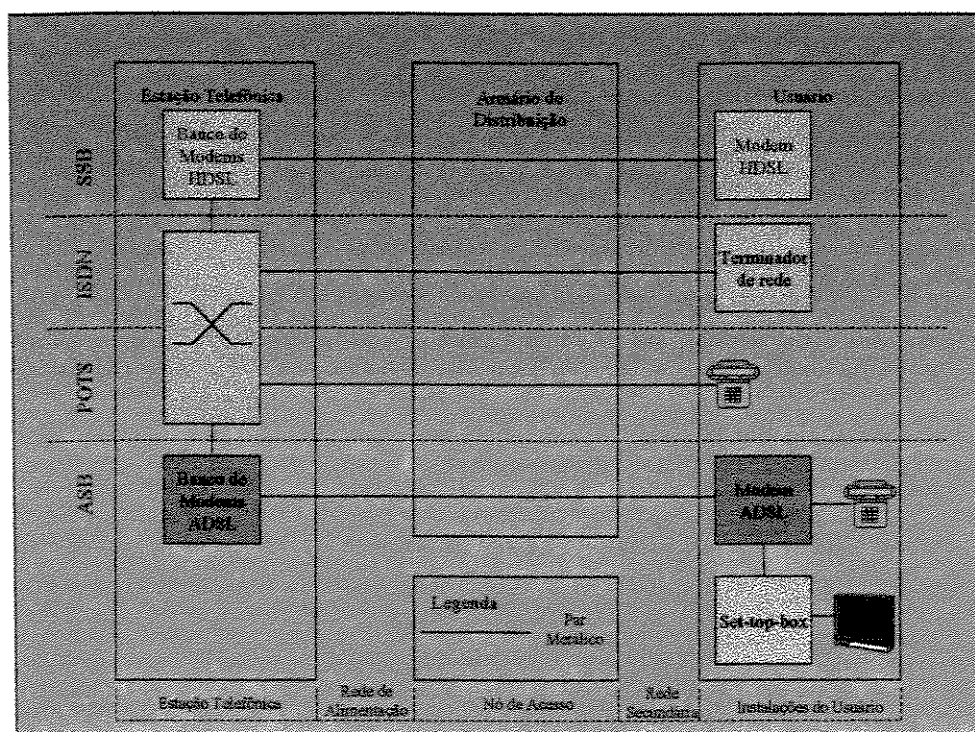


Figura 2-3: Solução Rede Metálica + Modems de Alta Velocidade.

Equipamentos para SSB

Para suportar esse serviço é necessário o uso de modems HDSL, tanto na estação como no usuário. Este equipamento suporta uma transmissão de 2 Mbps simétrica em distâncias de até 4 Km, dependendo das condições em que se encontra a rede metálica.

Equipamentos para ASB

O serviço ASB utiliza na conexão entre o centro de fios e o usuário um par de

modems tipo ADSL. Além de viabilizar a transmissão de sinais de vídeo em 2 Mbps do centro de fios até o usuário utilizando um par de fios, o equipamento também suporta um canal para transmitir o sinal de voz, graças a um divisor de frequências incorporado ao equipamento.

O atendimento desse serviço requer ainda a instalação do set-top-box no usuário, equipamento que, juntamente com o controle remoto e a televisão, permite ao usuário se conectar a um servidor de vídeo, escolher um filme e assisti-lo fazendo uso das funções básicas de um vídeo cassete (pausa, avanço, retrocesso etc).

2.3.2. Rede Óptica Primária (ROP)

A ROP pode ser considerada como o primeiro estágio de implantação da fibra óptica na rede de acesso, alocando armários ópticos no armário de distribuição ou em suas imediações. Como mostra a figura 2-4, a ligação entre o armário e o centro de fios é feita utilizando fibra óptica. O objetivo de se utilizar essa solução é obter um melhor aproveitamento da infra-estrutura existente e a redução dos custos de implantação.

Segundo a Prática Telebrás SDT-210-120-103 **[TELEBRÁS 1996]**, poderão existir 3 modelos de ROP.

- Seção de Serviço com Acesso Óptico (SSAO);
- Área de Serviço Remota Óptica com Seções de Serviço Atendidas por Cabos Alimentadores de Pares Metálicos (ASRO-P);
- Área de Serviço Remota Óptica com Seção de Serviço Atendida por Unidades Remotas (ASRO-UR).

Nas aplicações realizadas no capítulo 6 foi adotado o primeiro modelo (SSAO), ou seja, cada Seção de Serviço (SS) é atendida por um ER (Estágio Remoto) e, no mínimo, 6 fibras ópticas. Os equipamentos são localizados nas

imediações ou no próprio ponto do armário de distribuição da SS. A ligação dos ER's ao centro de fios adotada nas aplicações é a estrela simples. Isso porque a demanda em feixes de 2 Mbps em cada ARD é alta, e consequentemente, utilizando-se anel sua capacidade será rapidamente esgotada.

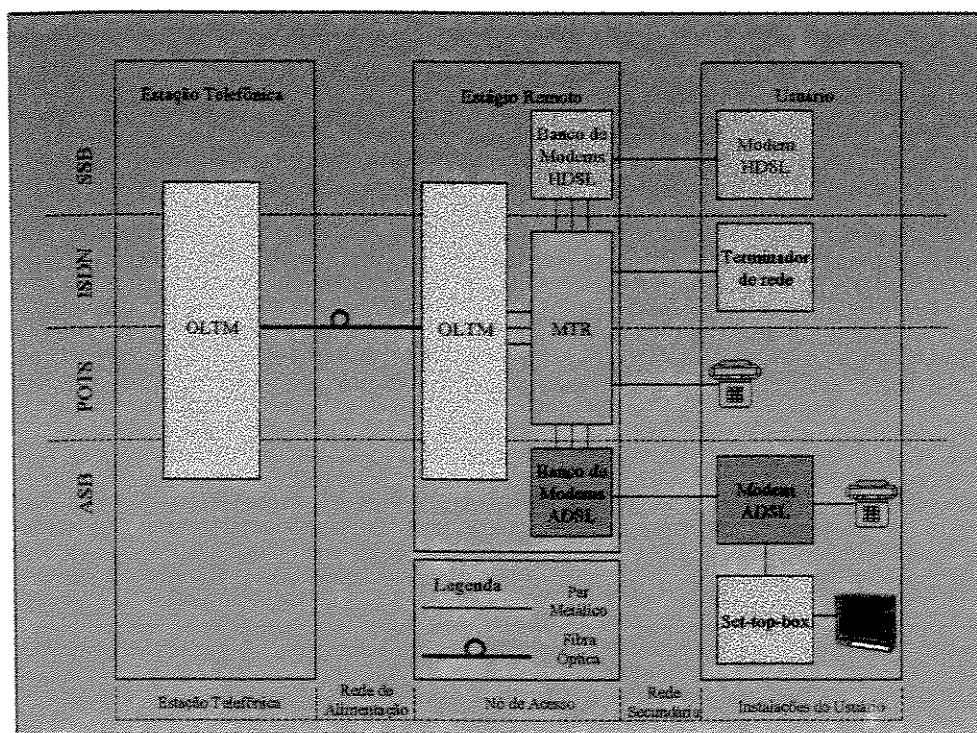


Figura 2-4: Solução Rede Óptica Primária (ROP).

Os equipamentos utilizados na estação, ER e assinante, para a solução ROP, encontram-se descritos a seguir.

Equipamentos de Estação

Na estação telefônica existirão os seguintes equipamentos a serem contabilizados nas aplicações:

- Multiplexadores SDH (OLTM 155) que transportarão os feixes de 2 Mbps até o ER;
- Placas SDH 21x2M.

Equipamentos de Estágio Remoto

No ER deverão ser alocados os seguintes equipamentos:

- Módulo Terminal de Central (MTR), responsável pelo fornecimento de POTS e ISDN (seu custo não é computado pois supõe-se que seja deslocado da ET para o ER);
- Multiplexador SDH (OLTM 155) com capacidade idêntica ao alocado no nó de estação;
- Banco de ADSL's destinado ao atendimento dos assinantes que demandarão o serviço ASB;
- Banco de HDSL's destinado ao atendimento dos assinantes que demandarão o serviço SSB;
- Armário ou abrigo (tipo CEV) com banco de baterias, conversores de energia e climatização (se necessário).

Equipamentos de Assinante

No assinante poderão ser alocados 3 tipos de equipamentos: interface ISDN, modem HDSL ou modem ADSL e set-top-box, descritos no item anterior.

2.3.3. Rede APON – FTTC (Fiber-to-the-Curb)

A solução tecnológica de APON-FTTC [G.983 1998] pode ser considerada, em termos de topologia, uma evolução da solução ROP, uma vez que a fibra avança mais algumas centenas de metros em direção ao usuário. A conversão opto-elétrica ocorre praticamente na quadra do usuário. No caso de habitações coletivas (edifícios, por exemplo) a conversão poderá ocorrer nas dependências do condomínio.

Como mostra a figura 2-5, a rede FTTC é composta de 4 equipamentos

básicos: o *Optical Line Terminal* (OLT), também denominado *Host Digital Terminal* (HDT), o *Optical Distribution Network Interface* (ODNI), a *Optical Network Unit* (ONU) e os *Network Terminations* (NT), também denominados *Line Cards* (LC). Estes equipamentos são descritos a seguir.

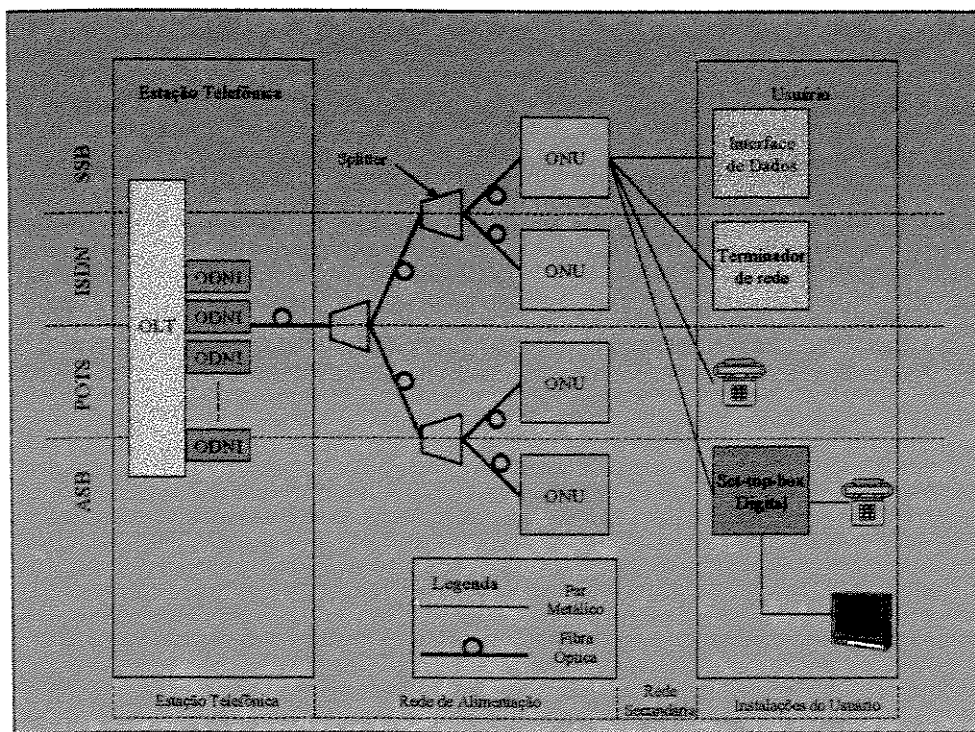


Figura 2-5: Topologia da Solução FTTC.

Optical Line Terminal (OLT)

Como mostra a figura 2-5, o OLT é localizado no nó de estação e é considerado o principal equipamento da solução FTTC, responsável pela conversão eletro-óptica. Ele trabalha tanto com serviços faixa-larga (ASB e SSB, por exemplo) como com serviços faixa-estreita (POTS e ISDN). Sua capacidade varia com a distribuição de serviços a ser suportada.

Optical Distribution Network Interface (ODNI)

A função desta interface é conectar o OLT com as ONU's. Sua capacidade de

transmissão varia de acordo com cada fabricante. Nas aplicações utilizou-se um ODNI com capacidade de 622Mbps *downstream* e 155Mbps *upstream*.

Optical Network Unit (ONU)

A ONU é responsável pela conversão eletro-óptica do sinal, possuindo uma combinação de interfaces (individuais) para oferecer serviços faixa-estreita e faixa-larga, denominadas *Line Cards* ou *Network Terminations*.

Equipamentos de Assinante (Line Cards)

Os serviços POTS e ISDN são suportados via par metálico e as interfaces (*line cards*) LC ISDN, LC POTS.

Nas aplicações foi considerado que os serviços faixa larga (ASB e SSB) são transportados através de par metálico, fazendo-se necessário o uso de *line cards* LC ASB e LC SSB, respectivamente. O serviço ASB necessita também de um set-top-box digital, semelhante ao que foi utilizado nas tecnologias anteriores.

2.3.4. Rede Híbrida Fibra-Coaxial (HFC)

A solução HFC é uma evolução natural das redes de TV a cabo totalmente coaxial, a qual trabalha com uma banda passante de 450 a 550 MHz, oferecendo basicamente serviços não interativos (sinais de vídeo analógico em *broadcasting*).

A fim de suportar os novos serviços interativos faz-se necessário evoluir da rede totalmente metálica para uma rede mista, composta por um trecho em fibra óptica e um trecho coaxial. A seguir encontram-se descritos [ASTRA 1998] os principais equipamentos utilizados por esta tecnologia.

Equipamentos Comuns

Como mostra a figura 2-6 a fibra óptica conecta a Estação Telefônica (contendo o *Cable Modem Head End* e o *PSTN/SSB Head End*) aos Nós de Fibra. A comunicação entre ambos se dá através de quatro dispositivos:

- *HFC Optical Tx Downstream*, responsável pela transmissão do sinal da Estação para o Nó de Fibra;
- *HFC Optical Rx Upstream*, responsável pela recepção do sinal oriundo do Nó de Fibra;
- *HFC Optical Rx Downstream*, recebe o sinal vindo da Estação, no Nó de Fibra;
- *HFC Optical Tx Upstream*, envia o sinal do Nó de Fibra para a Estação.

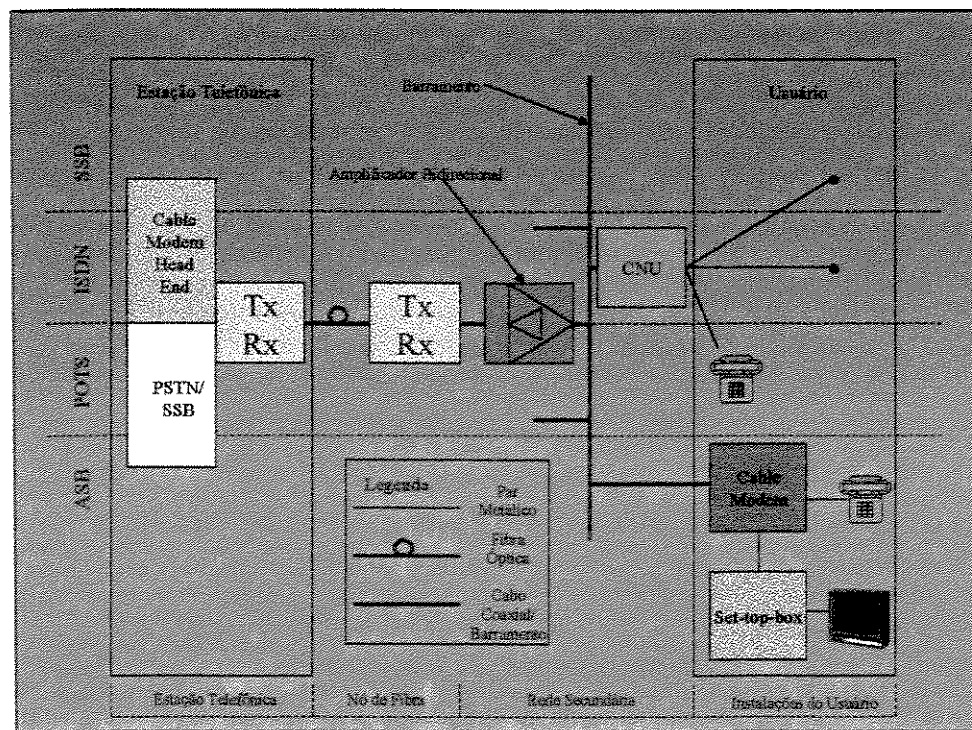


Figura 2-6: Rede Híbrida Fibra-Coaxial (HFC).

A partir do Nó de Fibra, os sinais ópticos analógicos são convertidos em sinais elétricos também analógicos e enviados aos usuários por meio de cabos coaxiais. Ao

longo do barramento coaxial são empregados amplificadores bidirecionais (em cascata, dependendo da distância a ser coberta até o usuário) a fim de regenerar o sinal ao longo da linha.

Equipamentos de Assinante

Análogo ao caso anterior, os serviços POTS, ISDN e SSB são fornecidos por meio de CNU's (*Coaxial Network Unit*), através dos *Line Cards* apropriados:

- *HFC CNU LC POTS*: responsável pelo atendimento do usuário do serviço POTS;
- *HFC CNU LC ISDN*: realiza o atendimento do usuário do serviço ISDN;
- *HFC CNU LC 2 Mbps*: responsável pelo atendimento do assinante do serviço SSB.

Finalmente, o serviço ASB é fornecido através de *Cable Modem* bidirecional, acoplado ao Set-top-box.

Capítulo 3

Apresentação da Metodologia

3.1. Introdução

Como foi colocado no capítulo 1 do presente documento, a metodologia proposta se divide em duas etapas, sendo que na primeira o planejador, auxiliado por ferramentas computacionais, realiza diversos estudos a fim de selecionar quais serviços serão oferecidos pela nova rede e quais tecnologias são mais viáveis economicamente para tal, ao passo que na segunda, com o auxílio de algoritmos de otimização, o planejador deve encontrar a melhor maneira de realizar a expansão da rede de acesso, visando a maximização das receitas geradas pela rede. A primeira etapa foi denominada planejamento estratégico¹, e a segunda, planejamento técnico. A seguir são apresentadas estas duas etapas.

3.2. Planejamento Estratégico

O objetivo principal dessa etapa do planejamento é selecionar, dentre as várias opções tecnológicas e de serviços, quais serão efetivamente oferecidos e através de quais tecnologias. Isso porque a quantidade de cenários passíveis de serem analisados é enorme, demandando tempo e recursos humanos para serem realizados. Daí, visando a agilidade do processo de planejamento, propõe-se nessa etapa efetuar uma triagem dos cenários, fazendo uso de uma ferramenta computacional dotada de uma interface homem-máquina amigável, baseada em sistema gerenciador de banco de dados, a qual descreveremos posteriormente.

¹ Jargão difundido no período pré-privatização nas empresas que então compunham o sistema Telebrás para denominar o estágio de planejamento anterior ao planejamento técnico e posterior ao marketing.

É importante salientar: o critério principal aqui baseia-se na análise do desempenho econômico-financeiro **[Deliverable 10 1998]** das redes estudadas.

A escolha dos serviços a serem oferecidos constitui um estudo de viabilidade de investimento complexo devido às incertezas associadas aos dados de entrada, dentre elas:

- Evolução de custo dos equipamentos das novas soluções tecnológicas;
- Expectativa de penetração dos serviços ao longo do horizonte de planejamento;
- Evolução da tarifa a ser cobrada pelo serviço em ambiente de competição.

Vale dizer que tais incertezas estão intimamente correlacionadas, uma vez que quanto maior a penetração dos serviços, maior a quantidade de equipamentos necessária para atendimento da demanda por uma tecnologia específica, e por consequência menor o custo unitário de tais equipamentos devido à economia de escala. Ainda, quanto maior a penetração, menor tende a ser a taxa a ser cobrada pela empresa operadora ao usuário final para o fornecimento do serviço.

É desnecessário dizer que tais incertezas têm uma forte influência nos resultados dos estudos de viabilidade econômica por estarem diretamente relacionadas com custo de instalação e manutenção da rede, assim como com a receita gerada pela mesma.

Em síntese, esta etapa do planejamento divide-se nos seguintes procedimentos (ilustrados na figura 3-1):

- Definição dos dados gerais de planejamento;
- Escolha do cardápio de serviços;
- Escolha das soluções tecnológicas candidatas;
- Alocação e dimensionamento de cabos, infra-estrutura e equipamentos;

- Estudo de análise econômica e de risco.

Analisaremos a seguir cada um dos procedimentos.

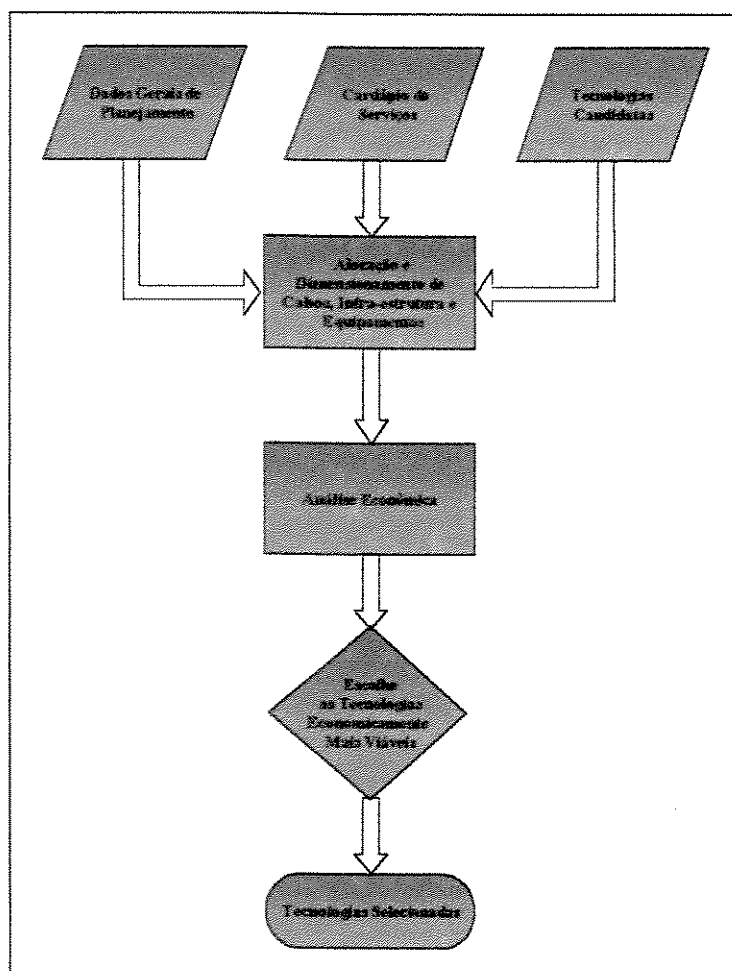


Figura 3-1: Procedimentos do Planejamento Estratégico.

3.2.1. Definição dos Dados Gerais de Planejamento

No planejamento estratégico alguns dados são necessários a fim de que se possa determinar com certa precisão o investimento necessário à ampliação da rede de acesso. São eles:

- Horizonte de planejamento;

- Densidade de usuários da área estudada;
- Taxa de juros anuais considerada;
- Taxa de impostos incidente no setor;
- Custo da hora de manutenção.

O horizonte de planejamento define o período que se vai estudar a rede em questão. É um dado de entrada com efeito em todas as demais entradas do planejamento, visto que influi no custo de equipamentos, penetração de serviços e atualização monetária.

A densidade de usuários da área considerada será utilizada na obtenção dos comprimentos dos enlaces da rede, os quais por sua vez servem para o cálculo dos comprimentos de cabos, dutos e subdutos da rede.

A taxa de juros anuais considerada é utilizada na atualização monetária a fim de se obter os indicadores financeiros necessários à análise econômico-financeira da rede. Com ela calculam-se o Valor Presente Líquido, o Tempo de Retorno (*payback*), o Retorno sobre Investimento, entre outros que o planejador considere relevantes.

A taxa de impostos, assim como a taxa de juros, é utilizada na obtenção dos indicadores financeiros, uma vez que incide diretamente sobre a receita bruta da rede.

O custo da hora de manutenção é utilizado no cálculo do custo de manutenção dos equipamentos e infra-estrutura da rede.

É necessário dizer que, por simplicidade e sem perda de generalidade, estes dois últimos não foram considerados neste trabalho.

3.2.2. Escolha do Cardápio de Serviços

O planejador deve definir quais serviços serão considerados em cada estudo de viabilidade econômica. Para cada serviço deve-se definir a curva de evolução² de demanda esperada para o horizonte de planejamento considerado, a curva de evolução da tarifa cobrada pela empresa prestadora do serviço e a taxa de transmissão (*upstream* e *downstream*) mínima necessária ao fornecimento do serviço.

Deve-se lembrar que a maior parte dos serviços analisados ainda não estão disponíveis comercialmente, com exceção de alguns testes de campo, dificultando portanto a obtenção de uma estimativa confiável para a evolução da penetração de um determinado serviço, bem como valores de tarifas.

3.2.3. Escolha das Soluções Tecnológicas Candidatas

Uma vez determinados quais serviços serão oferecidos pela nova rede de acesso, o planejador possui nesse momento os pré-requisitos necessários para definir quais soluções tecnológicas possuem as condições necessárias ao fornecimento de tais serviços. Daí que, para cada tecnologia escolhida, torna-se necessário levantar uma quantidade significativa de dados, listados a seguir:

- Relação de todos os equipamentos e demais dispositivos necessários ao fornecimento dos serviços escolhidos;
- Evolução de custo dos equipamentos e dispositivos para o horizonte de planejamento considerado;
- Informação de modularidade dos equipamentos e dispositivos, necessária para realizar o dimensionamento e alocação dos mesmos na rede estudada.

² Curva ou função matemática que expressa, com certa verossimilhança, o comportamento de determinada variável [ASTRA 1998].

Em virtude de grande parte das tecnologias de acesso atualmente disponíveis serem novas, a tarefa de obter tais dados é relativamente difícil, principalmente no que tange aos custos de equipamentos. Portanto esse é um fator que deve ser também levado em conta pelo planejador quando da escolha do número de tecnologias a serem estudadas.

3.2.4. Alocação e Dimensionamento de Equipamentos, Cabos e Infra-estrutura

Para cada uma das tecnologias candidatas no item anterior, o planejador deverá realizar alocação de equipamentos, cabos e infra-estrutura na rede. Usualmente essa tarefa é feita de três formas:

- Manualmente;
- De modo automático usando procedimentos heurísticos;
- Utilizando modelos de otimização.

Para os três casos supracitados é necessário o conhecimento de informações detalhadas da rede estudada, tais como localização dos pontos de concentração de demanda e armários de distribuição e ainda o traçado da rede de dutos.

Porém, no planejamento estratégico o procedimento de alocação e dimensionamento não necessitará tamanha precisão em função dos seguintes motivos:

- Nesta etapa o que interessa é uma estimativa do volume total de equipamento a ser utilizado na ampliação da rede, para que então possa ser possível realizar-se o cálculo do custo de instalação e dos indicadores financeiros relevantes;
- O processo de alocação e dimensionamento deverá ser repetido inúmeras vezes, inviabilizando a utilização de dados detalhados, devido ao tempo computacional elevado.

Consequentemente, para executar essa tarefa é necessária uma ferramenta computacional que utiliza modelos de rede simplificados que, se por um lado não levam a resultados detalhados (ao nível de projeto), por outro permitem agilidade para simular diversos cenários num curto intervalo de tempo.

3.2.5. Estudo de Análise Econômica e de Risco

Um vez definido o volume de equipamentos, cabos e infra-estrutura, o planejador deverá realizar, para cada tecnologia candidata, um estudo de viabilidade econômica do investimento. Esse estudo consiste no cálculo dos seguintes indicadores financeiros [CPqD 1999a] [Hirschfeld 1998]:

- Custo de instalação da rede ao longo do horizonte de planejamento;
- Receita gerada pela rede no período considerado;
- Valor presente líquido;
- Investimento por usuário;
- Retorno sobre o investimento;
- Custo de operação, administração e manutenção da rede (custos de OA&M).

Maiores detalhes sobre esses indicadores financeiros encontram-se descritos no apêndice A.

Vale lembrar que outros indicadores poderiam ser calculados. Além disso, mais uma vez, nesse trabalho não foram considerados custos de OA&M. Tais custos, porém, podem ser acrescentados a metodologia, desde que se tenha dados e recursos computacionais suficientes para tal.

Outro estudo bastante relevante a ser realizado uma vez concluída essa fase é a análise de risco. Nesse trabalho foi realizada uma análise diferencial, através da qual variando-se percentualmente uma determinada entrada verifica-se o

comportamento das saídas. Com isso é possível avaliar os efeitos da imprecisão dos dados de entrada nos indicadores econômico-financeiros. Tal análise só é possível devido à utilização de ferramenta computacional, visto o tempo demandado.

Finalmente, de posse dos indicadores financeiros, o planejador define quais tecnologias serão selecionadas para a próxima etapa do planejamento, a qual será descrita a seguir.

3.3. O Planejamento Técnico

Nesta etapa a principal tarefa é realizar de forma mais criteriosa a alocação de equipamentos, cabos e infra-estrutura da rede, ou seja, ao nível de projeto. Em virtude disso o próprio procedimento de alocação deve ser mais complexo. Portanto, torna-se inviável (em virtude da complexidade computacional do problema) realizar este estudo para todas as soluções tecnológicas consideradas na etapa anterior (planejamento estratégico). Em virtude do que foi dito, nesta etapa o planejador deverá considerar no máximo duas tecnologias, as quais estarão competindo diretamente.

Uma vez conhecidos os dados gerais de planejamento, o elenco de serviços a serem oferecidos e as tecnologias mais adequadas para suportar tais serviços, o planejador deve elaborar um estudo de maneira a determinar de que maneira se dará a evolução da rede de acesso. A utilização de algoritmos de otimização nesta etapa do planejamento é de extrema importância, seja com o objetivo de minimizar os custos envolvidos na operação, seja para maximizar a receita gerada pela rede.

Tais algoritmos devem realizar alocação ótima de equipamentos, cabos e infra-estruturas da rede, para as tecnologias selecionadas na primeira etapa do planejamento. O modelo mostrado no capítulo 5, além de alocação ótima, analisa para cada nó qual tecnologia, entre as candidatas selecionadas no planejamento estratégico, é mais apropriada para implementação (em outras palavras, analisa a

competitividade entre as tecnologias). Além disso, tal algoritmo deve ser aplicado anualmente a fim de obter-se um planejamento estagiado, otimizando dessa forma a alocação dos recursos destinados à evolução da rede de acesso.

Visto que os dados gerais de planejamento e o cardápio de serviços oferecidos são os mesmos do planejamento estratégico, e as soluções tecnológicas mais viáveis economicamente foram selecionadas, o planejamento técnico se resume nos seguintes procedimentos (ilustrados na figura 3-2):

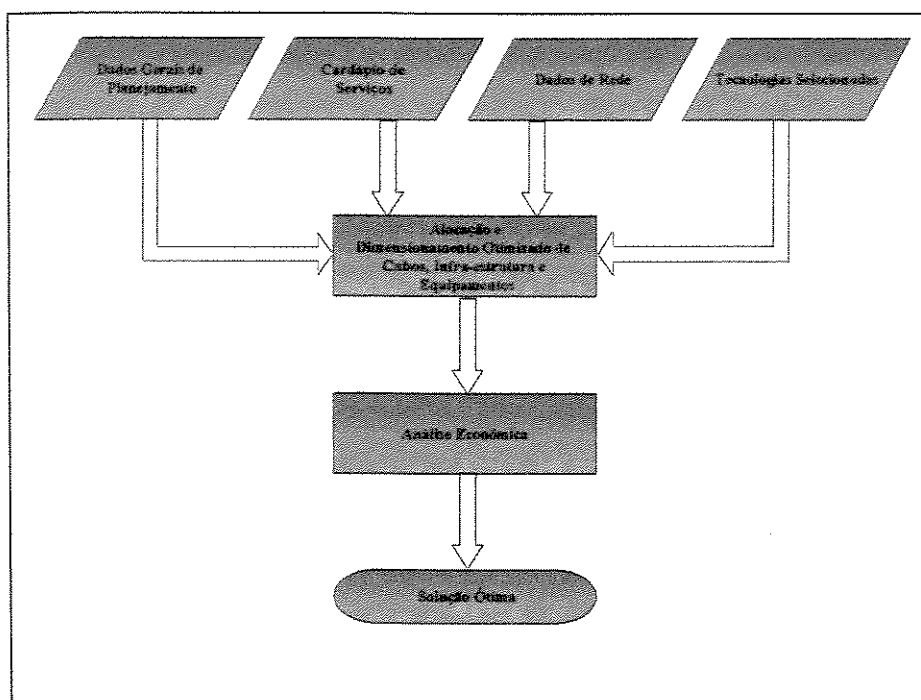


Figura 3-2: Procedimentos do Planejamento Técnico.

- definição dos dados gerais de planejamento*;
- escolha do cardápio de serviços*;
- definição das soluções tecnológicas que suportarão tais serviços*;
- definição dos dados de rede;
- alocação ótima de cabos, infra-estrutura e equipamentos na rede;
- análise econômica.

* Procedimentos já realizados na etapa anterior do planejamento.

Estes três últimos procedimentos serão explicados a seguir.

3.3.1. Definição dos dados de rede

O dimensionamento da rede agora deve ser efetuado ao nível de projeto, isto é, o resultado final deverá ser a lista de compra de equipamentos, cabos etc. Para tanto, não poderá ser utilizado um modelo de rede simplificado, como o foi no planejamento estratégico, mas sim um modelo real da rede, com o posicionamento dos armários de distribuição, pontos de concentração de assinantes, rede de dutos e cabos já instalados em cada duto da rede.

Assim, o planejador deverá ter os seguintes dados da rede para essa etapa:

- Rede de dutos da área considerada, com a quantidade de dutos disponíveis. A rede de dutos é formada pela canalização subterrânea e pontos de flexibilidade da rede;
- Quantidade de pares metálicos em cada arco da rede;
- Quantidade de fibras ópticas em cada arco da rede;
- Demanda dos serviços considerados em pontos de concentração de assinante. A localização do ponto de concentração fica a critério do planejador e está relacionada com o grau de precisão do estudo. Tal ponto poderá estar localizado, por exemplo, em cada armário de distribuição;
- Localização do centro de fios³.

3.3.2. Alocação Ótima de Cabos, Infra-estrutura e Equipamentos

Na metodologia proposta a alocação de equipamentos, cabos e infra-estrutura na rede é realizada com a utilização de algoritmos de minimização de custos e maximização de receitas. Assim, o planejador deverá candidatar as soluções

³ Entenda-se a antiga Estação Telefônica. Uma vez que não será oferecido apenas serviço de telefonia, Centro de Fios parece ser uma denominação mais apropriada.

tecnológicas selecionadas na etapa anterior em nós e arcos da rede, ao passo que o modelo matemático irá procurar a solução que minimize os custos ou maximize a receita gerada pela rede.

Além disso, os algoritmos utilizados aqui não mais trabalham com apenas uma tecnologia de cada vez (como na etapa anterior) mas sim com as duas tecnologias selecionadas anteriormente, promovendo a competição entre elas de modo a encontrar uma solução ótima de rede que é uma mistura de ambas.

Por fim, visto que a metodologia proposta se aplica a um horizonte de planejamento (e os modelos desenvolvidos são originalmente estáticos) algumas considerações devem ser feitas a fim de se aplicar tais modelos anualmente, obtendo-se um planejamento estagiado no tempo. No capítulo 4 é apresentada a formulação dos algoritmos de otimização além de aspectos de sua utilização durante as aplicações da metodologia a redes existentes.

3.3.3. Análise Econômica

A análise econômica nesta etapa consiste na obtenção dos mesmos indicadores financeiros calculados no planejamento estratégico. O objetivo desse procedimento é obter parâmetros que possibilitem a comparação da solução mista-otimizada com as soluções obtidas previamente no planejamento estratégico. Isso torna possível determinar o quanto a solução otimizada evolui (ou não) em relação às anteriores, a fim de justificar a metodologia proposta.

Capítulo 4

Ferramenta de Apoio ao Planejamento Estratégico

4.1. Introdução

Como foi apresentado anteriormente, durante a realização do planejamento estratégico o planejador deverá realizar vários estudos de viabilidade econômica, considerando diferentes cenários tecnológicos e de evolução de serviço. Para cada estudo é necessário variar algumas variáveis de entrada consideradas estratégicas no contexto de evolução de rede, como por exemplo as taxas de penetração de serviços, evolução de custo de equipamentos, tecnologia que suportará os serviços, entre outros.

A realização desses estudos de modo manual é praticamente impossível dada a quantidade de cenários passíveis de análise e a quantidade de dados associado a cada cenário. Faz-se necessário portanto a utilização de uma ferramenta de suporte ao planejador de modo a diminuir o tempo gasto na realização do estudo de cada cenário, proporcionando ao planejador maior tempo de análise de resultados nessa etapa do planejamento.

Ao longo da última década várias ferramentas desse tipo foram desenvolvidas [Asumu 1998] nos mais diversos centros de excelência em telecomunicações como [Doshi 1995] [Eurescom 1998] [Mellis 1996]. A seguir são discutidas as principais características que uma ferramenta de suporte ao planejamento deve possuir, e as principais funcionalidades da ferramenta utilizada nas aplicações da metodologia proposta.

4.2. Características da Ferramenta de Suporte ao Planejamento

4.2.1. Sistema Gerenciador de Banco de Dados

A quantidade de dados utilizados para realização de um estudo de evolução de rede é muito grande. Dentre os principais é possível destacar:

- *Componentes de rede* – os mais numerosos, sem dúvida. Cada tecnologia utilizada deve ter todos os componentes descritos. A estes estão associados vários atributos, dentre eles evolução do preço ao longo do horizonte de planejamento, *MTBP (Mean Time Between Failures)*, *MTRR (Mean Time to Repair)*, custos de O&M, depreciação, capacidade de atendimento em termos de banda de transmissão ou assinante etc;
- *Serviços suportados* - a cada serviço pode-se associar vários atributos, tais como penetração ao longo do horizonte de planejamento, tarifa mensal fixa, tarifa mensal variável, custo de administração do serviço etc;
- *Dados Gerais do Cenário* - este item está associado a informações gerais do estudo tais como densidade de assinante da região, indicadores financeiros como taxa de juros do período, taxa do imposto incidente no setor, entre outros.

Visto que a quantidade de informação é grande e muitas vezes é preciso alterá-las a fim de se obter novos cenários para análise (como alterar a penetração de um serviço faixa-larga, por exemplo, a fim de observar as mudanças no desempenho da rede, ou ainda, diminuir a tarifa de um serviço de alta penetração e observar como a rede se comporta), o armazenamento destes dados num sistema gerenciador de banco de dados parece ser o mais apropriado.

4.2.2. Interface Homem-Máquina Amigável

As primeiras ferramentas de planejamento de redes desenvolvidas em meados da década de 80 caracterizavam-se por apresentar interfaces homem-máquina muito simples, as quais dificultavam sua operação e, conseqüentemente, tornavam os estudos de planejamento uma atividade lenta e complexa.

Na década de 90, com o surgimento e a popularização de sistemas operacionais mais avançados graficamente (como o Microsoft® Windows, por exemplo), surgem novas ferramentas, mais amigáveis no que diz respeito à interação com o usuário.

A utilização de ferramentas com uma boa interface homem-máquina permite ao planejador gerar vários cenários em um curto intervalo de tempo, possibilitando uma análise mais completa da rede considerando diferentes topologias, soluções tecnológicas e serviços (e seus níveis de penetração).

Uma boa interface homem-máquina deve possuir recursos gráficos para o planejador desenhar com facilidade a topologia da rede a ser estudada, apresentar um esquema de visualização simples, baseado em janelas, para inserção dos dados de entrada e realização dos estudos. Em resumo, deve ser uma ferramenta que utilize a filosofia *WYSIWYG* (*What You See Is What You Get*).

4.2.3. Análise Econômica

Nesta etapa do planejamento, o planejador deverá fazer uma avaliação econômica criteriosa de cada solução considerada. A ferramenta de apoio deverá possuir portanto um módulo de análise econômica composto por aplicativos que calculem as seguintes informações:

- Receita gerada pelos serviços oferecidos;

- Valor presente líquido;
- Investimento total;
- Investimento por usuário;
- Taxa de retorno sobre o investimento;
- Taxa interna de retorno;
- Prazo de retorno de investimento, entre outros.

Outros indicadores de desempenho econômico poderiam constar na lista acima. Os indicadores adotados nas aplicações desse trabalho encontram-se no Apêndice A.

4.2.4. Análise de Risco

A atividade de planejamento é de fundamental importância para qualquer empresa do setor de telecomunicações, entretanto, a elaboração de planos de médio e longo prazo apresenta algumas dificuldades inerentes à própria atividade de planejamento. Além da complexidade associada às diversas soluções tecnológicas que podem expandir a rede de acesso, deve-se levar em conta que dados de custos, tarifas e serviços, bem como aspectos tecnológicos, são incertos ou sujeitos a mudanças a médio e longo prazos e, portanto, estimar tais dados por si só já constitui tarefa hercúlea.

Em outras palavras, o planejamento traz consigo uma parcela de risco e por isso é interessante que a ferramenta possua um módulo de análise de risco, através do qual o planejador poderia estimar quais seriam os efeitos das incertezas associadas aos dados de entrada sobre os principais indicadores econômico-financeiros relacionados no item anterior.

Uma possível abordagem seria incorporar as incertezas aos dados utilizando-se para tanto métodos estocásticos [Carpenter 1998] ou métodos baseados em

conjuntos nebulosos (*fuzzy sets*) [Carlson 1998], ou ainda métodos que utilizem técnicas de simulação, como Monte Carlo [Carciofi 1998], por exemplo.

4.3. Principais Funcionalidades da Ferramenta Utilizada

4.3.1. Visão Geral da ASTRA®

A ASTRA® (*Ambienti di Studio Tecnico-economico delle Reti di Accesso*) é uma ferramenta de apoio à decisão desenvolvida pelo CSELT (*Centro Studi e Laboratori Telecomunicazioni* – Itália) e pode ser utilizada para auxiliar as Empresas de Telecomunicações na evolução de suas redes de acesso, considerando aspectos técnicos e econômicos.

A ASTRA® é uma evolução de uma ferramenta desenvolvida no consócio europeu denominado RACE (*Research in Advanced Communications in Europe*), mais especificamente no projeto RACE 2087/TITAN (*Tool for Introduction Scenario and Techno-economic Evaluation of Access Network*). Neste projeto foi desenvolvida uma metodologia de planejamento de rede de acesso para serviços faixa larga.

Nas aplicações da metodologia deste trabalho foi utilizada a ASTRA® versão 3.1. for Windows® 95, instalada num microcomputador 486 DX2 66MHz, ambos gentilmente cedidos pela Fundação CPqD durante a vigência de um convênio com a FUNCAMP (janeiro a dezembro de 1.999). A seguir encontram-se descritas algumas características relevantes da ferramenta.

4.3.2. Curvas Evolutivas

A ferramenta ASTRA® possui um conjunto de curvas (chamadas curvas evolutivas) que são utilizadas para definir como variam, em função do tempo:

- preço de componentes;

- penetração de serviços;
- aluguel mensal de serviços;
- receita mensal de serviços;
- taxa de conexão de serviços;
- custo de administração de serviços.

Cada uma destas curvas é caracterizada por um número variável de parâmetros, definidos pelo usuário. Existem vários tipos de curvas evolutivas disponíveis, quais sejam:

- curva constante;
- linear;
- curva-S;
- exponencial;
- rampa;
- senóide;
- potência.

Cada tipo de curva se aplica melhor a um determinado dado de entrada. Por exemplo, curvas exponenciais negativas representam bem os custos de equipamentos ao passo que curvas-S se aplicam a penetração de serviços. Um exemplo de ambas é mostrado nas figuras 3-1 e 3-2 [ASTRA 1998], respectivamente.

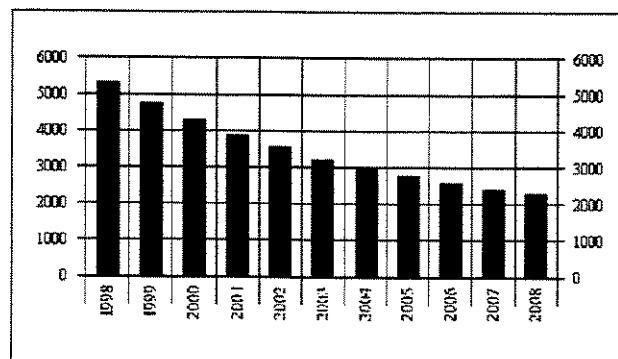


Figura 4-1: Exemplo de Curva Exponencial Negativa.

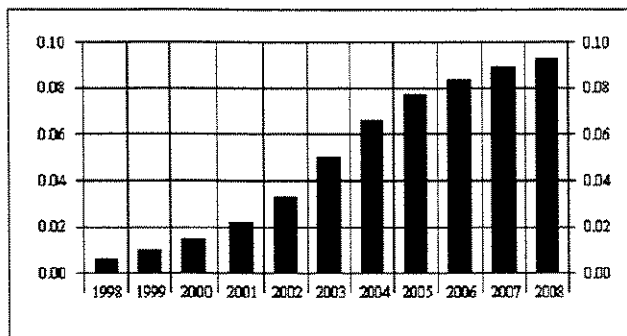


Figura 4-2: Exemplo de Curva-S.

4.3.3. Alocação de Facilidades

Na ASTRA, os volumes adicionais anuais, em especial aqueles de equipamento, estão relacionados às características específicas da arquitetura da rede, ao tipo de serviço fornecido, às necessidades da rede e ao número de usuários conectados ano a ano.

Os enlaces (cabos, dutos e subdutos) são tratados diferentemente, visto que os volumes destas infra-estruturas dependem menos dos serviços oferecidos e mais de aspectos topológicos e urbanísticos da área servida. Em virtude disto, a ASTRA® faz uma distinção entre enlaces e equipamentos de rede, fornecendo diferentes ferramentas de cálculo para cada uma.

A alocação de equipamentos na rede pode ser realizada de três maneiras diferentes:

- Alocação manual em cada nó da rede a cada ano;
- Alocação automática através da especificação de parâmetros de rede e modularidades de equipamentos e serviços;
- Alocação automática baseada em modelos desenvolvidos em planilhas do aplicativo Microsoft® Excel, chamada *Support Plan* (planilha suporte).

Os três métodos mencionados acima não serão discutidos aqui, uma vez que foge ao escopo deste trabalho. Recomenda-se ao leitor interessado a leitura de [ASTRA 1998] [CPqD 1999c] [CPqD 1999d].

Por outro lado, os comprimentos dos enlaces da rede, ou seja, de cabos, dutos e subdutos da rede são calculados pela ASTRA® em função de um modelo geométrico elaborado por [Baldi 1997], cujas seguintes características devem ser consideradas:

- a rede é considerada simétrica. Em outras palavras, os comprimentos dos enlaces que unem dois pontos de flexibilidade são iguais;
- a ferramenta não possui recurso GIS (*Geographical Information System*)¹;
- todos os cabos, dutos e subdutos são alocados no primeiro ano do período de estudo, a fim de atender a demanda do último ano do mesmo;
- o cálculo do comprimento dos cabos e dos dutos são realizados separadamente, havendo possibilidade de passagem de mais de um cabo pelo mesmo duto.

No modelo de Baldi, a densidade de assinantes d é distribuída homogeneamente sobre uma superfície circular com raio de cobertura R . Utilizando os valores da densidade de assinantes d e do número de assinantes n , calcula-se o valor deste raio de cobertura R , através da seguinte relação:

$$d = \frac{n}{\pi \cdot R^2} \Rightarrow R = \sqrt{\frac{n}{\pi \cdot d}}$$

A partir do valor de R , calcula-se também a distância L entre 2 nós pertencentes a área circular, conforme a seguinte equação:

¹ Sistema de Informação Geográfica. Por meio deste recurso é possível definir com exatidão (visto que opera baseado em GPS - Global Positioning System) a posição de Centrais Telefônicas, Armários de Distribuição e então calcular com exatidão a distância que os separam.

$$L = \frac{2 \cdot R}{c(\sqrt{n})}$$

onde a função $c(x)$ representa a parte superior inteira de x .

Fica claro pelas expressões acima que quanto maior a densidade de assinantes, menor será o comprimento dos enlaces calculado.

Visto que a ASTRA[®] parte do pressuposto de que as redes são simétricas do ponto de vista da sua topologia é esperado que se aplicada para uma rede já instalada (geralmente pouco simétrica) os resultados obtidos (comprimento de duto, cabos e distância média dos cabos por assinante) apresentarão distorções, as quais serão menores à medida que esta rede instalada se aproximar de uma rede simétrica.

Essas características tornam a ferramenta ideal para:

- regiões geográficas onde não haja nenhuma infra-estrutura de cabeamento instalada (*green-field*)
- regiões densamente povoadas e com grande número de pontos de flexibilidade, onde a aproximação da rede por uma equivalente simétrica é mais fácil de ser implementada.
- obtenção de resultados ou estimativas num curto espaço de tempo, auxiliando na tomada de decisão estratégica ou de marketing.

4.3.4. Modelo Econômico

A ferramenta ASTRA[®] possui um módulo que realiza a análise econômica da rede objeto do estudo. Entre outros, a ferramenta calcula os indicadores citados no capítulo 2, quais sejam:

- Custo de instalação da rede ao longo do horizonte de planejamento;
- Receita gerada pela rede no período considerado;
- Valor presente líquido;
- Investimento por usuário;
- Retorno sobre o investimento;
- Custo de operação, administração e manutenção da rede (custos de OA&M).

Maiores detalhes a respeito destes indicadores podem ser obtido em **[ASTRA 1998]** **[Hirschfeld 1998]** **[CPqD 1999a]**. Os indicadores utilizados nas aplicações da metodologia encontram-se descritos no apêndice A.

4.3.5. Análise Diferencial

Uma funcionalidade que foi utilizada nas aplicações da metodologia proposta foi a análise diferencial. Tal funcionalidade consiste em aplicar-se uma variação (percentual) nas entradas do problema e verificar a variação provocada nas saídas, em termos percentuais.

Essa funcionalidade é muito útil na identificação de pontos críticos do projeto no que diz respeito ao risco sobre o capital investido. Dessa forma o planejador pode identificar num determinado projeto de rede, qual serviço mais influencia o resultado econômico ou que equipamento de uma determinada tecnologia provoca maiores oscilações dos indicadores financeiros obtidos.

Capítulo 5

Modelos de Otimização Utilizados no Planejamento Técnico

5.1. Introdução

Como observado nos capítulos anteriores, a utilização de ferramentas de apoio à decisão, bem como de algoritmos de otimização, no planejamento da rede de acesso é não só desejável como necessária em um ambiente desregulamentado e competitivo, como o setor de telecomunicações. Além da enorme quantidade de capital envolvida, a tarefa de planejamento da rede de acesso é complexa, o que por si só já seria um argumento de extrema relevância na utilização de ferramentas de suporte. Por fim, o planejamento de redes que sejam mais viáveis economicamente, se não é por si só garantia de sobrevivência nesse mercado, constitui um primeiro passo nesta direção.

A seguir são apresentados os modelos gerais de minimização de custos e de maximização de receitas, assim como sua aplicabilidade num planejamento estagiado da rede de acesso.

O modelo de minimização dimensiona a rede de modo a obter o menor custo de implantação, atendendo toda a demanda dos serviços considerados. Esta forma de planejamento foi amplamente adotada pelas empresas operadoras brasileiras no período pré-privatização. Atualmente a abordagem de maximização das receitas geradas pela rede (sem necessariamente atender a toda a demanda) tem ganhado destaque no planejamento de redes de telecomunicações. Em virtude disso, para a metodologia proposta, foi aplicada a abordagem de *Maximização de Receitas Respeitando um Limitante de Orçamento*.

Para maximizar a receita advinda da exploração dos serviços, é natural pensar que o atendimento pleno da demanda garante a máxima receita e isto é verdade. Entretanto, numa situação mais verossímil, nem sempre isso é possível, uma vez que um orçamento limitado pode não permitir a implantação de uma rede que atenda a toda a demanda. Em outras palavras, parte da demanda pode ser penalizada. O modelo de maximização de receitas procura atender seletivamente a demanda visando a configuração que proporciona a melhor receita nessas condições, sem garantir que toda a demanda seja atendida.

Nesta abordagem, o custo da rede corresponde ao investimento realizado na mesma, também chamado de custo de implantação (*Installed First Cost* – IFC). A receita pode ser totalizada em base mensal ou anual (sendo a última adotada nesse trabalho), assumindo-se que as demandas por cada serviço são perfeitamente conhecidas em cada nó da rede. Como parte da demanda apresentada pode não ser atendida, é preciso lembrar que essa parcela não se reverte em receita.

Vale lembrar ainda que os modelos detalhados para a abordagem de maximização de receita contemplando cada uma das tecnologias podem ser encontrados em [de Sousa 1999a] [de Sousa 1999b] [CPqD 1999b] [CPqD 1999e].

A seguir, os modelos.

5.2. Modelo Geral de Maximização de Receitas

O modelo matemático formulado, representado na figura 5-1, é um problema de Programação Linear Inteira Mista [Nemhauser 1988] que utiliza a abordagem nó-arco. As variáveis reais do modelo correspondem ao fluxo nos arcos, e as variáveis inteiras binárias à alocação de facilidades (equipamentos de transmissão e assinantes, cabos ópticos e metálicos, infra-estrutura) instaláveis em cada arco (ou nó) para o atendimento dos serviços.

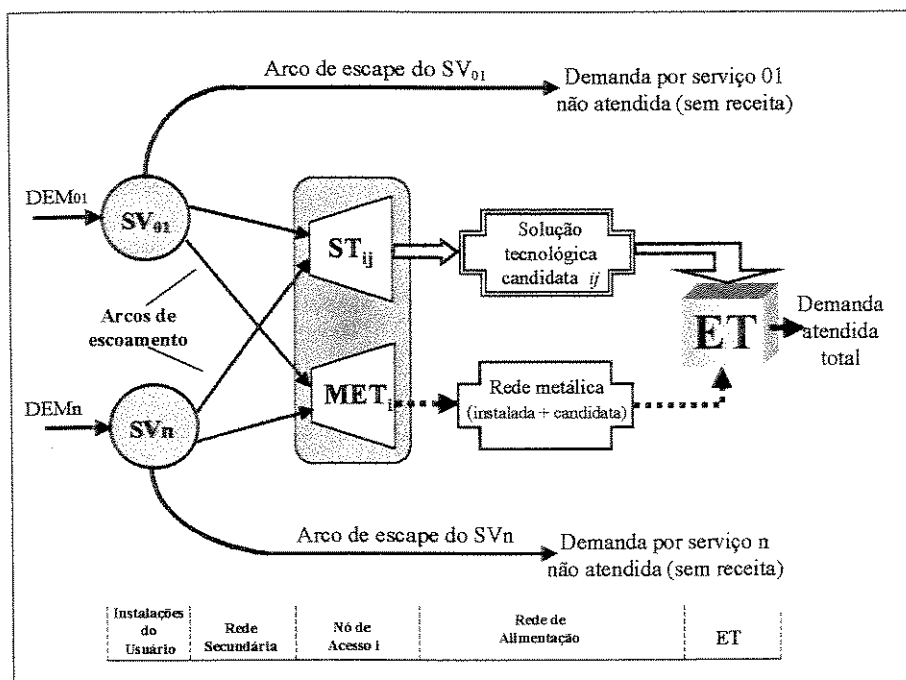


Figura 5-1: Representação em grafos do modelo geral de maximização de receita.

O modelo de otimização geral para o dimensionamento da rede de acesso apresenta a seguinte formulação:

Formulação Geral:

Maximizar Receita = Receita Total dos Serviços Oferecidos

Sujeito a:

- Restrição de Limite de Orçamento
- Restrições de Satisfação de Demanda
- Restrições Técnicas de Capacidade
- Restrições Adicionais

Modelo Matemático

As expressões matemáticas podem ser caracterizadas da seguinte forma:

Função objetivo

A função objetivo (01) maximiza a receita total dos serviços oferecidos.

$$\text{Max } R(y) = \sum_{(s,i) \in A_E} r_{si} Y_{si} \quad (01)$$

onde :

$R(y)$: receita total para os serviços oferecidos;

A_E : conjunto de arcos de escoamento;

Y_{si} : variável real associada ao fluxo de demanda escoado pelo arco $(s, i) \in A_E$;

r_{si} : receita unitária do serviço s para o nó de acesso i .

Sujeito a:

Restrição de Limite de Orçamento

A restrição de orçamento (02) assegura que a alocação e dimensionamento dos equipamentos não ultrapasse o orçamento previsto. A primeira parcela da inequação refere-se ao custo de implantação da solução tecnológica X . A segunda parcela refere-se aos custos com expansão em rede metálica. A última parcela refere-se ao custo da rede secundária para a disponibilização dos serviços.

$$\sum_{(i,j) \in A_{ST}} \sum_{n \in N_{STij}} \phi_{ij}^{X,n} \cdot X_{ijn} + \sum_{(i,j) \in A_M} \sum_{p \in C_M} \phi_{ij}^{M,n} \cdot M_{ijn} + \sum_{(s,i) \in A_E} \phi_{si} \cdot Y_{si} \leq L \quad (02)$$

Onde:

- A_{ST} : conjunto de arcos que pode receber como candidata a solução tecnológica X;
- N_{STij} : conjunto de soluções tecnológicas candidatas no arco ij;
- X_{ijn} : variável binária associada à implantação da solução tecnológica do tipo n, no arco ij. Dependendo da solução tecnológica considerada, pode haver a necessidade de se usar mais de uma variável de decisão;
- $\varphi_{ij}^{X,n}$: representa o custo associado à implantação da solução tecnológica X, do tipo n, no arco ij;
- A_M : conjunto de arcos da rede que podem receber cabos metálicos;
- C_M : conjunto de modularidades de cabos metálicos;
- M_{ijn} : variável binária associada à instalação do cabo metálico de modularidade n, no arco ij;
- $\varphi_{ij}^{M,n}$: representa o custo associado à implantação do cabo metálico M, de modularidade n, no arco ij;
- φ_{si} : representa o custo da rede secundária para a disponibilização do serviço do tipo s para o nó de acesso i;
- L : representa o limitante de orçamento.

Restrições de Satisfação de Demanda

As restrições de satisfação de demanda, (03) e (04), ocorrem em todos os nós da rede, exceto no nó de estação, por representar uma equação redundante.

$$\sum_{i \in I_A} Y_{si} + Y_{esc_s} = d_s, \quad \forall s \in I_s \quad (03)$$

$$\sum_{j \in J1} Y_{ij} - \sum_{j \in J2} Y_{ji} = 0, \quad \forall i \in I - I_s \quad (04)$$

Onde:

I : conjunto de todos os nós da rede, exceto o nó de estação;

- I_S : conjunto de nós artificiais correspondentes ao serviços;
 I_A : conjunto dos nós de acesso;
 J_1 : conjunto de nós j diretamente conectados ao nó i por arcos emanando de i para j ;
 J_2 : conjunto de nós j diretamente conectados ao nó i por arcos emanando de j para i ;
 Y_{si} : variável real associada ao fluxo de demanda escoado pelo arco (s, i) ;
 Y_{ij} : variável real associada ao fluxo de demanda escoado pelo arco (i, j) ;
 Y_{esc_s} : variável real associada ao fluxo de demanda do serviço s escoado por um arco de escape;
 d_s : demanda oferecida ao nó $s \in I_S$.

Restrições Técnicas de Capacidade

As restrições de capacidade ocorrem em cada arco da rede previsto pelo planejador (Nó de acesso - ET). As inequações (05) e (06) asseguram que a soma das capacidades dos equipamentos instalados seja superior ao fluxo escoado pelo arco.

$$\sum_{n \in N_{STij}} \text{cap}_{ij}^{X,n} \cdot X_{ijn} \geq Y_{ij} \geq 0, \quad \forall (i, j) \in A_{ST} \quad (05)$$

$$\sum_{p \in C_M} \text{cap}_{ij}^{M,p} \cdot M_{ijp} \geq Y_{ij} \geq 0, \quad \forall (i, j) \in A_M \quad (06)$$

Onde:

$\text{cap}_{ij}^{X,n}$: capacidade da solução tecnológica X do tipo n , candidata no arco ij ;

$\text{cap}_{ij}^{M,n}$: capacidade dos cabos metálicos do tipo n , candidatos (ou instalados) no arco ij .

Restrições Adicionais

As restrições adicionais estão associadas à modelagem de funcionalidades próprias de algumas soluções tecnológicas, tais como topologias e aspectos de segurança na rede. São utilizadas também no gerenciamento do atendimento dos serviços, por exemplo: restrições de atendimento mínimo e máximo (07) de um serviço em um determinado armário.

$$dmin_{sij} \leq Y_{si} + Y_{sj} \leq dmax_{sij}, \quad \forall (i, j) \in A_{M-ST} \quad (07)$$

5.3. Modelo Geral de Minimização de Custos

Na abordagem de minimização de custo tem-se como objetivo principal dimensionar a rede da forma mais barata possível para atender uma demanda fixa preestabelecida. Para que o modelo de maximização de receitas seja capaz de realizar o dimensionamento nestas circunstâncias são necessárias pequenas adaptações, mais precisamente na função objetivo e no controle de atendimento dos serviços.

Formulação Geral:

Minimizar Custo = Custo Total dos Componentes Candidatos

Sujeito a:

- *Restrições de Satisfação de Demanda*
- *Restrições Técnicas de Capacidade*
- *Restrições Adicionais*

Modelo Matemático

Função Objetivo

$$\text{Min } C(\mathbf{x}, \mathbf{m}, \mathbf{y}) = \sum_{(i,j) \in A_{ST}} \sum_{n \in N_{STij}} \varphi_{ij}^{X,n} \cdot X_{ijn} + \sum_{(i,j) \in A_M} \sum_{p \in C_M} \varphi_{ij}^{M,p} \cdot M_{ijp} + \sum_{(s,j) \in A_E} \varphi_{sj} \cdot Y_{sj} \quad (08)$$

Sujeito a:

Restrições de Satisfação de Demanda

$$\sum_{i \in I_A} Y_{si} + Y_{esc_s} = d_s, \quad \forall s \in I_s \quad (09)$$

$$\sum_{j \in J1} Y_{ij} - \sum_{j \in J2} Y_{ji} = 0, \quad \forall i \in I - I_s \quad (10)$$

Restrições Técnicas de Capacidade

$$\sum_{n \in N_{STij}} \text{cap}_{ij}^{X,n} X_{ijn} \geq Y_{ij} \geq 0, \quad \forall (i,j) \in A_{ST} \quad (11)$$

$$\sum_{p \in C_M} \text{cap}_{ij}^{M,p} M_{ijp} \geq Y_{ij} \geq 0, \quad \forall (i,j) \in A_M \quad (12)$$

Restrições Adicionais

$$\text{dmin}_{sij} \leq Y_{si} + Y_{sj} \leq \text{dmax}_{sij}, \quad \forall (i,j) \in A_{M-ST} \quad (13)$$

$$Y_{esc_s} = 0, \quad \forall s \in I_s \quad (14)$$

$$Y_{esc_s} = \text{dmax}_s - \text{dmin}_s, \quad \forall s \in I_s \quad (15)$$

Devemos observar que a função objetivo é a própria restrição de orçamento do modelo de maximização de receita. Em ambos os casos, esta expressão contabiliza o custo da rede a ser implantada. No primeiro caso, o custo é uma

restrição; no segundo, é o objetivo. As expressões (09), (10), (11), (12) e (13) são as mesmas que (02), (03), (04), (05) e (06), respectivamente. As equações (14) e (15) são excludentes. A utilização de (14) se dá quando pretende-se atender toda a demanda fornecida ao modelo, enquanto (15) é aplicada com o intuito de atender exatamente a demanda mínima prevista.

5.4. Estagiamento do Planejamento Técnico

Visto que os modelos apresentados anteriormente são estáticos, algumas considerações devem ser feitas a fim de aplicá-los a um horizonte de planejamento. No primeiro ano do período de estudo o modelo é executado livremente e fornece como saída uma certa configuração de rede. Nessa saída, geralmente, há ampliação de cabos metálicos, dutos, cabos ópticos, armários metálicos, armários ópticos, além dos equipamentos de central e de assinante.

Para executar o modelo no segundo ano do período de estudo deve-se alterá-lo a fim de que contemple as benfeitorias realizadas. Devido ao grande número de variáveis envolvidas, optou-se por fixar apenas a parte devida à evolução da infraestrutura da rede, deixando que o modelo calcule novamente a quantidade de equipamentos de central e assinante (e, eventualmente, estágios remotos) considerando a nova demanda.

Esse procedimento é necessário para evitar, por exemplo, que o modelo, ao procurar pela solução ótima do segundo ano (ou subsequentes), aloque um cabo óptico onde no primeiro ano (ou anterior) havia alocado um cabo metálico, devido ao aumento da demanda.

Consequentemente, faz-se necessário descontar o custo das facilidades já alocadas no(s) ano(s) anterior(es), caso contrário quando fossem efetuados os cálculos dos indicadores financeiros haveria distorções nos resultados. Além disso, quando considerado, deve-se levar em conta a queda nos preços dos componentes

da rede ao longo do horizonte de planejamento antes de descontar-lhes o valor do orçamento do ano seguinte.

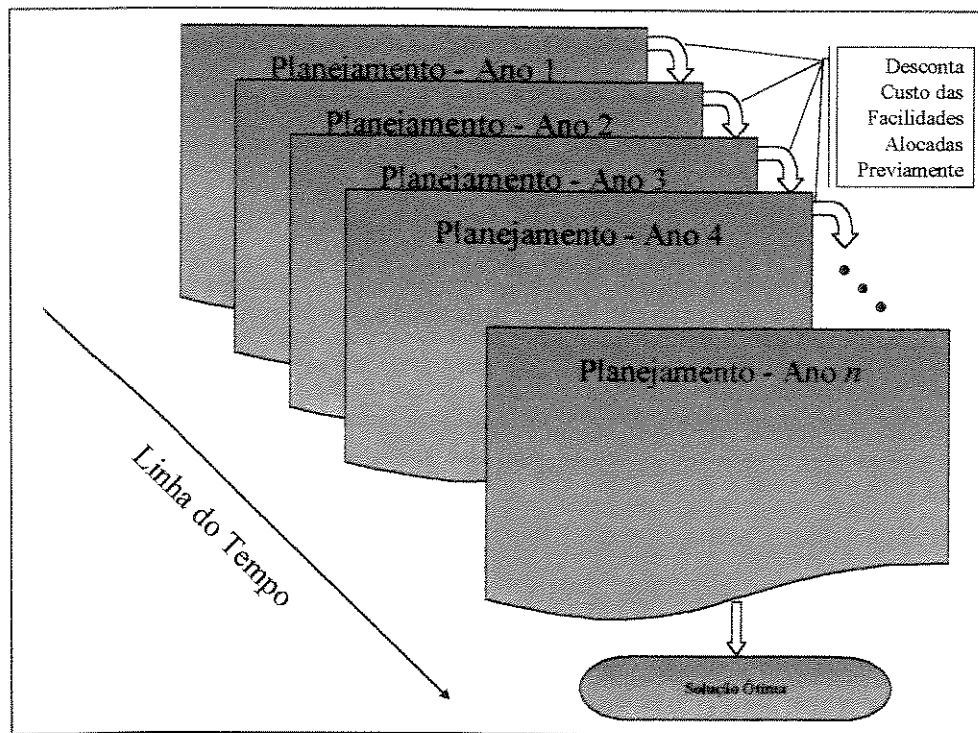


Figura 5-2: Planejamento Técnico Estagiado.

Esse procedimento deve ser realizado do segundo ano do período de estudo até o último. No caso de um horizonte de planejamento de cinco anos, por exemplo, deve-se fixar a infra-estrutura obtida no quarto ano e descontar-se o custo dos equipamentos alocados durante os quatro primeiros anos.

Existem outras maneiras de se resolver o problema do estagiamento do planejamento técnico. Dentre elas é possível destacar duas: a primeira utilizando heurísticas [Garcia 1996] e a segunda utilizando técnicas de programação dinâmica (Figura 5-3) [Nemhauser 1966]. Essa última, devido à complexidade (número de variáveis inteiras) do problema, mostra-se por enquanto infactível. Uma provável abordagem seria uma combinação de heurística e programação dinâmica.

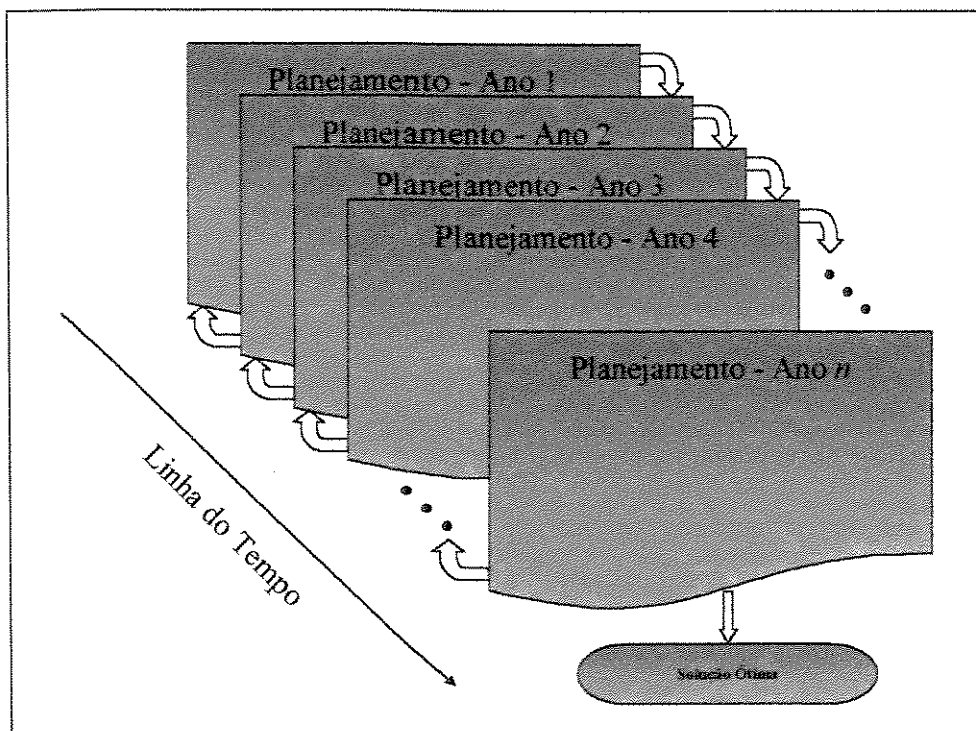


Figura 5-3: Planejamento Técnico Estagiado Utilizando Programação Dinâmica.

Capítulo 6

Aplicações da Metodologia

6.1. Introdução

Neste capítulo a metodologia proposta foi aplicada a diversos cenários com o objetivo de validá-la. As redes aqui estudadas são reais e representam Áreas de Estação de cidades brasileiras. Os dados utilizados foram fornecidos pela Fundação CPqD (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações) durante um convênio com o Departamento de Engenharia de Sistemas da Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação da UNICAMP, realizado via FUNCAMP. Os dados de serviços e equipamentos também são reais e atuais, obtidos de artigos internacionais e fabricantes de equipamentos, ou fornecidos pela Fundação CPqD.

Vale salientar que os custos dos equipamentos relacionados a cada uma delas encontram-se disponíveis no apêndice B.

Para as aplicações da metodologia foram utilizados os seguintes recursos computacionais: software ASTRA[®] v3.1 instalado em um microcomputador padrão PC com microprocessador Intel[®] 486DX2 66 MHz, 32 Mbytes de memória RAM em ambiente Microsoft[®] Windows95 no planejamento estratégico; no planejamento técnico, linguagem de programação matemática AMPL (para elaboração do modelo matemático) e o pacote de otimização CPLEX[®] (como resolvidor do problema inteiro misto), ambos instalados em um microcomputador padrão PC com microprocessador Intel[®] Pentium[®] 133 MHz, 64 Mbytes de memória RAM em ambiente Microsoft[®] Windows NT.

6.2. Cenário 1 – Residencial com Baixa Penetração de serviços BB.

Foram três os serviços considerados neste cenário [Basseto 1999]: POTS (*Plain Old Telephone Service*, ou simplesmente telefonia convencional), ISDN (*Integrated Services Digital Network*) e ASB (*Asymmetric Switched Broadband*, serviço comutado faixa larga assimétrico), os quais estão descritos na tabela 6-1, em termos da taxa requerida para transmissão ao usuário (*downstream*) e deste para a rede (*upstream*), bem como pelos valores de receita gerados pelos mesmos.

Serviços	Taxa de Transmissão		Receita Anual (US\$)
	<i>Downstream</i>	<i>upstream</i>	
POTS	64 Kbps	64 Kbps	156
ISDN	144 Kbps	144 Kbps	720
ASB	2 Mbps	64 Kbps	1920

Tabela 6-1: Descrição dos serviços considerados.

6.2.1. Dados Gerais

Em primeiro lugar, foi definido um horizonte de planejamento de dois anos, iniciando em 2000, com término no ano 2001. A rede estudada é uma área de estação de uma cidade brasileira de aproximadamente 150.000 habitantes e abrange um bairro tipicamente residencial, possuindo porém alguns assinantes comerciais de pequeno porte, e baixa densidade de assinantes. A seguir encontram-se descritas as características da rede:

- Total de assinantes em 2001: 14280;
- Densidade de assinantes em 2001: 1540 assinantes/km²;
- Número de seções de serviço: 17 (em todo horizonte de planejamento);
- Disponibilidade de dutos da rede em 2000: 50%;
- Disponibilidade de cabos metálicos da rede em 2000: 37%;
- Disponibilidade de cabos coaxiais da rede em 2000: 0%;
- Capacidade de atendimento em 2000: 8.200 assinantes POTS.

A figura 6-1 mostra a rede estudada considerando a demanda de 2.001, com a infra-estrutura atual (2.000).

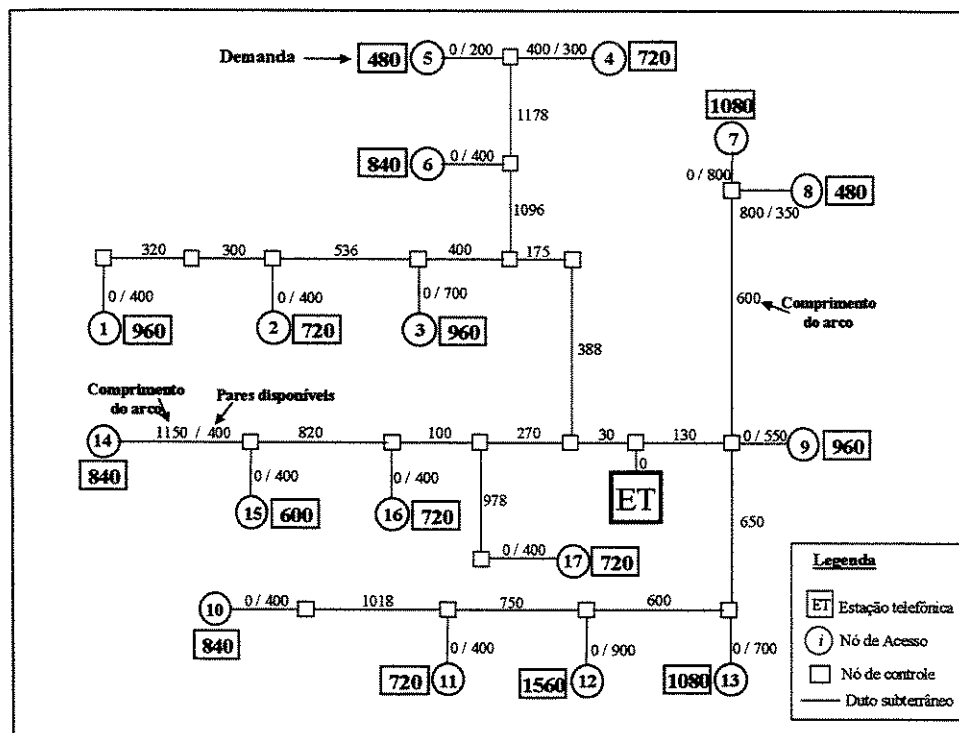


Figura 6-1: Rede considerada no estudo.

A demanda dos serviços ISDN e ASB é calculada a partir do número total de assinantes em cada nó de acesso, multiplicando-se a penetração de cada serviço pelo número total de assinantes do ano final do período de estudo (no caso, 2001). A tabela 6-2 mostra o número total de assinantes de cada nó de acesso no ano 2001, enquanto que a tabela 6-3 mostra os valores de penetração utilizados para 2000 e 2001, bem como o número de assinantes de cada serviço para cada ano.

Nó de Acesso	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Assinantes	960	720	960	720	480	840	1.080	480	960
Nó de Acesso	10	11	12	13	14	15	16	17	Total
Assinantes	840	720	1.560	1.080	840	600	720	720	14.280

Tabela 6-2: Número total de assinantes em cada Nó de Acesso em 2.001.

Serviço	Ano 2.000		Ano 2.001	
	Penetração	Demanda	Penetração	Demanda
POTS	78,7%	11.242	91%	12.979
ISDN	2%	301	3%	436
ASB	2,5%	357	6%	865

Tabela 6-3: Demandas totais de cada serviço.

Foi considerada uma queda de 10% [Olsen 1996] nos custos de equipamentos de todas as tecnologias de 2000 para 2001. Apenas os custos de dutos e cabos metálicos foram considerados constantes. Para a obtenção dos indicadores financeiros, foi utilizada uma taxa de juros de 12% ao ano, nas duas etapas do planejamento. Não foram considerados custos de operação, administração e manutenção, assim como não foi considerada a incidência de impostos sobre a receita líquida, por simplicidade.

6.2.2. Planejamento Estratégico

As tecnologias consideradas nesta aplicação foram:

- Rede metálica + modems de alta velocidade (xDSL);
- Rede Óptica Primária com equipamento SDH;
- APON Fiber-to-the-Curb (FTTC);
- Hybrid-Fiber-Coax (HFC).

Nesta etapa do planejamento, foi utilizado o software ASTRA®, que lança mão de um modelo simplificado da rede, considerada simétrica, não sendo portanto feitas distinções entre os armários de distribuição da rede. Além disso, os cálculos de comprimentos de dutos, subdutos e cabos são realizados em função de um modelo geométrico [Salerno 1996] [Baldi 1997] [ASTRA 1998], baseado na densidade de assinantes da região analisada. Ademais, a ASTRA® aloca cabos, dutos e subdutos apenas uma vez, no primeiro ano do período de estudo. Porém, a quantidade de equipamentos é alocada ano a ano, de acordo com a variação de demanda da rede.

Finalmente, cada solução tecnológica é considerada individualmente, não havendo competição entre tecnologias.

Os resultados obtidos para as quatro opções tecnológicas são mostrados nas tabelas 6-4 e 6-5. Como nesta etapa não há maximização de receitas, os estudos realizados supõem atendimento total da demanda, o que fornece o mesmo valor de receita para todas as tecnologias, a saber: US\$ 2.653.500 em 2000 e US\$ 3.980.820 em 2001.

Tecnologia	Investimentos (US\$)	
	2000	2001
xDSL	1.454.396	1.116.020
FTTC	1.572.656	598.866
ROP	1.687.826	1.162.392
HFC	2.527.505	574.001

Tabela 6-4: Investimentos anuais para as tecnologias considerados.

Indicadores Financeiros	Tecnologias			
	xDSL	FTTC	ROP	HFC
Valor Presente Líquido (US\$)	3.756.962	4.100.446	3.482.128	3.167.798
Investimento por Usuário (US\$)	171,63	147,57	190,87	212,89
Retorno sobre Investimento	153%	195%	128%	104%

Tabela 6-5: Indicadores financeiros.

Analisando os indicadores acima, pode-se concluir que as tecnologias mais atrativas economicamente são a xDSL e a APON-FTTC. Isso se deve principalmente às características do cenário estudado, ou seja, da ausência de rede coaxial e do nível de detalhe com que cada tecnologia foi modelada. Desse modo, a tecnologia HFC foi especialmente penalizada nos estudos realizados. As tecnologias xDSL e APON-FTTC serão selecionadas para a próxima etapa do planejamento.

6.2.3. Planejamento Técnico

Nesta etapa, as tecnologias selecionadas anteriormente são confrontadas visando-se obter a melhor configuração de rede. Visto que aqui o objetivo é a

maximização de receitas considerando um determinado orçamento, deve-se fixar demandas mínimas a serem atendidas pela rede para cada serviço.

Esse procedimento é necessário a fim de garantir um determinado nível de atendimento, uma vez que as demandas dos serviços são seletivamente atendidas sob o critério das receitas que produzem. Uma possibilidade seria fixar, por exemplo, o atendimento de telefonia visando o cumprimento de contrato de privatização. No estudo realizado, as demandas mínimas de atendimento de cada serviço encontram-se na tabela 6-6.

Serviço	Porcentagem do Total	Assinantes 2.000	Assinantes 2.001
POTS	95 %	10.688	12.339
ISDN	55 %	173	250
ASB	80 %	294	701
Total		11.155	13.290

Tabela 6-6: Atendimento mínimo de cada serviço.

O modelo de otimização adotado é capaz de tratar várias tecnologias simultaneamente, que competem objetivando a maximização das receitas. Portanto, a rede obtida como resultado pode ser constituída de uma combinação dessas tecnologias.

Tendo em vista que o modelo de minimização de custos forneceu como resultado US\$ 1.336.050, foi fixado o orçamento para 2000 em US\$ 1.250.000, ou seja, foi considerada queda de aproximadamente 7%. Assim, obteve-se a expansão da rede mostrada na figura 6-2, cuja receita resultante foi de US\$ 2.499.040.

Devido à limitação orçamentária, todos os serviços foram penalizados, como mostra a tabela 6-7.

Demanda Não Atendida	
POTS	125
ISDN	128
ASB	23

Tabela 6-7: Demanda não atendida em 2000.

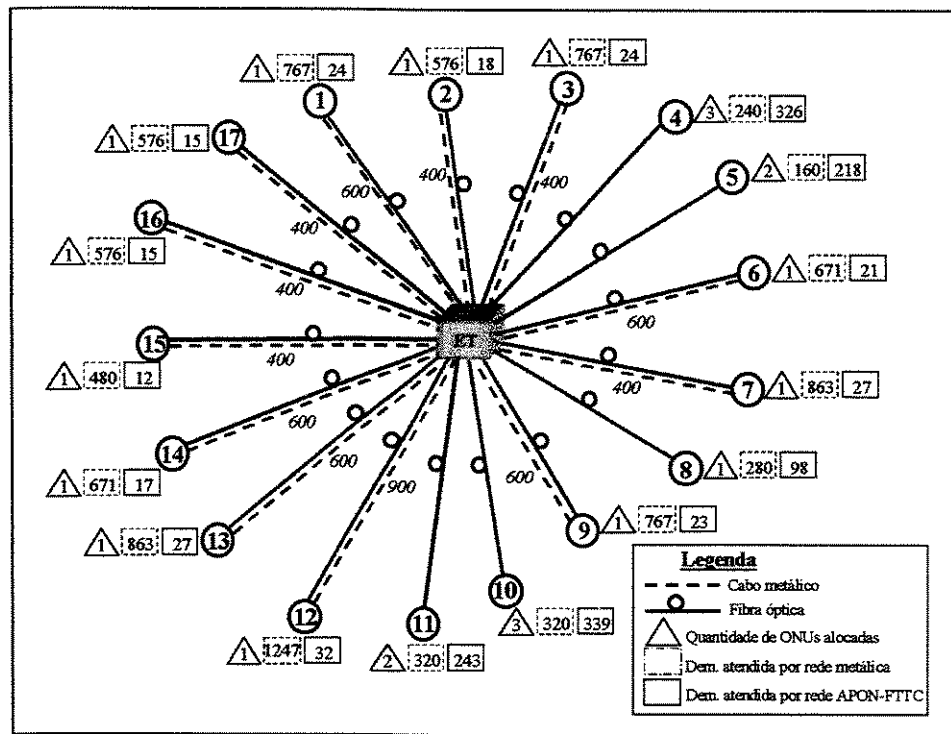


Figura 6-2: Expansão da rede para 2000.

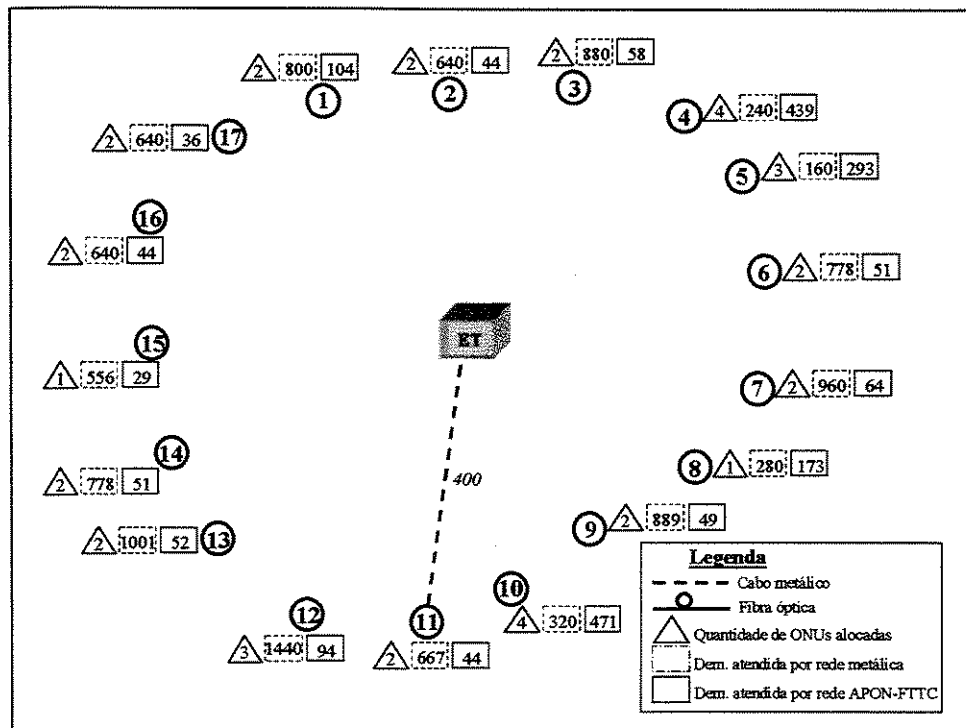


Figura 6-3: Expansão da rede para 2001.

Fixando para o ano 2001 um orçamento de US\$ 421.500, obteve-se a expansão da rede mostrada na figura 6-3, cuja receita gerada foi de US\$ 3.747.550. Mais uma vez devido à limitação de orçamento, todos os serviços foram penalizados, como mostra a tabela 6-8.

Demanda Não Atendida	
POTS	291
ISDN	186
ASB	37

Tabela 6-8: Demanda não atendida em 2001.

A tabela 6-9 resume a participação de cada tecnologia no atendimento dos serviços em cada ano do período de estudo.

Ano	Rede Metálica + xDSL			Rede APON-FTTC		
	POTS	ISDN	ASB	POTS	ISDN	ASB
2.000	9.971	173	0	1.146	0	333
2.001	11.419	250	0	1.269	0	827

Tabela 6-9: Participação de cada tecnologia no atendimento dos serviços.

Por fim, a tabela 6-10 mostra os resultados obtidos no planejamento técnico.

Solução Mista xDSL + APON	2000	2001
Receitas (US\$)	2.499.040	3.747.550
Investimentos (US\$)	1.250.000	421.500
Valor Presente Líquido (US\$)	4.218.728	
Investimento por Usuário (US\$)	118,15	
Retorno sobre Investimento	259%	

Tabela 6-10: Resultados econômicos do planejamento técnico.

6.2.4. Análise dos Resultados Obtidos no Cenário 1

A tabela 6-11 condensa os resultados obtidos nas duas etapas do planejamento.

Indicadores Financeiros	Planejamento Estratégico		Planejamento Técnico
	xDSL	FTTC	Mista (otimizada)
Receitas Atualizadas (US\$)	6.207.804	6.207.804	5.845.067
Investimentos Atualizados (US\$)	2.450.842	2.107.358	1.626.339
Valor Presente Líquido (US\$)	3.756.962	4.100.446	4.218.728
Investimento por Usuário (US\$)	171,63	147,57	118,15
Retorno sobre Investimento	153%	195%	259%

Tabela 6-11: Sumário dos resultados econômicos do cenário 1.

Como pode ser observado na tabela acima, houve uma sensível melhora em todos os indicadores financeiros obtidos no planejamento técnico, em relação ao planejamento estratégico. De fato, o orçamento mais enxuto fez com que as demandas fossem penalizadas, porém a perda de receita decorrente foi compensada pelo melhor aproveitamento dos recursos investidos, como é claramente visto no indicador *Retorno sobre Investimento*. Além disso, o investimento por usuário da rede otimizada é sensivelmente menor, o que é interessante quando se leva em conta as incertezas sobre os níveis de penetração dos serviços oferecidos. Em outras palavras, na rede otimizada gasta-se menos para atender a um novo usuário, o que torna essa solução menos sensível à variações nas penetrações dos serviços, diminuindo-se dessa forma o risco sobre o capital investido.

6.3. Cenário 2 – Residencial com 2 Serviços Faixa-larga.

Este cenário é apenas ligeiramente diferente do anterior, visto que nele foi acrescentado um serviço faixa larga simétrico com baixa penetração, mantendo-se inalterados os demais dados de entrada. A razão para isso é simular a entrada de um novo serviço em uma mesma região (tipicamente residencial) e verificar como isso afeta o desempenho econômico da rede em geral.

6.3.1. Dados Gerais

Foi definido, novamente, um horizonte de planejamento de dois anos, iniciando em 2.000, com término no ano 2.001. A rede estudada é a mesma do

cenário anterior, abrangendo um bairro tipicamente residencial, possuindo porém alguns assinantes comerciais de pequeno porte, e baixa densidade de assinantes. As demais características da rede são as mesmas do cenário anterior.

Como dito acima, foram quatro os serviços considerados neste cenário: POTS, ISDN, ASB e SSB (*Symmetric Switched Broadband* ou serviço comutado faixa larga simétrico), os quais estão descritos na tabela 6-12, em termos da taxa de transmissão *downstream* e *upstream*, bem como do valor de receita anual de cada serviço, que é o mesmo tanto para 2.000 como para 2.001.

Serviços	Taxa de Transmissão		Receita Anual (US\$)
	<i>Downstream</i>	<i>Upstream</i>	
POTS	64 Kbps	64 Kbps	156
ISDN	144 Kbps	144 Kbps	720
ASB	2 Mbps	64 Kbps	1.920
SSB	2 Mbps	2 Mbps	3.600

Tabela 6-12: Descrição dos serviços considerados no cenário 2.

A demanda dos serviços ISDN, ASB e SSB é calculada multiplicando-se a penetração de cada serviço pelo número total de assinantes do ano final do período de estudo (no caso, 2.001). A tabela 6-13 mostra o número total de assinantes de cada nó de acesso no ano 2.001, enquanto que a tabela 6-14 mostra os valores de penetração utilizados para 2.000 e 2.001, bem como o número de assinantes de cada serviço para cada ano.

Assim como no cenário anterior foi considerada uma queda de 10% nos custos de equipamentos de todas as tecnologias do primeiro para o segundo ano (excetuando-se os custos de dutos e cabos metálicos, considerados constantes), e taxa de juros de 12% ao ano, em ambas as etapas do planejamento. Por simplicidade, não foram considerados custos de OA&M, assim como não foi considerada a incidência de impostos sobre a receita líquida.

Nó de Acesso	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Assinantes	960	720	960	720	480	840	1.080	480	960
Nó de Acesso	10	11	12	13	14	15	16	17	Total
Assinantes	840	720	1.560	1.080	840	600	720	720	14.280

Tabela 6-13: Número total de assinantes em cada Nó de Acesso em 2.001.

Serviço	Ano 2.000		Ano 2.001	
	Penetração	Demanda	Penetração	Demanda
POTS	76,3%	10.896	87%	12.423
ISDN	2,5%	357	5%	714
ASB	2%	286	3%	428
SSB	2,5%	357	5%	714

Tabela 6-14: Demandas totais de cada serviço.

6.3.2. Planejamento Estratégico

Assumiu-se que a evolução da rede para o atendimento dos novos serviços pode ocorrer através das mesmas tecnologias candidatas no cenário anterior:

- Rede metálica + modems de alta velocidade (xDSL);
- Rede Óptica Primária;
- Fiber-to-the-Curb (FTTC);
- Hybrid-Fiber-Coax (HFC).

Os resultados obtidos para as quatro tecnologias analisadas são mostrados nas tabelas 6-15 e 6-16. Como nesta etapa os estudos supõem atendimento total da demanda, o mesmo valor de receita é encontrado para todos os cenários, US\$3.791.136 em 2.000 e US\$ 5.844.228 em 2.001.

Tecnologia	Investimentos (US\$)	
	2.000	2.001
xDSL	2.084.167	1.071.462
FTTC	1.778.231	700.719
ROP	2.325.438	1.457.638
HFC	2.825.327	640.247

Tabela 6-15: Investimentos anuais para as tecnologias consideradas.

Indicadores Financeiros	Tecnologias			
	xDSL	FTTC	ROP	HFC
Valor Presente Líquido (US\$)	5.968.367	6.605.324	5.382.296	5.612.221
Investimento por Usuário (US\$)	212,96	168,35	254,00	237,90
Retorno sobre Investimento	196%	275%	148%	165%

Tabela 6-16: Indicadores financeiros.

Analisando os indicadores financeiros acima, pode-se concluir que as tecnologias mais viáveis são, novamente, xDSL e a FTTC. Isso se deve, mais uma vez, às características do cenário estudado, ou seja, da ausência de rede coaxial e do nível de detalhe com que cada tecnologia foi modelada. Com isso, as tecnologias ROP e HFC foram penalizadas nos estudos realizados. As tecnologias xDSL e APON-FTTC serão selecionadas para a próxima etapa do planejamento.

6.3.3. Planejamento Técnico

Novamente, visto que o orçamento é limitado, não há garantia de atendimento total da demanda de todos os serviços. Portanto as demandas mínimas de atendimento foram fixadas de acordo com a tabela 6-17.

Serviço	Porcentagem do Total	Assinantes 2.000	Assinantes 2.001
POTS	90 %	9.811	11.183
ISDN	50 %	182	357
ASB	50 %	151	222
SSB	50 %	182	357
Total		10.326	12.119

Tabela 6-17: Atendimento mínimo de cada serviço.

O modelo de minimização de custos forneceu o resultado de US\$ 1.596.700 para o ano 2000. Considerando queda de 20%, o orçamento para 2000 foi aproximado para US\$1.280.000. Assim, obtivemos a evolução da rede mostrada na figura 6-4. A receita resultante foi de US\$ 2.972.980. Devido à limitação orçamentária, todos os serviços foram penalizados, como mostra a tabela 6-18.

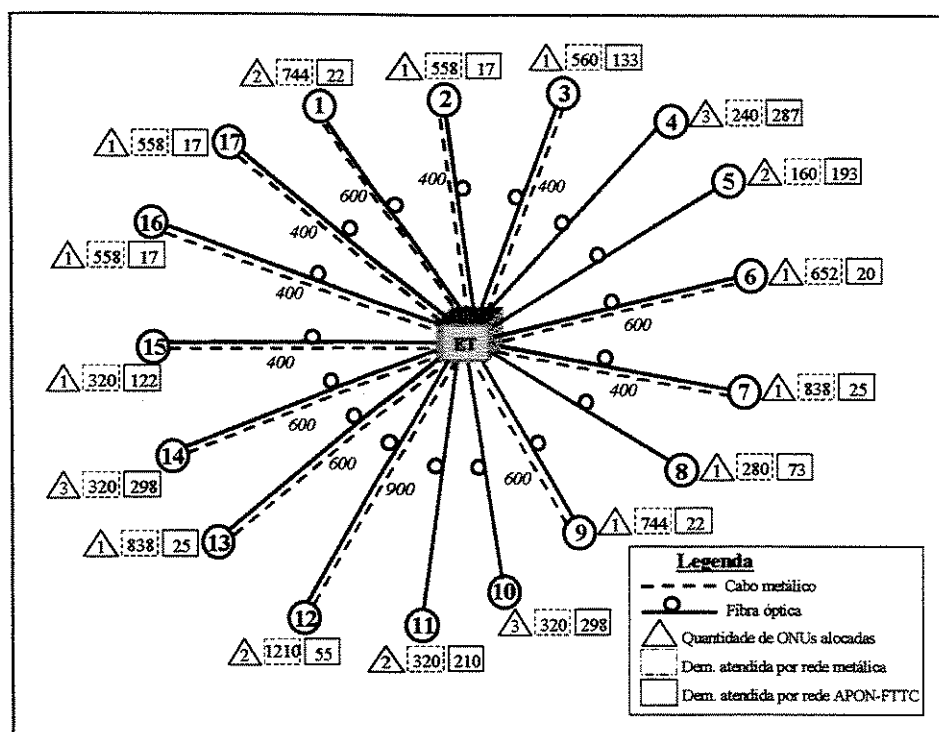


Figura 6-4: Expansão da rede para 2000.

O modelo de minimização de custos forneceu para o ano 2001 o resultado de US\$ 647.360, Considerando para o ano 2001 um orçamento de US\$ 672.000, obteve-se a expansão da rede mostrada na figura 6-5. A receita gerada pela nova rede foi de US\$ 5.594.160. Mais uma vez devido à limitação de orçamento, todos os serviços foram penalizados, com exceção do serviço SSB, como mostra a tabela 6-18. De fato, o serviço SSB é o de maior receita unitária. Assim, seu atendimento é privilegiado, principalmente no ano 2001, em que parte da infra-estrutura já foi instalada.

Demanda Não Atendida	2.000	2.001
POTS	426	298
ISDN	175	281
ASB	143	8
SSB	102	0

Tabela 6-18: Demanda não atendida.

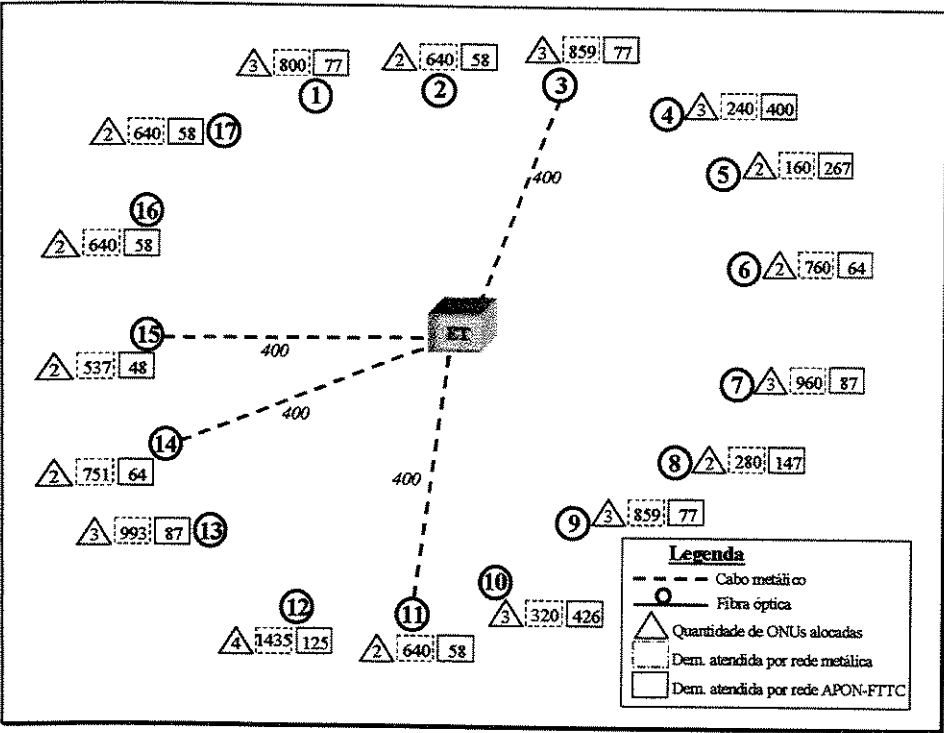


Figura 6-5: Expansão da rede para 2001.

A tabela 6-19 resume a participação de cada tecnologia no atendimento dos serviços em cada ano do período de estudo. Devemos observar que, tanto em 2.000 como em 2.001, o atendimento dos serviços faixa-larga (ASB e SSB) é realizado pela rede óptica, pois a modularidade dos equipamento torna-os atraentes para os serviços de maior receita. O serviço POTS é preferível ao ISDN pois é mais rentável e exige menor banda de transmissão. Por esse motivo, a demanda não atendida do serviço ISDN é proporcionalmente maior que as demais.

Ano	Rede Metálica + xDSL				Rede APON-FTTC			
	POTS	ISDN	ASB	SSB	POTS	ISDN	ASB	SSB
2.000	9.038	182	0	0	1.428	0	151	255
2.001	11.082	433	0	0	1.036	0	428	714

Tabela 6-19: Participação de cada tecnologia no atendimento dos serviços.

A figura 6-5 apresenta a expansão prevista para 2001, tanto em cabos (no caso, somente metálicos) como em equipamentos ópticos (ONU's). É possível observar que, nos nós da rede em que não houve adição de cabos, quase todo o

aumento de demanda foi absorvido pela rede óptica. Naqueles nós em que houve expansão metálica, toda a demanda por serviços faixa-larga foi atendida pela rede óptica e o serviço POTS migrou para a rede metálica, a fim de aproveitar melhor o orçamento (o custo de oferecer o serviço POTS é maior na APON). Além disso, No nó 14 observa-se que houve diminuição de uma ONU em relação ao ano anterior. Isso se deve à entrada de cabo metálico no nó e portanto torna-se mais atrativo financeiramente atender à demanda por meio de par metálico do que por equipamento óptico. Visto que a quantidade de ONU's aumentou do primeiro para o segundo ano, pode-se entender esse fato como um remanejamento desse equipamento para outro nó.

Finalmente, a tabela 6-20 mostra os resultados financeiros obtidos no planejamento técnico.

Solução Mista xDSL + APON	2.000	2.001
Receitas (US\$)	2.972.980	5.594.160
Investimentos (US\$)	1.280.000	672.000
Valor Presente Líquido (US\$)	6.087.766	
Investimento por Usuário (US\$)	131,65	
Retorno sobre Investimento	324%	

Tabela 6-20: Resultados econômicos do planejamento técnico.

6.3.4. Análise dos Resultados Obtidos no Cenário 2

A tabela 6-21 condensa os resultados financeiros obtidos nas duas etapas do planejamento.

Indicadores Financeiros	Planejamento Estratégico		Planejamento Técnico
	xDSL	FTTC	Mista (otimizada)
Receitas Atualizadas (US\$)	9.009.197	9.009.197	7.967.766
Investimentos Atualizados (US\$)	3.040.830	2.403.873	1.880.000
Valor Presente Líquido (US\$)	5.968.367	6.605.324	6.087.766
Investimento por Usuário (US\$)	212,96	168,35	131,65
Retorno sobre Investimento	196%	275%	324%

Tabela 6-21: Sumário dos resultados econômicos do cenário 2.

Como pode ser observado na tabela acima, assim como no cenário anterior, houve sensível melhora em todos indicadores financeiros obtidos na etapa do planejamento técnico, com exceção do valor presente líquido.

Como mostra a tabela, houve uma perda de receita de aproximadamente US\$ 1 milhão (em vista da perda por parte dos serviços penalizados) ao passo que foi economizado apenas em torno de US\$ 500.000 (em relação à solução mais barata), em função do limite orçamentário. Isso se deve ao fato de que o modelo de otimização adotado no planejamento técnico procura a solução que maximiza as receitas geradas pela rede e não o lucro fornecido pela mesma. Ou seja, pode-se afirmar que existem outras soluções que gerem maior lucro, porém para o orçamento considerado, a solução obtida é a que maior receita fornece¹.

Além disso, verifica-se que a entrada do serviço SSB, mesmo com baixa penetração, causou um aumento substancial nas receitas geradas pela rede em relação ao cenário anterior. De fato esse serviço é tão rentável que foi o único não penalizado no atendimento. Isso porque, uma vez instalada a infra-estrutura necessária, o atendimento desse serviço se resume à instalação dos *line-cards* (US\$350,00), ao passo que cada usuário gera uma receita anual de US\$ 3.600,00, o que torna o atendimento de SSB privilegiado.

Por fim, analogamente ao cenário anterior, o indicador *Retorno sobre Investimento* teve uma sensível melhora em relação aos mesmos índices obtidos no planejamento estratégico, ao passo que o investimento por usuário caiu significativamente, o que indica que a rede obtida é menos sensível à penetração dos serviços, o que representa menor risco sobre o capital a ser investido, visto que

¹ Isso é questionável, visto que a obtenção de uma rede mais lucrativa a princípio parece ser mais interessante (e o é, a curto prazo), porém no longo prazo (ou seja, quando a rede já está totalmente paga) uma rede que gere uma receita maior, renderá mais capital.

muitas vezes os níveis de penetração são incertos, seja por absoluta falta de dados referentes a novos serviços, seja por falta de histórico estatístico dos serviços existentes.

6.4. Cenário 3 – Região Central.

Neste cenário [Basseto 2000] foi analisada a rede de uma área de estação de região central de uma cidade de aproximadamente 500.000 habitantes. Os usuários dessa região se dividem em aproximadamente 50% de assinantes comerciais e 50% de assinantes residenciais, distribuídos numa região com alta densidade de assinantes.

6.4.1. Dados Gerais

Um horizonte de planejamento de dois anos é mais uma vez definido, com início em 2000. A seguir encontram-se descritas algumas características da rede.

- Total de assinantes em 2001: 27.610;
- Densidade de assinantes em 2001: 20.000 assinantes/km²;
- Número de seções de serviço: 16 (em todo horizonte de planejamento);
- Disponibilidade de dutos da rede em 2000: 98%;
- Disponibilidade de cabos metálicos da rede em 2000: 70%;
- Disponibilidade de cabos coaxiais da rede em 2000: 0%;
- Capacidade de atendimento em 2000: 19.510 assinantes POTS.

A figura 6-6 mostra a rede estudada considerando a demanda final (2001) com a infra-estrutura atual (2000).

Os serviços considerados foram os mesmos do cenário 2, quais sejam, POTS, ISDN, ASB e SSB, descritos na tabela 6-12. A demanda por esses serviços é

calculada da mesma maneira que nos cenários anteriores. A tabela 6-22 mostra o número de usuários de cada nó de acesso no ano 2001, enquanto que a tabela 6-23 mostra os valores de penetração utilizados para 2000 e 2001, bem como o número de assinantes de cada serviço para cada ano.

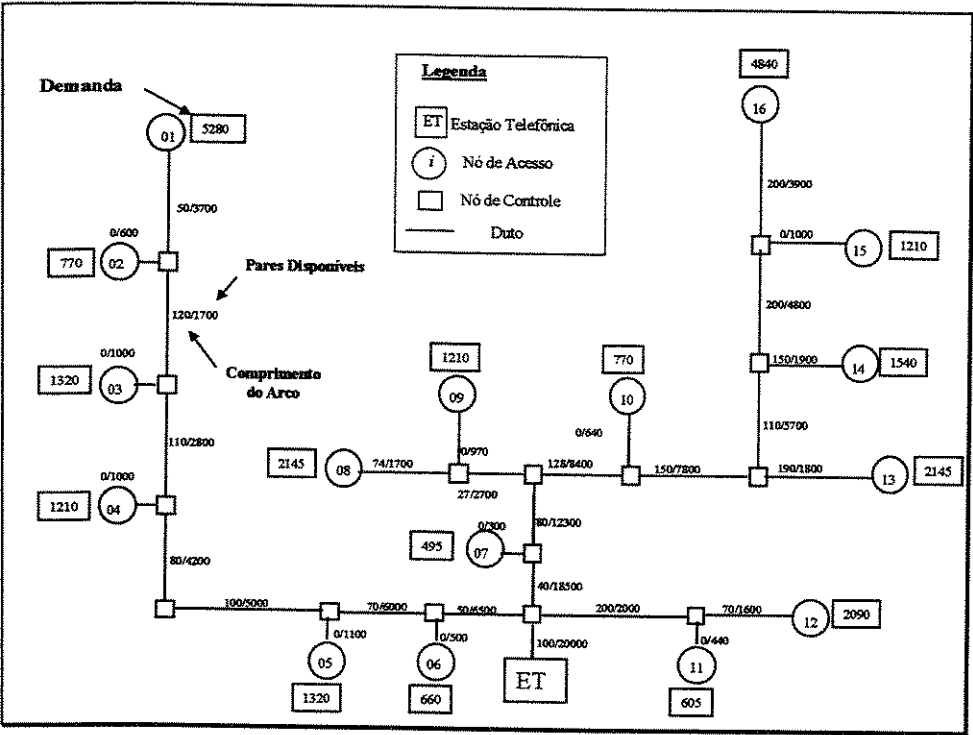


Figura 6-6: Rede Considerada no cenário 3.

Nó de acesso	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Assinantes	5.280	770	1.320	1.210	1.320	660	495	2.145	1.210
Nó de acesso	10	11	12	13	14	15	16	Total	
Assinantes	770	605	2.090	2.145	1.540	1.210	4.840	27.610	

Tabela 6-22: Número total de assinantes em cada nó de acesso no ano 2001.

Serviços	Ano 2000		Ano 2001	
	Penetração	Demanda	Penetração	Demanda
POTS	85%	23.557	90%	24.826
ISDN	2,5%	698	5%	1.386
ASB	2%	560	3%	838
SSB	1%	285	2%	560

Tabela 6-23: Demanda total de cada serviço.

Mais uma vez foi considerada queda de 10% no custo dos equipamentos para todas tecnologias (exceto para custo de dutos e cabos metálicos e coaxiais). Para obter os indicadores financeiros considerou-se uma taxa de juros de 12% ao ano em todo o período de estudo. Novamente por simplicidade, custos de OA&M não foram considerados, nem a incidência de impostos sobre a receita bruta.

6.4.2. Planejamento Estratégico

Como nos cenários anteriores, foi assumido que a evolução da rede pode se dar por meio das tecnologias:

- Rede metálica + modems de alta velocidade (xDSL);
- Rede Óptica Primária com equipamento SDH;
- APON Fiber-to-the-Curb (FTTC);
- Hybrid-Fiber-Coax (HFC).

Os resultados obtidos para essa etapa do planejamento podem ser vistos nas tabelas 6-24 e 6-25. Visto que nessa etapa não há maximização de receitas e o atendimento da demanda é total, o valor da receita gerada pela rede é o mesmo para as quatro opções tecnológicas: US\$6.225.912 em 2000 e US\$8.448.504 em 2001.

Tecnologia	Investimentos (US\$)	
	2000	2001
xDSL	2.178.088	1.329.315
FTTC	1.957.162	868.419
ROP	2.802.720	1.735.975
HFC	4.363.712	735.320

Tabela 6-24: Investimentos anuais para as tecnologias consideradas.

Indicadores Financeiros	Tecnologias			
	xDSL	FTTC	ROP	HFC
Valor Presente Líquido (US\$)	10.404.243	11.036.683	9.416.521	8.748.972
Investimento por Usuário (US\$)	121,85	98,95	157,62	181,79
Retorno sobre Investimento	309,19%	403,90%	216,34%	174,27%

Tabela 6-25: Indicadores financeiros.

Analisando os indicadores financeiros acima, pode-se concluir que, mais uma vez, as tecnologias mais viáveis economicamente são xDSL and APON-FTTC. Isso se deve, novamente, às características do cenário estudado, ou seja, da ausência de rede coaxial e do nível de detalhe com que cada tecnologia foi modelada. Desse modo, as tecnologias ROP e HFC foram penalizadas nos estudos realizados. As tecnologias xDSL e APON-FTTC serão selecionadas para a próxima etapa do planejamento.

6.4.3. Planejamento Técnico

Nesta etapa, as tecnologias previamente selecionadas são comparadas a fim de obter-se a melhor configuração de rede. Em outras palavras, o algoritmo procura uma solução que é um “blend” das tecnologias selecionadas. O que determinará a proporção destas na solução ótima serão as qualidades de cada uma (no sentido econômico) no atendimento dos serviços. Visto por essa perspectiva, as tecnologias selecionadas competem pela demanda.

Neste cenário, as demandas mínimas a serem atendidas estão especificadas na tabela 6-26.

Serviço	Porcentagem Total	Assinantes em 2000	Assinantes em 2001
POTS	90 %	21.201	22.343
ISDN	50 %	349	693
ASB	50 %	280	419
SSB	75 %	214	420
Total		22.044	23.875

Tabela 6-26: Atendimento mínimo de cada serviço.

O modelo de minimização de custos forneceu o resultado de US\$ 1.506.540. Considerando queda de 25%, o orçamento para o ano 2000 foi de US\$1.129.760. A expansão de rede obtida está mostrada na figura 6-7. A receita gerada pela nova rede foi de US\$5.387.230. Devido à restrição orçamentária, todos serviços, exceto

POTS, foram penalizados, como mostrado na tabela 6-27. De fato, este serviço é atendido pela capacidade ociosa dos novos cabos metálicos instalados.

Demanda não atendida	2000	2001
POTS	0	3
ISDN	344	354
ASB	275	8
SSB	32	0

Tabela 6-27: Demanda não atendida.

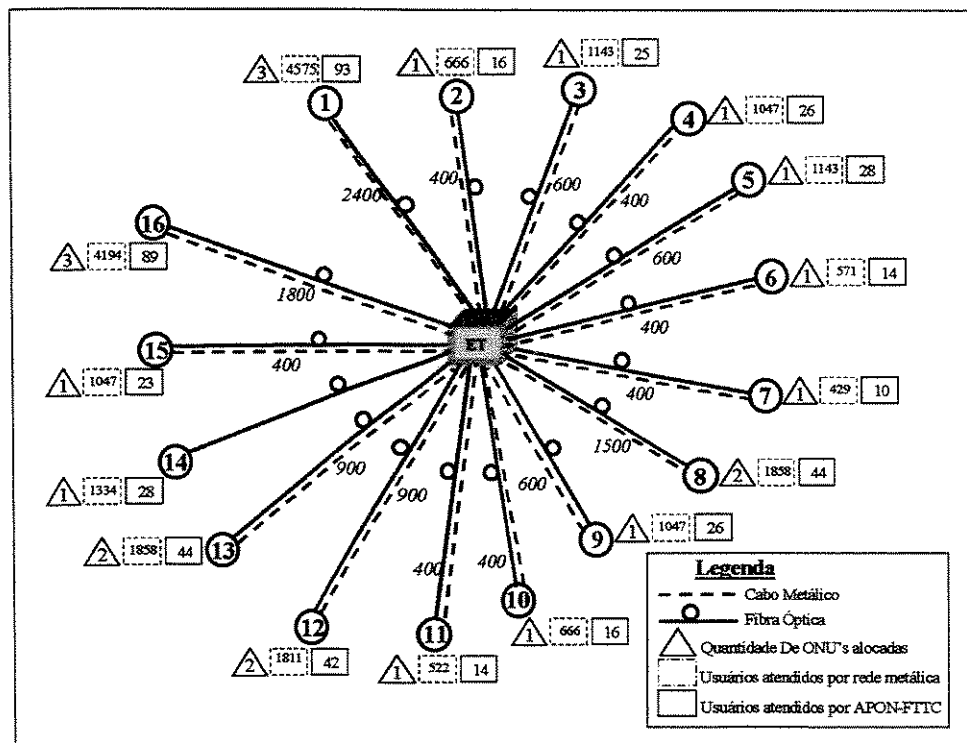


Figura 6-7: Expansão da rede para o ano 2000.

Para o ano 2001, o modelo de minimização forneceu o valor de US\$670.000. Considerando novamente queda de 25%, adotou-se o orçamento de US\$ 502.500 para o ano 2001. A expansão de rede obtida está mostrada na figura 6-8². A receita gerada pela nova rede foi de US\$8.225.210. Devido mais uma vez à limitação orçamentária, todos serviços foram penalizados, excetuando-se o serviço SSB, como

² Deve-se observar que, embora não tenha havido alocação de cabos, houve aumento na quantidade de equipamentos.

visto na tabela 6-27. De fato, o serviço SSB é o de maior receita por usuário, como já visto, e portanto tem seu atendimento privilegiado, principalmente no ano 2001, quando parte da rede já está instalada, seja infra-estrutura, seja equipamentos modulares.

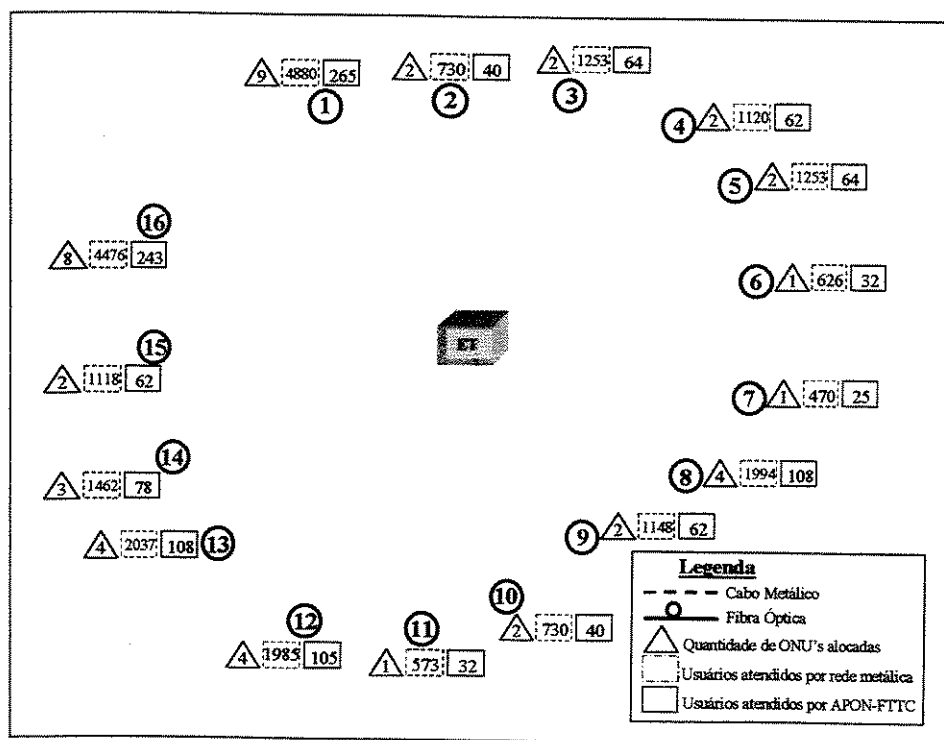


Figura 6-8: Expansão da rede para o ano 2001.

A tabela 6-28 resume a participação de cada tecnologia no atendimento dos serviços para cada ano do período de estudo. É importante notar que, tanto em 2000 quanto em 2001, a rede óptica realiza o atendimento dos serviços faixa larga (ASB e SSB), pois a modularidade do equipamento utilizado nestes casos torna-os atrativos aos serviços de maior receita.

Ano	Rede metálica + xDSL				Rede APON-FTTC			
	POTS	ISDN	ASB	SSB	POTS	ISDN	ASB	SSB
2000	23.557	354	0	0	0	0	285	253
2001	24.823	1032	0	0	0	0	830	560

Tabela 6-28: Participação de cada tecnologia no atendimento dos serviços.

Finalmente, a tabela 6-29 mostra os resultados financeiros obtidos no planejamento técnico.

Solução Mista xDSL + APON	2000	2001
Receitas (US\$)	5.387.230	8.225.210
Investimentos (US\$)	1.129.760	502.500
Valor Presente Líquido (US\$)	11.152.747	
Investimento por Usuário (US\$)	57,93	
Retorno sobre Investimento	707%	

Tabela 6-29: Resultados econômicos do planejamento técnico.

6.4.4. Análise dos Resultados Obtidos no Cenário 3

A tabela 6-30 condensa os resultados financeiros obtidos nas das etapas do planejamento do cenário 3.

Indicadores Financeiros	Planejamento Estratégico		Planejamento Técnico
	xDSL	FTTC	Mista (otimizada)
Receitas Atualizadas (US\$)	13.769.219	13.769.219	12.731.168
Investimentos Atualizados (US\$)	3.364.976	2.732.536	1.578.421
Valor Presente Líquido (US\$)	10.404.243	11.036.683	11.152.747
Investimento por Usuário (US\$)	121,85	98,95	57,93
Retorno sobre Investimento	309%	404%	707%

Tabela 6-30: Sumário dos resultados econômicos do cenário 3.

Observa-se que todos os indicadores financeiros do planejamento técnico (exceto receita) foram muito melhores em relação aos do planejamento estratégico. Os investimentos são da ordem de metade das soluções não otimizadas, ao passo que a receita gerada é cerca de 7% menor o que leva ao sensível aumento do indicador *Retorno sobre Investimento*. Além disso, o elevado número de usuários associado ao investimento total reduzido leva a um investimento por usuário pequeno. Isso se deve ao fato da região analisada ser densamente povoada, e portanto, os enlaces são pequenos. Em virtude disso o custo de atendimento é quase todo devido a equipamentos alocados na rede.

6.5. Comentários

Como pôde ser observado, o resultado do planejamento técnico (solução otimizada), representa um refinamento do que se obteve, para cada tecnologia, no planejamento estratégico.

O investimento é menor em todos os cenários, posto que foi considerada uma limitação orçamentária. Essa limitação inviabiliza o atendimento de toda a demanda, o que torna menor o valor da receita atualizada obtido no planejamento técnico. Porém, o compromisso entre investimento e receita é mais favorável na solução otimizada, como mostra o indicador “Retorno sobre o Investimento”, para todos os cenários analisados.

Um dos motivos que levam à melhora dos indicadores no planejamento técnico é que, na etapa do planejamento estratégico, o modelo simplificado de rede conduz à superestimativa dos custos de instalação de cabos, dutos e subdutos na rede, enquanto que no planejamento técnico a rede é modelada de maneira mais fidedigna à rede real, levando portanto à resultados melhores.

Outro motivo que deve ser destacado: no planejamento estratégico não há competição entre as tecnologias que atenderão aos serviços na nova rede de aceso. Desse modo, uma única tecnologia é utilizada no atendimento de todos os usuários de todos os serviços. De modo contrário, no planejamento técnico as tecnologias selecionadas no planejamento estratégico são comparadas de modo a se obter a melhor configuração de rede. Em outras palavras, o algoritmo procura por uma solução que pode ser (e nos cenários analisados, foi) um “*blend*” das tecnologias selecionadas, ou seja, uma solução mista. O que determina a proporção de cada uma delas são suas qualidades para atender ao conjunto de serviços oferecido. Visto por essa perspectiva, as tecnologias selecionadas no planejamento estratégico competem entre si pela demanda no planejamento técnico.

Outro aspecto que deve ser observado é que em todos os cenários analisados os serviços faixa-larga foram atendidos por rede APON-FTTC, ao passo que os serviços faixa-estreita foram atendidos por rede metálica. Além disso, os serviços faixa-larga foram os menos penalizados pela limitação orçamentária. Isto se explica devido à alta rentabilidade dos mesmos, visto que geram receitas muito expressivas. O motivo destes serviços serem atendidos única e exclusivamente por rede óptica é o custo: é mais barato instalar equipamentos modulares como uma ONU e seus respectivos *line-cards* (esse conjunto atende a 32 usuários faixa-larga e custa US\$12.225,00) do que instalar modems casados na Estação Telefônica e no usuário, que demandaria um custo de US\$ 64.000,00 para atender os mesmos 32 assinantes.

Deve-se observar ainda que, no cenário 2, o valor presente líquido da rede otimizada caiu em relação ao valor obtido no planejamento estratégico porque o modelo de otimização adotado no planejamento técnico procura a solução que maximiza as receitas geradas pela rede e não o lucro fornecido pela mesma. Portanto pode-se afirmar que existem soluções que podem gerar maior lucro, porém para o orçamento considerado, a solução obtida é a que maior receita fornece. Se a curto prazo parece vantajoso instalar uma rede que gere maior lucro o mesmo não se repete a longo prazo. Uma vez que a rede está paga, e vai continuar gerando receitas por anos, é melhor, economicamente, obter uma rede que forneça receitas maiores.

Além disso, em todos os cenários analisados, o investimento por usuário caiu significativamente do planejamento estratégico para o técnico, o que indica que a rede obtida é menos sensível à penetração dos serviços. Isto representa menor risco sobre o capital a ser investido, visto que muitas vezes os níveis de penetração são incertos, seja por absoluta falta de dados referentes a serviços nunca antes implementados, seja por falta de histórico estatístico dos serviços existentes, seja por sigilo de informações por parte de empresas operadoras concorrentes.

Por fim, em todos os cenários estudados, as tecnologias mais atrativas economicamente foram a linha digital de assinante (xDSL) e a rede óptica passiva (APON-FTTC). Deve-se ressaltar que esses resultados decorrem do modo como as tecnologias foram modeladas e das características das redes estudadas, mais especificamente a ausência de qualquer rede coaxial contrastando à grande quantidade de cabos metálicos disponível.

Capítulo 7

Análise de Sensibilidade

7.1. Introdução

Uma das funcionalidades da ferramenta ASTRA® utilizada nas aplicações da metodologia foi a análise de sensibilidade. Lançando mão desse recurso é possível determinar o comportamento das saídas em função da variação em um ou mais dados de entrada.

Neste capítulo encontram-se os resultados da análise de sensibilidade. Os dados de entrada foram variados e as variações nos indicadores financeiros foram analisadas, procurando-se desta forma determinar quais parâmetros são mais significativos no problema e, conseqüentemente, qual a maior fonte de risco sobre o investimento realizado nos diversos cenários, considerando-se todas as tecnologias candidatas no planejamento estratégico.

7.2. Análise de Sensibilidade do Cenário 1

Nesta seção estão descritos os resultados referentes ao Cenário 1 (maiores detalhes sobre o cenário, v. item 6.2).

7.2.1. Linha Digital de Assinante

As saídas que sofreram maior variação foram plotadas nos gráficos 1 e 2. Como pode ser observado, essa opção tecnológica é muito dependente dos níveis de penetração do serviço POTS, assim como de sua receita unitária, ao ponto de 10% de aumento tanto na penetração como na receita desse serviço causar um aumento de aproximadamente 10% no valor presente líquido da rede.

Analogamente, uma queda de 10% nos níveis de penetração do serviço POTS leva a uma queda de aproximadamente 10% no valor presente líquido da rede. A mesma análise vale para queda nas receitas de POTS. Isso decorre do fato de o custo de atendimento desse serviço nessa tecnologia ser extremamente baixo.

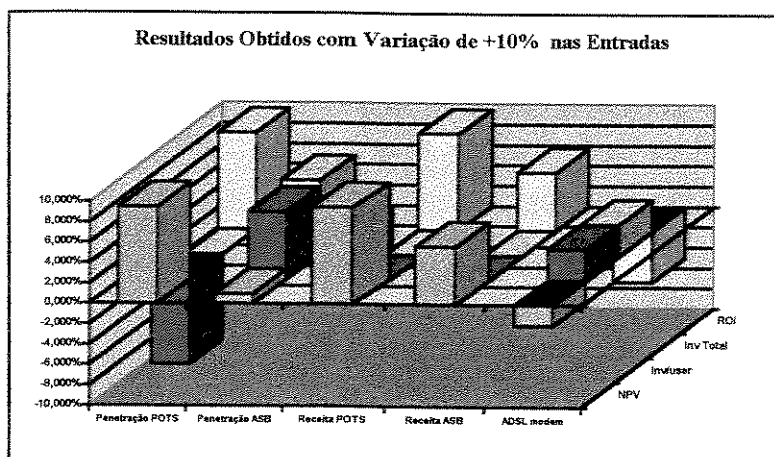


Gráfico 7-1: Variação dos Indicadores Financeiros para Variação de +10% nas entradas, tecnologia xDSL.

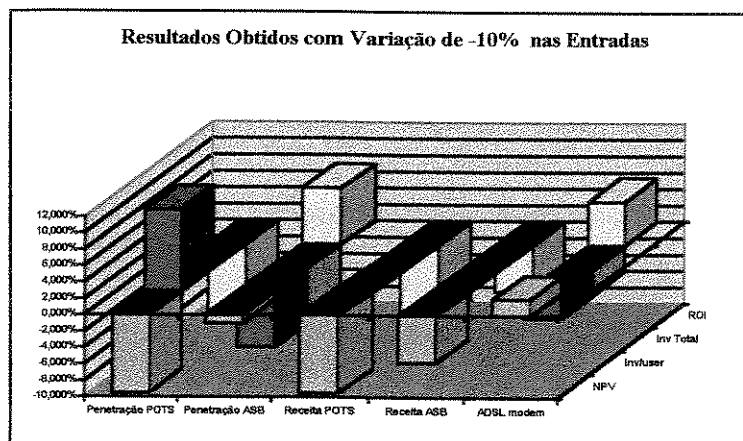


Gráfico 7-2: Variação dos Indicadores Financeiros para Variação de -10% nas entradas, tecnologia xDSL.

Em menor proporção esse efeito se verifica também em relação à receita do serviço ASB. Com relação à penetração do serviço ASB, visto que o custo dos modems ADSL é elevado, um aumento na sua penetração acarreta aumento no investimento total, assim como o investimento por usuário, o que leva a um aumento menor do valor presente líquido. De fato, partindo da penetração final do serviço ASB

de 6%, um aumento de 10% leva a uma penetração de 6,6%, enquanto que o valor presente líquido da rede aumentou menos de 1%.

Por fim, o único componente cujo custo se mostra relevante ao desempenho dessa tecnologia é o de modem ADSL. Pelos gráficos pode-se observar que uma variação de 10% no custo desse componente faz com que o valor presente líquido da rede varie cerca de 2%.

7.2.2. Rede Óptica Primária (ROP)

As saídas que sofreram maior variação foram plotadas nos gráficos 3 e 4. Como pode ser observado, essa opção tecnológica é muito dependente dos níveis de penetração do serviço POTS, bem como de sua receita. Porém o resultado mais importante aqui é o fato de que o aumento de 10% na penetração do serviço ASB resultou na queda de mais de 10% no valor presente líquido da rede, ao passo que o investimento total e por usuário tiveram acréscimo da ordem de 20%.

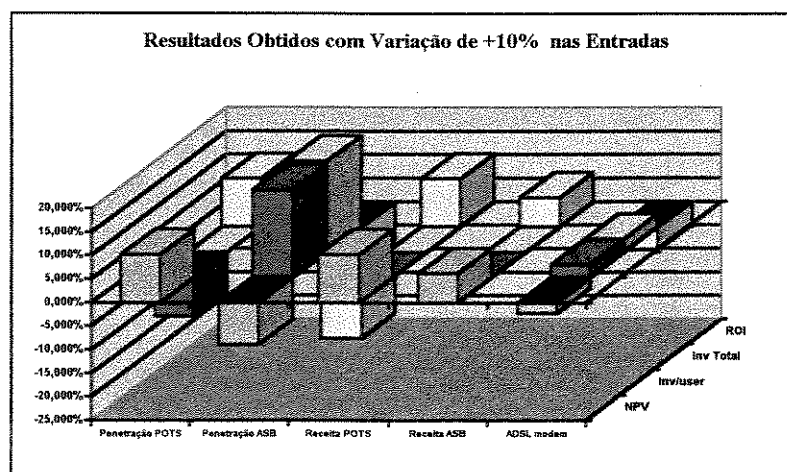


Gráfico 7-3: Variação dos Indicadores Financeiros para Variação de +10% nas entradas, tecnologia ROP.

Isso ocorre pois, diferentemente da tecnologia anterior, onde a ligação usuário-central é fim-a-fim através de modems ADSL, aqui é necessário alocar OLTM's nos armários de distribuição. Visto que a banda requerida pelo serviço ASB

é larga, a capacidade destes OLTN's se esgota rapidamente com o aumento da penetração de ASB, sendo necessário alocar novos equipamentos a fim de suprir a demanda. É possível concluir, portanto, que essa tecnologia é muito sensível à penetração do serviço ASB, para esse cenário.

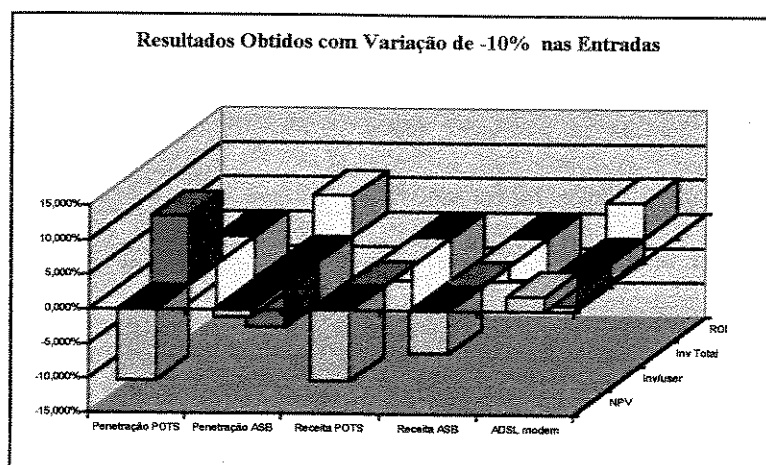


Gráfico 7-4: Variação dos Indicadores Financeiros para Variação de -10% nas entradas, tecnologia ROP.

7.2.3. APON-FTTC

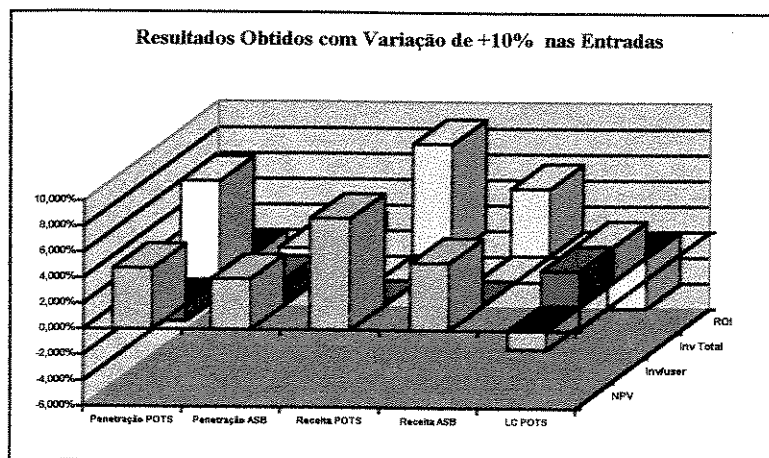


Gráfico 7-5: Variação dos Indicadores Financeiros para Variação de +10% nas entradas, tecnologia APON-FTTC.

As saídas que sofreram maior variação foram plotadas nos gráficos 5 e 6. Como pode ser observado, essa opção tecnológica ainda é dependente dos níveis

de penetração do serviço POTS, bem como de sua receita. Porém, visto que o atendimento do serviço POTS agora requer instalação de equipamentos (o que não acontecia para as duas tecnologias anteriores), o aumento do valor presente líquido da rede é menor se comparado aos casos anteriores. Mesmo assim essa tecnologia é a mais robusta em relação à penetração dos serviços quando comparada às tecnologias xDSL e ROP, devido principalmente à modularidade dos equipamentos utilizados. Em outras palavras, o custo é pulverizado entre os usuários.

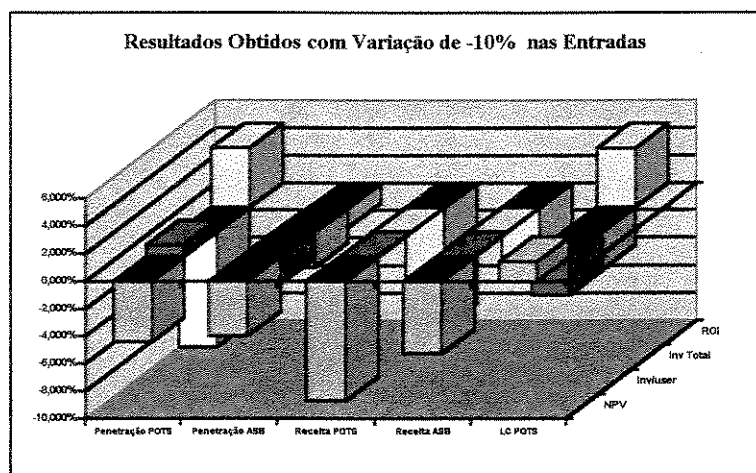


Gráfico 7-6: Variação dos Indicadores Financeiros para Variação de -10% nas entradas, tecnologia APON-FTTC.

7.2.4. Hybrid Fiber-coax

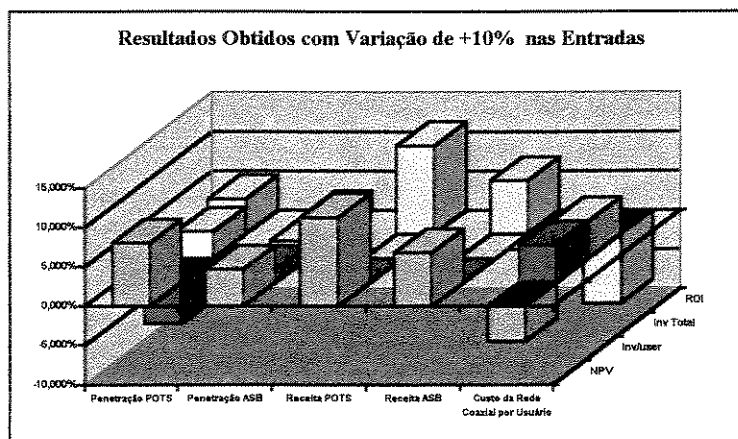


Gráfico 7-7: Variação dos Indicadores Financeiros para Variação de +10% nas entradas, tecnologia HFC.

Assim como no caso anterior, o efeito da penetração do serviço POTS não é tão intenso como o é para as tecnologias xDSL e ROP (v. gráficos 7 e 8), pelo mesmo motivo verificado na tecnologia APON, ou seja, alocação de equipamentos a fim de atender ao serviço de telefonia. Além disso, o custo da rede coaxial por usuário afeta significativamente os resultados econômicos dessa tecnologia (quase 5%), para esse cenário.

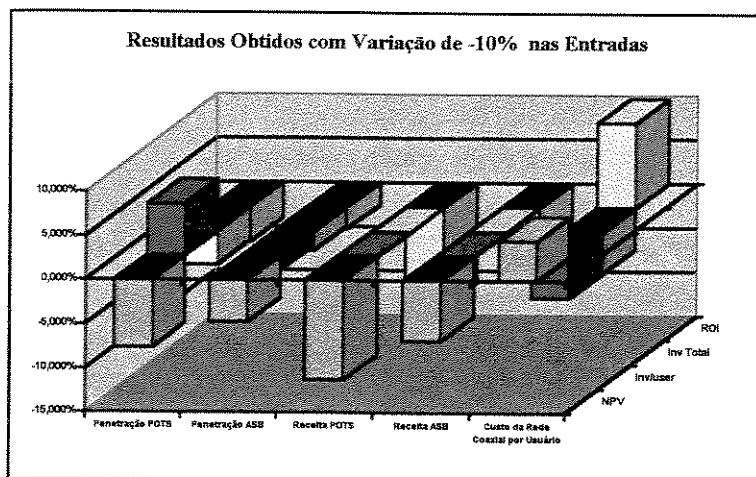


Gráfico 7-8: Variação dos Indicadores Financeiros para Variação de -10% nas entradas, tecnologia HFC.

7.3. Análise de Sensibilidade do Cenário 2

Nesta seção estão descritos os resultados referentes ao Cenário 2 (maiores detalhes sobre o cenário, v. item 6.3).

7.3.1. Linha Digital de Assinante

Assim como no cenário 1, a tecnologia xDSL continua sensível à penetração do serviço POTS, porém nesse cenário com menor intensidade que no anterior. Aqui as receitas dos serviços POTS e SSB influem muito nos resultados da rede (gráficos 9 e 10). Além disso um resultado que chama a atenção é o retorno sobre investimento apresentar queda de 0,36% para aumento de 10% na penetração do

serviço SSB ao mesmo tempo em que o valor presente líquido da rede aumentou 3,8%.

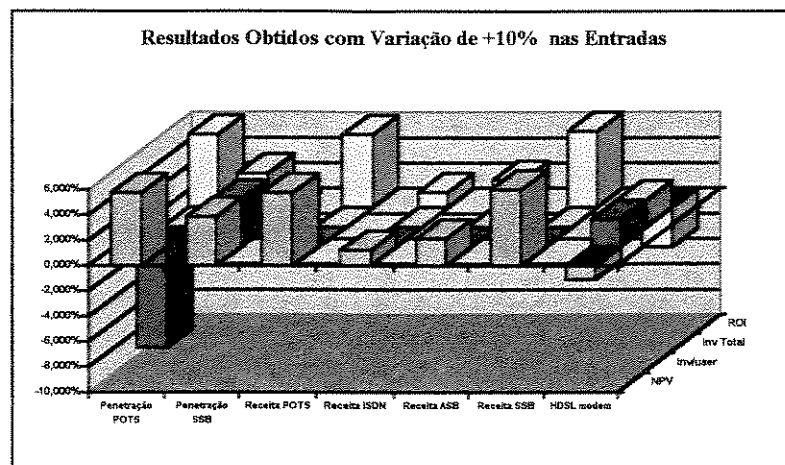


Gráfico 7-9: Variação dos Indicadores Financeiros para Variação de +10% nas entradas, tecnologia xDSL.

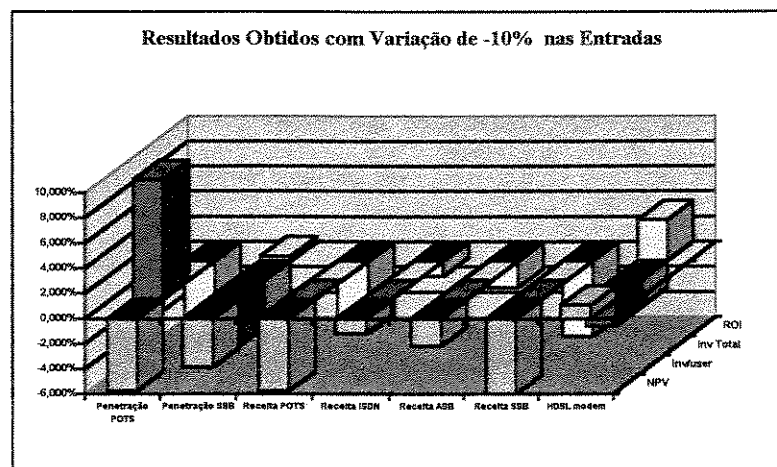


Gráfico 7-10: Variação dos Indicadores Financeiros com Variação de -10% nas entradas, tecnologia xDSL.

Isso ocorre porque esse serviço, apesar de muito rentável, requer a instalação de um par de modems HDSL na rede para cada usuário (ao custo de US\$ 1.000,00 cada), além do par metálico disponível, e portanto sua alocação aumenta o valor da rede. Porém a relação receitas/investimentos diminui em relação ao nível original, uma vez que os investimentos são de grande soma. Já o mesmo aumento na penetração de POTS causa aumento no indicador ROI, uma vez que o investimento

necessário para atender um usuário de telefonia é pequeno comparado à receita gerada.

7.3.2. Rede Óptica Primária (ROP)

Os gráficos 11 e 12 mostram as variações das principais saídas em função das variações das entradas. Tais resultados são similares aos obtidos no caso anterior.

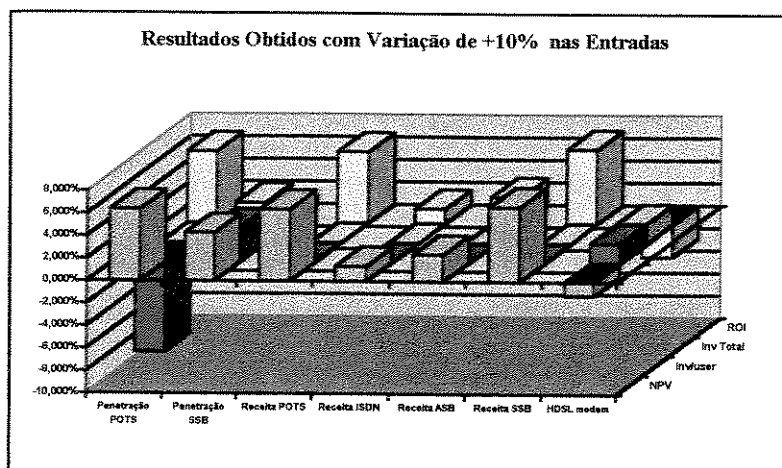


Gráfico 7-11: Variação dos Indicadores Financeiros para Variação de +10% nas entradas, tecnologia ROP.

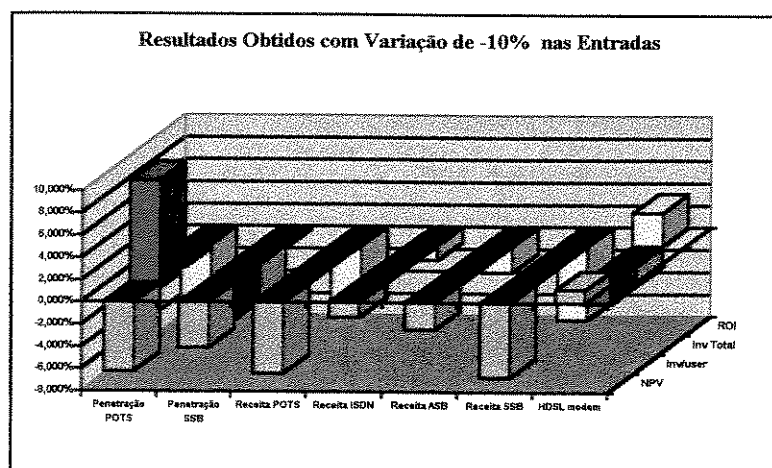


Gráfico 7-12: Variação dos Indicadores Financeiros para Variação de -10% nas entradas, tecnologia ROP.

7.3.3. APON-FTTC

Esse caso é análogo ao do cenário 1, com a diferença de que aqui o custo do LC POTS se mostrou irrelevante para a rede estudada. As saídas relevantes encontram-se nos gráficos 13 e 14, onde se pode observar que a penetração de POTS não influencia tanto os resultados econômicos da rede como o faz nas tecnologias xDSL e ROP.

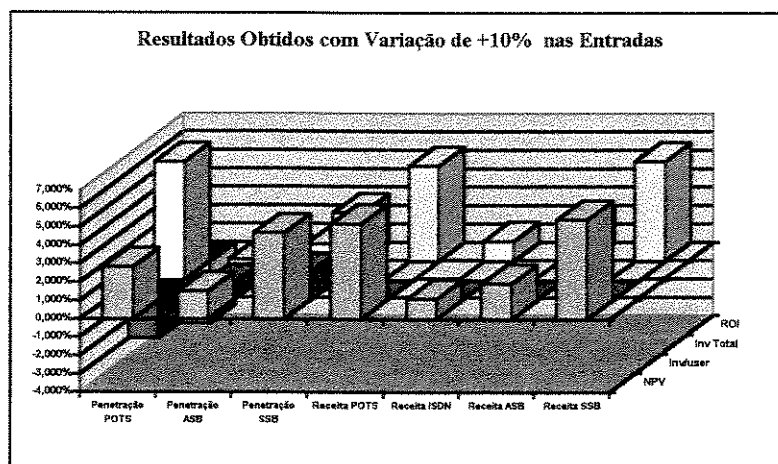


Gráfico 7-13: Variação dos Indicadores Financeiros para Variação de 10% nas entradas, tecnologia APON-FTTC.

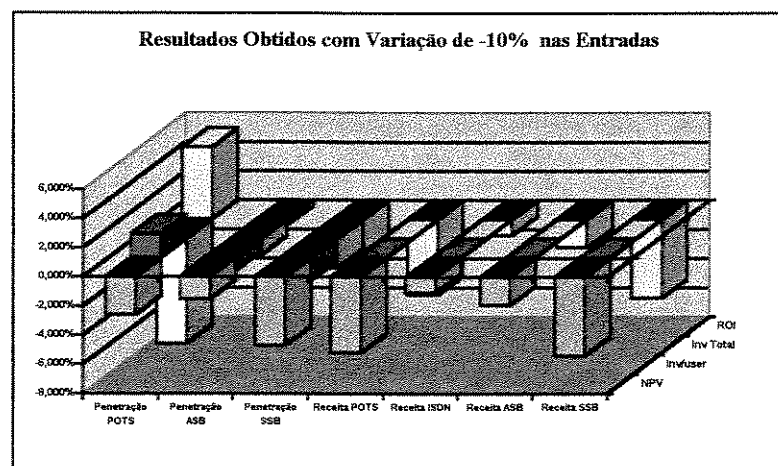


Gráfico 7-14: Variação dos Indicadores Financeiros para Variação de -10% nas entradas, tecnologia APON-FTTC.

Além disso, como se verificou, os custos de componentes não influenciam significativamente os resultados da rede pois não há equipamentos de custo elevado no usuário¹. Ao invés disso, as receitas dos diversos serviços oferecidos exercem maior influência no desempenho econômico da rede.

7.3.4. Hybrid Fiber-coax

Os gráficos 15 e 16 mostram as saídas obtidas para a tecnologia HFC no cenário 2. Como pode ser observado, dos quatro serviços oferecidos apenas o serviço ISDN não exerce influência significativa sobre a rede estudada. Pode-se observar que o custo da rede coaxial por usuário influencia menos a rede nesse cenário que no cenário 1. Isto porque o número de usuários em ambos é idêntico (e portanto o custo total da rede coaxial permanece inalterado), ao passo que o valor presente líquido desta rede é maior que o daquela e portanto a parcela de custo devida à rede coaxial diminui. Pode-se observar também que aumentando-se a penetração do serviço POTS aumenta-se o investimento total. Porém, o investimento por usuário cai, uma vez que a receita gerada pela nova demanda é maior que o custo de seu atendimento.

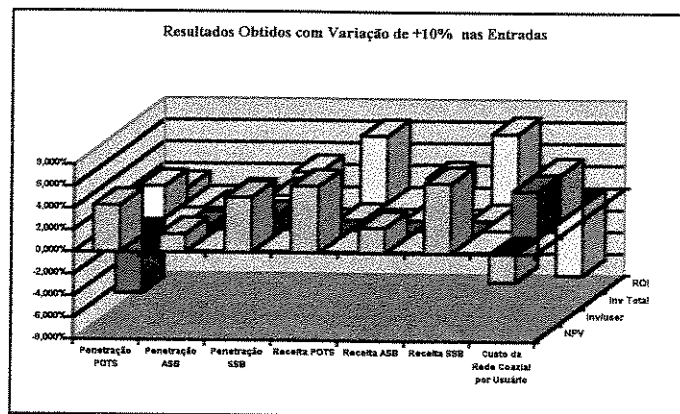


Gráfico 7-15: Variação dos Indicadores Financeiros para Variação de +10% nas entradas, tecnologia HFC.

¹ Nas aplicações realizadas verificou-se que equipamentos localizados na estação (ou estágios remotos, armários de distribuição) têm seu custo diluído entre os usuários da rede que se encontram depois deles (ou seja, usuários). Os componentes que sensibilizam a rede são justamente aqueles de custo elevado nas dependências do usuário, como modems ADSL e HDSL.

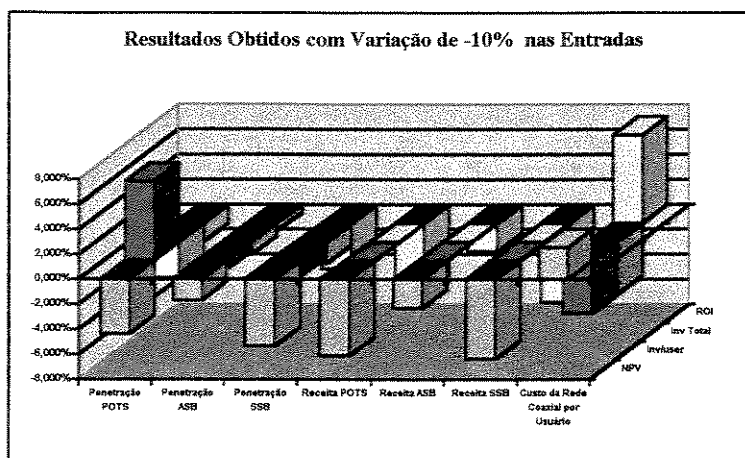


Gráfico 7-16: Variação dos Indicadores Financeiros para Variação de -10% nas entradas, tecnologia HFC.

7.4. Análise de Sensibilidade do Cenário 3

Nesta seção estão descritos os resultados referentes ao Cenário 3 (maiores detalhes sobre o cenário, v. item 6.4).

7.4.1. Linha Digital de Assinante

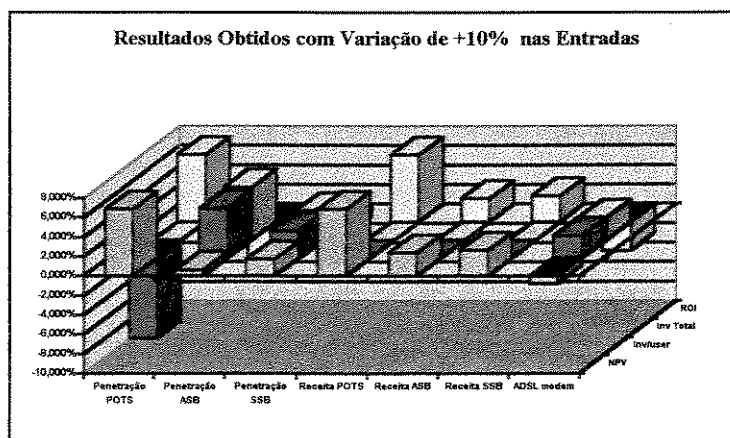


Gráfico 7-17: Variação dos Indicadores Financeiros para Variação de +10% nas entradas, tecnologia xDSL.

Similarmente ao que ocorreu nos cenários anteriores, os gráficos 17 e 18 mostram que para este cenário a tecnologia xDSL é sensível às penetrações do

serviço POTS e dos serviços faixa-larga, assim como às receitas dos mesmos, com destaque à penetração do serviço de telefonia. Além disso, mais uma vez percebe-se que o único componente que influencia os indicadores financeiros da rede é o modem ADSL, com menos de 1% de variação do valor presente líquido.

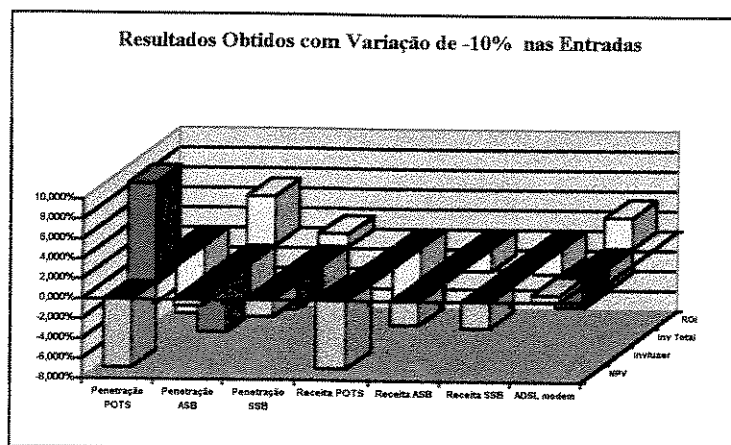


Gráfico 7-18: Variação dos Indicadores Financeiros com Variação de -10% nas entradas, tecnologia xDSL.

7.4.2. Rede Óptica Primária (ROP)

Análogos aos resultados obtidos para a tecnologia ROP nos cenários 1 e 2, os indicadores financeiros variaram em maior escala em função da penetração e receita do serviço POTS, seguidos pelas receitas dos serviços faixa-larga (gráficos 19 e 20). Além disso, pode-se notar que o valor presente líquido da rede diminui em função da variação de penetração do serviço ASB. Uma vez que o cenário em questão apresenta número elevado de usuários, aumentar a penetração de ASB faz com que a capacidade dos equipamentos nos armários de distribuição se esgote rapidamente, obrigando a alocação de grande quantidade de equipamentos nesses pontos da rede, o que aumenta os investimentos na rede, diminuindo o valor presente líquido. Por outro lado, diminuir a penetração do referido serviço em 10% causa uma queda significativa nas receitas geradas pela rede, o que também leva à diminuição do valor presente líquido da rede.

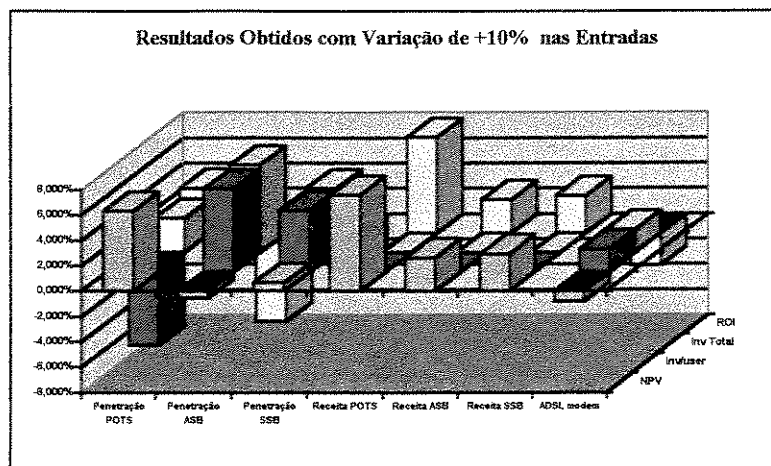


Gráfico 7-19: Variação dos Indicadores Financeiros para Variação de +10% nas entradas, tecnologia ROP.

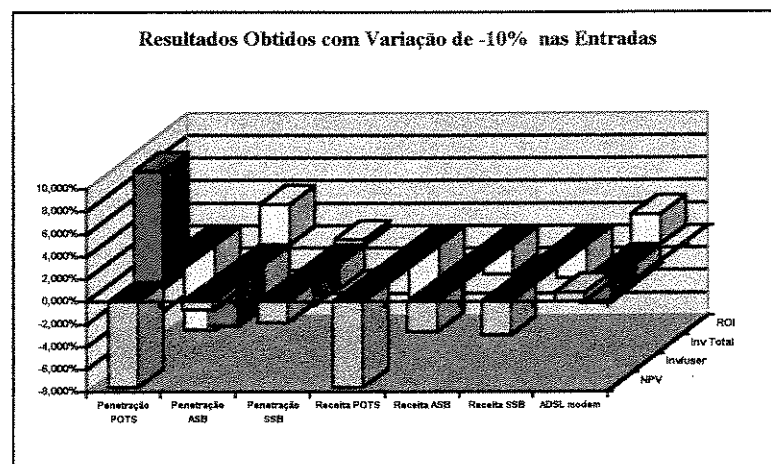


Gráfico 7-20: Variação dos Indicadores Financeiros para Variação de -10% nas entradas, tecnologia ROP.

7.4.3. APON-FTTC

Neste cenário (gráficos 22 e 23), assim como nos anteriores para a tecnologia FTTC, observa-se sensível aumento no investimento total na rede em função do aumento na penetração do serviço POTS, devido à alocação dos equipamentos necessários ao seu fornecimento. Porém, visto que o número absoluto de usuários de telefonia é elevado nesse cenário, o aumento de 10% na penetração levou ao aumento de cerca de 12% nos investimentos na rede. Outro resultado que chama a

atenção nessa tecnologia é a sua estabilidade em relação à penetração dos serviços e custo de componentes, visto que o valor presente líquido da rede pouco se altera em função do aumento ou diminuição destas variáveis.

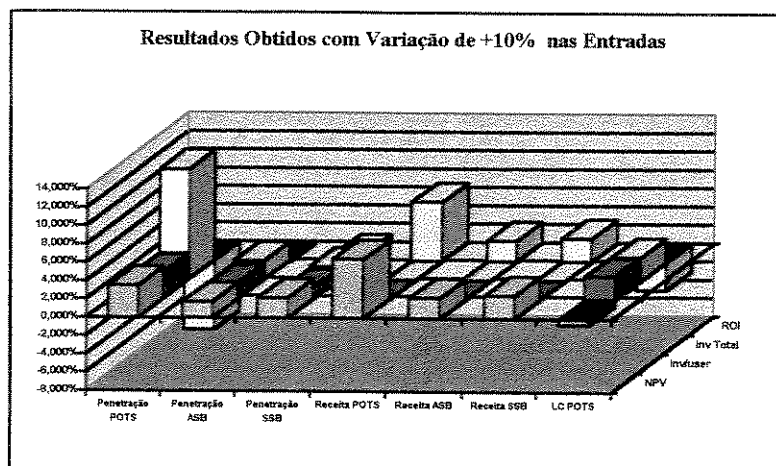


Gráfico 7-21: Variação dos Indicadores Financeiros para Variação de 10% nas entradas, tecnologia APON-FTTC.

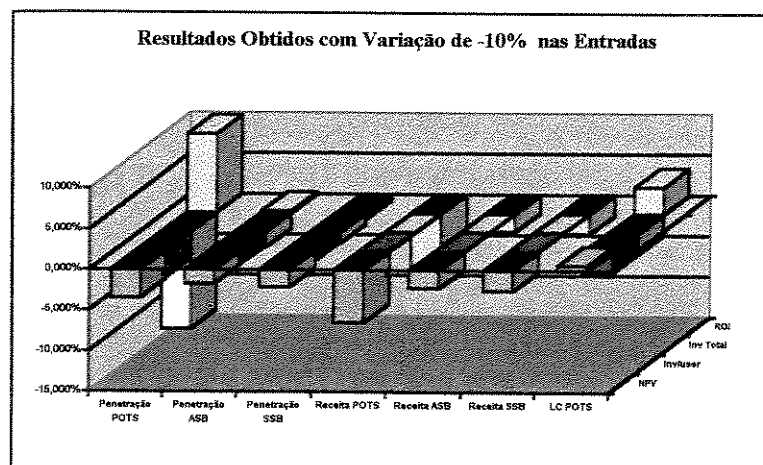


Gráfico 7-22: Variação dos Indicadores Financeiros com Variação de -10% nas entradas, tecnologia APON-FTTC.

7.4.4. Hybrid Fiber-coax

Finalmente, o último caso de tecnologia HFC mostra que a rede obtida é sensível à penetração e receita do serviço POTS. Em menor escala, os serviços

faixa larga também exercem influência sobre os resultados econômicos da rede. Além disso, como verificado anteriormente, o custo por usuário da rede coaxial influencia o desempenho dos indicadores financeiros da rede, sendo que a variação de $\pm 10\%$ no custo deste alterou em cerca de $\pm 3\%$ o valor presente líquido da rede.

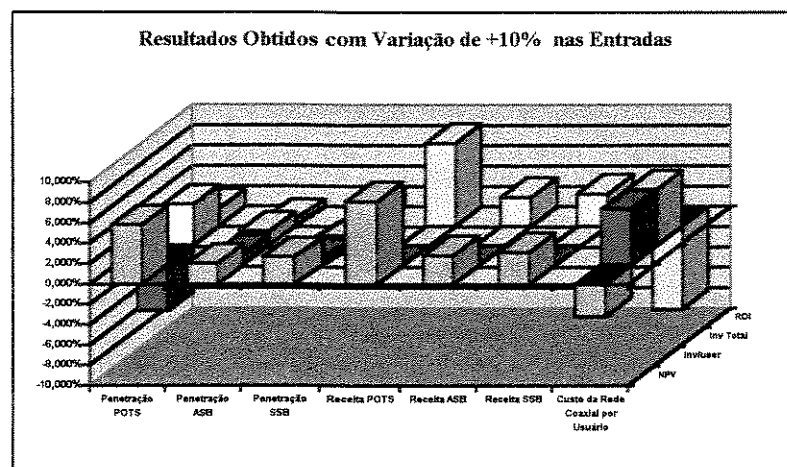


Gráfico 7-23: Variação dos Indicadores Financeiros para Variação de +10% nas entradas, tecnologia HFC.

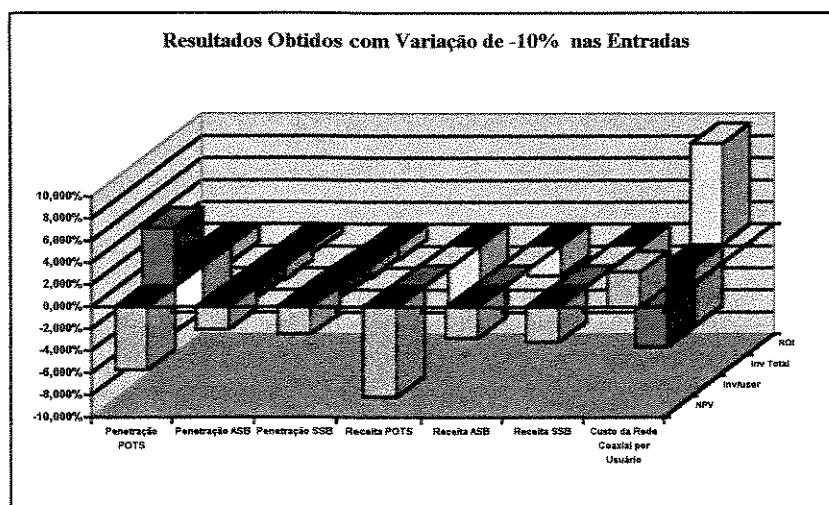


Gráfico 7-24: Variação dos Indicadores Financeiros para Variação de -10% nas entradas, tecnologia HFC.

7.5. Comentários

Os resultados obtidos neste capítulo indicam que, independentemente do cenário analisado, todas tecnologias são sensíveis no que diz respeito aos níveis de penetração do serviço POTS assim como de sua receita unitária. Isto porque apesar de ser um serviço barato, o número de usuários é elevado e portanto qualquer variação na penetração traz consigo consequências imediatas na receita total gerada pela rede. A recíproca também é verdadeira, ou seja, qualquer variação na receita unitária gera uma grande variação na receita total da rede devido ao grande número de usuários desse serviço.

Em menor escala, os serviços faixa-larga (ASB e SSB) também exercem influência sobre os resultados econômicos da rede. Apesar dos níveis de penetração destes serviços serem baixos em todos cenários, a receita anual gerada por tais serviços é alta, e daí variações tanto na penetração quanto na tarifa cobrada por estes serviços causam variações significativas ao desempenho econômico da rede.

Por fim, os equipamentos que mais influíram nos resultados foram modems ADSL e HDSL para as tecnologias xDSL e ROP e o custo da rede coaxial para a tecnologia HFC. Já a tecnologia APON-FTTC se mostrou bastante robusta em relação a custo de equipamentos, em virtude da modularidade e dos custos destes.

Capítulo 8

Conclusões

O surgimento de novos serviços de telecomunicações que demandam maior banda de transmissão tem levado as empresas operadoras a expandir suas redes de acesso, visando não perder mercado num ambiente cada vez mais competitivo. Isso implica em tomar decisões estratégicas num prazo relativamente curto, sem negligenciar, todavia, o aspecto técnico do planejamento.

Aliado a isso, o desenvolvimento de novas tecnologias capazes de atender as exigências dos novos serviços gera inúmeros cenários que devem ser analisados pelo planejador. Ademais, a quantidade de capital envolvida na tarefa de ampliar a rede de acesso é enorme. Isto leva à necessidade de se adotar uma metodologia com o objetivo de racionalizar o planejamento de redes de acesso.

Neste trabalho foi proposta uma metodologia de planejamento de redes de acesso *full-service*. O planejamento é dividido em duas etapas, planejamento estratégico e planejamento técnico. São discutidos ainda aspectos tecnológicos e de engenharia econômica.

A atividade mais explorada é a análise técnico-econômica das redes estudadas. Buscando um critério que auxilie a tomada de decisão por parte do planejador, foram calculados, com o auxílio de uma ferramenta computacional, indicadores financeiros com o intuito de avaliar o desempenho econômico das redes de telecomunicações. Este não é um critério de escolha, porém sim de descarte, onde tecnologias economicamente inviáveis (ou menos viáveis) são preteridas enquanto as mais rentáveis são efetivamente estudadas.

A partir desse ponto busca-se a melhor solução para rede, visando a maximização das receitas geradas. Para tanto, algoritmos de otimização são empregados. Resultados econômicos são calculados a título de comparação.

Com o objetivo de ilustrar a aplicabilidade da metodologia, aplicamo-la a diferentes redes, baseadas em dados reais. Por fim, foi realizada análise de sensibilidade sobre os resultados obtidos no planejamento estratégico, mais uma vez objetivando validar a tomada de decisão.

Em relação aos resultados técnico-econômicos obtidos vale destacar:

- para todos os cenários analisados, as tecnologias que, individualmente, se mostraram mais aptas economicamente foram a Linha Digital de Assinante (xDSL) e a APON em configuração FTTC, em grande parte devido à maneira como ambas foram modeladas;
- para todos os cenários houve melhora significativa dos resultados obtidos na segunda etapa do planejamento, ou seja, a solução otimizada apresenta desempenho econômico superior à obtida no planejamento estratégico, em virtude da competição tecnológica promovida no planejamento técnico;
- todos os serviços foram penalizados no atendimento e consequente geração de receitas devido à limitação orçamentária no planejamento técnico; porém, em todos os casos analisados, o compromisso entre investimentos realizados e receita gerada é melhor no planejamento técnico em comparação com o planejamento estratégico;
- nos resultados do planejamento técnico, os serviços faixa-larga são atendidos exclusivamente pela rede óptica, ao passo que os serviços faixa-estreita são atendidos preferencialmente pela rede metálica;

Com relação à análise de sensibilidade pudemos verificar que:

- o serviço POTS, apesar de sua baixa tarifa, influencia o desempenho econômico da rede em virtude do elevado número de usuários. Desse modo, pequenas variações, tanto na penetração quanto no valor de tarifa, conduzem a mudanças consideráveis nos indicadores financeiros;
- os serviços faixa-larga influenciam o desempenho econômico da rede por motivo oposto: devido ao alto valor de sua receita, pequenas variações na penetração produzem variações significativas nos resultados;
- a tecnologia APON-FTTC mostrou-se a menos sensível em relação a preço de componentes, uma vez que os equipamentos de usuário dessa solução tecnológica são baratos (os equipamentos comuns têm seu custo pulverizado entre os usuários);
- o custo dos modems ADSL foram os que mais contribuíram para alterar os resultados das tecnologias ROP e xDSL;
- o custo da rede coaxial foi, dentre todos os componentes, aquele que provocou a maior alteração dos resultados econômico-financeiros da tecnologia HFC.

Do ponto de vista da aplicabilidade, destacamos:

- a ferramenta utilizada no planejamento estratégico permite a realização de vários estudos de viabilidade econômica num curto intervalo de tempo;
- os modelos de otimização permitem a competição entre as tecnologias selecionadas para a evolução da rede de acesso;
- a metodologia permite o planejamento de redes *full-service*;
- a metodologia é facilmente adaptável a novos serviços, tecnologias etc;
- por fim, a metodologia possibilita ao planejador visualizar o investimento na rede ao longo do horizonte de planejamento, uma vez que este é estagiado no tempo.

Esse trabalho não se esgota aqui. A evolução natural é o desenvolvimento de heurísticas para resolver o problema estagiado, uma vez que a utilização de métodos

exatos parece inviável devido à complexidade combinatorial do problema. Outra possibilidade reside em utilizar métodos de processamento paralelo, ou ainda, o que parece mais eficiente, uma combinação de ambos.

Finalmente, devemos dizer que a metodologia apresentada aqui parece bastante adequada ao atual momento do setor de telecomunicações, caracterizado pela concorrência propiciada pelos novos *players* no mercado, o que obriga as empresas operadoras a tomarem decisões de caráter estratégico em um curto intervalo de tempo. Acreditamos, portanto, que essa metodologia pode auxiliar os planejadores de redes de telecomunicações (em especial, de redes de acesso) no processo de *decision making*.

Referências Bibliográficas

- [ASTRA 1998] **"User Guide to ASTRA 3.1 for Windows® 95"**, Copyright CSELT 1998.
- [Asumu 1998] D. E. Asumu, J. Mellis, **"Performance in Planning – Smart Systems for the Access Network"**, BT Technology Journal, Vol. 16, No. 4, October 1998, p. 138 – 151.
- [Baldi 1997] A. Baldi, **"Introduzione delle Nuove Tecnologie a Larga Banda nella Rete di Accesso: Problematiche e Modelli Tecnico-economici"**, Degree Thesis, Università di Pisa – CSELT, 1997.
- [Basseto 1999] F. Basseto, C.M.F. Carlson, J.R.F. Formigoni, M.A. de Sousa, E.L.M. Pissolato, **"Metodologia de Planejamento de Redes de Acesso com Otimização de Receitas"**, *Anais do XXXI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Juiz de Fora, Brasil, 1572 - 1584, 1999.
- [Basseto 2000] F. Basseto, C.M.F. Carlson, J.R.F. Formigoni, M.A. de Sousa, M.A. Bergamaschi, **"Strategic and Technical Planning of Multi-service Access Networks under Max-Revenue Criterion"**, *Proc. of the 8th International Conference on Telecommunications Systems*, Nashville, EUA, 2000.
- [Carciofi 1998] A. Carciofi, **"Progettazione e Sviluppo di un Ambiente Integrato per l'analisi dei Rischi negli Investimenti: Applicazione alle Reti di Telecomunicazione"**, Degree Thesis, Università di Pisa – CSELT, 1998.

- [Carlson 1998] C.M.F. Carlson, "**Sistemas de Telecomunicações: Planejamento da Rede Externa em Situações de Incerteza**", Tese de Doutorado, FEEC/UNICAMP, Novembro 1998.
- [Carpenter 1998] T. Carpenter, D. P. Heyman e I. Saniee, "**Studies of Random Demands on Network Costs**", *Proc. of the 4th Inform Telecommunications Conference, March 1998*.
- [CPqD 1999a] J. R. F. Formigoni, "**Curso de Engenharia Econômica – Conceitos Básicos**", Relatório Interno da Fundação CPqD, janeiro 1999.
- [CPqD 1999b] C. M. F. Carlson, F. Basseto, J. R. F. Formigoni, M. A. Bergamaschi, M. A. de Sousa, "**Modelagem de Maximização de Receita num Ambiente Multi-serviço**", Relatório Interno da Fundação CPqD, abril 1999.
- [CPqD 1999c] C. M. F. Carlson, F. Basseto, J. R. F. Formigoni, M. A. Bergamaschi, M. A. de Sousa, "**Avaliação da ASTRA® – Etapa 1**", Relatório Interno da Fundação CPqD, abril 1999.
- [CPqD 1999d] C. M. F. Carlson, F. Basseto, J. R. F. Formigoni, M. A. Bergamaschi, M. A. de Sousa, "**Avaliação da ASTRA® – Etapa 2**", Relatório Interno da Fundação CPqD, julho 1999.
- [CPqD 1999e] C. M. F. Carlson, F. Basseto, J. R. F. Formigoni, M. A. Bergamaschi, M. A. de Sousa, "**Validação dos Modelos de Maximização de Receita e de Minimização de Custo**", Relatório Interno da Fundação CPqD, julho 1999.
- [Deliverable 10 1998] "**Implementation Strategies for Advanced Access Networks**", Project P614 do EURESCOM, December 1998.

- [deSousa 1999a] M. A. de Sousa, **“Planejamento de Rede de Acesso: Maximização de Receita num Ambiente Multi-serviço”**, Tese de Mestrado, FEEC/UNICAMP, agosto 1999.
- [deSousa 1999b] M. A. de Sousa, C. M. F. Carlson, J. R. F. Formigoni, R. V. Ribeiro, **“Planejamento da Rede de Acesso Orientado à Maximização de Receitas”**, *Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações*, Vila Velha, Setembro 1999.
- [Doshi 1995] B. Doshi, P. Harshavardhana, **“Overview of INDT – a new tool for next generation network design”**, IEEE Global Telecommunication Conference, Singapore, November 1995, p. 1942-1947.
- [Eurescom 1998] **“Project P614 – Implementation Strategies for Advanced Access Networks”**, 1998.
- [Formigoni 1995] J. R. F. Formigoni, **“Rede Externa: Planejamento de Rotas Estratégicas”**, Tese de Mestrado, FEE/UNICAMP, Setembro 1995.
- [G.983 1998] **“ITU Draft Recommendation G.983 – High Speed Optical Access Systems Based on Passive Optical Network (PON) Techniques”**, 1998.
- [Garcia 1996] A. S. Garcia, G. B. Zananbrea, **“A Heuristic Approach for SDH Transmission Network Evolution”**, *Proc. of the 4th International Conference on Telecommunications Systems*, Nashville, EUA, p 620-626.
- [Hirschfeld 1998] Hirschfeld, H. **“Engenharia Econômica e Análise de Custos”**, Ed. Atlas, São Paulo, 1998.
- [Humphrey 1997] M. Humphrey, J. Freeman, **“How xDSL Supports Broadband Services to the Home”**, IEEE Network, January/February 1997, p. 14 – 23.

- [ITU-T 1993] **"ITU-T Rec. I.112 – Integrated Services Digital Network General Structure – Terminology"**, March 1993.
- [Mellis 1996] J. Mellis, **"Systematic approaches to network infrastructures planning and performance modelling"**, BT Technological Journal, Vol. 14, No. 2, April 1996, p. 87-94.
- [Nemhauser 1966] G. L. Nemhauser, **"Introduction to Dynamic Programming"**, Wiley, 1966.
- [Nemhauser 1988] G. L. Nemhauser, L. A. Wolsey, **"Integer and Combinatorial Optimization"**, Wiley, 1988.
- [Olsen 1996] B. T. Olsen, A. Zaganiaris, K. Stordahl, L. A. Ims, D. Myhre, T. Øverli, M. Tahkokorpi, I. Welling, M. Drieskens, J. Kraushaar, J. Mononen, M. Lähteenoja, S. Markatos, M. De Bortoli, U. Ferrero, M. Ravera, S. Balzaretto, F. Fleuren, N. Gieschen, M. De Oliveira Duarte, E de Castro, **"Techno-Economic Evaluation of Narrowband and Broadband Access Network Alternatives and Evolution Scenario Assessment"**, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 14, No. 6, August 1996, p. 1184 – 1204.
- [Salerno 1996] M. Salerno, **"Introduzione dei Sistemi Ottici nella Rete di Distribuzione: Analisi Tecnico-economica"**, Degree Thesis, Università di Bologna – CSELT, 1996.
- [TELEBRÁS 1996] Prática SDT – 210-120-103, **"Conceitos de Rede Óptica Primária"**, Telebrás, Brasília, Abril 1996.

Apêndice A

Indicadores Econômico-financeiros

O modelo econômico utilizado pela ferramenta computacional ASTRA[®] nesse trabalho foi inspirado nos trabalhos desenvolvidos no projeto P614 do consórcio europeu RACE. O cálculo dos indicadores econômicos financeiros é realizado por aplicativos do Microsoft[®] Excel a partir de dados fornecidos pelo sistema gerenciador de banco de dados Microsoft[®] Access. No planejamento técnico os mesmos indicadores foram calculados, porém manualmente, a fim de se obter parâmetros de comparação. Neste apêndice são apresentados os indicadores econômicos que são utilizados nas aplicações da metodologia.

A.1. Investimento Anual, Global e por Usuário

Em algumas metodologias de planejamento de redes o custo de instalação da rede (*Installed First Cost - IFC*) é chamado de investimento. Ao longo das aplicações da metodologia pode-se visualizar o investimento anual, o investimento global e o investimento por usuário. Esses indicadores serão descritos a seguir.

A.1.1 Investimento Anual

Para cada ano do horizonte de planejamento, a ferramenta calcula o gasto efetuado com equipamentos, cabos e infra-estrutura na rede.

A.1.2 Investimento Global

O investimento global é a somatória dos gastos anuais realizados na rede ao longo do horizonte de planejamento considerado, devidamente atualizados para o

valor presente. Logo:

$$INV_{Total} = \sum_{n=1}^N INV_t (1+i)^{-n}$$

onde:

- INV_t - investimento no ano t ;
- i - taxa de juros;
- N - número de anos do estudo.

A.1.3 Investimento por Usuário

O cálculo do Investimento por usuário (IU_{total}) é feito dividindo o investimento global pela soma dos usuários de todos os serviços. Portanto:

$$IU_{Total} = \left[\sum_{n=1}^N INV_t (1+i)^{-n} \right] / \left[\sum_{s \in S} NUser_s \right]$$

onde:

- $NUser_s$ - número de usuários do serviço s ;
- S - conjunto dos serviços oferecidos pela rede estudada.

A.2. Receita Anual

A receita anual é obtida a partir dos diferentes serviços oferecidos pela rede estudada. Cada serviço é caracterizado pelas seguintes grandezas, as quais são associadas às curvas evolutivas:

- *Penetração*: é a curva que descreve a penetração do serviço em função do tempo, como uma porcentagem do número total de usuários potenciais da rede;

- *Receita Mensal*: é a curva que indica como a receita varia ao longo do tempo;

A ferramenta calcula o número de usuários de cada serviço como o produto da penetração pelo número máximo de usuários, este último uma informação de projeto. Ou seja:

$$U_s(T) = U_p \cdot P_s(T)$$

onde,

- $U_s(T)$ – número de usuários do serviço S no ano T;
- U_p – número de usuários potenciais;
- $P_s(T)$ – penetração do serviço S no ano T.

E daí, a receita anual gerada por cada serviço é dada por:

$$R_s(T) = U_s(T) \cdot [12 \cdot MR_s(T)]$$

onde,

- $R_s(T)$ – receita do serviço S no ano T;
- $U_s(T)$ – número de usuários do serviço S no ano T;
- $MR_s(T)$ – receita mensal do serviço S no ano T;

A receita total anual será dada pela seguinte equação:

$$R_{anual}(t) = \sum_{s \in S} R_s(t)$$

Onde S é o conjunto dos serviços oferecidos pela rede.

A.3. Valor Presente Líquido (*Net Present Value*)

Para o cálculo do valor presente líquido é necessário o cálculo do fluxo de caixa anual. O fluxo de caixa anual representa todos os movimentos financeiros ocorridos no ano em questão. Ele é calculado da seguinte forma:

$$FC_{Anual}(T) = \sum_{s \in S} R_s(T) - I(T)$$

onde:

- $R_s(T)$ – receita do serviço s no ano T ;
- $I(T)$ – o investimento no ano T ;

O valor presente líquido é a soma de todos os valores do fluxo de caixa ao longo do tempo de vida do projeto trazidos para o valor presente, isto é, dividindo-os por $(1+i)^n$, onde i é a taxa de juros e n o ano de ocorrência. Em outras palavras, é a soma de todas as receitas menos as despesas, ambos colocados no valor presente. Portanto o Valor Presente Líquido é dado por:

$$VPL = \sum_{t=0}^T FC_{Anual}(t)$$

A.4. Retorno de Investimento (*Return on Investment - ROI*)

É o quociente do Valor Presente Líquido (VPL) pelo Investimento Global (INV_{total}):

$$ROI = VPL / INV_{total}$$

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

Apêndice B

Custos dos Componentes Utilizados

Nesta seção encontram-se relacionados os custos (em US\$) dos equipamentos utilizados nas aplicações da metodologia. A fim de facilitar a consulta, tais equipamentos encontram-se divididos de acordo com as tecnologias nas quais foram utilizados, nas tabelas a seguir.

B.1. Rede Metálica + Modems de Alta Velocidade (xDSL).

Equipamento	2000	2001
Canalização Urbana Completa – 6 dutos	60.000,00	60.000,00
CTS APL 40-900	16.270,00	16.270,00
ADSL modem	1.000,00	900,00
TR1	400,00	360,00
Set-top-box	350,00	315,00
HDSL modem	1.000,00	900,00

Tabela B-1: Equipamentos utilizados na solução xDSL.

B.2. Rede Óptica Primária (ROP).

Equipamento	2000	2001
ADSL modem	1.000,00	900,00
Set-top-box	350,00	315,00
TR1	400,00	360,00
CEV	7.000,00	7.000,00
Placa SDH 21x2M	1.500,00	1.350,00
CFOA.SM.APL.G 06	1.660,00	1.509,36
OLTM 155 (sem placa tributário)	11.120,00	10.008,11
Subduto	10.000,00	9.000,00
HDSL modem	1.000,00	900,00

Tabela B-2: Equipamentos utilizados na solução ROP.

B.3. Rede APON-FTTC.

Equipamento	2000	2001
ONU - 128NB + 32BB	1.025,00	922,51
Set-top-box	350,00	315,00
TR1	400,00	360,00
CFOA.SM.APL.G 06	1.660,00	1.509,36
Subduto	10.000,00	9.000,10
acoplador 1/4	68,00	61,83
OLT - 10000 ass.	231.250,00	208.127,31
ODNI (622Mbps down)	4.000,00	3.600,04
LC POTS	125,00	112,50
LC ISDN	150,00	135,00
LC ASB	350,00	315,00
DGO	8.000,00	7.274,04
LC SSB	350,00	315,00

Tabela B-3: Equipamentos utilizados na solução FTTC.

B.4. Rede Híbrida Fiber-Coax (HFC).

Equipamento	2000	2001
HFC Optical Tx Upstream	3.000,00	2.700,00
HFC Optical Rx Downstream	1.500,00	1.350,00
HFC Amplifier 862 MHz Bidirectional	760,00	684,00
HFC Frequency Translator	500,00	450,00
HFC FN Status Monitoring	1.000,00	900,00
HFC FN Status Monitoring Installation	500,00	514,29
HFC FN Powering	60,00	54,00
HFC FN Powering Installation	25,00	25,70
Cabinet Large	500,00	450,00
Coax Splitter Installation	12,00	12,12
Cabinet Large Installation	700,00	708,33
HFC Cable Modem Installation	30,00	31,00
HFC Cable Modem Consumer	250,00	225,00
Set Top Box	600,00	540,00
HFC CNU LC ISDN BRA	240,00	216,00
HFC CNU LC POTS	80,00	72,00
HFC CNU LC 2Mbps	300,00	270,00
HFC CNU Core	1000,00	900,00
HFC Cable Modem Head End Asymmetric	20.000,00	18.000,20
HFC Optical Tx Downstream	10.000,00	9.000,10
HFC Optical Rx Upstream	1.000,00	900,00
HFC PSTN/SSB Head End	15.000,00	13.500,15
HFC PSTN/SSB Interface 2 Mbit/s V5	200,00	180,00
CFOA.SM.APL.G 06	1.660,00	1.509,36
Custo da Rede Coaxial por Usuário	100,00	100,00
Subduto	10.000,00	9.000,00

Tabela B-4: Equipamentos utilizados na solução HFC.