

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

EVOLUÇÃO OTIMIZADA DO NÓ DE COMUTAÇÃO DE UMA REDE LOCAL

orientador: ^{Trindade} Jurandir F. Ribeiro Fernandes †

MARCOS BARACHO TRINDADE ^{nº 937}

Tese de Mestrado apresentada à
Faculdade de Engenharia Elétrica
da Universidade Estadual de Cam-
pinas UNICAMP como parte dos re-
quisitos para obtenção do título
de Mestre em Engenharia Elétrica

M.F.R.F.

NOVEMBRO 1991

Este exemplar corresponde à redação final da tese
defendida por MARCOS BARACHO
TRINDADE e aprovada pela Comissão
Julgadora em

M.F.R.F.
Orientador

À:
ELIANE
FÁBIO
FLÁVIA
AMANDA

AGRADECIMENTOS

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho, e em especial

a Jurandir F. R. Fernandes, pela orientação, amizade e incentivo,

aos professores Hermano, Raul, Cristiano, P. França, Basílio, Akebo, Ivanil, pelas informações técnicas fornecidas ao longo do trabalho,

aos colegas da TELERJ, em particular a Angela, Celso, Mauro e Moreno pelos dados fornecidos,

aos colegas da TELECEARÁ, Lúcio e Marcos Sales pelo fornecimento de dados e discussões técnicas,

aos amigos da TELEBAHIA, Aloísio, Szabó e Olympio pelo incentivo e fornecimento de dados,

aos colegas da TELESP, pela cessão dados,

aos amigos do CPqD, Alencar, Antônio Sales, Beto, Capella, Fiorentino, Graciosa, Nagay, Romualdo e Taube, pelo apoio e incentivo,

a Guilherme Nunes e Tiba, colegas da Promon, pelas discussões técnicas e incentivo,

aos amigos Anilton, Nakagawa, Marta, Marcos Sales e Tiba, pelas discussões técnicas, críticas e sugestões que desencadearam e orientaram todo o trabalho,

ao Ide pela edição do texto,

a meus pais, pelo incentivo,

a esposa e filhos pela paciência, compreensão e incentivo que me deram para a conclusão deste trabalho.

EVOLUÇÃO OTIMIZADA DO NÓ DE COMUTAÇÃO DE UMA REDE LOCAL

SUMÁRIO

Com o advento da tecnologia digital, criaram-se novas perspectivas no planejamento da rede, especialmente com a introdução da comutação digital na rede telefônica existente (que contempla um grande número de centrais analógicas).

Este trabalho serve como mais uma ferramenta de planejamento que, a partir de dados como as características técnicas dos equipamentos disponíveis (explorando seus limites de tráfego e de terminais), evolução da demanda de terminais e de tráfego, dados de facilidades da rede e estratégias de evolução do nó de comutação, analisa a factibilidade das estratégias de evolução (abordando o problema da obsolescência das centrais analógicas) e avalia os custos envolvidos, fornecendo uma política ótima factível de evolução da rede.

O modelo contempla a alocação de unidades remotas e possibilita até dois tipos de equipamentos de comutação para cada nó.

São, também, apresentados e analisados os resultados da evolução de algumas arquiteturas de rede local (redes da TELECEARÁ, TELERJ e TELESP).

Conteúdo

1	INTRODUÇÃO	4
1.1	SITUAÇÃO DO PROBLEMA	4
1.2	CONTEÚDO DO TRABALHO	6
1.3	DEFINIÇÕES GERAIS	9
1.3.1	ESTAÇÃO TELEFÔNICA/NÓ DE COMUTAÇÃO	9
1.3.2	CENTRAL TELEFÔNICA LOCAL	9
1.3.3	CENTRAIS GEMINADAS	9
1.3.4	ENCAMINHAMENTO DAS CHAMADAS TELEFÔNICAS	9
1.3.5	REDE DE ENTRONCAMENTO	12
1.3.6	PLANEJAMENTO	13
1.3.7	DEMANDA TELEFÔNICA	13
1.3.8	TRÁFEGO TELEFÔNICO	13
1.3.9	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA TELEFÔNICO	15
2	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	17
3	DESCRIÇÃO DO MODELO	20
3.1	ESTRUTURA GERAL	20
3.2	DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES DO MODELO	20
3.2.1	PARÂMETRO FINANCEIRO	20
3.2.2	NATUREZA DOS CUSTOS	21
3.2.3	TOPOLOGIA DA REDE	21
3.2.4	MATRIZ DE TRÁFEGO	22
3.2.5	CARACTERÍSTICAS DOS EQUIPAMENTOS DE COMUTAÇÃO	23
3.2.6	CARACTERÍSTICAS DO NÓ DE COMUTAÇÃO	35
3.2.7	TRANSIÇÕES DE ESTADO	38
3.2.8	ENTRONCAMENTO	59
3.3	PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO	61
3.3.1	ESCOLHA DA MELHOR POLÍTICA DE EVOLUÇÃO DO NÓ DE COMUTAÇÃO	63
3.3.2	CÁLCULO DA DISTÂNCIA MÍNIMA ENTRE OS NÓS DE COMUTAÇÃO	65
3.4	IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL DO MODELO	68
4	APLICAÇÃO	70
4.1	ESTUDO DE EVOLUÇÃO DA REDE LOCAL DE CAMPOS-RJ (TELERJ)	72
4.2	ESTUDO DE EVOLUÇÃO DA REDE LOCAL DE JUAZEIRO DO NORTE-RJ (TELECEARÁ)	83

4.3	ESTUDO DE EVOLUÇÃO DA REDE LOCAL DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS-SP (TELESP)	90
4.4	COMENTÁRIOS GERAIS DAS RODADAS	99
5	FACTIBILIDADE NA POLÍTICA ÓTIMA DE EVOLUÇÃO DA REDE	101
5.1	O PROBLEMA DA FILIAÇÃO DO ELR: UM EXEMPLO	101
5.2	MODELO MATEMÁTICO	106
6	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE MELHORAMENTOS	108
6.1	CONCLUSÕES	108
6.2	PROPOSTAS DE MELHORAMENTOS	108
7	BIBLIOGRAFIA	109

1 INTRODUÇÃO

1.1 SITUAÇÃO DO PROBLEMA

Na elaboração de um plano fundamental de uma área local [1] é necessário que se apresentem todos os centros de fios existentes e previstos com suas respectivas localizações, datas de implantação/ampliação, cortes de áreas e a rede de entroncamento entre os centros, definidos num período de, aproximadamente, 15 anos (horizonte de planejamento).

O plano tem por finalidade:

- Caracterizar a tendência de crescimento dos centros de fios, estabelecendo uma política de evolução;
- Acompanhar a evolução tecnológica;
- Compatibilizar tipos e gerações diferentes de equipamentos;
- Analisar a viabilidade de grandes investimentos, envolvendo despesas de implantação e operação X receitas;
- Analisar estratégias de compras, verificando a capacitação de fabricação nacional ou a necessidade de importação.

O SISTEMA TELEBRÁS (STB), que envolve a Holding e Operadoras, já conta com algumas ferramentas computacionais que auxiliam a construção do plano, tais como:

LOCUS [2] [3]	Localiza novos centros de fios para uma rede alvo do ano horizonte de planejamento.
CRONOS [4]	Faz o cronograma de implantação dos novos centros de fios e de ampliação dos já existentes ao longo do período de planejamento.
PEOR [5]	Faz a evolução ótima dos cortes de áreas.
OTELLO [6]/CIJULO [7]	Faz uma otimização do sistema local de entroncamento.
PRETA [8]	Otimiza o roteamento dos troncos.

Por ser uma rede de transporte, a rede de telecomunicações apresenta economias à medida que aumenta o volume de tráfego entre os nós da rede.

Do volume de investimento do SISTEMA TELEBRÁS (STB), a rede externa contribui com a maior parcela, comparada com a comutação, entroncamento e infra-estrutura [9]. Além disso, a rede externa apresenta altos custos de manutenção, limitações para o atendimento de novos serviços e baixa utilização dos cabos em termos de tráfego.

Com o avanço tecnológico no campo dos componentes, especialmente através do uso de circuitos integrados digitais, novas perspectivas se abriram para a **digitalização** da rede. Desse modo foi permitido desenvolver novos equipamentos de comutação digital ocupando menor espaço, com menor custo e maior confiabilidade devido, essencialmente, à grande integração obtida com os dispositivos semicondutores.

Assim, uma forma de melhorar o retorno de investimento da rede externa é levar o primeiro estágio de comutação para as proximidades de grupos de assinantes, porém, sem deixar de considerar o custo de interligação desses novos nós.

Com isto, haverá uma proliferação de centros de fios de pequeno e médio porte, ficando mais vulneráveis às características de crescimento do tráfego e dos assinantes ligados.

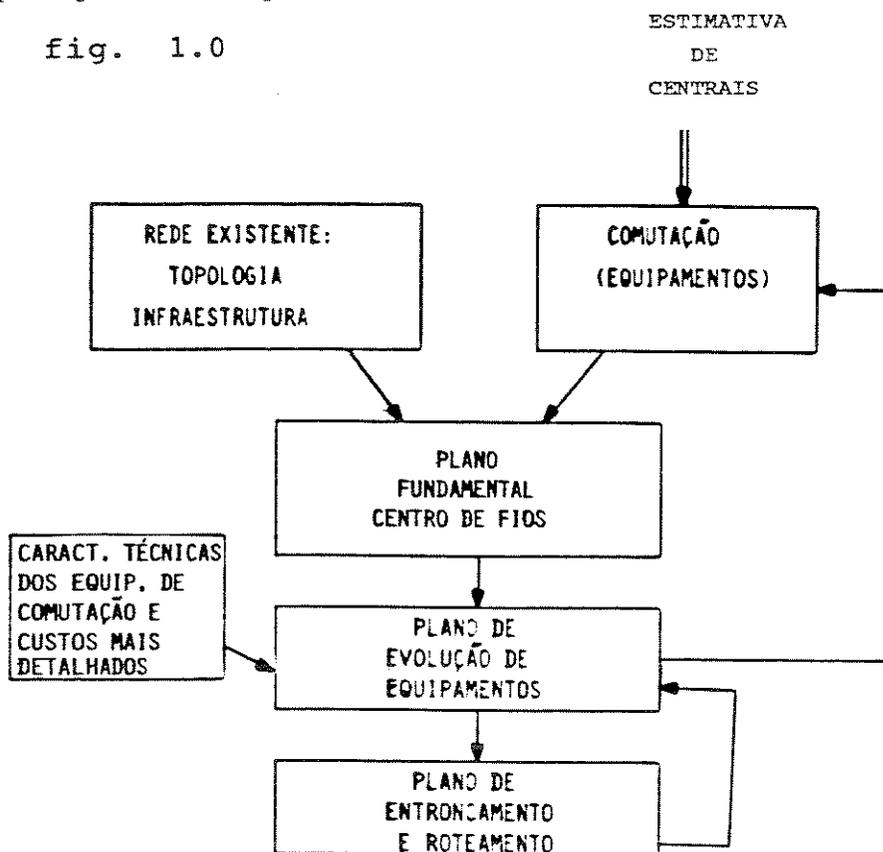
A introdução da comutação digital na rede local de telefonia cria muitas alternativas de opções de evolução do nó de comutação para o planejador de rede. E as ferramentas, até então disponíveis, não fornecem explicitamente o tipo de equipamento baseado em parâmetros tão decisivos como a capacidade de tráfego e de assinantes que a central pode atender, o perfil de tráfego dos assinantes e premissas de mudança de tecnologia.

Este trabalho descreve um modelo de evolução da rede local de telefonia [10] [11] [12] [13] [15] e [23] e sua correspondente implementação computacional - EVOL - que busca avaliar técnica e economicamente alternativas para evolução da rede num ambiente de transição de tecnologia analógica para digital, tratando o problema da obsolescência das centrais analógicas [13] [14] [15].

O modelo EVOL determina a política ótima de evolução do nó de comutação, com as simplificações que estão expostas ao longo do texto, levando em consideração as características técnicas dos equipamentos de comutação (como seu limite máximo de tráfego e de terminais), estratégias de evolução a serem testadas pelo planejador, características de crescimento da demanda de assinantes e de tráfego, bem como o estado atual dos equipamentos existentes.

Este trabalho foi elaborado com base no modelo desenvolvido pelo CPqD/ELEBRA/PHT [12]. Introduziu-se novas variáveis, modificou-se os métodos de dimensionamento dos equipamentos, substituiu-se o algoritmo de utilização e introduziu-se os módulos gráfico e entroncamento.

A figura 1.0 situa o problema da evolução dos equipamentos de comutação no processo de planejamento dos planos fundamentais.



1.2 CONTEÚDO DO TRABALHO

Este trabalho vem contribuir ao estudo feito pelo CPqD/ELEBRA/PHT [12] em que se buscava uma maneira de se avaliar técnica e economicamente o desenvolvimento de novos equipamentos de comutação da família TRÓPICO (unidades distantes do TRÓPICO RA e a central RA simplificada - RAS).

As contribuições principais em relação a [12] foram:

- Acréscimo de novas variáveis no modelo:
 1. Topologia da rede (distância entre os nós).
 2. Perfil de tráfego dos assinantes (tráfego por terminal e percentual de tráfego interno).

3. Tráfego tandem a ser escoado pelo nó.
4. Restrição de capacidade nominal máxima em tráfego por tipo de equipamento de comutação.
5. Custo modular de infra-estrutura.
6. Acréscimo de tráfego a ser cursado devido as geminações de centrais.
7. Custo modular devido ao tráfego comutado .
8. Custo linear devido ao tráfego externo.
9. Parâmetros que tratam o problema da obsolescência das centrais analógicas (custo de operação e manutenção, interfaces A/D e área de ocupação da infra-estrutura).

Os itens 3, 5, 6, 7, 9 (relação de área de ocupação de infra-estrutura), também, são consideradas novas variáveis em relação à [23].

O detalhamento das variáveis será visto na seção 3.2

• Transições de estado

Não se criaram novos tipos de transições, pois os já propostos abrangem a maioria dos casos reais encontrados nas redes telefônicas. Porém, o modelo de cálculo / dimensionamento e sua correspondente implementação computacional foram totalmente refeitos para incorporarem as novas variáveis (principalmente ligadas ao tráfego).

Para tratar a obsolescência das centrais analógicas, foram feitas algumas adaptações para as transições $X \rightarrow X + Y$ e $X + Y \rightarrow X + Y$ (onde X e Y são variáveis que representam tipos de equipamentos) do estágio i para $i+1$ quando a central X no (estágio i) for analógica. Em [12], a central X no estágio $i+1$ poderia ser ampliada até o seu limite de terminais e o restante da demanda seria atendido pela central Y . A nova versão inclui este caso, porém com dois parâmetros limitantes (tráfego e terminais) e mais duas formas de evolução:

- Desativar modularmente a central X a cada estágio.
- "Congelar" a central X com a mesma configuração instalada no estágio i .

Então para cada um dos casos ($X \rightarrow X + Y$ e $X + Y \rightarrow X + Y$) haverão três possibilidades de evolução para o estágio seguinte.

- Proposição de um modelo para resolver o problema de filiação do estágio de linha remoto (descrito no capítulo 5).

- Modelo de otimização

Para achar a melhor evolução do nó, o modelo proposto em [12] utiliza o método dos P-caminhos. Ou seja, para cada estado final da rede de evolução, o algoritmo fornece as P-melhores trajetórias.

Devido à portabilidade e rapidez no processamento resolveu-se trocar o modelo de otimização (P-caminhos) por um método de programação dinâmica que explorasse a peculiaridade dos estágios da rede de evolução, fornecendo não só o primeiro, mas também o segundo melhor caminho para cada estado (nó) final.

Com isto, o programa compilado caiu de 543 Kbytes para 166 Kbytes e o tempo de processamento melhorou em 10 vezes para uma rede de evolução com 4 estágios, 60 estados e 100 arcos. Verificou-se que a diferença aumenta à medida que aumenta o número de estágios, estados e arcos da rede, conforme será comentada no capítulo de aplicações.

- Módulo de entroncamento

Para facilitar o planejador na escolha da evolução ótima da rede (comutação + entroncamento), foi construído um sistema simplificado de entroncamento. Através de simulações de encaminhamento na matriz de tráfego ao longo dos estágios de planejamento, é feito o dimensionamento das rotas (consideradas diretas e com perda 1 %) e é calculado o respectivo custo.

- Módulo gráfico

Para melhorar a interface com o usuário e proporcionar uma visão das possíveis evoluções, criou-se um módulo gráfico que lê o arquivo de saída do EVOL (nós, arcos, dados de configuração das centrais) e gera um GRAFO (rede de evolução). Esta abordagem serve principalmente para ajudar o usuário a debugar dados de entrada e para uma possível documentação da rodada.

1.3 DEFINIÇÕES GERAIS

A seguir serão apresentados alguns termos técnicos [20] utilizados neste trabalho:

1.3.1 ESTAÇÃO TELEFÔNICA/NÓ DE COMUTAÇÃO

É o local para onde convergem os circuitos telefônicos (linhas de assinantes). Possui uma infra-estrutura predial ou cabine, onde se concentram equipamentos de comutação, transmissão, interfaces e acessórios essenciais às operações das centrais.

A área geográfica atendida por uma estação telefônica/estágio de linha, delimitando a quantidade de assinantes a serem atendidos, é chamada de **área de estação** e ao seu conjunto, de **área local**.

A área local com mais de uma área de estação é chamada de **multi-estação**.

1.3.2 CENTRAL TELEFÔNICA LOCAL

É um equipamento que atende/comuta assinantes de uma mesma área de estação. Um nó de comutação poderá ter mais de uma central.

A central é classificada, quanto a sua tecnologia, em analógica (há um processo contínuo da informação até o seu destino) e digital (a informação é codificada através de pulsos).

O **estágio de linha remoto (ELR)** é um equipamento digital que concentra assinantes.

A comutação entre os assinantes do ELR ou com os assinantes das demais centrais é feita através de uma única central digital (**central mãe**).

1.3.3 CENTRAIS GEMINADAS

Refere-se a um tipo de associação de duas ou mais centrais (para aumentar a capacidade do nó de comutação) que compartilham um ou mais estágios de comutação. Com isto, do ponto de vista de encaminhamento de chamadas, é como se fosse uma única central.

1.3.4 ENCAMINHAMENTO DAS CHAMADAS TELEFÔNICAS

Denomina-se encaminhamento ao acatamento de um comando, comutando os meios de acesso a uma rota determinada. Existem diferentes tipos de encaminhamento como partição de carga, encaminhamento dinâmico, re-encaminhamento a partir da origem,

etc... e dois modos mais clássicos de encaminhamento:

- Encaminhamento direto

Quando o processo de encaminhamento de uma chamada telefônica se completa através de circuitos em rotas diretas entre as duas centrais envolvidas.

- Encaminhamento em rotas alternativas

Refere-se ao procedimento empregado no centro de comutação para encaminhar uma chamada quando esta encontra a situação de "todos os troncos ocupados" (ATB-ALL TRUNKS BUSY), na primeira via, e se torna necessário adotar uma outra via ou para um outro centro de comutação alternativo.

A figura 1.2 ilustra alguns tipos de encaminhamento.

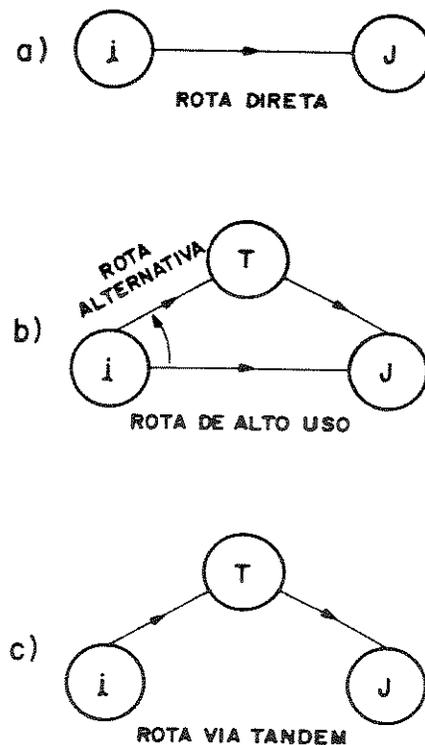


FIG. 1.2

A figura 1.2.a exemplifica um encaminhamento via rota direta entre as centrais i (origem) e j (destino). Neste caso, os circuitos são dimensionados para uma baixa probabilidade de perda. Utiliza-se a rota direta para interligar duas centrais (Local ou Trânsito) sem subordinação hierárquica.

A figura 1.2.b ilustra um exemplo de encaminhamento alternativo em que a rota entre o nó i (origem) e o nó j (destino) é denominada de alto uso (pois é dimensionada com alta probabilidade de perda, para a qual se prevê a existência de uma ou mais rotas alternativas). A rota alternativa é dimensionada para escoar o tráfego de sobrecarga entre as duas centrais, por uma ou mais centrais tandem.

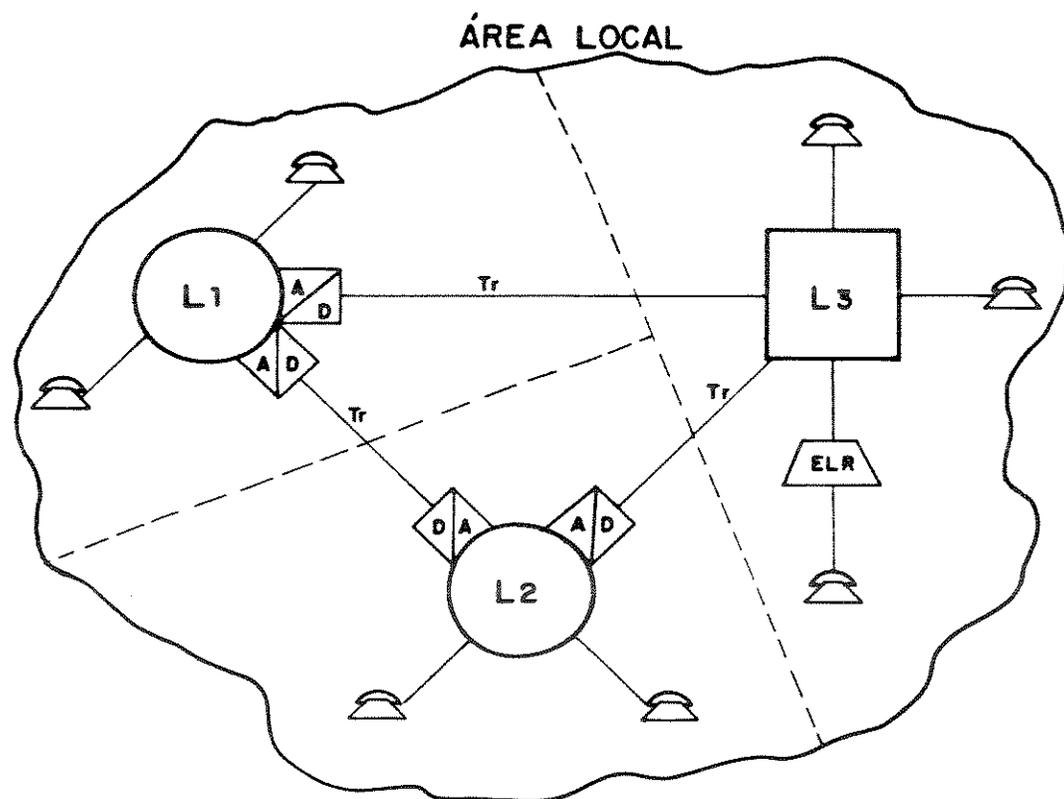
A figura 1.2.c ilustra um caso particular de encaminhamento em que todo o tráfego entre as centrais i (origem) e j (destino) será através de uma central tandem.

1.3.5 REDE DE ENTRONCAMENTO

A interligação entre os nós de comutação é feita pela rede de entroncamento, composta de cabos troncos (meio de transmissão por onde passam as informações) e interfaces (responsáveis pela conexão/compatibilização de equipamentos com tecnologias diferentes).

A interface analógica/digital (A/D) interliga uma central analógica a um meio de transmissão digital. São considerados como interfaces A/D, os conversores de sinalização e multiplexadores a 2 Mbits (PCM30).

A figura 1.3 ilustra uma área local, com três estações e suas respectivas áreas de estação e a rede de entroncamento.



LEGENDA

- LIMITE DE ÁREA DE ESTAÇÃO
- CENTRAL DIGITAL (L3)
- CENTRAL ANALÓGICA (L1, L2)
- △ ESTÁGIO DE LINHA REMOTO (ELR)
- Tr CABO TRONCO DIGITAL A 2 M BIT'S
- ▣ INTERFACE ANALÓGICA/DIGITAL (CONVERSORES A/D + PCM 30)

FIG. 1.3

1.3.6 PLANEJAMENTO

Pode ser definido como um processo de seleção de uma dentre várias alternativas de ação ou procedimento, sendo de extrema importância para a vida econômica da empresa. Denominam-se **estágios de planejamento**, aos períodos em que se deseja fazer os estudos e, **horizonte de planejamento**, ao período compreendido entre o ano base e o último estágio (ano horizonte).

1.3.7 DEMANDA TELEFÔNICA

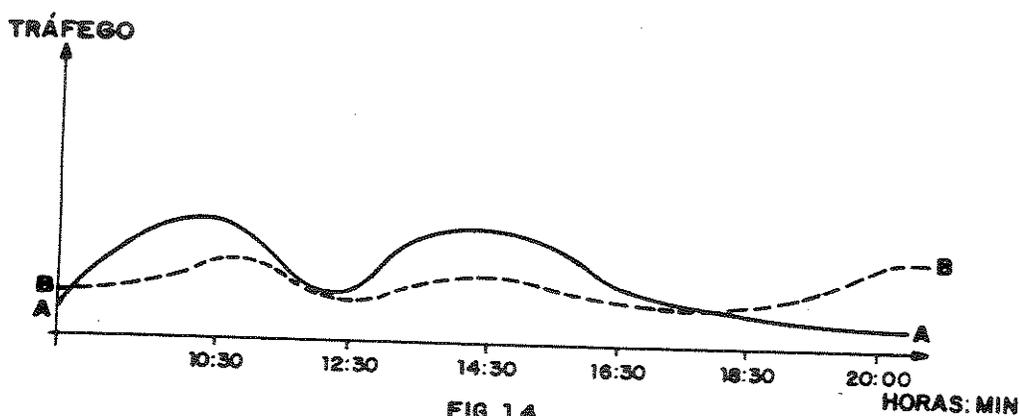
Trata-se da quantidade de terminais telefônicos procurados por consumidores (indivíduos) que estão aptos e dispostos a adquiri-los, sob determinadas condições de preço e uso.

1.3.8 TRÁFEGO TELEFÔNICO

Refere-se a quantidade e a duração de mensagens transmitidas e recebidas por um canal de comunicação num intervalo de tempo.

A observação metódica do tráfego telefônico mostra que as chamadas surgem de maneira aleatória, apresentando uma concentração mais acentuada nos períodos de maior atividade comercial e social do dia.

A figura 1.4 ilustra as variações diárias de tráfego em duas estações que atendem assinantes com perfis diferentes. A **estação A** é, predominantemente, comercial, enquanto que a **estação B** atende assinantes de uma área, tipicamente, residencial.



A intensidade média de tráfego corresponde, numericamente, à porcentagem de ocupação de um circuito telefônico, tendo o erlang como unidade (adotada pelo CCITT), que é o tempo de ocupação de um determinado circuito em relação a um intervalo de tempo tomado como referência.

$$A = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{T} \quad (1)$$

onde: A = Tráfego
 t_i = Tempo de retenção da chamada i
 m = Número de chamadas
 T = Intervalo de tempo tomado como referência na observação.

A figura 1.5 ilustra alguns tipos de tráfego cursados na central.

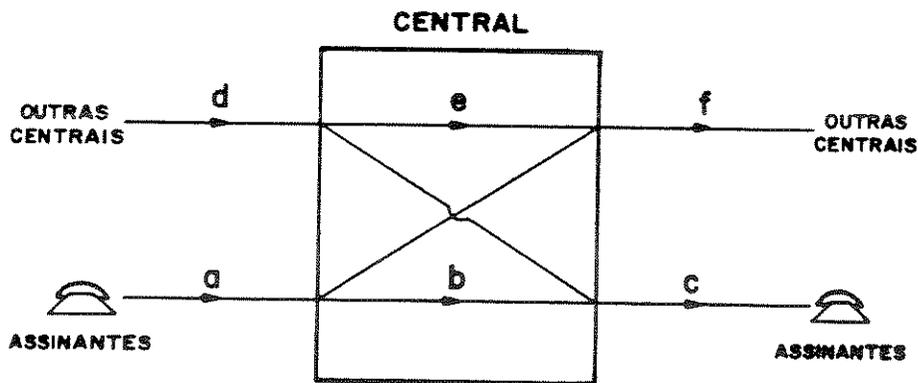


FIG. 1.5

onde:

- a → Tráfego originado pelos assinantes da central
- b → Tráfego interno (parcela de tráfego originado que se destina aos assinantes da mesma central)
- c → Tráfego terminado nos assinantes da central (parcela do tráfego de entrada + tráfego interno)
- d → Tráfego de entrada (trata-se do tráfego originado em outras centrais que é encaminhado para esta central)
- e → Tráfego em trânsito (é a parcela do tráfego de entrada que se destina a outras centrais)
- f → Tráfego de saída (é a soma da parcela do tráfego originado que se destina a outras centrais com o tráfego em trânsito)
- a+d → Tráfego oferecido (ou tráfego total oferecido)
- c+f → Tráfego escoado (admitindo-se um sistema sem perdas, o tráfego escoado é igual ao oferecido)
- b/a → Percentual de tráfego interno

A relação entre o tráfego total oferecido e a quantidade de assinantes ligados à central é chamada de **tráfego por terminal**.

1.3.9 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA TELEFÔNICO

Para se dimensionar as centrais e os meios de transmissão entre elas, deve-se conhecer ou estimar o tráfego telefônico em todos os órgãos de comutação na hora de maior movimento (HMM). Durante a HMM, o tráfego pode atingir valores de pico bem acima do valor médio considerado. A quantidade de equipamentos para satisfazer esses picos de tráfegos, sem que nenhuma chamada deixe de ser completada por falta de recursos, demandaria investimentos vultosos e estes equipamentos ficariam em ociosidade o restante do período. Assim, ao se projetar a central admite-se que uma certa porcentagem de chamadas não possa ser completada, por não conseguir órgãos vagos. Então, as centrais e os meios de transmissão são dimensionados para uma dada porcentagem de perdas na HMM, que varia normalmente de 0,1 % a 1 %. Quanto menor for esta porcentagem, maior será o número de órgãos das centrais e meios de transmissão. Esta porcentagem é denominada **grau de serviço**. A relação entre o número de órgãos (circuitos, juntores, canais) de conexão e o tráfego médio é determinado pela fórmula Erlang-B. Daí, a probabilidade de perda de chamada ou grau de serviço, $B(n, a)$:

$$B(n, a) = \frac{\frac{a^n}{n!}}{\sum_{K=0}^n \frac{a^K}{K!}} \quad (2)$$

onde:

- a → Tráfego médio oferecido ao circuito
- n → Número de troncos (órgãos)

2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A evolução da rede local gera uma problemática para o planejador, pois envolve a iteração de muitos fatores de natureza complexa, variáveis no tempo e no espaço. Os principais fatores são:

- Estado atual dos nós de comutação
- Política/Estratégias de evolução da comutação
- Limitações técnicas dos equipamentos (tráfego e terminais)
- Facilidades na atual rede de entroncamento
- Política de encaminhamento (rota direta, rota alternativa, roteamento dinâmico, etc.)
- Topologia da rede
- Manutenção do grau de serviço (como atender a demanda de terminais e de tráfego?)

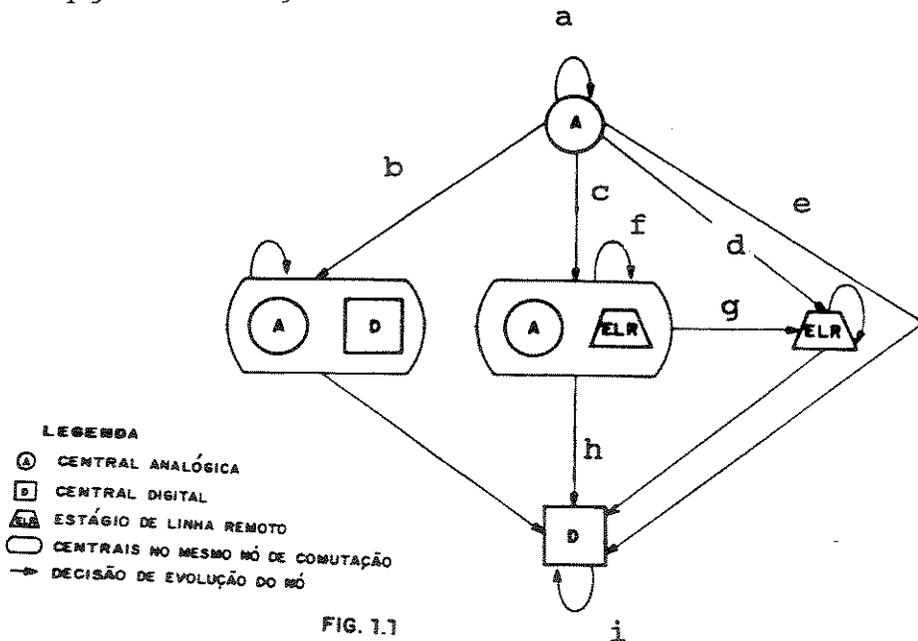
Estes fatores devem ser avaliados técnica e economicamente num contexto conflitante dos objetivos de planejamento a curto, médio e longo prazo diante da transição tecnológica (analógica/digital).

O modelo proposto é dirigido mais para evolução otimizada da comutação, porém permite ao planejador fazer simulação de redes de entroncamento de modo a extrair o máximo de informações necessárias à solução do problema de evolução da rede local como um todo (comutação + entroncamento).

Então a partir daqueles fatores, o EVOL determina a política ótima de evolução da rede local. Tal política é definida pelo mínimo custo (em termos de valor presente) associado à (ao):

- Tipo(s) de equipamento(s). Considera-se que o nó de comutação poderá ser servido por até dois tipos de equipamentos diferentes, podendo ter vários equipamentos de cada tipo. Por exemplo, um nó poderá ter uma central analógica ou poderá ter uma central analógica superposta com um ELR filiado a uma central digital num outro nó ou poderá ser servida por apenas uma central digital, ou ... Neste trabalho não foi considerado 3 tipos de equipamentos (abordagem feita em [23]), embasado no fato de que a maioria das centrais analógicas existentes já estão esgotadas (não podendo ser mais ampliadas), restando apenas a condição de permanência (não há custos) ou de desativação (custos aproximadamente iguais, independente do tipo da analógica). Então, podemos considerar as diferentes analógicas como se fossem um único equipamento.
- Data (quando) de ampliação, implantação ou desativação do(s) equipamento(s)
- Aplicação/Função (central local, local+tandem e tandem)
- Definição do entroncamento para uma dada topologia de rede e uma matriz de tráfego entre os nós da rede
- Definição da filiação dos ELR

A fim de mostrar a dificuldade na escolha das alternativas de evolução [10] [11], a figura 1.1 apresenta um exemplo de estratégia com uma central analógica existente e as possíveis opções de evolução.



Então, para atender uma determinada demanda crescente de assinantes no primeiro estágio de planejamento, o planejador tem cinco opções (a, b, c, d, e) para evoluir o nó (atender a demanda):

- a) Ampliar a central analógica.
- b) Manter a configuração da central analógica e atender o acréscimo de demanda com uma central digital.
- c) Manter a configuração da central analógica e atender o acréscimo de demanda com um estágio de linha remoto (ELR).
- d) Retirar a central analógica e atender toda a demanda com um estágio de linha remoto.
- e) Retirar a central analógica e atender toda a demanda com uma central digital.

Caso o planejador tenha optado pela alternativa "c", serão geradas mais três opções (f, g, h), para atender a demanda de assinantes do estágio seguinte:

- f) Continuar com a configuração da central analógica e ampliar o ELR.
- g) Retirar a central analógica, passando todo o nó a ser atendido pelo ELR.
- h) Retirar a central analógica, passando todo o nó a ser atendido pela central digital.

Caso o planejador opte pela alternativa "h", as próximas opções para o atendimento de uma demanda crescente nos estágios seguintes de planejamento sempre será através da central digital (alternativa i).

Este tipo de análise é apenas uma das etapas do EVOL. Associado às possíveis opções de evolução, são verificadas as factibilidades de atendimento em termos de capacidade (tráfego e terminais), premissas de desativação/remanejamento, etc. A partir de uma análise do valor presente das alternativas, é fornecida a política ótima de evolução do nó.

3 DESCRIÇÃO DO MODELO

3.1 ESTRUTURA GERAL

Adotou-se para o problema de evolução da rede local a seguinte estrutura (fig. 3.0):

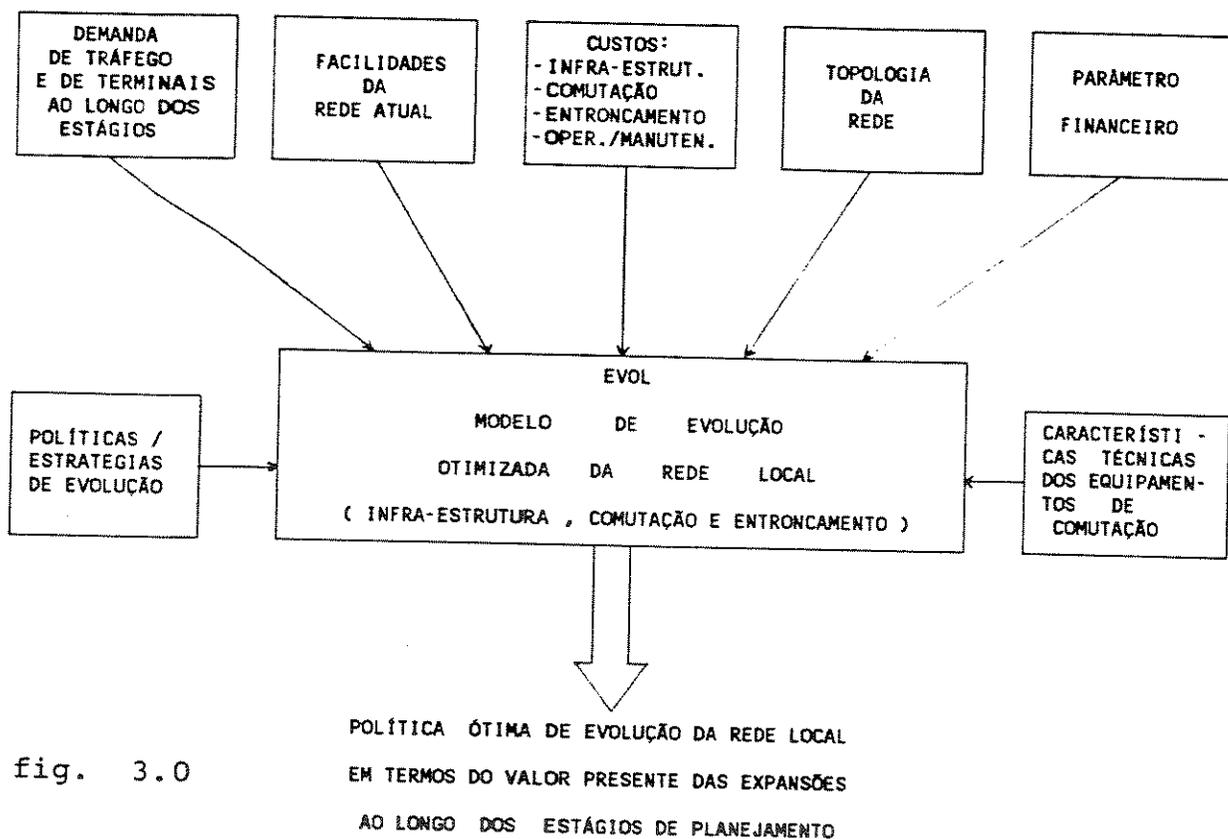


fig. 3.0

3.2 DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES DO MODELO

3.2.1 PARÂMETRO FINANCEIRO

O modelo escolhe a melhor política de evolução através do cálculo do **valor presente** das diversas alternativas a uma **taxa de juros anual**. O custo total é fornecido pela soma dos custos (em termos de valor presente) em cada estágio de planejamento até o ano horizonte considerado finito, delimitando o horizonte de planejamento.

3.2.2 NATUREZA DOS CUSTOS

As despesas de um projeto qualquer podem ser classificadas em despesas operacionais e despesas de capital [22].

Define-se despesas de capital como aquelas relacionadas com a aquisição de bens de capital (normalmente associada à expansão da rede de telecomunicações) e, despesas operacionais como aquelas associadas a sua operação/manutenção.

3.2.2.1 DESPESAS DE CAPITAL

As próximas seções tratarão com maior detalhe a composição dos custos de capital. São considerados como custos de capital os custos de implantação/expansão de infraestrutura, centrais e entroncamento.

3.2.2.2 DESPESAS OPERACIONAIS

As despesas são decorrentes da utilização ou da posse de facilidades de bens de capital. Dependem da quantidade das facilidades, da localização, da forma de uso, de como são mantidas, etc. Com a chegada da Tecnologia Digital algumas operadoras do SBT já estão contabilizando distintamente: Planta Analógica e Planta Digital.

O EVOL considera o custo anual de operação e manutenção por terminal das centrais. Assim, pode-se, de alguma forma, testar a obsolescência das centrais analógicas através do seu custo de operação e manutenção. Esta é uma forma econômica capaz de sugerir uma desativação das centrais analógicas já existentes na rede.

3.2.3 TOPOLOGIA DA REDE

A rede M é descrita por um conjunto I de nós de comutação e pela matriz D de distância mínima ponto a ponto. Então:

$$M = \{I, D\}$$

onde:

$I = \{1, 2, 3, \dots, N\}$ conjunto de nós
 $D = [d_{ij}]_{N \times N}$ matriz de distâncias, sendo que d_{ij} é a distância mínima entre o nó i e o nó j pertencente a I

O EVOL considera que a topologia da rede é estacionária, ou seja, no ano base terá a mesma quantidade de nós que no ano horizonte. Então, mesmo que um nó não tenha demanda no ano base (não existe), sendo que sua criação se dará ao longo do horizonte de estudo, ele deve ser definido à priori no conjunto I.

O EVOL possui uma sub-rotina para calcular a distância mínima ponto a ponto (algoritmo da matriz-Floyd). Então o usuário basta fornecer uma rede topológica $M'=\{I', D'\}$ que o EVOL converte para $M=\{I, D\}$

onde:

M' = Rede topológica fornecida pelo usuário

I' = Conjunto de nós auxiliares

D' = Matriz de distâncias entre os nós auxiliares

A seção 3.3 fornece maiores detalhes sobre o algoritmo da matriz.

3.2.4 MATRIZ DE TRÁFEGO

É uma matriz quadrada, com uma linha e uma coluna para cada nó de comutação da rede, cujo valor contido na linha i e coluna j representa o interesse de tráfego do nó i para o nó j . Quando i for igual a j , denomina-se tráfego interno.

A partir da matriz de tráfego para um determinado estágio obtém-se:

Tráfego originado pelo nó $i = \sum_{j=1}^n a_{ij}$

Tráfego terminado no nó $j = \sum_{i=1}^n a_{ij}$

Tráfego total cursado pelo nó = Tráfego originado pelo nó + Tráfego terminado no nó - Tráfego interno ao nó.

Tráfego por terminal = Tráfego total cursando o nó / Número de assinantes do nó.

Percentual de tráfego interno = Tráfego interno / Tráfego total.

Percentual de tráfego externo = 1 - Percentual de tráfego interno

onde:

n = número de nós de comutação

a_{ij} = tráfego do nó i para o nó j .

Existem alguns métodos [24] (L.M. ERICSSON, AT&T, KRUIHOF, etc...), que auxiliam a se fazer projeções na matriz de tráfego. Tais métodos levam em conta a matriz referente ao ano base, a planta instalada e fatores e premissas de crescimento da rede (tráfego e terminais).

Optou-se por não automatizar a projeção de tráfego, devido a não uniformidade de crescimento e pela peculiaridade de cada rede, necessitando sempre de ajustes para corrigir algumas distorções. Então, cabe ao usuário informar, a cada estágio de planejamento, a matriz de tráfego da rede local. E ao longo das rodadas do EVOL, pode-se fazer simulações de encaminhamento para verificar o reflexo do tráfego de um ELR na rede, obtendo uma estimativa do custo do entroncamento.

3.2.5 CARACTERÍSTICAS DOS EQUIPAMENTOS DE COMUTAÇÃO

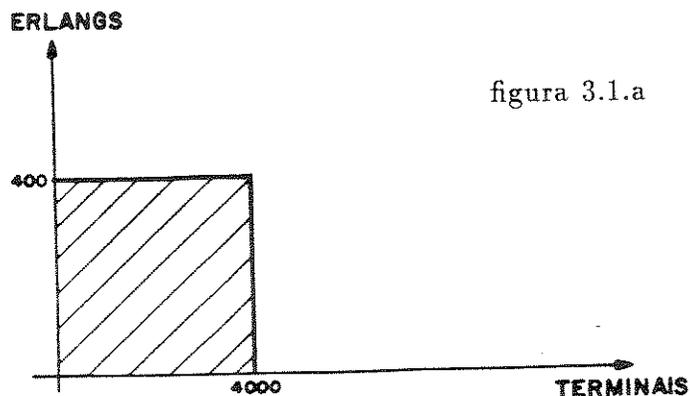
3.2.5.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS/DIMENSIONAMENTO

As centrais são dimensionadas para atender a **fatores externos** como a sua aplicação (local/tandem), o número de rotas com respectivos tráfegos, tipos de entroncamento (analógico/digital), tipos de sinalização, número de troncos PABX, número de assinantes residenciais e comerciais, quantidade de telefone público, tráfego total oferecido, tráfego interno, tráfego tandem, etc...

Por ser um estudo de planejamento, o método considera apenas o número total de assinantes com seu respectivo perfil de tráfego (tráfego por assinante e o percentual de tráfego interno).

Estes fatores externos (características do nó) associados a parâmetros intrínsecos de cada central, como as capacidades máximas de escoamento de tráfego e de terminais (delimitando a região de operação da central), irão selecionar uma carteira de centrais candidatas ao nó.

A figura 3.1.a mostra a região de operação de uma central hipotética com capacidade máxima de 4000 terminais e de 400 erlangs.



A fim de exemplificar a influência do perfil de tráfego dos assinantes no dimensionamento da central, a figura 3.1.b apresenta 3 perfis de tráfego ($\alpha_r = .20$, $\alpha_S = .10$, $\alpha_T = .05$ erlangs/terminal) na região de operação da figura anterior (400 erlangs x 4000 terminais).

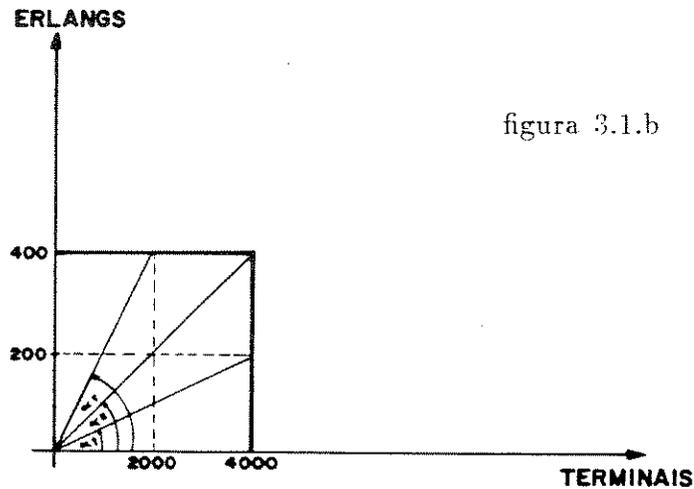


figura 3.1.b

Analisando o tráfego α_r , verifica-se que a central só poderá atender até 2000 assinantes chegando ao seu limite de tráfego (400 erlangs).

Isto já não acontece com o tráfego α_T , que proporcionará um atendimento de 4000 assinantes (chegando ao seu limite em terminais), tendo, ainda, 200 erlangs de folga de tráfego.

O perfil de tráfego α_S explora os dois limites, tráfego e terminal.

As centrais, de um modo geral, apresentam uma estrutura modular.

A modularidade proporciona uma redução nos investimentos necessários ao atendimento dos assinantes, tornando a central menos ociosa.

O EVOL considera a central como sendo uma associação de módulos de tráfego e de terminais.

Desta forma, o planejador pode especificar os diferentes tipos de centrais (aproveitando o conceito de modularidade), variando as capacidades dos módulos de tráfego e de terminais para aproximar-se de um modelo real.

Para exemplificar o conceito de modularidade, a figura 3.1.c mostra uma central hipotética composta de 4 módulos de 100 erlangs (limite máximo de 400 erlangs) e de módulos de 1000 terminais (limite máximo de 4000 terminais) para escoar um tráfego por terminal de .2 erlangs/terminal.

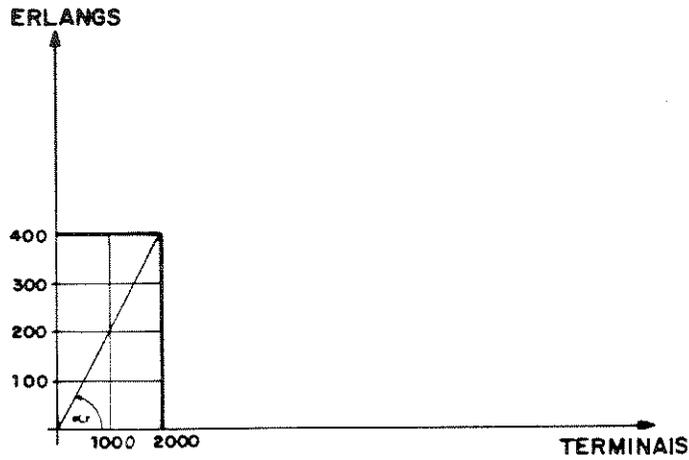


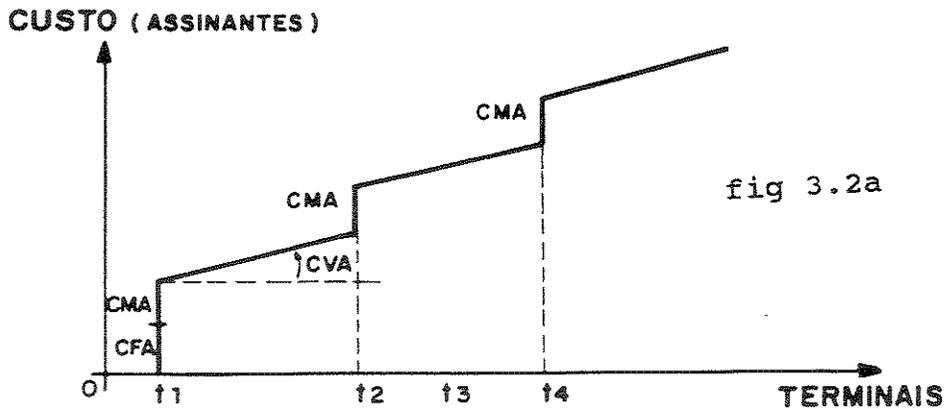
FIG. 3.1 C

Então, para atender 2000 assinantes com tal perfil de tráfego necessita-se instalar 2 módulos de terminais e 4 módulos de tráfego. Pode-se associar o módulo de tráfego com o plano de comutação ou com um processador central.

3.2.5.2 CUSTOS DA CENTRAL

A curva de custos da central está associada a sua estrutura modular adotada pelo modelo de dimensionamento. Compõe-se dos custos devidos à instalação de terminais de assinantes e outra parcela devido ao tráfego a ser escoado.

A figura 3.2.a ilustra a curva de custos devido à instalação de terminais de assinantes.



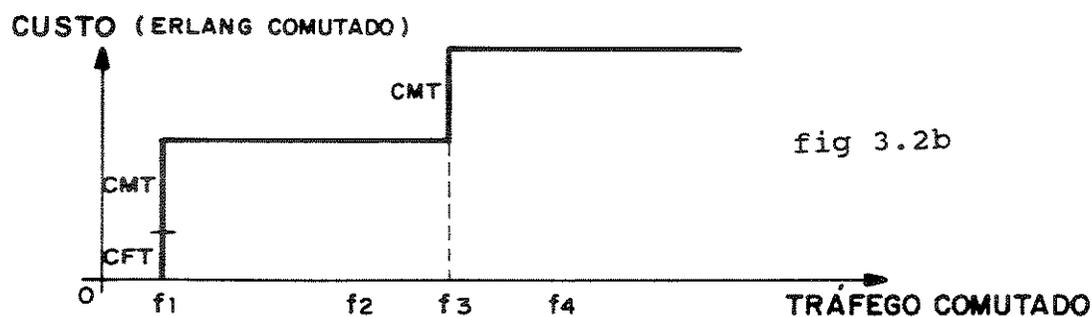
$$\text{custo devido aos terminais de assinantes} = \text{CFA} + n.\text{CMA} + x.\text{CVA}$$

onde:

- CFA: Custo fixo inicial de instalação de assinante
É a parcela do custo demandada por ocasião da ativação inicial da central e independe do número de módulos e de terminais que serão atendidos.
- CMA: Custo fixo de instalação de um módulo de terminais de assinantes
Trata-se do custo associado a instalação de um módulo de terminais. A quantidade dos módulos (n) depende de sua capacidade e do número total de assinantes a serem instalados (x).
- CVA: Custo variável por assinante
É o custo associado a instalação de um assinante dentro de um módulo.

A curva de custo devido ao tráfego a ser escoado possui duas parcelas: uma devido ao tráfego total a ser comutado e uma outra devido ao tráfego externo (entrada+saída), representando o custo associado ao tráfego nos juntores de entrada e saída (E/S), emissores e receptores.

A figura 3.2.b representa os custos devido ao tráfego a ser comutado.

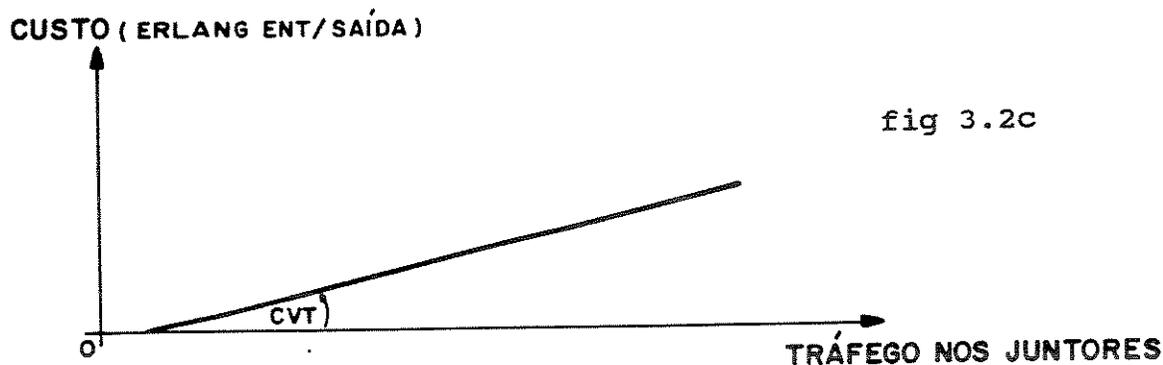


$$\text{custo devido ao tráfego comutado} = \text{CFT} + m.\text{CMT}$$

onde:

- **CFT: Custo fixo inicial de tráfego**
É a parcela do custo de tráfego desembolsada por ocasião da ativação da central. Este custo independe do volume de tráfego a ser comutado.
- **CMT: Custo fixo do módulo de tráfego**
É o custo associado à instalação de um módulo de tráfego. O número de módulos de tráfego (m) depende da sua capacidade (em erlangs) e do volume total de tráfego a ser comutado (tráfego por terminal x número de assinantes).

A figura 3.2.c ilustra a curva de custos devido ao tráfego externo.



$$\text{custo devido ao tráfego externo} = v.CVT$$

onde:

- **CVT: Custo variável de tráfego**
É o custo associado a instalação de facilidades para o escoamento de 1 erlang de tráfego externo, onde o custo total é função linear do volume de tráfego externo (v). Sendo que:

$v = \text{tráf. por terminal} \times \text{no.de terminais} \times \text{percentual de tráf. externo} + \text{tráf. tandem.}$

A figura 3.2.d ilustra um exemplo da curva total de custos da central resultante da soma dos custos devido aos terminais, ao tráfego comutado e ao tráfego externo.

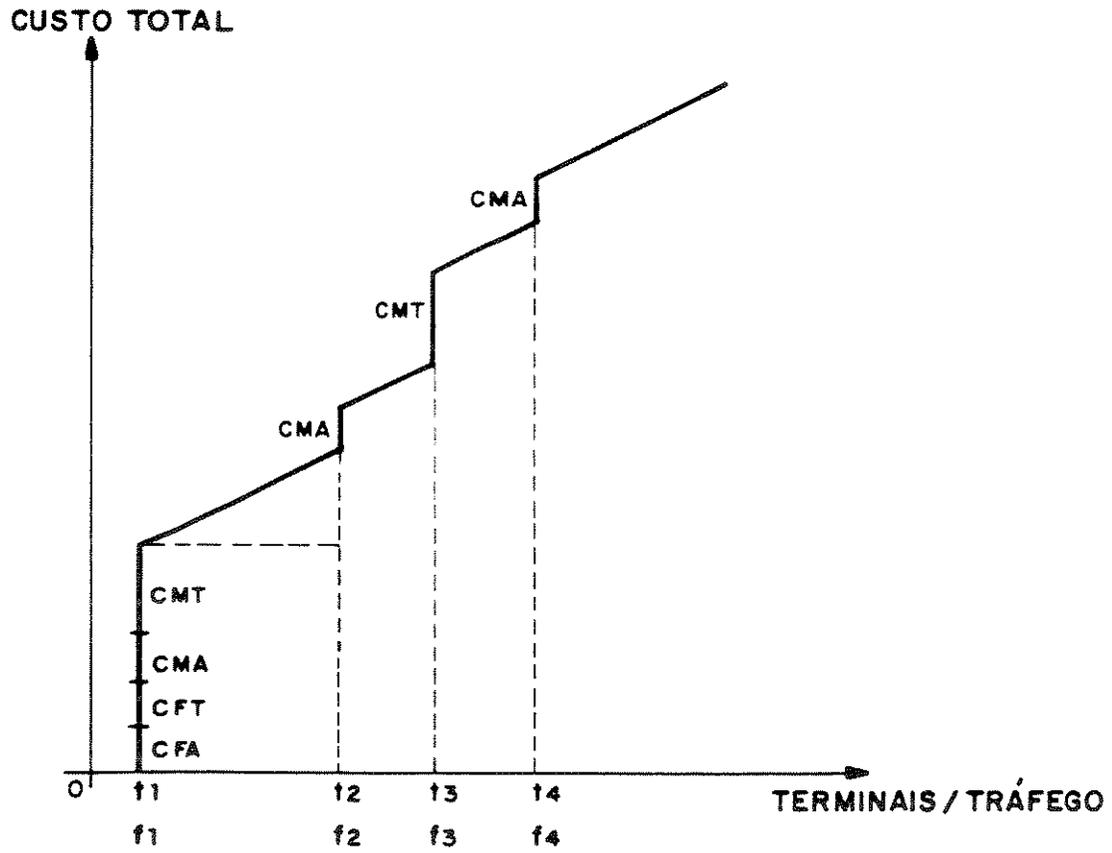


FIG. 3.2 d

3.2.5.3 ORIENTAÇÕES PARA O PLANEJADOR (USUÁRIO)

Para ajudar o usuário no levantamento dos parâmetros de custo adotado pelo modelo, foi feito um dimensionamento de uma central TRÓPICO RAS (protótipo). Para isto, foram feitas algumas simplificações nos fatores externos (número de rotas, número de assinantes residenciais, número de PABX, etc...), adotando-se valores médios, típicos de uma central de 10000 terminais do interior do estado de São Paulo.

A figura 3.3 mostra uma família de curvas de custos, onde a ordenada representa o eixo dos custos (1 unidade monetária = 10³ US\$) e a abscissa, o número de terminais instalados.

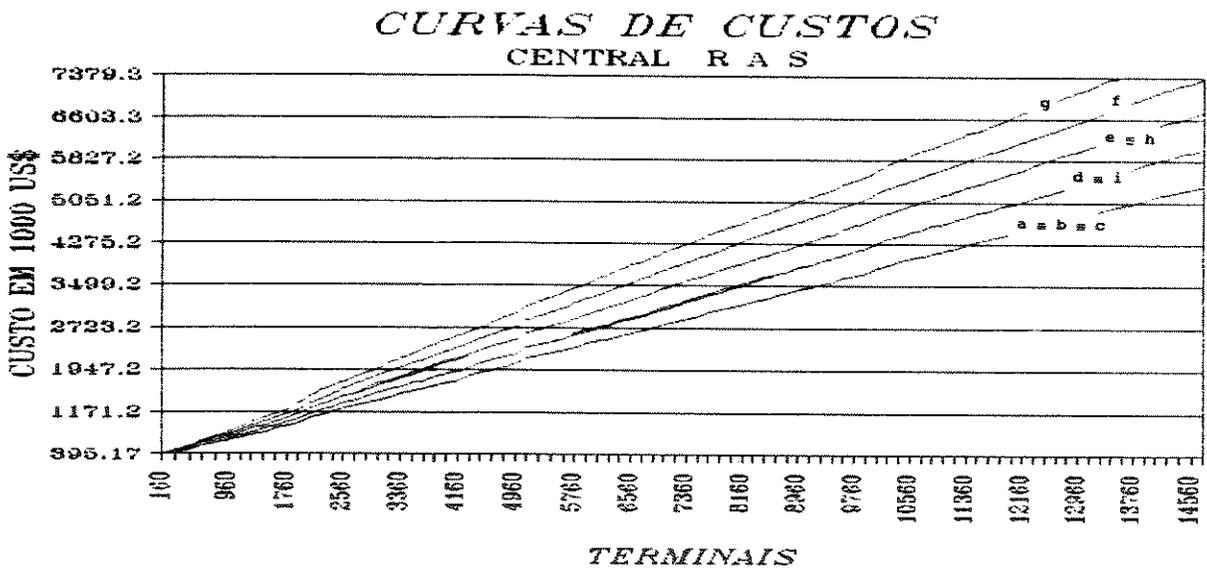


fig 3.3

As curvas foram calculadas variando-se o perfil de tráfego (tráfego/terminal e percentual de tráfego externo) e número de assinantes a serem instalados. Para efeito de simplificação, adotou-se uma variação modular de 160 assinantes (esta variação corresponde a capacidade nominal de projeto para 1 módulo de assinantes). Porém, para uma melhor precisão dos resultados, poder-se-ia adotar uma modularidade menor. O traçado de cada curva foi obtido ligando-se os resultados dos custos a cada 160 assinantes.

A curva de menor inclinação (curva "a") corresponde a um tráfego por terminal de .01 erlangs (que é considerado desprezível). Associando-se esta curva com a parcela de custos devido aos terminais, poderíamos atribuir o valor de 329 unidades monetárias (U.M.) ao custo fixo inicial de instalação (prolongando-se a curva até zero assinantes) e sua inclinação (CVA) igual a .3407 U.M. por terminal.

Nota-se a ausência de "saltos" ao longo da curva, o que caracteriza um custo zero para o módulo de terminais. A explicação disto, é devido ao fato de adotar uma variação de 160 assinantes para o cálculo do custo da central (pois 160 representa a capacidade nominal do módulo projetada para a central RAS).

Para saber a parcela do custo da central devido ao tráfego a ser escoado, dividiremos o problema em duas etapas:

- Conhecer os custos devido ao tráfego comutado
- Conhecer os custos devido ao tráfego externo (E/S)

Para obter as informações dos custos, somente devido ao tráfego comutado, basta desprezar o custo associado ao tráfego externo, fazendo com que o percentual do tráfego interno seja, aproximadamente, 100% (ou 0% de tráfego externo). Desta forma, o custo da central só terá dois componentes: custos devido aos terminais e custos devido ao tráfego comutado. Então, torna-se possível obter os parâmetros dos custos do tráfego comutado, pois os custos devido aos terminais já foram calculados. Para o cálculo do CFT e do CMT foram traçadas curvas para .2 e .4 erlang/terminal com 0 % de tráfego externo (curvas b e c), ou seja, todo o tráfego será interno.

Observou-se que o custo fixo inicial de tráfego (CFT) é, aproximadamente, igual ao custo fixo inicial devido aos terminais (CFA) e que não houve "saltos" ao longo das curvas, sobrepondo-se com a curva de baixíssimo tráfego (curva "a"). Então, poder-se-ia atribuir custos iguais a zero para o CFT e para o CMT.

Uma possível explicação para isto, seria que todas as facilidades para a comutação tivessem sido implantadas por ocasião da ativação inicial da central, precisando, assim, de uma outra análise para definir quanto seria o CFT embutido no CFA.

Em termos práticos, é muito mais provável termos uma central com volume grande de tráfego a ser comutado com zero assinantes (central puramente tandem), do que uma central com muitos assinantes com um baixíssimo tráfego comutado. Assim, recomenda-se inverter os custos fixos iniciais, ficando, neste exemplo, $CFT = 329$ U.M., $CFA = 0$, $CMT = 0$ e $CMA = 0$. Isto é transparente para o modelo de custo do EVOL, pois a cada nova central sempre haverá uma parcela $CFT + CFA$.

Então, só falta obter o custo variável devido ao tráfego externo. Para isto, foram calculadas as curvas de custos para 6 perfis de tráfego (.1, .2, .3 e .4 erlangs/terminal com 100% de tráfego externo - curvas "d", "e", "f" e "g" respectivamente - e .4 e .2 erlangs por terminal com 50% de tráfego externo - curvas "h" e "i", respectivamente).

Chama-se atenção para a coincidência da curva "h" (.4 e 50%) com a curva "l" (.2 e 100%), bem como a curva "i" (.2 e 50%) com a curva "d" (.1 e 100%).

Isto reforça a influência da relação tráfego externo/tráfego comutado no custo variável de tráfego, validando a separação do custo do tráfego em duas parcelas (custo devido ao tráfego comutado e, ao tráfego externo).

Calculando CVT em função do tráfego externo e da inclinação das retas, acha-se um valor médio de .48 U.M. por erlang de tráfego externo.

A equação geral dos custos fica:

$$\text{Custos das RAS} = 329 + .34 X + .48 V$$

Para:

$$CFA = 0, CMA = 0, CVA = .34$$

$$CFT = 329, CMT = 0, CVT = .48$$

X = Número de terminais

V = Volume de tráfego externo

Inúmeras interpretações poderiam ser feitas, ficando mais ou menos próximas da realidade, conforme a experiência do usuário com a central a ser dimensionada. O importante mostrado aqui é que a partir de fatores externos (perfil de tráfego e número de assinante) e suas correspondentes curvas de custos consegue-se, sem precisar conhecer todos os componentes intrínsecos da central, obter os parâmetros de custos utilizados pelo modelo. Esta abordagem torna-se útil quando o usuário não conhece bem o dimensionamento da central. Então, variando-se as entradas (tráfego e terminais) da caixa preta (central) pode-se obter do fabricante a correspondente saída (custos).

3.2.5.4 CENTRAIS GEMINADAS

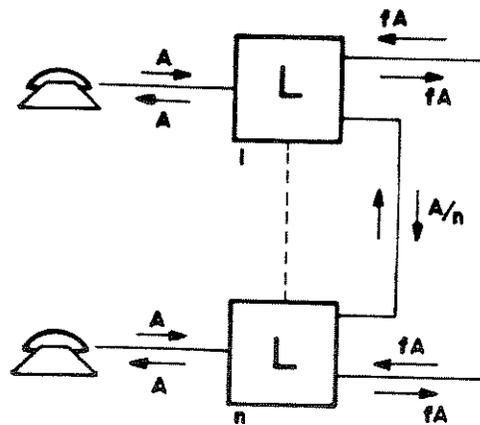
A geminação de centrais é um recurso utilizado para aumentar a região de operação da central, criando condições técnicas para atender mais assinantes (e mais tráfego), sem alterar o plano de encaminhamento das chamadas relativas ao nó.

Desta forma, a geminação facilita a administração do tráfego e diminui os custos de entroncamento (aumentando a eficiência nos troncos).

A quantidade máxima de assinantes dependerá do número máximo possível de geminações (estabelecido pelo usuário) e do perfil de tráfego dos assinantes do nó.

O modelo EVOL adota a geminação simples ilustrada na figura 3.4.

FIG.3.4



onde:

- L → Limite de tráfego para uma central
- A → Tráfego gerado pelos assinantes ligados a uma central
- f → Percentual (fator) de tráfego externo
- n → Número de geminações
- A/n → Tráfego nos "links" de geminações. Neste "link" passa uma parcela de tráfego interno $(1 - f)A/n$ e outra de tráfego externo fA/n

O modelo de geminação apresenta como desvantagem a não linearidade do aumento da região de operação, ou seja, há um aumento da perda na capacidade de tráfego à medida em que aumenta o número de centrais geminadas (aumenta o número de "links"). A figura 3.5 ilustra as variações dos limites de tráfego e de terminais em função do número de centrais geminadas para um dado perfil de tráfego.

As áreas A_1 , A_2 e A_3 representam as perdas na capacidade de processamento de tráfego relativo a 2, 3 e 4 centrais geminadas. Observando-se a curva γ obtida interligando-se os pontos de máxima capacidade de tráfego e de terminais para cada situação, conclui-se que tenderá a um estado em que não terá mais ganho, pois o sistema ficará saturado em tráfego.

Existe uma flexibilidade no modelo (definida pelo usuário) para não considerar a perda na capacidade de tráfego, ficando o aumento da região de operação proporcional ao número de geminações. Então, para uma central que tenha um limite de tráfego de E (erlangs), quando geminada a outra central aumentará a capacidade para $2E$ (erlangs). Assim o aumento da região de operação será função linear do número de centrais geminadas.

A fim de explorar um pouco mais a influência da geminação na quantidade de assinantes a serem instalados, são ilustradas na figura 3.6 duas centrais geminadas onde serão instalados T assinantes com um tráfego por terminal de α , para um dado percentual de tráfego externo.

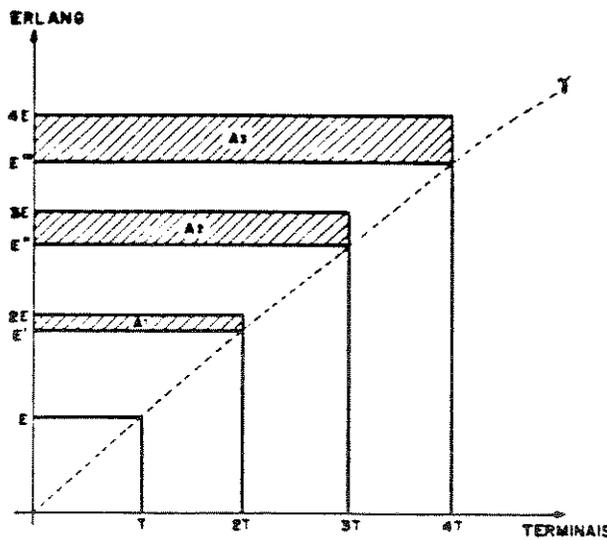


fig.
3.5

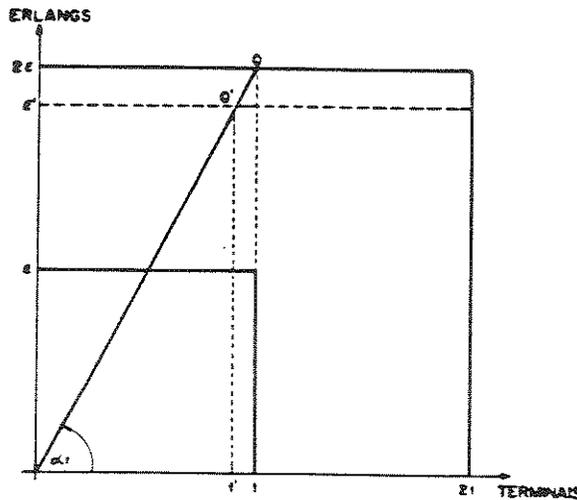


fig.
3.6

Observa-se que o ponto Q ficou fora da região de operação criada pela geminação de

2 centrais (E' , 2T). Então, para atendermos T assinantes necessitaríamos geminar 3 centrais.

Chama-se atenção na importância dos custos fixos iniciais de tráfego e de terminais, pois terão grande influência na escolha dos tipos de centrais, pois a cada nova central será incorporada uma parcela (CFT+CFA) ao custo total.

3.2.5.5 ESTÁGIO DE LINHA REMOTO (ELR)

Os ELR possuem as mesmas características de dimensionamento e de custos descritos anteriormente para as centrais. Porém, diferem quanto à dependência de encaminhamento das chamadas que será feito através da central mãe (inclusive o tráfego interno). Então, não existirão links de geminação, evitando a perda na capacidade de tráfego, aumentando a região de operação proporcionalmente com o número de ELR instalados no nó.

O modelo contempla o custo indireto provocado pelo ELR na central mãe e no entroncamento (devido ao tráfego interno que vai até a central mãe e depois retorna ao ELR).

3.2.6 CARACTERÍSTICAS DO NÓ DE COMUTAÇÃO

3.2.6.1 DEMANDA E PERFIL DE TRÁFEGO DO NÓ

Por ocasião do plano fundamental serão conhecidas as demandas de terminais de todos os nós de comutação da rede (demarcada pelas respectivas áreas de estação) ao longo do período de planejamento.

A partir dessas novas configurações de assinantes por área de estação e dados históricos de tráfego da área local, poderão ser obtidos os perfis de tráfego dos assinantes de cada nó da área local. Este perfil é dado pelo tráfego por terminal e pela porcentagem de tráfego interno (porcentagem do tráfego por terminal que se destina aos assinantes do próprio nó).

A quantidade de assinantes e o perfil de tráfego do nó de comutação são parâmetros decisivos para a seleção de equipamentos de comutação candidatos à evolução do nó. É considerado que toda a demanda será atendida e que o perfil de tráfego será modificado conforme os valores contidos na matriz de interesse de tráfego a cada estágio de planejamento.

3.2.6.2 CUSTOS DO NÓ DE COMUTAÇÃO

A curva de custos relativa ao nó é composta por uma parcela inicial fixa que envolve gastos com terreno, terraplenagem, alicerce, malha de aterramento, etc... e uma outra parcela modular que engloba custos da estrutura predial/cabine, sistemas de corrente alternada, corrente contínua, ar condicionado, detecção de alarmes, etc.

Porém, a composição dos integrantes de cada parcela do custo depende do próprio usuário (operadora).

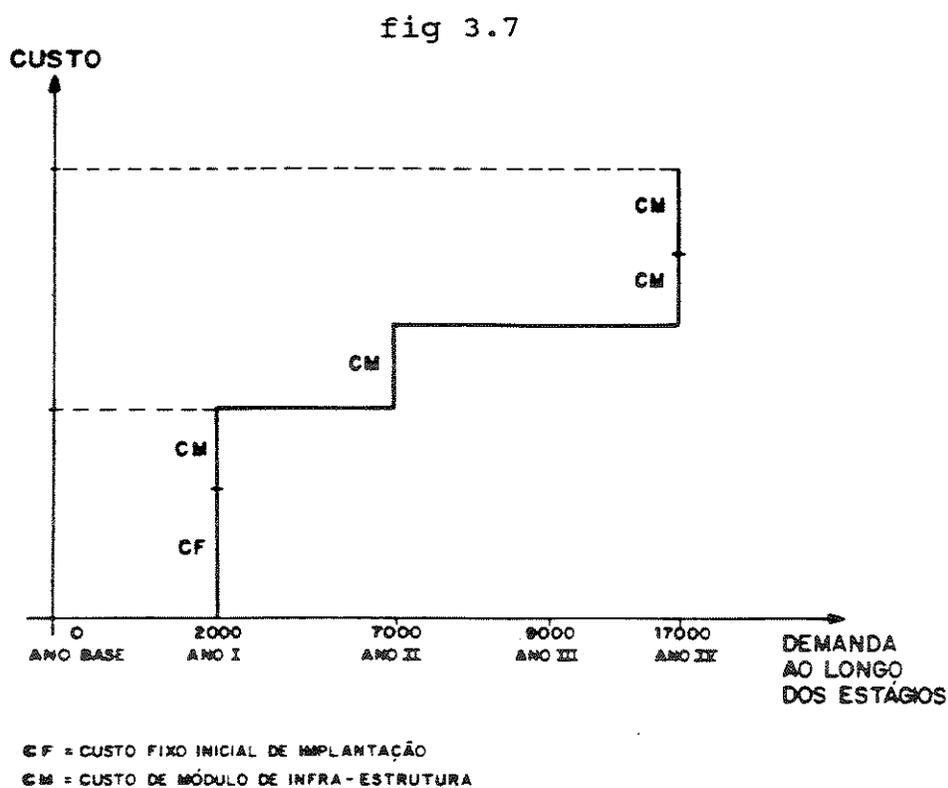
A curva de custo proposta pelo modelo é apenas uma forma que o usuário tem para fazer uma aproximação com a realidade.

O custo fixo inicial de implantação é desembolsado por ocasião da ativação do nó, sendo incrementado pelo custo dos módulos.

A capacidade do módulo de infra-estrutura é expressa em terminais.

A ampliação dar-se-á através das instalações de tantos módulos, quanto forem necessários ao atendimento da demanda.

A figura 3.7 mostra, como um exemplo, a curva de custo da infra-estrutura de um nó de comutação para atender as demandas, ao longo do horizonte de planejamento, com módulos de 5000 terminais. Considera-se que a demanda permanecerá constante entre os estágios de planejamento.



O nó de comutação do exemplo da figura 3.7, não existe no ano base, aparecendo, apenas, no estágio seguinte com uma demanda de 2000 terminais. Então neste estágio contemplará custo fixo inicial de implantação (terreno + terraplenagem + alicerce) e

o custo de um módulo de infra-estrutura, formando o custo total de implantação. No estágio seguinte há necessidade de se instalar mais um módulo, ficando o nó com a capacidade de abrigar/atender até 10 mil terminais. Com isto, embora no penúltimo estágio a demanda seja de 9000 terminais não há necessidade de mais um módulo. E no último estágio, o nó terá uma demanda de 17000 terminais, acarretando uma infra-estrutura de 20000 (4 módulos de 5000 terminais).

O exemplo anterior (implantação de um novo centro de fios) aplica-se ao caso em que serão propostas centrais digitais para o atendimento da demanda (tráfego e terminais). Porém, os centros já existentes possuem, na sua grande maioria, centrais analógicas. Estudos mostram o ganho (redução de área) de infra-estrutura ao se usar a tecnologia digital em relação a analógica [22].

A área necessária à instalação de terminais é um outro fator importante que contribui para a obsolescência das centrais analógicas.

O EVOL considera que a capacidade de terminais do módulo de infra-estrutura é informada em relação à tecnologia digital.

Assumindo-se uma proporção de 4:1 (instalo 4 terminais digitais no lugar de 1 terminal analógico), no exemplo anterior, o módulo de infra-estrutura que atenderia até 5000 terminais digitais, terá sua capacidade máxima restringida apenas a 1250 terminais analógicos (1/4 de 5000). Então, caso utilize-se uma central analógica para atender os 2000 assinantes no primeiro estágio de planejamento, necessitaríamos instalar 2 módulos de infra-estrutura (possibilitando o atendimento de até 2500 assinantes).

3.2.6.3 ESTADO DO NÓ

Para os nós de comutação já existentes no ano base, serão considerados os tipos de centrais, as quantidades de assinantes e a infra-estrutura instalada.

3.2.7 TRANSIÇÕES DE ESTADO

3.2.7.1 TIPOS DE TRANSIÇÕES

O estado do nó identifica o(s) tipo(s) de equipamento(s) existente(s) no nó de comutação. As transições de estado representam as opções de evolução de um determinado estágio de planejamento para o estágio seguinte. Assim como o modelo desenvolvido pelo CPqD/ELEBRA/PHT [12], o EVOL considera 9 tipos de transições de estados, sendo que apenas 1 tipo de equipamento pode ser introduzido a cada estágio e que o nó de comutação não poderá ter mais do que dois tipos de equipamentos. Porém a diferença se dá no dimensionamento dos equipamentos e nos casos 4 e 6 que explora a obsolescência da central analógica.

A tabela II apresenta os tipos possíveis de transições de estado para o atendimento de uma demanda crescente.

	Estágio i origem	→ Estágio i+1 destino	Significado
1	-	→ -	não tem demanda
2	-	→ X	implantação
3	X	→ X	ampliação com o mesmo equipamento
4	X	→ X+Y	ampliação com outro equipamento
5	X	→ Y	substituição de equipamento
6	X+Y	→ X+Y	ampliação do segundo equipamento
7	X+Y	→ Y	substituição do primeiro equipamento
8	X+Y	→ Y+Z	substituição do primeiro equipamento por por um terceiro
9	X+Y	→ Z	substituição de todos os equipamentos

Tabela II

Onde X, Y, Z são variáveis que representam tipos de equipamentos (estado do nó).

3.2.7.2 GRAFO DE TRANSIÇÕES DE ESTADOS

O grafo de transições de estados representa as estratégias/políticas de evolução propostas pelo usuário para a rede local em estudo.

Deverão ser considerados os estados dos nós já existentes e os nós que irão surgir ao longo do estudo.

A figura 3.8 ilustra um exemplo de grafo de transição de estado, representando um estudo de mercado entre centrais da família Trópico (R, RAS e RA).

Os nós do grafo representam os estados (tipos de centrais) e os arcos, os tipos de transições de estado (identificada pela numeração, conforme tabela II).

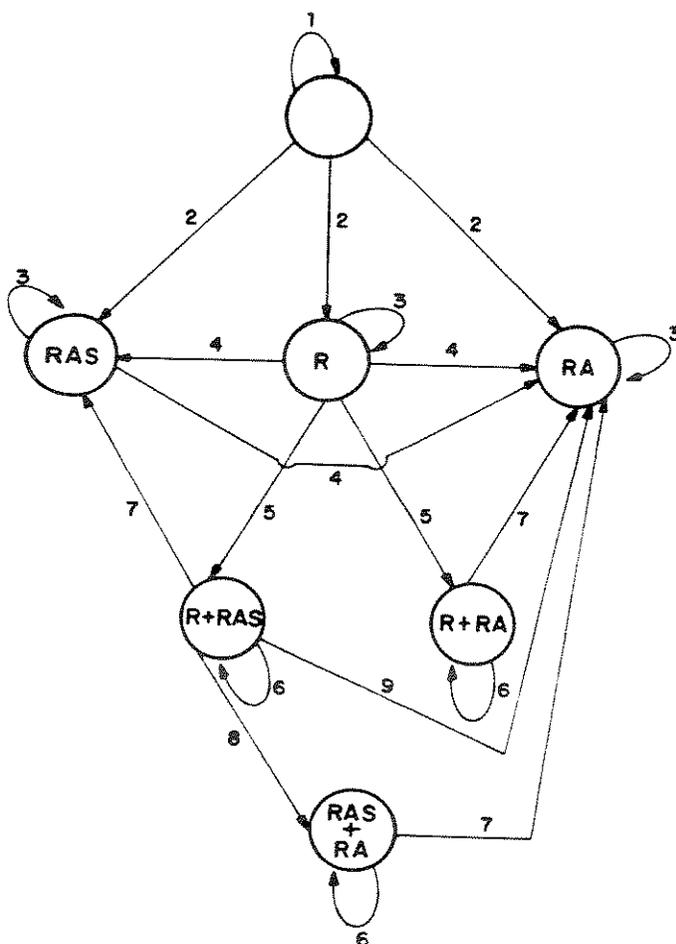
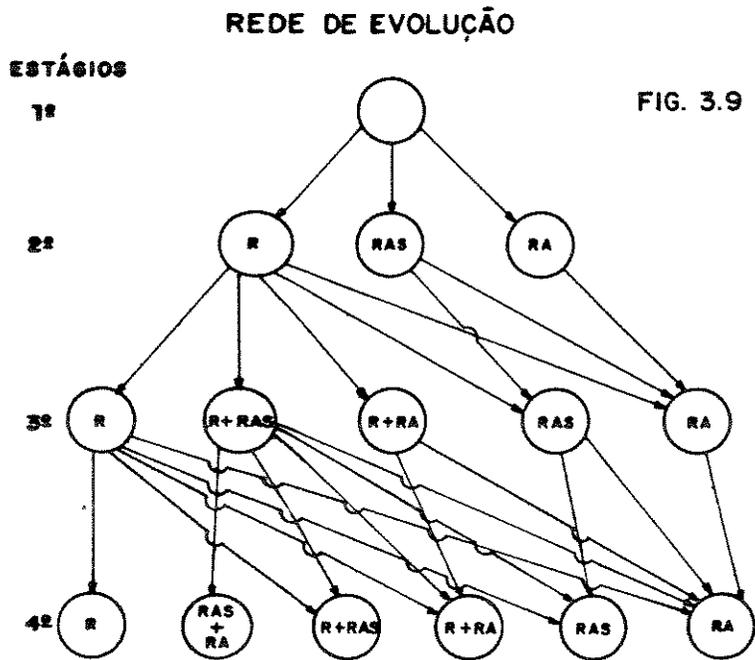


FIG. 3.8

3.2.7.3 REDE DE EVOLUÇÃO

A partir do grafo de transições de estado e do estado do nó no primeiro estágio, uma sub-rotina de recorrência (MONTA) gera a rede de evolução do nó até o ano horizonte. Utilizando o grafo do exemplo anterior, a figura 3.9 ilustra a rede de evolução para um nó sem equipamento no ano base, resultando em 6 estados finais de evolução (R, RAS+RA, R+RAS, R+RA, RAS, RA) no quarto estágio.



A rede de evolução gerada mostra todas as possibilidades de alternativas de evolução do nó do primeiro ao quarto estágio de planejamento. Analisando a figura verifica-se que existem 3 alternativas de evolução do nó no ano base (primeiro estágio) para o segundo estágio:

- Implantar uma central Trópico R
- Implantar uma central Trópico RAS
- Implantar uma central Trópico RA

A partir de cada estado (nó) criado no segundo estágio são geradas mais novas opções de evolução, baseado no grafo de transições de estado. Este procedimento se repete até

que se chegue ao último estágio.

Associado a cada alternativa, são feitos testes de factibilidade e são calculados os custos de evolução em termos de valor presente.

O arco que liga um estado no estágio i (nó origem) a um outro no estágio $i+1$ (nó destino), só será criado após ser testada a factibilidade do estado nó destino. As características técnicas dos equipamentos são os principais ofensores da factibilidade. Pois é testada a capacidade do equipamento em atendimento (tanto em terminais quanto em tráfego) da demanda no estágio do estado em questão (nó destino).

Assim, no grafo de transições do exemplo anterior, caso a demanda (tráfego e terminais) no segundo estágio for maior que o limite máximo de atendimento pela central Trópico R (já levando-se em conta sua geminação) seria gerada a seguinte rede de evolução (figura 3.10):

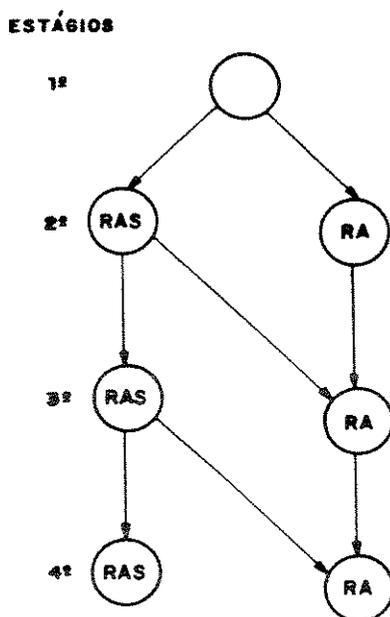


FIG. 3.10

Nota-se que a nova rede de evolução ficou bem menor em relação a anterior (fig. 3.9), pois eliminou todas as alternativas de evolução que envolvessem a central Trópico R. Esta rede apresenta agora 2 estados finais no último estágio (RAS e RA).

Para chegar no quarto estágio no estado RAS só existe uma alternativa que é a de implantar uma RAS no segundo estágio e mantê-la/ampliá-la no terceiro ($- \rightarrow \text{RAS} \rightarrow \text{RAS} \rightarrow \text{RAS}$). Já para o nó (sem equipamento) do primeiro estágio evoluir para o estado RA no último estágio, existem 3 alternativas:

Alternativa	1o. estágio	2o. estágio	3o. estágio	4o. estágio
1	-	implantar RAS	manter/ampliar a RAS	substituir pela RA
2	-	implantar RAS	substituir pela RA	manter/ampliar a RA
3	-	implantar RA	manter/ampliar a RA	manter/ampliar a RA

3.2.7.4 DETALHAMENTO DOS CUSTOS DE TRANSIÇÃO

Para facilitar o entendimento dos custos envolvidos nas transições de estado, serão feitos exemplos utilizando-se a figura 3.11 que ilustra uma rede de evolução de um nó com um previsto perfil de tráfego (α_r , f) considerado constante ao longo dos estágios.

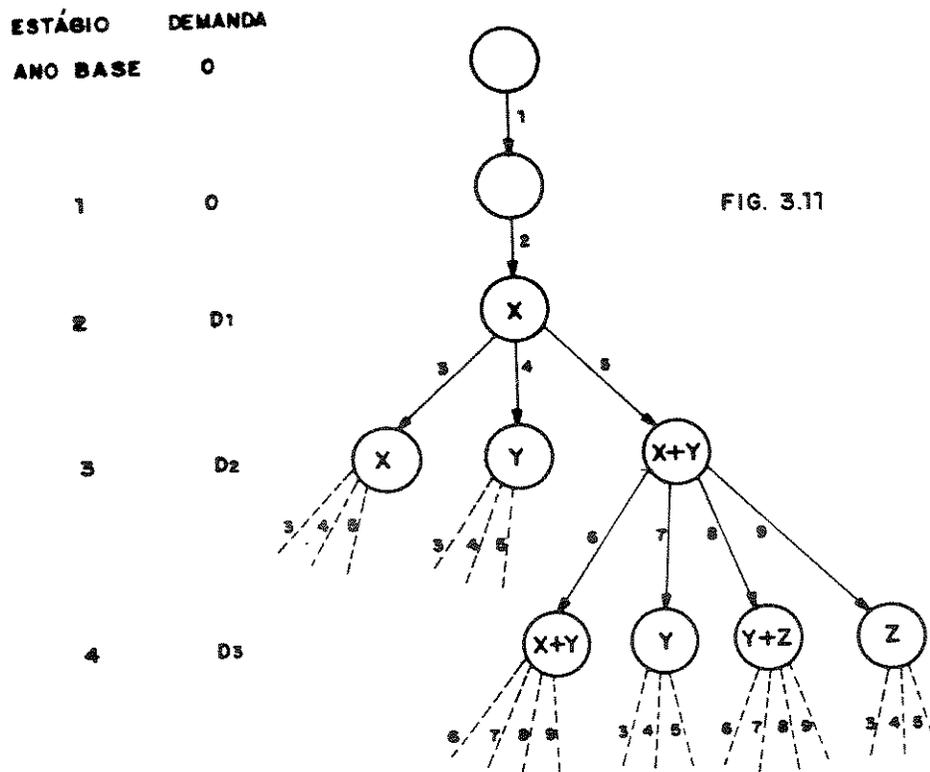


FIG. 3.11

Esta rede de evolução explora os 9 tipos de transições (identificadas pela numeração nos arcos) para atender as demandas ao longo dos 4 estágios. As centrais X, Y, Z representam os equipamentos envolvidos nas transições de estado. As figuras 3.12.a, 3.12.b e 3.12.c ilustram, respectivamente, as regiões de operação das centrais envolvidas.

FIG. 3.12a

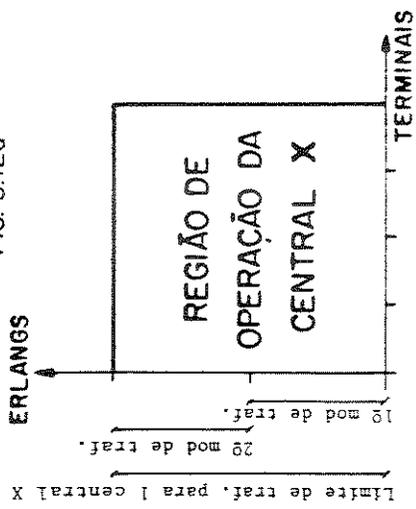


FIG. 3.12 b

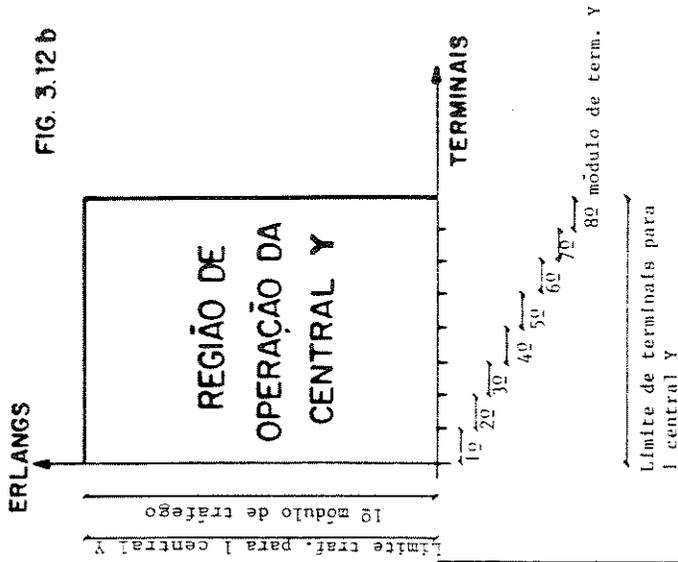
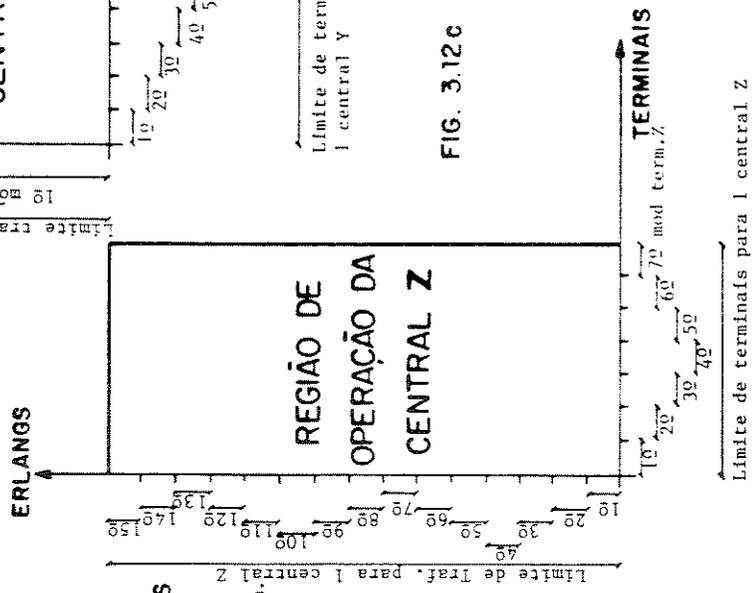


FIG. 3.12c



Limite de terminais para l central Z

3.2.7.4.1 AUSÊNCIA DE DEMANDA

Estágio i → Estágio i+1
- → -

Esta transição indica que o nó continua ainda sem demanda no estágio seguinte (i+1). Portanto esta transição possui custo zero.

3.2.7.4.2 IMPLANTAÇÃO DO NÓ

Estágio i → Estágio i+1
- → X

Esta transição indica o aparecimento de uma demanda no estágio i+1 e que será implantado um equipamento X. O equipamento X corresponde a 1 central ou geminação de centrais indicadas pela variável X.

A equação de custos desta transição é:

$$CUSTO_{- \rightarrow X} = \Delta L_X \cdot CFA_X + \Delta M_X \cdot CMA_X + \Delta A_X \cdot CVA_X + \Delta L_X \cdot CFT_X + \Delta N_X \cdot CMT_X + \Delta V_X \cdot CVT_X$$

onde:

- Dimensionamento

- ΔL_X = Número de centrais adicionais do tipo X. Como trata-se de uma implantação, todo dimensionamento é adicional.
- ΔM_X = Número adicional de módulos de terminais tipo X.
- ΔN_X = Número adicional de módulos de tráfego do tipo X
- ΔA_X = Número de terminais adicionais do tipo X.
- ΔV_X = Volume adicional de tráfego externo a ser cursado no equipamento X ($\Delta V_X = \Delta A_X \cdot \alpha_r \cdot f$)

- Custos

- CFA_X = Custo fixo inicial de terminais de uma central do tipo X
- CFT_X = Custo fixo inicial de tráfego de uma central do tipo X
- CMA_X = Custo fixo de um módulo de terminais de uma central do tipo X
- CMT_X = Custo fixo de um módulo de tráfego de uma central do tipo X
- CVA_X = Custo por terminal instalado na central do tipo X
- CVT_X = Custo por erlang de tráfego de entrada/saída (E/S) na central do tipo X

A figura 3.13 ilustra um exemplo de dimensionamento da central X para atender D1 assinantes com α_r erlangs/terminal e com um percentual f de tráfego externo no estágio 2 da rede de evolução mostrada na figura 3.11.

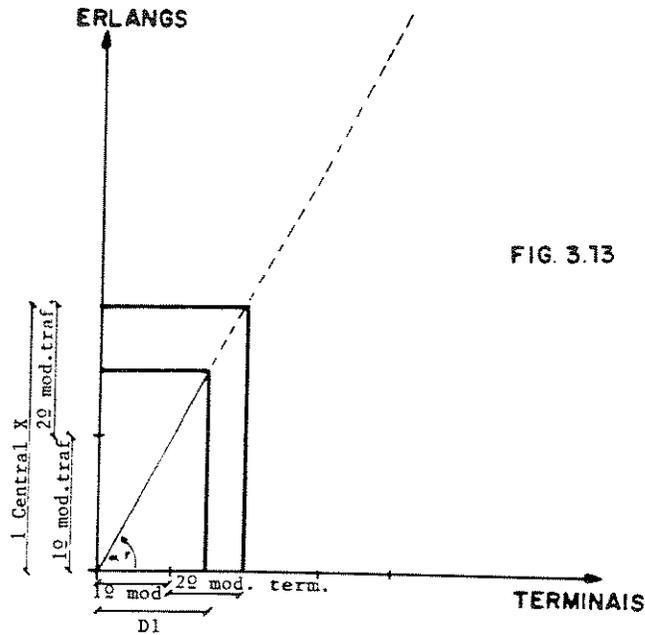


FIG. 3.13

O dimensionamento feito da central X no estágio $i+1$ mostra que para atender a demanda (tráfego e terminal) necessita de:

1 central, 2 módulos de terminais (sendo que 1 ficará incompleto), D1 terminais, 2 módulos de tráfego (1 incompleto) e facilidades para escoar um volume de $V_1 = D1 \cdot \alpha_r \cdot f$ de tráfego externo.

O custo da transição fica:

$$CUSTO_{\dots X} = 1.CFA_X + 2.CMA_X + D1.CVA_X + 1.CFT_X + 2.CMT_X + V_1.CVT_X$$

3.2.7.4.3 AMPLIAÇÃO

$$\begin{array}{l} \text{Estágio } i \rightarrow \text{Estágio } i+1 \\ X \rightarrow X \end{array}$$

Esta transição de estado se refere a um caso de ampliação do equipamento X para o atendimento da demanda (tráfego e terminais) do estágio i+1.

Primeiramente, ocupa-se a parcela ociosa da central já instalada no estágio i. E em seguida, verifica-se a necessidade da quantidade de novas centrais, módulos (tráfego/terminais), terminais e facilidades de tráfego externo para atender toda a demanda do estágio i+1. O custo da evolução $X \rightarrow X$ é dada pela equação:

$$CUSTO_{X \rightarrow X} = \Delta L_X \cdot CFA_X + \Delta M_X \cdot CMA_X + \Delta A_X \cdot CVA_X + \Delta L_X \cdot CFT_X + \Delta N_X \cdot CMT_X + \Delta V_X \cdot CVT_X$$

onde:

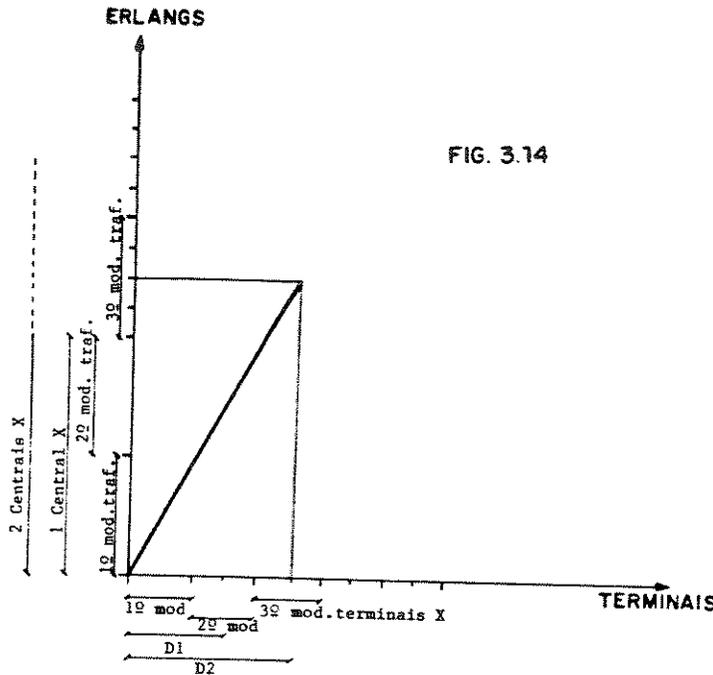
- Dimensionamento

- ΔL_X = Número de centrais adicionais do tipo X.
- ΔM_X = Número adicional de módulos de terminais tipo X.
- ΔN_X = Número adicional de módulos de tráfego do tipo X
- ΔA_X = Número de terminais adicionais do tipo X.
- ΔV_X = Volume adicional de tráfego externo a ser cursado no equipamento X ($\Delta V_X = \Delta A_X \cdot \alpha_r \cdot f$)

- Custos

- CFA_X = Custo fixo inicial de terminais de uma central do tipo X
- CFT_X = Custo fixo inicial de tráfego de uma central do tipo X
- CMA_X = Custo fixo de um módulo de terminais de uma central do tipo X
- CMT_X = Custo fixo de um módulo de tráfego de uma central do tipo X
- CVA_X = Custo por terminal instalado na central do tipo X
- CVT_X = Custo por erlang de tráfego de entrada/saída (E/S) na central do tipo X

A figura 3.14 ilustra um exemplo de dimensionamento da transição $X \rightarrow X$ para atender uma demanda $D2$ no estágio 3 (dando sequência ao exemplo anterior).



O dimensionamento para o estado X no estágio 3 para atender $D2$ com um tráfego por terminal α_r e com um fator de tráfego externo f (o mesmo perfil de tráfego no estado 2) necessitará de 2 centrais, 3 módulos de terminais (1 incompleto), $D2$ terminais, 3 módulos de tráfego e $(D2 \cdot \alpha_r \cdot f)$ erlangs de tráfego externo.

Em termos de custos de evolução o acréscimo foi de:

como:

$$\Delta L_X \text{ (centrais adicionais)} = 1$$

$$\Delta M_X \text{ (acrécimo de módulos de terminais)} = 1$$

$$\Delta N_X \text{ (acrécimo de módulos de tráfego)} = 1$$

$$\Delta A_X \text{ (acrécimo de terminais)} = D2 - D1$$

$$\Delta T_X \text{ (acrécimo do volume de tráfego externo)} = \alpha_r \cdot f \cdot (D2 - D1)$$

$$CUSTO_{X \rightarrow X} = 1.CFA_X + 1.CMA_X + (D2 - D1).CVA_X + 1.CFT_X + 1.CMT_X + (\alpha_r \cdot f \cdot (D2 - D1)).CVT_X$$

3.2.7.4.4 SUBSTITUIÇÃO DO EQUIPAMENTO

$$\begin{array}{l} \text{Estágio } i \rightarrow \text{Estágio } i+1 \\ X \rightarrow Y \end{array}$$

Esta transição traduz uma substituição do equipamento existente no estágio i por um outro tipo no estágio $i+1$. O novo equipamento irá abranger toda a demanda (terminais e tráfego) que era atendida pelo equipamento indicado pelo estado X (estágio i) e mais a nova demanda do estágio $i+1$.

O EVOL considera que o equipamento substituído poderá ou não ser reaproveitado. O usuário informará o grau (porcentagem) de reaproveitamento, podendo ser positivo (indicando um reaproveitamento do equipamento) o que implicará na redução do custo da transição ou ser negativo (indicando uma penalização na desativação) o que implicará num aumento do custo da transição.

A tabela abaixo ilustra exemplos de reaproveitamentos e penalização.

Estado i	Estado $i+1$	Desativação com:	Grau (%)
Central analógica	Central digital	Penalização	W_1^+
Central analógica	ELR	Penalização	W_2^+
ELR do RA	RA	Reaproveitamento	W_3^-
R	RA	Reaproveitamento	W_4^-

A equação dos custos de transição $X \rightarrow Y$ adotada é:

$CUSTO_{X \rightarrow Y} =$ Custos de implantação da central Y + Custo associado a desativação com reaproveitamento ou penalização da central X .

$CUSTOS \text{ DE IMPLANTAÇÃO DA CENTRAL } Y \text{ NO ESTÁGIO } i+1 = \Delta L_Y \cdot CFA_Y + \Delta M_Y \cdot CMA_Y + \Delta A_Y \cdot CVA_Y + \Delta L_Y \cdot CFT_Y + \Delta N_Y \cdot CMT_Y + \Delta V_Y \cdot CVT_Y$

$CUSTO \text{ DE DESATIVAÇÃO} = W^{+/-} \cdot$ Custo atual (estágio $i+1$) da central com a demanda do estágio i .

onde:

$W^{+/-}$ é o grau de reaproveitamento/penalização.

A figura 3.15 ilustra um exemplo de dimensionamento da transição de substituição (X → Y), passando do segundo para o terceiro estágio de rede de evolução da figura 3.11. O equipamento X atende uma demanda D1 e o equipamento Y vai atender uma demanda D2 no estágio i+1.

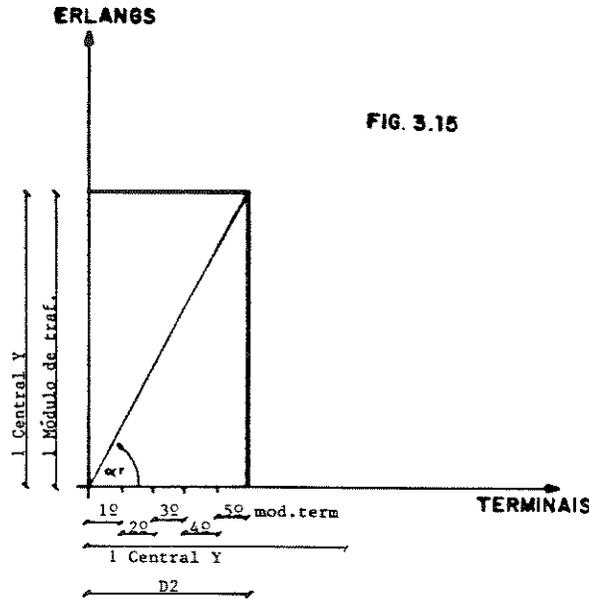


FIG. 3.15

Para a central X atender a demanda D1 no estágio 2 necessita, conforme já dimensionada, de 1 central, 2 módulos de terminais, 2 módulos de tráfego, D1 terminais de assinantes e facilidades para escoar $V1 (D1 \cdot \alpha_r \cdot f)$ de tráfego externo.

A central Y atenderá uma demanda D2 no estágio i+1, necessitando de 1 central, 5 módulos de terminais, 1 módulo de tráfego, D2 terminais e facilidades para escoar $(D2 \cdot \alpha_r \cdot f)$ erlangs de tráfego externo.

A equação dos custos ficará:

$$CUSTO_{X \rightarrow Y} = 1.CFA_Y + 5.CMA_Y + D2.CVA_Y + 1.CFT_Y + 1.CMT_Y + (\alpha_r \cdot f \cdot D2) \cdot CVT_Y - W^{+/-} \cdot (1.CFA_X + 2.CMA_X + D1.CVA_X + 1.CFT_X + 2.CMT_X + (\alpha_r \cdot f \cdot D1) \cdot CVT_X)$$

onde:

$W^{+/-}$ = percentual de reaproveitamento/penalização da desativação da central X em relação a sua substituta (Y).

3.2.7.4.5 AMPLIAÇÃO E INTRODUÇÃO DE NOVOS EQUIPAMENTOS

$$\begin{aligned} \text{Estágio } i &\rightarrow \text{Estágio } i+1 \\ X &\rightarrow X+Y \end{aligned}$$

Esta transição de estado indica uma superposição de equipamentos.

Na impossibilidade de acrescentar mais centrais do tipo X (podendo ampliar apenas as existentes) para atender toda a demanda do estágio i+1, introduz-se um novo tipo de equipamento (Y).

Em termos de dimensionamento, ocupa-se toda a parcela ociosa da central X e o restante da demanda será, então, atendida pela central Y.

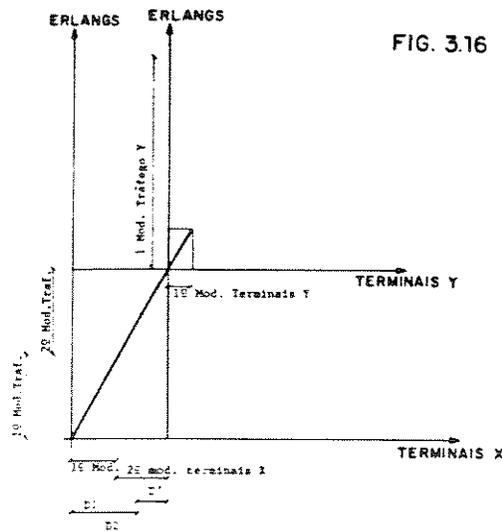
Os custos envolvidos nesta transição são mostradas na equação:

$CUSTO_{X \rightarrow X+Y}$ = Custos adicionais de módulos de tráfego e de terminais, terminais e facilidades para escoar acréscimo de tráfego externo na central X (ocupando a parcela ociosa na central X) + Custos de implantação da nova central Y para atender o restante da demanda.

então:

$$CUSTOS_{X \rightarrow X+Y} = \Delta M_X \cdot CMA_X + \Delta A_X \cdot CVA_X + \Delta M_X \cdot CMT_X + \Delta T_X \cdot CVT_X + \Delta L_Y \cdot CFA_Y + \Delta M_Y \cdot CMA_Y + \Delta A_Y \cdot CVA_Y + \Delta L_Y \cdot CFT_Y + \Delta M_Y \cdot CMT_Y + \Delta T_Y \cdot CVT_Y$$

A figura 3.16 exemplifica a transição $X \rightarrow X + Y$ (utilizando o arco 5 da rede de evolução - fig 3.11) .



No estágio 2 a central X atende uma demanda D_1 , passando para (D_1+D') no estágio 3 ($i+1$) devido ao limite de tráfego. D_1+D' representa a quantidade máxima de assinantes permitida na central do tipo X. Verifica-se que não houve necessidade de novos módulos (tráfego e terminais).

A central Y será instalada para atender o restante da demanda $(D_2-(D_1+D'))$.

Equação dos custos:

$$CUSTO_{X \rightarrow X+Y} = D'.CVA_X + (D'.\alpha_r.f).CVT_X + 1.CFA_Y + 1.CMA_Y + (D_2 - (D_1 + D')).CVA_Y + 1.CFT_Y + 1.CMT_Y + ((D_2 - (D_1 + D')).\alpha_r.f).CVT_Y$$

Quando a central X no estágio i for analógica, mais duas possibilidades de transição serão criadas:

- "Congelamento" da central X

No caso de congelamento da central X (mantendo a mesma configuração existente no estágio i), todo o acréscimo de demanda (tráfego e terminais) será atendido pela central Y. Assim, não haverá custos de ampliação da central X, havendo apenas custos relativos a central Y.

- Desativar (a cada estágio) uma quantidade de terminais pré-estabelecida pelo planejador (digitalização programada).

Na desativação programada, não haverá custo adicional de componentes da central X, mas sim uma penalização (em relação a central Y) devido a desativação desses componentes. O reflexo desta desativação parcial na Central Y será também computado, pois a central Y passa também a assumir tráfego e assinantes anteriormente atendidos pela central X.

3.2.7.4.6 AMPLIAÇÃO COM EQUIPAMENTOS SUPERPOSTOS

$$\begin{array}{l} \text{Estágio } i \rightarrow \text{Estágio } i+1 \\ X+Y \rightarrow X+Y \end{array}$$

Esta transição indica uma forma de atender a demanda do estágio $i+1$ ampliando-se os equipamentos existentes já instalados. Porém, somente o equipamento Y poderá ter novas geminações, ficando o equipamento tipo X restrito a sua capacidade máxima já instalada (não pode geminar mais centrais tipo X).

Os custos envolvidos nesta transição são:

$CUSTO_{X+Y \rightarrow X+Y}$ = Custos adicionais de módulos de terminais, módulos de tráfego, terminais, facilidades para escoar acréscimo de tráfego externo, ocupando a parcela ociosa na central X + Custos adicionais de centrais Y, módulos de tráfego, módulos de terminais, terminais, facilidades para escoar o volume de tráfego externo correspondente ao restante da demanda.

então:

$CUSTOS_{X+Y \rightarrow X+Y} = \Delta M_X \cdot CMA_X + \Delta A_X \cdot CVA_X + \Delta N_X \cdot CMT_X + \Delta T_X \cdot CVT_X + \Delta L_Y \cdot CFA_Y + \Delta M_Y \cdot CMA_Y + \Delta A_Y \cdot CVA_Y + \Delta L_Y \cdot CFT_Y + \Delta N_Y \cdot CMT_Y + \Delta T_Y \cdot CVT_Y$
A figura 3.17 ilustra um exemplo de dimensionamento feito para transição de estado $X + Y \rightarrow X + Y$ (arco 6 da rede de evolução - fig 3.11) onde o nó passa a atender D3 assinantes no estágio 4.

Verifica-se que, neste exemplo, a central X já atingiu sua capacidade máxima no estágio 3, ficando inalterada no estágio seguinte. Então, o acréscimo da demanda será atendido pelo equipamento Y. Nota-se que não houve necessidade de geminar mais centrais e nem de se acrescentar módulos de tráfego, porém acrescentou-se mais 2 módulos de terminais, (D3-D2) terminais e facilidades para escoar um volume de $((D3 - D2) \cdot \alpha_r \cdot f)$ erlangs de tráfego externo.

O custo desta transição fica:

$CUSTO_{X+Y \rightarrow X+Y} = 2 \cdot CMA_Y + (D3 - D2) \cdot CVA_Y + ((D3 - D2) \cdot \alpha_r \cdot f) \cdot CVT_Y +$ custo de ocupação da parte ociosa na central X que neste exemplo é zero.

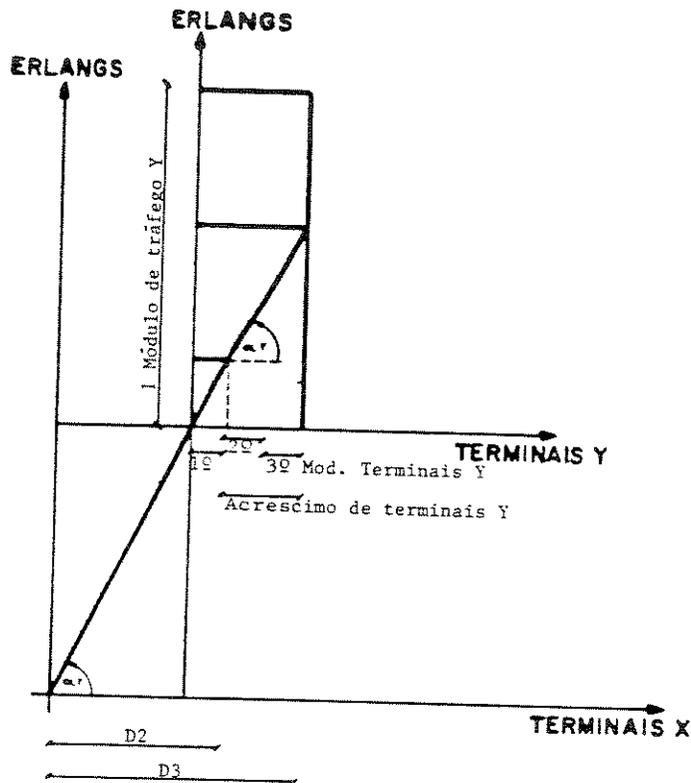


FIG. 3.17

Quando a central X no estágio i for analógica, mais duas possibilidades de transição serão criadas:

- "Congelamento" da central X

No caso de congelamento da central X (mantendo a mesma configuração existente no estágio i), todo o acréscimo de demanda (tráfego e terminais) será atendido pela central Y . Assim, não haverá custos de ampliação da central X , havendo apenas custos relativos a central Y .

- Desativar (a cada estágio) uma quantidade de terminais pré-estabelecida pelo planejador (digitalização programada).

Na desativação programada, não haverá custo adicional de componentes da central X , mas sim uma penalização (em relação a central Y) devido a desativação desses componentes. O reflexo desta desativação parcial na Central Y será também computado, pois a central Y passa também a assumir tráfego e assinantes anteriormente atendidos pela central X .

3.2.7.4.7 DESATIVAÇÃO DO EQUIPAMENTO MAIS ANTIGO DE UM NÓ COM EQUIPAMENTOS SUPERPOSTOS

$$\begin{aligned} \text{Estágio } i &\rightarrow \text{Estágio } i+1 \\ X+Y &\rightarrow Y \end{aligned}$$

Esta transição explora um caso em que o equipamento X é desativado por algum motivo administrativo ou técnico/operacional, passando a outra central existente (Y) a atender toda a demanda do estágio i+1.

A desativação de uma central PASSO-A-PASSO por falta de mão de obra e de componentes para a manutenção é um exemplo típico desta transição.

A equação de custos desta transição para atender a demanda do estágio i+1 envolve custos adicionais para ampliação da central Y e os custos de desativação da central X (configuração do estágio i) com reaproveitamento ou com penalização.

$$\begin{aligned} CUSTO_{X+Y \rightarrow Y} = & \Delta L_Y \cdot CFA_Y + \Delta M_Y \cdot CMA_Y + \Delta A_Y \cdot CVA_Y + \Delta L_Y \cdot CFT_Y + \Delta M_Y \cdot CMT_Y + \\ & \Delta V_Y \cdot CVT_Y + W^{+/-} \cdot (\Delta L_X \cdot CFA_X + \Delta M_X \cdot CMA_X + \Delta A_X \cdot CVA_X + \Delta L_X \cdot CFT_X + \\ & \Delta N_X \cdot CMT_X + \Delta V_X \cdot CVT_X \end{aligned}$$

A figura 3.18 ilustra um exemplo de dimensionamento da transição $X + Y \rightarrow Y$ para atender uma demanda D3 no estágio 4, conforme a rede de evolução (fig. 3.11).

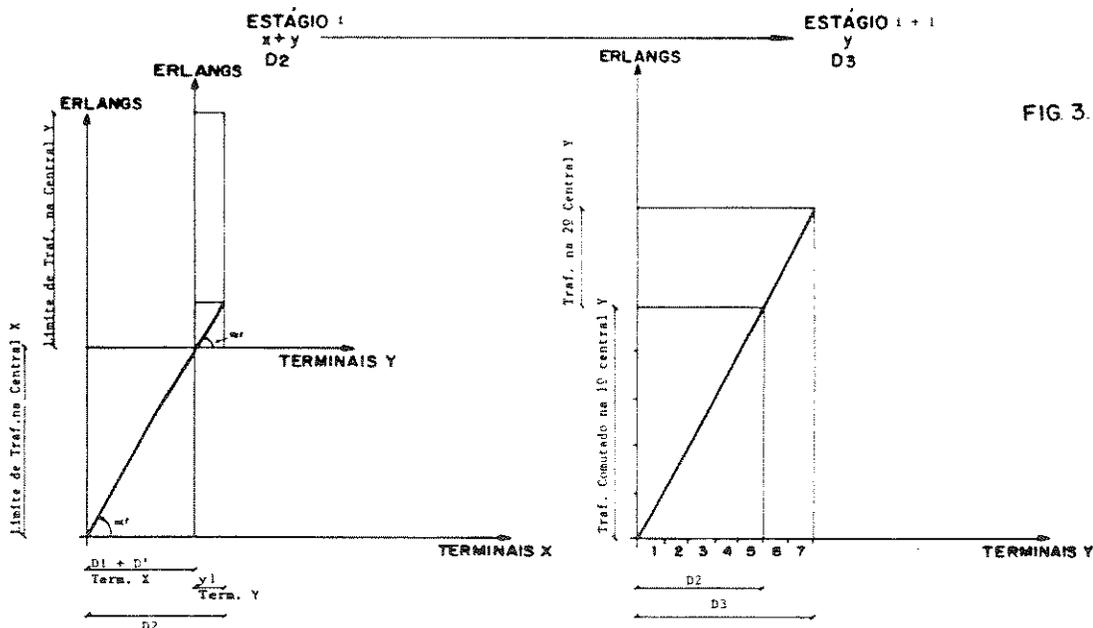


FIG 3.18

No estágio 3 o nó atende a demanda $D2$ e aproveitando-se os dimensionamentos dos equipamentos X e Y descritos no exemplo no item 6.4.5, o nó possui 1 central X com 2 módulos de terminais, 2 módulos de tráfego, X terminais ($D1+D'$) e facilidades para escoar $V_X (= x \cdot \alpha_r \cdot f)$ erlangs de tráfego externo e 1 central Y com 1 módulo de terminais e 1 módulo de tráfego (incompleto), $Y1$ terminais ($=D2-(D1-D')$) e facilidades para escoar $V_Y (= Y1 \cdot \alpha_r \cdot f)$ erlangs de tráfego externo.

Então para o equipamento Y atender a demanda $D3$ no estágio 4 será necessário instalar mais 1 central Y , 6 módulos de terminais (sendo que 4 módulos serão na central Y antiga e 2 módulos na nova), 1 módulo de tráfego (para a nova central Y), $(D3-Y1)$ terminais e facilidades para escoar $((D3 - Y1) \cdot \alpha_r \cdot f)$ erlangs de tráfego externo.

O custo para esta transição fica:

$$CUSTO_{X+Y \rightarrow Y} = 1.CFA_Y + 6.CMA_Y + (D3-Y1).CVA_Y + 1.CFT_Y + 1.CMT_Y + ((D3-Y1) \cdot \alpha_r \cdot f).CVT_Y + W^{+/-} \cdot (1.CFA_X + 2.CMA_X + X.CVA_X + 1.CFT_X + 2.CMT_X + V_X.CVT_X)$$

3.2.7.4.8 SUBSTITUIÇÃO DO EQUIPAMENTO MAIS ANTIGO DE UM NÓ COM EQUIPAMENTOS SUPERPOSTOS POR UM TERCEIRO EQUIPAMENTO ($X+Y \rightarrow Y+Z$)

$$\begin{array}{l} \text{Estágio } i \quad \rightarrow \text{Estágio } i+1 \\ X+Y \quad \rightarrow Y+Z \end{array}$$

Esta transição é semelhante a anterior, porém difere no modo de ampliação, pois o equipamento Y só vai atender até seu limite (tráfego ou terminal) já instalado no estágio i , passando o restante da demanda a ser atendida pelo equipamento Z .

Nos casos de desativação descritos anteriormente os assinantes da central a ser desativada eram assumidos por apenas 1 tipo de equipamento (Y). Nesta transição os assinantes de X podem ser transferidos para a central Y ou para a central Z . O modelo adota que os assinantes serão atendidos pelo equipamento que tiver o maior grau de aproveitamento. Então, num caso extremo em que verifica-se as duas possibilidades (reaproveitamento para um e penalização para outro), o EVOL transfere os assinantes para o equipamento onde haverá um reaproveitamento da central desativada.

Esta simplificação foi adotada devido as inúmeras formas de interpretação do usuário da reutilização/penalização. Um exemplo típico deste problema é mostrado quando se desativa uma central analógica para instalar uma digital em que pode-se ter uma penalização (representando custos de mão de obra para desativá-la) ou um reaproveitamento (no caso de utilizar toda ou uma parte da central em outro lugar). Então, optou-se por uma forma mais otimista.

A figura 3.19 ilustra um exemplo de dimensionamento feito para a transição $X+Y \rightarrow Y+Z$, atendendo uma demanda $D3$ no estágio 4, conforme a rede de evolução (fig. 3.11).

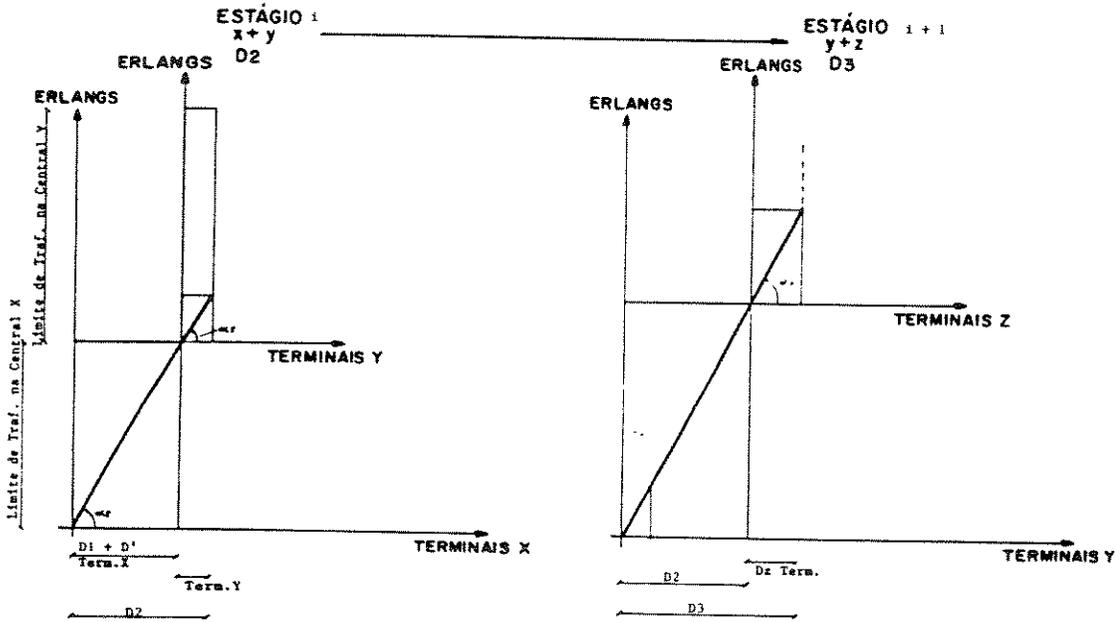


FIG. 3.19

No estágio 3 o nó atende a demanda $D2$ e aproveitando-se os dimensionamentos dos equipamentos X e Y descritos no exemplo no ítem 6.4.5, o nó possui 1 central X com 2 módulos de terminais, 2 módulos de tráfego, X terminais ($D1+D'$) e facilidades para escoar $V_X (= x \cdot \alpha_r \cdot f)$ erlangs de tráfego externo e 1 central Y com 1 módulo de terminais e 1 módulo de tráfego (incompleto), Y1 terminais ($= D2 - (D1 - D')$) e facilidades para escoar $V_Y (= Y1 \cdot \alpha_r \cdot f)$ erlangs de tráfego externo.

Então para atender a demanda $D3$ no estágio 4, o equipamento Y cresce até sua capacidade final (limitada pelo tráfego), necessitando acrescentar mais 4 módulos de terminais, Y2 terminais ($Y2 = D2 - Y1$) e facilidades para escoar $V2 (= Y2 \cdot \alpha_r \cdot f)$ erlangs de tráfego externo e a central Z é implantada com 2 módulos de terminais, 4 módulos de tráfego, $D_Z (= D3 - D2)$ terminais e facilidades para escoar $V_Z (= D_Z \cdot \alpha_r \cdot f)$ erlangs de tráfego externo.

$$CUSTO_{X+Y \rightarrow Y+Z} = 4.CMA_Y + Y2.CVA_Y + V2.CVT_Y + 1.CFA_Z + 2.CMA_Z + DZ.CVA_Z + 1.CFT_Z + 4.CMT_Z + VZ.CVT_Z + (MIN\{W_{X \rightarrow Y}^{+/-}, W_{X \rightarrow Z}^{+/-}\}) \cdot (1.CFA_X + 2.CMA_X + X.CVA_X + 1.CFT_X + 2.CMT_X + V_X.CVT_X)$$

3.2.7.4.9 SUBSTITUIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS SUPERPOSTOS EM UM NÓ POR UM TERCEIRO EQUIPAMENTO (X+Y → Z)

$$\begin{aligned} \text{Estágio } i &\rightarrow \text{Estágio } i+1 \\ X+Y &\rightarrow Z \end{aligned}$$

Esta transição explora um caso em que os equipamentos X e Y são desativados por algum motivo técnico/econômico passando um terceiro equipamento (Z) a atender toda a demanda no estágio i+1.

A equação de custos desta transição envolve custos de implantação da central Z e os custos de desativação dos equipamentos X e Y (configuração do estágio i) com reaproveitamento ou com penalização.

$$\begin{aligned} \text{CUSTO}_{X+Y \rightarrow Z} = & \Delta L_Z.CFA_Z + \Delta M_Z.CMA_Z + \Delta A_Z.CVA_Z + \Delta L_Z.CFT_Z + \Delta N_Z.CMT_Z + \\ & \Delta T_Z.CVT_Z + W_{X \rightarrow Z}^{+/-} (\Delta L_X.CFA_X + \Delta M_X.CMA_X + \Delta A_X.CVA_X + \Delta L_X.CFT_X + \\ & \Delta N_X.CMT_X + \Delta V_X.CVT_X) + W_{Y \rightarrow Z}^{+/-} (\Delta L_Y.CFA_Y + \Delta M_Y.CMA_Y + \Delta A_Y.CVA_Y + \\ & \Delta L_Y.CFT_Y + \Delta N_Y.CMT_Y + \Delta V_Y.CVT_Y) \end{aligned}$$

A figura 3.20 ilustra um exemplo de dimensionamento da transição X + Y → Z, atendendo uma demanda D3 no estágio 4, conforme a rede de evolução (fig. 3.11).

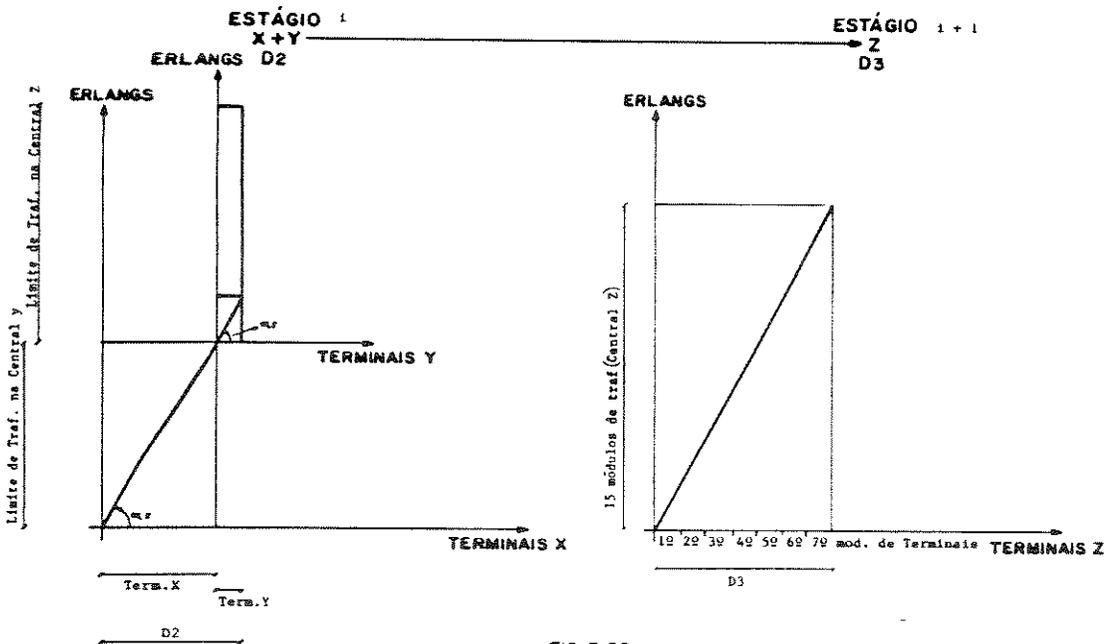


FIG. 3.20

No estágio 3 o nó atende a demanda D2 e aproveitando-se os dimensionamentos dos equipamentos X e Y descritos no exemplo no ítem 6.4.5, o nó possui 1 central X com 2 módulos de terminais, 2 módulos de tráfego, X terminais (D1+D') e facilidades para escoar $V_X (= x \cdot \alpha_r \cdot f)$ erlangs de tráfego externo e 1 central Y com 1 módulo de terminais e 1 módulo de tráfego (incompleto), Y1 terminais (=D2-(D1-D')) e facilidades para escoar $V_y (= Y1 \cdot \alpha_r \cdot f)$ erlangs de tráfego externo.

Então para o equipamento Z atender a demanda D3 no estágio 4 será necessário instalar 1 central, 7 módulos de terminais, 15 módulos de tráfego, D3 terminais e facilidades para escoar $VZ (= D3 \cdot \alpha_r \cdot f)$ erlangs de tráfego externo.

O custo para esta transição fica:

$$CUSTO_{X+Y \rightarrow Z} = 1.CFA_Z + 7.CMA_Z + D3.CVA_Z + 1.CFT_Z + 15.CMT_Z + V_Z.CVT_Z + W_{X \rightarrow Z}^{+/-} \cdot (1.CFA_X + 2.CMA_X + X.CVA_X + 1.CFT_X + 2.CMT_X + V_X.CVT_X) + W_{Y \rightarrow Z}^{+/-} \cdot (1.CFA_Y + 1.CMA_Y + Y1.CVA_Y + 1.CFT_Y + 1.CMT_Y + V_Y.CVT_Y)$$

3.2.8 ENTRONCAMENTO

3.2.8.1 TIPO DE ENCAMINHAMENTO

O EVOL adota uma forma simplificada de entroncamento, utilizando-se rotas diretas entre os nós de comutação da rede, conforme a matriz de tráfego (ponto-a-ponto). Esta abordagem é flexível, permitindo ao usuário fazer simulações de encaminhamento na matriz de tráfego, criando a função tandem/central mãe ou ELR em alguns nós da rede. Assim, um nó poderá ter função local, tandem ou local+tandem conforme o percentual de tráfego tandem cursado. Para os casos em que o nó de comutação possuir duas centrais (x+y), adota-se que o tráfego tandem será escoado pela central mais nova (y) e o restante do tráfego será distribuído conforme seus limites técnicos (tráfego e terminais) para atenderem a demanda.

3.2.8.2 DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento do entroncamento (interface e transmissão) será feito baseado na matriz de tráfego (considerado poissoniano) entre os nós, utilizando-se a fórmula Erlang para um sistema de perda, com acessibilidade plena.

3.2.8.3 CARACTERÍSTICAS DA TRANSMISSÃO E DOS CUSTOS DE TRANSMISSÃO

O modelo adota que as expansões do entroncamento serão feitas através do meio de transmissão digital a 2 Mbits.

Assume-se que os custos de transmissão não influenciarão nos custos de evolução (na escolha dos equipamentos de comutação). Assim, o custo de transmissão será calculado, independente do processo de cálculo dos custos nodais, analisando a matriz de tráfego e a topologia da rede (distância mínima entre os nós). O custo de transmissão é dado pela equação:

$$\text{Custo de transmissão} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \Delta K_{ij} (d_{ij} \cdot l + C)$$

onde:

N = número de nós de comutação

ΔK_{ij} = acréscimo de canais na rota ij (demanda atual menos o que existe na rota)

d_{ij} = distância mínima entre os nós i e j (calculada a partir da topologia da rede)

C = custo do canal ponta.

l = custo do canal por quilômetro.

Na transmissão em alta hierarquia existem custos modulares não considerados na fórmula anterior. Porém, caso o usuário não necessite de tal precisão, pode-se utilizar o modelo simplificado de transmissão proposto.

3.2.8.4 CARACTERÍSTICAS DAS INTERFACES E DOS CUSTOS DE INTERFACES

As interfaces A/D são responsáveis pela conexão das centrais analógicas com o meio de transmissão digital.

A figura 3.21 ilustra as possibilidades de entroncamento consideradas pelo EVOL:

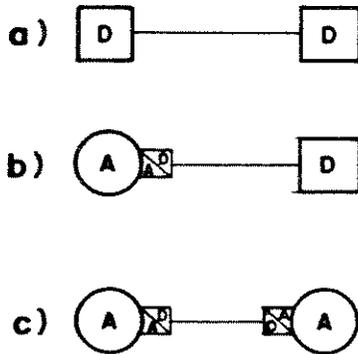


FIG. 3.21

LEGENDA

- CENTRAL DIGITAL
- CENTRAL ANALÓGICA
- MEIO DE TRANSMISSÃO DIGITAL
- INTERFACES A/D

Observa-se nos três casos que a transmissão é digital e constata-se o aparecimento das interfaces A/D quando há presença de central analógica. Na figura 3.21.c, quando a distância entre as duas centrais analógicas for pequena (menor que 2Km) o programa poderia estar cometendo um erro, pois poderia ser utilizado cabo de pares (meio analógico) para entroncá-las (não necessitando de interfaces). No entanto, o usuário pode contornar tal problema, adicionando-se uma "folga" de interfaces no entroncamento existente, de modo que atenda a futura demanda.

Com o aparecimento de novos nós digitais, as interfaces se tornam uma penalização para as centrais analógicas existentes, contribuindo para sua obsolescência. Então, os custos das interfaces são computados juntamente com o cálculo do custo nodal.

O custo das interfaces é dado pela equação:

$$\text{Custo das interfaces do nó } i \text{ analógico} = \sum_{j=1}^N (\Delta K_{ij} + \Delta K_{ji}) \cdot Y$$

onde:

N = números de nós da rede

$\Delta K_{ij}(\Delta K_{ji})$ = acréscimo de interfaces A/D necessárias para conexão das rotas i e j (j e i).

Y = custo por canal ponta de interface A/D.

3.3 PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO

A complexidade na integração das variáveis espaciais e temporais, demandando um grande esforço computacional (tempo de processamento e memória) e o fato de que o custo de evolução da comutação é bem maior que o entroncamento (basicamente transmissão) levaram a dividir o problema da evolução da rede local em duas partes:

P1 - Evolução otimizada dos nós de comutação (mínimo custo nodal)

e

P2 - Evolução da rede de entroncamento;

sendo a matriz de tráfego entre os nós da rede a responsável pelo elo de ligação entre P1 e P2.

a figura 3.22 ilustra um exemplo de atuação de P1 e P2 numa rede local composta de 4 nós de comutação.

Verifica-se que para cada nó de comutação (i) existem várias possibilidades de evolução, sendo P1 responsável para encontrar a melhor política de evolução do nó associado ao mínimo custo nodal (C_i) para o atendimento das demandas de tráfego e de terminais ao longo dos estágios de planejamento.

Nota-se, também, que a cada estágio (t) P2 atua calculando o custo do entroncamento (E_t) associado à matriz de tráfego da rede, obtendo uma estimativa do custo de evolução do entroncamento.

Completada as duas etapas, o EVOL calcula o custo total de evolução da rede (CER).

$$CER = \sum_{i=1}^N C_i + \sum_{t=1}^T E_t \quad (3)$$

onde:

N = Total de nós da rede

T = Total de estágios de planejamento

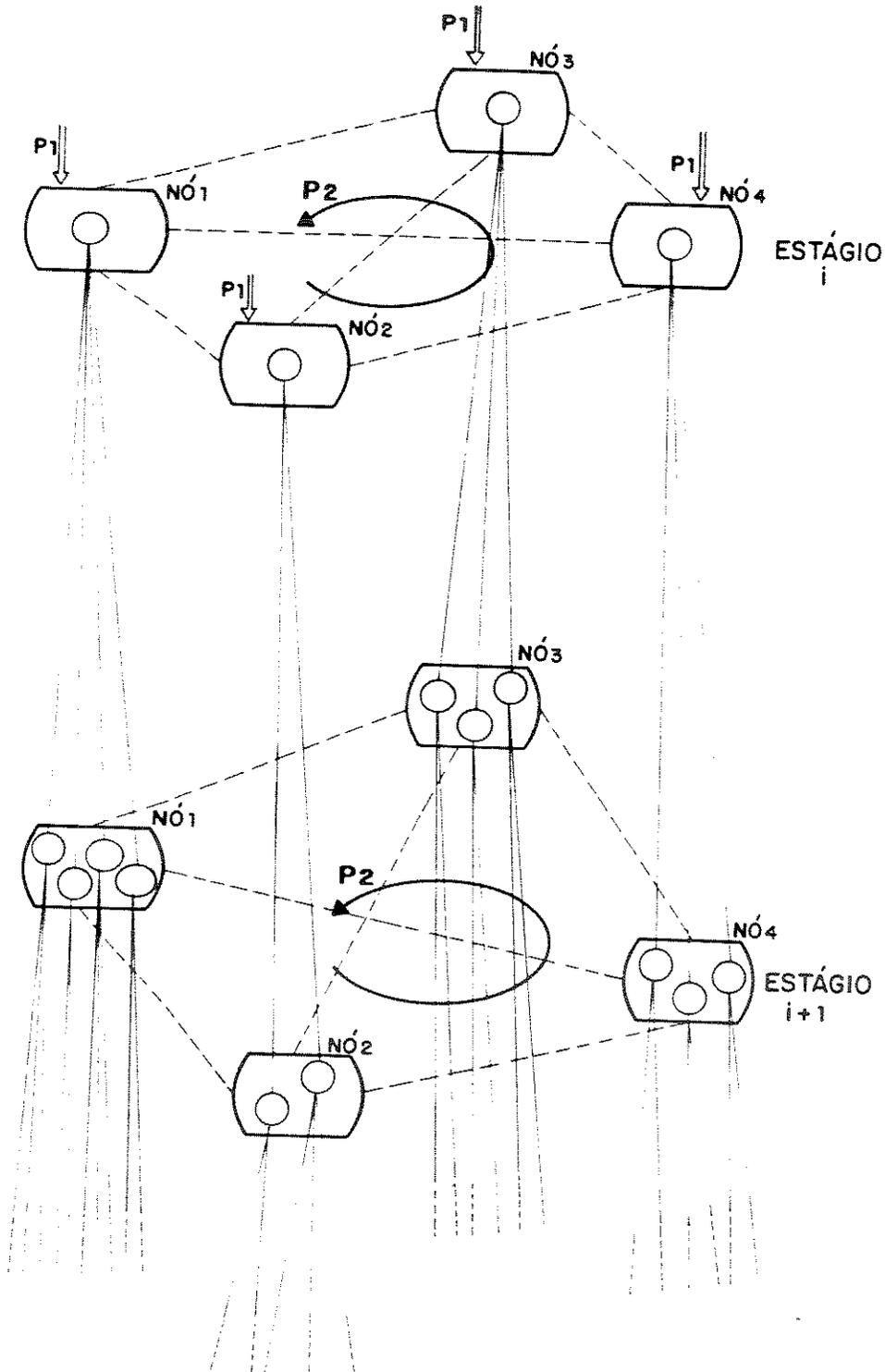


FIG. 3.22

3.3.1 ESCOLHA DA MELHOR POLÍTICA DE EVOLUÇÃO DO NÓ DE COMUTAÇÃO

O objetivo é escolher uma política ótima de evolução (percurso ótimo) que minimize o custo total de modo que as configurações dos equipamentos do nó (estados) sejam capazes de atender as demandas de tráfego e de terminais ao longo dos períodos de planejamento (estágios).

Explorando as características da rede de evolução (tipo árvore estagiada), optou-se resolver o problema da política ótima de evolução por programação dinâmica. Evidencia-se o princípio de otimalidade no que tange a política ótima, pois esta tem a propriedade de que, independentemente do percurso tomado para chegar a um determinado estado, as decisões restantes devem constituir-se numa política ótima a partir daquele estado.

EQUAÇÃO DE RECURSIVIDADE

Explorou-se a seguinte relação dinâmica:

$$F_m(S) = \text{MIN}_{(J,S) \text{ na rede}} [C_{JS} + F_{m-1}(J_m(S))] \quad (4)$$

Para $m = 1, 2, \dots, M$

onde:

M = Número de estágios de planejamento

$F_m(S)$ = Custo mais barato quando se está no estado S do estágio m

$J_m(S)$ = É uma decisão que produz $F_m(S)$

C_{JS} = Custo no arco ligando os estados J no estágio $m-1$ e S no estágio m . Trata-se do custo de evolução do nó de comutação para o estado S em termos de valor presente.

Esta fórmula, expressa em palavras, enuncia o fato que se deve comparar entre si todas as somas possíveis obtidas somando o custo de evolução para o estágio imediato, indo do estado J ao estado S , com o custo acumulado ótimo quando ele está no estado J do estágio $m-1$.

Para enriquecer mais a carteira de opções de evolução do nó para o planejador, a equação de recursividade foi alterada de modo a fornecer não só a primeira, mas também a segunda melhor solução para cada estado final da rede de evolução.

A figura 3.23 ilustra um exemplo de rede de evolução com 9 nós (estados) de 12 arcos (custos) ao longo de 4 estágios em que será aplicado o algoritmo recursivo, fornecendo as duas melhores políticas para cada estado final.

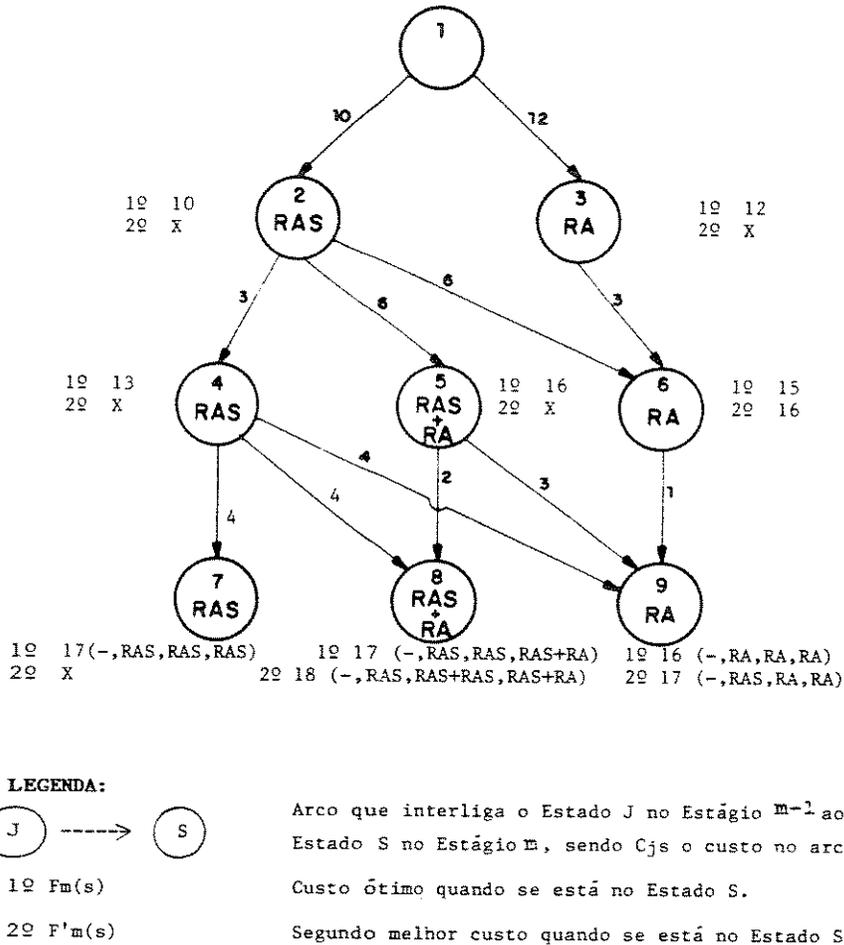


FIG. 3.23

Poder-se-ia adaptar o algoritmo, utilizando o mesmo procedimento recursivo, para fornecer as p-melhores soluções por nó (estado) final, porém, em termos de eficiência (ocupação de memória, tempo de processamento e necessidade da variedade de soluções), limitou-se às duas melhores.

3.3.2 CÁLCULO DA DISTÂNCIA MÍNIMA ENTRE OS NÓS DE COMUTAÇÃO

Devido a necessidade da obtenção dos custos da rede de entroncamento, calcularam-se as distâncias mínimas entre os nós de comutação a partir da topologia da rede fornecida pelo planejador.

Pela eficiência em determinar a distância mínima ou máxima ponto-a-ponto, sem a necessidade de se conhecer o percurso, optou-se pelo algoritmo da matriz (Floyd).

3.3.2.1. ALGORITMO DA MATRIZ (FLOYD)

Para uma dada topologia de rede com n nós de comutação sendo $D_{n \times n}^0$ a matriz representativa dos comprimentos dos arcos (indicando ∞ para arcos inexistentes e zero na diagonal principal), o algoritmo constroi, sucessivamente, n matrizes a partir de D^0 , através de modificações efetuadas varrendo (na ordem) k ; i ; j de 1 até n a expressão:

$$D_{(i,j)}^{k+1} = \text{Mínimo}\{D^k(i,j); D^k(i,k) + D^k(k,j)\} ; \text{ para } K \in N = \text{nós da rede} \quad (5)$$

Obtendo o resultado final D^n após n iterações ou quando $D^{k+1} = D^k$.

Este algoritmo é um dos melhores para grafos cíclicos, porém sua complexidade computacional é limitado em $O(n^3)$.

O problema terá solução somente se não existir um único ciclo negativo para problemas de caminho mínimo (e ciclo positivo para caminho mais longo).

3.3.2.2. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

A figura 3.24 ilustra um exemplo de topologia de rede com 6 arcos, interligando 5 nós de comutação.

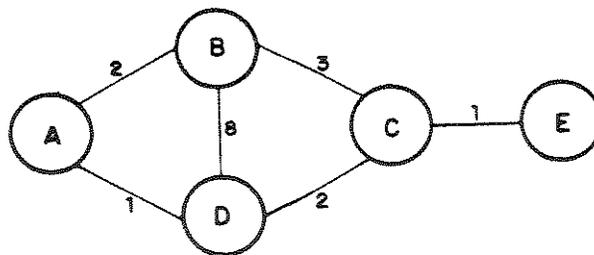


FIG. 3.24

onde:

D^0 representa, em forma de matriz, a rede topológica.

$$D^0 = \begin{array}{c|ccccc} & A & B & C & D & E \\ \hline A & 0 & 2 & \infty & 1 & \infty \\ B & 2 & 0 & 8 & 3 & \infty \\ C & \infty & 3 & 0 & 2 & 1 \\ D & 1 & 3 & 2 & 0 & \infty \\ E & \infty & \infty & 1 & \infty & 0 \end{array}$$

primeira iteração ($k=1$):

$$D^1 = \begin{array}{c|ccccc} & A & B & C & D & E \\ \hline A & 0 & 2 & 3 & 1 & \infty \\ B & 2 & 0 & 3 & 3 & 4 \\ C & 3 & 3 & 0 & 2 & 1 \\ D & 1 & 3 & 2 & 0 & 3 \\ E & \infty & 4 & 1 & 3 & 0 \end{array}$$

D^1 representa o resultado da primeira iteração ($k=1$). Para tecer alguns comentários sobre o algoritmo, toma-se como exemplo o cálculo do elemento $D^1_{1,3} = 3$

$$D^1(1,3) = \text{Min}\{D^0(1,3); D^0(1,k) + D^0(k,3)\}$$

para $k = 1, 2, 3, 4, 5$

então temos:

$$D^1(1,3) = \text{Min}\{\infty; (0 + \infty); (2 + 3); (\infty + 0); (1 + 2); (\infty + 1)\}$$

$$D^1(1,3) = \text{Min}\{\infty; \infty; 5; \infty; 3; \infty\} = 3$$

segunda iteração ($k=2$) obtendo:

$$D^2 = \begin{array}{c|ccccc} & A & B & C & D & E \\ \hline A & 0 & 2 & 3 & 1 & 4 \\ \hline B & 2 & 0 & 3 & 3 & 4 \\ \hline C & 3 & 3 & 0 & 2 & 1 \\ \hline D & 1 & 3 & 2 & 0 & 3 \\ \hline E & 4 & 4 & 1 & 3 & 0 \end{array}$$

terceira iteração ($k=3$) obtendo:

$$D^3 = \begin{array}{c|ccccc} & A & B & C & D & E \\ \hline A & 0 & 2 & 3 & 1 & 4 \\ \hline B & 2 & 0 & 3 & 3 & 4 \\ \hline C & 3 & 3 & 0 & 2 & 1 \\ \hline D & 1 & 3 & 2 & 0 & 3 \\ \hline E & 4 & 4 & 1 & 3 & 0 \end{array}$$

Verifica-se que $D^2 = D^3$, então, não há necessidade de se calcular D^1 , pois será igual a D^2 .

A topologia da rede influencia no número de iterações para sua convergência (com um máximo de n iterações, sendo que n é igual ao número de nós da rede).

3.4 IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL DO MODELO

O modelo de evolução da rede local foi implementado num microcomputador (padrão PC) em linguagem FORTRAN 77 com o nome EVOL. O módulo executável do programa ocupa em torno de 166K de memória e os módulos gráfico (em Turbo Pascal) e entroncamento (FORTRAN 77) ocupam 54K e 45K, respectivamente. Sua estrutura é mostrada na figura 3.25.

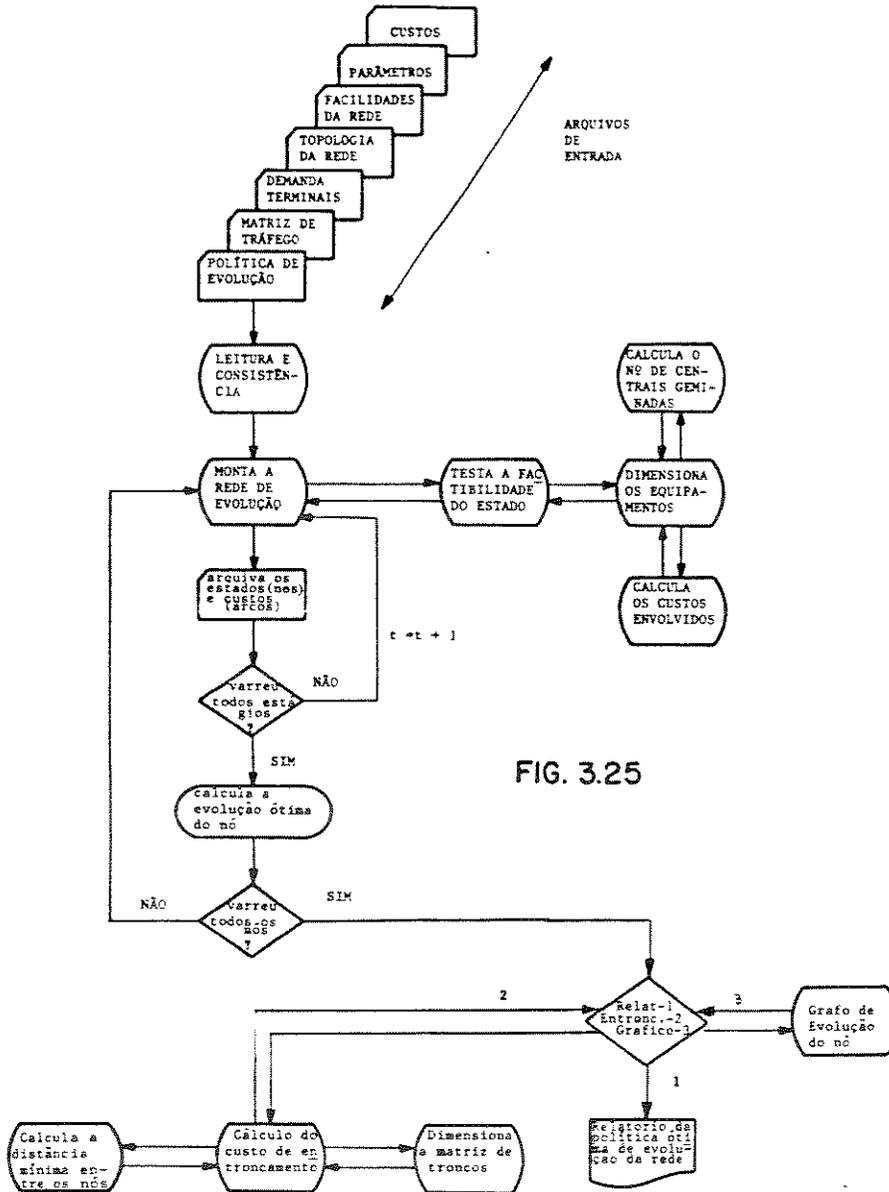


FIG. 3.25

O EVOL possui uma estrutura modular que permite calcular os custos de entroncamento separadamente dos custos nodais. Assim torna-se ilimitado o tamanho da rede local, cabendo ao planejador o correto manuseio das partes. A rede de evolução do nó de comutação está limitada (devido a problemas de memória do microcomputador IBM-PC) em 450 arcos (custos) e 350 nós (estados) para uma rede local com, aproximadamente, 10 nós de comutação.

Para o caso de ter uma rede local com mais de 10 nós de comutação, deve-se dividi-la em conjuntos (máximo 10 nós), cabendo ao planejador o correto manuseio para obtenção do custo global de evolução. O EVOL possui uma estrutura modular que permite fazer tal seccionamento da rede, calculando-se os custos de entroncamento separadamente dos custos nodais.

Estes limites (arcos e estados) podem ser aumentados, diminuindo-se o número de nós de comutação da rede local.

4 APLICAÇÃO

Neste capítulo serão apresentadas algumas aplicações do EVOL em algumas arquiteturas de rede local.

Adotaram-se algumas premissas básicas e foram também assumidos alguns custos, independentes das redes estudadas.

Premissas adotadas:

1 - A razão de ocupação da área de infra-estrutura para a instalação de terminais é de 4:1 (instalam-se 4 terminais digitais no lugar de 1 terminal analógico).

2 - A tabela a seguir mostra os tipos de equipamentos de comutação ofertados para evolução do nó.

EQUIPAMENTOS DE COMUTAÇÃO

EQUIPAMENTO	TECNOLOGIA	TIPO	FILIAÇÃO	FUNÇÃO TANDEM	LIMITE DO TERMINAL	DO EQUIP/ TRÁFEGO	LIMITE DO TERMINAL	MÓDULO TRÁFEGO	N. MÁXIMO GEMINAÇÃO
CPA1	DIG	AUT	-	SIM	40000	6000	150	800	2
CPA2	DIG	AUT	-	SIM	35000	5000	160	800	2
CPA3	DIG	AUT	-	SIM	4096	320	128	160	3
CPA4	DIG	ELR	CPA1	NÃO	2304	334	900	70	3
A	ANA	AUT	-	NÃO	1400	150	700	75	3
A1	ANA	AUT	-	SIM	10500	1480	1040	125	2
A2	ANA	AUT	-	SIM	10200	1500	1000	200	2

CUSTOS DOS EQUIPAMENTOS DE COMUTAÇÃO

EQUIPAMENTO	CUSTO FIXO		CUSTO DO MÓDULO		CUSTO VARIÁVEL	
	TERMINAL	TRÁFEGO	TERMINAL	TRÁFEGO	TERMINAL	TRÁFEGO
CPA1	350000	300000	0	0	245	90
CPA2	360000	300000	0	0	246	93
CPA3	80000	0	0	50000	290	100
CPA4	0	0	70000	60000	100	93
A	420000	100	0	0	330	125
A1	420000	100	0	0	330	125
A2	420000	100	0	0	330	125

OBSERVAÇÕES:

- 1) NÃO HÁ PREVISÃO DE DESATIVAÇÃO TOTAL (FORCADA) DE CENTRAIS ANTES DO FIM DO ESTUDO
- 2) NÃO EXISTE CUSTO DE DESATIVAÇÃO DE CENTRAIS ANALÓGICAS (EMBORA PUDESSE SER LEVADO EM CONTA NO PROGRAMA)
- 3) ASSUMIU-SE UM APROVEITAMENTO DE 90 % NOS CASOS DE REMANEJAMENTOS DE EQUIPAMENTOS DE PEQUENO PORTE (CPA3 E CPA4)

3 - A próxima tabela ilustra os tipos de transições de estado possíveis para a evolução do nó.

DIAGRAMA DE ESTADOS

ESTADO PRESENTE	ESTADOS FUTUROS POSSÍVEIS							
	CPA4	CPA1	CPA2	CPA3				
NOVA	CPA4	CPA1	CPA2	CPA3				
A	A	ACPA1	ACPA2	CPA1	CPA2	ACPA4	ACPA3	CPA3
A1	A1	A1CPA1	A1CPA2	CPA1	CPA2	A1CPA4	A1CPA3	CPA3
CPA3	CPA3	CPA2	CPA3CPA2					
ACPA3	ACPA3	CPA3	CPA2	CPA3	CPA2CPA3	CPA4		
A1CPA3	A1CPA3	CPA3	CPA2	CPA3	CPA2CPA4	CPA3		
CPA4CPA3	CPA4CPA3	CPA3	CPA2	CPA1				
ACPA4	ACPA4	CPA1	CPA2	CPA3				
A1CPA4	A1CPA4	CPA1	CPA2	CPA3				
ACPA1	ACPA1	CPA1						
A1CPA1	A1CPA1	CPA1						
CPA3CPA2	CPA3CPA2	CPA2						
ACPA2	ACPA2	CPA2						
A1CPA2	A1CPA2	CPA2						
CPA4	CPA4	CPA1	CPA2	CPA3				
CPA1	CPA1							
CPA2	CPA2							

4 - Embora seja sabido que os custos são variáveis mutantes no tempo, espaço (regionalização) e política/estratégica (quebra de mercado, produção em grande escala, ...), assumiu-se que os custos relativos a equipamentos de comutação, transmissão, interfaces, infra-estrutura e operação/manutenção são os mesmos (respectivamente) para as diferentes arquiteturas de rede.

4.1 ESTUDO DE EVOLUÇÃO DA REDE LOCAL DE CAMPOS RJ (TELERJ)

Em Campos (CPS) existe (em 1991) uma única estação com duas centrais analógicas, A1, que atendem a 20992 assinantes com tráfego médio de 0.069 erlangs/terminal, sendo que o percentual de tráfego interno é de 79.9 %.

A infra-estrutura existente está, praticamente, no seu limite, não havendo área com folga. Porém, o terreno suporta a construção de um novo prédio capaz de atender a nova demanda.

Até o ano horizonte, estão previstos mais 3 novos centros de fios (mostrados na tabela seguinte).

DEMANDA DE TERMINAIS

	1991	1993	1998	2008
CPS	20992	32997	40492	40960
PLA	0	2717	3110	9288
JCC	0	0	0	4096
GUS	0	0	0	3420

DEMANDA DE TRÁFEGO/TERMINAIS

	1991	1993	1998	2008
CPS	.0690	.0710	.0700	.0794
PLA		.1040	.1040	.0998
JCC				.1033
GUS				.1041

PERCENTUAL DE TRÁFEGO INTERNO

	1991	1993	1998	2008
CPS	.799	.741	.745	.575
PLA		.055	.055	.124
JCC				.060
GUS				.040

Duas linhas de planejamento deveriam ser testadas:

- DIGITALIZANTE

Há uma meta de que o nó CPS deverá ser totalmente digital até o ano horizonte. Para isto, estima-se uma desativação programada de 7000 terminais analógicos por estágio de planejamento.

- CONSERVADORA

Esta visão conservadora, explicita o congelamento das centrais analógicas até o fim do estudo.

A figura 4.1 abaixo ilustra a topologia da rede local de Campos.

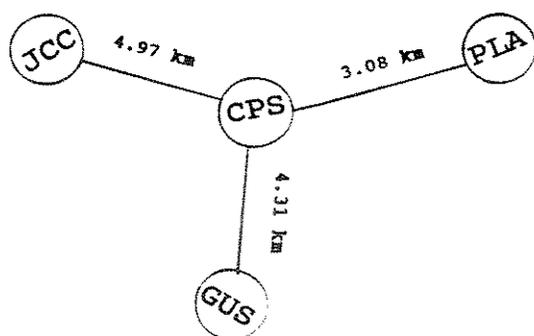


fig 4.1

A partir das informações, anteriormente mencionadas, o EVOL gerou as seguintes redes de evolução:

a) Evolução de CPS

As tabelas abaixo mostram respectivamente, os arquivos de nós e arcos gerados pelo EVOL (61 nós ou estados e 94 arcos ou custos de transição de estado).

ESTACÃO CPS 61 nós 94 arcos

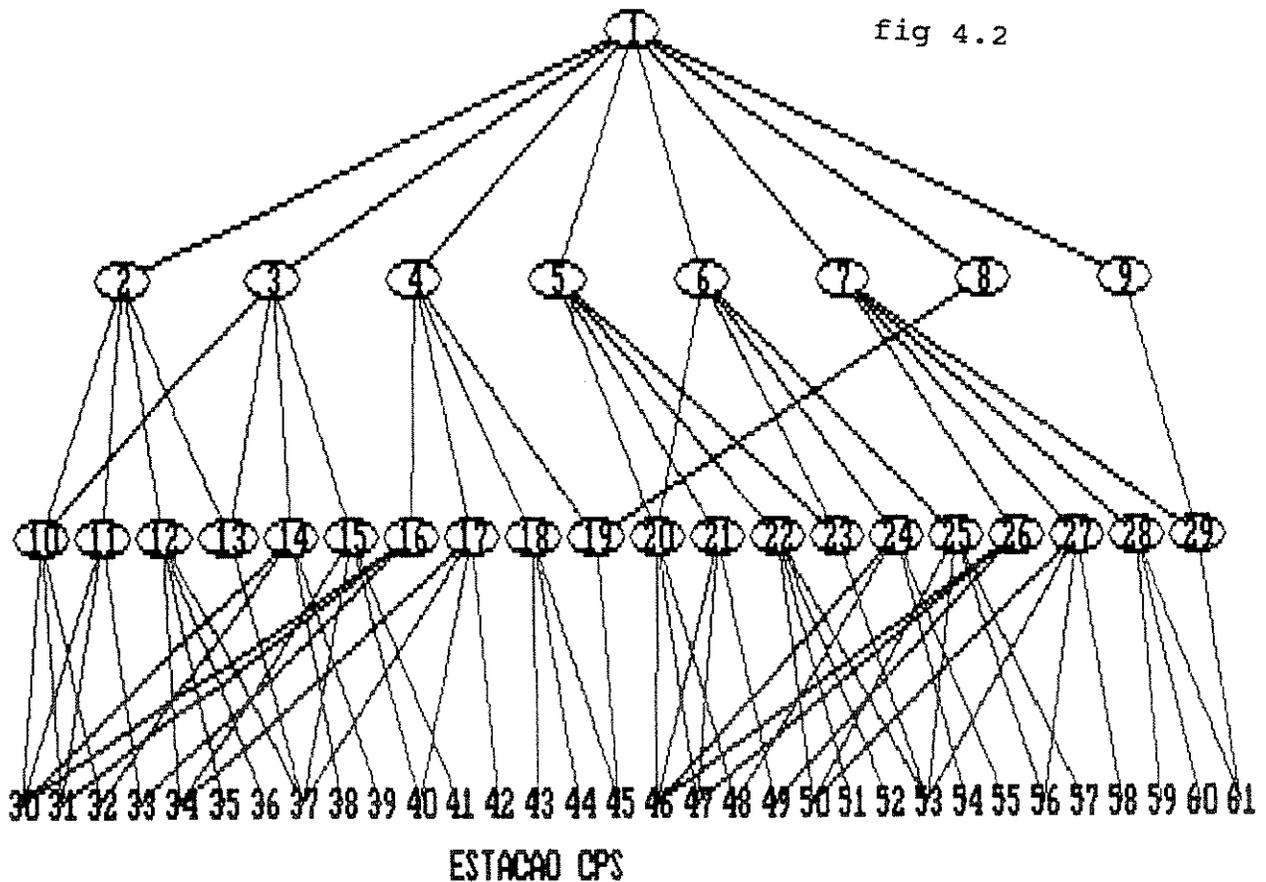
NOS	ESTADO	ESTA	CEN	MOD	TERM	TERM	MOD	TRAF	FOL	TRAF	TRAF	INTER
		GIO	TRAL	MOD	INSTAL	SERV	TRAF	COMUT	GA	EXTERNO	TAND	FACES
1	3 A1	1	2	21	20992	20992	17	2051	908	485	0	530
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	11 A1CPA1	2	2	21	21000	21000	17	2083	876	614	0	662
		1	80	11997	11997	2	851	5148	351	0	0	0
3	11 A1CPA1	2	2	21	20992	20992	17	2082	877	614	0	662
		1	81	12005	12005	2	852	5147	351	0	0	0
4	11 A1CPA1	2	2	14	13992	13992	11	1387	1572	409	0	530
		1	127	19005	19005	2	1349	4650	556	0	0	0
.												
58	14 A1CPA2	4	1	7	6992	6992	5	555	924	332	0	530
		1	213	33968	33968	4	2697	2302	1609	0	0	0
59	14 A1CPA2	4	1	11	10500	10500	7	833	646	498	0	542
		1	210	33500	30460	4	2418	2581	1443	0	0	0
60	14 A1CPA2	4	1	7	6992	6992	5	555	924	332	0	530
		1	213	33968	33968	4	2697	2302	1609	0	0	0
61	17 CPA2	4	2	256	40960	40960	6	4393	5606	1940	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ARCO	NO ORIGEM	NO DESTINO	CUSTO	INFRA-EST.
1	1	2	5286944	1580246
2	1	3	5286301	1580246
3	1	4	4917313	0
4	1	5	5268732	1580246
5	1	6	5268082	1580246
6	1	7	4893078	0
7	1	8	7470106	0
8	1	9	7433848	0
.				
.				
86	26	49	913216	0
87	27	50	779306	270045
88	27	56	170930	0
89	27	58	372702	0
90	27	53	678981	0
91	28	59	291833	0
92	28	60	140964	0
93	28	61	444999	0
94	29	61	123516	0

O arquivo de nós fornece informações do estado do nó, estágio de planejamento do nó em estudo, quantidade de centrais, módulos de terminais, terminais instalados, terminais em serviços, módulo de tráfego comutado, folga de tráfego , tráfego externo, tráfego tandem e interfaces A/D. E o arquivo de arcos indica as possibilidades de evolução dos nós com o seu respectivo custo.

A figura 4.2 abaixo ilustra a rede de evolução construída pelo módulo gráfico a partir dos arquivos de nós e arcos.

fig 4.2



As melhores alternativas de evolução foram:

		NÓ DE COMUTAÇÃO C P S				
		1991	1993	1998	2008	CUSTO 1000 US\$
1	1		7	28	60	7183.2
	A1 20992		A1 13992 CPA2 19005	A1 6992 CPA2 33500	A1 6992 CPA2 33968	
2	1		4	18	44	7214.6
	A1 20992		A1 13992 CPA1 19005	A1 6992 CPA1 33500	A1 6992 CPA1 33968	
3	1		7	28	59	7334.0
	A1 20992		A1 13992 CPA2 19005	A1 6992 CPA2 26500	A1 10500 CPA2 30460	
4	1		4	18	43	7365.3
	A1 20992		A1 13992 CPA1 19005	A1 6992 CPA1 26500	A1 10500 CPA1 30460	
5	1		7	27	60	7415.8
	A1 20992		A1 13992 CPA2 19005	A1 13992 CPA2 33500	A1 13992 CPA2 33968	
6	1		6	17	40	7443.2
	A1 20992		A1 20992 CPA1 12005	A1 13992 CPA1 26500	A1 13992 CPA1 26968	
7	1		7	28	61	7487.2
	A1 20992		A1 13992 CPA2 19005	A1 6992 CPA2 26500	CPA2 40960	
8	1		4	18	45	7521.1
	A1 20992		A1 13992 CPA1 19005	A1 6992 CPA1 33500	CPA1 40960	
.	.					
	1		6	24	54	7908.9
	A1 20992		A1 20992 CPA2 12005	A1 20992 CPA2 19500	A1 20992 CPA2 19968	
	1		3	14	38	7928.9
	A1 20992		A1 20992 CPA1 12005	A1 20992 CPA1 19500	A1 20992 CPA1 19968	

Observa-se que a melhor opção é desativar 7000 terminais analógicos já no primeiro estágio (1993) e instalar uma central digital (CPA2), na área desocupada, atendendo a 19005 assinantes.

No estágio seguinte (1998), houve mais uma desativação de 7000 terminais ficando 6992 terminais analógicos e ampliando a CPA2.

Em 2008 (ano horizonte), nota-se que ocorreu um congelamento dos terminais analógicos (permanecendo com os 6992 terminais de 1998) e que a central CPA2 foi novamente ampliada ficando 33968 terminais.

A segunda melhor solução apresenta o mesmo cronograma de desativação dos terminais analógicos (grau de digitalização), porém muda a tecnologia do equipamento digital

(CPA1) a ser instalado.

Chama-se atenção para a diferença entre a primeira solução

	1991	1993	1998	2008	CUSTO 1000 US\$
1	1 A1 20992	7 A1 13992 CPA2 19005	28 A1 6992 CPA2 33500	60 A1 6992 CPA2 33968	7183.2

e as que seriam, provavelmente, sugeridas pelo usuário

Digitalização programada (desativação programada das analógicas)

7	1 A1 20992	7 A1 13992 CPA2 19005	28 A1 6992 CPA2 26500	61 CPA2 40960	7487.2
---	---------------	-----------------------------	-----------------------------	------------------	--------

e Conservação das analógicas (congelamento) .

	1 A1 20992	6 A1 20992 CPA2 12005	24 A1 20992 CPA2 19500	54 A1 20992 CPA2 19968	7908.9
--	---------------	-----------------------------	------------------------------	------------------------------	--------

A diferença de custo entre a primeira solução e a digitalização programada é de 4.2 %, enquanto a diferença com a solução que sugere a conservação das analógicas é de 10.1 %, maiores que a política ótima.

As alternativas 3 e 4 indicam uma desativação de 7000 terminais no segundo estágio e mais 7000 no terceiro, havendo depois uma ampliação até atingir seu limite no último estágio (10500 terminais). Isto deve-se ao fato de que a modularidade de 7000 terminais para a desativação (fornecida pelo usuário) não é boa. Então, o usuário deve fazer algumas investigações com o EVOL para obter uma nova modularidade.

b) Evolução de PLA

A figura 4.3 abaixo ilustra a rede de evolução do nó PLA.

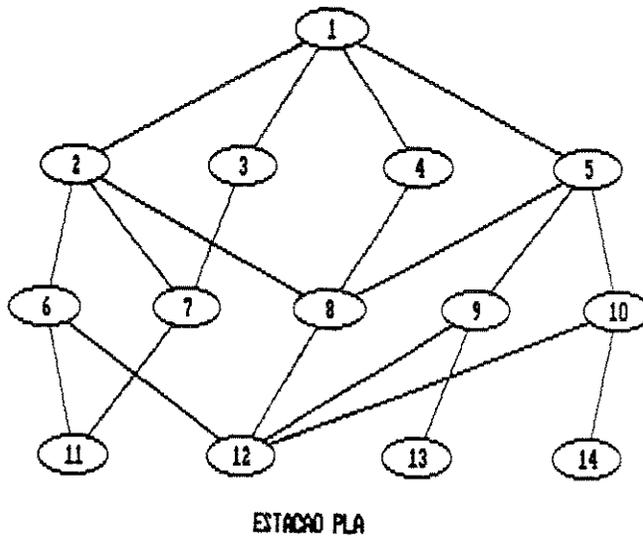


fig 4.3

As melhores alternativas foram:

EVOLUCAO DO NO DE COMUTACAO		P L A				CUSTO 1000 US\$
1991	1993	1998	2008			
1	2	6	12			
1	CPA4 2717	CPA4 3110	CPA2 9288		3587.4	
1	2	6	11			
2	CPA4 2717	CPA4 3110	CPA1 9288		3590.3	
1	5	9	12			
3	CPA3 2717	CPA3 3110	CPA3 5064		3688.3	
			CPA2 4224			
1	4	8	12			
	CPA2 2717	CPA2 3110	CPA2 9288		3782.6	

A melhor opção é instalar uma CPA4 (ELR) no primeiro estágio de planejamento (1993), ampliar em 1998 e substituí-la por uma central de grande porte (CPA2) no ano horizonte.

Esta solução é 5% mais barata do que se fosse implantar a CPA1 já no primeiro estágio (solução natural sugerida pelo planejador).

c) Evolução de GUS

A figura 4.4 ilustra a rede de evolução do nó GUS.

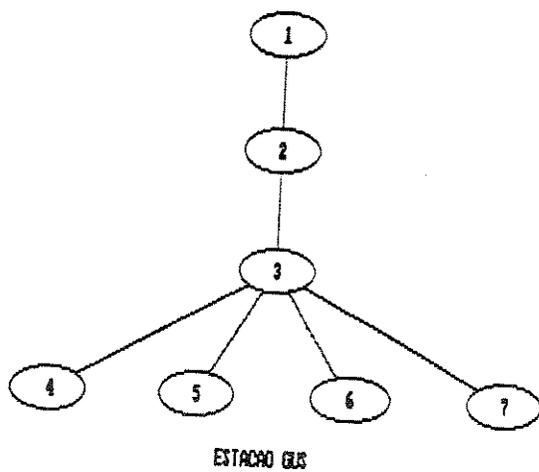


fig 4.4

As melhores alternativas foram:

	EVOLUÇÃO DO NÓ DE COMUTAÇÃO G U S				CUSTO 1000 US\$
	1991	1993	1998	200E	
1	1	2	3	4 CPA4 3420	348.4
2	1	2	3	7 CPA3 3420	391.8
3	1	2	3	6 CPA2 3420	416.4
4	1	2	3	5 CPA2 3420	418.4

Verifica-se que a melhor opção é instalar uma CPA4 (ELR) no último estágio, pois nos 3 primeiros não existem demandas.

d) Evolução de JCC

A figura 4.5 abaixo ilustra a rede de evolução do nó JCC.

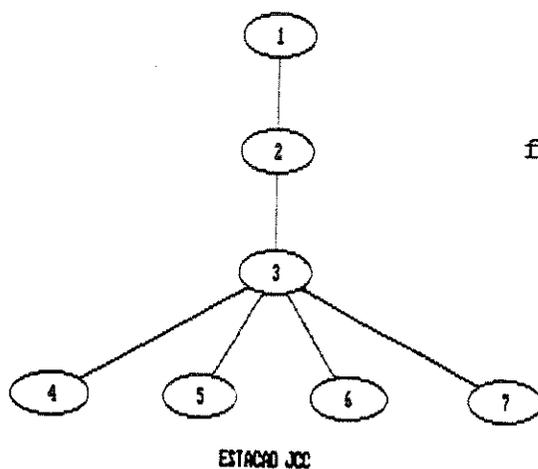


fig 4.5

As melhores alternativas foram:

	EVOLUCAO DO NO DE COMUTACAO J C C				CUSTO 1000 US\$
	1991	1993	1998	2008	
1	1	2	3	4 CPA4	4096 580.2
2	1	2	3	7 CPA3	4096 629.9
3	1	2	3	6 CPA2	4096 643.7
4	1	2	3	5 CPA1	4096 645.8

Verifica-se que a melhor opção é instalar uma CPA4 (ELR) no último estágio, pois nos 3 primeiros não existem demandas.

Em termos de factibilidade, considerando-se apenas a primeira solução de cada nó (estação), a solução global da rede seria infactível, devido à incompatibilidade tecnológica entre a central CPA2 (instalada na estação CPS) e os ELR propostos em PLA, GUS e JCC.

Para resolver tal problema, simulou-se alguns encaminhamentos nas matrizes de tráfego

ao longo dos períodos de planejamento, obtendo o correspondente custo de entroncamento da rede.

A tabela abaixo ilustra algumas alternativas de configurações de evolução.

EVOLUÇÃO DA REDE LOCAL DE CAMPOS-RJ						
	C P S	P L A	J C C	G U S	CUSTOS EM 1000 US\$	
					TRANSMISSÃO	T O T A L
a)	1 7183.2	3 3688.3	2 629.9	2 391.8	588.1	12481.3
b)	2 7223.1	1 3587.4	2 629.9	2 391.8	583.8	12416.0
c)	2 7226.7	1 3587.4	2 629.9	1 348.4	572.6	12365.0
d)	2 7231.2	1 3587.4	1 580.2	1 348.4	568.4	12315.6

A alternativa "a" representa a primeira opção de evolução de CPS (evolução ótima do nó CPS), que propõe a central CPA2 (incapaz de filiar ELR) e PLA, JCC e GUS como centrais autônomas (terceira, segunda e segunda solução respectivamente). O custo de transmissão desta alternativa foi obtida através do somatório dos custos das rotas entre os nós (consideradas diretas com perda de 1 %).

Na configuração proposta em "b", utiliza-se a central CPA1 (que filia ELR-CPA4). Nota-se que embora aumentasse o custo de evolução de CPS, houve uma diminuição em PLA (primeira solução) e no entroncamento (PLA filiada em CPS-CPA1 até o penúltimo estágio de planejamento, refletindo-se no custo global da evolução da rede.

Seguindo este tipo de análise, chegou-se ao menor custo de evolução da rede de Campos-RJ (apresentado na alternativa "d"), onde PLA (até 1908), GUS e JCC são ELR (filiados em CPS-CPA1).

Chama-se atenção para a diferença dos custos da solução 2 do nó CPS nos cenários b, c e d. Isto deve-se ao fato de que a cada cenário o nó CPS tem mais tráfego (oriundo dos ELR) a ser comutado.

Observa-se que em CPS a diferença de custos entre a primeira solução e a alternativa

com digitalização programada é, de aproximadamente, 50% dos custos de transmissão (paga 50% dos custos de transmissão). A economia é maior quando a comparação é feita entre a solução ótima e a opção conservadora (onde se conservaria a mesma quantidade de terminais analógicos durante o horizonte de estudo), cobrindo todas as despesas relativas à transmissão e, ainda, sobrando 17%. Na página 76 são ilustradas tais alternativas de evolução de CPS.

4.2 ESTUDO DE EVOLUÇÃO DA REDE LOCAL DE JUAZEIRO DO NORTE-RJ (TELECEARÁ)

Trata-se de uma área uni-estação com 1 central analógica (A1), atendendo a 7000 assinantes com um tráfego médio de 0.065 erlangs/terminal, tendo 60 % de tráfego interno. A infra-estrutura instalada é capaz de abrigar até 10000 terminais na central analógica existente.

Até o ano horizonte (2000) está previsto mais 1 centro de fios, a 3 km de Juazeiro conforme mostrado na tabela seguinte.

DEMANDA DE TERMINAIS				
	1991	1993	1995	2000
JNE	7100	8348	9286	10000
NO2	0	1926	2515	5939

DEMANDA DE TRÁFEGO/TERMINAIS				
	1991	1993	1995	2000
JNE	.0650	.0650	.0650	.0650
NO2		.1000	.1000	.1000

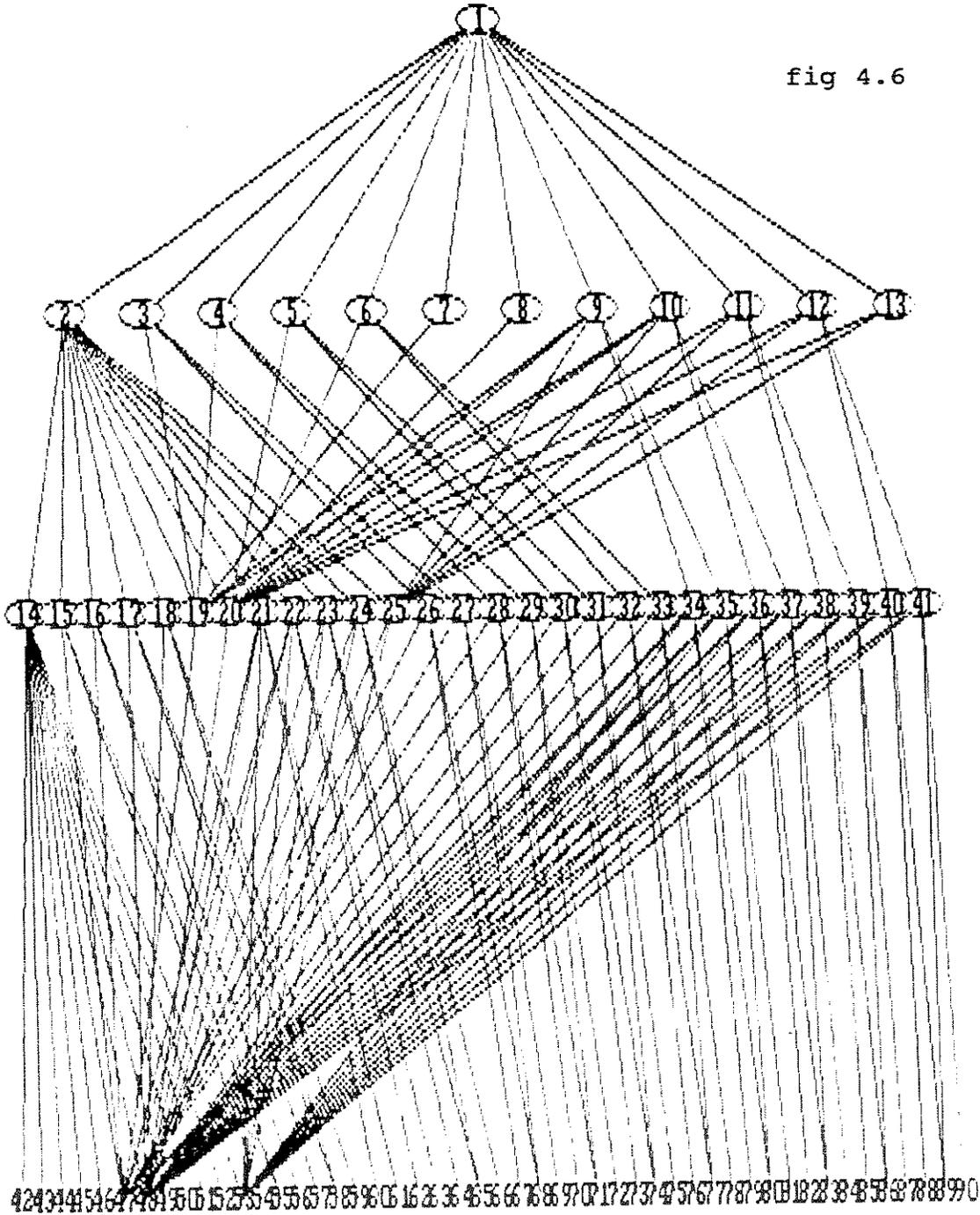
PERCENTUAL DE TRÁFEGO INTERNO				
	1991	1993	1995	2000
JNE	.600	.550	.550	.550
NO2	.000	.250	.250	.250

a) Evolução de JNE

Há uma recomendação de que o nó JNE chegue no ano horizonte (2000) com aproximadamente, 90 % dos terminais digitalizados. Para isto, prevê-se que uma desativação programada, a cada estágio de planejamento, de 2000 terminais analógicos.

A figura 4.6 abaixo apresenta a rede de evolução de JNE gerada pelo EVOL (90 nós e 163 arcos).

fig 4.6



As tabelas abaixo ilustram as características de alguns nós e arcos referentes a figura anterior.

ESTACÃO JNE 90 nós 163 arcos

NOS	ESTADO	ESTA GIO	CEN TRAL	MOD TERM	TERM INSTAL	TERM SERV	MOD TRAF	TRAF COMUT	FOL GA	TRAF EXTERNO	TRAF TAND	INTER FACES
1	3	A1	1	1	8	7100	7100	3	461 1038	264	0	302
			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	3	A1	2	1	9	8348	8348	3	542 957	337	0	378
			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	11	A1CPA1	2	1	8	7100	7100	3	461 1038	287	0	326
			1	9	1248	1248	1	81 5918	51	0	0	0
4	11	A1CPA1	2	1	4	5100	5100	2	331 1168	206	0	302
			1	22	3248	3248	1	211 5788	132	0	0	0
5	14	A1CPA2	2	1	8	7100	7100	3	461 1038	287	0	326
			1	8	1248	1248	1	81 5918	51	0	0	0
6	14	A1CPA2	2	1	6	5100	5100	2	331 1168	206	0	302
			1	21	3248	3248	1	211 4788	132	0	0	0
.												
.												
.												
88	6	A1CPA3	4	1	6	5100	5100	2	331 1168	221	0	302
			2	39	4900	4900	2	318 215	213	0	0	0
89	6	A1CPA3	4	1	4	3100	3100	2	201 1298	135	0	302
			2	54	6900	6900	3	448 42	299	0	0	0
90	6	A1CPA3	4	1	2	1100	1100	1	71 1428	48	0	302
			3	70	8900	8900	4	578 124	386	0	0	0

ARCO	NO ORIGEM	NO DESTINO	CUSTO	INFRA-EST.
1	1	2	473985	0
2	1	3	882213	0
3	1	4	1251697	0
4	1	5	873205	0
5	1	6	1240917	0
6	1	7	2224221	0
7	1	8	2208925	0
8	1	9	516052	0
.				
.				
.				
160	41	89	216062	0
161	41	90	442968	0
162	41	53	557842	0
163	41	48	532304	0

As melhores alternativas de evolução do nó JNE foram:

		NÓ DE COMUTAÇÃO J N E					
	1991	1993	1995	2000	CUSTO		
					1000 US\$		
1	1 A1 7100	11 A1 7100 CPA3 1248	38 A1 7100 CPA3 2186	85 A1 7100 CPA3 2900			1142.3
2	1 A1 7100	2 A1 8348	14 A1 9286	42 A1 10000			1201.1
3	1 A1 7100	2 A1 8348	23 A1 8348 CPA3 938	64 A1 8348 CPA3 1652			1201.2
4	1 A1 7100	2 A1 8348	14 A1 9286	49 A1 9286 CPA4 714			1220.5
5	1 A1 7100	2 A1 8348	14 A1 9286	51 A1 9286 CPA3 714			1222.5
6	1 A1 7100	2 A1 8348	21 A1 8348 CPA4 938	60 A1 8348 CPA4 1652			1248.5
7	1 A1 7100	9 A1 7100 CPA4 1248	34 A1 7100 CPA4 2186	79 A1 7100 CPA4 2900			1286.8
8	1 A1 7100	11 A1 7100 CPA3 1248	38 A1 7100 CPA3 2186	86 A1 7100 CPA3 2900			1347.4
.							
.							
.							
	1 A1 7100	12 A1 5100 CPA3 3248	41 A1 3100 CPA3 6186	90 A1 1100 CPA3 8900			2187.2

A melhor solução entre outras digitais em que previa-se uma desativação de 2000 terminais analógicos, de modo a tornar o nó 90 % digitalizado

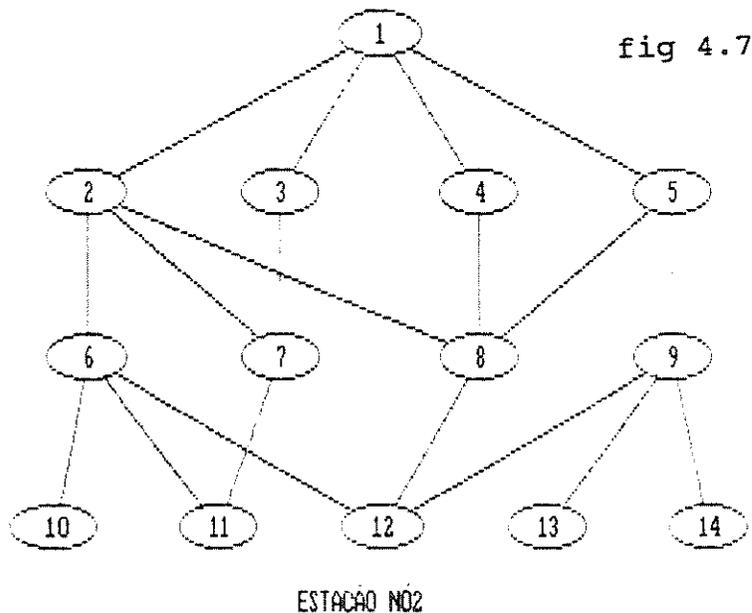
1991		1993		1995		2000		CUSTO 1000 US\$
1		12		41		90		
A1	7100	A1	5100	A1	3100	A1	1100	2187.2
		CPA3	3248	CPA3	6186	CPA3	8900	

É 92 % mais cara que a solução ótima proposta.

1		11		38		85		
A1	7100	A1	7100	A1	7100	A1	7100	1142.3
		CPA3	1248	CPA3	2186	CPA3	2900	

b) EVOLUÇÃO DO NÓ 2

A figura 4.7 abaixo representa a rede de evolução do nó 2.



As melhores opções de evolução foram:

EVOLUÇÃO DO NÓ DE COMUTAÇÃO N O 2						CUSTO 1000 US\$
	1991	1993	1995	2000		
1	1	5 CPA3 1926	9 CPA3 2515	12 CPA2 5939		3636.9
2	1	5 CPA3 1926	9 CPA3 2515	13 CPA3 5939		3660.9
3	1	2 CPA4 1926	6 CPA4 2515	10 CPA4 5939		3662.5
4	1	5 CPA3 1926	9 CPA3 2515	14 CPA3 3200 CPA2 2739		3717.9
5	1	2 CPA4 1926	6 CPA4 2515	11 CPA1 5939		3729.9
6	1	2 CPA4 1926	6 CPA4 2515	12 CPA2 5939		3737.5
7	1	4 CPA2 1926	8 CPA2 2515	12 CPA2 5939		3766.5
.

Observa-se que a solução ótima de evolução do nó 2 é instalar uma CPA3 em 1993 ampliá-la em 1995 para 2515 terminais e depois remanejá-la, substituindo-a pela CPA2. Verifica-se que nos dois primeiros estágios de estudo (1993 e 1995) a melhor opção é atender a demanda com equipamentos de pequeno/médio porte (CPA3 e CPA4).

A diferença entre a melhor opção (1) e a de se implantar uma central de grande porte (CPA2) já em 1993 (7) é de 4 %.

Pode-se notar na alternativa 4 a influência da varável de limite de tráfego, que restringe a central CPA3 em 3200 terminais.

4.3 ESTUDO DE EVOLUÇÃO DA REDE LOCAL DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS-SP (TELESP)

Nesta seção serão feitas comparações entre resultados de evolução dos nós obtidos em [12] e com esta nova proposição de modelo.

Foram assumidas algumas premissas devido à falta de alguns dados (perfil de tráfego, crescimento de tráfego, custo de operação e manutenção, limite de tráfego dos equipamentos de comutação, custos de interfaces e transmissão e relação de ocupação de área analógica/digital).

No modelo anterior [12], a curva de custo da central é calculada para um dado perfil de tráfego, não havendo limite de tráfego, sendo a central limitada apenas em terminais de assinantes.

Como detalhado na seção 3.2.5.2, o novo modelo incorpora o custo fixo e os custos modulares de tráfego comutado e custo variável de tráfego externo. Assim devido à inexistência de tais dados e para que pudéssemos comparar outras novas variáveis, assumiu-se custo zero para todas as variáveis relativas ao tráfego, deixando o programa atuar apenas com o limite de tráfego de cada equipamento.

Foram utilizadas também os mesmos parâmetros de substituição de equipamentos, políticas de evolução e custos de infra-estrutura.

A tabela a seguir mostra os tipos de equipamentos de comutação ofertados para evolução do nó.

EQUIPAMENTOS DE COMUTAÇÃO

EQUIPAMENTO	TECNOLOGIA	TIPO	FILIAÇÃO	FUNÇÃO TANDEM	LIMITE DO TERMINAL	DO EQUIP/ TRÁFEGO	LIMITE DO TERMINAL	DO MODULO TRÁFEGO	N. MÁXIMO GEMINACÃO
RA	DIG	AUT	-	SIM	60000	5000	160	500	1
RAS	DIG	AUT	-	SIM	22000	1540	160	154	2
URA	DIG	ELR	RA/RAS	NAO	1920	150	160	150	3
A2	ANA	AUT	-	SIM	20540	1700	1000	100	1
A1	ANA	AUT	-	NAO	10300	1000	1000	200	1
A4	ANA	AUT	-	SIM	4000	500	1000	100	1
NC	ANA	AUT	-	SIM	10200	1000	1020	200	1
AX	ANA	AUT	-	SIM	40800	5000	1020	500	1

CUSTOS DOS EQUIPAMENTOS DE COMUTAÇÃO

EQUIPAMENTO	CUSTO FIXO		CUSTO DO MODULO		CUSTO VARIÁVEL	
	TERMINAL	TRÁFEGO	TERMINAL	TRÁFEGO	TERMINAL	TRÁFEGO
RA	28600	0	200	0	38	0
RAS	24000	0	150	0	38	0
URA	1600	0	0	0	45	0
A2	20000	0	0	0	30	0
A1	20000	0	0	0	30	0
A4	20000	0	0	0	30	0
NC	20000	0	0	0	30	0
AX	60000	0	0	0	48	0

A próxima tabela [12] ilustra os tipos de transições de estado possíveis para a evolução do nó.

DIAGRAMA DE ESTADOS

ESTADO PRESENTE	ESTADOS	FUTUROS	POSSÍVEIS		
NOVA	URA	RAS	RA		
A1	A1	A1RAS	A1RA	RAS	RA
A2	A2	A2RAS	A2RA	RAS	RA
A4	A4	A4RAS	A4RA	RAS	RA
AX	AX	AXRAS	AXRA	RAS	RA
NC	NC	NCRAS	NCRA	RAS	RA
A4AX	A4AX	AXRAS	AXRA	RAS	RA
A4URA	A4URA	RAS	RA		
A2URA	A2URA	RAS	RA		
A1URA	A1URA	RAS	RA		
AXURA	AXURA	RAS	RA		
A1RAS	A1RAS	RAS	RA		
A2RAS	A2RAS	RAS	RA		
A4RAS	A4RAS	RAS	RA		
AXRAS	AXRAS	RAS	RA		
NCRAS	NCRAS	RAS	RA		
A1RA	A1RA	RA			
A2RA	A2RA	RA			
A4RA	A4RA	RA			
AXRA	AXRA	RA			
NCRA	NCRA	RA			
URA	URA	RAS	RA		
RAS	RAS	RA			
RA	RA				

OBSERVAÇÕES:

- 1) EXCETO A CENTRAL A4 (QUE SERÁ DESATIVADA ANTES DE 1992), NÃO HA PREVISÃO DE DESATIVACÃO TOTAL (FORÇADA) DAS DEMAIS CENTRAIS ANTES DO FIM DO ESTUDO
- 2) EXISTE UM CUSTO DE 10% NA DESATIVACÃO DE CENTRAIS ANALÓGICAS
- 3) ASSUMIU-SE UM APROVEITAMENTO DE 80% NOS CASOS DE REMANEJAMENTOS DOS EQUIPAMENTOS URA QUANDO FOREM SUBSTITUIDOS PELA RA OU RAS
- 4) A CENTRAL AX (CPA-ESPACIAL) FOI CONSIDERADA DE TECNOLOGIA ANALÓGICA PARA EFEITO DO CALCULO DOS CUSTOS DE INTERFACES A/D

Na rede local de São José dos Campos existem três centros de fios no ano base (1988), aparecendo mais 6 novos nós de comutação até o ano horizonte (2006), conforme mostrado na tabela abaixo.

O nó mais antigo (HUM) possui 3 centrais (A2, A4 e AX), sendo que apenas AX poderá ser ampliada, pois as outras já atingiram seus limites de terminais.

Seguindo as premissas utilizadas em [12], separou-se este nó em HUM1 (A2) e HUM2 (A4 e AX).

Os nós JSAT e TATE atendem a 10300 (central A1) e 10000 terminais (central NC), respectivamente.

DEMANDA DE ASSINANTES POR ESTAGIO DE PLANEJAMENTO

	1988	1990	1992	1996	2006
HUM1	20540	20540	20540	20540	20540
HUM2	12160	22481	22560	27046	30139
JSAT	10300	10300	10300	10300	25573
TATE	10000	10000	10000	10000	19734
C127	0	0	0	0	10713
C292	0	0	0	4145	7956
C322	0	0	0	5574	13564
C233	0	5228	5936	12901	25907
C059	0	0	1804	2924	5680
C114	0	2709	3369	3640	4423

A tabela abaixo ilustra as duas melhores políticas de evolução de cada nó da rede obtida em [12]. Vamos considerá-las como rodada 0.

NO	1988	1990	1992	1996	2006	CUSTO	
HUM1	1	A2 20540	A2 20540	A2 20540	A2 20540	A2 20540	58
	2	A2 20540	A2 20540	A2 20540	A2 20540	RAS 20540	106571
HUM2	1	A4 4000 AX 8160	RA 22481	RA 22560	RA 27046	RA 30139	851749
	2	A4 4000 AX 8160	RAS 22481	RAS 22560	RAS 27046	RAS 30139	860828
JSAT	1	A1 10300	A1 10300	A1 10300	A1 10300	A1 10300 RAS 15273	74320
	2	A1 10300	A1 10300	A1 10300	A1 10300	A1 10300 RA 15273	75448
TATE	1	NC 10000	NC 10000	NC 10000	NC 10000	NC 10200 RAS 9534	41949
	2	NC 10000	NC 10000	NC 10000	NC 10000	NC 10200 RA 9534	42759
C127	1	-	-	-	-	RAS 10713	87245
	2	-	-	-	-	RA 10713	88199
C292	1	-	-	-	RAS 4145	RAS 7956	179778
	2	-	-	-	RA 4145	RA 7956	182222
C322	1	-	-	-	RAS 5574	RAS 13564	242431
	2	-	-	-	RA 5574	RA 13564	245206
C233	1	-	RAS 5228	RAS 5936	RAS 12901	RAS 25907	678528
	2	-	RA 5228	RA 5936	RA 12901	RA 25907	682066
C059	1	-	-	URA 1804	URA 2924	URA 5680	152603
	2	-	-	URA 1804	URA 2924	RAS 5680	154019
C114	1	-	RAS 2709	RAS 3369	RAS 3640	RAS 4423	209135
	2	-	URA 2709	URA 3369	URA 3640	URA 4423	209524

Para se ter uma clara percepção da influência das variáveis incluídas no novo modelo, foram feitas as seguintes rodadas:

a) Rodada 1

Na primeira rodada, cenário mais próximo de [12], assumiu-se um tráfego de 0,08 erlangs por terminal (constante ao longo dos estágios de planejamento), com 40 % de tráfego interno para os nós existentes (1988) e 20 % para os novos. A tabela seguinte mostra as duas melhores evoluções por nó.

	NO	1988	1990	1992	1996	2006	CUSTO
HUM1	1	A2 20540	A2 20540	A2 20540	A2 20540	A2 20540	0
	2	A2 20540	A2 20540	A2 20540	A2 20540	A2 16540 RAS 4000	23013
HUM2	1	A4 4000 AX 8160	RA 22481	RA 22560	RA 27046	RA 30139	851749
	2	A4 4000 AX 8160	RAS 22481	RAS 22560	RAS 27046	RA 30139	886068
JSAT	1	A1 10300	A1 10300	A1 10300	A1 10300	A1 10300 RAS 15273	74265
	2	A1 10300	A1 10300	A1 10300	A1 10300	A1 10300 RA 15273	75393
TATE	1	NC 10000	NC 10000	NC 10000	NC 10000	NC 10200 RAS 9534	48262
	2	NC 10000	NC 10000	NC 10000	NC 10000	NC 10000 RAS 9734	48373
C127	1	-	-	-	-	RAS 10713	87151
	2	-	-	-	-	RA 10713	88106
C292	1	-	-	-	RAS 4145	RAS 7956	179716
	2	-	-	-	RA 4145	RA 7956	182160
C322	1	-	-	-	RAS 5574	RAS 13564	242369
	2	-	-	-	RA 5574	RA 13564	245144
C233	1	-	RAS 5228	RAS 5936	RAS 12901	RAS 25907	678528
	2	-	RA 5228	RA 5936	RA 12901	RA 25907	682066
C059	1	-	-	RAS 1804	RAS 2924	RAS 5680	154325
	2	-	-	RA 1804	RA 2924	RA 5680	157810
C114	1	-	RAS 2709	RAS 3369	RAS 3640	RAS 4423	209135
	2	-	RA 2709	RA 3369	RA 3640	RA 4423	213646

Verifica-se que houve uma desativação programada de 4000 terminais analógicos da central A2 na segunda melhor solução do nó HUM1.

Em HUM2, a central RAS foi substituída pela RA por necessitar de mais centrais geminadas do que era permitido (máximo de 2), na segunda melhor solução.

A segunda melhor solução do nó TATE teve seus terminais congelados em 10000 terminais, enquanto que a primeira solução a central NC atingiu seu limite de terminais (10200 terminais).

O nó 059 teve sua evolução com a central RAS e não com URA (rodada 0). Isto deve-se ao fato de que este modelo leva em conta o custo de entroncamento entre o ELR e a mãe.

O mesmo motivo alterou a segunda solução do nó C114 que teve sua evolução com a central RA e não mais com URA.

b) Rodada 2

Nesta rodada assumiu-se um custo anual por terminal de Operação e Manutenção de 5 unidades monetárias (U.M.) para o equipamento analógico e 1 U.M. para o digital. A tabela abaixo ilustra a influência desta nova variável nos nós existentes (onde há existência da tecnologia analógica).

Constata-se que houve um maior aumento nos custos de evolução envolvendo terminais analógicos do que com terminais digitais. Como exemplo, a diferença entre a primeira e a segunda melhor solução do nó HUM1, caiu de 23013 (rodada 1) para 14387 (rodada 2). Tal influência foi maior em TATE, provocando uma inversão na primeira com a segunda melhor alternativa de evolução do nó (rodada 1), ficando agora a melhor solução a central analógica com a mesma quantidade de terminais dos períodos anteriores.

Para os novos centros de fios esta variável não teve atuação, pois todas as centrais propostas para evolução são digitais, permanecendo as mesmas diferenças descritas na rodada 1 (nó C059 e C114).

	NO	1988	1990	1992	1996	2006	CUSTO
HUM1	1	A2 20540	A2 20540	A2 20540	A2 20540	A2 20540	605927
	2	A2 20540	A2 20540	A2 20540	A2 20540	A2 16540 RAS 4000	620314
HUM2	1	A4 4000 AX 8160	RA 22481	RA 22560	RA 27046	RA 30139	998512
	2	A4 4000 AX 8160	RAS 22481	RAS 22560	RAS 27046	RA 30139	1032831
JSAT	1	A1 10300	A1 10300	A1 10300	A1 10300	A1 10300 RAS 15273	386348
	2	A1 10300	A1 10300	A1 10300	A1 10300	A1 10300 RA 15273	387476
TATE	1	NC 10000	NC 10000	NC 10000	NC 10000	NC 10000 RAS 9734	348617
	2	NC 10000	NC 10000	NC 10000	NC 10000	NC 10200 RAS 9534	348938

c) Rodada 3

Para se ter uma idéia da influência da variável de ocupação de área de infra-estrutura para as centrais analógicas e digitais, nesta rodada 3, limitou-se a infra-estrutura existente com capacidade apenas para atender o que já tivesse sido instalado no ano base, tendo as seguintes alterações:

NO		1988	1990	1992	1996	2006	CUSTO
HUM1	1	A2 20540	A2 20540	A2 20540	A2 20540	A2 20540	605927
	2	A2 20540	A2 20540	A2 20540	A2 20540	A2 16540 RAS 4000	620314
HUM2	1	A4 4000 AX 8160	RA 22481	RA 22560	RA 27046	RA 30139	998512
	2	A4 4000 AX 8160	RAS 22481	RAS 22560	RAS 27046	RA 30139	1032831
JSAT	1	A1 10300	A1 10300	A1 10300	A1 10300	RA 25573	417723
	2	A1 10300	A1 10300	A1 10300	A1 10300	RAS 25573	419091
TATE	1	NC 10000	NC 10000	NC 10000	NC 8000 RAS 2000	NC 6000 RAS 13734	371978
	2	NC 10000	NC 10000	NC 10000	NC 8000 RA 2000	NC 6000 RA 13734	374462

Em JSAT a melhor opção é desativar totalmente a central analógica A1, enquanto que em TATE a desativação de NC é parcial, (2000 terminais em 1996 e mais 2000 terminais em 2006, ficando com 6000 terminais), não necessitando de ampliar a infra-estrutura. Esta variável não teve influência em HUM1 (pois não houve expansão de terminais) e nem em HUM2 (houve desativação de terminais analógicos, cedendo espaço para terminais digitais).

Para os novos centros de fios esta variável não teve atuação, pois todas as centrais propostas para evolução são digitais, permanecendo as mesmas diferenças descritas na rodada 1 (nó C059 e C114).

d) Rodada 4

Nesta rodada será explorado o efeito do aumento do tráfego por terminal para 0,12 erlangs por terminal (mantido constante ao longo dos estágios) e com as mesmas variáveis já mencionadas nas rodadas anteriores. A tabela abaixo ilustra as duas melhores soluções:

		1988	1990	1992	1996	2006	CUSTO
HUM1	1	A2 20540	RA 20540	RA 20540	RA 20540	RA 20540	831139
	2	A2 20540	A2 14167 RA 6373	RA 20540	RA 20540	RA 20540	1833957
HUM2	1	A4 4000 AX 8160	RA 22481	RA 22560	RA 27040	RA 30139	998512
	2	A4 4000 AX 8160	A4 4000 AX 18481	RA 22560	RA 27040	RA 30139	2497080
JSAT	1	A1 10300	A1 8334 RA 1996	A1 8334 RA 1996	A1 8334 RA 1996	RA 25573	445604
	2	A1 10300	A1 8334 RA 1996	A1 8334 RA 1996	A1 8300 RA 2000	A1 6300 RA 19273	449695
TATE	1	NC 10000	NC 8000 RAS 2000	NC 8000 RAS 2000	NC 8000 RAS 2000	NC 6000 RAS 13734	399107
	2	NC 10000	NC 8000 RA 2000	NC 8000 RA 2000	NC 8000 RA 2000	NC 6000 RA 13734	400813
C127	1	-	-	-	-	RAS 10713	92928
	2	-	-	-	-	RA 10713	93882
C292	1	-	-	-	RAS 4145	RAS 7956	192949
	2	-	-	-	RA 4145	RA 7956	195393
C322	1	-	-	-	RA 5574	RA 13564	264485
	2	-	-	-	RAS 5574	RAS 13564	264591
C233	1	-	RA 5228	RA 5936	RA 12901	RA 25907	741944
	2	-	RAS 5228	RAS 5936	RAS 12901	RA 25907	756735
C059	1	-	-	RAS 1804	RAS 2924	RAS 5680	167081
	2	-	-	RA 1804	RA 2924	RA 5680	170566
C114	1	-	RAS 2709	RAS 3369	RAS 3640	RAS 4423	229288
	2	-	RA 2709	RA 3369	RA 3640	RA 4423	233799

Considerando-se a saída da rodada 0 com a rodada 4 (tabela anterior), verifica-se que apenas os nós N127 e N292 possuem as mesmas evoluções ótimas, respectivamente. Isto deve-se ao fato de que o volume de tráfego comutado pelos nós seriam atendidos por apenas 1 central (dentro do limite de tráfego).

Porém, as centrais analógicas já instaladas no ano base tiveram desativação total (nós HUM1 e HUM2) e parcial (nós JSAT e TATE) de terminais, devido ao volume de tráfego a ser comutado.

Pela mesma razão (maior volume de tráfego), os demais nós tiveram evoluções ótimas diferentes da rodada 0, mostrando a influência do limite de tráfego dos equipamentos de comutação, acarretando em mais equipamentos (conseqüentemente mais custo fixo).

e) Rodada 5

Para testar a simplificação feita dividindo-se o nó mais antigo em HUM1 e HUM2, esta rodada explora mais um cenário em que se testará a evolução do nó com 3 equipamentos distintos (A2, A4 e AX).

Como as centrais A2 e A4 atingiram seu limite de terminais, assumiu-se (uma outra simplificação) que seus terminais fariam parte da central AX (que teve sua capacidade de terminais e tráfego ampliada para abrigar assinantes de A2 e A4).

As outras premissas são as mesmas da rodada 1, exceto a desativação forçada da central A4 antes do terceiro estágio.

Contornou-se tal problema através de uma desativação programada de 4000 terminais da nova central AX a cada estágio de planejamento.

A evolução ótima foi:

	1988	1990	1992	1996	2006	CUSTO
HUM	AX 32700	AX 32700 RAS 10321	AX 32700 RAS 10400	AX 32700 RAS 14886	AX 32700 RAS 17979	421007

Porém, tal solução não satisfaz, pois não simula a desativação de A4 (4000 terminais). A solução abaixo cumpre tais obrigações.

	1988	1990	1992	1996	2006	
HUM	AX 32700	AX 32700 RAS 10321	AX 28700 RAS 14400	AX 28700 RAS 18886	AX 28700 RAS 21979	533108

Esta solução é 21 % maior do que a solução ótima acima, porém torna-se 37 % mais econômica que a soma dos custos de evolução de HUM1 e HUM2 (na rodada 1).

4.4 COMENTÁRIOS GERAIS DAS RODADAS

A obsolescência das centrais analógicas foi comprovada nos três exemplos de arquiteturas de rede local.

Em Campos, no nó CPS desativou-se 1 e parte da outra central analógica de modo a ceder espaço na infra-estrutura existente para uma central digital mais compacta.

Em Juazeiro do Norte, embora a infra-estrutura existente de JNE fosse capaz de atender a demanda até o fim do ano horizonte, a melhor opção foi congelar a central analógica e atender o acréscimo das demandas com a superposição de uma central digital (CPA3) no nó, tendo os custos de interfaces A/D como o principal agente.

A segunda melhor solução de evolução de JNE é fazer ampliação da analógica até o fim do estudo. Este resultado traduz o fato de que a diferença estimada (5 US \$ por terminal ao ano) entre o custo de operação e manutenção das centrais analógicas e os das digitais não foi tão atuante no estudo da obsolescência.

Os novos centros de fios tiveram suas redes de evolução mais simples em relação aos nós já existentes. Isto deve-se ao fato de que os novos centros deverão ser digitais (pequeno, médio ou grande porte) ao contrário das analógicas em que o aumento das alternativas de evolução foi claramente notada. Porém, alerta-se para o problema de incompatibilidade tecnológica dos ELR na rede, o que torna o estudo mais trabalhoso.

Em São José dos Campos, embora os analógicos existentes não tivessem um crescimento de demanda contínuo (impossibilitando a atuação dos custos de interfaces A/D), conseguiu-se verificar a influência das outras novas variáveis como:

- Congelamento e Desativação programada das analógicas
- Limitação de tráfego nas centrais
- Aumento do tráfego devido à geminação
- Relação de ocupação de área de infra-estrutura
- etc...

Para os novos centros de fios o impacto foi devido ao limite de tráfego dos equipamentos e nos custos de filiação ELR com a central mãe.

Foram feitas tomadas de tempo de processamento, na rodada 1 (rede de São José dos Campos), afim de comparar a eficiência do algoritmo de otimização proposto e o utilizado em [12].

As maiores redes de evolução (HUM1, JSAT e TATE, com, aproximadamente, 36 nós e 80 arcos), tiveram uma redução de 6 vezes o tempo gasto pelo p-caminhos (mesmo hardware e $p=2$).

Para os demais nós, que apresentaram redes pequenas, obteve-se, aproximadamente, o mesmo tempo de execução.

A rodada 5 gerou uma rede de evolução de 69 nós e 123 arcos na qual obteve-se um tempo 44 vezes menor com o novo algoritmo.

Das três arquiteturas de rede apresentadas, a maior diferença foi obtida em JNE (Juazeiro do Norte), chegando a ser 90 vezes mais rápido.

5 FACTIBILIDADE NA POLÍTICA ÓTIMA DE EVOLUÇÃO DA REDE

O EVOL gera um relatório indicando a melhor política de evolução para cada nó da rede. Porém, este resultado foi alcançado analisando cada nó separadamente (mínimo custo nodal), podendo ocorrer uma infactibilidade quando analisados globalmente.

5.1 O PROBLEMA DA FILIAÇÃO DO ELR: UM EXEMPLO

A solução é dita infactível, quando na área local em estudo em algum estágio de planejamento, não existir possibilidade técnica de filiação do estágio remoto (ELR) a uma central mãe. Isto acontece em áreas onde só existem centrais analógicas ou, mesmo, com centrais digitais com sua capacidade de tráfego já no limite e sem possibilidade de ampliação ou centrais digitais com tecnologia diferente do ELR a ser filiado.

Contudo, nas redes metropolitanas brasileiras, a ocorrência de estágios remotos (ELR) implantados num mesmo estágio de planejamento e sem uma central digital mãe para associá-los é bem limitado.

A tabela I ilustra um exemplo de relatório de saída (indicando a melhor política de evolução) gerado para uma área local com apenas 1 nó de comutação no ano base (analógico), surgindo mais 5 nós no estágio seguinte.

Estágios	Nós					
	1	2	3	4	5	6
Ano base	A	-	-	-	-	-
1o.Est.	A	ELR	ELR	ELR	ELR	ELR
2o.Est.	A	ELR	ELR	ELR	ELR	ELR
3o.Est.	A	ELR	ELR+RAS	ELR	ELR	ELR
Custo	C_{11}	C_{21}	C_{31}	C_{41}	C_{51}	C_{61}

Tabela I

onde:

A= Central analógica

ELR= Estágio de linha remoto da família TRÓPICO

RAS= Central digital TRÓPICO RAS

C_{ik} = Custo k de evolução do nó i (mínimo custo nodal para k=1)

Verifica-se que no primeiro e segundo estágios de planejamento não existe central digital que possa filiar os ELR. A central RAS aparece, somente, no terceiro estágio (NÓ 3). Neste caso, sugere-se uma análise mais detalhada de engenharia (considerando algumas facilidades operacionais da rede) para o planejador.

Uma possível solução seria antecipar a implantação do RAS para o segundo estágio ou filiar todos os ELR numa trânsito RA (que não entrou no estudo) ou rodar o programa OTELO com o resultado da tabela I e verificar quais dos ELR abriram mais rotas (tornando-se um forte candidato a transformar-se em central mãe), usar o modelo proposto em [23], ou lançar mão do módulo iterativo de entroncamento do EVOL (fazendo simulações de encaminhamento na matriz de tráfego dos diferentes períodos de planejamento) ou... Inúmeras soluções poderiam ser geradas. Contudo, propõe-se um modelo, de forma simplificada, que trate o problema da infactibilidade de filiação dos ELR de forma combinatória.

Como normalmente os problemas combinatórios consomem muito tempo de máquina, sugere-se que o planejador faça uma pré-análise dos possíveis nós a serem candidatos a central mãe.

A escolha dos nós candidatos pode ser feita através do relatório intermediário do EVOL. Este relatório fornece os custos das transições estágio a estágio.

Então com estas informações e com seu conhecimento da rede, o planejador indicará uma solução factível para cada nó e o EVOL encarrega-se de escolher a melhor.

A seguir temos um exemplo de abordagem feita pelo planejador de como utilizar o relatório intermediário do EVOL.

A tabela II mostra, em ordem crescente de custo, as melhores políticas de evolução para o nó 3 (do exemplo da tabela II).

Solução	Nó 3				
	Ano base	1o. Est	2o. Est	3o. Est	Custo
1o.	-	ELR	ELR	ELR+RAS	C_{31}
2o.	-	ELR	ELR+RAS	ELR+RAS	C_{32}
3o.	-	RAS	RAS	RAS	C_{33}
4o.	-	RA	RA	RA	C_{34}
5o.					

Tabela II

sendo que: $C_{31} < C_{32} < C_{33} < C_{34}$

Como a segunda solução ainda apresenta um ELR no primeiro estágio, a terceira solução poderia ser escolhida como a primeira solução factível, então a diferença dos custos entre a terceira e a primeira solução (Δ_{31}) representa o quanto estamos encarecendo a solução global para torná-la factível ($\Delta_{31} = C_{33} - C_{31}$), sendo que a cada estágio de planejamento poderá ocorrer ampliações de tráfego (caso o volume de tráfego a ser escoado devido aos ELR filiados ultrapasse seu limite de tráfego), acarretando em custos adicionais de ampliação de tráfego da solução k do nó i no estágio t (A_{ikt}). A quarta solução do nó 3 também, poderia ser proposta, embora seu custo (C_{34}) seja maior, possui uma folga em tráfego muito grande, não necessitando de ampliações.

Os outros nós candidatos a central mãe terão que ser analisados da mesma forma que o nó 3, obtendo para cada um o seu Δ_{ik} (k soluções factíveis para o nó i).

Então neste exemplo, o nó 2, 3, 4, 5 e 6 seriam candidatos a central mãe com seus respectivos Δ_{ik} .

Uma solução trivial seria escolher o menor Δ_{ik} , porém estaria deixando de lado os custos de transmissão e não estaria levando em conta limite de tráfego da central mãe.

O esquema abaixo representa os passos para obtenção da matriz de custos de transmissão entre os nós em estudo (custo de interligação entre o ELR i até a central mãe J).

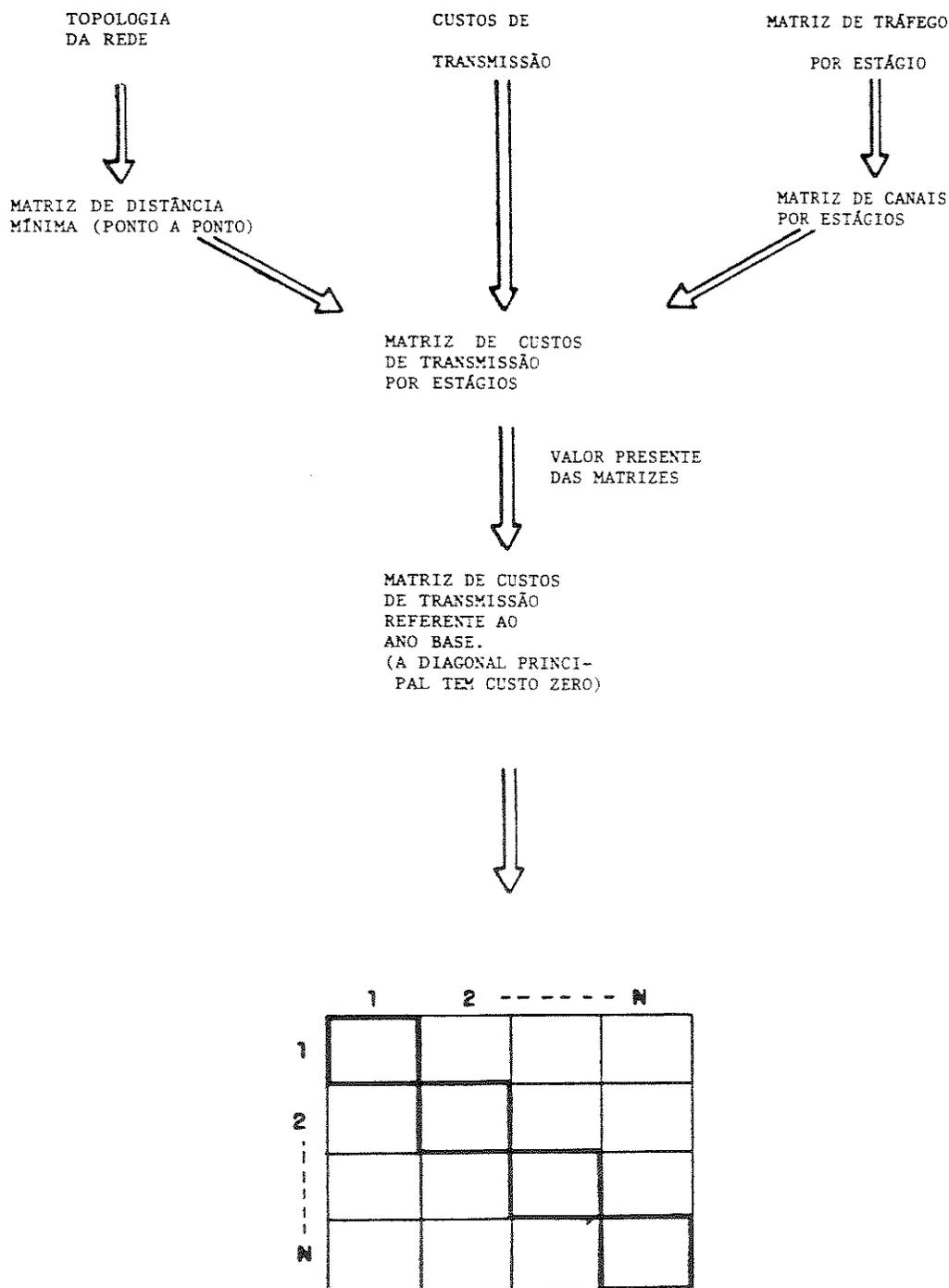


FIG.5.1

A partir da obtenção da matriz de custos de transmissão, do $\Delta_{i,k}$ de evolução, dos custos de ampliação (caso ultrapasse as folgas de tráfego) e do volume de tráfego dos ELR é proposto um procedimento combinatório para se resolver o problema da filiação dos ELR, utilizando-se um método de programação inteira zero-um, cujo objetivo é:

MINIMIZAR O SOMATÓRIO DOS CUSTOS DE TRANSMISSÃO, DOS $\Delta_{i,k}$ DE EVOLUÇÃO E DOS CUSTOS DE AMPLIAÇÃO EM TRÁFEGO DE CADA CENTRAL MÃE CASO ULTRAPASSE O LIMITE DE TRÁFEGO DA SOLUÇÃO k DO NÓ i PARA A FILIAÇÃO DOS ELR.

Sujeito a:

O EQUIPAMENTO SÓ PODERÁ SER ELR OU CENTRAL E EM SENDO ELR, SÓ PODERÁ TER UMA FILIAÇÃO.

PARA CADA PERÍODO DE PLANEJAMENTO, A SOMA DOS TRÁFEGOS DOS ELR ENCAMINHADOS À CENTRAL MÃE DEVERÁ SER MENOR OU IGUAL A FOLGA DE TRÁFEGO EXISTENTE NA MÃE, PODENDO SER RELAXADA CASO SEJA ACRESCIDO, NA FUNÇÃO OBJETIVO, O CUSTO DE AMPLIAÇÃO EM TRÁFEGO DA CENTRAL MÃE.

5.2 MODELO MATEMÁTICO

O modelo matemático correspondente ao processo combinatório para solucionar o problema da infactibilidade de filiação dos ELR é:

$$\text{MINIMIZAR } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Y_{ij} \cdot R_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{S(i)} X_{ik} \cdot C_{ik} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{S(i)} \sum_{t=1}^T Z_{ikt} \cdot A_{ikt} \quad (6)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^n \sum_k^{S(i)} X_{ik} > 0 \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^{S(i)} X_{ik} \leq 1 \quad \text{para } i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^n (Y_{ij} - \sum_k^{S(i)} M \cdot X_{ik}) \leq 0 \quad \text{para } j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (9)$$

$$\sum_{k=1}^{S(i)} \sum_{t=1}^T (Z_{ikt} - M \cdot X_{ik}) \leq 0 \quad \text{para } i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (10)$$

$$\sum_{k=1}^{S(i)} (\sum_{t=1}^T (\sum_{j=1}^n E_{ijt} - M \cdot Z_{ikt} - F_{ikt})) \leq 0 \quad \text{para } i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (11)$$

$$Y_{ij} = 0 \quad \text{ou } 1 \quad \text{para } i = 1, 2, 3, \dots, n; \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (12)$$

$$X_{ik} = 0 \quad \text{ou } 1 \quad \text{para } i = 1, 2, 3, \dots, n; \quad k = 1, 2, 3, \dots, S(i) \quad (13)$$

$$Z_{ikt} = 0 \quad \text{ou } 1 \quad \text{para } i = 1, 2, 3, \dots, n; \quad k = 1, 2, 3, \dots, S(i); \quad t = 1, 2, 3, \dots, T \quad (14)$$

onde:

R_{ij} = Custo de transmissão entre o ELR i e a central mãe j .

C_{ik} = Acréscimo do custo de evolução da solução k para tornar o nó i em central mãe.

A_{ikt} = Custo de ampliação de tráfego da central mãe proposta na solução k do nó i no estágio t .

E_{ijt} = Volume de tráfego do ELR i para a mãe j a ser escoado no estágio t .

F_{ikt} = Folga de tráfego da central mãe proposta na solução k do nó i no estágio t .

$S(i)$ = Conjunto das k soluções factíveis do nó i .

Y_{ij} e X_{ik} = São variáveis de decisão que indicam quem será ELR e em que mãe estará filiado.

Z_{ikt} = Variável de decisão que indica uma ampliação de tráfego na central mãe (solução k do nó i) no estágio t .

Este modelo baseia-se em [11], porém acrescentou-se algumas novas variáveis.

A função objetivo (6) é de minimização do somatório dos custos de transmissão $R_{i,j}$ entre um ELR $_i$ e a sua Mãe $_j$ e o acréscimo do custo de evolução para viabilizar a central j como mãe e mais um custo adicional para ampliação do limite de tráfego da central j (caso necessário).

A restrição (7) obriga existência de pelo menos uma central mãe capaz de filiar os ELR. A restrição (8) exclui a possibilidade de ter mais de uma solução por nó de comutação (apenas uma das k soluções factíveis do nó i será válida).

Caso exista um ELR $_i$ filiado a uma central mãe j (indicação feita pela variável Y_{ij} igual a 1), a restrição (9) força a viabilização de uma central mãe j (podendo ser uma das k soluções do nó i).

A restrição (11) equaciona as quantidades de tráfego dos ELR destinadas às suas respectivas centrais mães com as folgas em tráfego das mesmas, em cada estágio de planejamento. A variável Z_{ikt} relaxa tal restrição, porém haverá um acréscimo de custo de ampliação de tráfego na função objetivo.

Tendo uma ampliação de tráfego na central Mãe $_k$ do nó i , a restrição (10) faz com que exista uma central mãe k no nó i (para $Z_{ikt} = 1$ implica em $X_{ik} = 1$).

6 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE MELHORAMENTOS

6.1 CONCLUSÕES

Neste trabalho pode-se testar a influência do tráfego tandem, do acréscimo de tráfego devido às geminações de centrais, do custo modular de tráfego comutado, da relação de ocupação de área de infra-estrutura e dos custos modulares de infra-estrutura no estudo de evolução (variáveis consideradas novas em relação a [10], [11], [12] e [23]).

Verificou-se, também, o bom desempenho do novo algoritmo de otimização comparado com o implementado em [12].

As limitações do programa descritas na seção 4 do capítulo 3 podem ser suprimidas se implementarmos o EVOL num computador com maior capacidade de memória.

O modelo gráfico proporcionou um ganho nas interpretações dos resultados das redes de evolução, facilitando a análise de factibilidades das transições de estado.

Nas rodadas de Campos, Juazeiro do Norte e São José dos Campos pode-se observar o quão complexo é o problema de evolução da rede, principalmente devido ao ambiente de transição analógico-digital.

O EVOL auxilia o planejador na geração de cenários de evolução, através de simulações de encaminhamento das chamadas (investigações de filiação de ELR), análise de sensibilidade dos custos e revisão das estratégias de evolução, a melhorar a qualidade da decisão a ser tomada.

O modelo propõe uma forma técnica e econômica para tratar o grau de digitalização do nó de comutação, verificando através dos custos de operação e manutenção, das interfaces A/D e das limitações técnicas, a obsolescência das centrais analógicas.

6.2 PROPOSTAS DE MELHORAMENTOS

Como uma primeira proposta de melhoramentos do modelo de evolução (EVOL), sugere-se mudar a função objetivo do problema de minimizar custos de expansões, para maximizar a receita da rede local. Para isto, novos parâmetros, como receita por tipo de terminal em função do tráfego telefônico, novos serviços, tempo médio de falha, etc., teriam que ser incorporados no modelo.

Torna-se necessário, também, a implementação do modelo de filiação dos ELR (sugerido no capítulo 5) de modo a fornecer ao planejador uma integração sistêmica entre os módulos do EVOL. Ou, fazer um novo módulo de entroncamento (menos iterativo e mais determinístico) de modo a incorporar o problema de filiação.

7 BIBLIOGRAFIA

Referências

- [1] TELEBRÁS. *"Recomendações para o planejamento a longo prazo"*. Relatório TELEBRÁS, fevereiro 1987.
- [2] YAMAKAMI, A. ; CARLSON Fo. , C. M. ; LYRA Fo. , C. ; FRAISLEBEN, F. ; TAVARES, H. M. F. ; NAKAGAWA, J. M. ; FERNANDES, J. ; BASTOS, M. R. e FRANÇA, P. M. . *"Localização de Centrais Urbanas, Relatório Técnico n.7"*. Convênio Redes Digitais UNICAMP - TELEBRÁS, novembro 1982.
- [3] NAKAGAWA, J. M. . *"Planejamento de Sistemas Telefônicos: Alocação de Centros de Fios"*. Tese de Mestrado, UNICAMP/FEC/DEE, 1984.
- [4] CARLSON Fo. , C. M. . *"Planejamento de Sistemas Telefônicos: Plano de Interligação e Cronograma de Implantação de estações Urbanas"*. Tese de Mestrado, UNICAMP/FEC/DEE, 1984.
- [5] FRAISLEBEN, F. . *"Evolução Dinâmica de Cortes de Área em Redes Telefônicas Urbanas"*. Tese de Mestrado, UNICAMP/FEC/DEE, 1984.
- [6] TIBA, C. R. ; SOLON, L. R. ; UEHARA, J. M. . *"Otimização do Entroncamento Local a longo"*. Relatório Interno, TELESP, 1981.
- [7] MORENO, A. O. . *"Planejamento de Redes Telefônicas: Determinação do Circuito de Junção"*. Tese de Mestrado, ITA, 1974.
- [8] GARCIA, A. S. . *"Planejamento do Entroncamento em Redes Redes Telefônicas Urbanas em Processo de Digitalização"*. Tese de Doutorado, UNICAMP/FEE, 1987.
- [9] TELEBRÁS. *"Relatório para Avaliação do Desempenho Empresarial"*. RADE, julho 1990.
- [10] COMBOT, J. R. ; EPSTEIN, N. . *"The Introduction to Digital Switching to the Local Network"*. IEEE Transactions on Telecommunications, Vol. COM. 27, 1979.
- [11] COMBOT, J. P. ; TSUI, M. S. C. ; Weihmayer, R. . *"Optimal Digital Switching Introduction Into the Local Network"*. IEEE Transactions on Telecommunications, Vol. COM. 29, n 10, 1981.

- [12] GARCIA, A. S. ; NAGAY, J. S. ; NAKAGAWA, J. M. ; MARTINI, M. R. B. ; SALES, M. ; TIBA, C. R. ; TRINDADE, M. B. . " *Estudo Evolutivo da Aplicação de Unidades Distantes em Redes Locais*". Relatório Técnico CPqD/ELEBRA/PHT, 1988.
- [13] TRINDADE, M. B. . " *Evolução Tecnológica do Nó de Comutação*". Anais do 1o. Encontro sobre Programas de Computador para o Planejamento Técnico, maio 1991/DF.
- [14] BELL COMMUNICATIONS RESEARCH. " *Technological and Market Obsolescence of Telephone Network Equipment*". Science and Technology series, 1986.
- [15] TRINDADE M. B. . " *Evolução Otimizada do Nó de Comutação de uma Rede Local*". Anais do 1o. Seminário de Digitalização e Evolução Tecnológica da Rede Nacional de Telecomunicações, julho 1991/DF (no prelo).
- [16] KENNINGTON, J. L. ; HELGASON, R. V. . " *Algorithms for Network Programming*". John Wiley and Sons, 1980.
- [17] NEMHAUSER, G. . " *Introduction to Dynamic Programming*". Wiley, 1966.
- [18] FORD, L. R. ; FULKERSON, D. R. . " *Flows in Network*". Princeton, 1962.
- [19] BAZARAA, M. ; JARVIS, J. J. . " *Linear Programming and Network Flows*". John Wiley, 1977.
- [20] PARETO NETO, J. V. . " *Dicionário de Telecomunicações*". Editora RIO, outubro 1981.
- [21] MONTENEGRO, J. L. A. . " *Engenharia Econômica*". TELEBRÁS, 1982.
- [22] PFERD, N. . " *The Evolution and Special Features of BELL System Telephone Equipment Buildings*". The BELL System Technical Journal VOL 58, fevereiro 1979.
- [23] GARCIA, A. S. ; NAKAGAWA, J. M. ; TAVARES, H. M. F. " *A Escolha Tecnológica na Expansão de Nós de Comutação em Redes Locais de Telecomunicações*". Anais do 8o. congresso brasileiro de automática, 1990, Belém/PA.
- [24] TELEBRÁS. " *Métodos de Projeção de Tráfego*". Recomendações TELEBRÁS, junho 1985.