

**ESPECIFICAÇÃO FORMAL DE  
SISTEMAS DE TELEFONIA EM  
ESTELLE: UM ESTUDO DE CASO**

**Rossana Maria de Castro Andrade**

DEPARTAMENTO DE SISTEMAS E COMPUTAÇÃO - DSC

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CCT

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA - UFPB

Dezembro - 1992

Rossana Maria de Castro Andrade

**Especificação Formal de Sistemas de Telefonia em  
Estelle: Um Estudo de Caso**

---

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado  
em Informática da Universidade Federal da  
Paraíba, em cumprimento às exigências para  
obtenção do grau de Mestre.

**Área de Concentração:** Redes de Computadores.

**Orientador:** Wanderley Lopes de Souza.

11/24/2004



A553e Andrade, Rossana Maria de Castro  
Especificacao formal de sistemas de telefonia em estelle  
: um estudo de caso / Rossana Maria de Castro Andrade. -  
Campina Grande, 1992.  
154 f.

Dissertacao (Mestrado em Informatica) - Universidade  
Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e Tecnologia.

1. Rede de Computadores 2. Software 3. Sistemas de  
Telefonia em Estelle 4. Dissertacao - Informatica I. Souza,  
Wanderley Lopes de II. Universidade Federal da Paraiba -  
Campina Grande (PB) III. Título

CDU 004.7(043)

# **Especificação Formal de Sistemas de Telefonia em Estelle: Um Estudo de Caso**

Rossana Maria de Castro Andrade

Dissertação apresentada em 22 de dezembro de 1992.

**Presidente:** Dr. Wanderley Lopes de Souza (UFPb)

**Co-orientador:** Wilson Ribeiro da Silva (CPqD TELEBRÁS)

**Examinador :** Dr. Paulo Roberto Freire Cunha (UFPe)

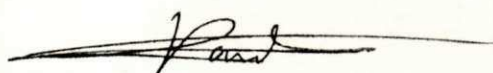
**Examinador :** Dr. José Antão Beltrão de Moura (UFPb)



ESPECIFICAÇÃO FORMAL DE SISTEMAS DE TELEFONIA EM ESTELLE:  
UM ESTUDO DE CASO

ROSSANA MARIA DE CASTRO ANDRADE

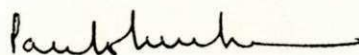
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 22.12.92



WANDERLEY LOPES DE SOUZA, Dr.  
Presidente



WILSON RIBEIRO DA SILVA, Engo.  
Componente da Banca



PAULO ROBERTO FREIRE CUNHA, Ph.D  
Componente da Banca



JOSE ANTAO BELTRAO MOURA, Ph.D  
Componente da Banca

Campina Grande, 22 de dezembro de 1992

# AGRADECIMENTOS

Esta dissertação é resultado do apoio técnico, financeiro e emocional de muitas pessoas e de algumas instituições. Eu gostaria de agradecer especialmente a algumas dessas pessoas e instituições.

Wanderley Lopes de Souza, meu orientador, pelo apoio e pelo estímulo durante o desenvolvimento deste trabalho.

Wilson Ribeiro da Silva, meu co-orientador, pela disponibilidade e atenção e pelo apoio técnico em relação à central Trópico RA.

Funcionários e professores do Departamento de Sistemas e Computação da Universidade Federal da Paraíba, pelo apoio inicial que viabilizou esta pesquisa. Em particular, gostaria de agradecer à Aninha, por ter cuidado dos meus interesses junto à UFPb.

Funcionários do CPqD da TELEBRÁS, especialmente Tsutomi, pelas informações relativas às centrais telefônicas, André Villas Boas, Joice e Maria José, por terem facilitado a pesquisa bibliográfica.

Funcionários e professores do Departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial (DCA) da Faculdade de Engenharia Elétrica (FEE) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), por terem permitido a utilização do laboratório e dos equipamentos durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Andrade e Jesus, meus pais, Cássio e Tarciane, manos queridos, por sempre terem incentivado os meus estudos.

Ricardo, pelo carinho e pela confiança tão importantes para a minha vida profissional e pessoal.

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

e IBM do Brasil, pelo auxílio financeiro.

Alfredo, pela agradável e constante companhia na UNICAMP, e demais amigos de mestrado, especialmente André e Maira pelo companheirismo.

Conceição e Meire, minhas amigas de Campinas, sem o carinho de vocês a distância de casa não teria sido amenizada.

Tio Tõe e demais familiares, pela força e pelo carinho sempre presentes.

“Para ser grande, sê inteiro: nada  
Teu exagera ou exclui.  
Sê todo em cada coisa. Põe quanto és  
No mínimo que fazes.  
Assim em cada lago a lua toda  
Brilha, porque alta vive.”

- Fernando Pessoa -

Para meus pais, com amor.

## Sumário

A Técnica de Descrição Formal (TDF) "Extended State Transition Language (Estelle)", padronizada pela "International Organization for Standardization (ISO)", foi desenvolvida para a especificação formal de sistemas distribuídos e protocolos de comunicação. O objetivo principal deste trabalho é investigar a possibilidade de utilização de Estelle para a especificação formal de sistemas de telefonia. Inicialmente, os conceitos mais relevantes de Estelle são discutidos e ilustrados através de um sistema de telefonia simplificado. Posteriormente, é especificado formalmente o processamento de chamadas do sistema de telefonia Trópico RA, desenvolvido pelo CPqD/TELEBRÁS, e a validação dessa especificação é realizada utilizando-se o conjunto de ferramentas integradas "Estelle Work Station (EWS)".

## Abstract

The **F**ormal **D**escription **T**echnique (FDT) **E**xtended State Transition Language (Estelle), standardized by International Organization for Standardization (ISO), was developed for the formal specification of distributed systems and communication protocols. The main goal of this work is to investigate the possibility of using Estelle for the formal specification of telephony systems. First, the most relevant concepts of Estelle are discussed and illustrated through a simplified telephony system. Then, the call setup procedures of the Trópico RA telephony system, developed by CPqD/TELEBRÁS, are formally specified and this specification is validated using the set of integrated tools **E**stelle **W**ork **S**tation (EWS).

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Sistemas de Telefonia</b>	<b>4</b>
2.1	Histórico . . . . .	5
2.2	Componentes dos Sistemas de Telefonia . . . . .	6
2.2.1	Telefones . . . . .	7
2.2.2	Meios de Transmissão . . . . .	8
2.2.3	Comutação . . . . .	8
2.2.4	Sinalização . . . . .	9
2.3	Características dos Sistemas de Telefonia . . . . .	11
2.3.1	Tráfego Telefônico . . . . .	12
2.3.2	Tarifação, Numeração e Encaminhamento das Chamadas . . . . .	13
2.4	Especificação Formal de Sistemas de Telefonia . . . . .	14
<b>3</b>	<b>Central Trópico RA</b>	<b>15</b>
3.1	Características Gerais . . . . .	16
3.2	Arquitetura da Central Trópico RA . . . . .	16
3.3	Estruturas da Central . . . . .	18
3.3.1	Estrutura de Controle . . . . .	19
3.3.2	Estrutura de Sinalização . . . . .	22
3.3.3	Estrutura de Sincronismo . . . . .	24
3.3.4	Estrutura de Voz . . . . .	24

3.3.5	Estrutura de Supervisão de Falhas . . . . .	26
3.3.6	Estrutura de Operação, Manutenção e Supervisão . . . . .	26
3.4	Hardware e Software da Central . . . . .	27
3.5	Módulos e Submódulos da Central . . . . .	30
3.5.1	Módulo e Submódulo de Comutação . . . . .	31
3.5.2	Módulo e Submódulos de Sinalização e Sincronismo . . . . .	33
3.5.3	Módulo e Submódulo de Terminais . . . . .	33
3.5.4	Módulo e Submódulo de Operação e Manutenção . . . . .	37
3.5.5	Módulo e Submódulo Auxiliar . . . . .	39
3.5.6	Módulo e Submódulo de Canal Comum . . . . .	40
3.6	Processamento de Chamadas da Central . . . . .	41
3.6.1	Fases do Processamento de Chamadas . . . . .	42
3.6.2	Características do Processamento de Chamadas . . . . .	43
<b>4</b>	<b>Utilização de Estelle em Sistemas de Telefonia</b>	<b>48</b>
4.1	A Linguagem Estelle . . . . .	49
4.2	Arquitetura de Sistemas de Telefonia em Estelle . . . . .	49
4.3	Construções Estelle Aplicadas a Sistemas de Telefonia . . . . .	53
<b>5</b>	<b>Especificação do Processamento de Chamadas</b>	<b>61</b>
5.1	Descrição Informal do Processamento de Chamadas . . . . .	62
5.2	Características Gerais do Modelo Formal Proposto . . . . .	68
5.2.1	Classificação dos Assinantes . . . . .	68
5.2.2	Canais e Primitivas da Especificação Formal . . . . .	72
5.2.3	Módulos da Especificação Formal . . . . .	76
5.2.4	Etapas de Desenvolvimento . . . . .	78
5.3	Mapeamento da Arquitetura da Central nos Conceitos Arquitetônicos de Estelle . . . . .	82
5.3.1	Refinamentos da Arquitetura . . . . .	82
5.3.2	Descrição da Especificação Formal . . . . .	86



5.4	Ambiente de Desenvolvimento da Especificação . . . . .	96
<b>6</b>	<b>Ambiente Estelle Work Station</b>	<b>98</b>
6.1	Características Gerais . . . . .	99
6.2	Editor Orientado para a Sintaxe de Estelle . . . . .	100
6.3	Tradutor Estelle . . . . .	103
6.4	Gerador Estelle . . . . .	106
6.5	Simulador Estelle . . . . .	106
6.5.1	Interface do Simulador . . . . .	108
6.5.2	Menus do Simulador . . . . .	109
6.5.3	Comandos Disponíveis . . . . .	113
6.5.4	Conceitos de Estelle na Simulação . . . . .	116
6.5.5	Problemas da Ferramenta Simulador . . . . .	117
<b>7</b>	<b>Validação da Especificação Formal</b>	<b>119</b>
7.1	Técnicas de Validação . . . . .	120
7.2	Características da Simulação . . . . .	121
7.3	Simulação da Especificação Formal . . . . .	122
7.3.1	Telas da Simulação . . . . .	123
7.3.2	Passos da Simulação . . . . .	137
7.4	Erros da Especificação Encontrados durante a Simulação . . . . .	141
<b>8</b>	<b>Conclusão</b>	<b>143</b>
<b>A</b>		<b>151</b>

# Lista de Figuras

2.1	Evolução dos Sistemas de Telefonia . . . . .	5
2.2	Sistema de Telefonia . . . . .	7
2.3	Funções Essenciais num Sistema de Comutação . . . . .	8
2.4	Controle por Programa Armazenado . . . . .	9
2.5	Tipos de Tráfego Telefônico . . . . .	12
3.1	Divisão Estrutural da Central Trópico RA . . . . .	17
3.2	Interconexão da Central Trópico RA . . . . .	18
3.3	Estrutura de Controle . . . . .	20
3.4	Configuração Padrão dos Módulos do Primeiro Grupo . . . . .	21
3.5	Configuração Padrão dos Módulos do Segundo Grupo . . . . .	21
3.6	Entidades da Estrutura de Sinalização . . . . .	22
3.7	Topologia Híbrida Barramento-Estrela . . . . .	23
3.8	Arquitetura Hardware da Central Trópico RA . . . . .	28
3.9	Arquitetura Funcional da Central Trópico RA . . . . .	31
3.10	Matriz de Comutação da Central Trópico RA . . . . .	32
3.11	Módulos Envolvidos no Processamento de Chamadas da Central Trópico RA . . . . .	44
4.1	Arquitetura Abstrata do Sistema de Telefonia Simplificado . . . . .	50
4.2	Refinamento do Módulo Central . . . . .	50
4.3	Refinamento do Módulo Conexão . . . . .	51
4.4	Árvore Genealógica do Sistema de Telefonia Simplificado . . . . .	51
4.5	Arquitetura do Sistema de Telefonia Simplificado . . . . .	52

4.6	Canal Definido na <i>Specification</i> . . . . .	54
4.7	Canal Definido no Módulo Conexao . . . . .	54
4.8	Cabeçalhos dos Módulos Usuario e Central . . . . .	55
4.9	Esquema do Corpo do Módulo Usuario . . . . .	55
4.10	Função FeitaDiscagem Definida no Módulo Usuario . . . . .	56
4.11	Função ConexaoLivre Definida no Módulo Central . . . . .	56
4.12	Criação do Módulo Verificador . . . . .	57
4.13	Criação do Módulo Conexao . . . . .	57
4.14	Transição Espontânea do Módulo Usuario . . . . .	58
4.15	Transições Espontâneas do Módulo Controlador . . . . .	59
4.16	Cabeçalho do Módulo Conexao . . . . .	59
4.17	Destruição Dinâmica do Módulo Conexao . . . . .	60
5.1	Chamada Sob o Ponto de Vista do Usuário . . . . .	73
5.2	Chamada Sob o Ponto de Vista da Central . . . . .	74
5.3	Canal Definido na <i>Specification</i> . . . . .	75
5.4	Canal Definido no Módulo Central . . . . .	75
5.5	Cabeçalho do Módulo Usuario . . . . .	76
5.6	Cabeçalho do Módulo Central . . . . .	76
5.7	Transição do Modulo_de_Sinalizacao . . . . .	78
5.8	MEF do Modulo_Auxiliar . . . . .	79
5.9	MEF do Módulo Processamento_de_Chamadas . . . . .	79
5.10	MEF do Módulo Usuario Chamador . . . . .	80
5.11	MEF do Módulo Usuario Chamado . . . . .	80
5.12	MEF do Módulo Chamador . . . . .	81
5.13	MEF do Módulo Chamado . . . . .	81
5.14	Árvore Genealógica da Especificação . . . . .	83
5.15	Arquitetura Estelle do Processamento de Chamadas da Central Trópico RA . . . . .	85
5.16	Arquitetura Inicial da Especificação . . . . .	86

5.17	Transição do Módulo Controlador . . . . .	87
5.18	Início do Encaminhamento da Chamada . . . . .	88
5.19	Transição do Modulo_Auxiliar . . . . .	89
5.20	Refinamento do Modulo_Auxiliar . . . . .	89
5.21	Transições do Módulo Chamador . . . . .	90
5.22	Função de Transformação <i>Array</i> em Inteiro . . . . .	90
5.23	Função de Transformação Inteiro em <i>Array</i> . . . . .	91
5.24	Criação Dinâmica do Módulo Chamado . . . . .	91
5.25	Arquitetura com Criação do Módulo Chamado . . . . .	92
5.26	Função do Módulo Processamento_de_Chamadas . . . . .	93
5.27	Transição do Módulo Controlador . . . . .	93
5.28	Cabeçalho do Módulo Chamador . . . . .	93
5.29	Canais de Voz para Chamador e Chamado Alocados . . . . .	95
5.30	Exemplo de Definição de Canal Aceito pelo Gerador . . . . .	96
5.31	Exemplo de Definição de Canal Não Aceita pelo Gerador . . . . .	97
6.1	Arquitetura do Ambiente EWS . . . . .	99
6.2	Tela do Editor . . . . .	101
6.3	Unidade Seleccionada e o Menu CLIP . . . . .	101
6.4	Tela do Editor com Menu FILE . . . . .	102
6.5	<i>Help</i> de Comandos . . . . .	103
6.6	Arquivos Gerados pelo Tradutor . . . . .	104
6.7	Etapas do Tradutor . . . . .	105
6.8	Tela Inicial do Simulador . . . . .	108
6.9	Menu de Configuração . . . . .	110
6.10	Transição Especial . . . . .	111
6.11	Transição Especial e Transição <i>delay</i> . . . . .	111
6.12	Menu de Transições . . . . .	112
6.13	Início da Simulação do Sistema de Telefonia Simplificado . . . . .	115

6.14	Final da Simulação do Sistema de Telefonia Simplificado . . . . .	115
6.15	Seleção do Comando EXAMINE . . . . .	116
7.1	Diferentes Etapas da Validação de Sistemas de Comunicação . . . . .	121
7.2	Início da Simulação da Especificação . . . . .	123
7.3	Selecionando Configuração da Especificação . . . . .	124
7.4	Usuario Retira o Fone do Gancho . . . . .	125
7.5	Transição do Módulo Controlador Pronta para ser Disparada . . . . .	125
7.6	Atribuição de Variáveis do Módulo Usuario . . . . .	126
7.7	Usuario Não Disca o Número . . . . .	127
7.8	Usuario Atende a Chamada . . . . .	127
7.9	Usuario Não Atende a Chamada . . . . .	128
7.10	Início da Fase de Conversação . . . . .	129
7.11	Fim da Fase de Conversação . . . . .	129
7.12	Destrução Dinâmica do Chamador . . . . .	130
7.13	Destrução Dinâmica do Chamado . . . . .	130
7.14	Alocação dos Canais de Voz . . . . .	131
7.15	Final de uma Chamada Bem-Sucedida . . . . .	132
7.16	Criação Dinâmica do Módulo Chamador . . . . .	132
7.17	Criação Dinâmica do Módulo Chamado . . . . .	133
7.18	Criação Dinâmica do Módulo <code>Processamento_de_Chamadas</code> . . . . .	134
7.19	Desconexão Forçada do Usuario Chamador . . . . .	134
7.20	Usuario Chamador Desligando . . . . .	135
7.21	Usuario Disca Número Inexistente . . . . .	136
7.22	Assinante Chamado Ocupado . . . . .	136
7.23	Solução Encontrada para a Situação de <i>deadlock</i> . . . . .	141
A.1	Chamador Não Pode Originar Chamada . . . . .	151
A.2	Assinante Chamado Não é Local . . . . .	152
A.3	Classificação do Chamado Não Está Correta . . . . .	152

A.4	Categoria do Chamador e Classificação do Chamado Incompatíveis . . . . .	153
A.5	Registradores Ocupados . . . . .	153
A.6	Canal de Voz para Chamador Ocupado . . . . .	154
A.7	Canal de Voz para Chamado Ocupado . . . . .	154



# Lista de Tabelas

5.1	Relação das Discriminações Utilizadas na Especificação . . . . .	71
5.2	Relação das Categorias Utilizadas na Especificação . . . . .	71
7.1	Chamada Bem-Sucedida com o Assinante A Desligando . . . . .	137
7.2	Chamada Bem-Sucedida com o Assinante B Desligando . . . . .	137
7.3	Desconexão Forçada do Assinante A . . . . .	138
7.4	Assinante A Não Disca Número . . . . .	138
7.5	Assinante B Não Atende Chamada . . . . .	138
7.6	Assinante B Ocupado ou Número Discado Inexistente . . . . .	139
7.7	Canal de Voz Ocupado . . . . .	139
7.8	Chamador Não Pode Originar Chamada . . . . .	139
7.9	Classificação do Chamado Não Está Correta . . . . .	140
7.10	Assinante B não é Local . . . . .	140
7.11	Categoria do Chamador Incompatível com a Classificação do Chamado . . .	140

# Capítulo 1

## Introdução

A qualidade de um software pode ser medida em função da metodologia utilizada para o desenvolvimento desse software e em função dos resultados obtidos, principalmente no que diz respeito à eficiência, à legibilidade e à facilidade de manutenção.

A complexidade dos problemas envolvidos no projeto de sistemas de comunicação exige especificações bem estruturadas. A utilização de métodos informais ou semi-formais para a especificação desses sistemas pode gerar ambigüidades, levando a implementações incompatíveis.

Técnicas de **Descrições Formais** (TDFs) surgiram como ferramentas a serem empregadas em metodologias para o desenvolvimento de sistemas de comunicação complexos, visando à produção de especificações claras, concisas e sem ambigüidades, que podem ser analisadas, por exemplo, quanto à completeza, à correção e à consistência.

A utilização de TDFs, no projeto de sistemas de comunicação, além de facilitar o próprio desenvolvimento desses sistemas, deve oferecer um suporte à implementação, aumentando a confiabilidade na implementação resultante e diminuindo o custo e o tempo necessários para o seu desenvolvimento.

Para atingir esses objetivos, uma TDF deve possuir um alto grau de abstração, sendo independente em relação aos métodos de implementação e omitindo, em qualquer etapa da especificação, os detalhes irrelevantes. Além disso, uma TDF deve fornecer meios para expressar comunicação, sincronização e concorrência através de suas construções (poder de expressão) e deve possuir também um modelo matemático que permita a validação dos



objetos que estão sendo especificados (poder de análise) [Lope 88].

Órgãos internacionais de padronização, entre os quais a “International Organization for Standardization (ISO)” e o “Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique (CCITT)”, têm desenvolvido TDFs nesses últimos dez anos, visando a fixação de padrões para a especificação formal dos protocolos de comunicação. A ISO desenvolveu as TDFs “Extended State Transition Language (Estelle)” [ISO 88a] e “Language of Temporal Ordering Specification (LOTOS)” [ISO 88b]. O CCITT desenvolveu a TDF “Specification and Description Language (SDL)” [CCIT 88].

As TDFs Estelle e LOTOS foram desenvolvidas para a especificação de sistemas distribuídos, protocolos de comunicação e, em particular, os padrões relativos ao modelo de referência “Open Systems Interconnection (OSI)” [ISO 83a]. Entretanto, os conceitos e construções presentes nessas TDFs são genéricos o suficiente para possibilitarem o seu emprego em outros tipos de aplicações em sistemas de comunicação.

O objetivo deste trabalho é investigar a possibilidade de utilização da TDF Estelle como uma ferramenta adequada para a especificação formal de sistemas de telefonia. Para tal, inicialmente um sistema de telefonia simplificado foi idealizado e especificado formalmente em Estelle [Lope 91] e, posteriormente, um exemplo real, o processamento de chamadas da central Trópico RA, desenvolvida pelo Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CPQD) da TELEBRÁS, foi escolhido para ser especificado.

Vários conceitos utilizados na descrição de protocolos e serviços de comunicação de dados, facilmente representados em Estelle, podem ser aplicados para a descrição de uma rede telefônica. Por exemplo, o conceito de provedor de serviços pode corresponder à central telefônica e o conceito de usuários desse serviço pode corresponder aos assinantes chamador e chamado de uma conversação telefônica.

Este trabalho pode ser dividido em três partes principais: os sistemas de telefonia, as especificações formais e as ferramentas para o desenvolvimento e para a validação dessas especificações.

Uma introdução aos sistemas de telefonia é realizada no capítulo 2, enfatizando-se a necessidade da especificação formal desses sistemas. No capítulo 3 as principais características da central Trópico RA e, em particular, do processamento de chamadas dessa central são apresentadas.

As construções mais relevantes da TDF Estelle, utilizadas na especificação formal de

sistemas de telefonia, são apresentadas no capítulo 4. Essas construções são ilustradas através de trechos da especificação formal do sistema de telefonia simplificado apresentado em [Lope 91].

O capítulo 5 descreve, de forma detalhada, a especificação formal do processamento de chamadas da central Trópico RA em Estelle. Essa especificação foi desenvolvida a partir da descrição da arquitetura funcional do processamento de chamadas dessa central, que foi elaborada pelo CPqD da TELEBRÁS durante a fase de projeto da central Trópico RA.

No capítulo 6 são apresentadas as ferramentas, que constituem o ambiente “**Estelle Work Station (EWS)**”, e que são utilizadas durante as especificações formais e validações dos sistemas de telefonia considerados neste trabalho. Os exemplos mostrados nesse capítulo são da especificação formal em Estelle do sistema de telefonia simplificado. O capítulo 7 apresenta a validação da especificação formal do processamento de chamadas da central Trópico RA, realizada com o auxílio da ferramenta **simulador** do ambiente EWS. Finalmente, as conclusões são apresentadas no capítulo 8.

## Capítulo 2

### Sistemas de Telefonia

As centrais telefônicas eram controladas manualmente, sendo que o estabelecimento e o controle da conexão, entre os dois assinantes de uma ligação telefônica, ficavam sob a responsabilidade de um operador. Com o aumento contínuo do número de telefones surgiram as centrais telefônicas automáticas e com a necessidade de racionalização do serviço telefônico surgiram as centrais de comutação. Com o advento das centrais eletrônicas, além do estabelecimento e do controle automáticos das ligações entre os assinantes, uma série de outros serviços passaram a ser fornecidos aos usuários.

## 2.1 Histórico

A comunicação telefônica, da forma que foi inventada por Alexander Graham Bell e Thomas Watson em 1876, era uma comunicação particular de um telefone (chamador) para outro telefone (chamado), sem nenhuma possibilidade de estabelecimento de qualquer ligação com outro telefone (Figura 2.1.a) [Noll 86].

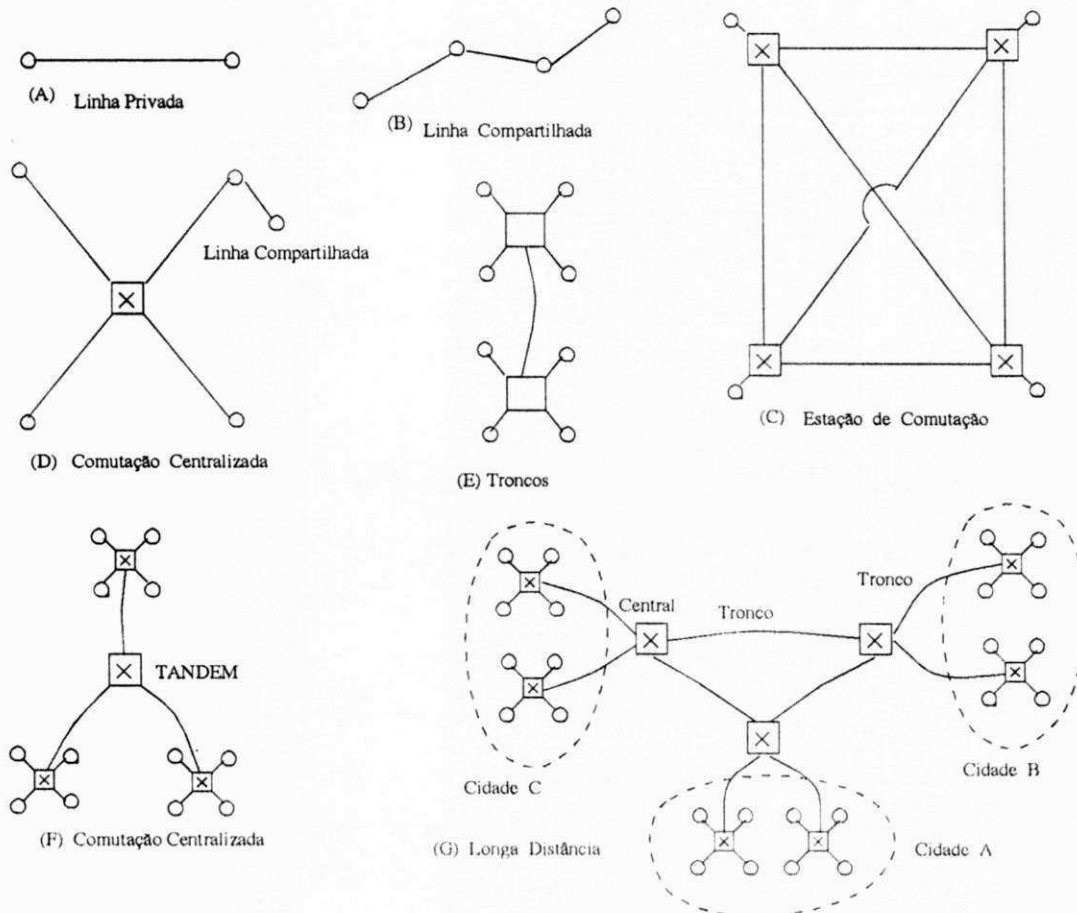


Figura 2.1: Evolução dos Sistemas de Telefonia

Esse serviço foi logo estendido para possibilitar a conexão de mais de um telefone numa mesma linha, denominada linha compartilhada (Figura 2.1.b). Porém, todos os usuários tinham acesso as ligações (sem nenhuma privacidade) e o estabelecimento de uma chamada telefônica impedia que os outros usuários também utilizassem a linha compartilhada. A necessidade de comutação de um telefone (chamador) para qualquer outro telefone (chamado) surgiu a partir desses problemas.

Uma maneira encontrada para estabelecer a comutação entre os telefones foi a interligação das linhas de todos os telefones (Figura 2.1.c). Uma comutação com o telefone desejado era estabelecida para cada ligação telefônica. Esse tipo de sistema de telefonia mostrou-se viável para um pequeno número de telefones, mas quando ocorreu um aumento no número de linhas a serem conectadas esse sistema tornou-se impraticável.

A solução para esse problema, denominada comutação centralizada, foi descoberta e implementada poucos anos depois da invenção de Graham Bell (Figura 2.1.d). Nessa comutação as linhas de todos os telefones eram reunidas num ponto comum, denominado estação ou central local, onde as conexões entre os dois assinantes eram estabelecidas manualmente por operadores.

A necessidade de ampliar os serviços telefônicos para áreas geográficas maiores inviabilizou, economicamente, a utilização de estações ou centrais locais para conectar as linhas de assinantes nas áreas mais distantes. Para isso, diversas estações foram criadas, cada uma responsável pelos assinantes pertencentes à área de sua jurisdição. As conexões entre essas estações eram estabelecidas por linhas denominadas troncos (Figura 2.1.e).

Com o crescimento contínuo do número de telefones interligados por essas estações, centrais de comutação especiais, denominadas TANDEM, foram desenvolvidas para manipular os troncos de um determinado número de estações (Figura 2.1.f). Atualmente, as conexões de longa distância (por exemplo, entre duas ou mais cidades) são estabelecidas através de centrais denominadas centrais de trânsito, que são responsáveis pela comutação dos troncos entre duas áreas diferentes (Figura 2.1.g).

Uma nova tendência nos sistemas de telefonia surgiu com o conceito de uma rede totalmente digital, oferecendo a integração entre serviços variados (por exemplo, voz, dados, texto e vídeo). Essa rede deve ser composta de pequenas redes públicas e privadas, todas interconectadas através de padrões comuns. O conceito de integração de serviços em uma rede digital denomina-se **Rede Digital de Serviços Integrados (RDSI)**<sup>1</sup> [Bell 82].

## 2.2 Componentes dos Sistemas de Telefonia

Um sistema de telefonia pode ser dividido em três elementos principais: os telefones, a central telefônica e os meios de transmissão, que interconectam os dois primeiros elementos [Noll 86].

---

<sup>1</sup>em inglês, **Integrated Services Digital Network (ISDN)**

Funcionalmente, uma central telefônica pode ser dividida em função de comutação, que está relacionada com as conexões entre os assinantes, e função de sinalização, que está relacionada com a troca de sinais e com as técnicas de controle para a operação da rede de comunicação da central.

Considerando uma residência ou um escritório (denominado propriedade) contendo vários telefones, os componentes de um sistema de telefonia podem ser ilustrados através da Figura 2.2.

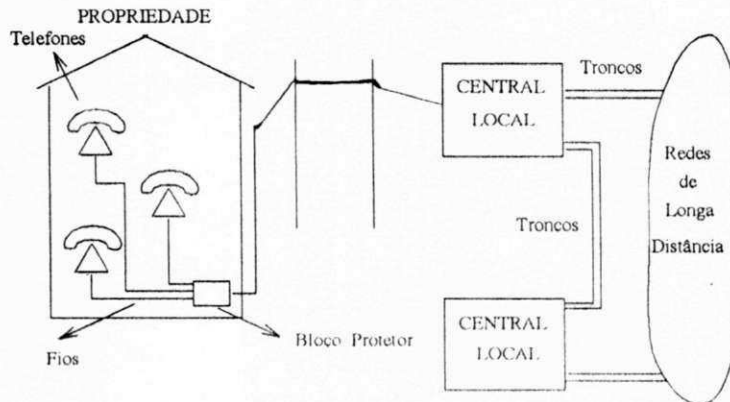


Figura 2.2: Sistema de Telefonia

Na Figura 2.2 todos os telefones de uma propriedade são conectados a um mesmo ponto central. A partir desse ponto central, a propriedade é conectada à central telefônica através de um par de fios. Os pares de fios de várias propriedades são reunidos num grande cabo. Finalmente, os cabos de uma mesma área local são reunidos na central, que oferece os serviços telefônicos a todas as propriedades dentro de sua jurisdição.

Alguns serviços oferecidos pela central são: o envio do tom de discar, para avisar o usuário chamador que o telefone está pronto para receber os dígitos do número do telefone chamado, a recepção e a decodificação dos números discados. Além disso oferece todos os outros serviços necessários para o estabelecimento da conexão entre os usuários chamador e chamado.

### 2.2.1 Telefones

O telefone, além de permitir a conversação entre os assinantes, possibilita a troca de informações com a central telefônica (por exemplo, informar à central que o assinante deseja fazer uma ligação, ou que o assinante inicia a discagem, ou que acabou a conversação). Para isso, o telefone é constituído de um microfone, de uma cápsula receptora (para a transmissão



e para a recepção de voz) e de dispositivos que permitam a troca de informações com a central.

A função do microfone é transformar a energia acústica (ondas sonoras) em energia elétrica (variações elétricas de corrente). A função da cápsula receptora é o inverso, transformar a energia elétrica em energia acústica.

## 2.2.2 Meios de Transmissão

A transmissão é a parte do sistema de telefonia responsável pelos vários meios de transporte dos sinais de voz oriundos dos telefones.

Há uma variedade de meios de transmissão diferentes: par trançado, cabo coaxial, ondas de radiodifusão, fibras óticas, etc.. Esses meios diferem geralmente quanto ao custo, à disponibilidade de componentes, à confiabilidade, às taxas de transmissão, bem como quanto ao número de sinais de voz que eles podem transportar.

## 2.2.3 Comutação

Um sistema de comutação (manual ou automático) deve ser capaz de executar pelo menos as funções de estabelecimento e de controle das ligações entre os assinantes (Figura 2.3). A ligação do telefone do assinante com a central de comutação é feita através de um par de fios, denominado linha de assinante.

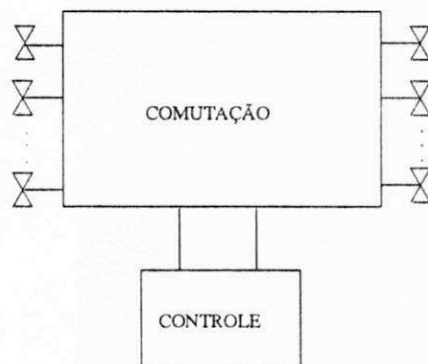


Figura 2.3: Funções Essenciais num Sistema de Comutação

Inicialmente as funções de controle do sistema de comutação eram oferecidas pelo operador. Atualmente as conexões feitas pelos sistemas de comutação são controladas através de

métodos de controle automáticos, tais como o método de Controle por Programa Armazenado (CPA).

No método CPA o controle de comutação é realizado por um computador digital programável, que é responsável pelas informações sobre o estado de ocupação das linhas de assinantes ou dos troncos e pela recepção de informações sobre o número discado. Os programas de controle de operação da central são armazenados em memórias semipermanentes e as informações de natureza menos crítica para a central são armazenadas temporariamente (Figura 2.4).

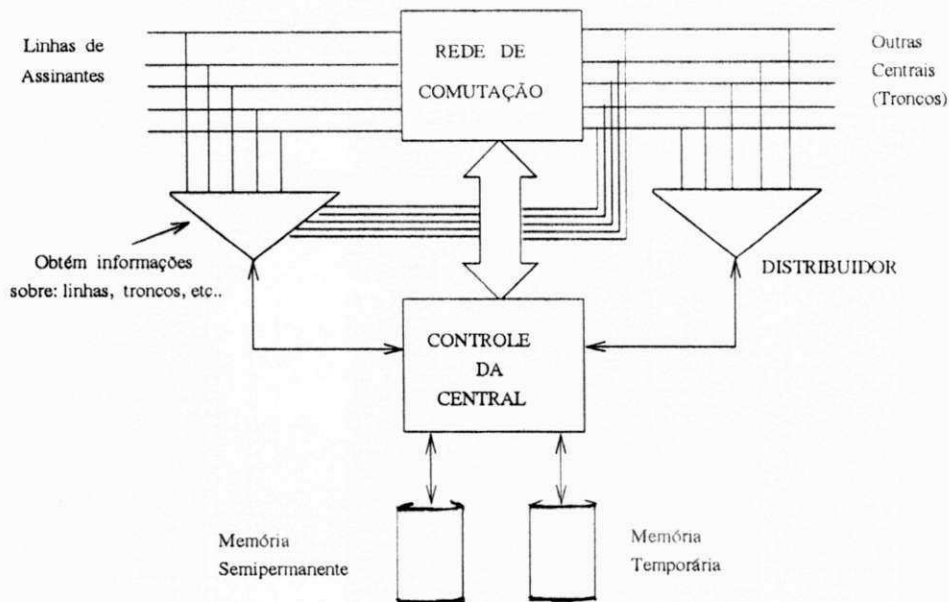


Figura 2.4: Controle por Programa Armazenado

Em muitas situações uma empresa necessita de um sistema exclusivo de comutação. Esse sistema é uma central telefônica local de comutação, que atua como um ramo de uma central local de uso privado ou exclusivo dessa empresa, denominada “**Private Branch Exchange (PBX)**”. Atualmente, a maioria dos PBXs disponíveis são automáticos e denominam-se “**Private Automatic Branch Exchange (PABX)**”.

#### 2.2.4 Sinalização

A sinalização é a parte da central responsável pelo envio dos diversos sinais utilizados para solicitar serviços e para controlar o processamento das chamadas telefônicas. Os sinais trocados durante uma ligação telefônica podem ser agrupados nas seguintes fases: pré-seleção,



transmissão de informações de endereçamento, seleção e supervisão.

A pré-seleção é iniciada com a solicitação de serviço do assinante chamador. Nesse caso, o telefone do assinante envia um sinal para a central, solicitando o estabelecimento de uma ligação telefônica. Se a ligação é local, a parte chamada é conectada e deve responder à ligação. Caso contrário, a central do assinante chamador solicita esse serviço às linhas intercentrais ou troncos.

Na segunda fase, após a recepção do tom de discar, o número do telefone da parte chamada deve ser discado pelo assinante chamador. Os dígitos são enviados diretamente à central, no caso de chamadas locais, e passados para a próxima central, no caso de chamadas entre centrais diferentes.

As centrais necessitam de certas informações relativas ao estado de ocupação dos telefones. A fase de seleção é responsável por essas informações e corresponde à própria seleção do assinante chamado e do estabelecimento da conexão. A fase de supervisão é responsável pela detecção dos sinais de desligamento dos usuários durante a conversação.

A transmissão de sinais incorpora o envio ou recepção dos seguintes sinais: tom de ocupado, tom de discar, tom de controle de chamada e outros. Esses sinais são trocados durante todo o processamento da chamada.

A sinalização telefônica pode ser dividida em três grupos: sinalização interna, sinalização de assinante e sinalização entre registradores [Bran 78].

A sinalização interna divide-se em: sinalização entre os componentes da central, que depende do fabricante da central, e sinalização dos componentes para o operador da central. O operador é o elemento que supervisiona o funcionamento da central.

A sinalização de assinante divide-se em: sinalização do assinante para a central (sinal de ocupação, sinal de atendimento, sinal de desligamento e seleção numérica) e sinalização da central para o assinante (tom de discar, tom de ocupado, tom de número inexistente, tom de controle de chamada e corrente de toque).

O sinal de ocupação indica que o assinante chamador retirou o fone do gancho. O sinal de atendimento indica que o assinante chamado retirou o fone do gancho. Quando um dos assinantes coloca o fone no gancho, isso corresponde ao sinal de desligamento. A seleção numérica corresponde ao envio dos dígitos do chamado.

O tom de discar informa ao assinante chamador que a central telefônica efetuou a pré-seleção e está pronta para receber os dígitos do assinante chamado. O tom de ocupado é utilizado para avisar ao assinante chamador que o assinante chamado está ocupado ou que há congestionamento na seleção. O tom de número inexistente é enviado ao assinante

chamador, significando que o número discado não existe na central ou, no caso de uma chamada **D**iscagem **D**ireta a **D**istância (DDD), significando que foi discado o próprio código da área de origem. O tom de controle da chamada é enviado ao assinante chamador, indicando que o assinante chamado está livre e que está recebendo a corrente de toque. A corrente de toque é utilizada para fazer soar a campainha do telefone do assinante chamado.

A sinalização entre os registradores das centrais telefônicas trocam as seguintes informações: número discado, categoria do assinante chamador, número do assinante chamado e informação de assinante chamado livre.

O tipo de sinalização entre registradores, utilizada no Brasil e prevista pela Norma Geral para Numeração e Comutação Telefônica (NTC-30), é a sinalização Multifrequencial Compelida (MFC). A finalidade dessa sinalização é efetuar a troca de informações entre os registradores das centrais.

A sinalização MFC é do tipo compelido: cada sinal transmitido para a frente só é interrompido quando o transmissor recebe um sinal para trás, informando que o sinal foi recebido na central de destino e solicitando o envio de uma nova informação. Caso o sinal para trás não seja recebido, o sinal para a frente só é interrompido após um determinado tempo, depois do qual ocorre a liberação dos componentes envolvidos, o que interrompe a chamada. Os sinais MFC ocorrem numa fase da ligação telefônica onde ainda não há conversação entre os assinantes e os receptores não precisam apresentar imunidades às frequências vocais provocadas pelos assinantes.

## 2.3 Características dos Sistemas de Telefonia

A finalidade da telefonia é a transmissão de voz, que é transformada em energia elétrica, sendo amplificada e conduzida ao ponto de destino, onde é novamente transformada em energia sonora [Bran 78].

A ligação entre os assinantes e a central é estabelecida de várias maneiras. A rede telefônica é o conjunto de circuitos que ligam os assinantes a uma central ou que ligam várias centrais entre si. Uma rede telefônica é local quando trata apenas da ligação de assinantes de uma mesma central.

### 2.3.1 Tráfego Telefônico

Por razões econômicas, os meios de comutação não são previstos em número suficiente para atender a todos os assinantes da central ao mesmo tempo. Baseado na teoria do tráfego telefônico, determina-se um número ótimo de órgãos na central, de forma a não comprometer a instalação e o desempenho da central telefônica em questão. No entanto, a possibilidade de que todas as vias de comutação estejam ocupadas durante a tentativa de se estabelecer uma ligação deve ser considerada. Em quase todos os sistemas automáticos, quando isso ocorre o assinante recebe um sinal de ocupado e desliga.

Os tipos de tráfego telefônico são: tráfego interno, tráfego de entrada, tráfego de saída e tráfego de trânsito (Figura 2.5).

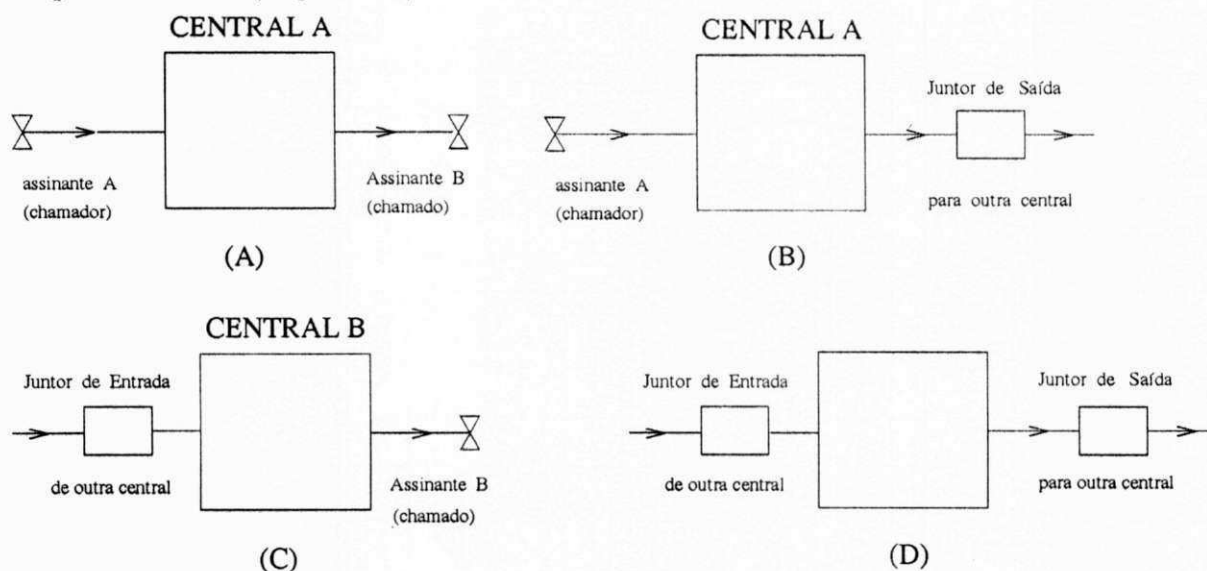


Figura 2.5: Tipos de Tráfego Telefônico

O tráfego é interno ou intracentral quando o assinante A (chamador) e o assinante B (chamado) pertencem à mesma central telefônica (Figura 2.5.a). Quando os assinantes A e B (chamador e chamado) pertencem a centrais diferentes, o tráfego é de saída (Figura 2.5.b). Nesse caso, a central pertencente ao chamador é denominada central de origem.

O tráfego é de entrada quando uma ligação proveniente de outra central chega à central onde se encontra o assinante B (chamado). Nesse caso, o tráfego é denominado tráfego de entrada terminado (Figura 2.5.c). O tráfego é de trânsito quando nem o assinante A (chamador) nem o assinante B (chamado) pertencem à central considerada (Figura 2.5.d).

### 2.3.2 Tarifação, Numeração e Encaminhamento das Chamadas

Os investimentos feitos na implantação de um sistema telefônico são recuperados através das tarifas telefônicas cobradas dos assinantes. A tarifação de uma chamada deve levar em consideração fatores que dependem diretamente dos assinantes A e B (chamador e chamado), como a distância e a duração da chamada entre os dois usuários.

A numeração telefônica deve obedecer às diretrizes estabelecidas na NTC-32 (Norma Geral para Numeração e Comutação Telefônica), que visam um procedimento uniforme de discagem e apresentação simples de catálogos, uma quantidade mínima de algarismos do número nacional, uma quantidade de dígitos inferior a  $11 - N$  (onde  $N$  é a quantidade de algarismos do código internacional do país), uma padronização dos códigos dos serviços especiais locais e interurbanos, uma compatibilidade dos planos regionais de numeração com o plano nacional e uma satisfação das necessidades telefônicas por um período de 50 anos (pelo menos).

Os termos número de assinante, número nacional e prefixo nacional referem-se, respectivamente, ao número que consta nas listas telefônicas, ao número formado pelo prefixo nacional seguido do número de assinante e ao algarismo ou combinação de algarismos (2 ou 3) que caracterizam um país ou grupo de países.

O encaminhamento das chamadas telefônicas é um processo de decisão, que possibilita a comunicação entre os dois assinantes através da interligação das respectivas centrais telefônicas. O plano de encaminhamento de um sistema de telefonia tem por objetivo estabelecer ligações telefônicas com um grau de serviço adequado, uma boa qualidade de transmissão, uma otimização da rede de transmissão e o emprego de rotas alternativas, de forma a aumentar a eficiência global da rede.

Uma chamada é local quando ocorre a comunicação telefônica entre dois assinantes de uma mesma área local, como por exemplo: assinantes pertencentes à mesma central, assinantes pertencentes a centrais diferentes ou assinantes pertencentes a centrais diferentes, onde a conexão é efetuada através de uma outra central (denominada TANDEM).

Uma chamada é interurbana quando ocorre a comunicação telefônica entre assinantes de localidades diferentes. Uma chamada é internacional quando ocorre a comunicação telefônica entre assinantes de países diferentes.

No estabelecimento de uma conexão telefônica, se o chamador e o chamado pertencem à mesma central a conexão é feita imediatamente. Se o chamado estiver localizado em outra central, mas dentro da mesma área local do chamador, uma conexão por meio de fios

(denominados troncos) ou por meio de uma central de trânsito (TANDEM) é estabelecida entre as duas centrais.

Se o chamado estiver localizado fora da área de jurisdição da central do chamador (chamadas interurbanas ou internacionais), a central do chamador deverá estabelecer uma conexão com uma rede de longa distância até a central do chamado.

Além do encaminhamento de chamadas, uma linha telefônica também pode ser utilizada para outras finalidades. Por exemplo, pode ser utilizada para estabelecer uma conexão telefônica entre um computador e um banco de dados. Para isso é necessário transformar os sinais digitais (dos computadores) em analógicos (das centrais) e vice-versa. O equipamento que efetua essa modulação/demodulação (entre o computador e a linha telefônica e vice-versa), para efetuar a transmissão de dados através da rede telefônica, é denominado modem.

## 2.4 Especificação Formal de Sistemas de Telefonia

A evolução dos sistemas de telefonia e das redes de comutação tornaram os recursos telefônicos mais flexíveis, porém bem mais complexos. O projeto e a implementação de qualquer sistema de grande porte e de alta complexidade necessitam de uma metodologia de desenvolvimento a fim de assegurar a confiabilidade do sistema resultante e evitar problemas posteriores de manutenção.

A utilização de **Técnicas de Descrição Formal (TDFs)**, durante o ciclo de desenvolvimento dos sistemas de telefonia, visa a produção de especificações claras, concisas e sem ambigüidades, permitindo que serviços mais confiáveis sejam oferecidos.

Atualmente, a “**Specification and Description Language**” (SDL) é a TDF mais utilizada na especificação formal de procedimentos padrões de telefonia. Entretanto, trabalhos visando ampliar as áreas de aplicação das TDFs LOTOS [Faci 89] e Estelle [Lope 91], que foram desenvolvidas para a especificação de protocolos e serviços de comunicação, têm sido elaborados e demonstraram que os conceitos dessas TDFs são eficientes também na especificação de sistemas de telefonia.

Neste trabalho foi desenvolvida a especificação formal em Estelle de parte de uma central telefônica real, o processamento de chamadas da central Trópico RA, para investigar que os conceitos contidos na TDF Estelle também são apropriados para a especificação de sistemas de telefonia. No capítulo 3 essa central é descrita, destacando-se as características e os módulos principais envolvidos no processamento das ligações telefônicas.



## Capítulo 3

### Central Trópico RA

A central Trópico RA foi desenvolvida pelo **C**entro de **P**esquisa e **D**esenvolvimento (CPqD) das Telecomunicações Brasileiras S.A. (TELEBRÁS). Funcionalmente, a Trópico RA divide-se em módulos, submódulos, interfaces e estruturas internas que permitem uma grande capacidade de expansão e absorção de evolução tecnológica, além de um controle distribuído e descentralizado e um alto grau de confiabilidade, modularidade e padronização.

### 3.1 Características Gerais

A central Trópico RA é o terceiro elemento da família Trópico de equipamentos de comutação desenvolvidos pelo CPqD da TELEBRÁS, sucedendo ao concentrador Trópico-C e à central de pequeno porte Trópico-R [CPqD 88a].

A arquitetura hardware da central Trópico RA foi desenvolvida de acordo com as exigências básicas da família Trópico que fornecem um alto grau de confiabilidade, modularidade (com um número reduzido de placas de circuito diferentes e de blocos construtivos), linearidade entre os crescimentos de custo e de capacidade, cobertura e detecção de falhas, flexibilidade e facilidade de adaptação a diferentes capacidades e aplicações e de incorporação de novas funções e absorção de evolução tecnológica.

A central Trópico RA utiliza a tecnologia digital Controle por Programa Armazenado de Comutação Temporal (CPA-T), armazenando tanto os programas que determinam o funcionamento da central quanto os dados de configuração em memórias residentes e associando-os aos diversos processadores.

Fora os circuitos de interface com o meio externo, a central Trópico RA pode ser considerada como um sistema completamente digital, pois todo o fluxo de processamento e de controle de informações é realizado digitalmente.

A central Trópico RA possui todas as interfaces necessárias para ser inserida na Rede Nacional de Telefonia (RNT) como central local, central de trânsito (local e interurbano) ou central combinada. Além disso, possui funções da Rede Digital de Serviços Integrados (RDSI), permitindo a sua operação como central RDSI local, central RDSI trânsito e central RDSI combinada [CPqD 88b].

### 3.2 Arquitetura da Central Trópico RA

A metodologia de desenvolvimento, adotada pelo CPqD da TELEBRÁS para a concepção da arquitetura da central Trópico RA, possibilitou a estruturação dessa central em elementos básicos, denominados módulos e submódulos.

Conforme é ilustrado na Figura 3.1, a interconexão desses módulos é feita através de um conjunto de interfaces intermodulares. Os módulos têm acesso aos recursos de comutação, sincronismo e sinalização da central através dessas interfaces.

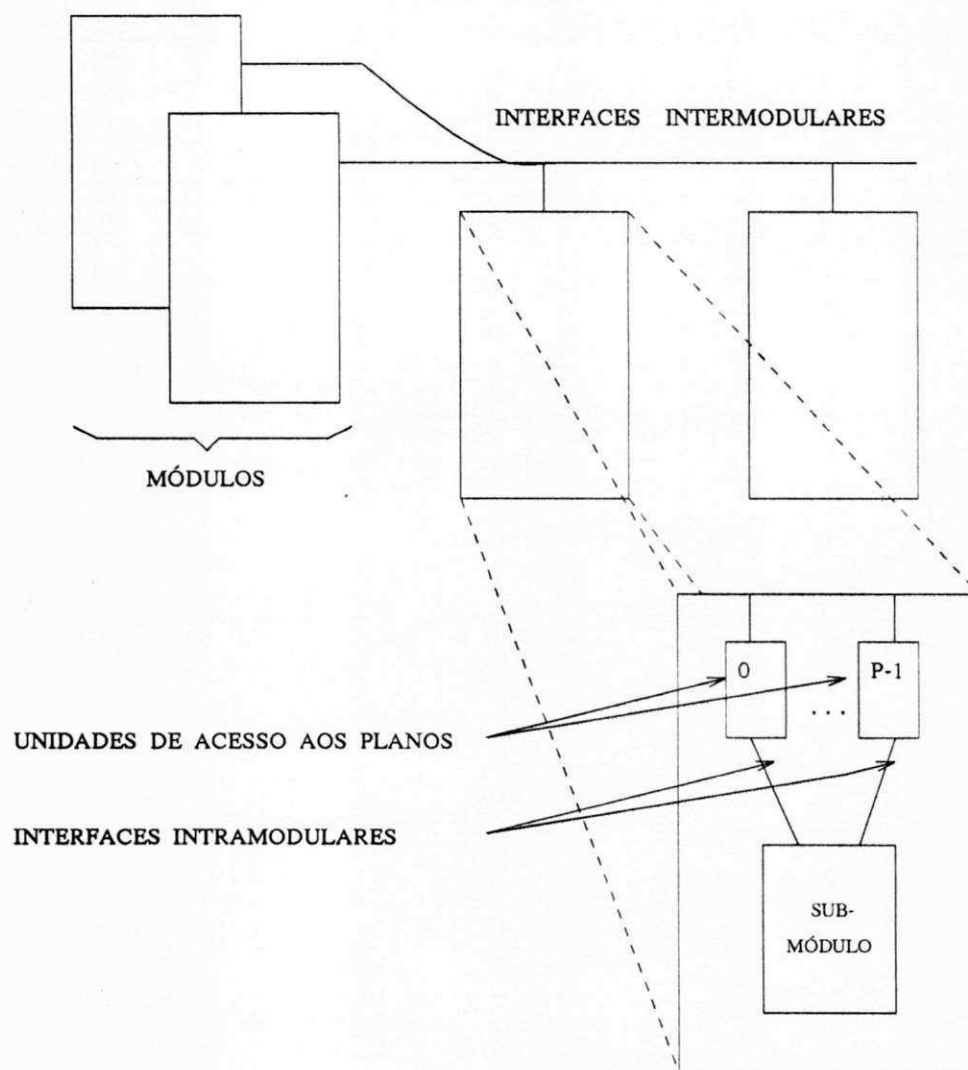


Figura 3.1: Divisão Estrutural da Central Trópico RA

A central Trópico RA foi estruturada em seis tipos diferentes de módulos: Módulo de Comutação (MX), Módulo de Sinalização e Sincronismo (MS), Módulo de Terminais (MT), Módulo de Operação e Manutenção (MO), Módulo Auxiliar (MA) e Módulo de Canal Comum (MC).

Qualquer informação trocada entre dois módulos da central tem origem, destino ou passagem por um módulo de comutação (MX) ou de sinalização e sincronismo (MS) e, por isso, são implementados com redundância dentro da central. Funcionalmente, esses módulos são denominados “módulos de interconexão”.

Cada conjunto redundante de MS e MX é denominado plano. A central pode ter 2, 3 ou 4 planos, denominados planos A, B, C e D. O número de planos é escolhido de acordo



com as exigências de tráfego e confiabilidade em função da aplicação e capacidade de cada central.

Se ocorrer falha em um dos planos da central, as solicitações de comutação, sinalização e sincronismo podem ser atendidas por outro plano que não se encontre em falha.

Considerando os elementos construtivos citados anteriormente, a central Trópico RA é constituída de um conjunto de “módulos de interconexão” divididos em planos e de um conjunto de módulos MTs, MOs, MCs e MAs distribuídos por interfaces intermodulares. Cada plano da central pode ser constituído de um a quatro módulos de comutação (MX) e de um módulo de sinalização e sincronismo (MS) (Figura 3.2).

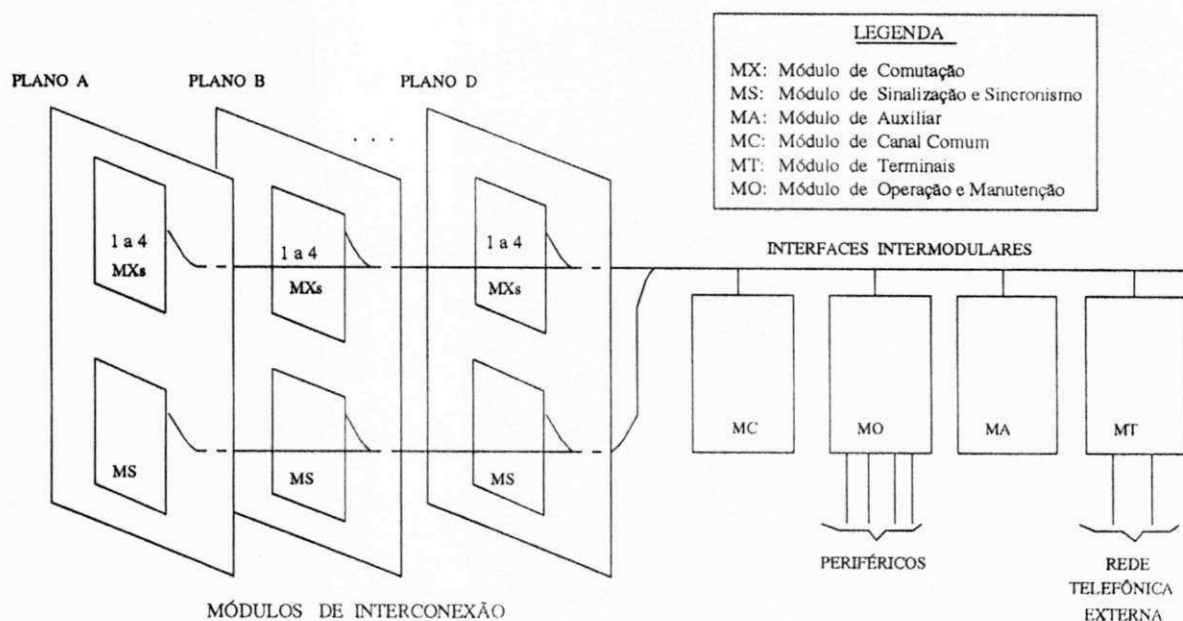


Figura 3.2: Interconexão da Central Trópico RA

### 3.3 Estruturas da Central

Na Trópico RA as funções de controle, de sinalização, de sincronismo, de comutação de sinais de voz, de supervisão de falhas e de operação, manutenção e supervisão são denominadas estruturas internas da central.

As funções de comutação de sinais de voz (comutação de circuitos), que são aqueles gerados pelos terminais da central, e de comutação de mensagens entre processadores, denominada função de sinalização, apresentam características completamente diferentes e são

tratadas por estruturas internas totalmente independentes.

As funções de controle são classificadas como funções essenciais e não essenciais. As funções essenciais estão diretamente relacionadas ao serviço telefônico e visto que mesmo na presença de falhas devem estar disponíveis, essas funções estão presentes em mais de um processador da central (redundantes).

As funções não essenciais não afetam diretamente o serviço telefônico e estão relacionadas com a operação e manutenção da central. Como essas funções não precisam estar disponíveis no caso de falha, elas estão presentes em um único processador.

### 3.3.1 Estrutura de Controle

A estrutura de controle da Trópico RA é composta por uma rede de processadores totalmente distribuída. Essa concepção distribuída garante a manutenção da prestação de serviços da central em níveis perfeitamente aceitáveis, sem a necessidade de uma intervenção imediata no equipamento, no caso de falha.

Além de distribuída, a estrutura de controle é completamente descentralizada em relação às funções essenciais da central, garantindo a sobrevivência do serviço telefônico no caso de ocorrer uma falha no sistema, sem a necessidade de reconfiguração para substituição imediata de um processador ou outro órgão qualquer de controle, pois não existe nenhum ponto central de decisão no sistema.

A rede de processadores é composta por dois tipos de processadores [CPqD 88a], um com barramento externo de 8 bits e uma Unidade Central de Processamento (UCP) 8088 e outro com barramento externo de 16 bits e uma UCP 80286. Esses processadores equipam e controlam todos os submódulos do sistema (Figura 3.3).

De acordo com o tipo de processador, os módulos dividem-se em dois grupos: módulos cujos submódulos são controlados por processadores com barramento de 8 bits e os que são controlados por processadores com barramento de 16 bits [Diaz 90].

A placa controladora de terminais (CTE), que está presente nos submódulos do primeiro grupo, é um computador constituído de um microprocessador 8088, uma unidade de memória de 320 kbytes (máxima) e um barramento de controle de 8 bits, denominado interface IH2. Esse barramento é compartilhado por outras partes da estrutura de sinalização e sincronismo.

A unidade de processamento numérico (UPN), que está presente nos submódulos do segundo grupo, é um processador constituído de um microprocessador 80286, uma unidade de memória de 512 kbytes (máxima), um controlador de processamento em ponto flutuante

(opcional e que não está presente na Trópico RA) e um conjunto de unidades para o controle de dispositivos periféricos, organizados em torno de um barramento de alta velocidade de 16 bits, denominado PP-BAR ou interface IH5.

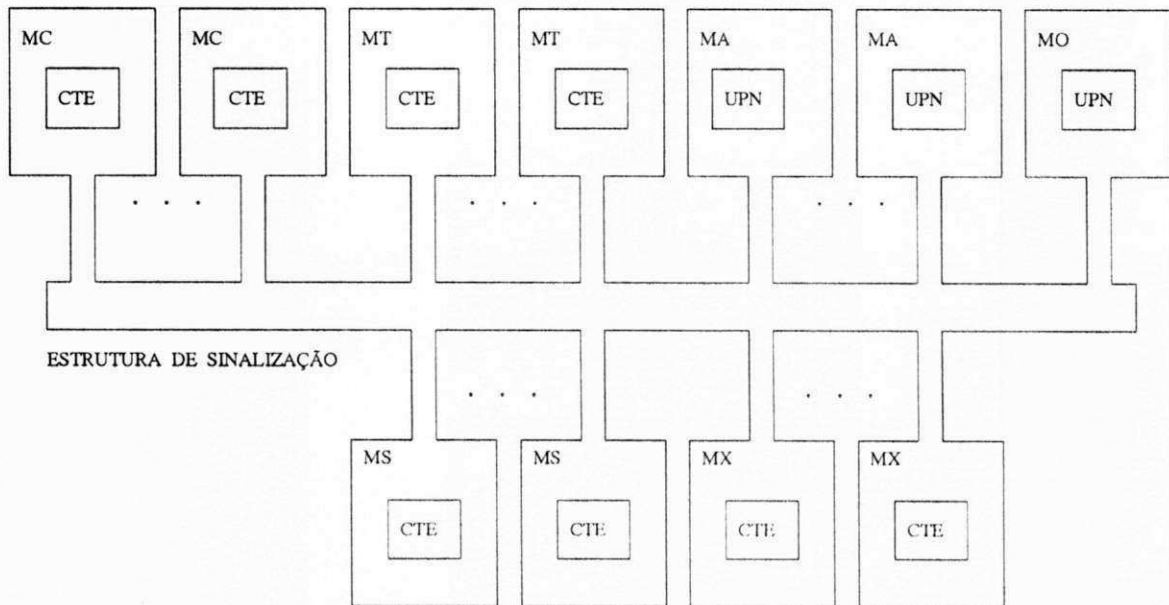


Figura 3.3: Estrutura de Controle

Esse processador de 16 bits, que controla os submódulos do segundo grupo, é um microcomputador de propósito geral, denominado processador preferencial (PP), e utilizado em vários equipamentos desenvolvidos pelo CPqD da TELEBRÁS.

No primeiro grupo estão os módulos de comutação (MX), de sinalização e sincronismo (MS), de terminais (MT) e de canal comum (MC). A configuração padrão desses módulos é ilustrada na Figura 3.4. O módulo auxiliar (MA) e o módulo de operação e manutenção (MO) pertencem ao segundo grupo (Figura 3.5).

As unidades de acesso aos planos da central dos módulos do primeiro grupo são circuitos denominados UAPs. Cada duas UAPs são incorporadas por uma placa de duplo acesso ao plano (DAP), uma relativa aos planos A e C e a outra aos planos B e D. Cada submódulo desse grupo tem acesso às UAPs do seu módulo através de uma interface intramodular IH3, que transporta os sinais relativos ao plano correspondente a essa UAP.

As unidades de acesso aos planos da central dos módulos do segundo grupo são circuitos denominados UPPs (unidade de sinalização do processador preferencial). Cada duas UPPs são incorporadas por uma placa de sinalização de processador preferencial (SPP), uma relativa aos planos A e C e a outra aos planos B e D. Cada submódulo desse grupo tem acesso às UPPs do seu módulo através de uma única interface intramodular IH5.

outros nós, constituindo o que se denomina transmissão multi-ponto [Sant 89].

A topologia híbrida utilizada na central Trópico RA é caracterizada por um nó centralizado, onde todos os módulos estão conectados, através das interfaces intermodulares IH4. O nó centralizado concentra todo o controle de alocação dos recursos do plano de sinalização. O meio físico compartilhado entre os diversos processadores da rede local é um barramento de sinalização controlado e disciplinado pelo respectivo nó.

O processo de comunicação entre os diversos usuários de uma rede local necessita de um conjunto de regras e convenções para disciplinar a troca de informações, assegurando que ambas as partes do processo recebam e interpretem corretamente aquela informação.

O protocolo consiste nesse conjunto de regras lógicas e convenções, permitindo a troca de informações e o estabelecimento da conexão física entre os processadores através da rede de sinalização compartilhada [Hals 88].

### **3.3.3 Estrutura de Sincronismo**

A estrutura de sincronismo da central Trópico RA atende aos requisitos de sincronismo de uma central digital com controle distribuído. Para o funcionamento conjunto de todos os módulos da central, estes são servidos por sinais de sincronismo adequadamente posicionados no tempo.

A estrutura de sincronismo da Trópico RA possui geração e distribuição triplicada de sinais de sincronismo, evitando assim o mau funcionamento da central por falhas de sincronismo e fornecendo um serviço altamente confiável.

Os elementos funcionais de sincronismo da central Trópico RA estão implementados em placas exclusivas da estrutura de sincronismo e em placas que apresentam outras funções além do sincronismo.

### **3.3.4 Estrutura de Voz**

A estrutura de voz é a parte da central responsável pelos caminhos internos, através dos quais as conexões entre os terminais da central são realizadas, assim como pelo controle de acesso a esses caminhos, que são compartilhados dinamicamente por vários terminais.

A central Trópico RA permite o estabelecimento dos caminhos internos através da comutação de circuitos ou da comutação de pacotes. Na comutação de circuitos os caminhos de

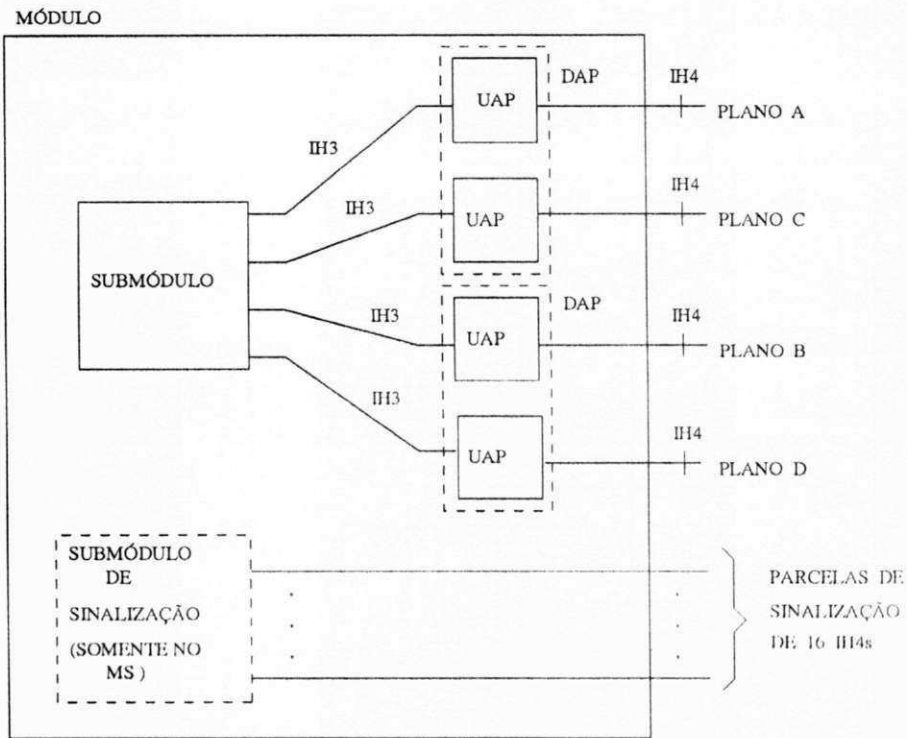


Figura 3.4: Configuração Padrão dos Módulos do Primeiro Grupo

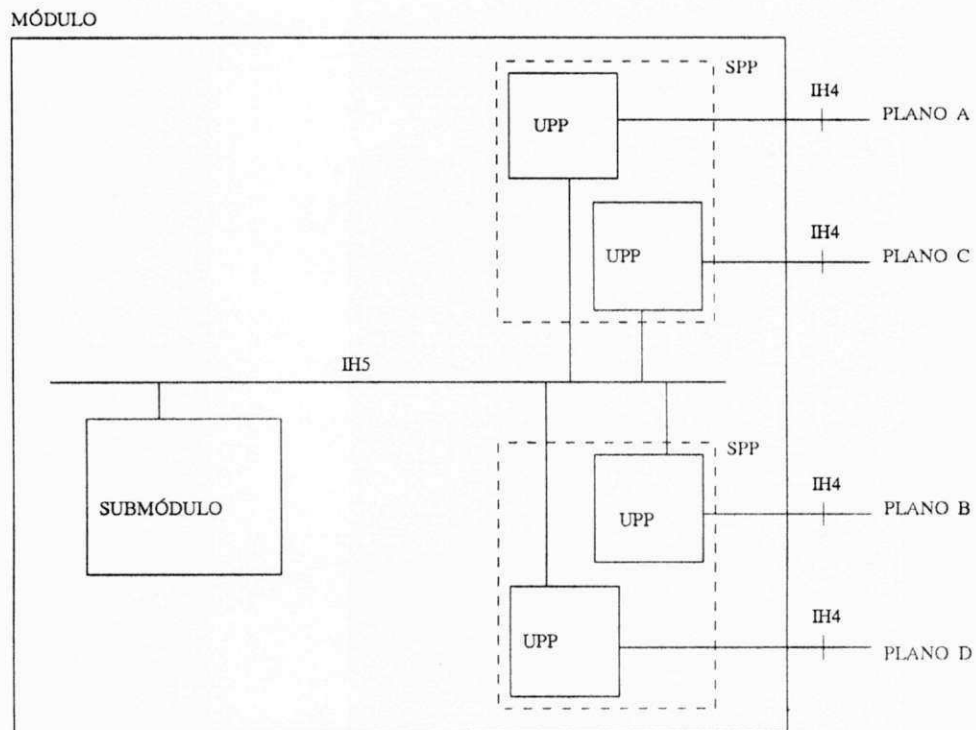


Figura 3.5: Configuração Padrão dos Módulos do Segundo Grupo

Tanto as UAPs quanto as UPPs realizam a conexão dos seus módulos com as interfaces intermodulares IH4 de cada plano, permitindo a comunicação dos seus processadores com os outros processadores da central.

### 3.3.2 Estrutura de Sinalização

A comunicação entre os processos residentes nos diversos processadores da central é chamada de estrutura de sinalização e ocorre através da troca de mensagens. Na Figura 3.3 verifica-se que a rede de processadores da estrutura de controle é interligada pela estrutura de sinalização.

A estrutura de sinalização da central foi desenvolvida de acordo com os requisitos essenciais das redes locais, que levam em consideração: dispersão geográfica, ambiente de operação, número máximo de nós, separação máxima e mínima entre nós, tempo de resposta, capacidade de transferência de informações (tipo e taxa máxima de informação transmitida), tipo de interação entre dispositivos, confiabilidade exigida, tipo de tráfego, dimensão e topologia da rede [Soar 86].

Uma rede local<sup>1</sup> é uma rede de comunicação com um meio compartilhado que fornece a interconexão a um conjunto de dispositivos, denominados nós ou estações da rede, conectados em uma pequena área (por exemplo, mesmo edifício ou blocos de escritório) [Sant 89].

A estrutura de sinalização é composta basicamente pelo processador, pela rede de sinalização e pelo protocolo (Figura 3.6).

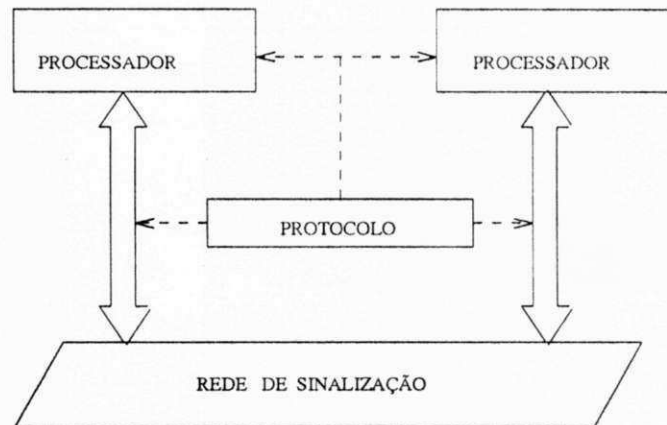


Figura 3.6: Entidades da Estrutura de Sinalização

O processador é utilizado nas aplicações de controle e de supervisão de processos, integran-

<sup>1</sup>em inglês, Local Area Network (LAN)



conexão, denominados caminhos de voz, são dedicados exclusivamente às chamadas para as quais são alocados, isso durante toda a duração das chamadas. Esses são os caminhos tratados na estrutura de voz. A comutação de pacotes entre os terminais conectados à central é realizada na estrutura de sinalização.

Funcionalmente, um caminho de voz estabelecido entre dois terminais é dividido em várias partes. As partes mais próximas dos terminais são denominadas canais primários e as restantes canais secundários. Para os canais secundários existe um conjunto de estruturas redundantes denominadas planos de voz. A conexão consiste na interligação de dois canais secundários a partir do plano de voz selecionado para a chamada.

A estrutura de voz permite o estabelecimento dinâmico e controlado de conexões entre um número de terminais que pode variar de central para central. Os terminais são divididos em grupos, cada um associado a um conjunto de canais, que são compartilhados por todos os terminais de um grupo (canais primários).

Cada submódulo de terminais (SMT) é composto por um grupo de terminais e possui internamente dois enlaces padrão tipo PCM-32 (Modulação por Código de Pulsos de 32 canais)<sup>2</sup>, denominados enlaces intramodulares de voz (interface IH1). Os canais desses enlaces são primários. Cada um desses submódulos tem acesso aos planos de voz da central através das unidades de acesso ao plano (UAPs) do seu módulo.

Cada plano de voz é constituído por uma Matriz de Comutação da Central (MACO-C), pelas UAPs, que se ligam ao respectivo plano, e por um conjunto de enlaces intermodulares de voz, tipo PCM de 64 canais de 8 bits (PCM-64), correspondentes às parcelas relativas à estrutura de voz das interfaces IH4. Um conjunto de enlaces intramodulares de voz, provenientes de vários MTs, têm acesso a um enlace intermodular em cada plano de voz.

Todos os planos de voz da central possuem a mesma quantidade de MXs. Para a primeira fase de desenvolvimento da central o valor máximo de MXs por plano é quatro.

As funções de adaptação dos sinais recebidos ou enviados aos terminais pelo MT, de alocação de um canal intramodular a cada chamada de um terminal do SMT, de seleção de um plano de voz (quando já não é pré-definido) e de conexão do enlace intramodular são feitas pela estrutura de voz no respectivo SMT.

O controle e a supervisão da estrutura de voz são realizados pelo software que trata da comutação nos módulos MT, MX e MO, em cooperação com o hardware dos módulos MT e MX. Esse software executa basicamente serviços para usuários externos e serviços internos à função de comutação.

---

<sup>2</sup>em inglês, **P**ulse **C**ode **M**odulation (PCM)



Os serviços de alocação, desalocação, comutação, descomutação e inserção de atenuação nos canais de voz do MX, assim como os serviços de atendimento à comandos de operação e aos serviços de apoio a funções de testes de desempenho da central, são prestados a usuários externos à função comutação.

Os serviços de supervisão e de diagnóstico de falhas das funções do MX sob seu controle, assim como os serviços de supervisão da configuração da estrutura de comutação ativa na central, são internos à função de comutação.

### **3.3.5 Estrutura de Supervisão de Falhas**

Qualquer anomalia no funcionamento, que afete negativamente (de modo total ou parcial) o desempenho da central Trópico RA, é considerada uma falha.

A estrutura de supervisão de falhas incorpora todos os procedimentos, realizados automaticamente pela central, para detectar, localizar e sinalizar falhas ocorridas no sistema. Essa estrutura incorpora também os procedimentos para acionar alarmes, a fim de que o operador possa efetuar a manutenção e correção do sistema.

### **3.3.6 Estrutura de Operação, Manutenção e Supervisão**

A estrutura de operação, manutenção e supervisão (OMS) da central Trópico RA é responsável pelo conjunto de funções destinadas a proporcionar e manter um serviço telefônico nos padrões de qualidade especificados, fornecendo aos operadores todas as facilidades necessárias para a execução de atividades rotineiras (por exemplo, ativação de determinadas funções e alteração dos dados de configuração da central) [CPqD 90]. Esse conjunto de funções representa mais da metade dos programas desenvolvidos na central Trópico RA.

A estrutura de OMS permite a comunicação da central com o meio externo, atualizando as informações que formam a base de dados para o estabelecimento de chamadas e fornecendo as informações necessárias para avaliação de desempenho da própria central e da rede na qual está interligada.

Na central Trópico RA, a ausência das funções de operação, manutenção e supervisão (OMS) não compromete o processamento de chamadas da central e a execução de tais funções não diminui a capacidade da central.

A base de dados e as funções de OMS foram implementadas para permitir o crescimento

da quantidade de terminais da central e atender ao fluxo de informações a serem administradas, quando ocorrer esse crescimento.

Funcionalmente, os recursos da central Trópico RA podem ser classificados em recursos de processamento de chamadas e recursos de operação, manutenção e supervisão. Enquanto o processamento de chamadas é responsável pela interligação de assinantes, a estrutura de OMS executa a interface entre o operador e as funções de OMS, com requisitos de velocidade de processamento menos severos.

Na central Trópico RA, os processos de supervisão, medição de tráfego e tarifação se desvincularam dos processadores que efetuam o tratamento de chamadas e se transferiram para os processadores de utilização exclusiva da estrutura de OMS. Essa característica permite o processamento dos dados de tráfego em tempo real, sem diminuir a capacidade de processamento de chamadas, fornecendo em terminais de vídeo, impressoras ou enlace de dados, todas as informações necessárias para avaliação de desempenho da central e de seus entroncamentos.

### 3.4 Hardware e Software da Central

A estrutura hardware da central Trópico RA é caracterizada por um alto grau de modularidade, pela grande flexibilidade de uso de unidades básicas e pelo uso reduzido de interfaces padronizadas.

A unidade básica da estrutura hardware é formada por uma **Placa Equipada de Circuito Impressa (PECI)**, incorporada em sub-bastidores (gavetas de equipamentos), que, por sua vez, são equipadas em bastidores (armários), e estes em filas. Essa unidade básica associada a outras placas através de interfaces padronizadas dá origem aos submódulos. Os submódulos são agrupados para formar os módulos.

A Figura 3.8 ilustra a arquitetura hardware da central Trópico RA como um aglomerado de submódulos, cada qual sob o controle de um processador residente, realizando uma determinada função da central. Os processadores dos submódulos comunicam-se através de um conjunto de interfaces.

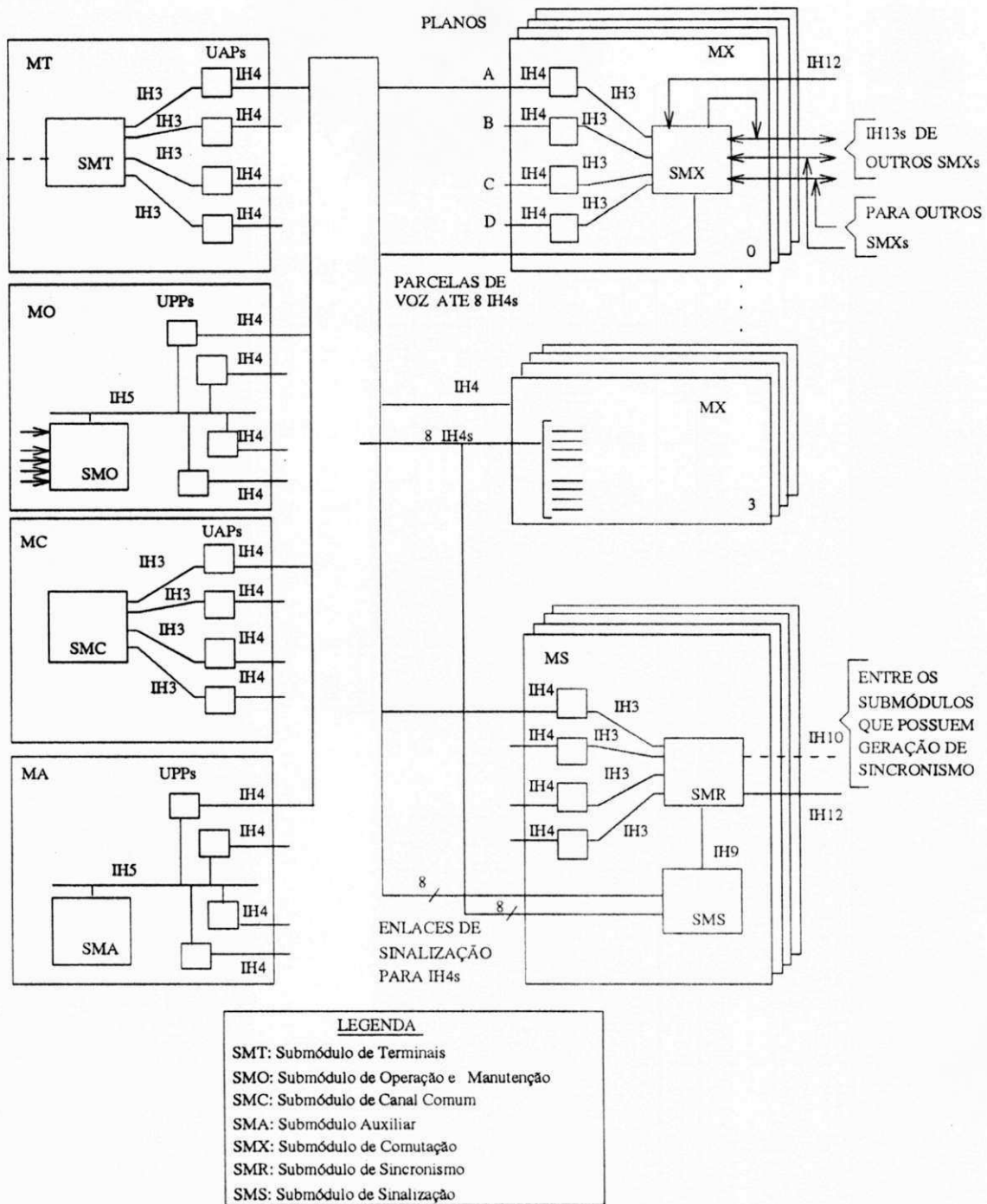


Figura 3.8: Arquitetura Hardware da Central Trópico RA

Os módulos da central são interligados por interfaces padronizadas intermodulares, denominadas IH4. Os sinais trocados por essas interfaces tem origem, destino ou passagem por um “módulo de interconexão”.

As interfaces internas ao módulo, denominadas interfaces intramodulares, são divididas em interfaces intramodulares de acesso ao plano e interfaces intra-submodulares.

As interfaces intermodulares e as interfaces intramodulares de acesso ao plano contêm sinais da estrutura de sinalização e/ou da estrutura de voz de um único plano. A distribuição de sincronismo é duplicada em cada interface intermodular, garantindo que cada módulo possa receber os sinais de sincronismo, independente do número de planos.

A central Trópico RA possui 13 interfaces hardware padrão, denominadas IH1, IH2, ..., IH12 e IH13. As interfaces intermodulares IH12 e IH13 são trocadas entre os “módulos de interconexão”.

As interfaces IH3 e IH5 são intramodulares de acesso ao plano. A interface IH3 está presente nos módulos do primeiro grupo e transporta sinais de voz, sinalização (troca de mensagens entre processadores) e sincronismo, relativos ao plano correspondente.

A interface IH5 está presente nos módulos do segundo grupo e corresponde ao próprio barramento PP-BAR do processador preferencial (PP), que constitui os respectivos submódulos. Somente sinais de sinalização e sincronismo são trocados por essa interface.

A interface intermodular IH10 interconecta os três geradores de sincronismo da central, localizados em planos diferentes. Essa é a única ligação entre os planos. Os planos de sinalização e de voz são completamente independentes, não trocando sinais entre si.

As interfaces hardware IH1 (de terminais), IH2 (paralela do processador), IH6 (de controle da MACO), IH7 (de canais já comutados), IH8 (controladora de comutação), IH9 (de distribuição intramodular de sincronismo) e IH11 (reservada para tratamento intramodular de protocolo HDLC<sup>3</sup>) são intra-submodulares.

As interfaces intermodulares IH4 conectam os “módulos de interconexão” com os demais módulos da central. Cada plano possui, no máximo, 32 dessas interfaces.

Cada IH4 transporta os sinais de sinalização, tratados pelo módulo de sinalização do seu plano, os sinais de voz, tratados por um dos módulos de comutação (MX) do seu plano, e os sinais de sincronismo, gerados por dois planos diferentes de sincronismo e distribuídos pelo MX do seu plano. Os enlaces de sinalização, voz e sincronismo, que compõem cada IH4, são controlados no respectivo plano pelos submódulos de sinalização, sincronismo e comutação.

---

<sup>3</sup>High-Level Data Link Control

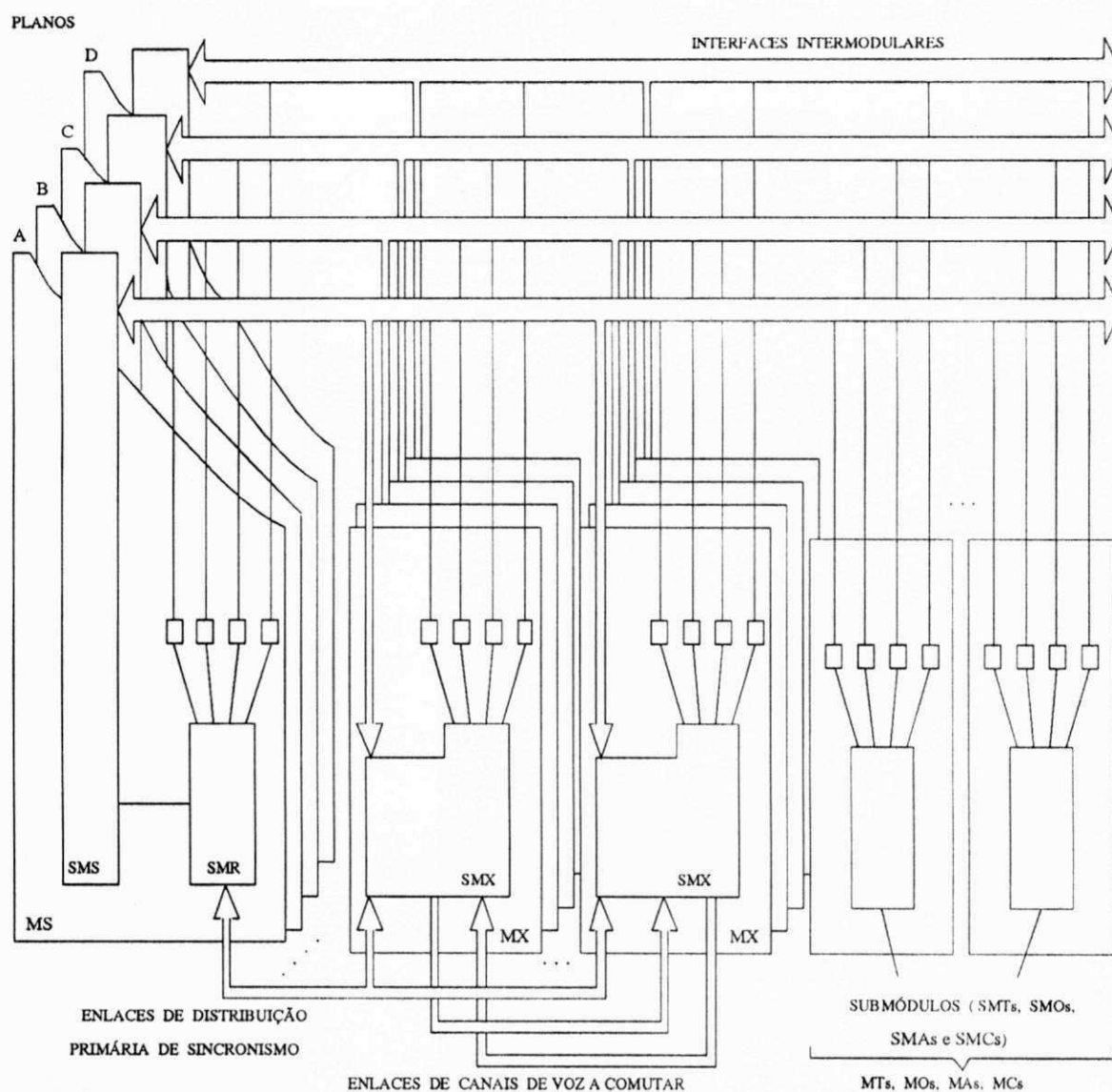


Figura 3.9: Arquitetura Funcional da Central Trópico RA

### 3.5.1 Módulo e Submódulo de Comutação

O módulo de comutação (MX) é responsável pelas funções básicas de comutação de sinais de voz, realizando o controle e estabelecimento dos caminhos de conexão interna da central. Esses caminhos são relativos aos sinais de voz trocados entre os terminais. A cada MX conectam-se até 16 enlaces de voz das interfaces intermodulares IH4. Todos esses enlaces pertencem ao mesmo plano do MX.



O software da Trópico RA é configurado nos módulos e em cooperação com o hardware desempenha as funções especificadas para a central. De acordo com o processador que controla o módulo (CTE ou PP), existe um software básico residente e específico em todos os processadores do mesmo tipo.

O software básico do CTE é responsável pelo envio e pela recepção de sinais externos ao processador e pela carga do sistema operacional e dos demais softwares, conforme a configuração do processador. Além disso, esse software é responsável pela criação do ambiente que possibilita o funcionamento dos softwares do processador e pelo controle local da configuração (existência e estado de funcionamento) dos processadores, dos softwares e das placas dos módulos de terminais. O software básico do PP possui as mesmas características do anterior.

### 3.5 Módulos e Submódulos da Central

Módulo é um elemento funcional constituído de um ou mais submódulos e de uma unidade de acesso a cada um dos planos da central.

Submódulo é um elemento funcional constituído por um processador que controla as funções da central relativas ao mesmo e que se comunica com os outros processadores através da estrutura de sinalização. Cada submódulo tem seu hardware realizado por um conjunto de placas.

A Figura 3.9 ilustra a arquitetura funcional da central com os módulos, submódulos e um conjunto de interfaces intermodulares IH4. Toda a troca de informações entre os submódulos é feita através desse conjunto de interfaces IH4s. Cada submódulo tem acesso a uma interface IH4 de cada plano, através das unidades de acesso aos planos de seu módulo.

Cada IH4 é constituída por enlaces de sinalização, voz e sincronismo. Esses enlaces são controlados pelos submódulos de sinalização e comutação de cada um dos planos A, B, C e D.

Todos os MXs de um mesmo plano se interconectam através de um conjunto de enlaces de voz a comutar, cada um destes enlaces correspondendo a uma interface intramodular IH13. Os MXs de diferentes planos não possuem nenhuma conexão entre si.

Cada MX é constituído de um submódulo de comutação (SMX) e de quatro unidades de acesso aos planos da central (UAPs) (Figura 3.4). O SMX é responsável pelas seguintes funções básicas: controle dos enlaces de voz das interfaces intermodulares (IH4) relativas àquele SMX, comutação interna entre as suas interfaces intermodulares e comutação externa dessas interfaces com as de outros SMXs do mesmo plano.

O conjunto de todos os MXs de um mesmo plano da central constitui uma Matriz de Comutação da Central (MACO-C). Todos os módulos de terminais da central se conectam à MACO-C através de grupos de enlaces de voz, correspondentes às parcelas relativas à estrutura de voz das interfaces intermodulares IH4 (Figura 3.10).

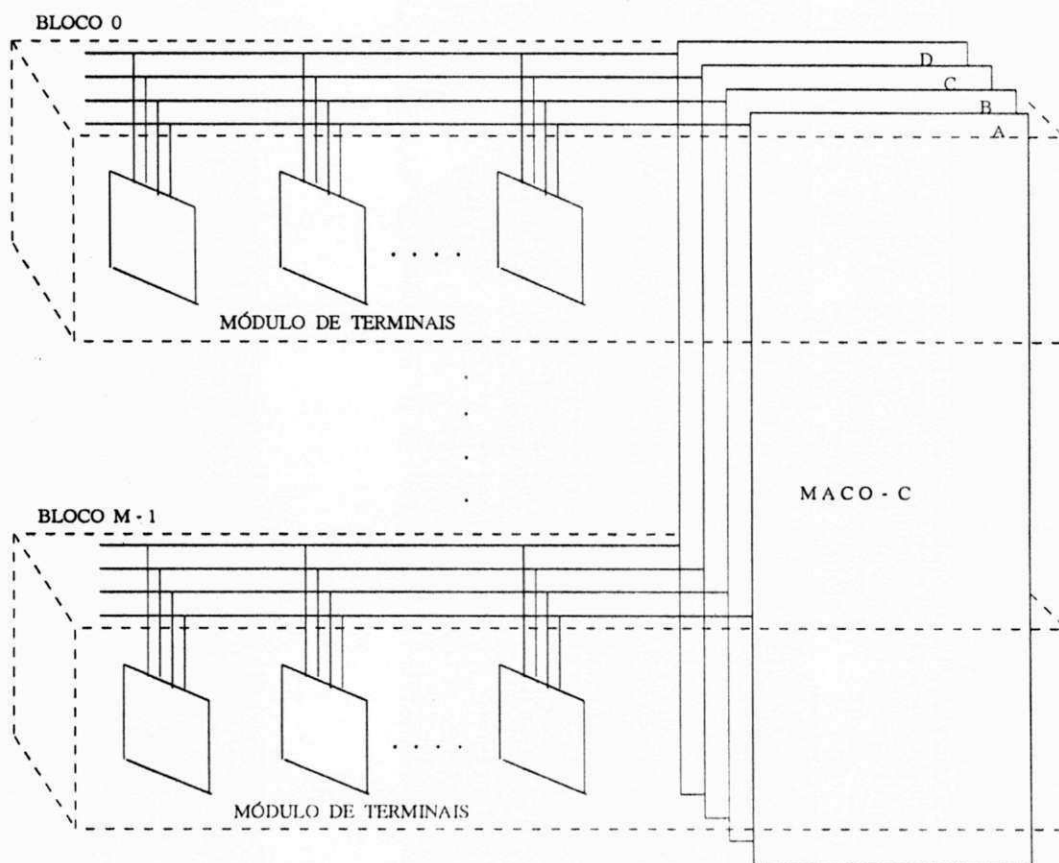


Figura 3.10: Matriz de Comutação da Central Trópico RA

O controle e a supervisão da função de comutação da central Trópico RA são realizados pelo software em cooperação com o hardware de comutação dos MTs e MXs.



Além do software básico do processador CTE, o MX também apresenta o software que controla a comutação. Esse software é residente em cada processador (CTE) de cada MX presente na central. A função básica desse software é controlar o estado de ocupação dos 1024 canais de voz de um MX, relativos ao tratamento de 16 enlaces intermodulares de voz. Esse software executa também serviços de supervisão de falhas das funções do MX sob seu controle. Os softwares responsáveis pela função de comutação (controle e supervisão) estão residentes também nos módulos MO e MT.

### **3.5.2 Módulo e Submódulos de Sinalização e Sincronismo**

O módulo de sinalização e sincronismo (MS) é constituído pelo submódulo de sinalização (SMS), pelo submódulo de sincronismo (SMR) e por quatro unidades de acesso aos planos da central (UAPs) (Figura 3.4).

O módulo de sinalização e sincronismo possui duas funções básicas: estabelecimento das conexões, para troca de mensagens entre os vários processadores da central, e geração e distribuição de sincronismo.

O submódulo de sinalização (SMS) é responsável pelas funções de interconexão e de controle do meio físico compartilhado pelos outros submódulos, fornecendo um suporte à comunicação entre os processadores da rede local no plano correspondente.

O submódulo de sincronismo (SMR) tem como funções básicas a geração e a distribuição primária de sinais de sincronismo para o submódulo de sinalização.

Além do software básico do processador CTE, que compõe o submódulo de sincronismo, outros softwares também estão presentes no módulo de sinalização e sincronismo: um software que controla o sincronismo, um software responsável pela detecção e sinalização das falhas ocorridas na geração e distribuição de sincronismo, e um software responsável pelo estabelecimento, controle e supervisão da sinalização entre os processadores de um plano.

### **3.5.3 Módulo e Submódulo de Terminais**

O módulo de terminais (MT) é a parte da central que realiza a interconexão com o meio externo, no que diz respeito às funções telefônicas. Para isso, detém o controle dos circuitos necessários para compatibilizar as informações de entrada e de saída com a estrutura interna da central.

O módulo de terminais é constituído por um submódulo de terminais (SMT) e quatro unidades de acesso ao plano (UAPs). O SMT apresenta, através das suas interfaces com os terminais, a interconexão da central com a rede telefônica externa e, através das interfaces intermodulares (IH4), tem acesso a cada um dos planos da estrutura interna da central.

O submódulo de terminais é composto, no máximo, de 160 terminais, sendo que esse número é função do tipo de terminal a ser conectado à central. Dessa forma, uma central pode incorporar poucas unidades ou até algumas centenas de submódulos de terminais. No total a central pode conter aproximadamente 215 SMTs, na primeira etapa de desenvolvimento, podendo chegar a 900 SMTs na segunda etapa.

A conexão entre um terminal chamador (que origina a chamada) e um terminal chamado (que recebe a chamada) envolve o estabelecimento de um caminho, dentre uma variedade de caminhos possíveis, do chamador para o chamado e vice-versa. Ambos os caminhos estabelecidos para uma chamada (terminal chamador a chamado e vice-versa) são sempre conectadas pelo mesmo plano.

O número de terminais, que podem ser simultaneamente conectados a outros terminais dentro da central, é menor que o número total de assinantes ligados à central. Isso ocorre, porque a central telefônica apresenta concentração na utilização dos seus caminhos internos, para proporcionar uma otimização entre o custo do equipamento e as características de tráfego dos seus terminais.

Através do dimensionamento de tráfego, os terminais são distribuídos nos submódulos de terminais, de modo que a probabilidade de um terminal não conseguir um caminho interno, que o conecte a outro terminal livre, mantenha-se abaixo dos limites especificados, que são inferiores a 1%.

Cada caminho interno estabelecido para uma chamada é constituído por uma cadeia de trechos interconectados de forma programada. Cada vez que uma chamada é iniciada, uma cadeia de trechos é procurada e estabelecida, caso existam recursos disponíveis para atender a essa chamada. Tal estabelecimento consiste, em cada trecho, em escolher um canal dentre um conjunto de canais organizados em grupos de enlaces. A alocação desse trecho é feita obtendo-se um canal de um enlace específico de um grupo.

Em cada trecho, cada enlace possui uma via de transmissão e uma de recepção. Por exemplo, os canais que transportam informações do módulo de terminais para o módulo de comutação pertencem à via de transmissão e os de sentido contrário à via de recepção. A tomada de um canal de uma via, no sentido da conexão, pressupõe a tomada do canal de mesmo número da outra via, no sentido contrário.

O submódulo de terminais possui um hardware e um software básicos comuns a vários

tipos de terminais. O hardware básico inclui um controlador (CTE), as placas de terminais e um circuito tratador de terminais. Cada SMT é constituído, no máximo, de 10 placas de terminais e o tipo dessas placas define o tipo de submódulos.

O circuito tratador de terminais realiza as conexões entre os enlaces digitais internos ao submódulo e as unidades de acesso ao plano, além de fornecer a interface entre o controlador e as placas de terminais. De acordo com o tipo dessa interface, o SMT pode pertencer à primeira ou à segunda classe.

Na primeira classe, o controle das placas de terminais é realizado através de acessos a registros identificados por apontadores hardware. Os submódulos de assinantes locais, de assinantes distantes, de troncos analógicos, de troncos digitais, de sinalização Multifrequencial (MF) e Multifrequencial Compelida (MFC) e mistos (com mais de um tipo de terminais) são tipos de SMTs de primeira classe.

Na segunda classe, o controle das placas de terminais é realizado através de mensagens auto-endereçadas, fornecendo a interconexão com assinantes digitais (RDSI).

O submódulo de assinantes locais é responsável pela interligação de terminais telefônicos analógicos à central Trópico RA. O telefone decádico ou multifrequencial (MF), o telefone público com coleta de ficha por inversão de polaridade ou por pulso de 12KHz, o telefone semi-público, o telefone comunitário, os troncos de Centrais Privadas de Comutação Telefônica (CPCT) e os respondedores automáticos são alguns tipos de terminais telefônicos analógicos.

As placas do submódulo de assinantes locais contêm cada uma 16 circuitos de linha, totalizando um máximo de 160 terminais por submódulo, com exceção das placas para interface com telefone público que contêm apenas 4 circuitos.

O submódulo de assinantes distantes tem por finalidade a interligação de assinantes remotos, conectados a uma unidade distante (UD), à central Trópico RA. A estrutura da unidade distante é semelhante ao módulo de terminais.

O submódulo de troncos analógicos é responsável pela interligação da central Trópico RA a outras centrais telefônicas, a mesas operadoras, a máquinas anunciadoras, etc..

O submódulo de troncos digitais é responsável pela interconexão digital da central Trópico RA a outra central digital. Para a conexão da central Trópico RA com centrais analógicas, normalmente conversores analógico-digital (A-D) ou as interfaces para juntores analógicos são utilizadas.

O submódulo de sinalização multifrequencial e multifrequencial compelida é responsável pelo tratamento da sinalização multifrequencial compelida (MFC) trocada com outras centrais. Esse submódulo pode conter também placas para a detecção de sinalização multifre-

quencial (MF) vinda de aparelhos telefônicos do tipo multifrequencial.

O submódulo de assinantes digitais é responsável pela interligação de assinantes RDSI à central Trópico RA. Essa interligação pode ser feita através de dois tipos de acessos: básico e primário.

O acesso básico ocorre quando o assinante RDSI é ligado à central através de um par de fios, sem repetidores intermediários, permitindo duas chamadas simultâneas. O acesso primário, no máximo 30 para chamadas simultâneas, é usado para interligação com um terminal de rede distante tipo "Private Automatic Branch Exchange (PABX)" digital.

Como já foi mencionado, o módulo de terminais permite a ligação dos terminais da central. Esses terminais são o meio físico que permite a prestação de serviços aos usuários da central. Os módulos de terminais, de acordo com os diversos tipos de terminais e das aplicações típicas mais comuns, podem ser classificados como: módulo de assinantes, módulo de juntores, módulo de equipamento de sinalização, módulo de conexão com a unidade distante, módulo de robô de testes e módulo de alarmes e telecomandos.

Como o módulo de terminais é controlado pela placa processadora CTE, apresenta o software básico para essa placa em todos os tipos de terminais. Além desse software, alguns terminais (assinantes, conexão com a unidade distante, equipamentos de sinalização, juntores e robô) necessitam de canais de voz para oferecerem seus serviços e, portanto, apresentam também o software básico do módulo de terminais com comutação, que é constituído pelo software que controla a comutação e pelo software responsável pelo cálculo da somatória dos erros de fase externos da central em relação à(s) referência(s) de sincronização recebida(s).

O software que controla a comutação no módulo de terminais executa a interface de solicitação de alocação, comutação e atenuação de canais dos usuários externos vinculados ao módulo. Além disso, esse software apresenta a função básica de controle dos canais relativos às duas interfaces intramodulares de voz servidas por um enlace intermodular de voz e ainda fornece a supervisão de falhas das funções de comutação do MT sob o seu controle.

O módulo de assinantes é constituído também pelo software controlador de assinante analógico, denominado CASAN, que é responsável pelo controle do estabelecimento de chamadas de assinantes locais, executando as tarefas de detecção de sinalização de linha (tais como: posição do fone no gancho, recepção de dígitos, controle de tons e controle de corrente de toque), alocação de recursos e tarifação. [CPqD 92].

O módulo de juntores, dependendo do tipo de interconexão (analógica de entrada, analógica de saída ou digital), apresenta, além dos softwares básicos citados, um dos seguintes softwares: controlador dos juntores analógicos de entrada, controlador dos juntores analógicos de saída ou controlador de troncos digitais. Esses softwares são responsáveis pela interligação



da central Trópico RA com outras centrais, por meio de transmissão analógica ou digital.

O módulo de equipamentos de sinalização, dependendo do tipo de terminais de sinalização multifrequencial (módulos de receptor MFC, de receptor MFC e MF-5S, de emissor MFC e de emissor MFC e MF-5S) apresenta, além dos softwares básicos citados, o software que controla os receptores e/ou emissores, estabelecendo a sinalização de registradores entre o receptor da central Trópico RA e o emissor da central distante ou vice-versa. No caso dos módulos receptor e emissor MF de assinante, o software estabelece a sinalização de registradores MF entre o terminal de assinante e o receptor da central.

O módulo de conexão com a unidade distante (UD), além dos softwares básicos citados, apresenta o software de sinalização da central com a unidade distante, que envia as mensagens da central para a unidade distante e recebe as mensagens da unidade distante para a central, e que supervisiona e sinaliza as falhas do enlace PCM ou do processador da unidade distante. Esse módulo apresenta também o software que controla os assinantes da UD, responsável pelo controle do estabelecimento das chamadas dos assinantes da UD, alocando recursos e efetuando a tarifação das chamadas.

O módulo de robô de testes, além dos softwares básicos citados, apresenta o software que controla o robô de testes, responsável pelo controle e supervisão do robô de testes na execução de testes nas linhas de assinantes.

O módulo de alarmes externos e telecomandos, além do software básico do processador CTE, apresenta o software que controla os alarmes externos e telecomandos. Esse software supervisiona os equipamentos externos, através da sinalização do aparecimento e desaparecimento de falhas nesses equipamentos, e aciona as saídas de telecomandos, quando essas são comandadas pelo operador.

### **3.5.4 Módulo e Submódulo de Operação e Manutenção**

O módulo de operação e manutenção (MO) é constituído por um submódulo de operação e manutenção (SMO) e uma unidade de sinalização do processador preferencial (UPPs) para cada plano de sinalização da central (Figura 3.4).

O MO é responsável pela interconexão da estrutura interna da central com o meio externo, no que diz respeito aos periféricos de entrada e de saída utilizados para a supervisão, manutenção e operação da central. É a partir de alguns desses periféricos que a carga ou recarga de programas e de dados de configuração do sistema é realizada.

O MO possui as funções de comunicação homem-máquina (CHM), gerência de operação,

gerência de manutenção e teste, gerência de supervisão, medição e tarifação. Normalmente, os periféricos de memória de massa (unidades de disco magnético rígido tipo winchester, disco magnético flexível e fita magnética tipo cartucho) são associados ao MO.

O submódulo de operação e manutenção é único numa central. As principais funções que estão presentes nesse submódulo são relativas ao controle de inicialização, configuração, comunicação homem-máquina, rastreamento das mensagens, alarmes, agendamento, calendário e gerência de dispositivos de memória de massa. As funções do SMO são consideradas funções não essenciais ao serviço telefônico e, por isso, não são implementadas com redundância no sistema. Essas funções geralmente fazem acesso a dispositivos periféricos disponíveis somente nesse submódulo.

O SMO oferece outras interfaces para periféricos de entrada e saída, tais como, unidades de fita cartucho e unidades de disco rígido e flexível adicionais e várias interfaces seriais síncronas e assíncronas para terminais de vídeo, impressora, teleimpressora e ligações com outros equipamentos que utilizam o protocolo de comunicação X.25.

Como o software do MO possui um tamanho considerável, nem sempre é possível aloca-lo inteiramente num único MO. O restante do software é alocado em um ou mais módulos auxiliares, sem prejudicar o funcionamento da central.

Além do software básico do PP, o MO apresenta vários softwares dos seguintes tipos: controlador (de entrada X.25, de periféricos de entrada e saída, de impressoras, de registros de chamadas, de medições de tráfego, de temporizações e de dados especiais de tráfego), gerenciador (de periféricos, de arquivos de comandos indiretos, de usuários de CHM, de sincronismo, de sinalização, de configuração, de calendário e agenda, de arquivos e memória de massa, de tabelas, de rastreamento de sinais, de alarmes externos e telecomandos, de medições de tráfego, de tarifação, de comutação, de serviços suplementares, de dados de encaminhamento, de sinalização, de juntores, de assinantes, de testes de assinantes e de chamadas de teste), analisador sintático, tradutor de comandos e supervisor de taxaço por multimedicao.

O software gerenciador centralizado de comutação residente no processador PP do MO apresenta as funções de supervisão de todos os MTs e MXs presentes na central e de tratamento de comandos de comunicação homem-máquina (CHM) para interrogação ou alteração de parâmetros da função de comutação. A função de supervisão relaciona-se com a configuração dos módulos, a detecção e a sinalização de falhas de comutação (não localizadas especificamente em nenhum MT ou MX) e com a detecção de falhas relativas a capacidade de carga.

### 3.5.5 Módulo e Submódulo Auxiliar

O módulo auxiliar (MA) é composto por quatro unidades de sinalização do processador preferencial (UPPs) e um submódulo auxiliar (SMA). Essa composição básica do módulo auxiliar é ilustrada na Figura 3.5.

O MA realiza exclusivamente funções de processamento. Nenhum hardware está associado às funções telefônicas tratadas nesse módulo. O acesso do MA ao sistema utiliza as estruturas de sincronismo e de sinalização, não sendo necessário ter acesso à estrutura de voz.

O submódulo auxiliar pode ser configurado para desempenhar as funções relativas ao controle do estabelecimento das chamadas (análise para encaminhamento, definições de rotas e análise quanto à tarifação), relativas à associação de número de lista e número de equipamento, relativas ao controle de dados dos serviços suplementares e relativas à supervisão de alarmes e falhas.

Além das funções citadas, dependendo de aplicações específicas, o SMA pode desempenhar funções associadas às interfaces com memória de massa (por exemplo, para bilhetagem automática), às interfaces com periféricos seriais e, eventualmente, funções de gerência de recursos internos, próprias de operação e manutenção, que não puderem ser carregadas no módulo de operação e manutenção. O MA possui ainda um software que controla a supervisão de alarmes e falhas.

O software residente no módulo auxiliar não tem acesso ao hardware e precisa ter redundância, excetuando-se o software de OMS, residente no módulo auxiliar por falta de espaço no módulo de operação e manutenção. De acordo com o software específico do MA, esse módulo pode ser classificado como: módulo de processamento de chamadas, módulo de agenda e calendário, módulo controlador de serviços suplementares e módulo tradutor de número de lista.

Essa classificação tem propósitos descritivos. Se o processador tiver capacidade suficiente de processamento e de memória, esses módulos podem estar residentes em um único módulo auxiliar, sendo redundante apenas por motivo de confiabilidade. O software básico específico do processador PP está presente em todos os tipos de módulo auxiliar.

O módulo de processamento de chamadas, além do software básico, também é composto de um software que controla o encaminhamento das chamadas na central, analisando os dados de origem da chamada em função da classificação do terminal chamador (assinante comum, telefone público, terminal de teste, restrito DDD ou DDI, etc.) e dos dígitos do



terminal chamado recebidos (número do assinante chamado), determinando o destino físico da chamada e a tarifa a ser aplicada e fornecendo os dados informativos sobre a chamada, utilizados em análises estatísticas da central, que são feitas por software residente no MA.

O módulo de agenda e calendário também apresenta o software responsável pelo controle e pela atualização dos dados relativos ao calendário (tais como, data, hora e feriados) e responsável pelo fornecimento ao sistema, quando solicitado, de informações do calendário. Além disso, apresenta o software responsável pela agenda da central, controlando e atualizando os dados sobre a data e a hora em que uma determinada ação deve ser executada e informando, aos responsáveis pela ação, o momento em que ela deve ser executada.

O módulo controlador de serviços suplementares, além do software básico, apresenta o software responsável pelo fornecimento de dados para o tratamento de chamadas de assinantes que tem serviços suplementares e pelo tratamento dos comandos de programação, cancelamento e verificação, enviados pelo assinante para programar ou cancelar a programação, por exemplo, do serviço suplementar Discagem Abreviada.

O módulo tradutor de número de lista apresenta o software responsável pela tradução do número de lista para o número de equipamento de grupos de milhares de assinantes. Para isso, possui uma tabela de correspondência do número de lista para o número de equipamento. Esse software é utilizado para o encaminhamento de chamadas terminadas na central e é organizado pelos números de lista, agrupados pelo conjunto prefixo e milhar.

### 3.5.6 Módulo e Submódulo de Canal Comum

O módulo de canal comum (MC) é constituído por um submódulo de canal comum (SMC) e quatro unidades de acesso a cada plano da central. O módulo de canal comum é o elemento da central Trópico RA, que propicia a transferência de informações de sinalização entre os diversos nós da rede de telecomunicações (centrais, centros de gerência, centros de operação e manutenção, etc.), quando a sinalização de canal comum é utilizada.

O software de sinalização por canal comum, utilizado pela central através do módulo de canal comum, é aquele definido pela Rede Nacional de Telefonia (RNT), de acordo com o sistema No. 7 do "Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique (CCITT)".

A estrutura funcional do sistema de sinalização No. 7 do CCITT é baseada no modelo de referência "Open Systems Interconnection (OSI)" elaborado pela "International Organization for Standardization (ISO)".

O módulo de canal comum é visto como uma forma de comunicação de dados especializada para vários tipos de transferência de sinais e de informações entre processadores nas redes de telecomunicações.

A sinalização por canal comum é um método de sinalização onde um único canal, normalmente a 64 kbps (kbits por segundo), transporta, através de mensagens de sinalização, a informação relacionada a um conjunto de circuitos ou a outras informações, tais como, as utilizadas para gerência de rede.

O sistema de sinalização utiliza enlaces de sinalização para transferência de mensagens entre centrais ou outros nós na rede de telecomunicações servidas pelo sistema. Diversos recursos são previstos para assegurar uma transferência confiável de informações de sinalização, na presença de perturbações no sistema de transferência ou falhas na rede (por exemplo, detecção e correção de erros em cada enlace de sinalização) [CPqD 86a].

### 3.6 Processamento de Chamadas da Central

O processamento de chamadas da central Trópico RA é efetuado por uma rede de microprocessadores, que controlam os recursos de hardware e de software existentes na central. Esses recursos comunicam-se através da via de sinalização para o estabelecimento de conexões e através da matriz de comutação para a transmissão de voz.

O processamento de chamadas é constituído de funções de atendimento, encaminhamento e estabelecimento de chamadas entre os assinantes da rede telefônica. Essas funções do processamento de chamadas estão diretamente ligadas ao serviço telefônico (funções essenciais) e, por isso, devem ser executadas com a maior rapidez possível.

O comportamento dos assinantes no processamento de chamadas pode ser analisado através dos seguintes tipos de chamadas [CPqD 88a]:

- **Chamada efetiva:** o assinante chamado B é encontrado livre e a chamada é estabelecida, passando por conversação, liberação e tarifação executadas corretamente;
- **Chamada B não responde:** semelhante ao caso efetivo, exceto que o assinante chamado B não atende ao assinante chamador;
- **Chamada não efetiva:** chamada com envio de número incompleto de dígitos ou de um número não existente (NNU);

- **Chamada falsa:** chamada com retirada do fone do gancho e não envio de dígitos à central;
- **Chamada desligamento prematuro (DP):** chamada com interrupção prematura da discagem ou desligamento antes do atendimento de B.

### 3.6.1 Fases do Processamento de Chamadas

Na central Trópico RA, o processamento de uma chamada telefônica é feito pela concatenação de fases bem definidas (fases de pré-seleção, recepção e análise de dígitos, seleção, transmissão de dígitos, conexão, passagem à conversação e supervisão) [CPqD 87].

O controle dessas fases é feito por fluxos de dados, transportados através de mensagens do seguinte modo: um evento externo ativa a primeira tarefa da fase, cuja execução gera uma mensagem que ativa, por sua vez, a próxima tarefa e assim sucessivamente até que a fase seja completada.

Se o evento externo é uma retirada do fone do gancho, a fase iniciada é a pré-seleção, que termina quando ocorre o envio do tom de discar para o assinante chamador. Além da retirada do fone do gancho, a fase de pré-seleção incorpora a busca de canal de voz intramodular livre no módulo de terminais do chamador, a busca do gerador de tom de discar e conexão do mesmo e a espera pela alocação do registrador localizado no módulo auxiliar do processamento de chamadas.

A fase de recepção e análise de dígitos inicia com o envio do tom de discar e termina com a recepção de todos os dígitos discados. A próxima fase é a seleção (de assinante ou de tronco), que inclui a busca de canal livre para o assinante chamado, assim como o tempo de espera de disponibilidade dos meios necessários. Depois dessa fase, passa-se à fase de transmissão dos dígitos e dados (categoria e discriminação) do assinante chamado [CPqD 86b].

Em seguida, a comutação entre os lados chamador e chamado é realizada (fase de conexão): A próxima fase é a passagem à conversação, com o início da tarifação e o envio de corrente de toque para o chamado e do tom de controle de chamada para o chamador. A fase de supervisão incorpora os procedimentos de monitoração da chamada durante a conversação dos usuários. Essa fase termina com o desligamento dos dois usuários, o que também corresponde ao término da chamada.

Todas as tarefas que compõem essas fases são realizadas pelos processadores. Quando uma tarefa é ativada, entra numa fila (conforme a prioridade da tarefa), junto com todas as outras tarefas já ativadas, e espera a sua execução pelo processador. Quando chega a sua

vez, essa tarefa pode ser executada até o final sem interrupção ou pode haver interrupção, salvando-se o contexto e retomando-se a execução mais tarde.

A disciplina da fila de tarefas ativadas em cada processador é do tipo **Primeira a Entrar, Primeira a ser Servida** (tipo PEPS).

Quando duas tarefas consecutivas numa fase são executadas por um mesmo processador, a segunda é ativada imediatamente após o término da execução da primeira. Nesse caso o tempo de transmissão de mensagens é nulo. Por outro lado, se duas tarefas são executadas por processadores diferentes, deve ser utilizada a via de sinalização e um certo tempo é requerido para a transmissão da mensagem.

### 3.6.2 Características do Processamento de Chamadas

Como já foi mencionado, a central Trópico RA foi estruturada em módulos. Os seguintes módulos participam do processamento de chamadas: o módulo de terminais, o módulo auxiliar, o módulo de comutação e o módulo de sinalização e sincronismo (Figura 3.11).

As principais funções desses módulos, que estão relacionadas com o processamento de chamadas da central, são descritas abaixo [CPqD 92].

O módulo de terminais é responsável pelo envio de tons (tom de discar, tom de ocupado, tom de número inexistente, etc.) e corrente de toque aos assinantes chamador ou chamado, pelo envio dos sinais de tarifação da chamada e pelo envio do número do assinante chamado e classificação do assinante chamador (categoria e discriminações básicas) para o registrador.

Esse módulo é responsável ainda pela detecção dos sinais de linha, enviados pelos assinantes (por exemplo: fone fora do gancho, dígitos discados e fone no gancho), pela solicitação de alocação de registrador, que controla o processamento da chamada e pela criação e classificação de terminais de assinantes através de comunicação homem-máquina (CHM).

No caso de chamadas de saída para outras centrais, o módulo de terminais também é responsável pela seleção de rotas e de junções, pelo controle da sinalização entre as centrais, pela solicitação de alocação de órgãos auxiliares para a sinalização MFC (enviador e receptor) e pela criação e classificação de terminais de junções através de CHM.

O processamento de chamadas é realizado no módulo auxiliar e, funcionalmente, é dividido em dois blocos: um que trata do processamento de chamadas propriamente dito e o outro dos serviços suplementares fornecidos pela central.

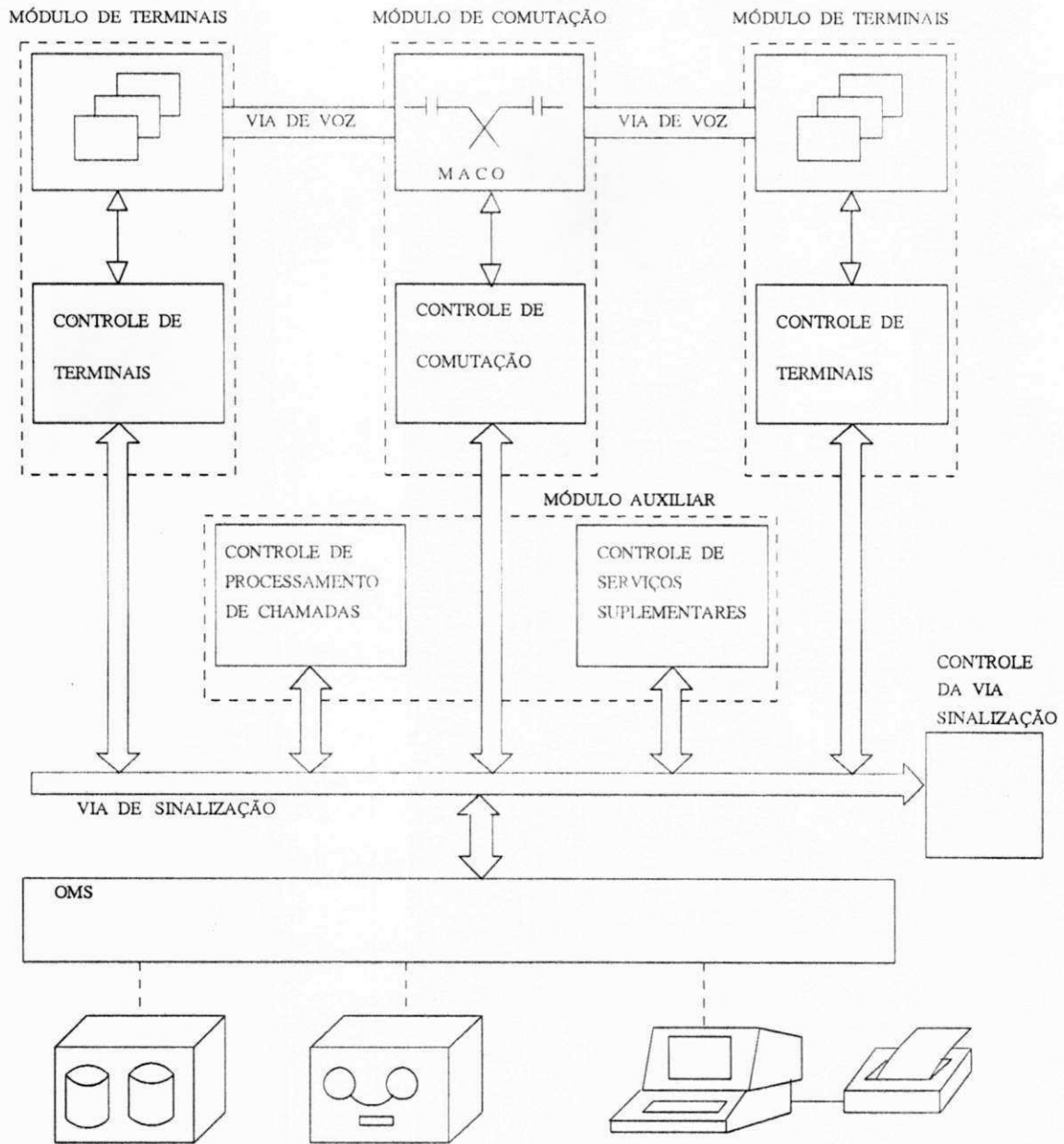


Figura 3.11: Módulos Envolvidos no Processamento de Chamadas da Central Trópico RA



O bloco que trata do processamento de chamadas, denominado registrador, é responsável pelas seguintes funções:

- análise dos primeiros algarismos do número chamado, a fim de decidir se a chamada é para assinante da central, para assinante de outra central ou se é chamada de serviço suplementar;
- análise dos últimos dígitos do número chamado, em chamadas terminadas na central, para localizar o endereço interno do terminal chamado;
- seleção do terminal chamado e análise do fim de seleção ou fim do endereçamento;
- análise da classificação do chamador, em tráfego originado na central, para decidir se a chamada pode ser encaminhada ao destino;
- análise da classificação do chamado, em tráfego terminado na central, para decidir características do processamento da chamada (por exemplo: tarifação reversa, duplo atendimento, terminal não recebe chamadas, etc.);
- análise, em tráfego terminado na central, da categoria do chamador e da classificação do chamado, para decidir se são compatíveis (por exemplo: terminal que só recebe chamada com a categoria de teste ou de telefonista).

No caso de chamadas de saída para outras centrais, esse bloco é responsável também pela seleção da rota de saída para a chamada, pela seleção do controlador de junções (tronco digital) com junção livre para a chamada e pelo reencaminhamento de chamadas malsucedidas para ponto de interceptação.

Quando a central analisa, em chamada terminada, a categoria do chamador, ela pode bloquear o acesso a determinados dispositivos, de acordo com o interesse da empresa operadora. Por exemplo, as chamadas a cobrar, originadas em mesas operadoras, devem ser negadas quando destinadas a telefone público comunitário [CPqD 87].

A solicitação dos dígitos (primeiros ou últimos) pela central, em chamadas terminadas, tem a finalidade de localização do assinante chamado dentro da configuração de numeração particular da central.

**Em chamadas terminadas ou intracentral a central analisa até o último dígito do assinante chamado para permitir a sua localização.** Os dígitos correspondentes ao prefixo da central identificam se a chamada é terminada na central. Em chamadas de trânsito ocorre uma solicitação à central de origem, no momento adequado, do envio do primeiro dígito destinado

à próxima central. Em chamadas originadas por assinantes da central, ocorre o envio dos dígitos a qualquer momento durante o encaminhamento da chamada.

A análise da classificação do assinante chamador, em chamadas originadas, é efetuada pela central para bloquear chamadas nas direções em que o assinante, pela sua classificação, não pode atingir.

A central Trópico RA oferece todos os serviços suplementares utilizados internacionalmente, ampliando a faixa de utilização do serviço telefônico [CPqD 88c].

Os seguintes serviços suplementares são oferecidos: Discagem Abreviada, Linha Direta, Linha Executiva, Não Pertube, Transferência Automática para Telefonista, Transferência Temporária, Transferência Automática em Caso de Ocupado, Transferência Automática em Caso de Não Responde, Prioridade, Registro Detalhado de Chamadas Originadas, Consulta, Consulta/Transferência, Conferência, Despertador Automático, Bloqueio de Chamadas Originadas, Bloqueio Controlado de Chamadas Originadas e Chamada em Espera.

A estrutura utilizada na concepção do processamento de serviços suplementares não aumenta o processamento de chamadas, permitindo que a capacidade de escoamento de tráfego não seja afetada por esses serviços adicionais.

O bloco que trata dos serviços suplementares é responsável pelas seguintes funções:

- análise dos comandos de programação, cancelamento e verificação do assinante e do operador;
- armazenamento das discriminações do assinante quanto a serviços suplementares;
- armazenamento do endereço do novo destino utilizado em serviços de transferência automática;
- armazenamento do endereço completo do destino a ser utilizado nos serviços de endereçamento abreviado;
- análise da compatibilidade de um novo serviço do assinante, frente aos serviços já atribuídos;
- análise do novo destino, na programação de serviços de transferência automática, para verificar se atende ou não às restrições de encaminhamento do assinante e para verificar se atende às restrições de encaminhamento definidas pela concessionária para cada serviço de transferência automática.



O módulo de comutação é responsável pela seleção, alocação, comutação e descomutação de canais nos enlaces internos, pelo controle da matriz de comutação (MACO), pela inserção ou supressão da atenuação nos canais de voz, através de comunicação homem-máquina (CHM), e pela supervisão de falhas nos módulos de comutação.

O módulo de sinalização e sincronismo é responsável pelo estabelecimento da conexão, para a troca de mensagens entre os vários processadores dos módulos citados anteriormente.

O processamento de chamadas incorpora ou utiliza (no caso de operação, manutenção e supervisão das funções da central) uma grande parte dos recursos de software desenvolvidos para a central. A utilização de técnicas de descrição formal (TDFs) no desenvolvimento de softwares, visa à produção de especificações claras, concisas e sem ambigüidades, garantindo implementações eficientes e de fácil manutenção. O CPqD da TELEBRÁS utilizou a TDF SDL sincronizada para a especificação formal do processamento de chamadas da central Trópico R e da central Trópico RA.

Características específicas da central Trópico RA, tais como, a alocação dinâmica de registradores para cada ligação telefônica, e a divisão funcional da central através dos conceitos de módulos e de submódulos, separados e independentes de implementação, contribuíram para a escolha dessa central como exemplo real para este trabalho. Isso possibilitou a utilização dos conceitos de alocação dinâmica, abstração e modularidade presentes em Estelle.

O processamento de chamadas foi a parte da central Trópico RA escolhida para ser especificada formalmente em Estelle. A possibilidade de aproveitar os conceitos comuns, existentes entre a descrição dos protocolos e serviços de comunicação de dados (facilmente representados em Estelle) e a descrição da comunicação entre os usuários das centrais telefônicas, foi um dos motivos para a escolha do bloco de processamento de chamadas, que trata exatamente dessa comunicação (atendimento, encaminhamento e estabelecimento de chamadas).

Todos os módulos, que estão diretamente envolvidos no processamento de chamadas da central Trópico RA, são descritos na especificação formal. Durante o mapeamento dos módulos, submódulos, interfaces e sinais (definidos na central) nos conceitos arquitetônicos de Estelle, algumas variáveis, alguns sinais e alguns procedimentos foram acrescentados ao modelo formal proposto. Certos detalhes das funções dos módulos são irrelevantes para atingir o objetivo deste trabalho e, por isso, não foram considerados. O capítulo 5 apresenta a especificação formal em Estelle desse modelo.

As construções básicas da TDF Estelle, utilizadas na especificação de sistemas de telefonia, são descritas no capítulo 4. Os exemplos são ilustrados através de trechos da especificação do sistema de telefonia simplificado proposto em [Lope 91].

## Capítulo 4

# Utilização de Estelle em Sistemas de Telefonia

“**Extended State Transition Language (Estelle)**” é uma **Técnica de Descrição Formal (TDF)** desenvolvida pela “**International Organization for Standardization (ISO)**” para a especificação de sistemas distribuídos e de protocolos de comunicação. Entretanto, os conceitos e construções dessa TDF são bastante gerais, possibilitando a sua utilização em outros tipos de sistemas de comunicação, tais como, os sistemas de telefonia.

## 4.1 A Linguagem Estelle

“Extended State Transition Language (Estelle)” é uma Técnica de Descrição Formal (TDF) desenvolvida pelo ISO TC97/SC21/WG1/Subgrupo B da “International Organization for Standardization (ISO)” [ISO 88a].

Os trabalhos foram iniciados em 1981 e a versão final de Estelle foi concluída em fins de 1988. O desenvolvimento de uma TDF para a especificação de sistemas distribuídos, protocolos de comunicação e, em particular, os padrões relativos ao modelo de referência “Open Systems Interconnection” (OSI) [ISO 83a] foi o objetivo desse subgrupo.

Estelle é baseada numa Máquina de Estados Finita Estendida (MEFE), que combina dois tipos de notação: os conceitos de estados, interações e transições contidos na Máquina de Estados Finita (MEF) e os conceitos de variáveis, parâmetros e prioridades contidos na linguagem Pascal [ISO 83b].

Para maiores informações sobre Estelle, além do “International Standard (IS)” dessa linguagem [ISO 88a], sugere-se uma consulta a [Lope 89].

## 4.2 Arquitetura de Sistemas de Telefonia em Estelle

Em Estelle, a arquitetura de um sistema é descrita através de uma hierarquia de módulos, (*module*) cuja raiz, que corresponde ao nível mais alto de abstração da especificação, é o módulo *specification*.

Cada módulo é representado por uma caixa preta com pontos de interação<sup>1</sup> (entrada/saída). Esses pontos de interação, podem ser conectados (*connect*) através de canais (*channel*) de comunicação bidirecional.

A arquitetura de um sistema de telefonia simplificado, no nível mais alto de abstração, pode ser representada através de um conjunto de vários módulos *Usuario* e um módulo *Central* (Figura 4.1).

Um módulo pode ser refinado em submódulos, definindo um parentesco entre os componentes da especificação. Os submódulos podem ser conectados através de canais internos e os pontos de interação dos submódulos filhos podem ser vinculados (*attach*) aos pontos de interação do módulo pai. Por exemplo, o módulo *Central* (Figura 4.1) pode ser refinado em

---

<sup>1</sup>em inglês, *interaction points (ips)*

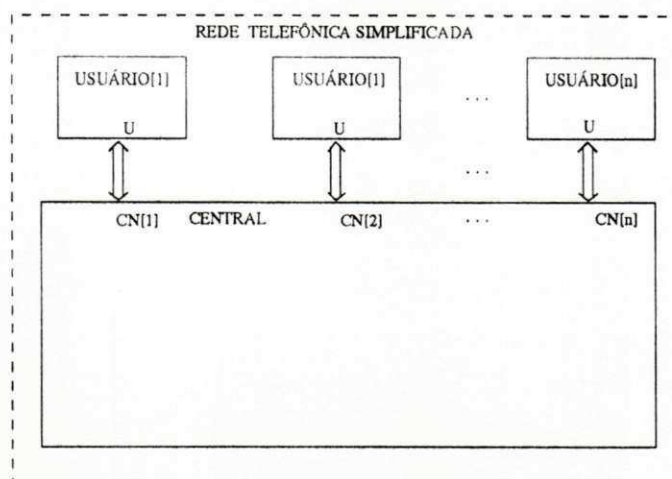


Figura 4.1: Arquitetura Abstrata do Sistema de Telefonia Simplificado  
vários módulos Conexão e um módulo Verificador (Figura 4.2). Cada módulo Conexão, por sua vez, pode ser refinado nos módulos Chamador, Chamado e Controlador (Figura 4.3).

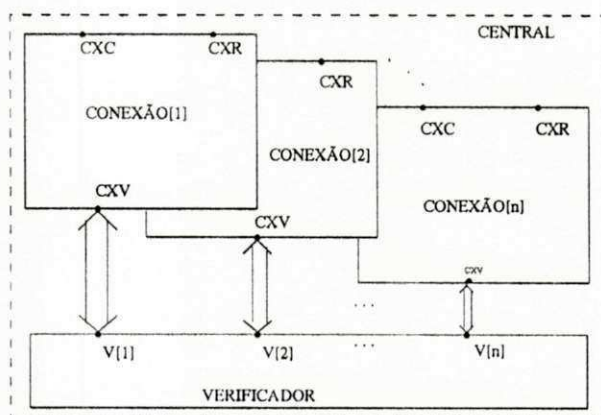


Figura 4.2: Refinamento do Módulo Central

O refinamento dos módulos em submódulos define uma estrutura hierárquica. Essa estrutura determina a prioridade de execução dos módulos (um módulo pai tem prioridade sobre os seus filhos). A árvore genealógica, contendo todos os refinamentos do sistema de telefonia simplificado, é ilustrada na Figura 4.4.

A arquitetura do sistema de telefonia simplificado, com seus vários níveis de abstração e contendo todos os refinamentos efetuados, é apresentada na Figura 4.5.

Uma especificação Estelle descreve, além da forma de aninhamento dos módulos (estrutura da especificação), como os módulos devem ser inicializados e o comportamento interno de cada um deles. O comportamento interno dos módulos é descrito através de transições. Um módulo pode ser ativo (com transições) ou inativo (sem transições). Módulos inativos

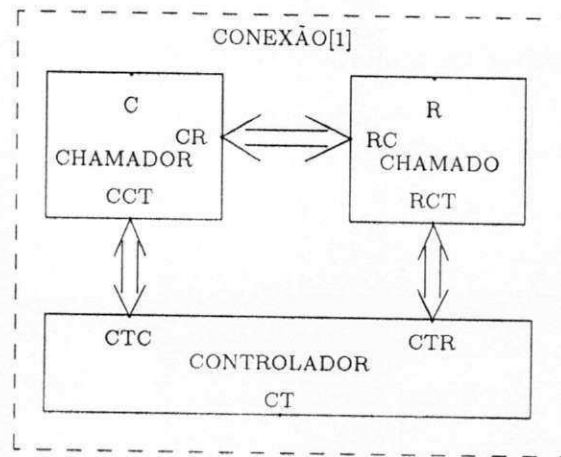


Figura 4.3: Refinamento do Módulo Conexão

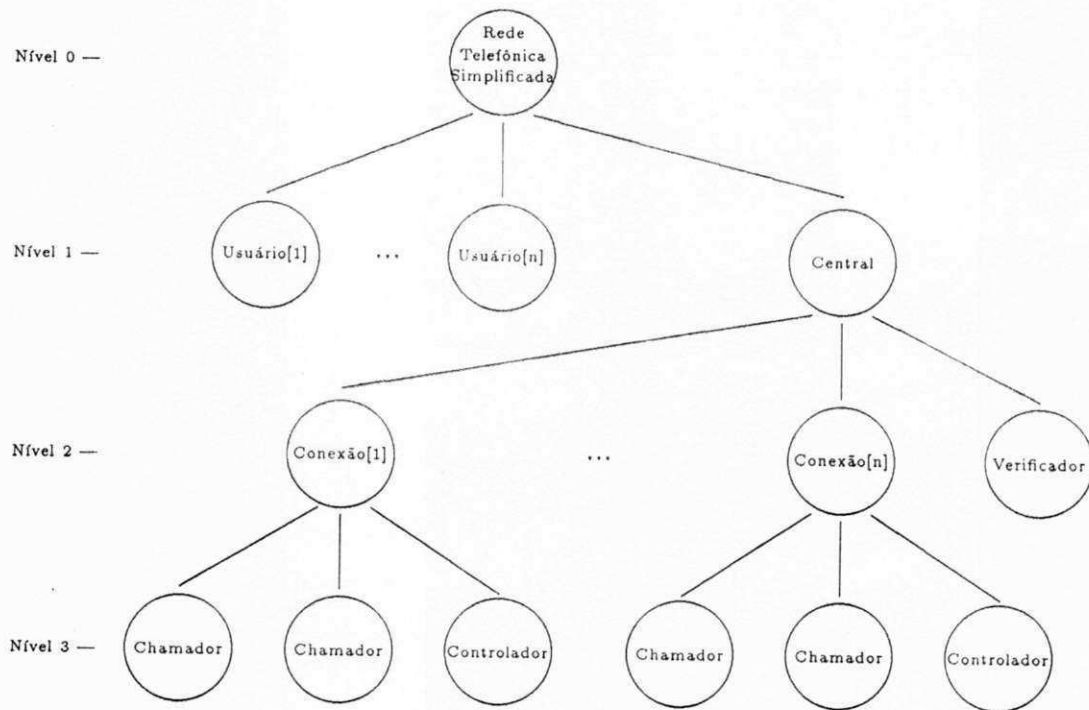


Figura 4.4: Árvore Genealógica do Sistema de Telefonia Simplificado



auxiliam na estruturação de uma especificação.

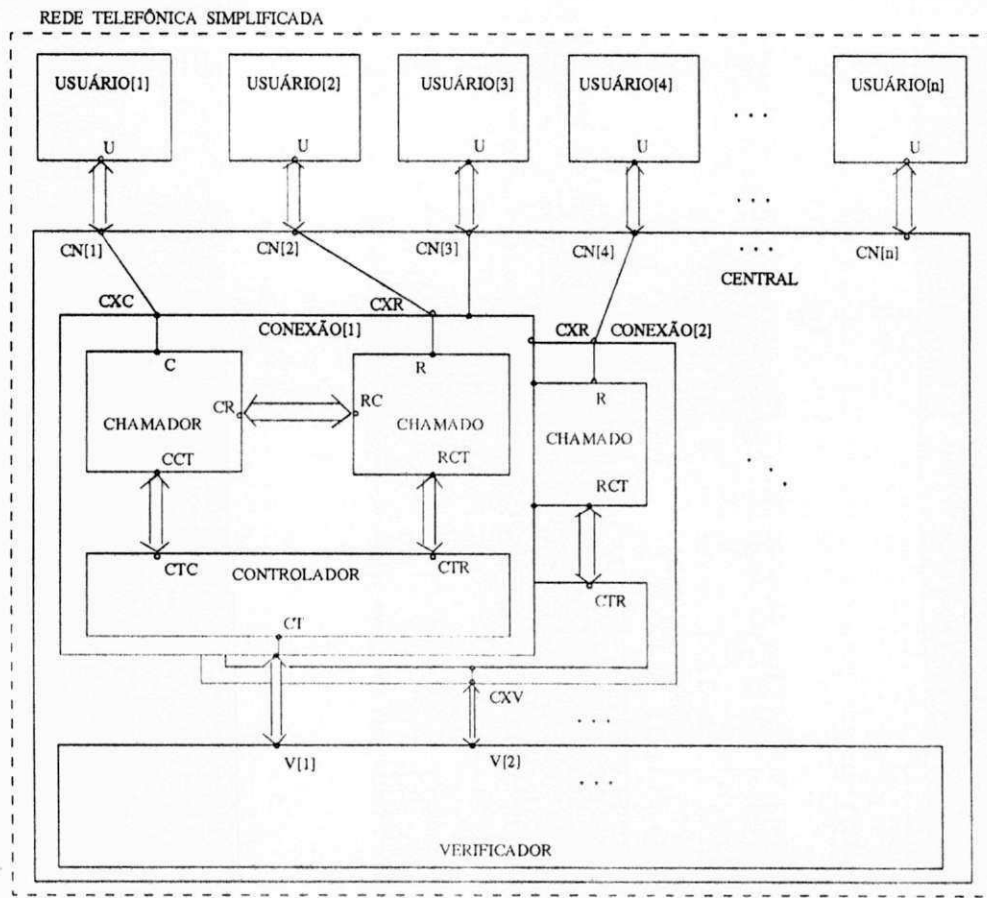


Figura 4.5: Arquitetura do Sistema de Telefonia Simplificado

Cada módulo pode (ou não) possuir um dos seguintes atributos: *systemprocess*, *systemactivity*, *process* ou *activity*. Na definição do atributo de um módulo devem ser levados em consideração a estruturação da especificação e o tipo de paralelismo desejado para a execução dos módulos: síncrono, assíncrono ou não paralelismo. As regras que definem as atribuições dos módulos são as seguintes:

- todo módulo ativo deve possuir um atributo;
- subsistemas (módulos *systemprocess* ou *systemactivity*) não são aninhados no interior de um módulo com atributo;
- módulos que incorporam subsistemas são todos inativos e sem atributos;
- módulos *process* e *activity* são aninhados no interior de um subsistema;



- módulos *systemprocess* e *process* podem ser refinados somente em módulos *process* e *activity*;
- módulos *systemactivity* e *activity* podem ser refinados somente em módulos *activity*.

Transições de módulos definidos com atributos *systemactivity* ou *systemprocess* são executadas em paralelo assincronamente. Cada módulo elege e mantém um conjunto de transições (suas e de seus descendentes) em execução e esses conjuntos evoluem independentemente. No interior de um módulo, as transições do módulo pai têm preferência para execução em relação às transições de seus descendentes.

Módulos definidos no interior de um módulo *systemprocess*, tem suas transições executadas em paralelo sincronamente, quer eles sejam *activity* ou *process*. As execuções dessas transições são iniciadas ao mesmo tempo e todas devem terminar antes que um novo conjunto possa ser eleito para execução.

Módulos definidos no interior de um módulo *systemactivity* devem ser necessariamente *activity* e suas transições não são executadas em paralelo. A cada instante uma única transição é eleita e mantida em execução.

### 4.3 Construções Estelle Aplicadas a Sistemas de Telefonia

Um módulo pode enviar uma primitiva de comunicação (por um de seus pontos de interação) a um outro módulo, desde que ambos estejam conectados através do mesmo canal. O canal é uma construção que permite desvincular a especificação das primitivas da especificação dos módulos. Um exemplo da especificação de um canal é apresentado na Figura 4.6. Esse canal conecta os módulos *Usuario* e *Central* (Figura 4.1).

A especificação do canal *Acesso\_Usuario* indica que os módulos, a serem conectados (através de seus pontos de interação) às extremidades desse canal, desempenharão os papéis *USR* e *CEN*. O módulo que desempenhar o papel *USR* pode emitir as primitivas definidas em *USR* e deve receber as primitivas definidas em *CEN*. O contrário deve ocorrer com o módulo que desempenhar o papel *CEN*. As primitivas podem possuir parâmetros, que são as informações passadas de um módulo para o outro, ou podem representar por si mesmas essas informações.

```
01 CHANNEL Acesso_Usuario(USR, CEN);
02   BY USR:
03     RetiraFoneDoGancho;
04     RepoeFoneNoGancho;
05     DiscagemDoNumeroChamado (numero: tipo_numero);
06     EnviaVoz (voz: tipo_voz);
07   BY CEN:
08     CorrenteDeToque;
09     TomDeControleDeChamada;
10     TomDeDiscar;
11     AtendeChamada;
12     TomDeOcupado;
13     RecebeVoz (voz: tipo_voz);
14     ParaCorrenteDeToque;
```

Figura 4.6: Canal Definido na *Specification*

No canal *Acesso\_Conversacao* (Figura 4.7) os módulos *Chamador* e *Chamado* (Figura 4.3) desempenharão os papéis *CHDOR* e *CHDO* respectivamente, emitindo e recebendo as mesmas primitivas.

```
01 CHANNEL Acesso_Conversacao(CHDOR, CHDO);
02   BY CHDOR, CHDO:
03     EnviaVoz (voz: tipo_voz);
04     RecebeVoz (Voz: tipo_voz);
```

Figura 4.7: Canal Definido no Módulo *Conexao*

Uma primitiva, ao ser recebida por um módulo (através de um de seus pontos de interação), é anexada a uma fila do tipo FIFO<sup>2</sup>. Uma fila FIFO pode estar associada a um único ponto de interação (*individual queue*) ou a um conjunto de pontos de interação (*common queue*).

Além dos pontos de interação, existe outro mecanismo de comunicação entre os módulos, que são as variáveis exportadas de um módulo filho para o seu pai. O acesso simultâneo a essas variáveis é protegido pela prioridade de execução do módulo pai, que é sempre maior do que a de seus descendentes.

A especificação de um módulo é constituída de duas partes: o cabeçalho e o corpo. No cabeçalho de um módulo, que representa o nível mais alto de abstração desse módulo, são descritos os pontos de interação externos e o conjunto de variáveis exportadas (*exported*) pelo módulo [Budk 87]. Esse cabeçalho define um tipo módulo. As variáveis de um tipo

---

<sup>2</sup>*First in First Out*

módulo representam cópias desse tipo e todas possuem a mesma visibilidade externa. Os cabeçalhos dos módulos *Usuario* e *Central* (Figura 4.1) são apresentados na Figura 4.8.

```
01 MODULE Tipo_Usuario SYSTEMPROCESS;
02 {           USUARIO           }
03   IP U: Acesso_Usuario(USR) INDIVIDUAL QUEUE;
04 END { Tipo_Usuario };

01 MODULE Tipo_Central SYSTEMPROCESS;
02 {           CENTRAL           }
03   IP CN: ARRAY [1..maxusuario] OF Acesso_Usuario(CEN) INDIVIDUAL QUEUE;
04 END { Tipo_Central };
```

Figura 4.8: Cabeçalhos dos Módulos *Usuario* e *Central*

Na especificação acima são definidas as interações dos módulos *Usuario* e *Central*, vinculando-se os seus pontos de interação ao canal *Acesso\_Usuario* (esses módulos não possuem variáveis exportadas). Cada um deles troca as primitivas definidas no canal *Acesso\_Usuario*, desempenhando papéis diferentes (*USR* e *CEN*, respectivamente) em relação a esse canal (o que indica a direção das interações). A declaração *array*, contida no cabeçalho do módulo *Central*, indica a existência de vários pontos de interação *CN* do tipo *Acesso\_Usuario* (*CEN*).

Para cada cabeçalho de módulo definido pelo menos um corpo deve ser declarado. Essa declaração pode fazer parte da própria especificação ou pode estar contida em outra especificação (*external*). Na Figura 4.9 é apresentado um esquema do corpo do módulo *Usuario*.

```
01 BODY Corpo_Usuario FOR Tipo_Usuario;
02   { definicao do corpo }
03 END { Corpo_Usuario };
```

Figura 4.9: Esquema do Corpo do Módulo *Usuario*

A definição do corpo de um módulo pode conter três partes: declarações, inicializações e transições.

A parte de declarações pode conter a especificação de objetos a serem manipulados (constantes, tipos, variáveis, funções, procedimentos, estados de controle, conjuntos de estados, canais, pontos de interação internos), de submódulos (cabeçalhos e corpos) e de variáveis do tipo módulo (*modvar*), que são cópias inativas dos submódulos especificados. Os pontos de interação internos podem ser utilizados pelos módulos para a comunicação com o seu próprio ambiente interno (pontos de interação conectados dentro do módulo) ou para a comunicação dos filhos com o ambiente interno do módulo pai (pontos de interação externos dos módulos filhos conectados aos pontos de interação internos do módulo pai).

As Figuras 4.10 e 4.11 apresentam as funções (*functions*) definidas na parte de declarações do módulo *Usuario* e do módulo *Central* respectivamente. A função *FeitaDiscagem*, quando verdadeira, indica que o número do assinante chamado foi discado pelo chamador. A função *ConexaoLivre* procura alguma conexão livre para o estabelecimento da chamada.

```
01 FUNCTION FeitaDiscagem: boolean;
02 BEGIN
03   If NumeroDiscado = 0
04     then FeitaDiscagem := FALSE
05     else FeitaDiscagem := TRUE;
06 END;
```

Figura 4.10: Função *FeitaDiscagem* Definida no Módulo *Usuario*

```
01 FUNCTION ConexaoLivre: Integer;
02 VAR
03   i: Integer { Volta o numero da primeira }
04   { conexao livre que a central }
05   { encontrar }
06 BEGIN
07   i := 1;
08   WHILE (i <= maxusuario) and (conexoes_livres[i] = False) DO
09     i := i + 1;
10   ConexaoLivre := i;
11 END { ConexaoLivre };
```

Figura 4.11: Função *ConexaoLivre* Definida no Módulo *Central*

A parte de inicializações pode conter as inicializações do estado de controle e das variáveis adicionais (Pascal), a criação das instâncias dos submódulos e o estabelecimento dos *links* de comunicação.

A criação das instâncias dos submódulos é realizada inicializando-se (*init*) as cópias dos submódulos com os seus respectivos corpos. O estabelecimento dos *links* de comunicação é realizado conectando-se (*connect*) os pontos de interação através de canais e, quando for o caso, vinculando-se (*attach*) os pontos de interação entre os módulos pai e seus respectivos filhos.

A criação das instâncias dos submódulos, bem como o estabelecimento dos *links* de comunicação, podem ser realizados estaticamente ou dinamicamente. O primeiro caso ocorre na parte de inicializações do módulo pai e o segundo caso na parte relativa às transições desse módulo. Por exemplo, uma instância de *Central* cria, estaticamente, uma instância do módulo *Verificador* (Figura 4.12) e pode criar, dinamicamente, várias instâncias do módulo *Conexao* (Figura 4.13).

```

01 INITIALIZE
02     TO Ativo
03     BEGIN
04         INIT Verificador WITH Corpo_Verificador;
05         ALL i: 1..maxusuario DO
06             conexoes_livres[i] := True
07     END;

```

Figura 4.12: Criação do Módulo Verificador

```

01 TRANS
02     FROM Ativo
03     TO SAME
04     ANY i: 1..maxusuario DO
05         WHEN CN[i].RetiraFoneDoGancho { Chamador retira o fone do gancho }
06         BEGIN
07             j := ConexaoLivre;
08             IF j <= maxusuario THEN
09                 BEGIN
10                     INIT Conexao[j] WITH Corpo_Conexao;
11                     CONNECT Conexao[j].CXV TO Verificador.V[j];
12                     ATTACH CN[i] TO Conexao[j].CXC;
13                     Conexao[j].numero_chamador := i;
14                     Conexao[j].enderecar_chamador := True;
15                     conexoes_livres[j] := False;
16                 END;
17             END;

```

Figura 4.13: Criação do Módulo Conexao

O comportamento interno de um módulo é descrito através de um conjunto de transições. Cada transição é constituída de duas partes: condições e ações. As condições são formadas com as cláusulas *priority*, *when*, *provided*, *from* e *delay* e as ações são formadas com as cláusulas *to*, com declarações Pascal, com extensões (*output*, *init*, *release*, *attach*, *detach*, *connect*, *disconnect*, *all*, *forone* e *exist*) e com restrições (por exemplo, as declarações *read* e *write* não podem ser utilizadas).

A cláusula *from* de uma transição está satisfeita se o estado vigente dessa transição é o estado contido nessa cláusula, uma cláusula *when* está satisfeita se a primitiva contida nessa cláusula está na frente da fila FIFO associada ao ponto de interação. Já a cláusula *provided* de uma transição está satisfeita se a expressão booleana contida nessa cláusula é verdadeira [Budk 87].

Em Estelle o tempo de execução das transições é indefinido; dependendo da implementação. A presença da cláusula *delay* na especificação de uma transição retarda a sua execução. Dois valores (mínimo e máximo) de atraso podem ser associados à cláusula *delay*.



Uma transição, que não possui a cláusula *delay*, estará habilitada se as cláusulas: *from*, *when* e *provided* estiverem satisfeitas. Se a transição possui a cláusula *delay* ( $t_1, t_2$ ), onde  $t_1$  e  $t_2$  representam respectivamente os atrasos mínimo e máximo permitidos, a sua habilitação estará retardada por  $t_1$  unidades de tempo. Um processo independente deve gerenciar esses atrasos.

Uma transição será disparada se, e somente se, estiver habilitada e possuir a prioridade mais alta entre as transições habilitadas. Uma transição retardada (com cláusula *delay*) será disparada se, e somente se, além das características anteriores, estiver habilitada durante a unidade de tempo  $t_n$ , sendo que  $t_1 < t_n < t_2$ .

A descrição das transições pode ser realizada em dois estilos: orientada para o autômato, onde as cláusulas são declaradas para cada transição e a ordem de suas declarações é irrelevante, e estruturada, onde as cláusulas são aninhadas e herdadas de transições anteriores.

As transições que não possuem a cláusula *when* são espontâneas. A Figura 4.14 apresenta um exemplo de transição espontânea: quando o módulo **Usuario** estiver no estado **Inativo** e a variável **ForaGancho** for verdadeira, ele mudará para o estado **Chamador** e enviará, através do ponto de interação **U**, a primitiva **RetiraFoneDoGancho** ao módulo **Central**.

```
01 FROM Inativo
02     TO Chamador
03     PROVIDED ForaGancho
04         BEGIN OUTPUT U.RetiraFoneDoGancho END;
```

Figura 4.14: Transição Espontânea do Módulo **Usuario**

Na especificação do sistema de telefonia simplificado, se o número discado estiver livre, as primitivas **CorrenteDeToque** e **TomDeControleDeChamada** serão enviadas ao módulo **Usuario** chamador e ao módulo **Usuario** chamado respectivamente. Caso não haja um atendimento por parte do chamado, durante um certo intervalo de tempo, as primitivas **ParaCorrenteDeToque** e **TomDeOcupado** serão enviadas aos módulos **Chamador** e **Chamado** respectivamente. Todo esse comportamento é descrito por duas transições espontâneas, sendo que a segunda contém uma cláusula *delay* que permite modelar esse intervalo de espera (Figura 4.15).



```

01 FROM Verificacao
02     TO Chamando
03     PROVIDED enviar_corrente_de_toque
04     BEGIN
05         OUTPUT CTC.TomDeControleDeChamada;
06         OUTPUT CTR.CorrenteDeToque;
07         enviar_corrente_de_toque := False
08     END;
09 FROM Chamando
10     TO Desconexao
11     DELAY (tcham)
12     BEGIN
13         OUTPUT CTC.TomDeOcupado;
14         OUTPUT CTR.ParaCorrenteDeToque
15     END;

```

Figura 4.15: Transições Espontâneas do Módulo Controlador

Além da criação dinâmica, as instâncias dos módulos filhos podem ser destruídas dinamicamente pelo pai ou por um outro ancestral na parte de transições desses módulos.

Na especificação do sistema de telefonia simplificado, para que a Central possa destruir uma instância de *Conexao*, é necessário que a Central tenha acesso a informações relativas a essa instância. Essas informações podem ser obtidas através de variáveis exportadas pelas instâncias de *Conexao* (filhas) à Central (pai), que passa a ter o direito de ler/escrever nessas variáveis. A declaração de variáveis exportadas (cabeçalho do módulo *Conexao*) é apresentada na Figura 4.16.

```

01 MODULE Tipo_Conexao PROCESS;
02     {          CONEXAO          }
03     IP CXC, CXR: Acesso_Usuario(CEN) INDIVIDUAL QUEUE;
04     CXV: Acesso_Verificador(CONEX) INDIVIDUAL QUEUE;
05     EXPORT
06     ligar_pontos, desativar_conexao, enderecar_chamador,
07     chamador_desliga, chamado_desliga: Boolean;
08     numero_chamador, numero_chamado: tipo_numero;
09     END { Tipo_Conexao };

```

Figura 4.16: Cabeçalho do Módulo Conexao

A transição do módulo Central (pai) que destrói as instâncias de *Conexao* (filhas) é apresentada na Figura 4.17.

```
01 ANY i: 1..maxusuario DO { Liberando a Conexao }
02     PROVIDED Conexao[i].desativar_conexao
03     BEGIN
04         Conexao[i].desativar_conexao := False;
05         RELEASE Conexao[i];
06         conexoes_livres[i] := True
07     END;
```

Figura 4.17: Destruição Dinâmica do Módulo Conexao

A especificação formal de um sistema de telefonia simplificado, apresentada neste capítulo, foi utilizada em [Lope 91] para investigar que a TDF Estelle também é apropriada para a descrição de tais sistemas. Embora esse sistema seja um modelo simplificado dos sistemas de telefonia existentes, os serviços mais importantes, necessários para o estabelecimento de uma chamada telefônica, foram considerados.

Os sistemas de telefonia existentes são bem mais complexos do que o sistema de telefonia descrito em [Lope 91]. Para investigar a adequação de Estelle para a especificação de sistemas de telefonia reais, considerou-se o processamento de chamadas da central Trópico RA, desenvolvida pelo CPqD da TELEBRÁS. A especificação formal do processamento de chamadas da central Trópico RA é apresentada, de forma detalhada, no capítulo 5.

## Capítulo 5

# Especificação do Processamento de Chamadas

O processamento de chamadas da central Trópico RA foi escolhido para investigar a possibilidade de utilização da Técnica de Descrição Formal (TDF) “**Extended State Transition Language**” (Estelle) em sistemas de telefonia reais. Apenas os serviços mais importantes do processamento de chamadas são especificados, certos detalhes são considerados irrelevantes para atingir o objetivo deste trabalho.

## 5.1 Descrição Informal do Processamento de Chamadas

Para a especificação formal em Estelle do processamento de chamadas da central Trópico RA foram considerados os principais tipos de chamadas bem-sucedidas e malsucedidas citados no capítulo 3.

O processamento de uma chamada na central Trópico RA é descrito através de uma sequência de sinais [CPqD 88a]. Esses sinais foram considerados na especificação formal e são apresentados de forma detalhada, a seguir, durante a descrição dos diversos tipos de chamadas especificadas.

Informalmente, o processamento de chamadas entre dois assinantes da central especificada é descrito através dos seguintes tipos de chamadas:

- **Chamada interna bem-sucedida com o assinante A desligando:**

O módulo de terminais detecta o fone fora do gancho do assinante A (sinal RetiraFone-DoGancho) e um módulo do tipo chamador é criado para esse assinante (criação dinâmica).

O chamador solicita ao módulo auxiliar a alocação de um registrador (sinal SOALRE) para essa chamada. O primeiro registrador encontrado livre é selecionado pelo módulo auxiliar que, após analisar a categoria do assinante A e verificar que a chamada pode ser encaminhada ao destino, cria dinamicamente um módulo do tipo processamento de chamadas para o tratamento exclusivo dessa chamada (fase de pré-seleção).

Assim que o módulo de terminais recebe o sinal ALREOK do módulo auxiliar, avisando que o registrador foi selecionado, o tom de discar é enviado ao assinante A.

O assinante A disca o número desejado. O módulo de terminais recebe os dígitos desse número (conteúdo dos sinais PRIMDIGITOS E DIGITOS) e os envia ao módulo de processamento de chamadas, que analisa os dígitos, identifica o assinante B chamado, verifica a compatibilidade entre o chamador e o chamado e solicita ao módulo controlador de terminais a ocupação (sinal TOMADA) de um módulo do tipo chamado (fase de recepção e análise de dígitos).

Um módulo do tipo chamado é criado dinamicamente para o assinante B e o módulo de processamento de chamadas é avisado dessa ocupação através do sinal RESTOM. Ao receber esse sinal, o módulo de processamento de chamadas solicita ao módulo chamador a alocação dinâmica (sinal SOALCA) dos canais de voz para os lados A e B (início da fase de seleção).

O módulo chamador solicita a alocação dos canais para o módulo de comutação, fornecendo o endereço interno do chamado através do sinal ALOQUE.

No caso de uma chamada bem-sucedida, os canais são encontrados livres e o módulo de comutação responde com canais alocados (sinal ALOCOK) para o chamador, que avisa o módulo de processamento de chamadas do sucesso da alocação (sinal ALCAOK).

Com o resultado positivo da alocação dos canais, o módulo de processamento de chamadas envia um sinal de fim de seleção (sinal FIMSEL) ao chamador e um sinal LIBREG ao chamado, avisando-o da liberação do registrador. O módulo auxiliar libera o registrador e destrói dinamicamente o módulo de processamento de chamadas.

Neste momento, o chamado avisa o chamador do fim de endereçamento (sinal FIMEND) e o chamador solicita ao módulo de comutação a comutação dos canais (sinal COMUTE) na matriz de comutação (fase de conexão).

O módulo de comutação informa ao chamador que a comutação foi realizada (sinal COMUOK) e este avisa o chamado que tem o controle da chamada (sinal LASUOK).

Enquanto o chamador envia o tom de controle de chamada ao telefone do assinante A, o chamado envia a corrente de toque ao telefone do assinante B. Ambos aguardam o atendimento.

Quando o chamado detecta fone fora do gancho, corta o envio de corrente de toque e informa ao chamador do atendimento (sinal LBATEN).

Agora, os assinantes A e B entram na fase de conversação (especificada sob a forma da troca dos sinais EnviaVoz e RecebeVoz entre os assinantes).

A conversação termina quando o chamador detecta desligamento (sinal RepoeFoneNoGancho). Em seguida, informa ao chamado da liberação do assinante A (sinal ADESLIGA) e solicita ao módulo de comutação a desalocação dos canais dos dois lados e a liberação da comutação (sinal DESALOC). Esse é o início da fase de supervisão do desligamento da chamada.

Ao receber o sinal ADESLIGA, o chamado envia o tom de ocupado ao telefone do assinante B e avisa o chamador que este está pronto para ser liberado (sinal LIBERAB). O módulo chamador é destruído dinamicamente pelo controlador de terminais e o assinante A está livre para estabelecer novas chamadas.

Ao detectar o fone no gancho, através do sinal RepoeFoneNoGancho, enviado pelo assinante B, o chamado também é destruído dinamicamente pelo controlador de terminais e o processamento dessa chamada termina.

- **Chamada interna bem-sucedida com o assinante B desligando:**

Todos os passos citados no item anterior são idênticos, exceto que o assinante B desliga primeiro. Quando o sinal RepoeFoneNoGancho é recebido pelo módulo chamado, este inicia

a temporização para desconexão forçada do assinante A e um sinal BDESLIGA é enviado ao módulo chamador.

Ao detectar o fone no gancho antes do término da temporização, o chamador informa ao chamado da liberação do assinante A (sinal ADESLIGA). Além disso, o chamador solicita ao módulo de comutação, através do sinal DESALOC, a desalocação dos canais dos lados A e B e a liberação da comutação. O chamador e o chamado são destruídos pelo controlador de terminais e o processamento dessa chamada termina.

Ao detectar o vencimento da temporização, o chamado inicia o procedimento para desconexão forçada do chamador, informando ao chamador da sua liberação (sinal BLIBERA). Depois disso, o chamado é destruído dinamicamente pelo controlador de terminais e o assinante B está livre para estabelecer novas chamadas.

Ao receber o sinal BLIBERA, o chamador solicita ao módulo de comutação a desalocação dos canais dos lados A e B e a liberação da comutação (sinal DESALOC). O chamador envia ainda um tom de ocupado ao telefone do assinante A.

Ao detectar o fone no gancho, o chamador é liberado dinamicamente pelo controlador de terminais e o processamento dessa chamada termina.

- **Chamada interna malsucedida com o assinante B ocupado:**

Os passos citados no primeiro caso são semelhantes até o início da fase de recepção e análise de dígitos, onde o controlador de terminais examina o estado de ocupação da linha do assinante B e verifica que o assinante B está ocupado. Ao ser informado que o assinante B está ocupado, o chamador envia um tom de ocupado ao telefone do assinante A e um sinal ALIBERA ao módulo de processamento de chamadas para que o registrador seja liberado e o módulo de processamento de chamadas seja destruído dinamicamente pelo módulo auxiliar.

Ao detectar o fone no gancho, o chamador é liberado dinamicamente pelo controlador de terminais e o processamento dessa chamada termina.

- **Chamada interna malsucedida com o assinante A discando número inexistente:**

Os passos citados no primeiro caso são semelhantes, exceto que o controlador de terminais ao procurar o número discado na lista de números de telefones, não o encontra e envia um tom de número inexistente ao telefone do assinante A. Em seguida, avisa o módulo de processamento de chamadas (sinal ALIBERA) para que o registrador seja liberado e o módulo de processamento de chamadas seja destruído dinamicamente pelo módulo auxiliar.



Ao detectar o fone no gancho, o chamador é liberado dinamicamente pelo controlador de terminais e o processamento dessa chamada termina.

- **Chamada interna malsucedida com o assinante A não discando um número:**

Os passos citados no primeiro caso são semelhantes até o final da fase de pré-seleção, quando o tom de discar é enviado para o assinante A e este não discar o número desejado durante um certo intervalo de tempo. Ao ocorrer vencimento da temporização, o tom de ocupado é enviado ao telefone do assinante A e um sinal ALIBERA é enviado ao módulo de processamento de chamadas, para que o registrador seja liberado e o módulo de processamento de chamadas seja destruído dinamicamente pelo módulo auxiliar.

Ao detectar o fone no gancho, o chamador é liberado dinamicamente pelo controlador de terminais e o processamento dessa chamada termina.

- **Chamada interna malsucedida com o assinante B não atendendo:**

Os passos citados no primeiro caso são idênticos até o momento em que o assinante A aguarda o atendimento da ligação pelo assinante B. Ao ocorrer o vencimento de temporização, o módulo chamador envia um tom de ocupado ao assinante A e o módulo chamado envia ao assinante B um sinal a fim de parar a corrente de toque. O módulo chamado é destruído dinamicamente pelo módulo controlador de terminais e o módulo chamador solicita ao módulo de comutação a desalocação dos canais de voz e a liberação da comutação (sinal DESALOC).

Ao detectar o fone no gancho, o módulo chamador é, então, destruído dinamicamente pelo controlador de terminais, deixando o assinante A livre para estabelecer novas chamadas. O processamento dessa chamada termina.

- **Outros tipos de chamadas internas malsucedidas:**

- **Registradores ocupados:**

O módulo de terminais detecta o fone fora do gancho do assinante A e um módulo do tipo chamador é criado para esse assinante (criação dinâmica).

O chamador solicita a alocação de um registrador (sinal SOALRE) ao módulo auxiliar. Se não for encontrado um registrador livre, o módulo auxiliar envia o sinal ALRENOK ao chamador e este envia um tom de ocupado ao telefone do assinante A. Essa interrupção na chamada é mostrada para a central através de uma mensagem “registradores ocupados”.

Ao detectar o fone no gancho (sinal RepoeFoneNoGancho), o chamador é liberado dinamicamente pelo controlador de terminais e o processamento dessa chamada termina.

**- Chamador não pode originar chamada:**

Seguindo os mesmos passos do item anterior e antes de verificar se existe um registrador livre, o módulo auxiliar analisa a categoria e a discriminação do assinante A para verificar se o chamador pode originar chamadas. Se houver restrições do tipo chamador é negado para tráfego originado, o módulo auxiliar envia o sinal ALRENOK ao chamador e este envia um tom de ocupado ao telefone do assinante A. Essa interrupção na chamada é mostrada para a central através de uma mensagem "chamada não pode ser encaminhada".

Ao detectar o fone no gancho (sinal RepoeFoneNoGancho), o chamador é liberado dinamicamente pelo controlador de terminais e o processamento dessa chamada termina.

**- Assinante chamado não é local:**

Durante a fase de recepção e análise de dígitos, ao receber os primeiros dígitos do número chamado (conteúdo do sinal PRIMDIGITOS), o módulo de processamento de chamadas faz a análise para verificar se a chamada é para assinante local, para assinante de outra central ou se é chamada de serviço suplementar. Como a rede telefônica descrita na especificação é composta de uma única central, somente chamadas locais são consideradas. No caso de chamadas para outras centrais ou de serviços suplementares um sinal DIGNOK é enviado ao chamador e este envia um tom de ocupado ao assinante A. Essa interrupção na chamada é mostrada para a central através de uma mensagem "assinante não é local".

Ao detectar o fone no gancho (sinal RepoeFoneNoGancho), o chamador é liberado dinamicamente pelo controlador de terminais e o processamento dessa chamada termina.

**- Classificação do chamado não está correta:**

Durante a fase de recepção e análise de dígitos, ao receber todos os dígitos do número chamado, o módulo de processamento de chamadas faz a análise para verificar se o chamado pode receber chamadas. Essa análise é realizada com base nos dígitos, na categoria e na discriminação do assinante B. Se a classificação do chamado não estiver correta, o módulo de processamento de chamada envia um sinal DIGNOK ao módulo chamador, que envia um tom de ocupado ao assinante A. O módulo de processamento de chamada é destruído dinamicamente e o registrador selecionado para essa chamada é liberado pelo módulo auxiliar. Essa interrupção na chamada é mostrada para a central através de uma mensagem "classificação do chamado Nok".

Ao detectar o fone no gancho (sinal RepoeFoneNoGancho), o chamador é liberado dinamicamente pelo controlador de terminais e o processamento dessa chamada termina.

**- Classificação do chamador e do chamado incompatíveis:**

Durante a fase de recepção e análise de dígitos, ao receber todos os dígitos do número chamado, o módulo de processamento de chamadas faz a análise para verificar se a chamada pode realmente ser encaminhada ao destino. Essa análise é realizada com base na categoria do assinante A e na classificação do assinante B. No caso de categoria do chamador incompatível com a classificação do chamado, os passos são os mesmos descritos no item anterior. Essa interrupção na chamada é mostrada para a central através de uma mensagem “categorias chamador e chamado incompatíveis”.

**- Canais de voz para chamador ou chamado ocupados:**

Até a fase de conexão os passos são idênticos aos descritos no primeiro caso. No caso de uma chamada malsucedida com o canal de voz para o chamador ocupado, a matriz de comutação não encontra um canal livre para o assinante A e o módulo de comutação avisa o módulo chamador com um sinal ALOCANOK.

O módulo chamador envia um tom de ocupado ao telefone do assinante A e uma mensagem “canal de voz para chamador ocupado” é mostrada para a central. Os módulos de processamento de chamadas e chamado são avisados que os canais não foram alocados através dos sinais ALCANOK e ALCNOK, respectivamente .

O módulo chamado é destruído dinamicamente pelo controlador de terminais assim que recebe o sinal ALCNOK. A liberação do registrador ocorre quando o módulo de processamento de chamadas recebe o sinal ALCANOK e, em seguida, esse módulo é destruído dinamicamente pelo módulo auxiliar.

Ao detectar o fone no gancho (sinal RepoeFoneNoGancho), o módulo chamador é liberado dinamicamente pelo controlador de terminais e o processamento dessa chamada termina.

No caso de chamada malsucedida com o canal de voz para o chamado ocupado, a matriz de comutação não encontra um canal livre para o assinante B e o módulo de comutação avisa o módulo chamador com um sinal ALOCANOK. Os procedimentos seguintes são os mesmos citados acima, somente o conteúdo da mensagem muda para “canal de voz para chamado ocupado”.

## 5.2 Características Gerais do Modelo Formal Proposto

O modelo formal proposto para o processamento de chamadas da central Trópico RA possui as mesmas características do processamento de chamadas descrito no capítulo 3. A descrição dos serviços suplementares, oferecidos pela central Trópico RA, não é necessária para atingir o objetivo deste trabalho e, por isso, chamadas de serviços suplementares não são consideradas. Devido à semelhança entre o processamento de chamadas das centrais em geral, apenas uma central é especificada nesse modelo. Entretanto, outras centrais e os serviços suplementares podem ser acrescentados facilmente à especificação formal apresentada neste trabalho.

As variáveis, sinais (primitivas de Estelle) e módulos acrescentados na especificação formal, bem como, as etapas de desenvolvimento dessa especificação, também são descritas nesta seção. Outras modificações inseridas nesse modelo, tais como, os procedimentos internos à especificação utilizando a linguagem Pascal e um procedimento externo à especificação utilizando a linguagem C, são apresentados no decorrer deste capítulo.

### 5.2.1 Classificação dos Assinantes

Na central Trópico RA, o assinante é classificado com um número, uma categoria e uma discriminação. De acordo com o número do assinante, verifica-se se a chamada é local (daquela central) ou interurbana (de outras centrais). Esse número é o número da lista de assinantes.

Na especificação formal, além dessa classificação, todo assinante possui um endereço interno, que o identifica durante o estabelecimento das conexões, permitindo a troca de primitivas (sinais) e o encaminhamento correto de cada chamada.

Os termos categoria e discriminação, citados no capítulo 3 dentro das funções do módulo auxiliar, são utilizados pela central Trópico RA para armazenar certas informações, que estão associadas aos terminais telefônicos e as junções, necessárias ao tratamento das chamadas. Considera-se terminal telefônico todo terminal da central que pode ser ligado a uma linha de assinante, ou a um telefone público, ou a um equipamento de teste, etc.. Junção é o hardware correspondente a um canal de voz, utilizado na interligação entre duas centrais [CPqD 88c].

Na especificação formal, apenas chamadas internas à central e vindas de telefones comuns são consideradas. Não é necessária a descrição dos outros tipos de terminais telefônicos (público, semipúblico, equipamento de teste, etc.), assim como de outras centrais e das junções para atingir o objetivo deste trabalho. Essas características podem ser acrescentadas à especificação, posteriormente.

Algumas discriminações e categorias são colocadas na classificação dos assinantes da especificação apenas para efetuar alguns testes durante a etapa de simulação. Como não são tipos considerados pela especificação, a chamada não é encaminhada.

A discriminação dos assinantes da central Trópico RA possui informações associadas ao terminal ou à junção, mostrando o tipo de serviço que está sendo utilizado ou possibilitando a adequada conexão de recursos para as chamadas. A categoria possui informações associadas somente ao terminal, mostrando as facilidades de encaminhamento e tarifação das chamadas.

Na especificação formal, para cada linha de assinante comum existe uma variável que armazena o número de lista, a categoria e a discriminação do assinante. A análise dessas informações é feita pelo módulo auxiliar.

Todo terminal telefônico possui categoria e discriminação para tráfego originado e terminado na central, que podem ser modificados por procedimentos de comunicação homem-máquina, sem qualquer alteração do hardware e do software da central.

Para o tráfego originado e terminado na central, estão associadas discriminações relativas ao serviço principal, relativas às restrições de encaminhamento de chamadas, relativas aos serviços suplementares, relativas aos grupos de terminais e outras discriminações, necessárias ao correto tratamento de chamadas pela central. A discriminação relativa ao tipo de sinalização do equipamento terminal está associada somente ao tráfego originado.

As discriminações relativas ao serviço principal são mutuamente exclusivas e incluem os seguintes tipos: linha individual comum residencial, linha individual comum não residencial, linha compartilhada, linha tronco, telefone público, telefone público comunitário, telefone semipúblico, terminal de teste (somente para tráfego originado), central comunitária, etc.. A linha compartilhada permite que dois assinantes, utilizando o mesmo terminal em tráfego originado e terminado, tenham números de lista distintos para receber e originar chamadas.

As discriminações relativas ao tipo de sinalização do equipamento terminal também são mutuamente exclusivas e incluem duas possibilidades: equipamento terminal decádico, que sinaliza dígitos para a central através de sequência de pulsos (abertura e fechamento de enlaces de assinantes), e equipamento terminal multifrequencial, que sinaliza dígitos para a central através da combinação de duas frequências.

As discriminações relativas às restrições de encaminhamento de chamadas para tráfego



(sob o controle do assinante chamado), linha de assinante com número mudado e nível ou número vago.

As Tabelas 5.1 e 5.2 mostram a correspondência das discriminações e das categorias para Tráfego Originado (TO) e para Tráfego Terminado (TT), consideradas na especificação formal e o seu significado na nomenclatura da central.

CENTRAL TRÓPICO RA	ESPECIFICAÇÃO
Linha individual comum residencial	1 (TO e TT)
Linha individual comum não residencial	2 (TO e TT)
Telefone público	3 (TO e TT)
Telefone público comunitário	4 (TO e TT)
Equipamento terminal decádico	5 (TO)
Equipamento terminal multifrequencial	6 (TO)
Bloqueio de chamada originada	7 (TO)
Terminal sem restrição	8 (TO e TT)
Equipamento de teste	9 (TT)
Terminal não recebe chamadas	10 (TT)
Equipamento fora da área de tarifação	11 (TO e TT)
Telefone público que recebe chamadas	12 (TT)

Tabela 5.1: Relação das Discriminações Utilizadas na Especificação

CENTRAL TRÓPICO RA	ESPECIFICAÇÃO
Assinante comum	1 (TO)
Assinante com tarifação especial	2 (TO)
Equipamentos de manutenção	3 (TO)
Telefone público local	4 (TO)
Telefonista	5 (TO)
Telefone público interurbano	6 (TO)
Linha de assinante com tarifação	7 (TT)
Linha de assinante sem tarifação	8 (TT)

Tabela 5.2: Relação das Categorias Utilizadas na Especificação

As discriminações e categorias são definidas na especificação formal através de números



inteiros. Na discriminação, o primeiro dígito desse número corresponde à discriminação quanto ao serviço principal, o segundo dígito corresponde à discriminação relativa ao tipo de sinalização do equipamento terminal e os últimos dois dígitos correspondem à discriminação relativa às restrições de encaminhamento de chamadas. Na categoria, o primeiro dígito refere-se à classificação em tráfego originado e o último dígito, em tráfego terminado.

### 5.2.2 Canais e Primitivas da Especificação Formal

Sob o ponto de vista dos usuários chamador e chamado da central Trópico RA, os sinais trocados durante o processamento de chamadas são aqueles recebidos ou enviados via telefone. Entretanto, internamente à central Trópico RA, o tratamento de uma chamada é feito através de uma sequência de processos, realizados pelos módulos de terminais, auxiliar, de comutação e de sinalização. Esses processos são iniciados quando ocorre a recepção de sinais externos aos módulos, oriundos do telefone [CPqD 88a].

Os sinais externos trocados entre os usuários e a central são ilustrados na Figura 5.1 e os sinais internos trocados entre os módulos da central são ilustrados na Figura 5.2. Uma chamada telefônica bem-sucedida entre assinantes locais, com o assinante A desligando antes do assinante B, é apresentada nessas figuras.

A especificação formal descreve uma rede telefônica incorporando os usuários (assinantes chamador ou chamado com os respectivos telefones) e a central Trópico RA, estabelecendo a conexão entre eles e possibilitando o envio dos sinais externos oriundos dos telefones dos usuários para a central.

O conceito de interfaces contido na arquitetura hardware da central Trópico RA, citados no capítulo 3, para interligar os módulos, é transposto para a especificação através do conceito de canais de comunicação (*channel*) em Estelle. As primitivas desses canais são os mesmos sinais externos e internos trocados através das interfaces durante o processamento de chamadas (Figuras 5.1 e 5.2).

Como nem todos os módulos da central Trópico RA são considerados na especificação formal e nem todas as funções dos módulos presentes são definidas, as interfaces da central que possuem correspondência nos canais da especificação são: interface intermodular IH4 (Canal\_Controlador\_Terminais), parcelas de voz da IH4 (Canal\_Conversacao) e parcelas de sinalização de IH4 (Canal\_Processamento\_Chamadas e Canal\_Comutacao). A conexão com o meio externo não é definida como uma interface na central Trópico RA. Na especificação, essa conexão é definida através do Canal\_Usuario (Figura 5.3).

A especificação do Canal\_Usuario indica que os módulos Usuario e Central, a serem conectados através de seus pontos de interação às extremidades desse canal, desempenharão os papéis USR e CENT respectivamente. O módulo Usuario emite as primitivas definidas em USR e recebe as primitivas definidas em CENT. O contrário ocorre com o módulo que desempenhar o papel CENT.

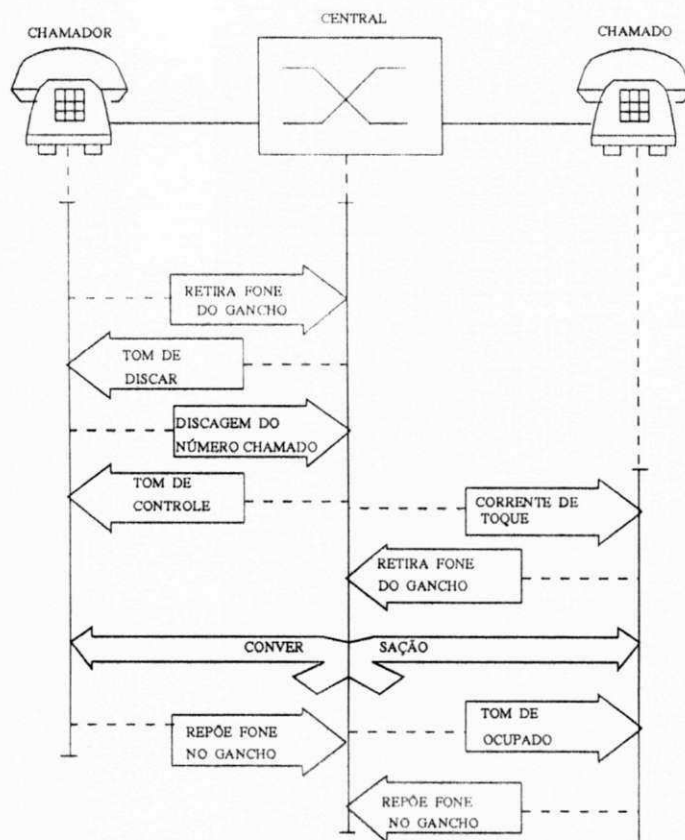


Figura 5.1: Chamada Sob o Ponto de Vista do Usuário

Na especificação formal, o módulo Terminais envia a primitiva TomDeOcupado ao módulo Usuario (chamador ou chamado, conforme o caso) em diversas situações: quando o assinante B (chamado) está na condição de ocupado, quando ocorre término de temporização em algum ponto do estabelecimento da chamada, quando o terminal que retém a chamada desliga, quando a chamada não pode ser encaminhada, ou ainda quando a central nega o acesso ao número discado pelo assinante A (chamador).

Uma chamada não é encaminhada pela Central quando os registradores ou os canais de voz estão ocupados, ou quando a classificação do chamador está incorreta ou incoerente com as características da chamada. O acesso ao número discado pelo assinante A (chamador) é negado pela Central quando a classificação do chamado está incorreta ou incoerente com

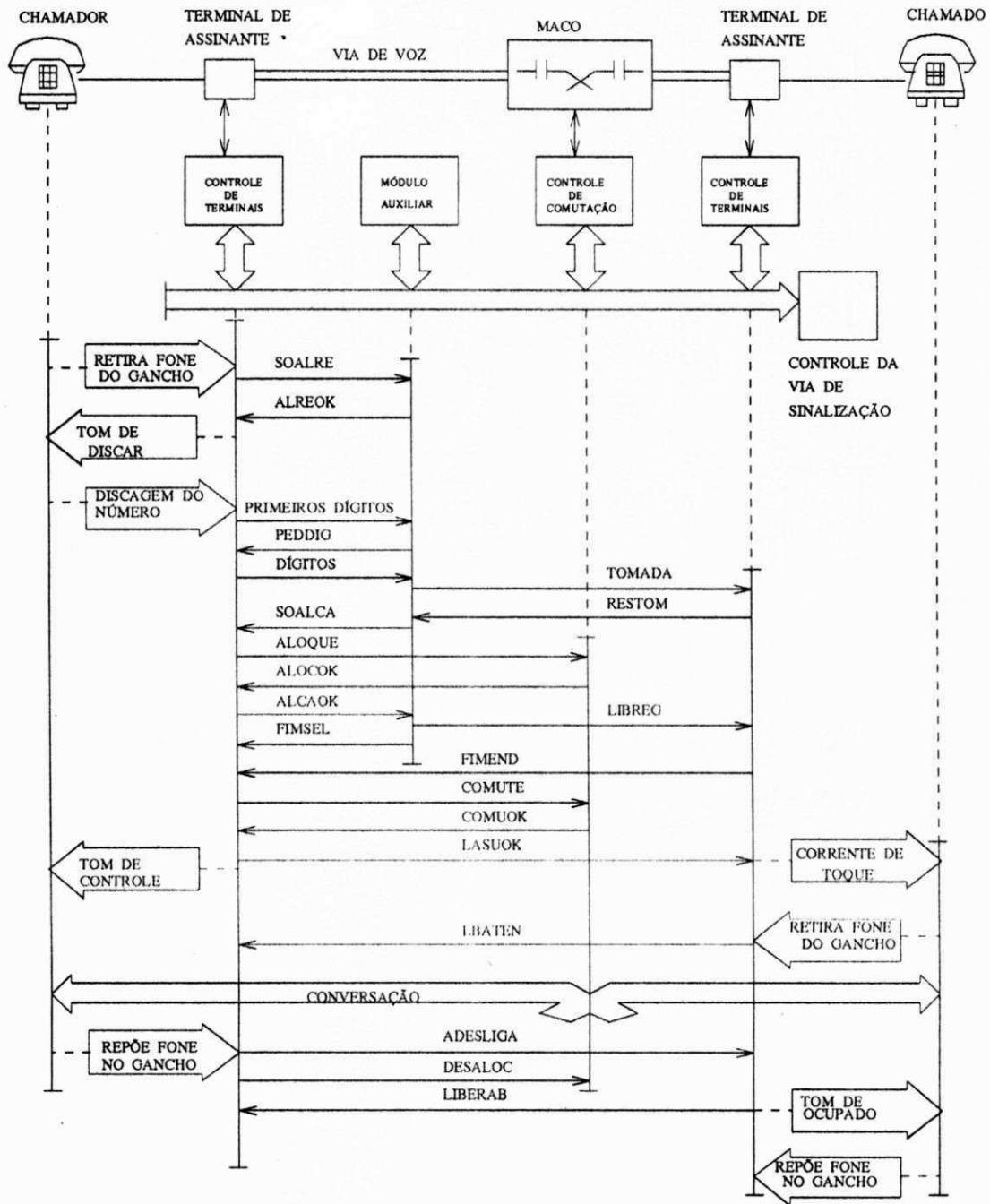


Figura 5.2: Chamada Sob o Ponto de Vista da Central

as características da chamada, ou quando a categoria do chamador e a classificação do chamado são incompatíveis, ou quando o assinante chamado não é local. Nesses casos, além da primitiva `TomDeOcupado`, que é enviada ao respectivo `Usuario`, uma mensagem é enviada aos operadores da central, indicando o motivo do não estabelecimento da chamada.

```

01 CHANNEL Canal_Usuario (USR, CENT);
02 BY USR:  RetiraFoneDoGancho;
03         DiscagemDoNumeroChamado (numero: integer);
04         EnviaVoz;
05         RepoeFoneNoGancho;
06 BY CENT: TomDeDiscar;
07         TomDeControleDeChamada;
08         CorrenteDeToque;
09         ParaCorrenteDeToque;
10         TomDeOcupado;
11         NumeroNaoExistente;
12         RecebeVoz;
13         InicioConversacao;
14         FimConversacao;

```

Figura 5.3: Canal Definido na *Specification*

Os outros sinais externos são: `NumeroInexistente` (enviado pelo módulo `Terminais` quando o número discado pelo assinante A chamador for inexistente), `TomDeDiscar` (enviado quando a Central está pronta para receber os dígitos do assinante B chamado), `CorrenteDeToque` (indica que a campanha do assinante B chamado está tocando) e `TomDeControleDeChamada` (retorno da campanha para o assinante A). Esses sinais são utilizados da mesma forma que na central Trópico RA, não possuindo nenhuma particularidade na especificação formal.

A troca de sinais internos, entre o módulo `Auxiliar` e o módulo `Terminais` da especificação, é feita via `Modulo_de_Sinalizacao` através do `Canal_Processamento_Chamadas`, que é definido no corpo do módulo `Central` (Figura 5.4).

```

01 CHANNEL Canal_Processamento_Chamadas (PROC, SINAL_proc);
02 BY PROC:  ALRECK; ALRENOK;
03         PEDDIG (qtd_dig: integer);
04         DIGNOK; TOMADA; SOALCA;
05         LIBREG (end_chdor: integer); FIMSEL;
06 BY SINAL_proc:
07         SOALRE (num, cat, discr: integer);
08         ALIBERA; PRIMDIGITOS (dig: tipo_numero);
09         DIGITOS (dig: tipo_numero; end_chdo: integer);
10         RESTOM; ALCAOK; ALCANOK;

```

Figura 5.4: Canal Definido no Módulo Central

A especificação do `Canal_Processamento_Chamadas` indica que os módulos `Modulo_Auxiliar` e `Plano`, a serem conectados através de seus pontos de interação às extremidades desse

canal, desempenharão os papéis PROC e SINAL\_proc respectivamente. O Modulo\_Auxiliar emite as primitivas definidas em PROC e recebe as primitivas definidas em SINAL\_proc. O Modulo\_de\_Sinalizacao é ligado ao Plano (*attached*) e emite/recebe as primitivas definidas em SINAL\_proc.

### 5.2.3 Módulos da Especificação Formal

A descrição funcional da central Trópico RA em termos de módulos [CPqD 92] [CPqD 91] mostrou-se adequada para a elaboração da especificação formal, encaixando-se perfeitamente nos conceitos arquitetônicos de Estelle. Por esse motivo, os nomes dos módulos (*module*, em Estelle) e dos sinais trocados entre eles (as primitivas definidas nos canais de comunicação da especificação) são conservados. Algumas modificações são inseridas nas funções dos módulos especificados.

O módulo Usuario é acrescentado à especificação formal para executar as funções externas à central. Essas funções referem-se ao envio de sinais, tais como, RetiraFoneDoGancho, RepoeFoneNoGancho, DiscagemDoNumeroChamado, etc. e à recepção de sinais, tais como, TomDeOcupado, TomDeDiscar, TomDeNumeroInexistente, CorrenteDeToque, etc.. Esse módulo Usuario descreve o conjunto formado pelo telefone e pelo usuário.

O cabeçalho do módulo Usuario definido na especificação é apresentado na Figura 5.5. Esse módulo possui um único ponto de interação U, que permite a troca de primitivas com a Central.

```
01 MODULE Cabecalho_Usuario SYSTEMPROCESS;  
02   IP U: Canal_Usuario (USR) INDIVIDUAL QUEUE;  
03 END;
```

Figura 5.5: Cabeçalho do Módulo Usuario

O módulo Central especificado é a própria central Trópico RA e incorpora os módulos Terminais, Plano e Auxiliar. Esse módulo possui um *array* de pontos de interação CN que permite a sua comunicação com todos os módulos Usuario da Rede (Figura 5.6).

```
01 MODULE Cabecalho_Central SYSTEMPROCESS;  
02   IP CN: ARRAY [1..maxusuario] OF Canal_Usuario (CENT)  
03       INDIVIDUAL QUEUE;  
04 END { Cabecalho_Central };
```

Figura 5.6: Cabeçalho do Módulo Central

O módulo **Terminais** possui a função de interconexão com o meio externo e com os outros módulos da **Central**. Esse módulo é refinado no módulo **Placas** e no módulo **Controlador**.

O módulo **Placas** é equivalente às placas de terminais, que constituem o módulo de terminais da central Trópico RA. A função das placas de terminais na central é permitir a ligação dos terminais de cada um dos tipos de assinantes com os módulos usuários externos e com a matriz de comutação, para a troca de sinais de voz. Na especificação, esse módulo não realiza nenhum processamento das informações recebidas, apenas envia e recebe os sinais oriundos dos módulos **Usuario** e **Controlador**. Cada placa de terminais da central é composta, no máximo, de 160 terminais, por isso, na especificação o valor da constante que define o número máximo de usuários é igual a 160 (constante **maxusuario**).

A placa processadora CTE, que controla o módulo de terminais da central Trópico RA, corresponde ao módulo **Controlador** da especificação. Apenas as funções relativas ao tipo de terminal assinante comum são descritas nesse módulo. Esse módulo é refinado nos módulos **Chamador** e **Chamado**, que foram acrescentados à especificação formal para tratar as informações recebidas ou enviadas por cada tipo de usuário externo (chamador ou chamado).

Para garantir as mesmas características de otimização entre custo e tráfego de terminais da central Trópico RA, o número de chamadas permitidas pelo módulo **Central** especificado é menor que o número de assinantes (o valor atribuído para a constante **maxchamadas**, que define o número máximo de chamadas na especificação, é 80).

O módulo **Plano** corresponde a um dos planos da central Trópico RA. Esse módulo é constituído do módulo **Modulo\_de\_Sinalizacao** e do módulo **Matriz\_de\_Comutação**, de modo semelhante à central real. Outros planos poderão ser acrescentados à especificação para atender as características de confiabilidade e de desempenho da central Trópico RA, o que garante, no caso de falhas, uma redundância de planos.

O **Modulo\_de\_Sinalizacao** não executa nenhum processamento das informações recebidas. A função desse módulo é receber e enviar aos outros módulos da central todos os sinais que chegam nos seus pontos de interação. Isso é semelhante à função do módulo de sinalização da central Trópico RA, que é responsável pela interconexão entre os vários processadores dessa central para troca de mensagens. A função de geração e de distribuição de sincronismo desse módulo não é considerada na especificação.

Em alguns casos, o **Modulo\_de\_Sinalizacao** necessita do endereço interno do assinante chamador ou do assinante chamado para poder direcionar a primitiva para o módulo correto. Na transição da Figura 5.7, o módulo **Usuario** chamado atendeu a ligação e enviou uma primitiva ao módulo **Chamador** (via **Modulo\_de\_Sinalizacao**), avisando-o desse atendimento e dando início à fase de conversação. A variável **end\_chdor**, passada como parâmetro na



primitiva ATENLB, traz o endereço do Usuario chamador daquela chamada específica, para que o módulo de sinalização possa enviar a primitiva corretamente.

```
01 WHEN MS_ctrl[i].ATENLB (end_chdor)
02 BEGIN
03   OUTPUT MS_ctrl[end_chdor].LBATEN
04 END;
```

Figura 5.7: Transição do Modulo\_de\_Sinalizacao

Cada módulo *Matriz\_de\_Comutacao*, que corresponde à MACO da central, incorpora somente um *Modulo\_de\_Comutacao* na especificação. A MACO trata da ocupação dos canais de voz do *Modulo\_de\_Comutacao*. Outros módulos do tipo *Modulo\_de\_Comutacao*, pertencentes ao mesmo módulo *Plano*, podem ser acrescentados à especificação.

O *Modulo\_de\_Comutacao* é responsável pela alocação e desalocação das ligações entre os terminais chamador e chamado para troca de sinais de voz (fase de conversação). Na especificação formal, a fim de suportar mais chamadas com um único *Modulo\_de\_Comutacao*, o valor atribuído à constante *maxcanais*, que define o número máximo de canais de voz por *Modulo\_de\_Comutacao*, é 64. Na central Trópico RA podem ser conectados no máximo 16 canais de voz ao módulo de comutação e no máximo 4 módulos de comutação por plano.

O *Modulo\_Auxiliar* é o módulo mais importante da especificação, pois é o responsável pelas funções do processamento de chamadas. Para cada chamada foi definido, como refinamento desse módulo, um módulo *Processamento\_de\_Chamadas*, que corresponde ao registrador da central Trópico RA e que é responsável pelo encaminhamento e pelo tratamento dos dados e dígitos de cada chamada em particular.

Os serviços suplementares, definidos no módulo auxiliar da central Trópico RA, e a tarifação das chamadas não são considerados na especificação, porque são características irrelevantes para atingir o objetivo deste trabalho. Os serviços suplementares podem ser especificados, posteriormente, no corpo do módulo *Processamento\_de\_Chamadas* e a tarifação pode ser modelada no corpo do módulo *Chamador* ou *Chamado*, conforme as características da chamada.

#### 5.2.4 Etapas de Desenvolvimento

Para o desenvolvimento da especificação formal do processamento de chamadas da central Trópico RA, a Máquina de Estados Finita (MEF) de cada um dos módulos descritos foram elaboradas.

As MEFs mostram os estados dos módulos e os sinais que devem ser recebidos para que ocorram as mudanças de um estado para outro. Isso corresponde às condições da parte de transições dos módulos especificados. Os detalhes do processamento das informações recebidas (ações das transições) são abstraídos nessa primeira etapa de desenvolvimento da especificação. O esboço inicial das transições dos módulos foi elaborado a partir dessas MEFs.

As MEFs dos módulos da especificação apresentam múltiplos estados ou apenas um único estado, dependendo das funções de cada módulo. Por exemplo, o *Modulo\_Auxiliar* é responsável pelo processamento de todas as chamadas estabelecidas na central e, por isso, as transições desse módulo não são executadas conforme uma seqüência de estados, o estado deve ser único e deve permitir a recepção das primitivas dos outros módulos a qualquer momento durante a execução da especificação (Figura 5.8).

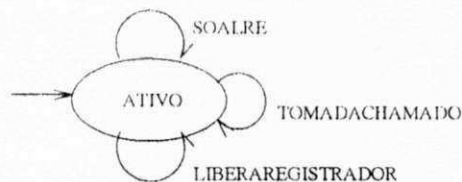


Figura 5.8: MEF do *Modulo\_Auxiliar*

No caso do módulo *Processamento\_de\_Chamadas*, criado para o tratamento de cada chamada da central, os vários estados garantem que as ações das transições sejam executadas à medida que as primitivas são recebidas por esse módulo, obedecendo-se à seqüência de estados definidos na Figura 5.9.

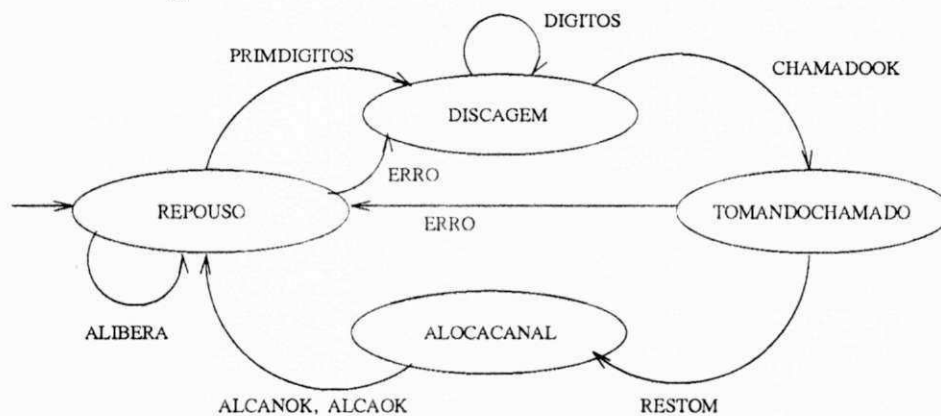


Figura 5.9: MEF do Módulo *Processamento\_de\_Chamadas*

As MEFs das Figuras 5.10 e 5.11 descrevem o módulo *Usuario*, funcionando ora como chamador e ora como chamado. Os estados e as primitivas trocados mudam para cada tipo de usuário.

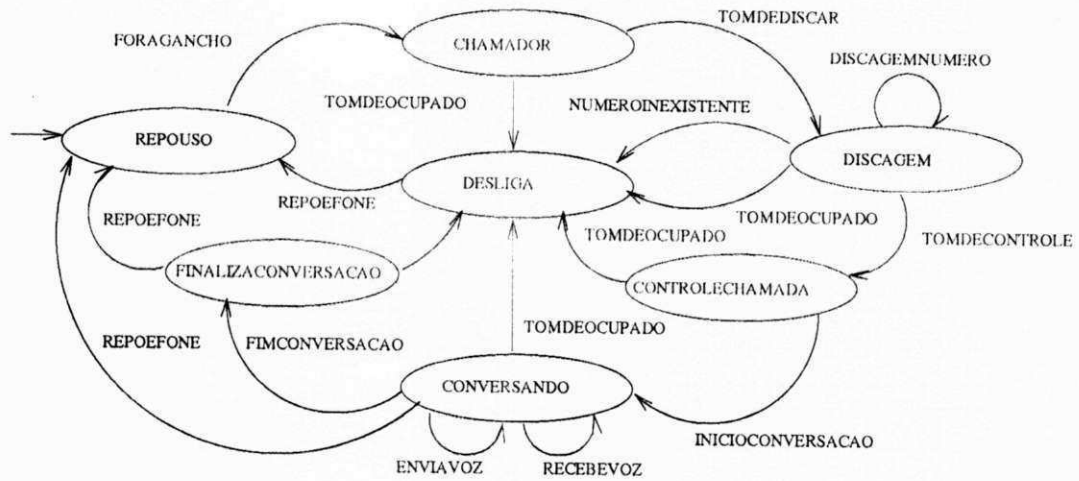


Figura 5.10: MEF do Módulo Usuario Chamador

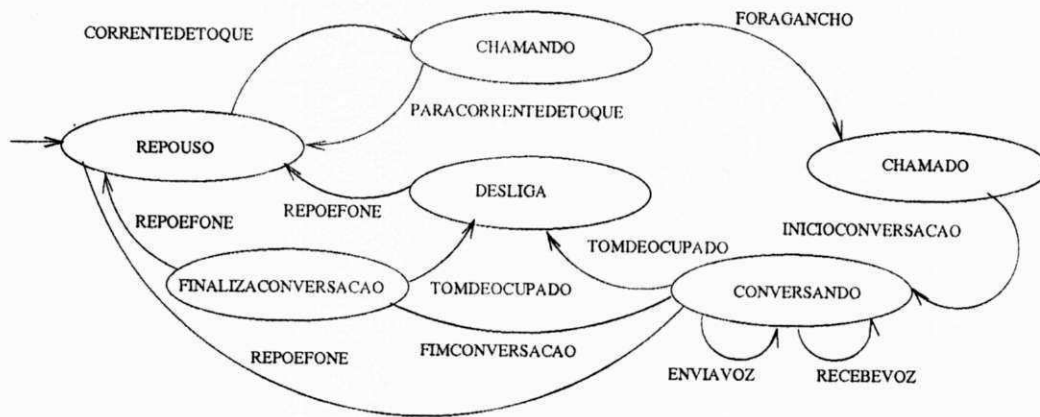


Figura 5.11: MEF do Módulo Usuario Chamado

As Figuras 5.12 e 5.13 ilustram os sinais trocados internamente à central.

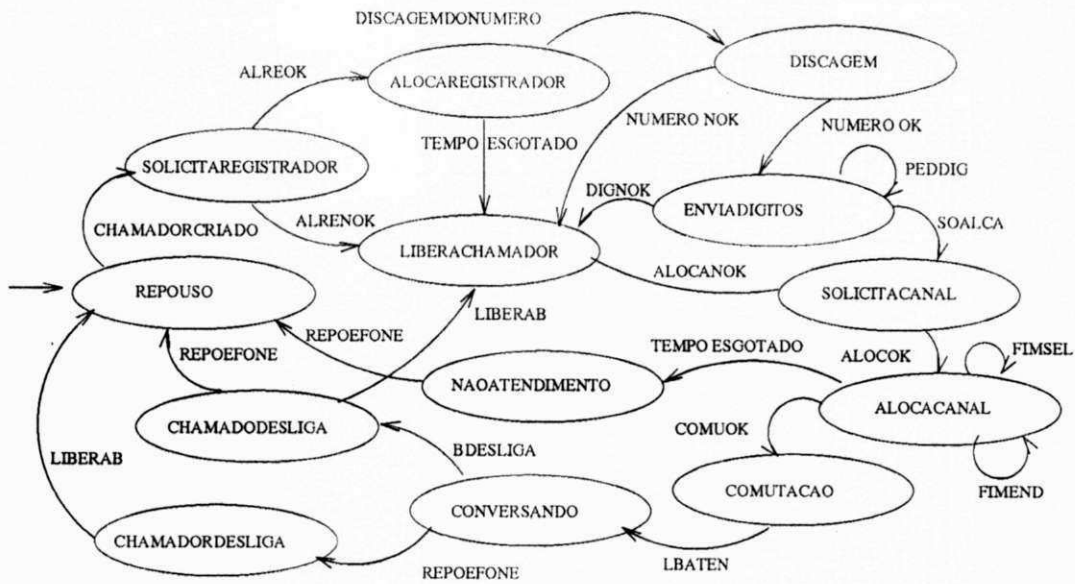


Figura 5.12: MEF do Módulo Chamador

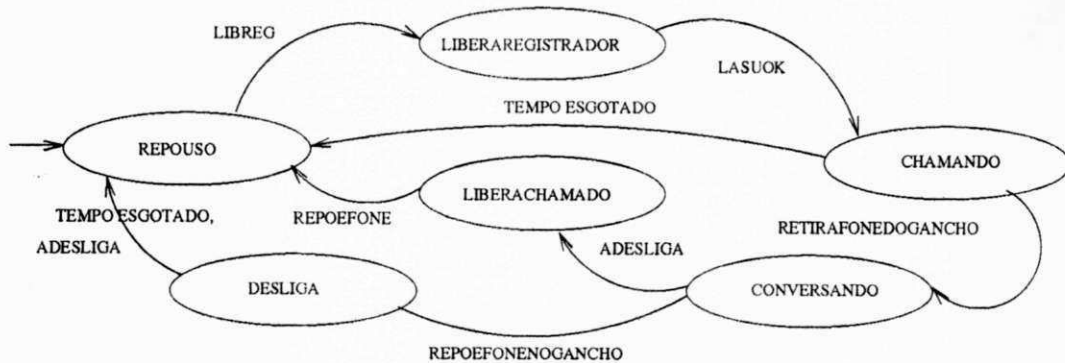


Figura 5.13: MEF do Módulo Chamado

Numa segunda etapa, de acordo com a arquitetura funcional da central Trópico RA, foi elaborada a arquitetura em Estelle, descrevendo-se o aninhamento dos módulos da especificação, os pontos de interação dos módulos e os canais de comunicação.

Numa terceira etapa, as informações recebidas foram processadas e enviadas de um módulo para outro, através das primitivas trocadas nos canais de comunicação (elaboração das ações das transições).

## 5.3 Mapeamento da Arquitetura da Central nos Conceitos Arquitetônicos de Estelle

Os módulos da arquitetura funcional da central Trópico RA foram mapeados nos conceitos de módulos (*module*) existentes em Estelle. O nível mais alto de abstração da especificação foi construído de modo semelhante à arquitetura funcional da central, aos refinamentos posteriores foram acrescentadas algumas características específicas de Estelle, que possibilitaram a descrição das funções dos módulos da central.

### 5.3.1 Refinamentos da Arquitetura

A estrutura hierárquica da especificação formal, com todos os refinamentos dos módulos, é ilustrada na Figura 5.3.1 sob a forma de uma árvore genealógica. As prioridades para a execução dos módulos na especificação pode ser observada através dessa estrutura.

O nível mais alto de abstração é descrito na *specification* Rede, que é um módulo sem atributo, sem cabeçalho, sem pontos de interação (fechado em relação ao exterior) e inativo (não contém transições). O corpo de *specification* é constituído da parte de declarações, onde são descritos os módulos *Usuario* e *Central*, e da parte de inicializações, onde são criadas estaticamente "N" (constante *maxusuario*) instâncias de *Usuario* e uma instância de *Central*.

O módulo *Central* é refinado nos módulos *Terminais*, *Modulo\_Auxiliar* e *Plano*. O corpo de *Central* é constituído da parte de declarações, onde são descritos os módulos *Terminais*, *Modulo\_Auxiliar* e *Plano*, da parte de inicializações, onde as instâncias desses módulos são criadas estaticamente, e da parte de transições. Na parte de transições a *Central* executa a alocação e desalocação dinâmica dos canais que conectam o módulo *Terminais* (*ips* *MT\_ctrl* e *MT\_voz*) ao módulo *Plano* (*ips* *PL\_ctrl* e *PL\_voz*) e o *Modulo\_Auxiliar* (*ip* *MA\_proc*) ao *Plano* (*ip* *PL\_proc*).

O módulo *Terminais* é refinado nos módulos *Placas* e *Controlador*. O corpo de *Terminais* é constituído da parte de declarações, onde são descritos os módulos *Placas* e *Controlador*, da parte de inicializações e da parte de transições. Na parte de inicializações desse módulo as instâncias dos módulos *Placas* e *Controlador* são criadas estaticamente, as ligações entre os *ips* *MT\_usr* (módulo *Terminais*) e os *ips* *PT\_usr* (módulo *Placas*) são estabelecidas e os *ips* *PT\_ctrl* do módulo *Placas* e os *ips* *CT\_usr* do módulo *Controlador* são conectados. Na parte de transições são estabelecidas dinamicamente as ligações entre cada *ip* *MT\_ctrl* e cada

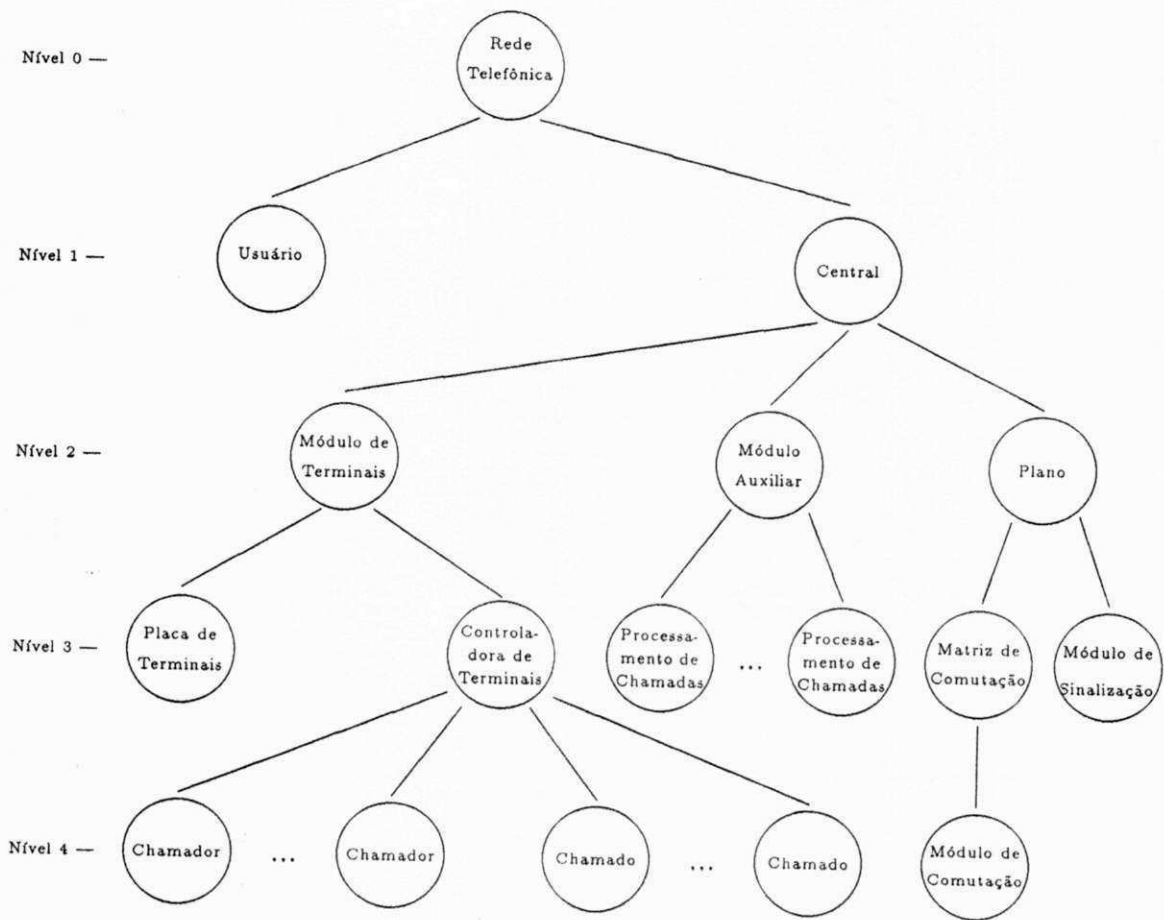


Figura 5.14: Árvore Genealógica da Especificação



*ip* CT\_ctrl (módulo Controlador). As ligações entre o *ip* MT\_voz (módulo Terminais) e o *ip* PT\_voz do módulo Placas também são estabelecidas dinamicamente na parte de transições desse módulo. O módulo Terminais também é responsável pelo desligamento/desconexão desses *ips*.

O módulo Controlador é refinado nos módulos Chamador e Chamado. Esses módulos são descritos na parte de declarações do corpo de Controlador. Cada instância de Chamador e cada instância de Chamado são criadas dinamicamente na parte de transições desse módulo, assim que as primitivas associadas a essas transições forem disparadas. As ligações entre os *ips* CT\_usr (do Controlador) e CR\_usr (do Chamador), os *ips* CT\_ctrl e CR\_ctrl, os *ips* CT\_usr e CO\_usr (do Chamado) e os *ips* CT\_ctrl e CO\_ctrl também são estabelecidas dinamicamente nesse módulo. Essas instâncias (de Chamador e de Chamado), relativas a uma chamada da Central, também são destruídas e as ligações são desfeitas dinamicamente pelo Controlador.

O Modulo\_Auxiliar é refinado no módulo Processamento\_de\_Chamadas. O corpo desse módulo é constituído da parte de declarações, onde o módulo Processamento\_de\_Chamadas é descrito, da parte de inicializações e da parte de transições, onde "P" (constante max-chamadas) instâncias de Processamento\_de\_Chamadas são criadas dinamicamente. As ligações entre os *ips* MA\_proc (do Modulo\_Auxiliar) e PC\_chdor (do módulo Processamento\_de\_Chamadas) são estabelecidas, assim que a primitiva associada a essa transição for disparada.

Essas instâncias também são destruídas e as ligações entre os *ips* MA\_proc e o PC\_chdor e MA\_proc e o PC\_chdo são desfeitas dinamicamente pelo Modulo\_Auxiliar (na parte de transições).

O módulo Plano é refinado nos módulos Matriz\_de\_Comutacao e Modulo\_de\_Sinalizacao, descritos na parte de declarações do corpo de Plano e criados estaticamente na parte de inicializações. Na parte de transições são conectados e desconectados dinamicamente os *ips* MS\_comu (Modulo\_de\_Sinalização) e MC\_comu (Matriz\_de\_Comutacao) e são estabelecidas e desfeitas dinamicamente as ligações entre os *ips* PL\_ctrl (do Plano) e MS\_ctrl, os *ips* PL\_proc e MS\_proc e os *ips* PL\_voz e MC\_voz.

A Matriz\_de\_Comutacao é refinada no Modulo\_de\_Comutacao, que é descrito na parte de declarações e que é criado estaticamente na parte de inicializações desse módulo. Na parte de transições são alocadas e desalocadas as ligações entre os *ips* MC\_voz (da Matriz\_de\_Comutacao) e MX\_voz (do Modulo\_de\_Comutacao).

A arquitetura Estelle do processamento de chamadas da central Trópico RA com seus vários níveis de abstração e contendo todos os refinamentos efetuados é apresentada na Figura 5.15.

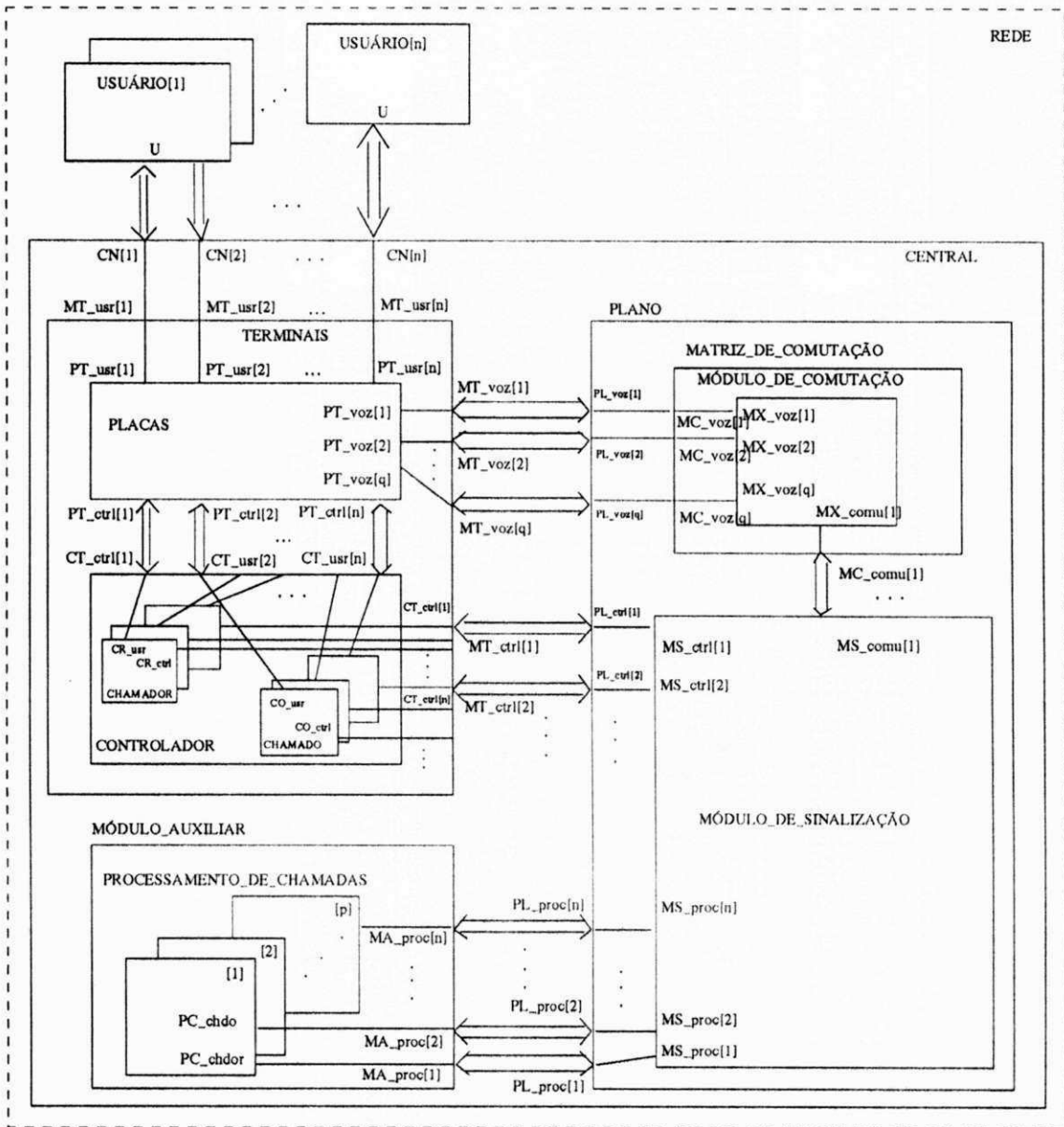


Figura 5.15: Arquitetura Estelle do Processamento de Chamadas da Central Trópico RA

### 5.3.2 Descrição da Especificação Formal

Inicialmente a arquitetura da especificação é composta de “N” instâncias do módulo *Usuario* e de uma instância do módulo *Central*, conectados através do *Canal\_Usuario*. A instância do módulo *Central*, por sua vez, é composta de uma instância do módulo *Terminais*, de uma instância do *Modulo\_Auxiliar* e de uma instância do módulo *Plano*. A instância do módulo *Terminais* é composta de uma instância do módulo *Placas* e de uma instância do módulo *Controlador* (essas duas instâncias estão conectadas através do *Canal\_Usuario*). A instância do módulo *Plano* é composta de uma instância do módulo *Matriz\_de\_Comutação* (composta de uma instância do *Modulo\_de\_Comutacao*) e de uma instância do *Modulo\_de\_Sinalizacao* (Figura 5.16).

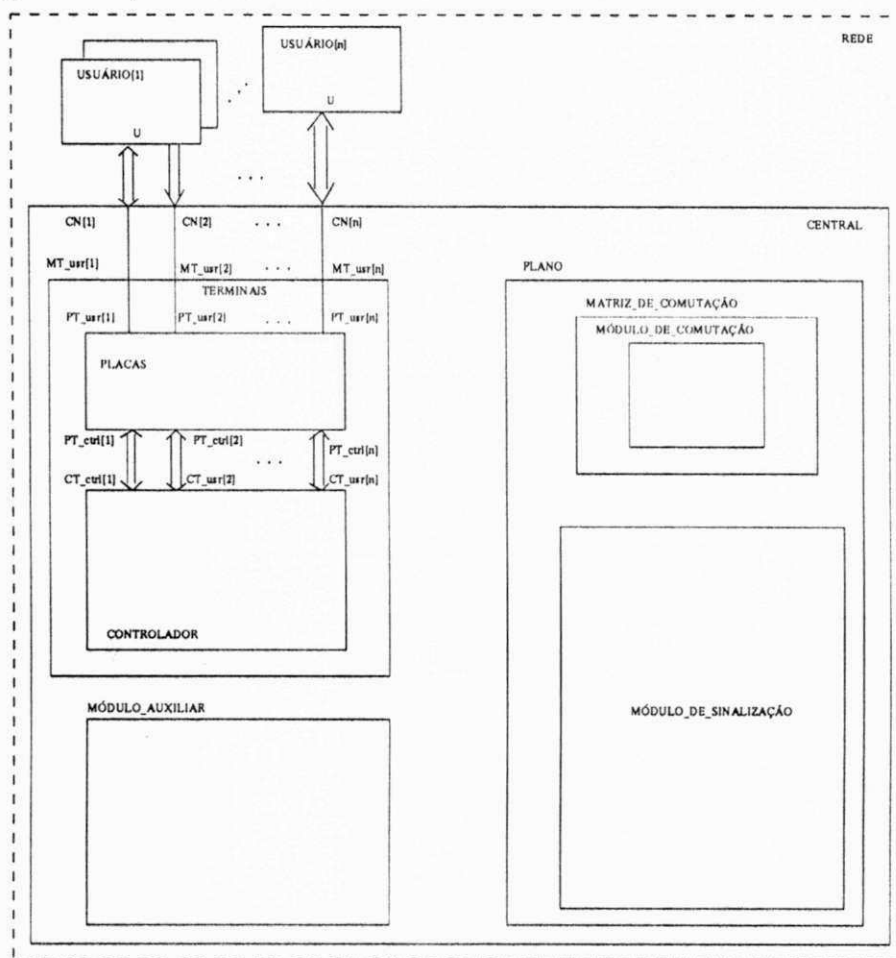


Figura 5.16: Arquitetura Inicial da Especificação

Assim que um usuário retira o fone do gancho, a primitiva *RetiraFoneDoGancho* é enviada

à Central. Quando essa primitiva chega ao Controlador, a transição que cria uma instância do módulo Chamador é disparada (Figura 5.17). Essa transição ainda estabelece as ligações entre os *ips* CT\_usr e CR\_usr e entre os *ips* CT\_ctrl e CR\_ctrl. Uma transição do módulo Terminais é disparada pela variável exportada *ligar\_terminal* do Controlador para estabelecer a ligação entre os *ips* MT\_ctrl e CT\_ctrl.

```
01 TRANS
02 FROM Ativo
03 TO SAME
04 ANY i: 1..maxusuario DO
05   WHEN CT_usr[i].RetiraFoneDoGancho
06   BEGIN
07     INIT CHAMADOR[i] WITH Corpo_CHAMADOR;
08     ATTACH CT_usr[i] TO CHAMADOR[i].CR_usr;
09     ATTACH CT_ctrl[i] TO CHAMADOR[i].CR_ctrl;
10     CHAMADOR[i].usr_chdor.num := usr[i].num;
11     CHAMADOR[i].usr_chdor.cat := usr[i].cat;
12     CHAMADOR[i].usr_chdor.discr := usr[i].discr;
13     usuario_ocupado[i] := True;
14     ligar_terminal[i] := True;
15   END;
```

Figura 5.17: Transição do Módulo Controlador

A Central estabelecerá a conexão entre os *ips* MT\_ctrl e PL\_ctrl (conectados através do Canal\_Controlador\_Terminais) e entre os *ips* MA\_proc e PL\_proc (conectados através do Canal\_Processamento\_Chamadas). O Plano estabelecerá as ligações entre os *ips* PL\_ctrl e MS\_ctrl e PL\_proc e MS\_proc, bem como a conexão entre os *ips* MC\_comu e MS\_comu (conectados através do Canal\_Comutacao). A Matriz\_de\_Comutacao estabelecerá a ligação entre os *ips* MS\_comu e MX\_comu.

Após a criação da instância do módulo Chamador, esta pode trocar primitivas com o Modulo\_Auxiliar, através do Modulo\_de\_Sinalizacao (Figura 5.18). Essa é a fase de pré-seleção com o início do encaminhamento da chamada.

Uma instância do módulo Processamento\_de\_Chamadas e as ligações entre os pontos de interação MA\_proc e PC\_chdor serão criadas dinamicamente pelo Modulo\_Auxiliar, quando este receber uma primitiva SOALRE do Chamador e encontrar um registrador livre para aquela chamada (Figura 5.19). Cada chamada entre dois módulos Usuario será tratada por uma instância do módulo Processamento\_de\_Chamadas. Na Figura 5.20 apresenta-se o Modulo\_Auxiliar e esse refinamento.

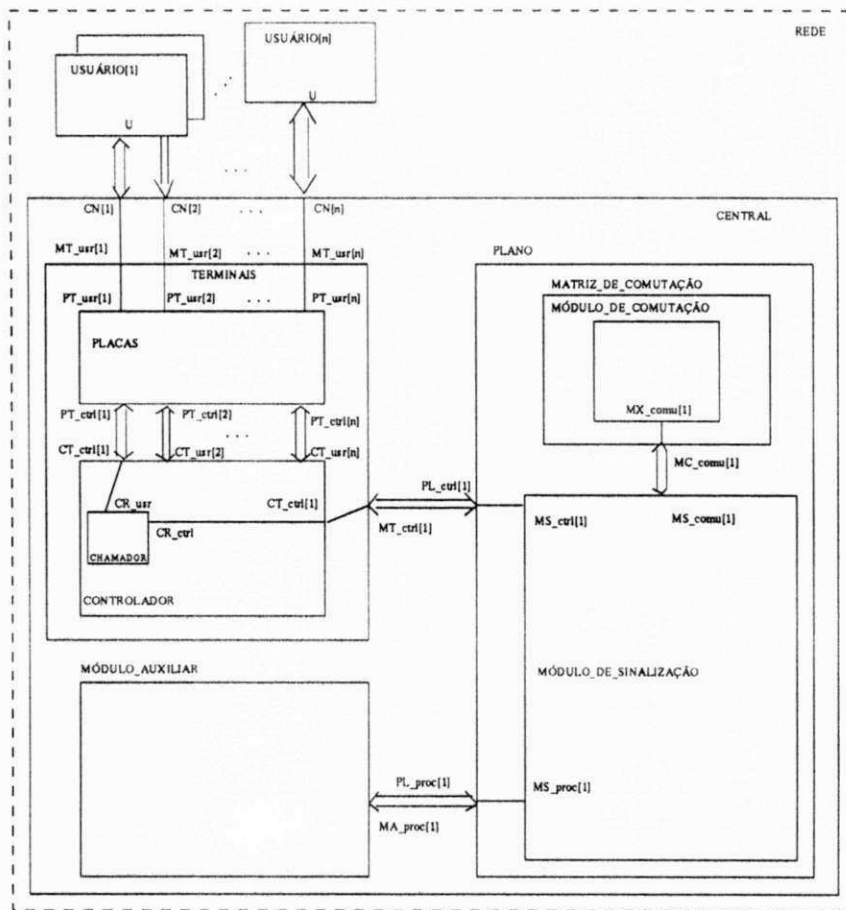


Figura 5.18: Início do Encaminhamento da Chamada

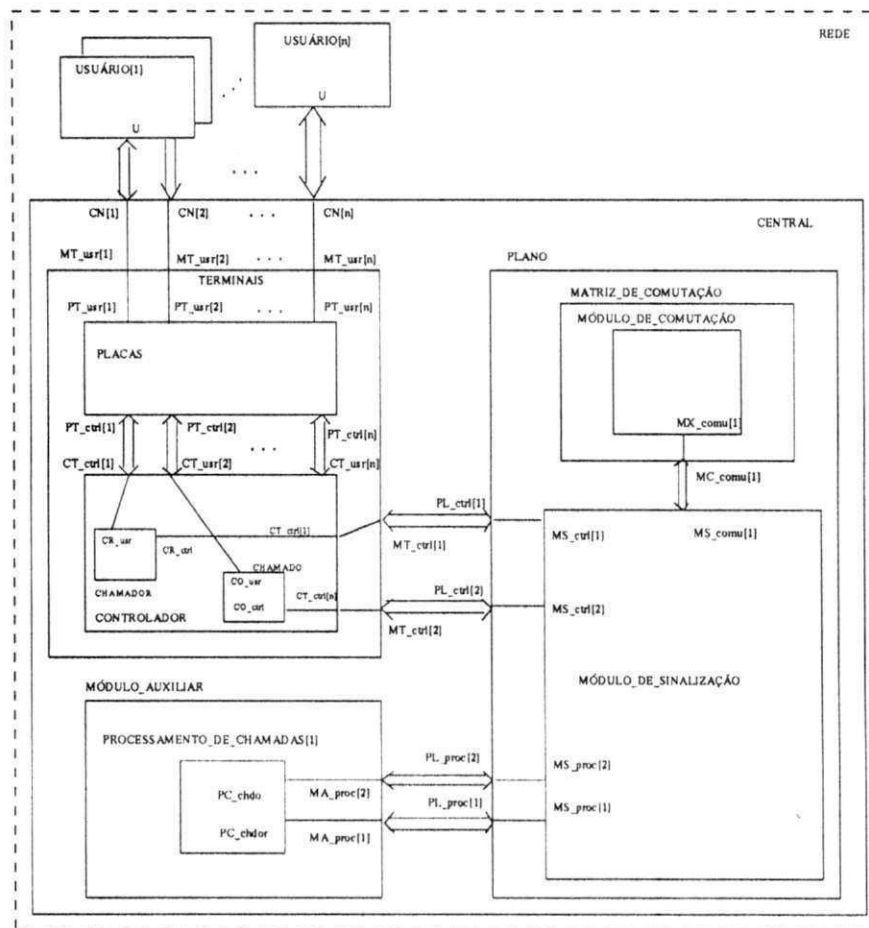


Figura 5.25: Arquitetura com Criação do Módulo Chamado



```

01 FUNCTION PrimeirosDigitos (nro: integer): integer;
02   { 1 --> assinante da central 2 --> outra central
03     3 --> servico suplementar }
04   BEGIN PrimeirosDigitos := 0;
05         IF (nro >= 0) and (nro <= 9999999) { numeracao dessa central }
06         THEN PrimeirosDigitos := 1
07         ELSE BEGIN { os outros casos nao sao considerados } END;
08   END { PrimeirosDigitos };

```

Figura 5.26: Função do Módulo Processamento\_de\_Chamadas

Assim que um dos usuários envolvidos nessa ligação telefônica colocar o fone no gancho, a instância de Chamador (Figura 5.27) ou de Chamado, relativa àquela chamada, será destruída (comando RELEASE) pelo Controlador (módulo pai). Todas as ligações dessas instâncias com os outros módulos serão automaticamente destruídas pelo comando RELEASE.

O Controlador destrói as instâncias de Chamador e de Chamado, que são módulos filhos do Controlador, assim que as variáveis exportadas por essas instâncias (variável exportada `liberar_usuario`), associadas às respectivas transições do Controlador, forem verdadeiras (Figura 5.27).

```

01 ANY i: 1..maxusuario DO
02   PROVIDED CHAMADOR[i].liberar_usuario
03   BEGIN CHAMADOR[i].liberar_usuario := False;
04         RELEASE CHAMADOR[i];
05         desligar_usuario_chamador[i] := True;
06         usuario_ocupado[i] := False;
07   END;

```

Figura 5.27: Transição do Módulo Controlador

A Figura 5.28 mostra o cabeçalho do módulo Chamador, que contém a declaração de variáveis exportadas.

```

01 MODULE Cabecalho_CHAMADOR PROCESS;
02   IP CR_usr: Canal_Usuario (CENT) INDIVIDUAL QUEUE;
03   CR_ctrl: Canal_Controlador_Terminais (CTRL) INDIVIDUAL QUEUE;
04   EXPORT usr_chdor: tipo_usuario;
05         num_chdo, end_chdo: integer;
06         liberar_usuario, verificar_numero, enviar_numero,
07         numero_inexistente, numero_ocupado, chamador_criado: boolean;
08   END { Cabecalho_CHAMADOR };

```

Figura 5.28: Cabeçalho do Módulo Chamador

Assim que a primitiva `RESTOM` (início da fase de seleção), indicando o resultado positivo da criação do módulo `Chamado`, é recebida pelo módulo `Processamento_de_Chamadas`, este envia uma solicitação de alocação dos canais de voz para os assinantes A e B (primitiva `SOALCA`). Essa alocação é formalmente descrita pela conexão dos *ips* `MT_voz` e `PL_voz` (através do `Canal_Conversacao`) para o `Usuario` chamador (lado A) e para o `Usuario` chamado (lado B). As ligações entre os *ips* `PT_voz` e `MT_voz`, entre os *ips* `PL_voz` e `MC_voz` e entre os *ips* `MC_voz` e `MX_voz` também descrevem essa conexão.

Independente da alocação dos canais de voz ser bem-sucedida (canais livres) ou ser mal-sucedida (canais ocupados para o chamador ou para o chamado), ocorrerá a liberação do registrador e a destruição dinâmica do módulo `Processamento_de_Chamadas`, marcando o fim da fase de seleção.

Se a alocação for bem-sucedida (Figura 5.29), inicia-se a fase de conexão. O `Modulo_de_Comutacao` envia ao `Chamador` a primitiva `COMUOK`, avisando que a comutação entre os dois usuários foi estabelecida.

Assim que o módulo `Usuario` chamado enviar a primitiva `RetiraFoneDoGancho`, inicia-se a fase de conversação e esta só terminará quando um dos dois módulos `Usuario` envolvidos nessa chamada, enviar uma primitiva `RepoeFoneNoGancho`. Quando uma chamada termina, as instâncias dos módulos `Chamador` e `Chamado` devem ter sido destruídas dinamicamente e os canais de voz relativos aos dois lados devem ter sido liberados.

Uma chamada pode ser interrompida durante as fases de seleção, recepção e análise de dígitos ou conexão. No modelo formal proposto, essa interrupção é apresentada ao `Usuario` (chamador ou chamado) através da primitiva `TomDeOcupado` e à central através de mensagens, indicando o motivo do não encaminhamento da chamada. Para isso, um procedimento externo utilizando a linguagem C foi acrescentado à especificação.

Os atributos dos módulos da especificação foram definidos de acordo com a estruturação da especificação e do tipo de paralelismo desejado na execução dos módulos. Os módulos `Usuario` e `Central` devem ser executados em paralelo, mas com uma certa independência na execução de suas transições. Os outros módulos, aninhados no interior de `Central`, também devem ser executados em paralelo, de modo que várias chamadas possam utilizar ao mesmo tempo os recursos da central.

As instâncias relativas aos módulos `Usuario` e `Central` são executadas em paralelismo assíncrono (atributo `systemprocess`). As instâncias dos outros módulos devem ser executadas em paralelismo síncrono (atributo `process`).

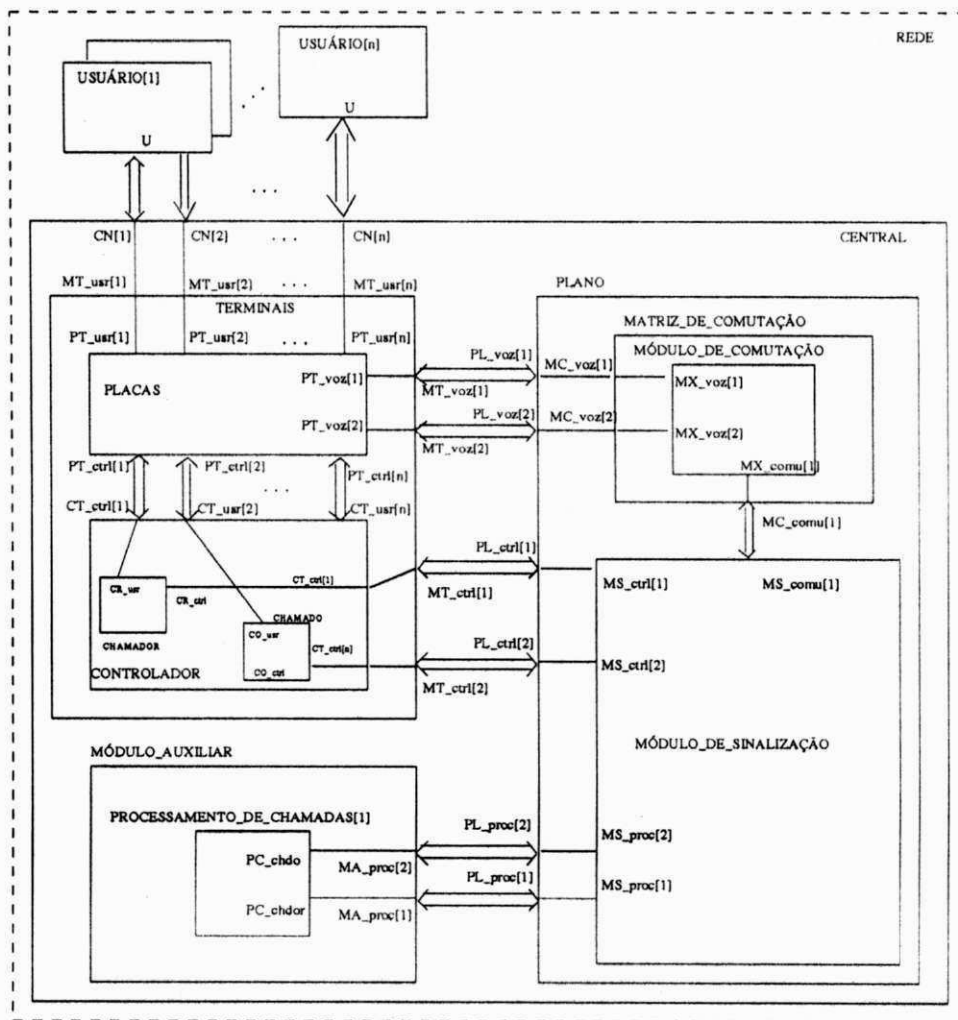


Figura 5.29: Canais de Voz para Chamador e Chamado Alocados

## 5.4 Ambiente de Desenvolvimento da Especificação

A especificação formal da central Trópico RA foi realizada com o auxílio do ambiente “Estelle Work Station (EWS)”, desenvolvido no contexto do projeto europeu “ESPRIT SEDOS Estelle Demonstrator” [ESPR 89]. O EWS é constituído das seguintes ferramentas: um editor orientado para a sintaxe de Estelle, um tradutor que verifica a semântica estática da especificação, um gerador de código instrumentado, um simulador e um gerador de código de implementação (não foi utilizado nessa especificação). Maiores detalhes sobre o ambiente EWS encontram-se no capítulo 6.

Um editor comum (*text editor* das estações SUN) foi utilizado na elaboração da especificação. A especificação foi armazenada no arquivo `spectrop.stl`. Uma vez editado esse arquivo, este foi chamado na ferramenta editor orientado para a sintaxe de Estelle (comando `goewsedit spectrop`), para verificar os erros de sintaxe.

O tradutor (comando `goewstrans spectrop`) foi utilizado para verificar a semântica estática da especificação. Nessa fase, um certo tempo foi requerido para retirar os erros de semântica que surgiram tanto na parte das cláusulas Estelle (canais, pontos de interação e variáveis exportadas) quanto na parte das declarações Pascal (definição de *types* e *procedures*). A listagem do arquivo com a extensão `stl.l`, gerado por essa ferramenta a partir do arquivo inicial da especificação, é encontrada num volume anexo a esta dissertação.

Determinados erros passaram pelo tradutor e surgiram na geração do código C (comando `goewsgen -sim spectrop`). Por exemplo, algumas primitivas da especificação definidas no `Canal_Controlador_Terminais`, possuem o mesmo significado e só foram criadas com duplicação em cada um dos papéis desse canal, porque a ferramenta geradora do código C só aceita o nome repetido de uma primitiva em papéis diferentes do mesmo canal, se esses papéis forem definidos como é ilustrado na Figura 5.30.

A Figura 5.31 ilustra a definição de um canal não suportada pelo gerador, mas descrita no documento de Estelle [ISO 88a] como uma sintaxe correta.

```
01 Canal Exemplo (papel1, papel2);  
02 by papel1, papel2: primitiva;
```

Figura 5.30: Exemplo de Definição de Canal Aceito pelo Gerador

```
01 Canal Exemplo (papel1, papel2);  
02 by papel1: primitiva1;  
03 by papel2: primitiva2;  
04 by papel1, papel2: primitiva3;
```

Figura 5.31: Exemplo de Definição de Canal Não Aceita pelo Gerador

Uma restrição Estelle à linguagem Pascal é não permitir que as declarações *read/write* sejam utilizadas. Para contornar esse problema definiu-se um procedimento externo à especificação, denominado **warning**, a fim de imprimir, na tela do simulador do EWS, as mensagens dos erros ocorridos durante o estabelecimento de uma chamada ao operador da central. O EWS permite a definição desses procedimentos em C e dispõe de uma ferramenta opcional para a compilação desses arquivos, através do comando `goewscompilprim warning`. A listagem desse procedimento encontra-se no apêndice A do volume anexo a esta dissertação.

A utilização do simulador na especificação será objeto do capítulo 7. Algumas telas da simulação são ilustradas e os erros da especificação, detectados pelo simulador, são descritos no final desse capítulo.

## Capítulo 6

### Ambiente Estelle Work Station

Nos últimos dez anos, várias ferramentas para TDFs, principalmente para aquelas padronizadas pela ISO e pelo CCITT, foram desenvolvidas. O ambiente “Estelle Work Station (EWS)”, constituído de um conjunto de ferramentas para a TDF Estelle, foi utilizado durante as fases de especificação e validação dos sistemas de telefonia apresentados neste trabalho. Esse ambiente é constituído das seguintes ferramentas: um editor orientado para a sintaxe de Estelle, um tradutor, um gerador de código instrumentado, um simulador e um gerador de código para implementação.



## 6.1 Características Gerais

Algumas ferramentas já estão facilmente disponíveis para dar suporte à TDF Estelle. Entre essas ferramentas estão o compilador Estelle 83 [Neum 90] e o ambiente EWS [ESPR 89] [Diaz 89].

Neste trabalho utilizou-se o ambiente EWS instalado numa estação SUN 3/80 da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

A Figura 6.1 apresenta a arquitetura geral do EWS, constituído de um conjunto de ferramentas que auxiliam o desenvolvimento de especificações Estelle.

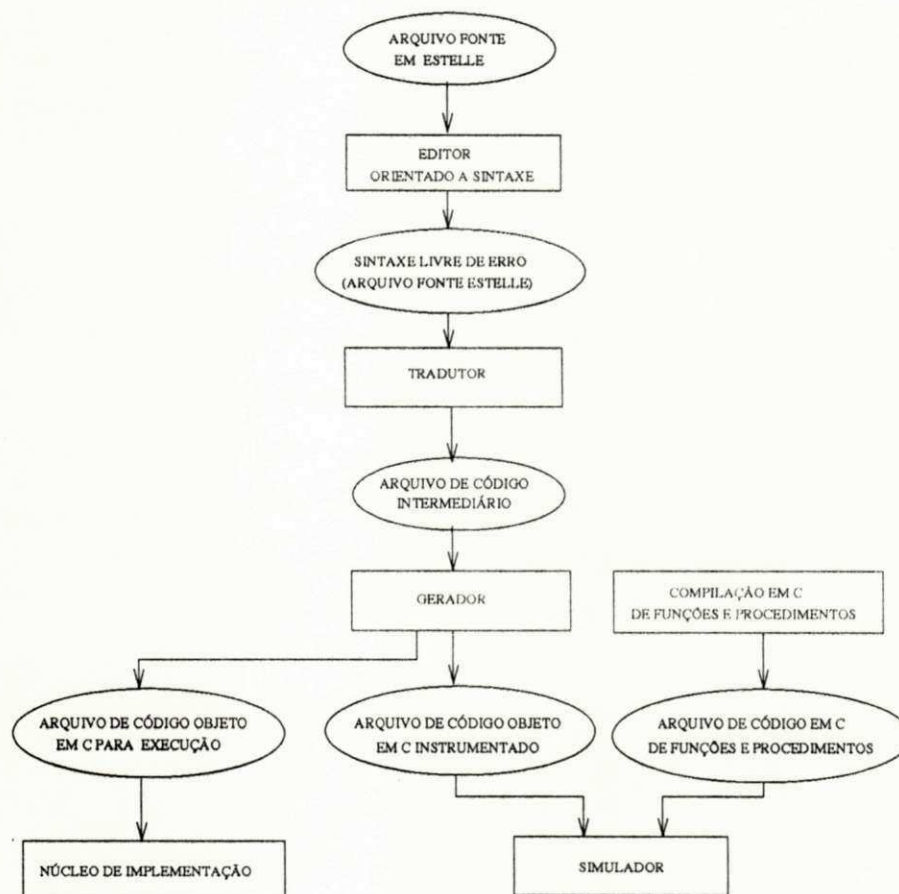


Figura 6.1: Arquitetura do Ambiente EWS

Para ilustrar as telas das ferramentas editor e simulador foi utilizado como exemplo a especificação formal do sistema de telefonia simplificado proposto em [Lope 91]. O nome do arquivo fonte dessa especificação é **spectele.stl**. As referências aos comandos que selecionam as ferramentas do EWS são feitas sempre em relação a esse arquivo (sem a extensão).

## 6.2 Editor Orientado para a Sintaxe de Estelle

A ferramenta de edição, denominada EWSEEDIT, é utilizada para editar ou criar uma especificação em Estelle. O arquivo gerado por esse comando tem a extensão *stl*. Caso um outro editor de texto tenha sido utilizado para editar a especificação, esse arquivo pode ser carregado no EWSEEDIT. Essa ferramenta verifica *on-line* a sintaxe de uma especificação Estelle.

O comando para selecionar essa ferramenta é *goewseedit spectele*. O editor do EWS utilizado neste trabalho não suporta a criação de arquivos (provavelmente devido a falhas na implantação do EWS). Esse problema foi contornado com a criação do arquivo *spectrop.stl* em outro editor e, em seguida, esse arquivo foi utilizado no editor EWS.

Os comandos do editor são executados para uma unidade do texto. Essa unidade pode ser um *token* geral (nomes de módulos, números e strings) ou uma definição Estelle (transições, canais, lista de papéis, etc.). O editor só permite a execução de comandos do tipo remoção de linha, cópia de pedaços do texto, etc., em unidades previamente selecionadas. Os caracteres dos *tokens* gerais podem ser selecionados e trabalhados normalmente.

A tela do editor é dividida nas seguintes áreas: uma janela de título, uma janela de edição, uma janela de *scrolling* (da janela de edição), uma janela denominada CLIP e uma janela de mensagens (Figura 6.2).

A janela de título contém o nome do editor e o número da versão dessa ferramenta, os títulos dos menus disponíveis no editor, o nome da especificação e o número da linha em que está sendo editada. À direita dessa janela uma letra indica se o editor está lendo (*Reading*), gravando (*Writing*), utilizando os comandos (*Command*), inserindo (*Inserting*), procurando (*Finding*) ou substituindo (*Replacing*).

Os menus disponíveis na janela de títulos são EDIT, FILE, TEXT, CLIP, VIEW e OPTS. Somente um desses menus pode ser selecionado por vez. Os comandos referentes ao arquivo que contém a especificação encontram-se no menu FILE. Para trabalhar com uma unidade utiliza-se o menu CLIP. Uma visão geral ou particular (declarações, transições, cabeçalhos dos módulos, etc.) da especificação é mostrada com o comando VIEW e utiliza-se o menu OPTS para tabulação, para procura e para proteção de texto.

A janela de edição contém uma parte da especificação que está sendo editada. O restante da especificação é mostrada através do *scroll* dessa janela. Quando uma unidade for selecionada, ela aparece sublinhada nessa janela (Figura 6.3).

O manuseio do texto na janela de edição é feito através da janela de *scrolling*. O retângulo



```

SII-E410 07.0 Edit|File|Text|Clip|View|Opts
SPECIFICATION REDE_SIMPLIFICADA;
< Especificacao formal em Estelle de uma rede telefonica simplificada >
TIMESCALE seconds;
CONST
  maxusuario = 10;
TYPE
  tipo_numero = Integer;
  tipo_voz = PACKED ARRAY [1..10] OF char;
CHANNEL Acesso_Usuario(USR, CEN);
  BY USR:
    RetiraFoneDoGancho;
    RepoeFoneNoGancho;
    DiscagemDoNumeroChamado (numero: tipo_numero);
    EnviaVoz (voz: tipo_voz);
  BY CEN:
    CorrenteDeToque;
    TomDeControleDeChamada;
    TomDeDiscar;
    AtendeChamada;
    TomDeOcupado;
    RecebeVoz (voz: tipo_voz);
    ParaCorrenteDeToque;
MODULE Tipo_Usuario SYSTEMPROCESS;
  <
    USUARIO
  >
IP
CLIP

```

Figura 6.2: Tela do Editor

```

SII-E410 07.0 Edit|File|Text|Clip|View|Opts
SPECIFICATION REDE_SIMPLIFICADA;
< Especificacao formal em Estelle de uma rede telefonica simplificada >
TIMESCALE seconds;
CONST
  maxusuario = 10;
TYPE
  tipo_numero = Integer;
  tipo_voz = PACKED ARRAY [1..10] OF char;
CHANNEL Acesso_Usuario(USR, CEN);
  BY USR:
    RetiraFoneDoGancho;
    RepoeFoneNoGancho;
    DiscagemDoNumeroChamado (numero: tipo_numero);
    EnviaVoz (voz: tipo_voz);
  BY CEN:
    CorrenteDeToque;
    TomDeControleDeChamada;
    TomDeDiscar;
    AtendeChamada;
    TomDeOcupado;
    RecebeVoz (voz: tipo_voz);
    ParaCorrenteDeToque;
MODULE Tipo_Usuario SYSTEMPROCESS;
  <
    USUARIO
  >
IP
CLIP
Cannot extend this way !

```

Figura 6.3: Unidade Seleccionada e o Menu CLIP

representa a especificação e a localização do retângulo, incluído nessa janela, indica a localização da especificação na janela de edição.

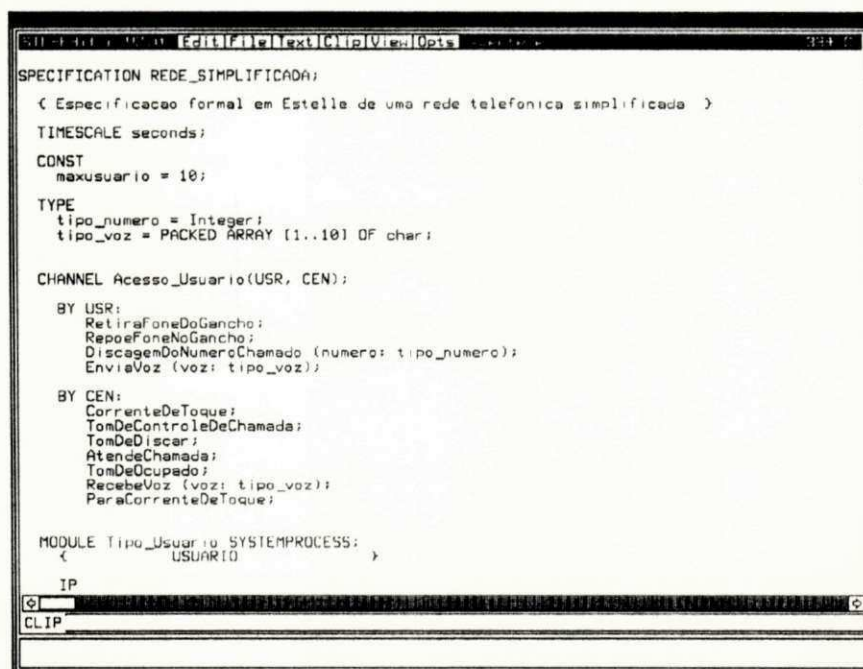
A janela CLIP é selecionada com a opção CLIP da janela de títulos e mostra a unidade (ou pedaços da unidade) que foi removida ou copiada.

A janela de mensagens mostra as mensagens de erro de comandos, de *tokens* ou de unidades ilegais. Uma mensagem de erro aparece na Figura 6.3.

Todas as seleções (de menus, de unidades, de caracteres, etc.) são efetuadas no editor por meio de um *mouse*.

Quando a especificação estiver sendo editada pela primeira vez (no caso de criação de arquivo ou de arquivo vazio carregado no editor), a opção *Text* da janela de títulos deve ser selecionada, seguida da opção *insert* desse menu. A edição da especificação começa nesse momento. O próprio editor se encarrega de mudar de linha e também de suprimir os brancos da linha. Para finalizar o modo de inserção, seleciona-se a opção *accept* do menu TEXT.

A especificação que está sendo editada é armazenada num arquivo selecionando-se a opção *save* do menu FILE (Figura 6.4). Para sair do editor seleciona-se a opção *quit* do menu EDIT.



```
FILE EDIT FILE TEXT CLIP VIEW OPTS
SPECIFICATION REDE_SIMPLIFICADA;
< Especificacao formal em Estelle de uma rede telefonica simplificada >
TIMESCALE seconds;
CONST
  maxusuario = 10;
TYPE
  tipo_numero = Integer;
  tipo_voz = PACKED ARRAY [1..10] OF char;
CHANNEL Acesso_Usuario(USR, CEN);
  BY USR:
    RetiraFoneDoGancho;
    RepoeFoneNoGancho;
    DiscagemDoNumeroChamado (numero: tipo_numero);
    EnviaVoz (voz: tipo_voz);
  BY CEN:
    CorrenteDeToque;
    TomDeControleDeChamada;
    TomDeDiscar;
    AtendeChamada;
    TomDeOcupado;
    RecebeVoz (voz: tipo_voz);
    ParaCorrenteDeToque;
MODULE Tipo_Usuario SYSTEMPROCESS;
  <
    USUARIO
  >
IP
CLIP
```

Figura 6.4: Tela do Editor com Menu FILE

O editor verifica se as construções Estelle contidas na especificação são válidas e mostra uma mensagem de erro caso não sejam válidas. Além disso faz uma verificação *on-line*

dos caracteres que estão sendo digitados e dos *tokens*. O tipo de sintaxe verificada pelo editor refere-se aos tipos que podem ser declarados em Estelle ( por exemplo, as cláusulas permitidas nas transições). Erros de sintaxe, tais como, variáveis não declaradas, estados não definidos, etc., não são levados em conta, já que são considerados como parte da semântica de Estelle.

O editor fornece também *on-line* um *help* para os seus usuários, permitindo que no momento da digitação de um *token*, um menu com todos os *tokens* disponíveis seja selecionado na janela de edição. Depois da seleção, esse *token* é inserido na posição em que estava o *cursor* (Figura 6.5).

```

SIL Editor  2.0  Edit|File|Text|Clip|View|Opts  15
SPECIFICATION REDE_SIMPLIFICADA;
< Especificacao formal em Estelle de uma rede telefonica simplificada >
TIMESCALE seconds;
CONST
  maxusuario = 10;
TYPE
  tipo_numero = Integer;
  tipo_voz = PACKED ARRAY (1..10) OF char;
  Name...
  BODY
  CHANNEL Usuario(USR, CEN);
  CONST
  FUNCTION
  INITIALIZE DeGancho;
  LABEL NumeroChamado (numero: tipo_numero);
  MODULE voz: tipo_voz;
  PROCEDURE
  PURE Toque;
  *** Do tipo de Chamada;
  TomDeUscar;
  AtendeChamada;
  TomDeChamado;
  RecebeVoz (voz: tipo_voz);
  ParaCorrenteDeToque;
MODULE Tipo_Usuario SYSTEMPROCESS;
< USUARIO
  
```

Cannot extend this way!  
The buffer doesn't contain a legal unit!

Figura 6.5: *Help* de Comandos

## 6.3 Tradutor Estelle

A função principal da ferramenta EWSTRANS (tradutor) é gerar um arquivo de código intermediário a partir da especificação Estelle. Além disso gera um arquivo com a listagem da compilação e a listagem de referências cruzadas da especificação (arquivo com a extensão *stl.l*). No ambiente EWS, o arquivo de código intermediário permite a geração do código C pela ferramenta gerador, que será utilizado para a simulação ou para a implementação da



especificação (Figura 6.6).

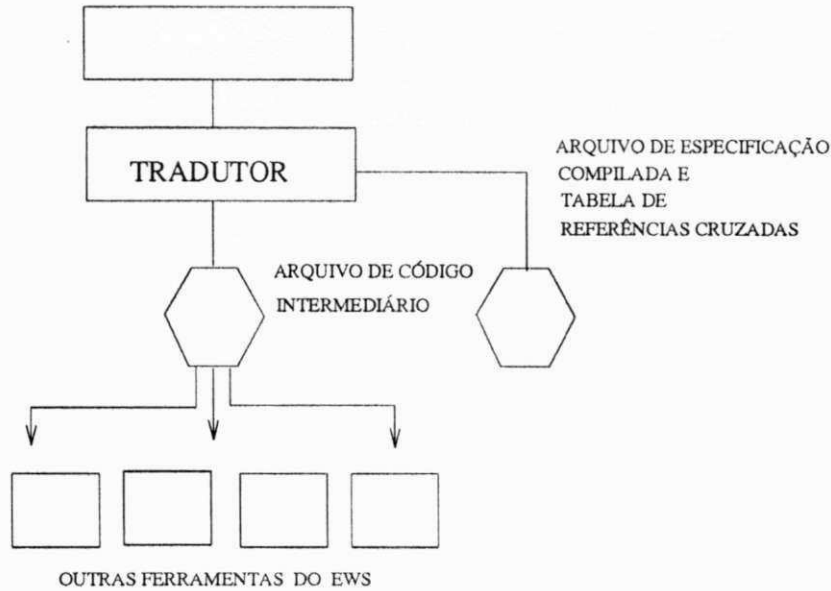


Figura 6.6: Arquivos Gerados pelo Tradutor

Essa ferramenta é ativada através do comando `goewstrans spectele` (utilizando como exemplo a especificação do sistema de telefonia simplificado). O tradutor verifica a sintaxe e a semântica da especificação, colocando as mensagens de *warnings* e de erros na listagem de compilação. Quando a especificação não possui mais nenhum erro, o arquivo de código intermediário é gerado (arquivo com extensão `stl.if`). No final do arquivo, que contém a listagem da compilação, é acrescentada a tabela de referências cruzadas. Para que essa tabela não seja gerada, deve-se acrescentar ao comando citado acima a opção `-noxrf`.

O processo de tradução envolve as seguintes etapas (Figura 6.7):

- **Análise Sintática** : verifica-se a sintaxe de qualquer especificação Estelle;
- **Análise Semântica** : verifica-se a declaração de símbolos no arquivo fonte Estelle, construindo-se uma tabela de símbolos completa e fazendo-se diagnósticos dos erros e *warnings* contidos na especificação;
- **Listagem de Compilação & Referências Cruzadas**: a listagem de compilação gerada é semelhante à listagem fornecida por um compilador Pascal. A listagem de referências cruzadas oferece informações estáticas sobre a especificação de entrada;
- **Geração de Código Intermediário**: o arquivo de código intermediário é gerado somente se nenhum erro ocorreu durante as fases anteriores.



A tabela de referências cruzadas, gerada pelo tradutor e acrescentada no final do arquivo de listagem da compilação, está dividida em quatro seções: a seção de objetos (essa seção apresenta as linhas onde é definido cada objeto gerado na especificação), a seção de módulos (para cada módulo esta seção contém os atributos que descrevem a hierarquia desses módulos), a seção de transições (para cada transição esta seção contém a descrição da lista de cláusulas e dos *outputs* executados dentro da especificação Estelle) e a seção de estatísticas (onde são descritas estatísticas da especificação).



Figura 6.7: Etapas do Tradutor

O tradutor possui as seguintes limitações:

- os valores literais do inteiro são limitados na faixa de -2147483648..2147483647;
- o compilador C assegura que todos os caracteres de itens (identificadores, strings, etc.) são expressos para 1024 caracteres;
- cada conjunto de tipos definidos com *set of type* deve ter o valor de cada *type* escalar definido no intervalo de 0..255;

- funções e procedimentos (*functions* e *procedures*) definidas externamente (*primitive*) podem somente ser declaradas a nível global, dentro da parte de declarações da *specification*;
- cada valor definido com “ ... expressão ...”, onde expressão é uma constante, deve ser um valor na faixa de 0...255;
- cada conjunto de estados de um módulo deve ser definido de modo que os estados desse conjunto pertençam aos primeiros 255 identificadores dos estados, que foram definidos no corpo do módulo em questão.

## 6.4 Gerador Estelle

A ferramenta EWSGEN é responsável pela geração de um arquivo fonte C (com extensão c) e pela geração dos arquivos objetos de uma especificação Estelle (com extensão o). Um arquivo com extensão .h, contendo definições de macros específicas da geração, também é produzido por essa ferramenta. O arquivo de entrada, para que o gerador possa executar essas funções, é o arquivo na forma intermediária produzido pelo tradutor (Figura 6.1).

Se a especificação utiliza procedimentos ou funções definidas externamente ao módulo (com o comando *primitive*), um arquivo independente em C, com a extensão c (por exemplo, arquivo *externo.c*), deve ser construído para cada uma dessas chamadas externas. Esse arquivo deve ser compilado com o comando *goewscpilprim externo*, após a execução do comando que ativa o gerador.

O comando *goewsgen spectele* é utilizado para chamar o gerador. A opção *-sim* para a simulação ou a opção *-imp* para a implementação deve ser acrescentada ao comando, de acordo com a necessidade do usuário.

O gerador de código para implementação não foi utilizado neste trabalho. Maiores detalhes a respeito dessa ferramenta do EWS podem ser encontrados em [Chen 92].

## 6.5 Simulador Estelle

A ferramenta EWSMAKESIMU é responsável pela ligação do arquivo objeto, gerado pela ferramenta EWSGEN, à biblioteca de simulação (comando *goewsmakesimu spectele*). Se

existirem declarações do tipo `primitive` na especificação, a opção `-prim` deve ser acrescentada a esse comando (`goewsmakesimu spectele -prim externo`), a fim de permitir a ligação do programa objeto, gerado para essas declarações, à biblioteca de simulação. Em ambos os casos, um arquivo binário executável é gerado (com a extensão `simu`) e, através desse arquivo, a simulação da especificação é executada (comando `spectele.simu`).

O simulador oferece a opção de mostrar na tela o arquivo fonte da especificação Estelle, através do comando `spectele.simu spectele`. Nesse caso, a tela do editor, com a listagem da especificação que está sendo simulada, aparece ao lado da tela do simulador. No ambiente EWS, que está disponível numa estação SUN 3/80 e que foi utilizado neste trabalho, o acesso ao simulador só é feito através desse comando.

Antes de executar o comando `goewsmakesimu`, os arquivos com extensão `stl` e `if` devem estar presentes no mesmo diretório do arquivo binário executável (extensão `simu`) que vai ser gerado. Um arquivo de ligação com extensão `STL` também é gerado depois da execução desse comando.

Durante a simulação os seguintes arquivos podem (ou não) ser utilizados: o arquivo fonte (com extensão `stl`) da especificação (único obrigatório), os arquivos de configuração (com extensão `CFG`), contendo a configuração salva pelo usuário, e os arquivos de cenários (com extensão `SCN`), contendo os cenários da simulação salvos pelo usuário. Um arquivo com extensão `LOG`, contendo todos os comandos executados pelo simulador, é gerado durante a simulação.

O simulador possui um núcleo de simulação, que é responsável pela recepção e tratamento dos comandos de simulação, pela configuração da simulação, pela seleção das transições e pelos dados globais que estão sendo simulados.

A interface do simulador fornece ao usuário um ambiente amigável para a simulação, oferecendo diferentes menus e janelas, tais como: janela de entrada de comandos e de saída de mensagens, janela de configuração, janela de mensagens de aviso (*warning*) ou de erro, janela com a representação gráfica da estrutura hierárquica dos módulos da especificação, janela de seleção de transições, etc.. Além disso, essa interface oferece *on-line* um *help* que auxilia os usuários durante a simulação (de modo semelhante ao *help* do editor).

O simulador faz uma verificação léxica, sintática e semântica das entradas do usuário, impedindo a introdução de comandos ou dados errados (bloqueando a entrada). O simulador permite ainda a abreviação dos comandos, acelerando a entrada via teclado, e possui também facilidades de *backtracking* (o usuário pode retornar na execução da simulação).

### 6.5.1 Interface do Simulador

A tela do simulador é dividida em duas partes: a janela de comunicação (lado esquerdo), que corresponde à interface do usuário com o simulador, e a janela de texto (lado direito), que corresponde à tela do editor e contém a listagem da especificação (Figura 6.8). Sempre que o modo interativo for utilizado na simulação, essa listagem movimentar-se-á na tela até a transição disparada. A janela de texto é semelhante à tela do editor.

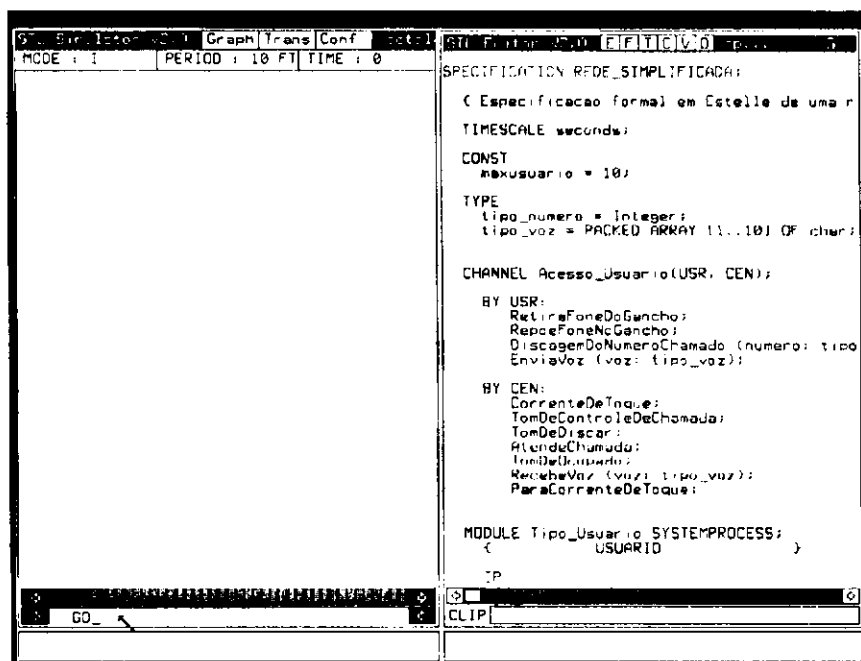


Figura 6.8: Tela Inicial do Simulador

A janela de comunicação é dividida em: linha de cabeçalho (no topo da janela), linha de informação, janela de entrada/saída e janela de mensagens.

A linha de cabeçalho apresenta o nome e a versão dessa ferramenta do EWS, a opção GRAPH, que apresenta uma janela com a estrutura hierárquica atual da especificação, a opção TRANS, que apresenta o menu das transições prontas para serem disparadas, a opção CONF, que apresenta um menu com as opções de configuração oferecidas pelo simulador, e o nome da especificação que está sendo simulada.

A linha de informação (logo abaixo da linha de cabeçalho) apresenta as opções, que podem ser selecionadas pelo usuário durante a simulação: o modo de simulação, se é interativo (I) ou automático (A), a quantidade de transições executadas por período, a unidade do período

de simulação, se é FT (*Fired Transitions*)<sup>1</sup> ou ET (*Estelle Transition unit*)<sup>2</sup> e a quantidade de transições do período que foram executadas até o momento.

A parte central da janela de comunicação (janela de entrada/saída) apresenta uma janela com todos os comandos de simulação selecionados pelo usuário, todas as informações trocadas com o simulador e todos os passos da especificação que foram simulados. Logo abaixo, uma linha de *scrolling* dessa janela de comandos é apresentada. Por último, aparece a linha de entrada dos comandos do simulador. Na Figura 6.8, o comando GO está sendo selecionado na linha de entrada de comandos.

A janela de mensagens aparece na última linha da janela de comunicação, sendo utilizada para mostrar os avisos (*warning*) da especificação ou os erros de entrada do usuário ou ainda para trocar informações adicionais dos comandos de entrada.

### 6.5.2 Menus do Simulador

Através da seleção da opção **CONF** ou **TRANS**, o simulador oferece um menu para a configuração da simulação pelo usuário ou um menu para a seleção da próxima transição a ser executada (Figura 6.9).

A simulação do sistema especificado pode ser gerenciada através da utilização dos modos de simulação: interativo, onde a simulação é controlada pelo usuário, ou automático, onde o próprio simulador seleciona as transições a serem executadas. No modo interativo, cada transição é selecionada pelo usuário a partir do menu de transições. No modo automático, o simulador, utilizando uma estratégia randômica, seleciona as transições automaticamente.

O simulador oferece a possibilidade de dividir uma sessão de simulação em períodos. Cada período corresponde a uma sequência de transições e o objetivo dessa divisão é permitir que o usuário tenha pontos de controle durante a simulação. Por exemplo, no modo automático, a simulação pára cada vez que o período termina e então o usuário pode decidir se continua a simulação, ou examina objetos, ou seleciona *traces* (pontos de rastreamento) na simulação, ou volta um ou mais períodos, ou termina a simulação.

O período de simulação é definido pelos parâmetros unidade e tamanho (ambos definidos pelo usuário no menu **CONF**). A unidade pode ser: transições disparadas (FT), onde a posição vigente dentro do período é incrementada de 1 cada vez que uma transição é disparada, ou progressão de tempo em Estelle (ET), onde a posição vigente do período só é

---

<sup>1</sup>Transições Disparadas

<sup>2</sup>Progressão de Tempo em Estelle

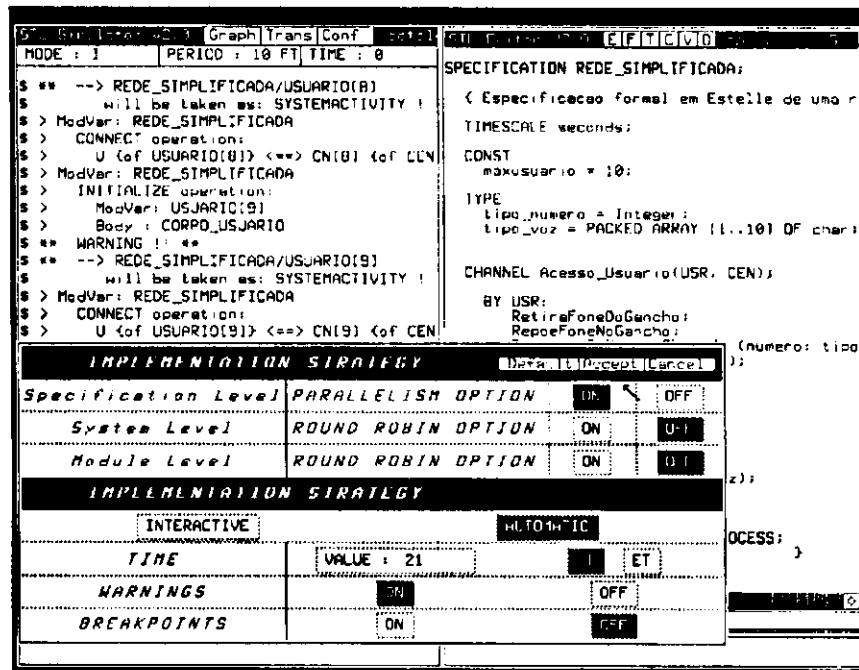


Figura 6.9: Menu de Configuração

atualizada quando transições com a cláusula *delay* são alcançadas. Quando o final do período é alcançado, o contador do período vigente é inicializado. Os parâmetros do período podem mudar a qualquer momento na simulação.

No simulador o tempo é incrementado de acordo com a semântica Estelle de habilitação e disparo das transições *delay*. Quando o tempo mínimo, definido na cláusula *delay*, for alcançado na simulação, uma transição especial denominada *time progress transition* é colocada no menu de transições (Figura 6.10). Quando essa transição é disparada, um novo valor é atribuído ao tempo vigente, o que corresponde ao tempo máximo da transição *delay*, e outra transição especial *time progress transition* é apresentada no menu TRANS e deve ser disparada, para que finalmente a transição *delay*, propriamente dita, possa ser disparada (Figura 6.11).

Durante a edição da especificação pontos de interrupção (*breakpoints*) podem ser definidos na parte de ações das transições ou nas funções ou nos procedimentos (procedures ou functions de Pascal). Quando um ponto de interrupção é alcançado na simulação, a execução pára (as instruções da linha não são executadas). Nesse ponto, é possível examinar (através do comando EXAMINE) o contexto local da simulação. A única ação que pode ser executada depois dessa interrupção é continuar a execução da transição ou da função ou do procedimento, que se encontrava nesse mesmo ponto.

A opção *breakpoint* do menu CONF (ON selecionado) permite validar todos os pontos de



```

SYSTEM SIMULATOR TIME CHANGED
MOD A REDE_SIMPLIFICADA/TIME_PROGRESS TRANSITION
CIFICIO

$
$ > ModVar: REDE_SIMPLIFICADA/CENTRAL/
$ CONEXAO(2)/CHAMADO
$ > WHEN operation:
$ > IP : RCT
$ > Interaction: CORRENTEDETOQUE
$ > ModVar: REDE_SIMPLIFICADA/CENTRAL/
$ CONEXAO(2)/CHAMADO
$ > OUTPUT operation:
$ > IP : R
$ > Interaction: CORRENTEDETOQUE
$
$ ***** REDE_SIMPLIFICADA/USUARIO(2)/
$ U.CORRENTEDETOQUE (122) FIRED *****
$
$ > ModVar: REDE_SIMPLIFICADA/USUARIO(2)
$ > WHEN operation:
$ > IP : U
$ > Interaction: CORRENTEDETOQUE
$
$ ***** REDE_SIMPLIFICADA/USUARIO(4)/
$ U.TOMDECONTROLEDECHAMADA (106)
$ FIRED *****
$
$ > ModVar: REDE_SIMPLIFICADA/USUARIO(4)
$ > WHEN operation:
$ > IP : U
$ > Interaction: TOMDECONTROLEDECHAMADA
$

FROM Chamado
TO Discagem
WHEN U.TomDeDiscar
BEGIN
END;

FROM Discagem
TO Discado
PROVIDED FeitaDiscagem
BEGIN
OUTPUT U.DiscagemDoNumeroChama
NumeroDiscado := 0
END;

FROM Discado
TO Chamado
WHEN U.TomDeControleDeChamada
BEGIN
END;

FROM Chamado
TO Conversacao ( Usuario Chamado )
WHEN U.AtendeChamada
BEGIN
END;

FROM Inativo
TO Chamado
WHEN J.CorrenteDeToque
BEGIN
END;
    
```

Figura 6.10: Transição Especial

```

SYSTEM SIMULATOR TIME CHANGED
MOD A REDE_SIMPLIFICADA/TIME_PROGRESS TRANSITION
A REDE_SIMPLIFICADA/CENTRAL/CONEXAO(2)/CONEXAO/DELAY : time 524
Interaction: CORRENTEDETOQUE
$ > ModVar: REDE_SIMPLIFICADA/CENTRAL/
$ CONEXAO(2)/CHAMADO
$ > OUTPUT operation:
$ > IP : R
$ > Interaction: CORRENTEDETOQUE
$
$ ***** REDE_SIMPLIFICADA/USUARIO(2)/
$ U.CORRENTEDETOQUE (122) FIRED *****
$
$ > ModVar: REDE_SIMPLIFICADA/USUARIO(2)
$ > WHEN operation:
$ > IP : U
$ > Interaction: CORRENTEDETOQUE
$
$ ***** REDE_SIMPLIFICADA/USUARIO(4)/
$ U.TOMDECONTROLEDECHAMADA (106)
$ FIRED *****
$
$ > ModVar: REDE_SIMPLIFICADA/USUARIO(4)
$ > WHEN operation:
$ > IP : U
$ > Interaction: TOMDECONTROLEDECHAMADA
$
$ ***** REDE_SIMPLIFICADA/TIME_PROGRESS
$ TRANSITION FIRED *****
$
$ Estelle time progressed from 0 to 10
$

WHEN U.TomDeDiscar
BEGIN
END;

FROM Discagem
TO Discado
PROVIDED feitaDiscagem
BEGIN
OUTPUT U.DiscagemDoNumeroChama
NumeroDiscado := 0
END;

FROM Discado
TO Chamado
WHEN U.TomDeControleDeChamada
BEGIN
END;

FROM Chamado
TO Conversacao ( Usuario Chamado )
WHEN U.AtendeChamada
BEGIN
END;

FROM Inativo
TO Chamado
WHEN U.CorrenteDeToque
BEGIN
END;
    
```

Figura 6.11: Transição Especial e Transição delay

interrupção contidos na especificação . Com OFF selecionado, esses pontos de interrupção não são executados.

A nível de um módulo *systemprocess* ou *systemactivity*, várias instâncias dos módulos componentes da especificação podem ter suas transições disparadas ao mesmo tempo. O simulador utiliza um algoritmo *round robin*, cujo objetivo é introduzir uma estratégia para a seleção de uma instância de um módulo. No interior de um módulo *systemprocess* várias transições podem ser disparadas ao mesmo tempo e uma estratégia, semelhante a anterior, para a seleção das transições a serem disparadas também pode ser introduzida por esse algoritmo. Para que o simulador utilize esse algoritmo, a opção ROUND ROBIN do menu CONF deve ser selecionada com ON tanto a nível de sistema quanto a nível de módulos (Figura 6.9).

A opção *warning* do menu CONF, quando selecionada com ON, permite que o usuário tenha acesso aos comandos executados pelo simulador na janela de comunicação.

O menu de transições (TRANS) está disponível para o usuário, se a execução das transições foi inicializada (com o comando GO) e se a simulação não se encontra numa situação de *dead-lock* (Figura 6.12).

```

$ > SYSTEM CONF
MOD A REDE_SIMPLIFICADA/CENTRAL/CONTROLA.../CONEXAO(2)/REDE_SIMPLIFICADA/CENTRAL/CONTROLA.../CONEXAO(2)
MOD B REDE_SIMPLIFICADA/CENTRAL/CONTROLA.../CONEXAO(2)/CONEXAO(2)
$ > WHEN operation:
$ > IP : CT
$ > Interaction: RESPONSAVERIFICA
$ > ModVar: REDE_SIMPLIFICADA/CENTRAL/CONTROLA.../CONEXAO(2)/CONTROLA.../CONEXAO(2)
$ > OUTPUT operation:
$ > IP : CT
$ > Interaction: CONEXAO(2)
$ > ModVar: REDE_SIMPLIFICADA/CENTRAL/CONEXAO(2)
$ > INITIALIZE operation:
$ > ModVar: CHAMADO
$ > Body: CORPO_CHAMADO
$ ** WARNING !! **
$ -> REDE_SIMPLIFICADA/CENTRAL/CONEXAO(2)/CHAMADO will be taken as: ACTIVITY
$ > ModVar: REDE_SIMPLIFICADA/CENTRAL/CONEXAO(2)
$ > ATTACH operation:
$ > CXR ==> R (of CHAMADO)
$ > ModVar: REDE_SIMPLIFICADA/CENTRAL/CONEXAO(2)
$ > CONNECT operation:
$ > CR (of CHAMADOR) <==> RC (of CHAMADO)
$ > ModVar: REDE_SIMPLIFICADA/CENTRAL/CONEXAO(2)
$ > CONNECT operation:
$ > RET (of CHAMADO) <==> CTR (of CONTROLA.../CONTROLA.../CONEXAO(2))
$ > ModVar: REDE_SIMPLIFICADA/CENTRAL/CONEXAO(2)
$ > ATTACH operation:
$ > CN(2) ==> CXR (of CONEXAO(2))
$ END OF PERIOD 1

< Especificacao formal em Estelle de uma r
TIMESCALE seconds:
CONST
maxusuario = 10;
TYPE
tipo_numero = Integer;
tipo_voz = PACKED ARRAY [1..10] OF char;
CHANNEL Acesso_usuario(USR, CEN);
BY USR:
RetiraFoneDoGancho;
ReposFoneNoGancho;
DiscagemDoNumeroChamado (numero: tipo_numero);
EnviaVoz (voz: tipo_voz);
BY CEN:
CorrenteDeToque;
TonDeControleDeChamada;
TonDeDiscar;
AtendeChamada;
TonDeOcupado;
RecebeVoz (voz: tipo_voz);
ParaCorrenteDeToque;
MODULE Tipo_usuario SYSTEMPROCESS;
< USUARIO >
IP

```

Figura 6.12: Menu de Transições

Cada transição do menu é identificada por um caminho (*path*), formado pelo nome de todos os módulos ancestrais do módulo ao qual pertence a transição, pelo nome desse módulo e pela primitiva recebida no ponto de interação (no caso de transições com cláusula *when*).

Cada transição possui também um atributo, indicando se a transição pode ser efetivamente disparada. Esse atributo depende da configuração de paralelismo adotada no menu CONF e pode ser:

- **A:** a transição é considerada como atômica (a opção de paralelismo é selecionado como OFF);
- **B:** fase inicial da execução da transição (a opção de paralelismo é selecionado como ON). A parte de ações da transição é executada, mas a instância do módulo deve esperar pela fase final da transição para poder mudar de estado;
- **E:** fase final da execução da transição (a opção de paralelismo é selecionado como ON). A transição foi previamente disparada, mas a evolução da instância do módulo em questão depende da seleção dessa transição;
- **.** : a transição não pode ser selecionada, porque uma transição do mesmo sistema está sendo executada.

### 6.5.3 Comandos Disponíveis

Os seguintes comandos são oferecidos pelo simulador:

- **ABORT:** comando utilizado para sair do simulador. Pode ser utilizado a qualquer momento da simulação, menos quando a execução está parada após um *breakpoint*;
- **DELETETRACE:** remove todos os *traces* selecionados durante a simulação (variáveis exportadas, variáveis internas e estados);
- **EXAMINE:** examina interativamente o valor vigente de um objeto (variável interna, as conexões dos pontos de interação, o conteúdo da fila associada ao ponto de interação, etc.);
- **GO:** inicializa a especificação e inicia a simulação ou continua a execução após um *breakpoint* (Figura 6.13);
- **REDO:** permite que o usuário execute novamente todas as transições no período de simulação vigente;
- **RESET:** força o simulador a retornar a sua configuração inicial ou *default*;

- **RESTORE:** permite que um cenário, previamente salvo pelo usuário, seja executado pelo simulador (SCENARIO) ou permite que a simulação volte ao estado inicial (INITIAL STATE);
- **SAVE:** permite que o usuário armazene num arquivo específico (com extensão CFG), uma configuração para a sua simulação (CONFIGURATION) ou um cenário para a sua simulação (com extensão SCN). Um cenário é composto das seqüências das transições executadas até o estado vigente;
- **SETTRACE:** permite que um *trace* automático seja definido para uma variável externa, para uma variável interna ou para um estado de um módulo. Quando um *trace* é definido para um objeto, o valor vigente desse objeto é apresentado na tela do simulador, cada vez que uma transição desse módulo é disparada;
- **SETVALUE:** permite que o usuário modifique o valor vigente de uma variável interna ou variável externa (variável exportada ou um parâmetro do módulo);
- **UNDO:** permite que a execução retorne ao estado global anterior ao período vigente;
- **USECONFIGURATION:** permite que o simulador utilize uma configuração anteriormente salva pelo usuário;
- **QUIT:** permite finalizar uma simulação (Figura 6.14).

A Figura 6.13 apresenta o início da simulação do sistema de telefonia simplificado. O comando `GO` foi selecionado e a especificação encontra-se em *deadlock* temporário. Nesse momento, um valor `TRUE` deve ser atribuído a uma das variáveis de uma instância do módulo `Usuario`, através do comando `SETVALUE` (Figura 6.12). O valor `TRUE` para o simulador corresponde a 1 e o valor `FALSE` corresponde a 0.

O comando `EXAMINE` permite que o usuário examine o valor das variáveis internas e externas declaradas nos módulos da especificação, o valor vigente do estado de um módulo, as conexões estabelecidas para os pontos de interação dos módulos e o conteúdo das filas associadas aos pontos de interação (internos e externos). Se as primitivas trocadas entre os canais possuem parâmetros, os conteúdos desses parâmetros poderão ser verificados. Na Figura 6.15, esse comando está sendo selecionado para o módulo `Controlador` após o final de um período de simulação.

O simulador permite que o usuário escolha uma configuração para a sua simulação e armazene essa configuração para utilizações posteriores (comandos `SAVE` e `USECONFIGURATION`). O mesmo acontece com os cenários de simulação (comandos `SAVE` e `RESTORE`).

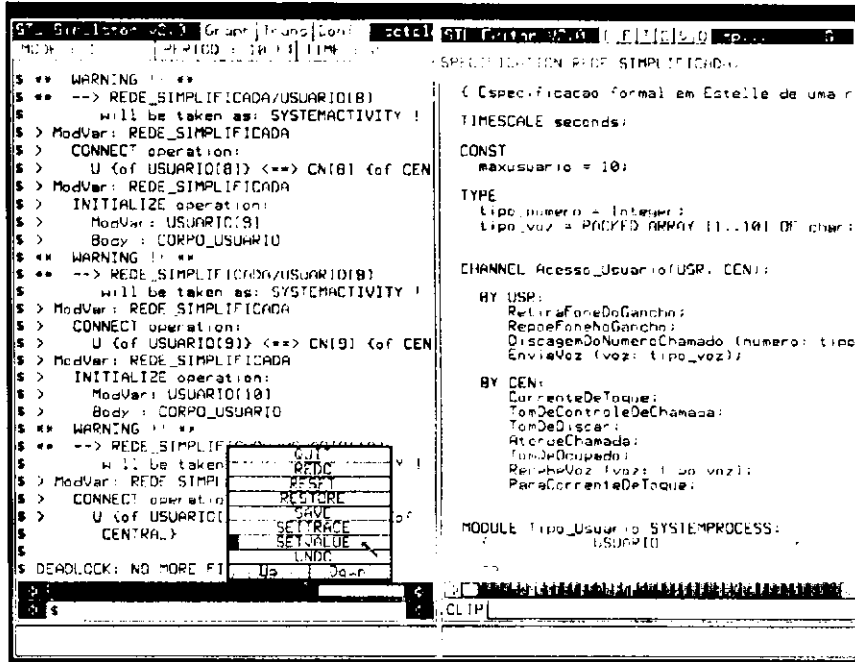


Figura 6.13: Início da Simulação do Sistema de Telefonia Simplificado

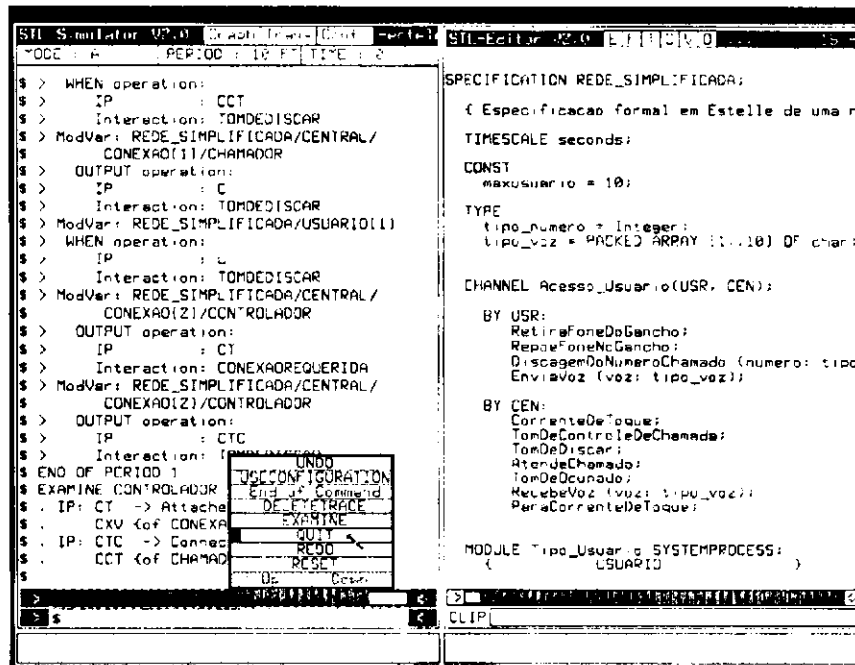


Figura 6.14: Final da Simulação do Sistema de Telefonia Simplificado

```

MODE : H PERIOD : 18 F7 11 C : 0
$ VERIFICADOR
$ > ModVar: REDE_SIMPLIFICADA/CENTRAL
$ > ATTACH operation:
$ > CNI(1) ==> CXC (of CONEXAO(2))
$ > ModVar: REDE_SIMPLIFICADA/CENTRAL/
CONEXAO(1)/CHAMADOR
$ > WHEN operation:
$ > IP : C
$ > Interaction: TOMDEDISCAR
$ > ModVar: REDE_SIMPLIFICADA/CENTRAL/
CONEXAO(1)/CHAMADOR
$ > OUTPUT operation:
$ > IP : C
$ > Interaction: TOMDEDISCAR
$ > ModVar: REDE_SIMPLIFICADA/USUARIO(1)
$ > WHEN operation:
$ > IP : C
$ > Interaction: TOMDEDISCAR
$ > ModVar: REDE_SIMPLIFICADA
CONEXAO(2)/CENTRAL
$ > OUTPUT operation:
$ > IP : C
$ > Interaction: C
$ > ModVar: REDE_SIMPLIFICADA/USUARIO(1)
CONEXAO(2)/CENTRAL
$ > OUTPUT operation:
$ > IP : C
$ > Interaction: T
$ END OF PERIOD :
$ EXAMINE
  
```

```

SPECIFICATION REDE_SIMPLIFICADA:
( Especificacao formal em Estelle de uma r
TIMESCALE seconds:
CONST
  maximum = 10:
  VERIFICADOR
  CONEXAO(1)
  CONEXAO(2)
  IP = Integer:
  PROVED ARRAY (1..10) Of char:
  )
CHANNEL Acesso_Usuario(USR, CEN):
BY USR:
  RetirafoneDoGancho;
  RepoeFoneNoGancho;
  DiscagemDoNumeroChamado (numero: tipo
  EnvieVoz (voz: tipo_voz);
BY CEN:
  CorrenteDeToque;
  TrmDeControleDeChamada;
  TomDeDiscar;
  AtendeChamada;
  TomDeOcupado;
  RecebeVoz (voz: tipo_voz);
  ParaCorrenteDeToque;
MODULE Tipo_Usuario SYSTEMPROCESS;
(
  USUARIO
  )
  
```

Figura 6.15: Seleção do Comando EXAMINE

Esses comandos são bastante úteis no caso de simulação com muitas variáveis, cujo valor deve ser atribuído pelo usuário da ferramenta. Nesses casos, as configurações e os cenários podem ser pré-definidos.

#### 6.5.4 Conceitos de Estelle na Simulação

As transições em Estelle podem ser executadas nos seguintes modos: paralelismo assíncrono, síncrono ou não paralelismo [Lope 89]. O modo de execução dessas transições no EWS (em paralelo ou não) é escolhido durante a simulação de acordo com os atributos dos módulos da especificação (*systemprocess*, *systemactivity*, *activity* ou *process*). O simulador trata o paralelismo de modo diferente da semântica de Estelle, visto que a tarefa de executar transições ao mesmo tempo da forma como é apresentada nessa TDF, não pode ser facilmente descrita numa ferramenta automática.

O simulador considera a execução das transições dos módulos em paralelo assíncrono ou síncrono ou sem paralelismo. Caso a especificação contenha módulos executados em paralelo, o menu CONF possui uma opção de paralelismo que deve ser selecionada para ON. Como no sistema de telefonia simplificado os atributos dos módulos devem ser *systemprocess* ou *process*, antes do início da simulação dessa especificação, a opção de paralelismo deve ser



selecionada para ON (Figura 6.9).

Depois de selecionar a opção de paralelismo, o usuário da ferramenta pode gerenciar interativamente a execução das transições (modo interativo), assegurando o paralelismo síncrono ou assíncrono, através da escolha no menu TRANS de um conjunto de transições das instâncias dos módulos a serem disparadas ao mesmo tempo. O simulador, através dos atributos B, . (ponto) e E, oferece ao usuário uma forma de gerenciar esse paralelismo.

No caso do paralelismo síncrono, primeiro o usuário deve escolher, entre as transições apresentadas no menu TRANS, um conjunto de transições dos módulos *process* de um sistema. As transições inicialmente possuem o atributo B. O usuário deve disparar todas as transições desse conjunto (os atributos dessas transições mudam para . (ponto) à medida que elas são disparadas). O simulador se encarrega de não deixar que essas transições terminem (não permite que as transições com atributo . (ponto) sejam disparadas) antes que todas as transições desse conjunto tenham sido disparadas (como se fossem disparadas ao mesmo tempo). Só então as transições com o atributo . (ponto) tornam-se disponíveis e essas transições podem ser terminadas (atributo E).

No caso do paralelismo assíncrono, entre dois sistemas, o simulador não oferece o atributo . (ponto) para as transições. Sendo assim, as transições dos sistemas evoluem independentemente.

No modo automático, o próprio simulador faz o gerenciamento do paralelismo, determinando quais as transições que devem ser disparadas (randomicamente) seguindo as regras citadas anteriormente.

Quando a opção de paralelismo não é selecionada, uma única transição é eleita e mantida em execução (atributo A no menu TRANS), não importa o atributo de paralelismo que tenha sido definido nos módulos (Figura 6.12).

Durante a simulação, os conceitos Estelle de transições habilitadas e transições prontas para serem disparadas são utilizados pelo simulador da seguinte maneira: assim que o simulador verifica que uma transição de qualquer um dos módulos da especificação está habilitada, essa transição é colocada no menu de transições (menu TRANS) e está pronta para ser disparada pelo usuário (modo interativo) ou pelo próprio simulador (modo automático).

### 6.5.5 Problemas da Ferramenta Simulador

O simulador do ambiente EWS foi utilizado para a validação do sistema de telefonia simplificado e do processamento de chamadas da Central Trópico RA. Os seguintes problemas

foram encontrados durante a simulação dessas especificações:

- quando duas ou mais transições *delay* estão prontas para serem disparadas pelo simulador ao mesmo tempo, a transição especial aparece uma única vez. Quando essa transição é disparada, no entanto, aparecem no menu TRANS normalmente todas as transições *delay* prontas para serem disparadas;
- o simulador possui uma limitação quanto ao tamanho da identificação das transições disparadas (*path* das transições). Quando esse tamanho é maior que o tamanho de uma linha da janela de comunicação e a simulação está sendo realizada no modo interativo, o simulador é desativado com uma mensagem de erro. Esse problema é solucionado com a diminuição do tamanho do nome dos módulos;
- o simulador não aceita caracteres alfa-numéricos de entrada, apesar da sintaxe Estelle permitir a definição de variáveis do tipo *string*.
- o simulador não permite que o usuário tenha acesso aos valores das funções ou aos valores das variáveis internas das funções (*functions*) e dos procedimentos (*procedures*) em Pascal declarados nos módulos.

Uma mensagem aparece na janela de comunicação do simulador (*warning*) sempre que módulos com os atributos *systemprocess* ou *process* são criados. Por exemplo, uma mensagem desse tipo é ilustrada na Figura 6.12, quando uma instância do módulo **Conexao** é criada dinamicamente. Entretanto, mesmo com essa mensagem, ao selecionar a opção de paralelismo do menu CONF, a simulação em paralelo prossegue normalmente.

## Capítulo 7

# Validação da Especificação Formal

A validação da especificação formal do processamento de chamadas da central Trópico RA foi realizada com o auxílio do ambiente “Estelle Work Station (EWS)”. Todos os tipos de chamadas considerados na especificação formal foram simulados e os resultados obtidos são apresentados no decorrer deste capítulo.



## 7.1 Técnicas de Validação

A validação da especificação formal de um sistema é uma atividade fundamental, visto que a especificação formal não garante que esse sistema esteja completo ou consistente com as intenções do projetista ou do usuário do sistema. Uma das vantagens na utilização de técnicas de validação está na possibilidade de detecção de erros na especificação formal.

Validação é um termo genérico utilizado em qualquer atividade de análise, que tenha por objetivo garantir ou mesmo aumentar a confiabilidade da especificação ou da implementação de um sistema [Oliv 92].

As técnicas utilizadas durante a validação, para investigar o comportamento das especificações ou das implementações, podem ser agrupadas em três grandes categorias: verificação, simulação e teste [Lope 88].

- Na verificação analisa-se uma especificação, através de algum tipo de raciocínio lógico, a fim de demonstrar se ela possui ou não determinadas propriedades que lhe são requeridas, tais como, ausência de impasses (*deadlocks*), laços indesejáveis, interações não executáveis, término apropriado, etc.. Apesar de oferecer resultados definitivos a respeito das propriedades verificadas, para a aplicação da verificação é necessário impor certos limites aos modelos utilizados, dificultando o seu emprego em sistemas complexos;
- Na simulação executa-se a especificação como uma caixa branca, possibilitando o acesso ao seu interior e visando a detecção de erros;
- No teste verifica-se a conformidade entre a especificação de um sistema e a sua implementação, através da execução dessa especificação em seu ambiente e da observação do seu comportamento. A especificação é executada como uma caixa preta, possibilitando o acesso somente às suas interfaces e, como na simulação, visando a detecção de erros.

Uma das vantagens da simulação e do teste é que podem ser aplicados a sistemas complexos. Entretanto, essas técnicas não podem oferecer resultados definitivos em relação à ausência de erros, visto que não podem ser exaustivamente aplicadas [Hans 90].

As técnicas de validação podem ser utilizadas em diferentes etapas do desenvolvimento de um sistema de comunicação (Figura 7.1).

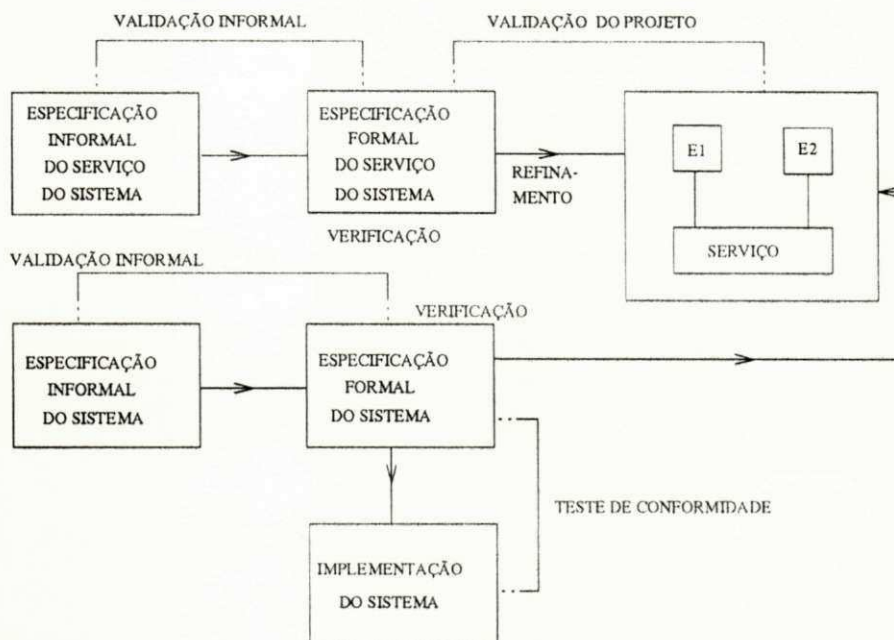


Figura 7.1: Diferentes Etapas da Validação de Sistemas de Comunicação

## 7.2 Características da Simulação

A técnica de validação utilizada neste trabalho foi a simulação. Com o auxílio da ferramenta simulador do ambiente EWS, verificou-se a conformidade e a correção da especificação formal do processamento de chamadas da central Trópico RA.

Durante a simulação, verificou-se o comportamento da especificação em relação a todos os tipos de chamadas especificadas. O simulador permite verificar o comportamento específico dos módulos componentes da especificação (primitivas enviadas/recebidas, conexão ou ligação dos pontos de interação, valores das variáveis, estados, transições a serem disparadas, etc.) em todas as situações (chamadas bem-sucedidas ou chamadas malsucedidas).

Os tipos de chamadas que foram simulados: chamada interna bem-sucedida com o assinante A desligando antes do assinante B, chamada interna bem-sucedida com o assinante B desligando antes do assinante A (ocorrendo ou não desconexão forçada do chamador), chamada interna malsucedida com o assinante B ocupado, chamada interna malsucedida com o assinante A discando um número inexistente, chamada interna malsucedida com o assinante A não discando o número do chamado, chamada interna malsucedida com o assinante B não atendendo a ligação e os outros tipos de chamadas internas malsucedidas descritas no

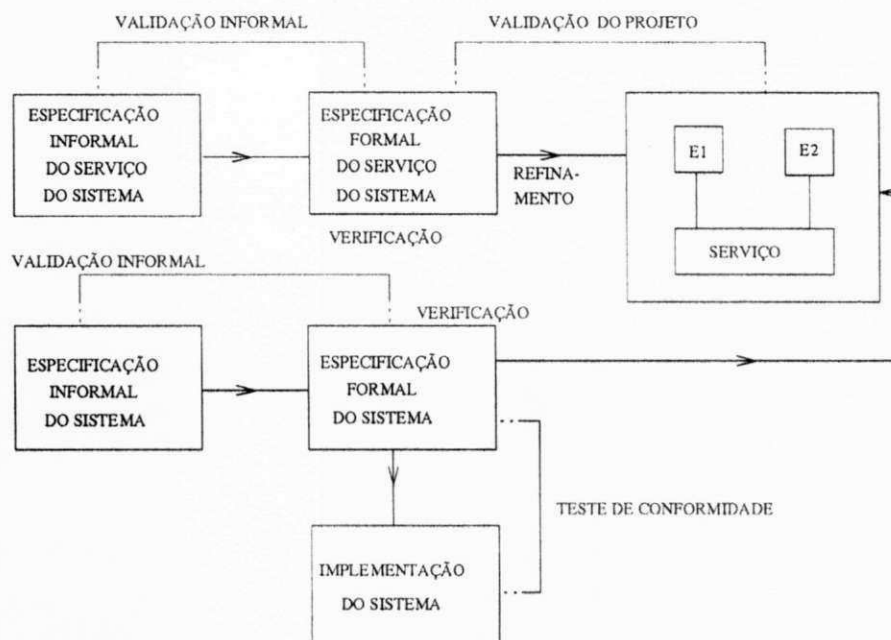


Figura 7.1: Diferentes Etapas da Validação de Sistemas de Comunicação

## 7.2 Características da Simulação

A técnica de validação utilizada neste trabalho foi a simulação. Com o auxílio da ferramenta simulador do ambiente EWS, verificou-se a conformidade e a correção da especificação formal do processamento de chamadas da central Trópico RA.

Durante a simulação, verificou-se o comportamento da especificação em relação a todos os tipos de chamadas especificadas. O simulador permite verificar o comportamento específico dos módulos componentes da especificação (primitivas enviadas/recebidas, conexão ou ligação dos pontos de interação, valores das variáveis, estados, transições a serem disparadas, etc.) em todas as situações (chamadas bem-sucedidas ou chamadas malsucedidas).

Os tipos de chamadas que foram simulados: chamada interna bem-sucedida com o assinante A desligando antes do assinante B, chamada interna bem-sucedida com o assinante B desligando antes do assinante A (ocorrendo ou não desconexão forçada do chamador), chamada interna malsucedida com o assinante B ocupado, chamada interna malsucedida com o assinante A discando um número inexistente, chamada interna malsucedida com o assinante A não discando o número do chamado, chamada interna malsucedida com o assinante B não atendendo a ligação e os outros tipos de chamadas internas malsucedidas descritas no



capítulo 5 (casos em que os registradores estão ocupados, a classificação do chamador não está correta, a classificação do chamado não está correta, o assinante chamado não é local, a categoria do chamador e a classificação do chamado são incompatíveis e os canais de voz para o chamador ou para o chamado estão ocupados).

A inicialização de todas as variáveis dos módulos da especificação é realizada, automaticamente, pelo simulador, no início da simulação, assim que o comando GO é executado. O projetista não precisa se preocupar com o problema de inicialização de variáveis.

A especificação formal pode ser simulada nos modos automático e interativo, disponíveis no menu de configurações do simulador (opção CONF). Na fase de conversação de uma ligação telefônica, o modo deve ser o interativo.

Os módulos definidos nessa especificação formal devem executar as suas transições através do paralelismo assíncrono (atributo *systemprocess*) ou síncrono (atributo *process*). Os módulos **Usuario** e **Central** possuem o atributo *systemprocess* e os outros módulos da especificação, descendentes de **Central**, possuem o atributo *process*.

A opção de paralelismo do menu CONF do simulador deve ser selecionada com ON a fim de possibilitar que as transições da especificação sejam executadas em paralelismo assíncrono ou síncrono (no modo automático ou interativo). Caso contrário, as transições dos módulos serão executadas em não paralelismo, independente dos atributos dos módulos.

Uma interrupção não controlada da simulação pode acontecer se uma situação de *deadlock* (de impasse) ocorrer [Demb 87]. A simulação de um sistema encontra-se numa situação de *deadlock* quando todos os subsistemas estão em suas fases de gerenciamento do sistema, mas esses subsistemas não têm nada para executar nos passos seguintes (nenhuma transição está pronta para ser disparada em seus módulos componentes).

A ferramenta **simulador** do ambiente EWS apresenta uma situação de *deadlock* sempre que, num determinado momento da simulação, os módulos do sistema que está sendo simulado não possuem nenhuma transição pronta para ser disparada. A execução de uma transição em outro subsistema pode mudar essa situação.

Na descrição da simulação dessa especificação, os *deadlocks* que ocorreram foram denominados temporários. A simulação volta ao normal, assim que um valor TRUE (1) ou FALSE (0) for atribuído à variável *ForaGancho* ou *FeitaDiscagem* de um dos módulos **Usuario**.

### 7.3 Simulação da Especificação Formal

Os tipos de chamadas foram simulados inicialmente para dois assinantes e, em seguida,

para vários assinantes, sempre com a opção de paralelismo do simulador selecionada. A escolha dos usuários, para o estabelecimento de uma chamada telefônica, foi realizada de acordo com a classificação do assinante, garantindo assim a simulação para cada um dos tipos de chamadas.

O arquivo que contém a listagem da especificação formal do processamento de chamadas da central Trópico RA denomina-se **spectrop.stl**. Após a utilização das outras ferramentas do ambiente EWS nessa especificação (comandos **goewstrans**, **goewsgen**, **goewscopilprim** e **goewsmakesimu**), o simulador é ativado através da execução do programa de simulação da especificação (**spectrop.simu**), com o comando **spectrop.simu spectrop**.

### 7.3.1 Telas da Simulação

Assim que a tela do simulador aparece, o comando GO é selecionado. A rede telefônica, contendo 160 usuários e uma central Trópico RA, é inicializada. A Figura 7.2 apresenta a criação dos módulos Central, Plano, Matriz\_de\_Comutacao, Modulo\_de\_Comutacao, Modulo\_de\_Sinalizacao, Modulo\_Auxiliar e Terminais.

```

SIL Simulator V2.0  Graphical User Interface  Spectrop  Spectrop V2.0  Graphical User Interface  32
-----
$ GO
$ > ModVar: REDE
$ > INITIALIZE operation:
$ > ModVar: CENTRAL
$ > Body: CORPO CENTRAL
$ > ModVar: REDE/CENTRAL
$ > INITIALIZE operation:
$ > ModVar: PLANO
$ > Body: CORPO PLANO
$ > ModVar: REDE/CENTRAL/PLANO
$ > INITIALIZE operation:
$ > ModVar: MATRIZ DE COMUTACAO
$ > Body: CORPO MATRIZ DE COMUTACAO
$ > ModVar: REDE/CENTRAL/PLANO/MATRIZ DE COM
$ > INITIALIZE operation:
$ > ModVar: MODULO DE COMUTACAO
$ > Body: CORPO MODULO DE COMUTACAO
$ > ModVar: REDE/CENTRAL/PLANO
$ > INITIALIZE operation:
$ > ModVar: MODULO DE SINALIZACAO
$ > Body: CORPO MODULO DE SINALIZACAO
$ > ModVar: REDE/CENTRAL
$ > INITIALIZE operation:
$ > ModVar: MODULO AUXILIAR
$ > Body: CORPO MODULO AUXILIAR
$ > ModVar: REDE/CENTRAL
$ > INITIALIZE operation:
$ > ModVar: TERMINAIS
$ > Body: CORPO TERMINAIS
  
```

```

SPECIFICATION FILE
( Esta versao corresponde a especificacao
  processamento de chamadas da central Tro
)
TIMESCALE segundos:
CONST
maxusuario = 160;
maxcanal = 64;
maxterminais = 80;
PROCEDURE mensagens (n: Integer): PRIMITIV
CHANNEL Canal_usuario(USR, CENT):
BY USR:
RetiraFoneDoGancho:
DescagemDoNumeroChamado (numero: Inte
EnviaVoz:
ReponhaNoGancho:
BY CENT:
TomDeDiscar:
TomDeControleDeChamada:
CorrenteDeToque:
ParaCorrenteDeToque:
TomDeOcupado:
NumeroNaoExistente:
RecebeVoz:
InicioConversacao:
FimConversacao:
  
```

Figura 7.2: Início da Simulação da Especificação

Após a execução do comando GO, o sistema fica em *deadlock* temporário, uma vez que nenhum Usuário da Rede está com o fone fora do gancho.

Antes que um dos módulos `Usuario` envie a primitiva `RetiraFoneDoGancho`, a opção de paralelismo é selecionada com `ON` para que as transições dos módulos com atributos `process` ou `systemprocess` sejam executadas corretamente. A Figura 7.3 apresenta o menu de configurações com essa opção e com o modo de execução sendo selecionados. Inicialmente, o modo de execução das transições está sendo selecionado para automático, a fim de permitir que o próprio simulador escolha a próxima transição a ser disparada.

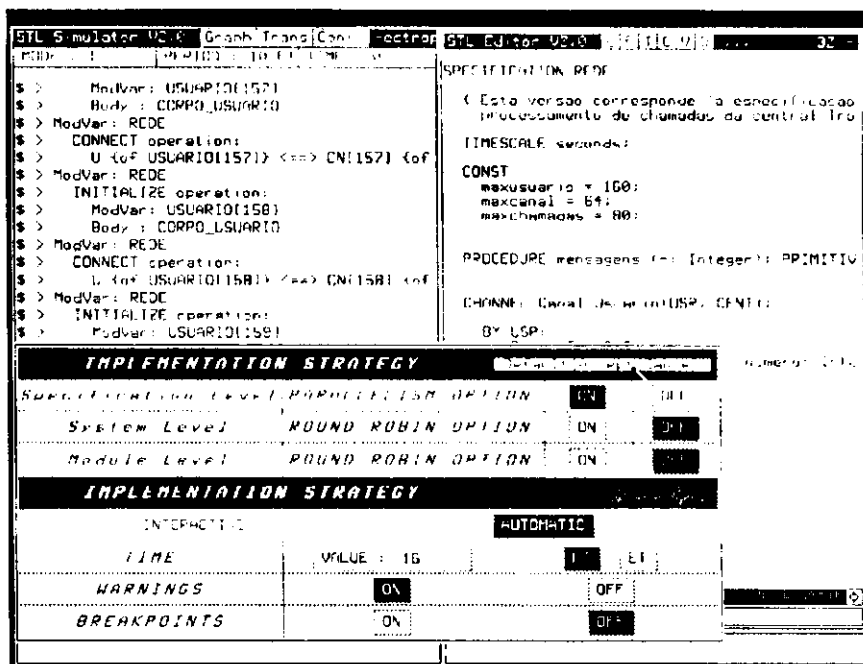


Figura 7.3: Selecionando Configuração da Especificação

A Figura 7.4 apresenta a estrutura hierárquica da especificação formal (opção `GRAPH` selecionada), a criação das últimas instâncias de `Usuario` e a conexão dessas instâncias com a `Central`. Um menu contendo todas as instâncias dos módulos `Usuario` e uma instância de `Central`, criadas pela `Rede`, no momento em que o valor `TRUE` está sendo atribuído à variável `ForaGancho` do `Usuario[1]` (comando `SETVALUE`) também é apresentado na Figura 7.4.

Na Figura 7.5 a primitiva `RetiraFoneDoGancho` está sendo enviada (*output*) pelo `Usuario[1]` à `Central`. O menu `TRANS`, com uma transição do `Controlador`, que está pronta para ser disparada, e uma parte da estrutura hierárquica da especificação também são apresentados na Figura 7.5.

Na Figura 7.6 o `Usuario[1]` (chamador) recebeu a primitiva `TomDeDiscar` e o número do chamado foi atribuído à variável `numero`. Além disso, a variável `FeitaDiscagem` está sendo atribuída com o valor `TRUE`, aparecendo um menu com as variáveis internas desse módulo.

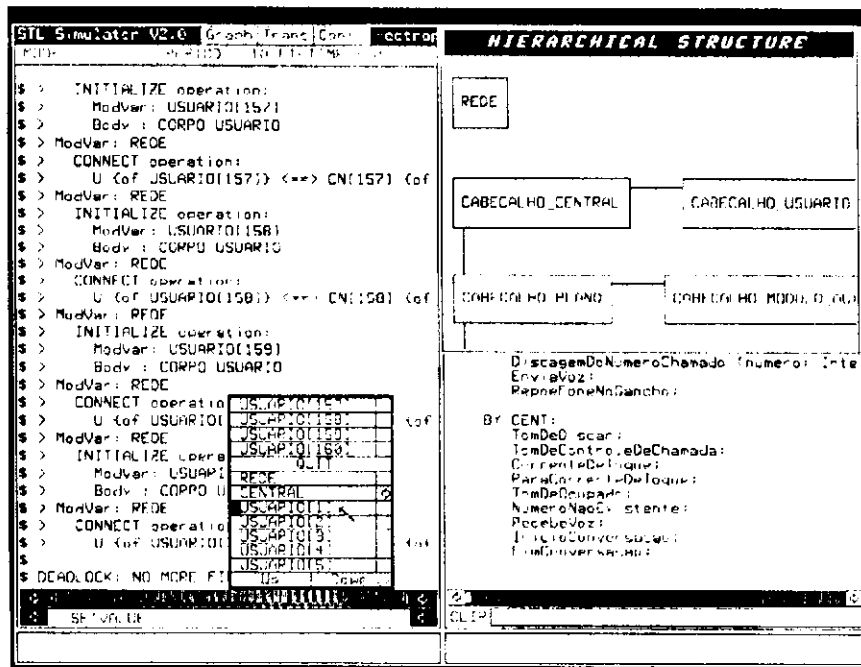


Figura 7.4: Usuario Retira o Fone do Gancho

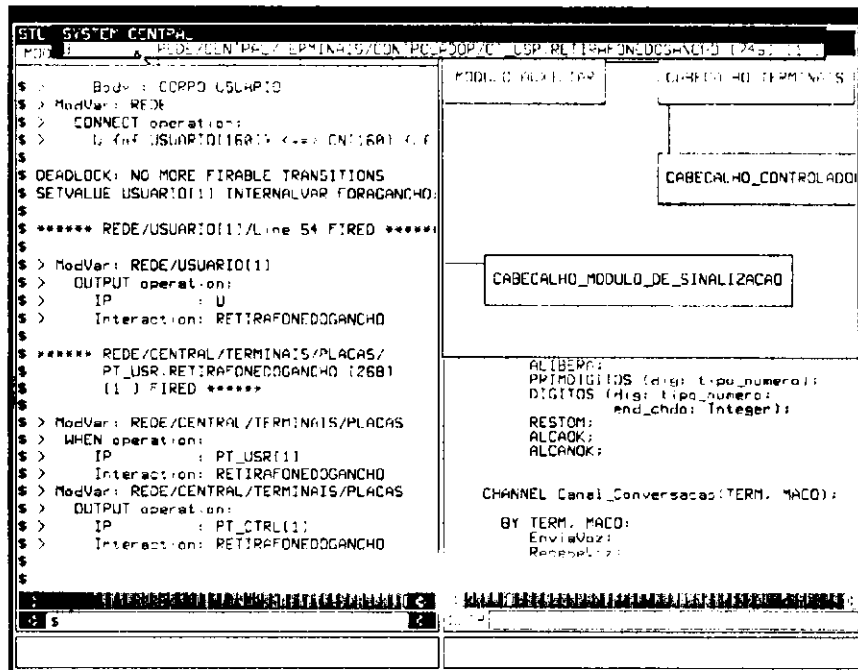


Figura 7.5: Transição do Módulo Controlador Pronta para ser Disparada

```

$ > OUTPUT operation:
$ > IP : CR_USR
$ > Interaction: TOMDEDISCAR
$
$ ***** REDE/CENTRAL/TERMINAIS/PLACAS/
$ PT_CTRL:TOMDEDISCAR (273) 11
$ FIRED *****
$
$ ModVar: REDE/CENTRAL/TERMINAIS/PLACAS
$ > WHEN operation:
$ > IP : PT_CTRL(1)
$ > Interaction: TOMDEDISCAR
$ ModVar: REDE/CENTRAL/TERMINAIS/PLACAS
$ > OUTPUT operation:
$ > IP : PT_USR(1)
$ > Interaction: TOMDEDISCAR
$
$ ***** REDE/USUARIO(1)/U.TOMDEDISCAR
$ (G1) FIRED *****
$
$ ModVar: REDE/USUARIO(1)
$ > WHEN operation:
$ > IP : U
$ > Interaction: TOMDEDISCAR
$
$ SETVALUE USUARIO(1):
$ FORAGANCHO
$ RETIRAFONEGANCHOC
$ EPS=424
$ SETVALUEUSUARIO(1)INTERNA_VAR

```

```

END ( Cabecalho_Usuario )
BODY Corp_usuario ( PDR Cabecalho_usuario )
VAR
numero: Integer;
ForaGancho, RetiraFoneGancho: Boolean;
STATE
Reposo, Chamador, Discagem, ControleC;
STATESET
PontaEstados = (Chamador, Discagem, C;
STATESET
Tr: Estados = (Desliza, Conversando, F;
INITIALIZE
TC Reposo
BEGIN
END;
TRANS
FROM Reposo ( Usuario Chamador )
TO Chamador
PROVIDED ForaGancho ( var:level atr
BEGIN
OUTPUT U.RetiraFoneDoGancho
END;
FROM Chamador

```

Figura 7.6: Atribuição de Variáveis do Módulo Usuario

A fim de simular uma chamada na qual o usuário chamador não discar o número do chamado, a transição *time progress transition*, que corresponde ao tempo mínimo da cláusula *delay* associada a uma transição do módulo Chamador, deve ser disparada. O vencimento da temporização ocorre quando a outra transição *time progress transition*, que corresponde ao tempo máximo da cláusula *delay*, também é disparada. Quando isso acontece, a transição *delay* do módulo Chamador finalmente pode ser disparada. A Figura 7.7 apresenta esse tipo de chamada, onde o número do chamado não é discado pelo Usuario[3].

A Figura 7.8 representa o atendimento de uma chamada telefônica: a primitiva *CorrenteDeToque* sendo recebida pelo Usuario[2] (chamado), o valor TRUE (1) sendo atribuído à variável *ForaGancho* e a transição do Usuario[2], que envia a primitiva *RetiraFoneDoGancho* para a Central, pronta para ser disparada no menu TRANS. A estrutura hierárquica da Rede, com os módulos Chamador e Chamado acrescentados à essa estrutura, também é apresentada na Figura 7.8.

A simulação de uma chamada malsucedida, com o Usuario[11] não atendendo à ligação do Usuario[1], é apresentada na Figura 7.9. Nesse caso a primeira transição *time progress transition* foi disparada e as cláusulas *delay* das transições dos módulos Chamador e Chamado deverão ser disparadas assim que ocorrer o vencimento da temporização.

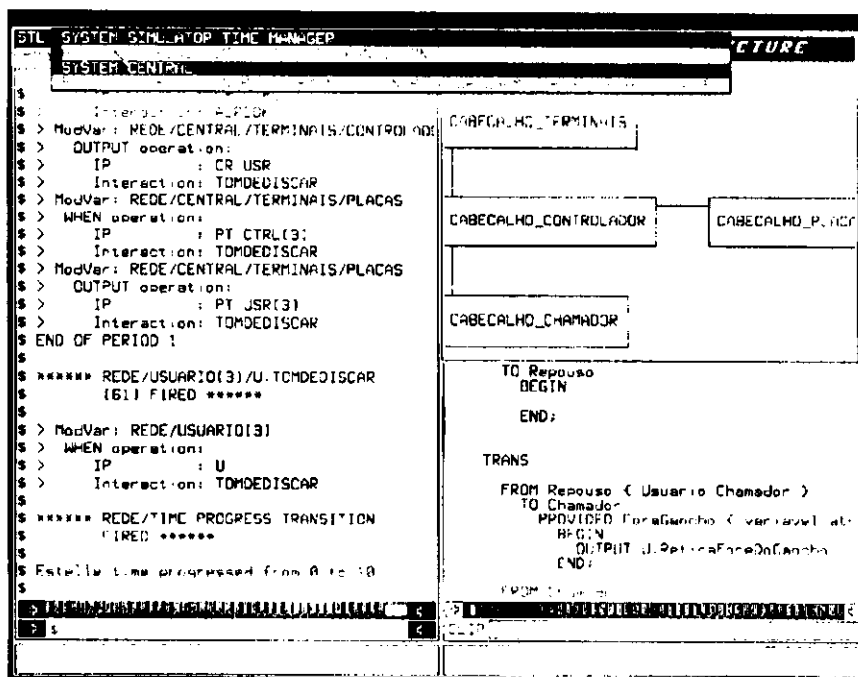


Figura 7.7: Usuario Não Disca o Número

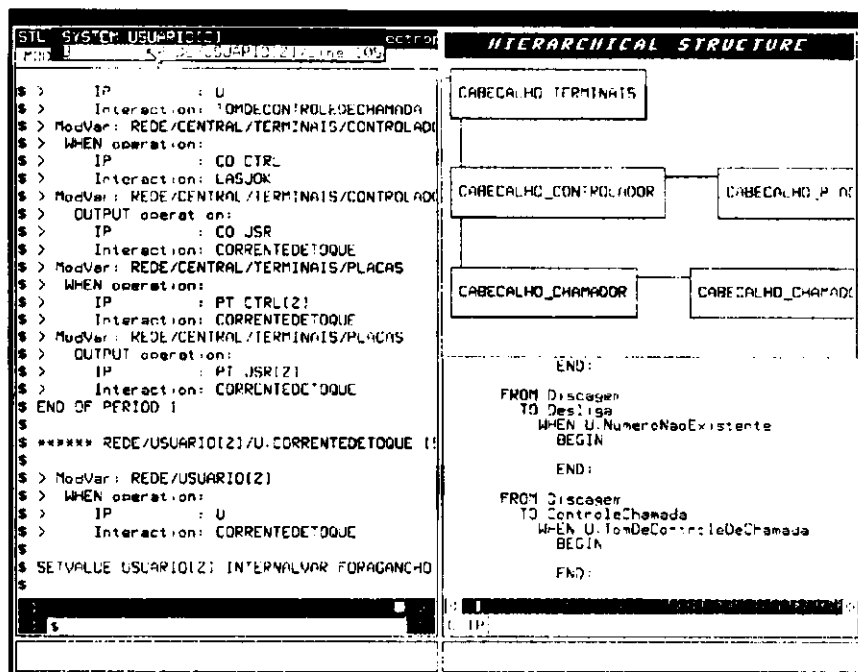


Figura 7.8: Usuario Atende a Chamada



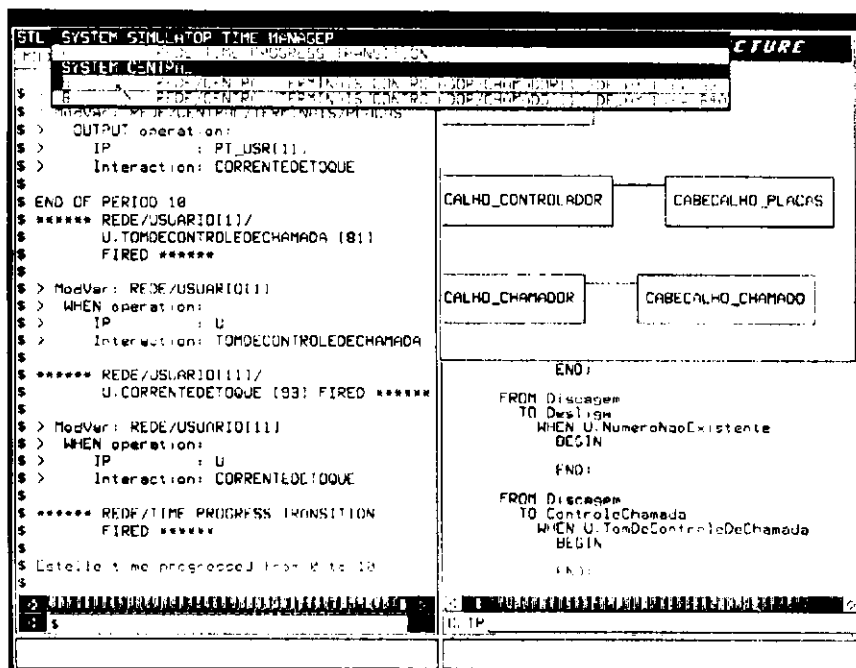


Figura 7.9: Usuario Não Atende a Chamada

A Figura 7.10 apresenta o início da fase de conversação entre o Usuario[1] e o Usuario[2]. A primitiva InicioConversacao é enviada a esses módulos assim que os canais de voz forem alocados e a conversação inicia com o envio/recebimento das primitivas EnviaVoz e RecebeVoz. As transições associadas a essas primitivas ficam prontas para serem disparadas no menu TRANS.

Na Figura 7.11, o final da fase de conversação entre esses usuários é apresentado. A variável ForaGancho do Usuario[1] (chamador) aparece com o valor FALSE (0) atribuído, o menu TRANS, com uma transição desse módulo pronta para ser disparada, também é apresentado na Figura 7.11, além de uma parte da estrutura hierárquica da Rede.

Assim que o Usuario[1] desliga (chamada com o assinante chamador desligando antes do chamado), as ligações entre os *ips* são desfeitas e o módulo Chamador é destruído dinamicamente pelo módulo Controlador (Figura 7.12). A estrutura hierárquica atualizada, sem a instância do módulo Chamador, e o menu TRANS também podem ser observados na Figura 7.12.

A Figura 7.13 apresenta a variável ForaGancho do Usuario[2] com o valor FALSE (0) sendo atribuído a essa variável. Em seguida, o módulo Chamado deve ser destruído dinamicamente pelo módulo Controlador.

A alocação dos canais de voz pelo módulo Matriz\_de\_Comutacao é apresentada na

```

STL SYSTEM CENTRAL
SYSTEM: USUARIO(1)
SYSTEM: USUARIO(1)
SYSTEM: USUARIO(1)
PROC: REDE/USUARIO(1)/Line 117
Interaction: INICIOCONVERSACAO
***** REDE/USUARIO(1)/
U.INICIOCONVERSACAO (87) FIRED *****
ModVar: REDE/USUARIO(1)
WHEN operation:
IP: L
Interaction: INICIOCONVERSACAO
***** REDE/USUARIO(2)/
U.INICIOCONVERSACAO (112) FIRED *****
ModVar: REDE/USUARIO(2)
WHEN operation:
IP: U
Interaction: INICIOCONVERSACAO
***** REDE/USUARIO(11)/Line 117 FIRED *****
ModVar: REDE/USUARIO(11)
OUTPUT operation:
IP: L
Interaction: FIMCONV
END OF PERIOD 7

```

```

FROM Chamado
TO ControleChamada
WHEN U.TemDeControleDeChamada
BEGIN
END:
FROM ControleChamada
TO Conversado
WHEN U.InicioConversacao < Chamado
BEGIN
END:
FROM Repouso
TO Chamado < Usuario Chamado
WHEN U.CorrenteDeLinha
BEGIN
END:
FROM Chamado
TO Repouso
WHEN U.ParaCorrenteDeLinha
BEGIN
END:
FROM Chamado
TO Chamado
PROVIDED ForaGancho < Chamado ateno

```

Figura 7.10: Início da Fase de Conversação

```

STL SYSTEM USU-PI-11
MOD: REDE/USUARIO(11)/Line 130
END OF PERIOD 5
***** REDE/CENTRAL/TERMINAIS/PLACAS/
PI_CTRL.FIMCONVERSACAO (9:8) (1)
FIRED *****
ModVar: REDE/CENTRAL/TERMINAIS/PLACAS
WHEN operation:
IP: PI_CTRL(1)
Interaction: FIMCONVERSACAO
ModVar: REDE/CENTRAL/TERMINAIS/PLACAS
OUTPUT operation:
IP: PT_USR(1)
Interaction: FIMCONVERSACAO
***** REDE/USUARIO(11)/U.FIMCONVERSACAO
(130) FIRED *****
ModVar: REDE/USUARIO(11)
WHEN operation:
IP: U
Interaction: FIMCONVERSACAO
SETVALUE USUARIO(11) INTERNALVAR FORAGNCHO

```

**HIERARCHICAL STRUCTURE**

```

graph TD
    A[CABECALHO_TERMINAIS] --- B[CABECALHO_CONTROLADOR]
    A --- C[CABECALHO_PLACA]
    B --- D[CABECALHO_CHAMADOR]
    C --- E[CABECALHO_CHAMADO]

```

```

FROM Chamado
TO Chamado
PROVIDED ForaGancho < Chamado ateno
BEGIN
OUTPUT U.RetiraFoneDoGancho
END:
FROM Chamado
TO Conversado < Usuario Chamador e
WHEN U.InicioConversacao < Inicia
BEGIN
END:
FROM Conversado
TO SAME

```

Figura 7.11: Fim da Fase de Conversação

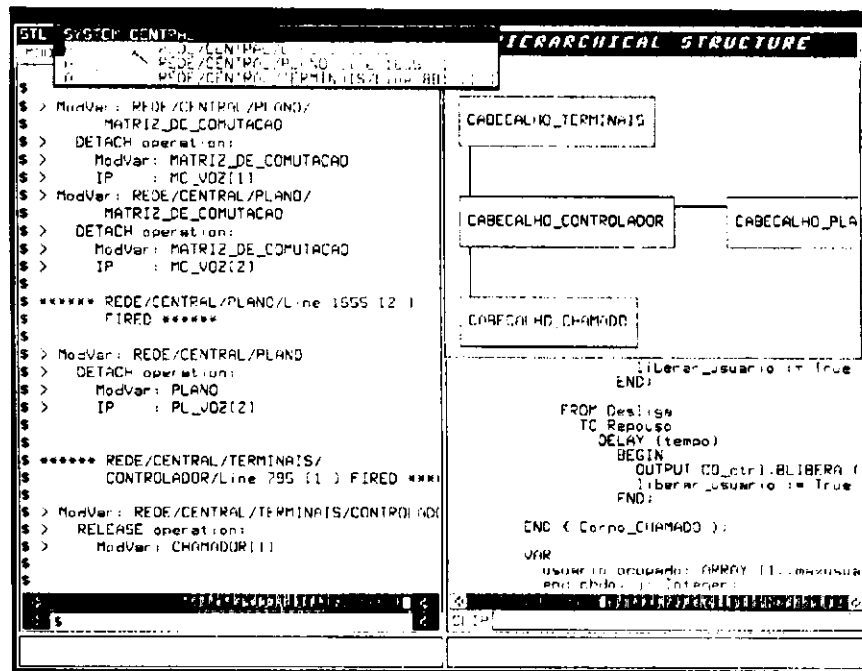


Figura 7.12: Destruição Dinâmica do Chamador

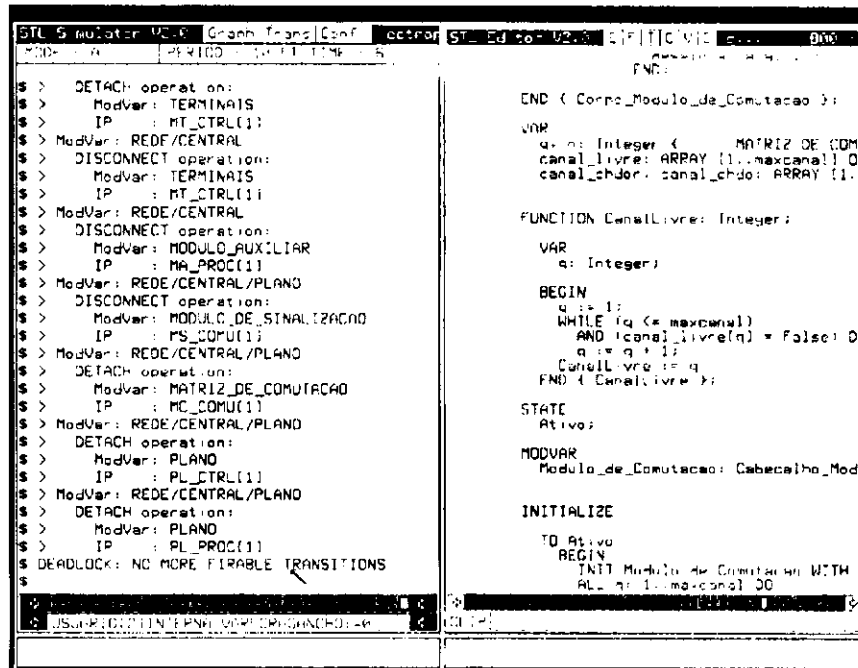


Figura 7.13: Destruição Dinâmica do Chamado

Figura 7.14.

```

SYSTEM CENTRAL
...
Interaction: ALOQUE
***** REDE/CENTRAL/PLANO/
MATRIZ_DE_COMUTACAO/
MODULO_DE_COMUTACAO/
MX_COMU.ALOQUE (1384) (1) FIRED **
...
ModVar: REDE/CENTRAL/PLANO/
MATRIZ_DE_COMUTACAO/MODULO_DE_COMU...
WHEN operation:
  IP : MX_COMU(1)
Interaction: ALOQUE
***** REDE/CENTRAL/PLANO/
MATRIZ_DE_COMUTACAO/Line 1304 (1)
  FIRED *****
ModVar: REDE/CENTRAL/PLANO/
MATRIZ_DE_COMUTACAO
ATTACH operation:
  MC_VOZ(1) ==> MX_VOZ(1) (of
  MODULO_DE_COMUTACAO)
ModVar: REDE/CENTRAL/PLANO/
MATRIZ_DE_COMUTACAO
ATTACH operation:
  MC_VOZ(2) ==> MX_VOZ(2) (of
  MODULO_DE_COMUTACAO)
...
END ( Corpco_Processamento_Chamadas );
VAR
  p, n: Integer ( MODULO_AUXILIO
  registrador_livre: ARRAY [1..maxcham...
FUNCTION RegistradorLivre: Integer:
  VAR
    p: Integer;
  BEGIN
    p := 1;
    WHILE (p <= maxchamadas)
      AND (registrador_livre(p) = Fals...
      p := p + 1;
    RegistradorLivre := p;
  END ( RegistradorLivre );
FUNCTION AnalisaChamador (num, cat, di...
  BEGIN
    ( Analisar a classificacao de cha...
    pode ser encaminhado ao destino
    IF ((cat = 17)
      OR (cat = 18)
      OR (cat = 20)
  )

```

Figura 7.14: Alocação dos Canais de Voz

O final de uma chamada bem-sucedida com o assinante chamador (`Usuario[1]`) desligando antes do assinante chamado (`Usuario[2]`) é ilustrada na Figura 7.15.

Sempre que um `Usuario` chamador retira o fone do gancho, uma instância do módulo Chamador deve ser criada para essa chamada. A Figura 7.16 apresenta a criação dinâmica do módulo Chamador, a ligação (*attach*) e a conexão (*connect*) entre os *ips* `CR_USR` e `CR_CTRL` desse módulo e os *ips* `CT_USR[1]` e `CT_CTRL[1]` do módulo Controlador. A estrutura hierárquica, com o módulo Chamador inserido nessa estrutura, também é apresentada na Figura 7.16.

Uma instância do módulo Chamado, por sua vez, é criada sempre que um número é discado e a análise desses dígitos não apresenta nenhum erro. A criação dinâmica do módulo Chamado, a ligação (*attach*) e a conexão (*connect*) entre os *ips* `CO_USR` e `CO_CTRL` desse módulo e os *ips* `CT_USR[2]` e `CT_CTRL[2]` do módulo Controlador é ilustrada na Figura 7.17. A estrutura hierárquica, com o módulo Chamado inserido nessa estrutura, também está presente na Figura 7.17.

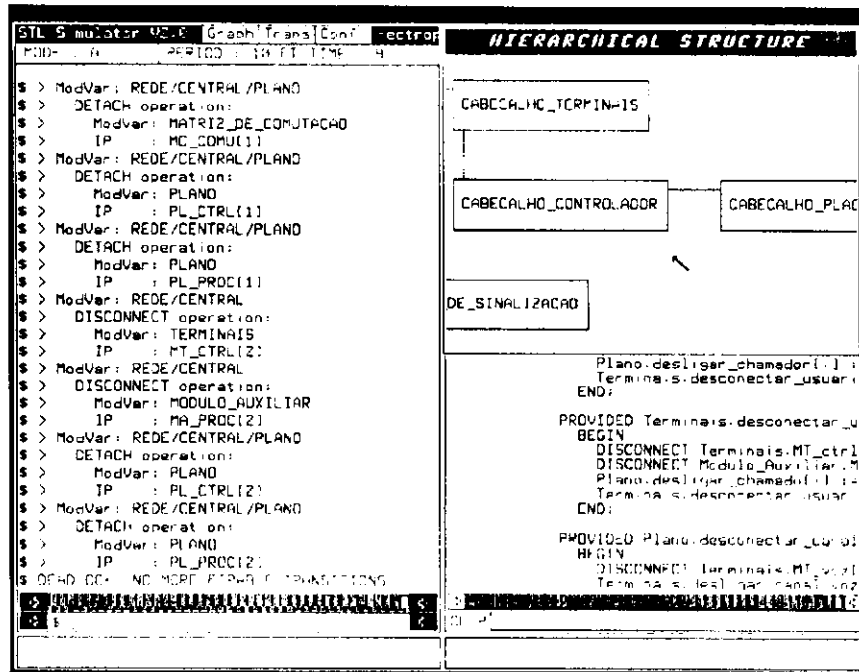


Figura 7.15: Final de uma Chamada Bem-Sucedida

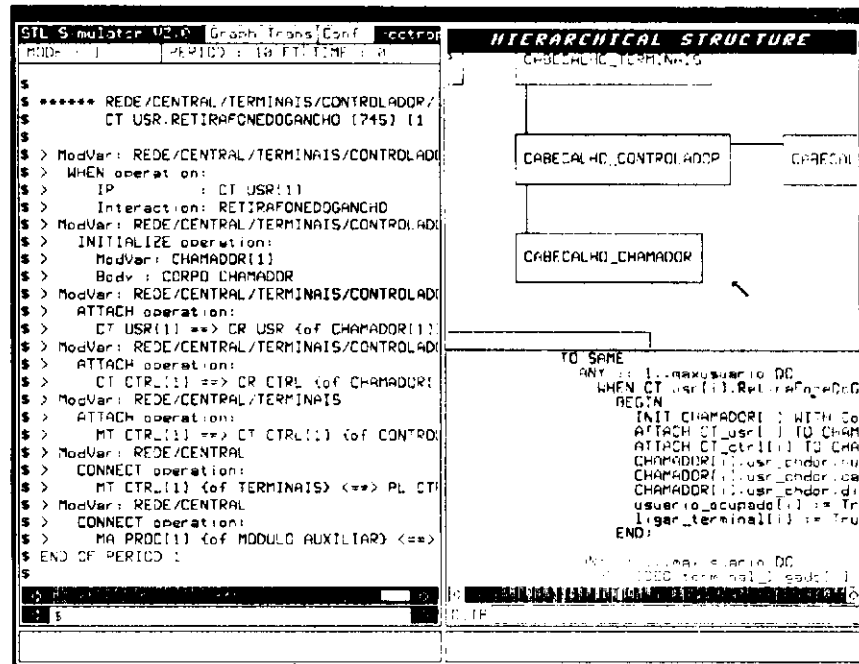


Figura 7.16: Criação Dinâmica do Módulo Chamador

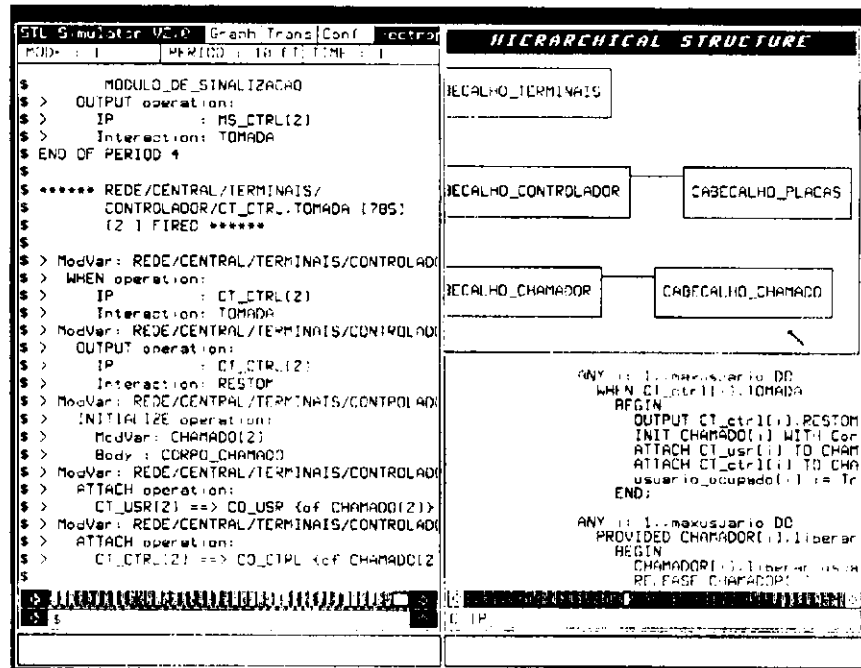


Figura 7.17: Criação Dinâmica do Módulo Chamado

Para o encaminhamento de cada chamada na Central é criado um módulo *Processamento\_de\_Chamadas*. A criação dinâmica do módulo *Processamento\_de\_Chamadas* e a ligação (*attach*) entre o *ip* *PC\_CHDOR* desse módulo e o *ip* *MA\_PROCC[1]* do *Modulo\_Auxiliar* é ilustrada na Figura 7.18. A estrutura hierárquica, com o módulo *Processamento\_de\_Chamadas* inserido nessa estrutura, também é apresentada na Figura 7.18.

A Figura 7.19 apresenta a simulação de uma chamada interna bem-sucedida com o assinante chamado desligando antes do assinante chamador. O *Usuario[2]* (chamado) desligou antes do *Usuario[1]* (chamador) e a transição especial *time progress transition* foi disparada. Quando ocorrer vencimento de temporização, a transição *delay* (intervalo de espera pelo desligamento do chamador) deve ser disparada. As primitivas que são apresentadas na Figura 7.19 indicam o fim da conversação entre os dois usuários.

Quando ocorre a desconexão forçada do *Usuario[1]*, um *TomDeOcupado* é enviado para esse módulo. A simulação permanece em *deadlock* temporariamente até que o valor *FALSE* (0) seja atribuído à variável *ForaGancho* do *Usuario[1]*, o que corresponde ao usuário chamador colocando o fone no gancho (Figura 7.20). A estrutura hierárquica, sem o módulo chamado, também é apresentada na Figura 7.20.



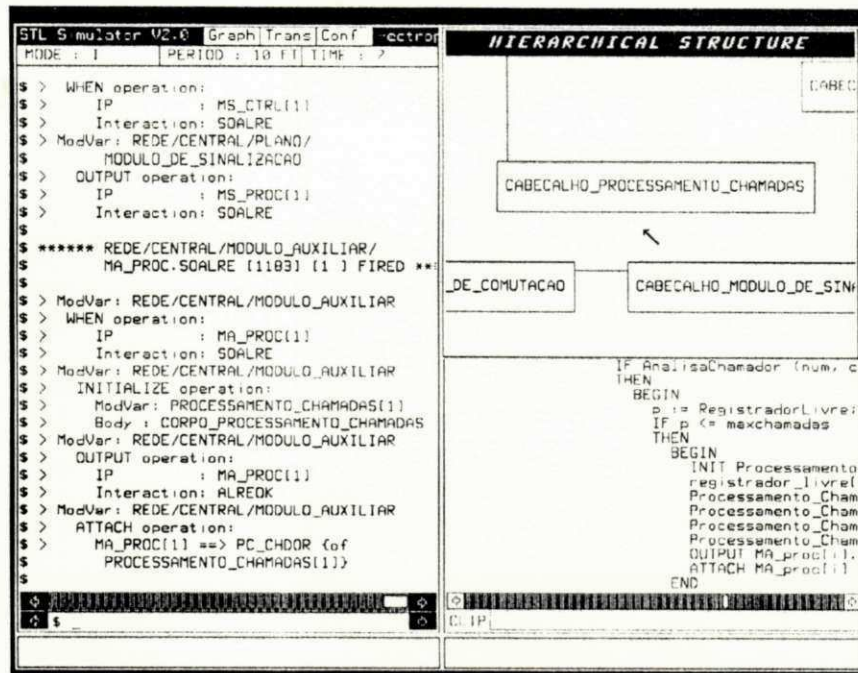


Figura 7.18: Criação Dinâmica do Módulo Processamento\_de\_Chamadas

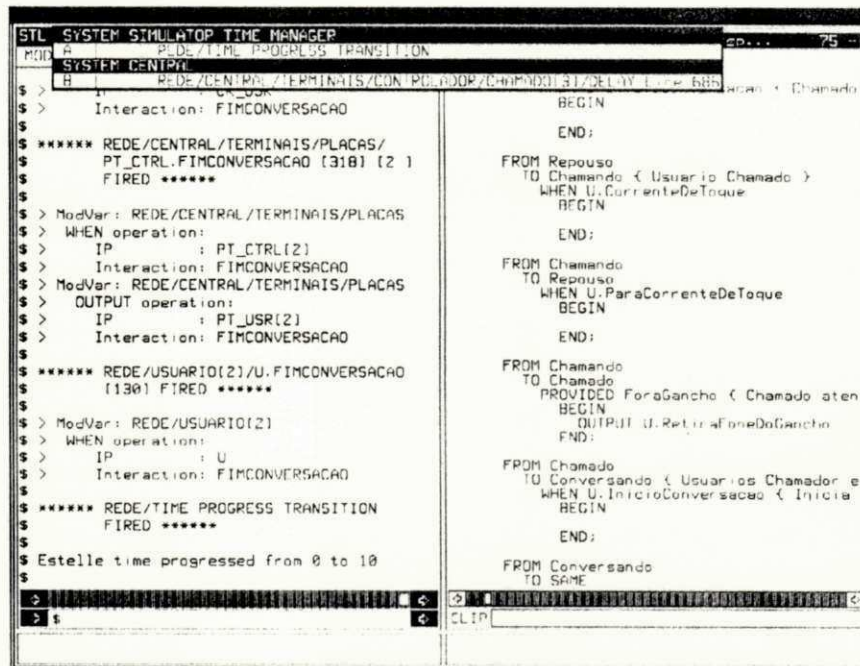


Figura 7.19: Desconexão Forçada do Usuario Chamador

As Figuras 7.21 e 7.22 apresentam respectivamente uma chamada malsucedida com o assinante chamador discando um número inexistente e uma chamada malsucedida com o assinante chamado ocupado. No menu TRANS da Figura 7.21, a transição que envia a primitiva NumeroNaoExistente ao módulo Usuario[1] está pronta para ser disparada. Na Figura 7.22 a primitiva TomDeOcupado foi enviada para o Usuario[2] e, no menu TRANS, a transição espontânea do Modulo\_Auxiliar, que deve destruir dinamicamente o módulo Processamento\_de\_Chamadas, está pronta para ser disparada. O módulo Processamento\_de\_Chamadas recebe a primitiva ALIBERA, indicando que o registrador selecionado para aquela chamada deve ser liberado.

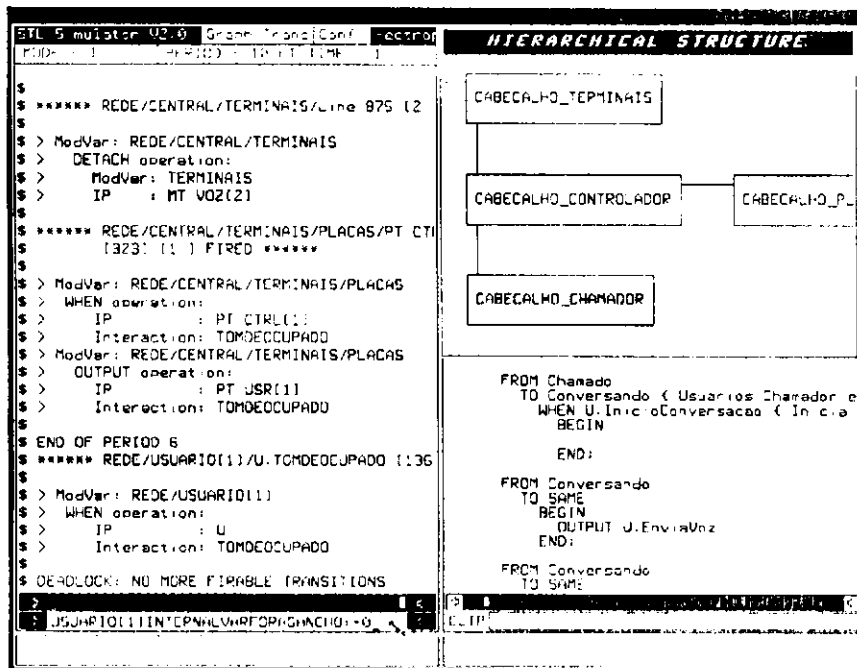


Figura 7.20: Usuario Chamador Desligando

O Usuario (chamador) também recebe a primitiva TomDeOcupado para os seguintes casos: registradores ocupados, chamador não pode originar chamada, assinante chamado não é local, categorias chamador e chamado incompatíveis, canal de voz para o chamado ocupado e canal de voz para o chamador ocupado. Para cada uma dessas chamadas malsucedidas, uma mensagem é apresentada na tela da simulação. Essas telas, com as respectivas mensagens, estão ilustradas no apêndice A deste trabalho.

```

STL SYSTEM CENTRAL
MOD: REDE/CENTRAL/PLANO/
MODULO_DE_SINALIZACAO
$ > ModVar: REDE/CENTRAL/PLANO/
MODULO_DE_SINALIZACAO
$ > WHEN operation:
$ > IP : MS_CTRL1?
$ > Interaction: ALIBERA
$ > ModVar: REDE/CENTRAL/PLANO/
MODULO_DE_SINALIZACAO
$ > OUTPUT operation:
$ > IP : MS_PROCI?
$ > Interaction: ALIBERA
$
$ ***** REDE/CENTRAL/MODULO_AUXILIAR/
PROCESSAMENTO_CHAMADAS(1)
PC_CHDDR.ALIBERA (1096) FIRED *****
$ > ModVar: REDE/CENTRAL/MODULO_AUXILIAR/
PROCESSAMENTO_CHAMADAS(1)
$ > WHEN operation:
$ > IP : PC_CHDDR
$ > Interaction: ALIBERA
$
$ ***** REDE/CENTRAL/MODULO_AUXILIAR/Linc
1238 (1) FIRED *****
$ > ModVar: REDE/CENTRAL/MODULO_AUXILIAR
RELEASE operation:
$ > ModVar: PROCESSAMENTO_CHAMADAS(1)
$
FROM Descagem
TO SAFE
PROVIDED FeitaDescagem ( variavel
simulador )
BEGIN
OUTPUT U.DescagemDoNumeroChama
( variavel atribuida pelo )
FeitaDescagem := False
END:
FROM Descagem
TO Desliga
WHEN U.NumeroNaoExistente
BEGIN
END:
FROM Descagem
TO ControleChamada
WHEN U.IonDeControleDeChamada
BEGIN
END:
FROM ControleChamada
TO Convergendo
WHEN U.IonDeConvergencia ( Chamada )
BEGIN
END:
FROM Repouso
TO Chamada ( Usuario Chamado )
WHEN U.CorrenteDeTruque
BEGIN

```

Figura 7.21: Usuario Disca Número Inexistente

```

STL SYSTEM CENTRAL
MOD: REDE/CENTRAL/TERMINAIS/PLACAS
MODULO_DE_SINALIZACAO
$ > ModVar: REDE/CENTRAL/TERMINAIS/PLACAS
MODULO_DE_SINALIZACAO
$ > WHEN operation:
$ > IP : PT_CTRL1?
$ > Interaction: TOMDEOCUPADO
$ > ModVar: REDE/CENTRAL/TERMINAIS/PLACAS
MODULO_DE_SINALIZACAO
$ > OUTPUT operation:
$ > IP : PT_USR1?
$ > Interaction: TOMDEOCUPADO
$ > ModVar: REDE/CENTRAL/PLANO/
MODULO_DE_SINALIZACAO
$ > WHEN operation:
$ > IP : MS_CTRL1?
$ > Interaction: ALIBERA
$ > ModVar: REDE/CENTRAL/PLANO/
MODULO_DE_SINALIZACAO
$ > OUTPUT operation:
$ > IP : MS_PROCI?
$ > Interaction: ALIBERA
$ > ModVar: REDE/CENTRAL/MODULO_AUXILIAR/
PROCESSAMENTO_CHAMADAS(1)
$ > WHEN operation:
$ > IP : PC_CHDDR
$ > Interaction: ALIBERA
$ > ModVar: REDE/USUARIO(2)
$ > WHEN operation:
$ > IP : U
$ > Interaction: TOMDEOCUPADO
$ END OF PERIOD :9
FROM Convergendo
TO SAFE
BEGIN
OUTPUT U.EnvioVoz
END:
FROM Convergendo
TO SAFE
WHEN U.RecebeVoz
BEGIN
END:
FROM Convergendo
TO FinalizaConversacao
WHEN U.FimConversacao ( Termina )
BEGIN
END:
FROM Penta_Estado:
TO Desliga ( * Chamador, Descagem, C
Convergendo, FinalizaConversac
WHEN U.TomDeOcupado
BEGIN
END:
FROM Tri_Estado:
TO Repouso ( * Desliga, Convergendo,
FinalizaConversacao )
PROVIDED NOT FeitaDescagem

```

Figura 7.22: Assinante Chamado Ocupado

### 7.3.2 Passos da Simulação

Cada tipo de chamada é simulada com uma quantidade de transições específicas. Os passos a serem seguidos durante a simulação, com as variáveis de entrada, e a quantidade de transições executadas entre um passo e outro são descritos a seguir através de tabelas.

A Tabela 7.1 apresenta uma chamada bem-sucedida com o assinante A (*Usuario[1]*) desligando antes do assinante B (*Usuario[2]*). Como já foi mencionado no capítulo 6, os valores booleanos TRUE ou FALSE são respectivamente 0 ou 1 para o simulador.

PASSOS DA SIMULAÇÃO	TRANSIÇÕES
ForaGancho do Usuario [1] := 1	16
Numero := 424168	—
FeitaDiscagem := 1	55
ForaGancho do Usuario[2] := 1	9
Fase de conversação	Indefinido
ForaGancho do Usuario[1] := 0	22
ForaGancho do Usuario[2] := 0	7

Tabela 7.1: Chamada Bem-Sucedida com o Assinante A Desligando

Uma chamada bem-sucedida com o assinante B (*Usuario[2]*) desligando antes do assinante A (*Usuario[1]*), que desliga logo em seguida, é apresentada na Tabela 7.2.

PASSOS DA SIMULAÇÃO	TRANSIÇÕES
ForaGancho do Usuario [1] := 1	16
Numero := 424168	—
FeitaDiscagem := 1	55
ForaGancho do Usuario[2] := 1	9
Fase de conversação	Indefinido
ForaGancho do Usuario[2] := 0	7
ForaGancho do Usuario[1] := 0	22

Tabela 7.2: Chamada Bem-Sucedida com o Assinante B Desligando

Caso o assinante A não desligue o telefone no intervalo de tempo considerado, ocorrerá desconexão forçada (Tabela 7.3).

PASSOS DA SIMULAÇÃO	TRANSIÇÕES
ForaGancho do Usuario [1] := 1	16
Numero := 424168	—
FeitaDiscagem := 1	55
ForaGancho do Usuario[2] := 1	9
Fase de conversação	Indefinido
ForaGancho do Usuario[2] := 0	7
Transição <i>delay</i> disparada	18
ForaGancho do Usuario[1] := 0	7

Tabela 7.3: Desconexão Forçada do Assinante A

Uma chamada onde o assinante A (Usuario[1]) não disca o número desejado e uma chamada onde o assinante B (Usuario[2]) não atende a ligação são apresentadas nas Tabelas 7.4 e 7.5 respectivamente.

PASSOS DA SIMULAÇÃO	TRANSIÇÕES
ForaGancho do Usuario [1] := 1	16
Transição <i>delay</i> disparada	6
ForaGancho do Usuario[1] := 0	7

Tabela 7.4: Assinante A Não Disca Número

PASSOS DA SIMULAÇÃO	TRANSIÇÕES
ForaGancho do Usuario [1] := 1	16
Numero := 424168	—
FeitaDiscagem := 1	55
Transição <i>delay</i> disparada	10
ForaGancho do Usuario[1] := 0	16

Tabela 7.5: Assinante B Não Atende Chamada

Os passos da simulação e a quantidade de transições de uma chamada onde o assinante B



está ocupado e de uma chamada onde o número discado não existe são idênticos (Tabela 7.6).

PASSOS DA SIMULAÇÃO	TRANSIÇÕES
ForaGancho do Usuario [1] := 1	16
Numero := 424168	---
FeitaDiscagem := 1	10
ForaGancho do Usuario[1] := 0	7

Tabela 7.6: Assinante B Ocupado ou Número Discado Inexistente

A Tabela 7.7 apresenta os passos da simulação e a quantidade de transições de uma chamada malsucedida, onde a *Matriz\_de\_Comutacao* não encontra um canal de voz livre para o chamador. Os procedimentos são os mesmos no caso da *Matriz\_de\_Comutacao* não encontrar um canal de voz livre para o chamado.

PASSOS DA SIMULAÇÃO	TRANSIÇÕES
ForaGancho do Usuario [1] := 1	16
Numero := 424168	—
FeitaDiscagem := 1	43
ForaGancho do Usuario[1] := 0	7

Tabela 7.7: Canal de Voz Ocupado

Os passos da simulação e a quantidade de transições de uma chamada malsucedida, onde a classificação do chamador não permite que a chamada seja completada (nesse caso, o *Usuario[4]* não é assinante comum) é apresentada na Tabela 7.8. Os procedimentos são os mesmos no caso de uma chamada onde todos os registradores estão ocupados.

PASSOS DA SIMULAÇÃO	TRANSIÇÕES
ForaGancho do Usuario [4] := 1	16
ForaGancho do Usuario[4] := 0	7

Tabela 7.8: Chamador Não Pode Originar Chamada

A Tabela 7.9 apresenta uma chamada onde a classificação do assinante B não permite que a chamada seja encaminhada. Nesse caso, a discriminação do *Usuario[12]* não permite que ele receba chamadas.



PASSOS DA SIMULAÇÃO	TRANSIÇÕES
ForaGancho do Usuario [1] := 1	16
Numero := 2224892	—
FeitaDiscagem := 1	27
ForaGancho do Usuario[1] := 0	7

Tabela 7.9: Classificação do Chamado Não Está Correta

A Tabela 7.10 apresenta uma chamada onde o assinante B não é local. Durante a classificação de todos os usuários, o Usuario[5] foi classificado como assinante de outra central, para que esse tipo de chamada malsucedida fosse simulado.

PASSOS DA SIMULAÇÃO	TRANSIÇÕES
ForaGancho do Usuario [1] := 1	16
Numero := 12345678	—
FeitaDiscagem := 1	27
ForaGancho do Usuario[1] := 0	7

Tabela 7.10: Assinante B não é Local

O último tipo de chamada simulada é apresentada na Tabela 7.11, uma chamada malsucedida, onde a categoria do assinante A e a discriminação do assinante B são incompatíveis.

PASSOS DA SIMULAÇÃO	TRANSIÇÕES
ForaGancho do Usuario[2] := 1	16
Numero := 2616142	—
FeitaDiscagem := 1	28
ForaGancho do Usuario[2] := 0	7

Tabela 7.11: Categoria do Chamador Incompatível com a Classificação do Chamado

## 7.4 Erros da Especificação Encontrados durante a Simulação

O simulador do ambiente EWS revelou-se um bom instrumento de validação da especificação, permitindo detectar e solucionar os seguintes erros:

- erro na destruição dinâmica (RELEASE) do módulo `Processamento_de Chamadas`. A especificação estava disparando duas vezes a transição que destruía dinamicamente esse módulo. O simulador mostrou na tela de comandos uma mensagem de tentativa de destruição de um módulo que não existe;
- erro no estabelecimento e desligamento dos pontos de interação dos módulos `Chamador` e `Chamado`, que são criados dinamicamente pelo módulo `Controlador`. Esse erro acontecia nos casos de chamadas mal-sucedidas, onde o módulo `Usuario` (chamador ou chamado) recebe a primitiva `TomDeOcupado`.
- erro na habilitação de duas transições do módulo `Chamador` que deveriam estar prontas para serem disparadas assim que esse módulo recebesse as primitivas `FIMEND` e `FIMSEL` respectivamente (Figura 7.23).

```
01 FROM AlocaCanal
02 TO SAME
03 WHEN CR_ctrl.FIMSEL
04 BEGIN
05 END;
06
07 FROM AlocaCanal
08 TO SAME
09 WHEN CR_ctrl.FIMEND
10 BEGIN
11   OUTPUT CR_ctrl.COMUTE
12 END;
```

Figura 7.23: Solução Encontrada para a Situação de *deadlock*

Esse erro foi encontrado durante a simulação no modo automático, que utiliza um mecanismo de busca randômica das transições prontas para serem disparadas. Como os *ips* enviam/recebem primitivas pelo mecanismo FIFO, em determinadas simulações, uma primitiva `FIMEND` chegava primeiro na fila FIFO e impedia a passagem da primitiva `FIMSEL`, que iria disparar uma transição no módulo `Chamador`, cuja mudança

de estado habilitaria a transição da primitiva FIMEND. Nesse momento ocorria uma situação de *deadlock* inesperada. A solução encontrada para esse problema foi colocar as duas primitivas chegando no mesmo estado das transições do módulo Chamador.

# Capítulo 8

## Conclusão

Neste trabalho foram apresentadas especificações formais de sistemas de telefonia, utilizando a TDF Estelle. Em particular, a especificação formal do processamento de chamadas da central Trópico RA foi desenvolvida e validada. Estelle mostrou-se bastante eficiente para essa aplicação, principalmente devido aos recursos de sincronização, concorrência e paralelismo.

A partir da descrição informal do processamento de chamadas da central Trópico RA, foi atingida, gradualmente, a especificação formal Estelle desse sistema. Durante esse processo e de uma maneira geral, os conceitos contidos na descrição informal foram facilmente mapeados para as construções Estelle. No entanto, alguns problemas foram detectados durante esse mapeamento:

- recepção/envio de eventos externos à central (fone fora do gancho, discagem dos dígitos, etc.). A solução foi a criação de um módulo **Usuario** para envio/recepção desses eventos;
- tratamento dos dígitos discados, que deveriam ser recebidos e enviados individualmente para a análise de encaminhamento da chamada. A solução foi a criação de funções em Pascal (**TransformaEmInteiro** e **TransformaEmArray**), que não estão disponíveis no Pascal padrão de Estelle, para o tratamento do número discado;
- tratamento individual de cada chamada dentro da central. A solução foi a criação dinâmica de um módulo **Chamador**, um módulo **Chamado** e um módulo **Processamento de Chamadas** para cada chamada estabelecida entre dois usuários;

- conceito de variáveis exportadas em Estelle, que permite a um módulo filho dar acesso às suas variáveis somente ao seu pai. Essas regras obrigaram a criação de muitas variáveis exportadas, com o mesmo significado, sendo que essas variáveis são passadas de filho para pai até atingir o nível hierárquico desejado.

Estelle provou ser uma linguagem versátil para a especificação de sistemas de telefonia, podendo ser aplicada nas diferentes etapas de desenvolvimento desses sistemas, desde o projeto funcional, passando pela validação e chegando à implementação. Neste trabalho, a etapa de implementação não foi atingida.

Estelle permite que procedimentos externos à linguagem sejam definidos (comando *primitive*). Essa característica foi utilizada na especificação para descrever um procedimento (em C) de envio de mensagens ao operador da central.

Num ambiente industrial de desenvolvimento de sistemas de comunicação, em particular de sistemas de telefonia, onde as pessoas têm um tempo limitado para aprender novos conceitos, considera-se que as especificações Estelle são de fácil leitura e entendimento, visto que os conceitos de máquinas de estado e a linguagem Pascal são bastante utilizados

As características de Estelle mais relevantes para essa aplicação foram:

- os diversos refinamentos realizados, possibilitando descrever a central Trópico RA em diferentes níveis de abstração, e facilitando assim a compreensão dos problemas envolvidos e a elaboração da especificação final, independente de características de implementação;
- a combinação da criação e destruição dinâmicas de instâncias de módulos com a criação estática de instâncias, permitindo a adequação da estrutura do processamento de chamadas da central Trópico RA nos conceitos arquitetônicos de Estelle;
- a utilização do paralelismo assíncrono e síncrono na execução das instâncias dos módulos, refletindo o grau de independência dessas instâncias;
- o emprego de variáveis exportadas, possibilitando, por exemplo, o gerenciamento do processamento individual de cada chamada pela central;
- a utilização da cláusula *delay* nas transições espontâneas, modelando, por exemplo, os tempos de espera para o atendimento da chamada e para a discagem do número desejado.



A utilização do ambiente EWS nesta especificação foi essencial para o seu desenvolvimento. No estágio de simulação da especificação, a descrição das características da especificação tornaram-se mais precisas e problemas a respeito do processamento dos tipos de chamadas considerados foram levantados.

O simulador do EWS demonstrou ser eficiente para verificar o comportamento específico dos módulos, a evolução do sistema como um todo e, principalmente, por permitir o acesso dinâmico aos estados e às variáveis dos módulos.

As principais vantagens de utilização do EWS para este trabalho foram:

- uma interface amigável com o usuário (no editor e no simulador), tornando o seu uso mais simplificado;
- a utilização efetiva das ferramentas tradutor e gerador do EWS para a correção de erros das especificações;
- o usuário dispõe de comandos (por exemplo, o comando EXAMINE) para verificar o comportamento das variáveis internas e externas dos módulos da especificação.

O editor do EWS demonstrou ser uma excelente ferramenta para os usuários iniciantes em Estelle, pois fornece e corrige *on-line* toda a sintaxe de Estelle. Entretanto, para os usuários mais experientes, as dificuldades no manuseio das unidades de trabalho, consideradas por essa ferramenta, tornam-se um obstáculo à rapidez na edição de especificações maiores.

A especificação permite que novos comportamentos sejam acrescentados, como por exemplo a tarifação e os serviços suplementares, que não foram considerados nessa especificação. Além disso, permite a inclusão de um número maior de módulos **Plano** e de **Módulo\_de\_Co-mutacao**.



# Bibliografia

- [Bell 82] John Bellamy, *Digital Telephony*, A Wiley Interscience Publication John Wiley and Sons, 1982.
- [Bran 78] Ademir Eder Brandassi, "Telefonia Básica", SIEMENS: Informativo Técnico, volume XI, 1978.
- [Budk 87] Budkwoski S., Dembinski P., *An Introduction to Estelle; a Specification Language for Distributed Systems*, Computer Networks and ISDN Systems, Vol. 14, pp. 3-23, 1987.
- [CCIT 88] CCITT Recommendation Z.100, *SDL - Specification and Description Language*, 1988.
- [Chen 92] Chen Wen Lin, *Uma metodologia para implementação semi-automática de protocolos de comunicação*, Dissertação de mestrado do Curso de Mestrado em Informática do DSC/CCT/UFPb, Campina Grande (Pb), agosto de 1992.
- [CPqD 86a] CPqD - TELEBRÁS, *Especificação Geral da Central Trópico RA, Objetivos e Requisitos - Sinalização por Canal Comum*, novembro de 1986.
- [CPqD 86b] CPqD - TELEBRÁS, *Especificação Geral da Central Trópico RA, Objetivos e Requisitos - Qualidade de Serviços*, novembro de 1986.

- [CPqD 87] CPqD - TELEBRÁS, *Especificações Gerais para a Central Local/Tandem Digital Trópico R - Especificações de identificação de funções do processamento de chamadas*, maio de 1987.
- [CPqD 88a] CPqD - TELEBRÁS, *Manual do Sistema Trópico RA*, agosto de 1988.
- [CPqD 88b] CPqD - TELEBRÁS, *Especificação Geral da Central Trópico RA, Objetivos e Requisitos - Características Básicas*, 2a. edição, fevereiro de 1988.
- [CPqD 88c] CPqD - TELEBRÁS, *Especificação Geral da Central Trópico RA, Objetivos e Requisitos - Classes de Serviços*, 2a. edição, fevereiro de 1988.
- [CPqD 90] CPqD - TELEBRÁS, *Sistema Trópico RA - 1a. etapa, Objetivos e Requisitos - Operação, Manutenção e Supervisão*, setembro de 1990.
- [CPqD 91] *LEPF's do Bloco de Serviço (BS) Processamento de Chamada (PCHA) do Trópico RA*, setembro de 1991.
- [CPqD 92] CPqD - TELEBRÁS, *Descrição Funcional dos Serviços prestados pela Central Trópico RA*, maio de 1992.
- [Demb 87] Dembinski, P. and Budkowski, S., "Simulating Estelle Specifications with Time Parameters", Protocol Specification, Testing, and Verification, VII, H. Rudin and C. H. West (editors), Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), IFIP, 1987.
- [Diaz 89] Michel Diaz, Jean Dufau, Roland Groz, "Experiences using Estelle within SEDOS Estelle Demonstrator", Proceedings of the Second International Conference on Formal Description Techniques for Distributed Systems and Communications Protocols (FORTE'89), pp. 596-613, December 1990.

- [Diaz 90] Victor Alfonso Valenzuela Diaz, "Arquitetura Hardware da Central Trópico RA", *Revista Telebrás*, pp. 17-28, junho de 1990.
- [ESPR 89] *ESPRIT P1265, SEDOS Estelle Demonstrator Workshop*, Bruxelas (Bélgica), 31 de maio de 1989.
- [Faci 89] M. Faci, L. Logrippo, B. Stépien, "Formal Specifications of Telephone Systems in LOTOS", *Anais Ninth IFIP WG 6.1 International Symposium on Protocol Specification, Testing, and Verification*, 16 pp., June 1989.
- [Fern 91] D. Fernández, E. Vázquez, J. Vinyes, "Io: An Estelle Simulator for Performance Evaluation", *Proceedings of the Fourth International Conference on Formal Description Techniques for Distributed Systems and Communications Protocols (FORTE'91)*, 1991.
- [Hals 88] Fred Halsall, *Data Communications, Computer Networks and OSI*, Addison-Wesley Publishing Company, 1988.
- [Hans 90] Hans Hansson, Bengt Jonsson, Fredrik Orava, Björn Pehrson, "Specification for Verification", In: *VVAA, Formal Description Techniques, II*, S. T. Voung (editor), Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), IFIP, 1990.
- [Hopc 79] John E. Hopcroft, Jeffrey D. Ullman, *Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1979.
- [ISO 83a] ISO IS 7498, *Information Processing Systems - Basic Reference Model for Open Systems Interconnection*, 1983.
- [ISO 83b] ISO IS 7185, *Programming Language Pascal*, 1a. edição, 1983.

- [ISO 88a] ISO IS 9074, *Information Processing Systems - Open System Interconnection - Estelle - A Formal Description Technique Based on a Extended State Transition Model*, 1988.
- [ISO 88b] ISO IS 8807, *Information Processing Systems - Open System Interconnection - LOTOS - A Formal Description Technique Based on the Temporal Ordering of Observational Behavior*, 1988.
- [Lope 88] Wanderley Lopes de Souza, Stefania Stiubiener, "Especificação, Verificação e Testes de Protocolos", *Revista da Sociedade Brasileira de Telecomunicações*, Volume 3, No. 1, pp. 1-21, dezembro de 1988.
- [Lope 89] W. Lopes de Souza, "Estelle: uma técnica para a descrição formal de serviços e protocolos de comunicação", *Revista Brasileira de Computação*, Vol.5, No. 1, Jul/Set, pp. 33-44, 1989.
- [Lope 91] Wanderley Lopes de Souza, Rossana M. C. Andrade, Alfredo J. P. de Araújo, "Especificação Formal, em Estelle, de Sistemas de Telefonia", *Anais do 9o. Simpósio Brasileiro de Telecomunicações*, pp. 17.3.1-17.3.5, setembro de 1991.
- [Neum 90] José Neuman de Souza. *Uma metodologia para validação, através de simulação, de especificações formais de protocolos de comunicação*, Tese de mestrado relativa ao curso de mestrado em Informática do DSC/CCT/UFPb, Campina Grande (Pb), março de 1990.
- [Nguy 91] C.T. Nguyen, P. Hunel, M.C. Vialatte, "Formal specification, validation and implementation of an application protocol with Estelle", *Proceedings of the Fourth International Conference on Formal Description Techniques for Distributed Systems and Communications Protocols (FORTE'91)*, pp.367-382, 1991.
- [Noll 86] A. Michael Noll, *Introduction to Telephones and Telephone Systems*, Artech House, Inc., 1986.

- [Oliv 92] Olival de Gusmão Freitas Júnior, *Uma ferramenta para validação de protocolos de comunicação*, Dissertação de mestrado do curso de Mestrado em Informática do DSC/CCT/UFPb, Campina Grande (Pb), abril de 1992.
- [Sant 89] Jorge Santos, *Redes Locales*, IV Escola Brasileiro-Argentina de Informática (IV EBAI), Edição Preliminar Editora Kapelusz S.A., Buenos Aires, Argentina, 1989.
- [Soar 86] Luís Fernando Gomes Soares, *Redes Locais*, Editora Campus, Rio de Janeiro, 1986.
- [Tane 90] Andrew S. Tanenbaum, *Organização Estruturada dos Computadores*, Prentice-Hall International do Brasil, 1990.
- [Trem 83] Jean-Paul Tremblay, Richard B. Bunt, *Ciência dos Computadores: uma abordagem algorítmica*, Macgraw-Hill do Brasil, 1983.

# Apêndice A

The screenshot displays a system log window titled 'STL SYSTEM CENTRAL'. The log contains the following text:

```

$ > OUTPUT operation:
$ > IP : CR_CTRL
$ > Interaction: SOALRE
$ > ModVar: REDE/CENTRAL/PLANO/
$ > MODULO_DE_SINALIZACAO
$ > WHEN operation:
$ > IP : MS_CTRL(4)
$ > Interaction: SOALRE
$ > ModVar: REDE/CENTRAL/PLANO/
$ > MODULO_DE_SINALIZACAO
$ > OUTPUT operation:
$ > IP : MS_PROCC(4)
$ > Interaction: SOALRE
$ END OF PERIOD 4
$
$ ***** REDE/CENTRAL/MODULO_AUXILIAR/
$ MA_PROC_SOALRE (1183) (4 ) FIPEO ***
$ > ModVar: REDE/CENTRAL/MODULO_AUXILIAR
$ > WHEN operation:
$ > IP : MA_PROCC(4)
$ > Interaction: SOALRE
$ Chamada não pode ser encaminhada
$ > ModVar: REDE/CENTRAL/MODULO_AUXILIAR
$ > OUTPUT operation:
$ > IP : MA_PROCC(4)
$ > Interaction: RUPENCK
$

```

On the right side of the window, there is a call flow diagram with three boxes: 'MODULO\_AUXILIAR', 'CABEÇALHO\_TERMINAIS', and 'CABEÇALHO\_CHAMADOR'. Below the diagram, there is a code snippet:

```

WHILE (p <= maxchamadas)
AND (registorador_livre(p) = Fals
p := p + 1;
RegistoradorLivre := p;
END ( RegistoradorLivre );

FUNCTION AnalisaChamador (num, cat, d)
BEGIN
  * Analisar a classificação da cha
  para ser encaminhada ao destino
  IF (cat = 17)
  OR cat = 18;
  OR cat = 21;
  OR cat = 28;

```

Figura A.1: Chamador Não Pode Originar Chamada





```

STL SYSTEM CENTRA
***** REDE/CENTRAL/PLANO/Line 1648 (11) FIRED *****
ModVar: REDE/CENTRAL/PLANO
DETACH operation:
ModVar: PLANO
IP: PL_CTRL(111)
ModVar: REDE/CENTRAL/PLANO
DETACH operation:
ModVar: PLANO
IP: PL_PROC(11)

***** REDE/CENTRAL/MODULO_AUXILIAR/
PROCESSAMENTO_CHAMADAS(11)/Line
1103 FIRED *****
Categorias chamador e chamado incompatíveis
ModVar: REDE/CENTRAL/MODULO_AUXILIAR/
PROCESSAMENTO_CHAMADAS(11)
OUTPUT operation:
IP: PC_CHDOR
Interaction: DIGNOR

***** REDE/CENTRAL/PLANO/
MODULO_DE_SINALIZACAO/
MS_CTRL.SOALRE (1454) (3) FIRED *****
ModVar: REDE/CENTRAL/PLANO/
MODULO_DE_SINALIZACAO
WHEN operation:
IP: MS_CTRL(3)
Interaction: SOALRE
ModVar: REDE/CENTRAL/PLANO/
MODULO_DE_SINALIZACAO
OUTPUT operation:
IP: MS_PROC(3)
Interaction: SOALRE

***** REDE/CENTRAL/MODULO_AUXILIAR/
MA_PROC.SOALRE (1183) (3) FIRED *****
ModVar: REDE/CENTRAL/MODULO_AUXILIAR
WHEN operation:
IP: MA_PROC(3)
Interaction: SOALRE
Registradores ocupados
ModVar: REDE/CENTRAL/MODULO_AUXILIAR
OUTPUT operation:
IP: MA_PROC(3)
Interaction: ALRENK
    
```

Figura A.4: Categoria do Chamador e Classificação do Chamado Incompatíveis

```

***** REDE/CENTRAL/PLANO/
MODULO_DE_SINALIZACAO/
MS_CTRL.SOALRE (1454) (3) FIRED *****
ModVar: REDE/CENTRAL/PLANO/
MODULO_DE_SINALIZACAO
WHEN operation:
IP: MS_CTRL(3)
Interaction: SOALRE
ModVar: REDE/CENTRAL/PLANO/
MODULO_DE_SINALIZACAO
OUTPUT operation:
IP: MS_PROC(3)
Interaction: SOALRE

***** REDE/CENTRAL/MODULO_AUXILIAR/
MA_PROC.SOALRE (1183) (3) FIRED *****
ModVar: REDE/CENTRAL/MODULO_AUXILIAR
WHEN operation:
IP: MA_PROC(3)
Interaction: SOALRE
Registradores ocupados
ModVar: REDE/CENTRAL/MODULO_AUXILIAR
OUTPUT operation:
IP: MA_PROC(3)
Interaction: ALRENK
    
```

Figura A.5: Registradores Ocupados

**STL Simulator V2.0** Graph Trans Conf -ectro

MODE : I PERIOD : 5 FT TIME : 2

```

$ MODULO_DE_SINALIZACAO
$ > WHEN operation:
$ > IP : MS_CTL(16)
$ > Interaction: ALOQUE
$ > ModVar: REDE/CENTRAL/PLANO/
$ MODULO_DE_SINALIZACAO
$ > OUTPUT operation:
$ > IP : MS_COMU(16)
$ > Interaction: ALOQUE
$
$ END OF PERIOD 13
$ ***** REDE/CENTRAL/PLANO/
$ MATRIZ_DE_COMUTACAO/
$ MODULO_DE_COMUTACAO/
$ MX_COMU.ALOQUE [1304] [16 ] FIRED *
$
$ > ModVar: REDE/CENTRAL/PLANO/
$ MATRIZ_DE_COMUTACAO/MODULO_DE_COMUT
$ > WHEN operation:
$ > IP : MX_COMU(16)
$ > Interaction: ALOQUE
$
$ ***** REDE/CENTRAL/PLANO/
$ MATRIZ_DE_COMUTACAO/Line 1304 [16
$ ] FIRED *****
$ Canal de voz para chamador ocupado
$

```

**HIERARCHICAL STRUCTURE**

```

CABECALHO_PROCESSAMENTO_CHAMADO
├── MODULO_DE_COMUTACAO
│   └── CABECALHO_MODULO_DE_COMUTACAO
└── MODULO_DE_COMUTACAO
    └── WHILE (p <= maxchamadas)
        AND (registrador_livre[p] = Fals
        p := p + 1;
        RegistradorLivre := p;
        END ( RegistradorLivre );
    └── FUNCTION AnalisaChamador (num, cat, di
        BEGIN
        ( Analisar a classificacao do cha
        pode ser encaminhada ao destino
        IF ((cat = 17)
        OR (cat = 18)
        OR (cat = 27)
        OR (cat = 28)

```

Figura A.6: Canal de Voz para Chamador Ocupado

**STL SYSTEM CENTRAL**

MOD B REDE/CENTRAL/PLANO/MODULO\_DE\_SINALIZACAO/MX\_COMU.ALOCANO\* [15:9] [16 ]

```

$ MODULO_DE_COMUTACAO/
$ MX_COMU.ALOQUE [1304] [16 ] FIRED *
$
$ > ModVar: REDE/CENTRAL/PLANO/
$ MATRIZ_DE_COMUTACAO/MODULO_DE_COMUT
$ > WHEN operation:
$ > IP : MX_COMU(16)
$ > Interaction: ALOQUE
$
$ END OF PERIOD 6
$ ***** REDE/CENTRAL/PLANO/
$ MATRIZ_DE_COMUTACAO/Line 1304 [16
$ ] FIRED *****
$ Canal de voz para chamado ocupado
$
$ ***** REDE/CENTRAL/PLANO/
$ MATRIZ_DE_COMUTACAO/
$ MODULO_DE_COMUTACAO/Line 1317 [16
$ ] FIRED *****
$
$ > ModVar: REDE/CENTRAL/PLANO/
$ MATRIZ_DE_COMUTACAO/MODULO_DE_COMUT
$ > OUTPUT operation:
$ > IP : MX_COMU(16)
$ > Interaction: ALOCANO*
$

```

```

TRANS
FROM Ativo
TO SAME
ANY : 1..maxusuario DO
PROVIDED ligar_matriz(i):
BEGIN
ATTACH MC_comu(i) TO Mod
ligar_matriz(i) := False
END;

FROM Ativo
TO SAME
ANY : 1..maxusuario DO
PROVIDED Modulo_de_Comutacao
BEGIN
n := 0;
q := CanalLivre;
( chamador )
IF q <= maxcanal
THEN
BEGIN
canal_livre[q] := Fa
canal_chdo(i) := q;
( chamado )
IF q <= maxcanal
THEN
BEGIN
canal_livre[q] :
canal_chdo(i) :=
ATTACH MC_voz(i)
ligar_plano(i) :
ATTACH MC_voz(Mo
ligar_plano(Mo)

```

Figura A.7: Canal de Voz para Chamado Ocupado