

Especificação Formal, em Estelle, do Processamento de Chamadas da Central Trópico RA

Rossana M. de Castro Andrade

DC/CT/Universidade Federal da Ceará - UFC

Cx. 12166, 60455-760 Fortaleza - CE

e-mail: rossana@taiba.ufc.br

Wanderley Lopes de Souza

DC/CCT/Universidade Federal de São Carlos - UFSCar

Cx. 676, 13565-905 São Carlos - SP

e-mail: dwls@power.ufscar.br

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. Neste artigo, procura-se investigar a possibilidade de utilização da TDF Estelle para a especificação formal de sistemas de telefonia. Para isso, o processamento de chamadas da Central Trópico RA, desenvolvida pelo CPqD/TELEBRÁS, é especificado formalmente. Após uma descrição da arquitetura funcional da Central Trópico RA, alguns trechos da especificação formal do processamento de chamadas dessa central são ilustrados, destacando-se as principais construções da TDF Estelle. Em seguida, a validação dessa especificação, utilizando-se o conjunto de ferramentas integradas "Estelle Work Station (EWS)", é apresentada.

1. Introdução

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

Atualmente, a TDF "Extended State Transition Language (Estelle)" [ISO 88], desenvolvida e padronizada pela "International Organization for Standardization (ISO)", destaca-se entre as mais empregadas para a especificação formal de sistemas de comunicação.

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), com os conceitos de variáveis, parâmetros e prioridades da linguagem Pascal [ISO 83b].

Embora Estelle tenha sido desenvolvida 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], os conceitos e construções presentes nessa TDF são genéricos o suficiente para possibilitarem o seu emprego em outros tipos de aplicações em

sistemas de comunicação, tais como, redes de computadores, *space data exchange*, sistemas de controle industrial e telecomunicações.

O objetivo principal deste artigo 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) das Telecomunicações Brasileiras S.A. (TELEBRÁS), foi escolhido para ser especificado.

2. Arquitetura da Central Trópico RA

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

Funcionalmente, a Trópico RA divide-se em módulos, submódulos, interfaces e estruturas internas. A interconexão dos 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.

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 de um processador que controla as funções da central relativas ao mesmo e que se comunica com os outros processadores através da estrutura de sinalização.

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). Cada conjunto de MS e MX é denominado plano.

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.

A Figura 1 ilustra a arquitetura funcional da central com os módulos, submódulos e um conjunto de interfaces intermodulares denominadas IH4. Toda a troca de informações entre os submódulos é feita através do 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.

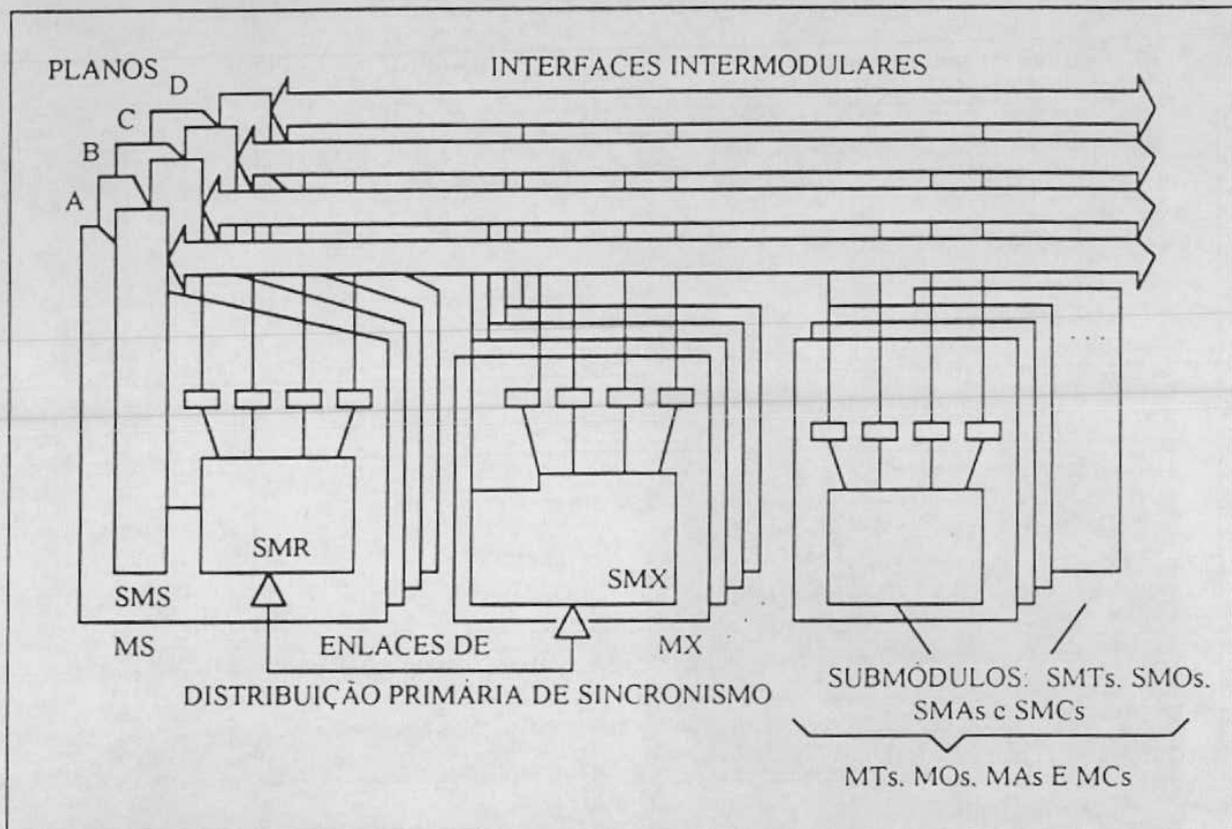


Figura 1: Arquitetura Funcional da Central Trópico RA

2.1. Processamento de Chamadas da Central Trópico RA

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 2) [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).

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.

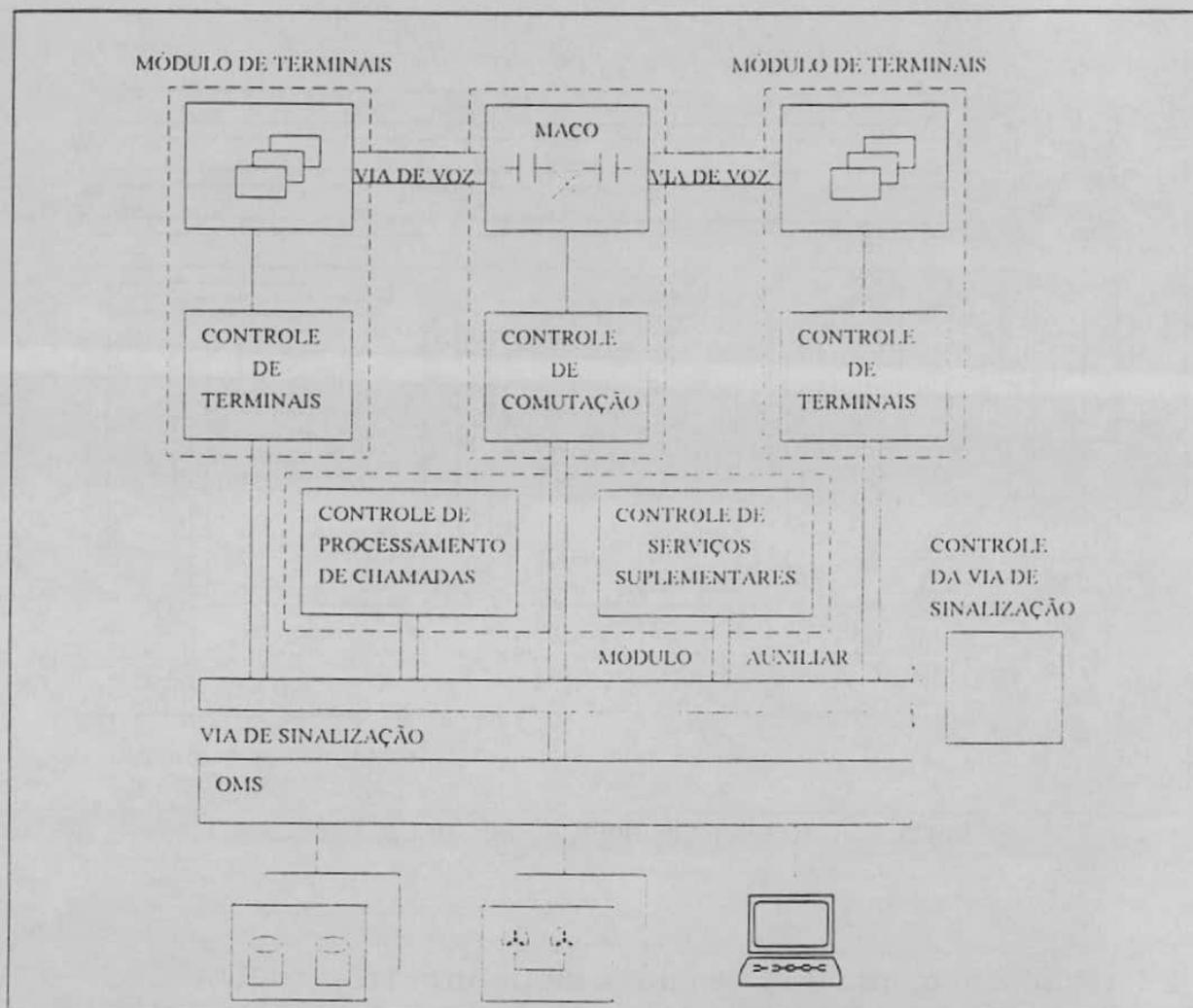


Figura 2: Módulos Envolvidos no Processamento de Chamadas

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).

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 desses softwares, visa a produção de especificações claras, concisas e sem ambigüidades, garantindo implementações eficientes e de fácil manutenção.

3. Especificação Formal do Processamento de Chamadas

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 da central Trópico RA, que trata exatamente dessa comunicação (atendimento, encaminhamento e estabelecimento de chamadas), para ser especificado formalmente.

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, foram acrescentados ao modelo formal propostas determinadas variáveis, alguns sinais, alguns procedimentos internos à especificação (utilizando a linguagem Pascal) e um procedimento externo à especificação (utilizando a linguagem C). Certos detalhes das funções dos módulos são irrelevantes para atingir o objetivo deste trabalho e, por isso, não foram considerados.

3.1. Características 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 na seção 2. Apenas chamadas internas à central e vindas de telefones comuns foram especificadas.

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 sinais e o encaminhamento correto de cada chamada.

Para a especificação formal, em Estelle, do processamento de chamadas da central Trópico RA foram consideradas chamadas internas bem-sucedidas com o assinante A ou com o assinante B desligando e chamadas malsucedidas com o assinante B ocupado, com o assinante A discando número inexistente, com o assinante A não discando um número ou com o assinante B não atendendo.

Os outros tipos de chamadas internas malsucedidas que foram especificados estão relacionados com a capacidade da central (registradores ou canais de voz para chamador ou chamado ocupados), com a classificação (por exemplo, classificação do chamado não está correta ou classificação do chamador e do chamado incompatíveis) e com a discriminação dos assinantes (chamador não pode originar chamada ou assinante chamado não é local).

3.2. Mapeamento da Arquitetura da Central nos Conceitos Arquitetônicos de Estelle

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. 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.

O processamento de uma chamada na central Trópico RA é descrito através de uma seqüência de sinais [CPqD 88], enviados/recebidos pelos módulos da central. Os módulos da arquitetura funcional da central foram mapeados nos conceitos de módulos (*module*) existentes em Estelle. Os sinais foram considerados na especificação formal, correspondendo ao conceito de primitivas de Estelle.

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 seqüência 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 88], e são descritos nas transições dos módulos da especificação.

Os sinais externos trocados entre os usuários e a central e os sinais internos trocados entre os módulos da central são ilustrados na Figura 3. Uma chamada telefônica bem-sucedida entre assinantes locais, com o assinante A desligando antes do assinante B, é apresentada nessa figura.

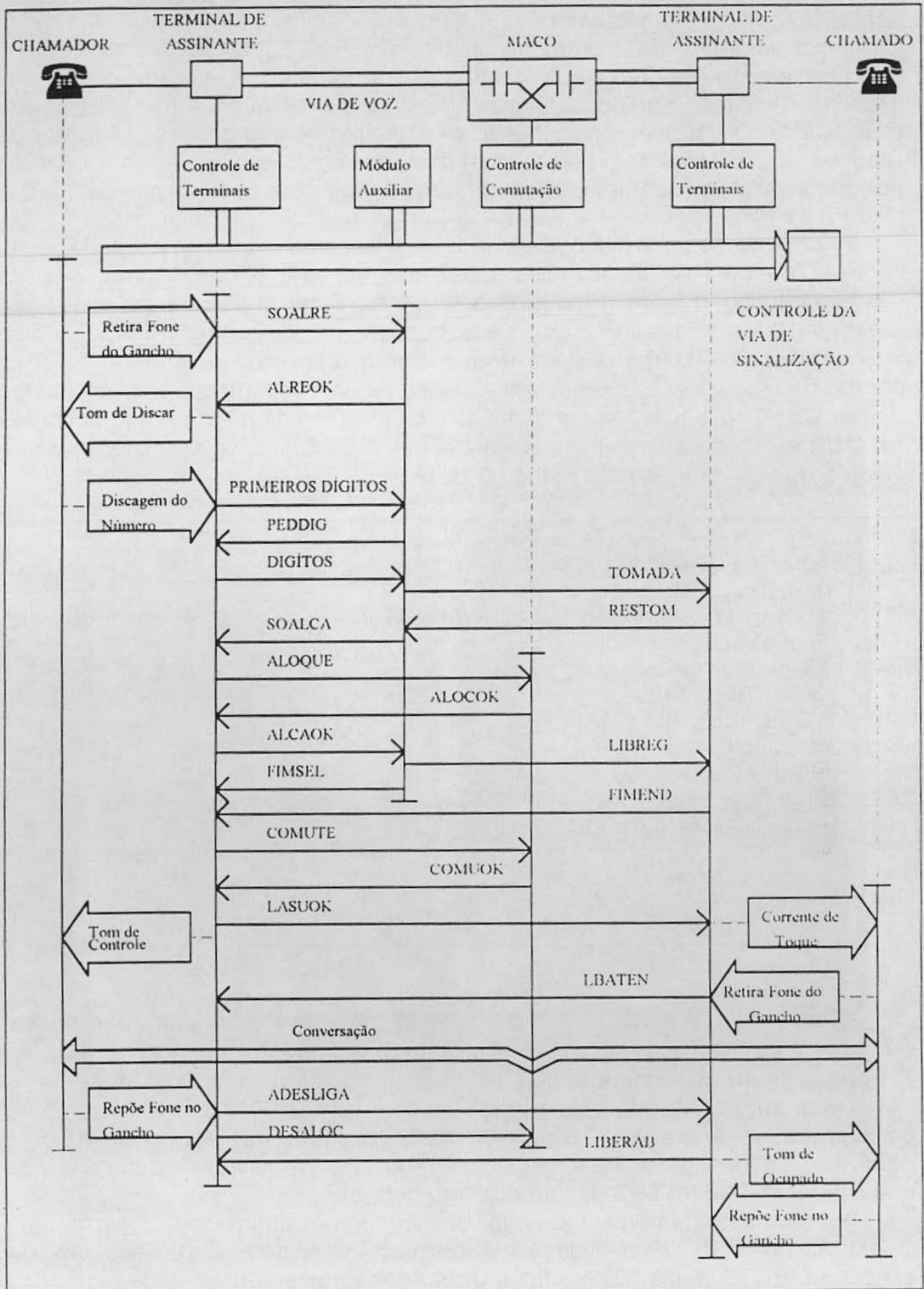


Figura 3: Sinais Trocados entre os Usuários e a Central

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 (citado na seção 2), para interligar os módulos, é transposto para a especificação através do conceito de canais de comunicação (*channel*) de Estelle. As primitivas desses canais são os mesmos sinais externos e internos trocados através das interfaces, durante o processamento de chamadas (Figura 3).

A conexão com o meio externo não é definida como uma interface na central Trópico RA. Na especificação, essa conexão é descrita através do **Canal_Usuario** (Figura 4), que é definido no nível mais alto de abstração (denominado *specification Rede*). 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**.

```

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

```

Figura 4: Especificação do **Canal_Usuario**

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**.

A estrutura global da especificação formal, em Estelle, do processamento de chamadas da central Trópico RA está descrita na Figura 5. Maiores detalhes sobre todos os módulos, canais e transições definidos na especificação podem ser encontrados em [Andr 92].

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.

```

01 SPECIFICATION REDE;
02  TIMESCALE seconds;
03  CONST ...
04  PROCEDURE ...
05  CHANNEL Canal_Usuario (USR, CENT); ...
06  MODULE Cabecalho_Usuario SYSTEMPROCESS;
07    IP U: Canal_Usuario (USR) INDIVIDUAL QUEUE;
08  END;
09  BODY Corpo_Usuario FOR Cabecalho_Usuario; ...
10  END { Corpo_Usuario };
11  MODULE Cabecalho_Central SYSTEMPROCESS;
12    IP CN: ARRAY [1..maxusuario] OF Canal_Usuario (CENT) INDIVIDUAL QUEUE;
13  END { Cabecalho_Central };
14  BODY Corpo_Central FOR Cabecalho_Central:
15    TYPE ...
16    CHANNEL Canal_Controlador_Terminal (CTRL, SINAL_ctrl); ...
17    CHANNEL Canal_Processamento_Chamadas (PROC, SINAL_proc); ...
18    CHANNEL Canal_Conversacao (TERM, MACO); ...
19    MODULE Cabecalho_Terminal PROCESS;
20      IP ...
21      EXPORT ...
22    END { Cabecalho_Terminal };
23    BODY Corpo_Terminal FOR Cabecalho_Terminal; ...
24      MODULE Cabecalho_Controlador PROCESS; ...
25      END { Cabecalho_Controlador };
26      BODY Corpo_Controlador FOR Cabecalho_Controlador; ...
27      END { Corpo_Controlador };
28    ...
29    END { Corpo_Terminal };
30    MODULE Cabecalho_Modulo_Auxiliar PROCESS;
31    END { Cabecalho_Modulo_Auxiliar };
32    BODY Corpo_Modulo_Auxiliar FOR Cabecalho_Modulo_Auxiliar;
33      MODULE Cabecalho_Processamento_Chamadas PROCESS; ...
34      END { Cabecalho_Processamento_Chamadas };
35      BODY Corpo_Processamento_Chamadas FOR
36        Cabecalho_Processamento_Chamadas; ...
37      END { Corpo_Processamento_Chamadas };
38    END { Corpo_Modulo_Auxiliar };
39    MODULE Cabecalho_Plano PROCESS; ...
40    END { Cabecalho_Plano };
41    BODY Corpo_Plano FOR Cabecalho_Plano;
42    END { Corpo_Plano };
43    ...
44  END { Corpo_Central };
45  ...
46  END { REDE };

```

Figura 5: Estrutura Global da Especificação Formal

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*).

3.2.1. Refinamentos da Especificação

A estrutura hierárquica da especificação formal, com todos os refinamentos dos módulos, é ilustrada na Figura 6 sob a forma de uma árvore genealógica. As prioridades para a execução dos módulos na especificação pode ser observada através dessa estrutura.

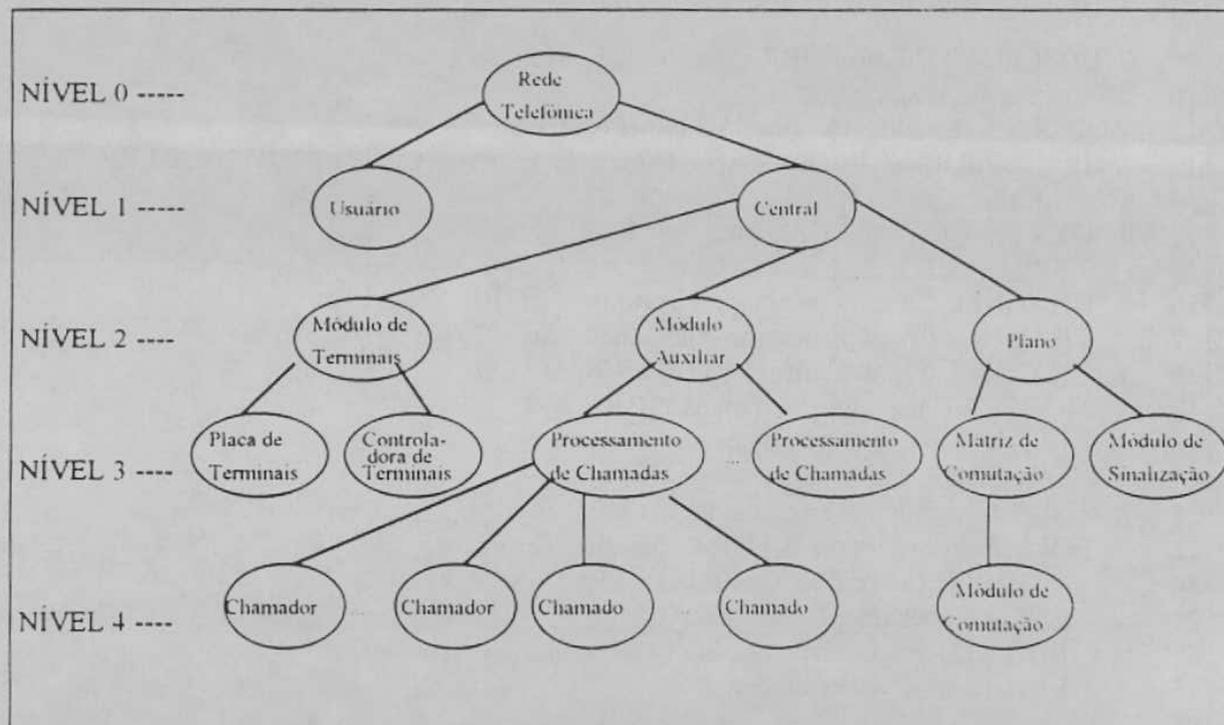


Figura 6: Árvore Genealógica da Especificação

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) [Lope 89]. 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** (Figura 5).

O módulo **Usuario** é acrescentado à especificação formal para executar as funções externas à central. Essas funções referem-se ao envio e recepção dos sinais ilustrados na Figura 4. Esse módulo **Usuario** descreve o conjunto formado pelo telefone e pelo usuário.

O módulo **Central** especificado é a própria central Trópico RA. No cabeçalho desse módulo, um *array* de pontos de interação **CN** é definido, permitindo a sua comunicação com todos os módulos **Usuario** da **Rede** (Figura 5).

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 **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_Comutacao** (composta de uma instância do **Modulo_de_Comutacao**) e de uma instância do **Modulo_de_Sinalizacao**.

3.2.2. Trechos da Especificação do Processamento de uma Chamada

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** para cada chamada é disparada (Figura 7). Nessa transição, a criação de uma instância do módulo **Chamador** é realizada inicializando-se (*init*) a cópia desse módulo com o seu respectivo corpo. Essa transição ainda estabelece a comunicação entre os módulos **Controlador** e **Chamador**, vinculando o *ip* (*interaction point*) **CT_usr** ao *ip* **CR_usr** e o *ip* **CT_ctrl** ao *ip* **CR_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 7: Transição do Módulo **Controlador**

Para estabelecer a comunicação entre os módulos **Terminais** e **Controlador**, vinculando-se os *ips* **MT_ctrl** e **CT_ctrl**, alocados para cada chamada, é necessário que o módulo **Terminais** tenha acesso a informações relativas a instância do módulo **Controlador**. Isso pode ser feito através do conceito de variáveis exportadas contido em Estelle. Uma transição do módulo **Terminais** é disparada, assim que a variável exportada **ligar_terminal** do **Controlador** for selecionada (Figura 7).

A **Central** estabelecerá a conexão (*connect*) 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**.

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 8). Cada chamada entre dois módulos **Usuario** será tratada por uma instância do módulo **Processamento_de_Chamadas**. O **Modulo_Auxiliar** é acrescentado à arquitetura após a execução dessa transição.

```

01 FROM Ativo
02 TO SAME
03 ANY i: 1..maxusuario DO
04 WHEN MA_proc[i].SOALRE (num, cat, discr)
05 BEGIN
06   n := 0;
07   IF AnalisaChamador(num, cat, discr) = Truc
08   THEN
09   BEGIN
10     p := RegistradorLivre;
11     IF p <= maxchamadas THEN
12     BEGIN
13       INIT Processamento_Chamadas[p] WITH
14         Corpo_Processamento_Chamadas;
15       registrador_livre[p] := False;
16       Processamento_Chamadas[p].usr_chdor.num := num;
17       Processamento_Chamadas[p].usr_chdor.cat := cat;
18       Processamento_Chamadas[p].usr_chdor.discr := discr;
19       Processamento_Chamadas[p].end_chdor := 1;
20       OUTPUT MA_proc[i].ALREOK;
21       ATTACH MA_proc[i] TO Processamento_Chamadas[p].PC_chdor;
22     END
23   ELSE n := 1; { todos os registradores ocupados }
24   END
25   ELSE n := 2; { classificacao do chamador NOK }
26   IF n <> 0 THEN
27   BEGIN
28     mensagens(n);
29     OUTPUT MA_proc[i].ALRENOK;
30   END;
31 END;

```

Figura 8: Transição do **Modulo_Auxiliar**

O módulo **Chamador** recebe a primitiva **ALREOK** (alocação de registrador foi realizada) e envia uma primitiva **TomDeDiscar** ao respectivo módulo **Usuario**. Caso o módulo **Usuario** chamador não disque o número durante um certo intervalo de tempo, as primitivas **TomDeOcupado** e **ALIBERA** serão enviadas ao módulo **Usuario** chamador e módulo **Processamento_de_Chamadas** respectivamente. Todo esse comportamento é descrito por duas transições do módulo **Chamador** (Figura 9), sendo que a segunda é espontânea.

A transição espontânea ilustrada na Figura 9 contém uma cláusula *delay*, que permite modelar o intervalo de espera de discagem. Em Estelle, o tempo de execução de uma transição é indefinido, dependendo da implementação. A presença da cláusula *delay* numa transição retarda a sua execução.

```

01 FROM SolicitaRegistrador
02 TO AlocaRegistrador
03 WHEN CR_ctrl.ALREOK
04 BEGIN
05   OUTPUT CR_usr.TomDeDiscar
06 END;
07
08 FROM AlocaRegistrador
09 TO LiberaChamador
10 DELAY (tempo)
11 BEGIN
12   OUTPUT CR_usr.TomDeOcupado;
13   OUTPUT CR_ctrl.ALIBERA;
14 END;

```

Figura 9: Transições do Módulo Chamador

Na fase de recepção e análise de dígitos o módulo **Processamento_de_Chamadas** faz a análise do número discado e se a chamada puder ser encaminhada ao destino, a **Central** deve conectar os *ips* **MT_ctrl** e **PL_ctrl** (através do **Canal_Controlador_Terminais**), e os *ips* **MA_proc** e **PL_proc** (através do **Canal_Processamento_Chamadas**). Em seguida, uma transição do **Controlador** é disparada, criando uma instância do **Chamado** (Figura 10).

```

01 ANY i: 1..maxusuario DO
02 WHEN CT_ctrl[i].TOMADA
03 BEGIN
04   OUTPUT CT_ctrl[i].RESTOM;
05   INIT CHAMADO[i] WITH Corpo_CHAMADO;
06   ATTACH CT_usr[i] TO CHAMADO[i].CO_usr;
07   ATTACH CT_ctrl[i] TO CHAMADO[i].CO_ctrl;
08   usuario_ocupado[i] := True;
09 END;

```

Figura 10: Criação Dinâmica do Módulo Chamado

Caso ocorra alguma irregularidade nessa fase (chamada não é da central, ou classificação do chamador não está correta, ou a categoria do chamador não é compatível com a classificação do chamado, ou a classificação do chamado não está correta), o encaminhamento da chamada é interrompido com a liberação do registrador e a destruição dinâmica do módulo **Processamento_de_Chamadas**. Essas chamadas malsucedidas são tratadas pelo módulo **Processamento_de_Chamadas** ou pelo **Modulo_Auxiliar**, conforme o caso, através de funções ou de procedimentos.

No modelo formal proposto, a interrupção de uma chamada 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.

Assim que a primitiva **RESTOM**, indicando o resultado positivo da criação do módulo **Chamado**, é recebida pelo módulo **Processamento_de_Chamadas** (Figura 11), 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 (*connect*) 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.

```
01 FROM TomandoChamado
02 TO AlocaCanal
03 WHEN PC_chdo.RESTOM
04 BEGIN
05     OUTPUT PC_chdor.SOALCA
06 END;
```

Figura 11: Transição do módulo **Processamento_de_Chamadas**

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

Se a alocação for bem-sucedida, 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 um dos usuários envolvidos nessa ligação telefônica colocar o fone no gancho, a instância de **Chamador** ou de **Chamado**, relativa àquela chamada, será destruída dinamicamente pelo **Controlador** (módulo pai). Todas as ligações dessas instâncias com os outros módulos serão automaticamente destruídas pelo comando *release*. Quando o outro usuário também colocar o fone no gancho, essa chamada termina e os os canais de voz relativos aos dois lados devem ter sido liberados.

A Figura 12 ilustra a transição do **Controlador** que destrói as instâncias de **Chamador** e de **Chamado**, assim que as variáveis exportadas por essas instâncias, associadas às respectivas transições do **Controlador**, forem verdadeiras. A variável exportada **liberar_usuario** é declarada nos cabeçalhos dos módulos **Chamador** e **Chamado**.

```

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 12: Destruição Dinâmica do Módulo Chamador

A arquitetura Estelle do processamento de uma chamada da central Trópico RA com seus vários níveis de abstração e contendo todos os refinamentos efetuados é apresentada na Figura 13.

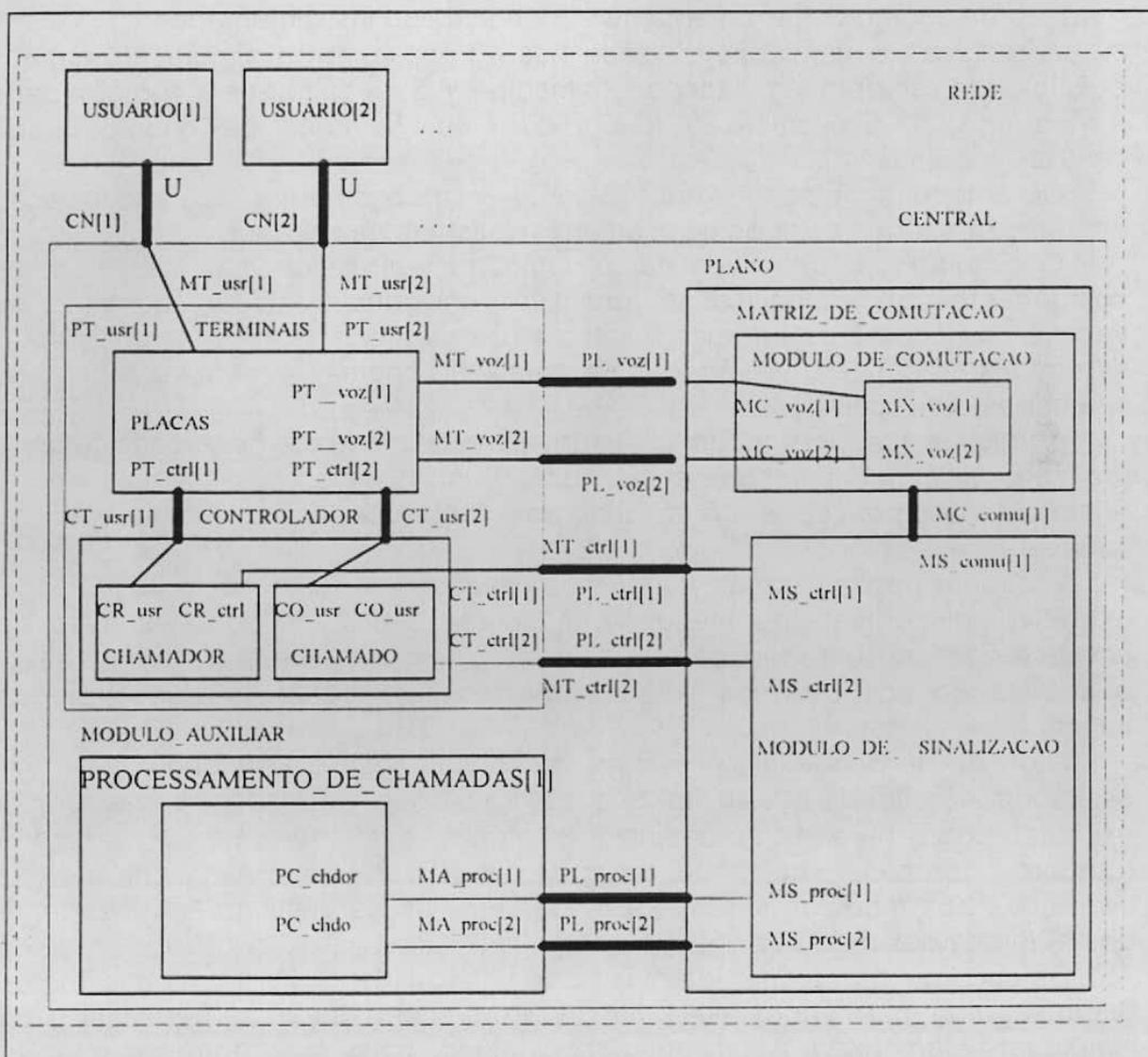


Figura 13: Arquitetura Estelle do Processamento de uma Chamada da Central Trópico RA

4. Validação da Especificação Formal

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).

A ferramenta editor orientado para a sintaxe de Estelle foi utilizado na edição da especificação, verificando os erros de sintaxe. O tradutor 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*). Determinados erros passaram pelo tradutor e surgiram na geração do código C (ferramenta gerador de código instrumentado).

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 descritas na seção 3.

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).

A inicialização de todas as variáveis dos módulos da especificação é realizada automaticamente pelo simulador, no início da simulação. 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 configuração do simulador. Na fase de conversação de uma ligação telefônica, o modo deve ser o interativo, possibilitando aos usuários de uma chamada em particular o controle da ligação.

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

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.

5. Conclusão

Neste trabalho foi desenvolvida e validada a especificação formal do processamento de chamadas da central Trópico RA, utilizando a TDF Estelle, que 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.

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.

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 EWS oferece uma interface amigável com o usuário (no editor e no simulador), tornando o seu uso mais simplificado.

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 internas e externas dos módulos.

A especificação permite que novos comportamentos sejam acrescentados, como por exemplo a tarifação, os serviços suplementares e a descrição de outros tipos de terminais telefônicos (público, semipúblico, equipamento de teste, etc.), assim como de outras centrais, que não foram

070 12- simposio brasileiro de redes de computadores

considerados nessa especificação. Além disso, permite a inclusão de um número maior de módulos **Plano** e de **Modulo_de_Comutacao**.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer aos funcionários do CPqD da TELEBRÁS pela contribuição na pesquisa bibliográfica, em particular, a Wilson Ribeiro da Silva, pelo apoio técnico em relação à Central Trópico RA.

Referências Bibliográficas

- [Andr 92] Rossana M. de Castro Andrade, *Especificação Formal de Sistemas de Telefonia em Estelle: Um Estudo de Caso*, Tese de mestrado relativa ao curso de mestrado em Informática do DSC/CCT/UFPb, Campina Grande (Pb), dezembro de 1992.
- [CPqD 88] CPqD - TELEBRÁS, *Manual do Sistema Trópico RA*, agosto de 1988.
- [CPqD 91] CPqD - TELEBRÁS, *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.
- [ESPR 89] ESPRIT P1265, *SEDOS Estelle Demonstrator Workshop*, Bruxelas (Bélgica), 31 de maio de 1989.
- [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 88] ISO IS 9074, *Information Processing Systems - Open System Interconnection - Estelle - A Formal Description Technique Based on a Extended State Transition Model*, 1988.
- [Lope 89] W. Lopes de Souza, *Estelle: uma técnica para a descrição formal de serviços e protocolos de comunicação*, Revista Brasileira de Computação, newblock 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.