46464

Fernando Manuel dos Santos Ramos

Proposta de Arquitectura e Estudo de Desempenho de um ISPBX com Comutação de Pacotes

Universidade de Aveiro
1991

46464-10

Proposta de Arquitectura e Estudo de Desempenho de um ISPBX com Comutação de Pacotes

Dissertação de Doutoramento
apresentada à
Universidade de Aveiro
por

Fernando Manuel dos Santos Ramos

Universidade de Aveiro
1991

Agradecimentos

Gostaria de manifestar aqui o meu profundo agradecimento a todos os que, de alguma forma, contribuíram para que fosse possível a elaboração desta Tese.

Em primeiro lugar gostaria de nomear o Prof. Doutor Guilherme Moreno Silva Arroz, meu orientador científico, que me proporcionou um contributo decisivo ao apoiar-me quer através da sua vasta cultura técnico-científica, quer pela invulgar postura de integridade, profissionalismo e dedicação que sempre manifestou ao longo deste anos.

Gostaria também de agradecer aos colegas do Departamento de Electrónica e Telecomunicações da Universidade de Aveiro que me encorajaram no decurso deste trabalho, e de registar uma saudação especial ao Engº José Luís Oliveira pelo paciente apoio na exploração do Simulador que implementou.

Ao INESC - Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores gostaria de reconhecer o papel ímpar que tem tido no desenvolvimento da I&D em Portugal, nomeadamente, na área das Telecomunicações, de cujo capital de experiência acumulada beneficiei para a elaboração desta Tese.

Uma palavra, finalmente, para todos os meus familiares e amigos, com carinho muito especial para a minha Mulher e Filha, pelo apoio incondicional que sempre me proporcionaram, mesmo quando não lhes pude dispensar a dedicação que mereciam.

Resumo

Esta Tese apresenta uma proposta de um ISPBX em que é utilizada como subsistema de comutação a arquitectura de comutação de pacotes Pseudo-Estrela, e que tem características invulgares no que respeita a modularidade, eficiência e desempenho.

A Tese contempla os aspectos fundamentais relacionados com a concepção do sistema proposto, nomeadamente a sua caracterização funcional, a organização dos diferentes componentes, e a descrição pormenorizada do seu funcionamento em ambiente RDIS, no suporte quer a comunicações em modo circuito quer em modo pacote.

São ainda sugeridas alterações complementares às descrições publicadas sobre a Pseudo-Estrela necessárias para a sua utilização como subsistema de comutação de um ISPBX, sendo também apresentado um estudo, por simulação, de desempenho, que permite concluir que o sistema tem, nos cenários considerados, um comportamento satisfatório mesmo em situações de carga elevada.

Para além dos assuntos já referidos a Tese inclui ainda uma sistematização do problema da comutação integrada de tráfegos síncronos e assíncronos, que contempla a discussão das caraterísticas dos tráfegos de voz e dados, e, ainda, uma revisão de propostas de sistemas e arquitecturas vocacionadas para a integração de serviços. No final da Tese são discutidas as vantagens conceptuais que o sistema proposto apresenta em relação às soluções descritas.

A Tese inclui também um capítulo em que são apresentados os conceitos básicos sobre a RDIS, sendo enquadrado o papel dos ISPBXs no âmbito da RDIS, e indicado o estado actual da normalização nesta área.

Palavras Chave: ISPBX, RDIS, ISDN, Redes Privadas, Comutação Integrada, Comutação de Pacotes.

Abstract

This Thesis is a proposal of an ISPBX based on a token passing parallel bus packet switching subnetwork, which has unusual characteristics of modularity, eficience, and performance.

The work comprises the study of the main conceptual aspects of the system, including its functional behaviour, the module´s organization, and a detailed description of how the ISPBX works, both in ISDN circuit and packet transfer modes.

Also included is a proposal of extension to the already published basic architecture of the switching subnetwork, which provides a more adequated support for its use as nucleous of an ISPBX, and a performance study that shows that, even under heavy load, it is predictable for this system a very good performance.

The work also contains a discussion of the integrated switching of synchronous and asynchronous traffics, focused on the characterization of voice and data traffics, and on the description of the most interesting proposals of integrated switching systems.

The Thesis also describes the basic ISDN concepts, and the state of the art concerning the international standardization work on private ISDN switching protocols.

Key words: ISPBX, ISDN, Private Networks, Integrated Switching, Packet Switching.

ÍNDICE

ÍNDICE 1

1 - INTRODUÇÃO 5

2 - SISTEMAS COM INTEGRAÇÃO DE VOZ E DADOS 11

2.1 Introdução 11

2.2 Características dos tráfegos de voz e dados 13

2.2.1 Características do tráfego de voz 13
2.2.2 Características do tráfego de dados 17

2.3 Técnicas de comutação de voz e dados 19

2.3.1 Comutação de circuitos 20
2.3.2 Comutação de pacotes 25
2.3.3 Comutação híbrida 28

2.4 Sistemas com integração voz/dados 29

2.4.1 Integração de dados em PABXs 30
2.4.2 Integração de voz em redes locais e metropolitanas 31
2.4.2.1 Protocolo RT-V 34
2.4.2.2 Protocolo FARA/CSMA-CD 36
2.4.2.3 Rede CARTHAGE 38
2.4.2.4 Rede FDDI-II 40
2.4.2.5 Rede DQDB 42

2.5 Conclusão 46

3 - OS ISPBXS NO CONTEXTO RDIS 49

3.1 Introdução 49

3.2 Interface utilizador-rede de uma RDIS 50

3.2.1 Modelo de Referência 50
3.2.2 Canais e Interfaces 52
3.2.3 Protocolos 53
3.2.3.1 Comunicações em modo circuito 60
3.2.3.2 Comunicações em modo pacote 64
3.2.3.3 Comunicações de tipo sinalização utilizador a utilizador 64

3.3 Normalização na área dos ISPBXs 65

3.4 Conclusão 68

4 - ARQUITECTURA E FUNCIONAMENTO DO SUBSISTEMA DE COMUTAÇÃO 69

4.1 Introdução 69

4.2 Modelo de Referência da Pseudo-Estrela 71

4.3 Estrutura Protocolar da Pseudo-Estrela 74

4.3.1 Camada Física 75
4.3.2 Protocolo da sub-camada MAC 79
4.3.2.1 Natureza do testemunho 79
4.3.2.2 Geração do testemunho 80
4.3.2.3 Transferência do testemunho 81
4.3.3 Protocolo da sub-camada LLC 83
4.3.3.1 Estrutura dos pacotes 83
4.3.3.2 Estrutura de endereços 83
4.3.3.3 Procedimento de transmissão de um pacote 84

4.4. Protocolos da IAPE 87

4.4.1 Camada física 87
4.4.1.1 Circuitos de transmissão 87
4.4.1.2 Circuitos de recepção 89
4.4.1.3 Circuitos de indicação de erro 90
4.4.2 Protocolo da camada lógica 90

4.5 Conclusão 92

5 - ORGANIZAÇÃO E FUNCIONAMENTO DO SISTEMA PROPOSTO 95

5.1 Introdução 95

5.2 Definição das funcionalidades 96

5.3 Organização do ISPBX 97

5.3.1 Organização geral 97
5.3.2 Modelo geral de organização de um módulo 99
5.3.3 Organização do Protocolo Interno de Sinalização 101

5.4. Arquitectura e funcionamento dos módulos do ISPBX 104

5.4.1 Interfaces 104
5.4.1.1 Módulo de Acesso Básico 104
5.4.1.2 Módulo de Acesso Primário 108
5.4.2 Servidores 108
5.4.2.1 Servidor de Directório 108
5.4.2.2 Servidor X.25 111

5.4.2.3 Servidor de Conferência Tripartida de Voz 112
5.4.2.4 Servidor de Difusão 113

5.5. Descrição do funcionamento do ISPBX 114

5.5.1. Comunicações em modo circuito 115
5.5.1.1 Procedimentos básicos 115
5.5.1.2 Facilidades suplementares 119
5.5.1.2.1 Suspensão de Chamada 119
5.5.1.2.2 Transferência de Chamada 121
5.5.1.2.3 Conferência Tripartida de Voz 123
5.5.2 Comunicações em modo pacote 127
5.5.2.1 Comunicações X.25 entre DTEs locais 127
5.5.2.1.1 Comunicações sobre Canal B 127
5.5.2.1.2 Comunicações sobre Canal D 128
5.5.2.2 Comunicações X.25 sobre canal D entre um DTE local e um DTE remoto 131

5.6 Conclusão 132

6 - ANÁLISE DE DESEMPENHO DO SISTEMA PROPOSTO 135

6.1. Introdução 135

6.2 Análise dos parâmetros com influência no desempenho 136

6.2.1. Comunicações em modo circuito 136
6.2.1.1 Fase de estabelecimento da comunicação 136
6.2.1.1.1 Conversão de endereço 137
6.2.1.1.2 Procedimento de sinalização entre interfaces 142
6.2.1.2 Fase de transferência de informação 145
6.2.2 Comunicações em modo pacote 147
6.2.2.1 Comunicações entre DTEs X.25 locais 148
6.2.2.1.1 Comunicações sobre Canal B 148
6.2.2.1.2 Comunicações sobre Canal D 149
6.2.2.2 Comunicações X.25 sobre Canal D entre um DTE local e um DTE remoto 150

6.3 Estudo do desempenho do subsistema de comutação 150

6.3.1 Simulador I 151
6.3.2 Simulador II 157

6.4 Conclusões 160

7 - CONCLUSÕES 163

ANEXO A - PROTOCOLO INTERNO DE SINALIZAÇÃO 175

A.1 Mensagens 176

A.1.1 P_CONV_END 176
A.1.2 I_CONV_END 177
A.1.3 P_EST_COM 177
A.1.4 I_EST_COM 178
A.1.5 P_TERM-COM 178
A.1.6 P_SUSP_COM 179
A.1.7 I_SUSP_COM 179
A.1.8 P_RET_COM 180
A.1.9 I_RET_COM 180
A.1.10 P_TRF_COM 181
A.1.11 I_TRF_COM 181
A.1.12 P_RES_REC 182
A.1.13 I_RES_REC 182
A.1.14 P_INIC_CONF 183
A.1.15 I_INIC_CONF 183
A.1.16 FIM_CONF 184
A.1.17 INFO 184

A.2. Elementos de Informação 185

A.2.1 Endereço da US origem 185
A.2.2 Tipo de Mensagem 185
A.2.3 Número de Referência da Mensagem 185
A.2.4 Dimensão da Subsecção de Informação A 185
A.2.5 Dimensão da Subsecção de Informação B 186
A.2.6 Called Party Number 186
A.2.7 SCTV 186
A.2.8 Endereço Interno 186
A.2.9 Mensagem Incompleta 187
A.2.10 Endereço de Dados 187
A.2.11 Modo Pacote 187
A.2.12 Cause 188
A.2.13 TEI 188
A.2.14 Recursos Indisponíveis 188
A.2.15 Informação 188

ANEXO B - SIMULADOR I 191

REFERÊNCIAS 203

ABREVIATURAS 213

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

O forte incremento a que se assistia no início dos anos 80, um pouco por todo o Mundo, na Ciência da Comunicação de Dados, fazia adivinhar que em Portugal essa década iria ser decisiva quanto ao interesse pelas técnicas e aplicações dessa área do conhecimento.

Estávamos, então, na época em que se discutia a futura instalação em Portugal de uma rede de comutação de pacotes, enquanto, por outro lado, começavam a aparecer os primeiros sistemas comerciais de tipo rede local, destinados à interligação de computadores de pequeno porte. Era a época das nunca definitivas discussões sobre os méritos e inconvenientes das diferentes propostas de arquitecturas para redes locais, em que as opiniões se dividiam, acaloradamente, entre os sistemas em *bus* e anel.

Foi neste contexto que surgiu no grupo de Redes do Departamento de Electrónica e Telecomunicações da Universidade de Aveiro uma proposta de arquitectura de comutação para uma rede local, que, como era inevitável, se assumia como alternativa privilegiada às topologias mais divulgadas. A esta arquitectura, que foi denominada Pseudo-Estrela, foram reconhecidas algumas potencialidades interessantes, resultantes, nomeadamente, do tipo de organização física - *bus*, e do carácter determinístico do protocolo de

acesso ao meio de transmissão - anel lógico com passagem de testemunho.

A constatação destas potencialidades motivou a exploração de alguns aspectos e aplicações desta arquitectura, conduzindo à realização de diversos trabalhos de investigação em variados domínios.

Um dos aspectos que pareceu interessante explorar resultava do facto do método de acesso ao meio, sendo determinístico, potenciar a utilização da arquitectura em sistemas com comutação de tráfego em tempo real. Desta forma surgiu a ideia de explorar o problema da comutação de voz na Pseudo-Estrela, com ênfase particular na avaliação dos aspectos relativos ao desempenho temporal do método de acesso.

Estavamos, então, no início do ano de 1987. Começavam a chegar os ecos da divulgação dos conceitos básicos sobre a Rede Digital com Integração de Serviços - RDIS, resultantes da publicação do primeiro conjunto de normas RDIS na edição de 1984 das Recomendações do CCITT.

A pouco e pouco, e à medida que solidificava a noção da importância estratégica que a RDIS poderia vir a assumir, foi-se consolidando a ideia de que faria sentido alargar o âmbito inicialmente previsto para este trabalho, passando a contemplar o problema mais geral da comutação de tráfego RDIS na arquitectura Pseudo-Estrela. O passo seguinte foi, naturalmente, estabelecer como objectivo do trabalho investigar como se poderia organizar um ISPBX (Integrated Service Private Branch Exchange) que utilizasse a Pseudo-Estrela como subsistema de comutação, e estudar o seu desempenho. Corria, então, o ano de 1988.

A primeira fase do trabalho teve como principal objectivo a aprendizagem dos problemas que se colocam na comutação integrada de tráfegos de natureza diversa, nomeadamente tráfegos de tipos assíncrono e síncrono, e com e sem exigência de tratamento em tempo real.

Complementarmente foram, então, estudadas as propostas de técnicas de comutação integrada mais divulgadas, com a preocupação principal de compreender a forma como nesses sistemas é dada resposta às diferentes exigências dos vários tipos de tráfegos.

O estudo das normas RDIS foi a fase seguinte deste trabalho, em que houve a preocupação de compreender quais as características funcionais típicas de um ISPBX. Esta fase tornou-se, por vezes, particularmente ingrata, devido à dificuldade de obtenção de algumas normas RDIS, em alguns casos ainda em fase de desenvolvimento, como foi o caso das normas relativas à interligação entre ISPBXs.

Outra componente importante do trabalho teve a ver com a sistematização da descrição dos protocolos da Pseudo-Estrela, e sua compatibilização com as necessidades decorrentes da utilização dessa arquitectura como subrede de comutação do ISPBX. No seguimento deste trabalho foi sistematizado um modelo de referência generalizado e elaborada uma proposta de protocolo de acesso à Pseudo-Estrela, ambos de aplicação genérica.

No entanto, a proposta de organização e funcionamento do ISPBX, bem como a análise do respectivo desempenho, foram os temas centrais deste trabalho.

A proposta de organização e funcionamento do sistema contemplou os aspectos funcionais do ISPBX que foram considerados como sendo representativos, quer de um núcleo mínimo de funcionalidades quer de funcionalidades adicionais enriquecedoras de um sistema RDIS privado. Do conjunto mínimo de funcionalidades são exemplo o suporte a comunicações em modo circuito e pacote, e a serviços suplementares básicos em comunicações de voz, como é o caso da suspensão ou transferência de

chamada. Das funcionalidades adicionais são exemplo o suporte a conferência tripartida de voz, e um sistema de difusão de informação de aplicação genérica.

A análise do desempenho temporal do ISPBX foi efectuado por simulação, tendo sido baseada em dois programas de simulação.

O primeiro simulador, identificado como Simulador I, é um simulador dedicado desenvolvido especificamente para a análise do comportamento do subsistema de comutação para canais de 64 kbit/s, com tráfego com comportamento estatístico de tipo Poisson. O modelo de simulação utilizado permite obter resultados majorados do atraso a que são sujeitos os pacotes de informação, quer no que respeita à função densidade de probabilidade quer à função de probabilidade cumulativa.

O Simulador II foi desenvolvido por uma equipa em que o autor participou, e que resultou da convergência de interesses entre este e outros trabalhos. Este simulador dispõe de um modelo de simulação baseado em filas de espera, que reproduz integralmente o funcionamento da Pseudo-Estrela, e fornece o mesmo tipo de resultados do Simulador I.

Este Simulador II oferece facilidades não disponíveis no Simulador I, nomeadamente, a possibilidade de serem definidos vários tipos de fontes geradoras de tráfego, permitindo que a análise de resultados seja feita quer globalmente quer por tipo de tráfego. O tipo de modelo de simulação utilizado implica, no entanto, a execução de um elevado número de operações de processamento, dado que cada pacote é processado individualmente. Deste facto resulta que o tempo de simulação pode ser bastante longo, podendo, em cenários de tráfego elevado, atingir mesmo vários dias.

A organização desta tese decorre do percurso efectuado, e que foi sumariamente descrito nos parágrafos anteriores. A tese divide-se em duas

partes, a primeira das quais, em que são compilados os conceitos suporte, abrange os capítulos 2 e 3, e a segunda, em que são desenvolvidas as propostas apresentadas, compreende os capítulos 4, 5 e 6.

Assim, no Capítulo 2 - Sistemas com Integração de Voz e Dados, são caracterizados os tráfegos de voz e dados no que respeita tanto a aspectos quantitativos como qualitativos, sendo analisada a adequação das diferentes técnicas de comutação para o suporte dos tipos de tráfegos descritos. São ainda apresentadas algumas propostas de sistemas desenhados com a preocupação de suportarem tráfego de diferentes naturezas, sendo dado relevo particular para os aspectos que, de alguma forma, contribuem para uma adequação particular a esse cenário de funcionamento.

No Capítulo 3 - Os ISPBXs no Contexto RDIS, são descritos os conceitos básicos sobre a RDIS - Rede Digital com Integração de Serviços, e enquadrado o papel dos ISPBXs numa RDIS. A ênfase deste capítulo é, naturalmente, para as questões relativas à normalização nesta área, sendo dada uma panorâmica do estado das normas tão actual quanto a rapidez de circulação de informação permite.

No Capítulo 4 - Arquitectura e Funcionamento do Subsistema de Comutação, são apresentados diversos aspectos relativos à arquitectura de comutação em que se baseia o subsistema de comutação utilizado no ISPBX, a Pseudo-Estrela. Assim, o capítulo começa por uma discussão sobre o enquadramenoto OSI da Pseudo-Estrela, sendo apresentada uma proposta de modelo de referência generalizado para a Pseudo-Estrela. Em seguida, são descritos os protocolos da Pseudo-Estrela segundo o referido modelo, e enumeradas as propostas de alterações protocolares consideradas necessárias para a utilização da Pseudo-Estrela como subsistema de comutação de um ISPBX. Finalmente o capítulo contempla a apresentação de

uma proposta de um conjunto genérico de protocolos de acesso à Pseudo-Estrela, que são utilizados como base para as restantes propostas apresentadas nesta tese.

No Capítulo 5 - Organização e Funcionamento do Sistema Proposto é sugerida uma organização para o ISPBX, sendo descrita a arquitectura de alguns módulos representativos das funcionalidades do ISPBX. O capítulo contém ainda uma descrição da forma de interacção das diferentes entidades responsáveis pelo funcionamento do sistema, no que respeita ao papel que desempenham no fornecimento dos diferentes tipos de serviços. No que respeita à sinalização, a interacção entre os módulos do ISPBX é suportada por um Protocolo Interno de Sinalização - PIS, cuja estrutura e aplicação são também descritas neste capítulo. No Apêndice A são compiladas as mensagens e elementos de informação do PIS a que é feita alusão no Capítulo 5.

No Capítulo 6 - Análise de Desempenho do Sistema Proposto, são identificadas as entidades responsáveis pelo desempenho do ISPBX, e é feita a avaliação quantitativa do comportamento temporal do sistema para os cenários de funcionamento mais representativos. A caracterização da influência do subsistema de comutação é feita por recurso a simulação, sendo apresentados resultados obtidos com dois simuladores distintos. São ainda discutidas as ilações que os resultados de desempenho permitem tirar quanto a alguns aspectos da arquitectura do sistema. O Apêndice B é complementar deste capítulo, e aí é apresentada a listagem do programa relativo ao Simulador I.

No Capítulo 7, Conclusões, é feita uma reflexão global sobre os temas desenvolvidos nesta tese, e apontados alguns aspectos que poderiam constituir tema de futuros trabalhos nesta área.

Capítulo 2

SISTEMAS COM INTEGRAÇÃO DE VOZ E DADOS

2.1 Introdução

O sucesso comercial que na última dezena de anos têm tido os equipamentos informáticos de pequeno porte, com relevo particular para os sistemas de tipo computador pessoal, tem favorecido o desenvolvimento de diversos tipos de sistemas de comunicação local, destinados a permitir a partilha quer de informação quer de recursos físicos e lógicos. Estes sistemas permitem rentabilizar custos de investimento, proporcionando, simultaneamente, a instalação de sistemas de informação complexos baseados em estruturas flexíveis, tanto no que respeita a equipamentos como a *software*.

As soluções para a comunicação de dados entre sistemas localizados numa área geográfica restrita, tipicamente a ocupada por uma organização, são geralmente suportadas por estruturas do tipo Rede Local [KEIS89], DATA PABX (Private Automatic Branch Exchange) [EQUI87] ou PABX com interfaces de dados [DOUG85].

Por outro lado estes sistemas coexistem, normalmente, com um

sistema de comunicação de voz dotado de um grau variável de sofisticação - PABX, sem que exista interoperacionalidade entre estes dois tipos de estruturas de comunicação, excepção feita ao caso dos PABXs com interface de dados onde existe um suporte de comunicação comum.

A constatação de que os aspectos visíveis da actividade humana, do ponto de vista da comunicação, não são compartimentáveis de uma forma estanque em mensagens vocais, textos e imagens, e que, bem pelo contrário, existe efectiva riqueza na conjugação dessas diversas formas de comunicação, tem conduzido a esforços no sentido do desenvolvimento de sistemas que melhor mimetizem a forma natural de comunicar do Homem - sistemas *multimedia*. Por outro lado, a coexistência num único sistema dos diferentes tipos de comunicação é potenciadora de redução de custos de investimento e exploração, devido à eliminação da duplicação de infraestruturas e de custos de manutenção e gestão.

Um passo significativo neste sentido é a integração num único sistema das comunicações de voz e dados, cujos requisitos no que respeita a largura de banda são da mesma ordem de grandeza.

Os esforços de integração de voz e dados têm seguido duas vias a que, de alguma forma, não são alheios os legítimos interesses das organizações que as patrocinam: os apologistas das Redes Locais têm-se preocupado em integrar voz nas LANs (Local Area Networks) [HILA84], enquanto que os apologistas dos PABXs têm procurado integrar a comunicação de dados nesses sistemas [DOUG85] [ARRO87], tradicionalmente só utilizados para voz.

No fundo, e para além dos interesses comerciais, estão geralmente em jogo diferentes aproximações de carácter tecnológico centradas na questão básica da filosofia de comutação utilizada: comutação de pacotes nos sistemas apresentados como LANs, comutação de circuitos nos designados

por PABXs.

Neste capítulo analisaremos os problemas que se levantam na concepção de sistemas integrados de voz e dados, através da caracterização da natureza desses dois tipos de tráfegos (secção 2), e da discussão da adequação dos diferentes tipos de sistemas de comutação para o suporte de voz e dados (secção 3). São ainda descritas algumas propostas significativas de sistemas em que são utilizadas técnicas específicas de integração voz/dados (secção 4).

2.2 Características dos tráfegos de voz e dados

O desafio essencial da integração de voz e dados resulta das características qualitativamente distintas que têm estes dois tipos de tráfegos, as quais colocam exigências de diferente natureza aos sistemas de comutação que suportam este tipo de comunicações.

Essas características, discutidas em pormenor nos parágrafos seguintes, têm que ver essencialmente com diferente susceptibilidade aos atrasos de transmissão, à ocorrência de erros e perda de informação, e ao bloqueamento dos sistemas de comunicação.

2.2.1 Características do tráfego de voz

A característica fundamental do tráfego de voz deriva do facto de exigir tratamento em tempo real, do que resulta ser crítico o intervalo de tempo que decorre entre o momento em que a informação é gerada e o momento em que é comunicada ao destinatário - atraso de transmissão. Como os

interlocutores, gerador e destinatário, são humanos, atrasos de transmissão elevados podem causar problemas de inteligibilidade, susceptíveis de dificultar, ou mesmo impossibilitar, a conversação.

Têm sido feitos diversos esforços no sentido de quantificar o atraso máximo admissível para tráfego de voz, mas, devido à própria subjectividade da questão, não existe uma opinião unânime na literatura da especialidade. Nos estudos consultados são apontados majorantes muito variados, sendo os valores mais elevados referidos da ordem dos 500 ms [CHEN88] a 600 ms [MALE88]. Para além do valor absoluto é também critica a irregulariedade do atraso de transmissão, que, caso tenha grande variabilidade, perturba a compreensão do sinal de voz reconstituído no destinatário [SOAR85].

Uma outra característica importante do tráfego de voz tem a ver com o facto de, no decorrer de uma conversação, haver frequentes períodos de silêncio por parte dos interlocutores, sendo estimado que estes períodos representam, para cada interlocutor, cerca de 50% a 60% do tempo de uma conversação [CHEN88] [HARR80]. Estes valores são, aparentemente, razoáveis, atendendo a que normalmente não há geração simultânea de tráfego pelos interlocutores, existindo ainda, por vezes, momentos em que ambos estão silenciosos.

Devido às características do ouvido humano, o tráfego de voz não coloca exigências severas no que respeita à perda de alguma informação no decorrer de uma conversação. Os estudos a que tivemos acesso indicam que a perda de informação pode atingir valores da ordem de 1% a 2% sem que haja perturbação notória da qualidade da conversação [HILA84], e 5% com degradação notória mas ainda aceitável [COVI79].

O tráfego de voz é relativamente tolerante ao bloqueamento ocasional das estruturas de comutação - impossibilidade de estabelecimento de chamadas, particularmente em ambiente geograficamente restrito, em que o

congestionamento das estruturas de transporte de voz pode ser ultrapassado por recurso a outras formas de comunicação. A quantificação desta tolerância é feita através de um indicador designado grau de serviço, que exprime a probabilidade de não possibilidade de estabelecimento de uma comunicação. Em comunicações de voz é normalmente considerado aceitável um grau de serviço de 1% [GRIN83].

No caso do suporte de comunicação ser digital, que é a situação que nos interessa, o sinal de voz é filtrado a 3.4Khz e amostrado a uma frequência de 8 Khz (intervalo de amostragem de 125 μs) [CCIT88A]. As amostras assim obtidas são codificadas em PCM (*Pulse Code Modulation*), sendo a codificação executada de acordo com as Leis de codificação μ ou A, adoptadas, respectivamente, nos E.U.A. e Japão, e na Europa.

Em qualquer dos casos cada amostra é codificada em 8 bits, o que conduz a um ritmo de 64Kbit/s por canal. Existem, no entanto, sistemas alternativos de codificação de voz, desenvolvidos com o propósito básico de obter uma codificação com menor exigência de largura de banda. De realçar entre estes sistemas o ADPCM (Adaptative Differential Pulse Code Modulation) a 32 Kbit/s, definido pelas normas ANSI T1.501 [WOIN88] e CCITT G.721 [CCIT88B], bem como outros sistemas em fase experimental ou de desenvolvimento com velocidades de transmissão inferiores a 32Kbit/s [SCHM86] [NUNE87], nomeadamente na gama 6Kbit/s a 8Kbit/s [TRAN89].

Relativamente às características estatísticas do tráfego de voz, é normalmente considerado [SCHW88] que a probabilidade $p(\kappa)$ de geração de κ chamadas num intervalo de tempo finito T por um agregado de fontes de voz é caracterizável pela distribuição de Poisson,

$$p(\kappa) = \frac{(\alpha T)^{\kappa} e^{-\alpha T}}{\kappa !}, \kappa = 0, 1, 2, ... \quad (1)$$

cuja média é αT, tendo o intervalo de tempo τ entre início de chamadas uma distribuição exponencial p(τ) de média $1/\alpha$:

$$p(\tau) = \alpha\, e^{-\alpha\tau}, \quad \tau \geqq 0 \tag{2}$$

Os parâmetros habitualmente utilizados para caracterizar um ambiente de comutação de voz são o tráfego médio por subscriptor, que exprime a percentagem de tempo de actividade de um fonte geradora de tráfego, o tempo médio de duração de cada chamada e o número de subscriptores, pelo que é util expressar $1/\alpha$ em função deste parâmetros. Considerando ser μ a duração média de uma chamada, o tráfego médio agregado num intervalo de tempo T é

$$\frac{\alpha T \mu}{T} = \alpha\mu \tag{3}$$

visto que o conceito de tráfego exprime a taxa de ocupação dos recursos de um sistema num dado período de tempo. Por outro lado, uma forma alternativa de exprimir o tráfego médio agregado num intervalo de tempo T em função do universo S de subscriptores considerados, e do tráfego médio t_{med} por subscriptor, é t_{med} S. Então,

$$\alpha\mu = t_{med}\, S \tag{4}$$

pelo que,

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{\mu}{t_{med}\, S} \tag{5}$$

Este resultado exprime o facto do intervalo de tempo entre início de chamadas ser directamente proporcional à duração das chamadas e

inversamente proporcional ao tráfego agregado relativo ao universo de subscriptores considerado, o que significa que:

a) para um dado tráfego agregado, quanto maior (menor) fôr a duração média das chamadas maior (menor) será o intervalo de tempo médio entre o seu início, dado que, em média, será menor (maior) o número de chamadas efectuadas.
b) para um dado valor de duração média de cada chamada, quanto maior (menor) fôr o tráfego agregado, maior (menor) será, em média, o número de chamadas que lhe correspondem, pelo que será menor (maior) o intervalo de tempo médio entre o início de chamadas.

2.2.2 Características do tráfego de dados

O tráfego de dados pode assumir duas naturezas distintas, a que correspondem solicitações diferentes no que respeita às características dos sistemas de comunicação que suportam este tipo de tráfego: dados resultantes da interacção homem-máquina, e dados relacionados com comunicações máquina-máquina.

A comunicação homem-máquina caracteriza-se por admitir atrasos de transmissão limitados, cujo valor depende do tipo de aplicação em causa. No entanto, e em termos gerais, é sensato afirmar que a ordem de grandeza dos atrasos admissíveis é superior à requerida pelo tráfego de voz, não sendo, por outro lado, significativa a sua irregularidade. Em relação ao tráfego máquina-máquina, as exigências em termos de atraso não são normalmente mais severas do que as colocadas pelo tráfego de tipo homem-máquina, não sendo, igualmente, significativa a irregularidade do atraso.

No que respeita à taxa de erros de transmissão, o tráfego de dados, é, naturalmente, muito exigente. Essa susceptibilidade conduz a que os protocolos de transmissão de dados disponham de técnicas de detecção e recuperação de erros com graus de sofisticação variados, que podem ir desde o mecanismo primário de controle de paridade utilizado em transmissão assíncrona, até às técnicas mais elaboradas de detecção e correcção de erros utilizadas em protocolos com orientação de pacote.

No que se refere à questão da susceptibilidade ao bloqueamento dos sistemas de comunicação, o tráfego de dados é, tipicamente, mais exigente do que o tráfego de voz, dado que, normalmente, é mais difícil recorrer a técnicas de comunicação alternativas. Esta questão é particularmente importante no tráfego de dados do tipo máquina-máquina, visto que a impossibilidade de estabelecimento de uma comunicação pode ter efeitos directos e indirectos graves, susceptíveis, por exemplo, de afectarem significativamente o bom funcionamento de um sistema de informação distribuído.

Um outro aspecto que distingue os tráfegos de dados homem-máquina e máquina-máquina, tem a ver com a caracterização temporal dos fluxos de informação que se estabelecem no decurso de uma comunicação. A interacção homem-máquina compõe-se de fluxos de dados intermitentes e assimétricos com uma taxa de utilização efectiva do canal de transmissão da ordem dos 5% a 15%, e em que a ocorrência de silêncios tem características diferentes para cada sentido de fluxo de informação: a taxa de utilização média no sentido homem-máquina é estimada em 1% a 5%, enquanto que no sentido máquina-homem o valor típico se situa entre 13% e 35% [HARR80]. A comunicação máquina-máquina é, por outro lado, fortemente unidirecional, tendo uma elevada taxa de ocupação do canal de transmissão [CHEN88].

A fig. 2.1 sintetiza qualitativamente as tolerâncias relativas que temos

vindo a descrever para os tráfegos de voz e dados, no que respeita a atraso de transmissão, bloqueamento e degradação.

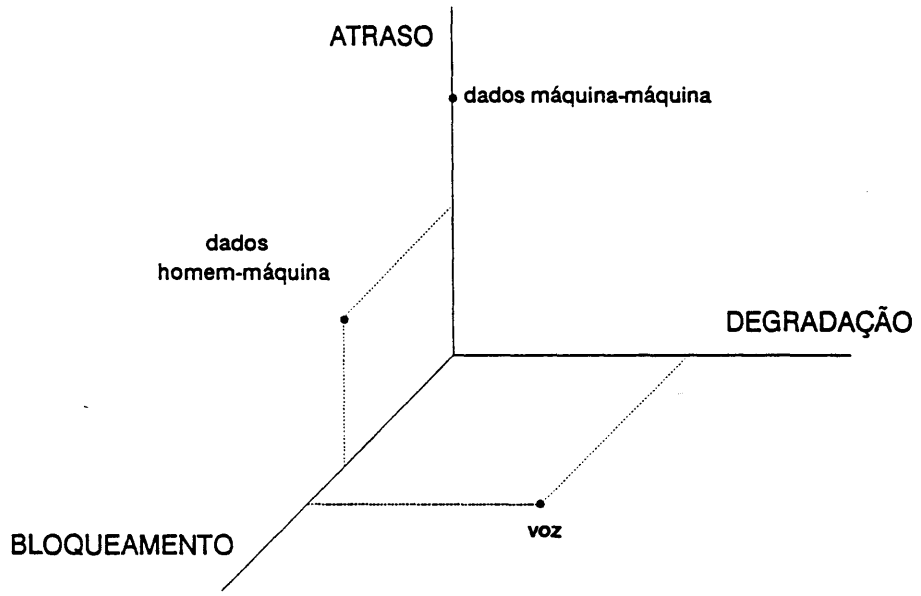


Fig. 2.1: Tolerâncias relativas quanto a atraso, bloqueamento e degradação, dos tráfegos de voz e dados.

2.3 Técnicas de comutação de voz e dados

Como é lícito esperar da forma como a integração voz/dados se tem vindo a desenvolver, as técnicas básicas de comutação utilizadas em sistemas integrados de voz e dados são as tradicionalmente aplicadas em PABXs e LANs, respectivamente, comutação de circuitos e comutação de pacotes. Existem, contudo, propostas de sistemas de comutação híbrida circuitos/pacotes, que procuram satisfazer melhor os requisitos colocados ao suporte conjunto de voz e dados. São estas diferentes estratégias de comutação que caracterizaremos nos parágrafos seguintes.

2.3.1 Comutação de circuitos

A técnica de comutação de circuitos baseia-se no estabelecimento de uma ligação permanente entre dois interlocutores, que se caracteriza pelo facto dos recursos envolvidos nessa ligação serem comprometidos em exclusivo no suporte da comunicação, independentemente de existir, ou não, transferência efectiva de informação entre os interlocutores.

A técnica de comutação de circuitos é, tradicionalmente, a mais utilizada em sistemas de comutação de voz, tendo sido aplicada inicialmente em ambiente analógico em soluções com multiplexagem espacial. Com o advento das tecnologias digitais a metodologia de comutação de circuitos passou a ser utilizada com soluções de multiplexagem mista, temporal e espacial.

A fig. 2.2 apresenta a estrutura genérica típica de um sistema de comutação de circuitos em ambiente digital. Os diferentes subscriptores (Sab) são agrupados em conjuntos de n, os quais partilham em multiplexagem temporal (TDM - *Time Division Multiplexing*) dois canais de comunicação unidireccionais (canais TDM), sendo um dos canais utilizado para transmissão e o outro para recepção.

A cada subscriptor envolvido numa comunicação são atribuídos regularmente intervalos de tempo em cada um desses canais - *time slots*, que no seu conjunto formam uma trama síncrona repetida ciclicamente. O encaminhamento das amostras PCM correspondentes a cada uma das comunicações em curso é efectuado por uma matriz de comutação programável, a qual executa a transferência da informação entre os *time slots* adequados dos diferentes canais TDM (comutação espacial).

A estrutura dos canais TDM/PCM está normalizada pelo CCITT [CCIT1], sendo, na Europa, baseada num bloco primário de 2048 Kbit/s que

comporta 30 canais de 64 Kbit/s. Os restantes dois canais de 64 Kbit/s são utilizados para procedimentos de sincronismo de trama e sinalização. A hierarquia de multiplexagem define canais de velocidade superior, constituídos por agrupamento de múltiplos blocos primários (Tabela 1.1).

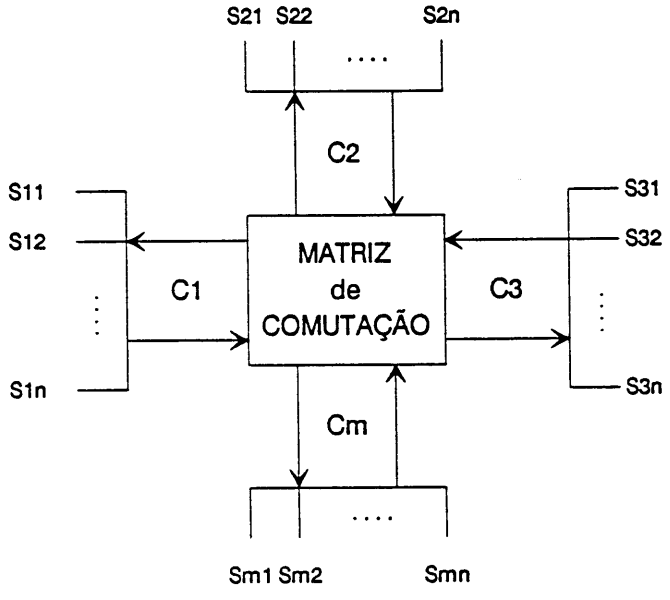


Fig. 2.2: Modelo de arquitectura de um sistema de comutação de circuitos.

	Nº de canais	**Velocidade (Mbit/s)**
Bloco de 1ª ordem	30	2
Bloco de 2ª ordem	120	8
Bloco de 3ª ordem	480	34
Bloco de 4ª ordem	1920	140
Bloco de 5ª ordem	7680	600

Tabela 1.1: Estrutura hierárquica TDM-PCM.

A comutação de circuitos baseia-se, como vimos, na atribuição de um canal durante toda a duração de uma comunicação. Nesse contexto esse tipo de tecnologia tem como característica essencial o facto dos recursos (*time slots*) postos ao dispôr de uma conversação estarem reservados exclusivamente para esse fim durante toda a duração da chamada, estabelecendo-se entre os subscriptores um canal de comunicação permanente de capacidade fixa, independentemente de circular, ou não, informação útil. Deste facto resulta que, quer para voz, quer, sobretudo, para transmissão de dados de tipo homem-máquina, a eficiência na utilização dos recursos ocupados é baixa, devido às caracteristicas assimétricas e descontínuas desses tráfegos.

No que respeita ao atraso de transmissão extremo a extremo, os sistemas com comutação de circuitos permitem obter atrasos de valor compatível com os requisitos de voz e dados, com a particularidade desses atrasos serem constantes dado existir alocação permanente de recursos. A título de exemplo, em [HARR80] é apresentado o valor de 20 ms como o atraso de transmissão extremo a extremo típico para um percurso terrestre do sistema telefónico de cerca de 6000 Km.

Por outro lado, o número de circuitos disponíveis num sistema de comutação de circuitos limita o número de comunicações simultâneas que é possível estabelecer, dado que existe reserva dos recursos comprometidos em cada comunicação estabelecida.

Uma outra característica deste tipo de sistemas é o facto de não disporem de procedimentos de detecção/recuperação de erros, visto que a estrutura de transporte é insensível ao conteúdo da informação veiculada. Eventuais procedimentos de controle são da total responsabilidade dos subscriptores envolvidos em cada comunicação.

Um outro aspecto relativo ao comportamento dos sistemas de

comutação de circuitos, com particular importância no que se refere à sua utilização para transmissão de dados do tipo máquina-máquina, é a da relação entre os tempos de estabelecimento e de duração de uma comunicação. Em comunicações de muito curta duração, frequentes neste tipo de tráfego, tempos de estabelecimento da ordem de alguns segundos, como é o caso do sistema telefónico, contribuem para uma ineficiente utilização de recursos e uma má qualidade de serviço.

As considerações que temos vindo a expôr permitem concluir que os sistemas com comutação de circuitos têm características adequadas às exigências de tráfego em tempo real, dado que, embora à custa de uma fraca eficiência na utilização dos recursos ocupados, permitem assegurar um atraso de transmissão limitado e regular. No entanto, este tipo de sistemas não se revelam particularmente adequados para tráfego de dados, dado que a característica mais notória deste tipo de tráfego, forte descontinuidade, implica uma taxa de ocupação de recursos extremamente pequena, não sendo, por outro lado, relevante o facto do atraso ser limitado e regular.

Existem diversas propostas de melhoramento da técnica de comutação de circuitos, entre as quais se destacam as designadas *Fast Circuit Switching* e *Enhanced Circuit Switching*. Em ambas se procura aumentar a taxa de utilização dos recursos disponíveis aproveitando o facto dos tráfegos típicos de voz e dados terem uma natureza descontínua.

Em *Fast Circuit Switching* [HARR80] [BURM87] é estabelecida uma comunicação por cada período de actividade da fonte, pelo que só há ocupação de recursos quando há tráfego efectivo. Quando a fonte passa à situação de silêncio a comunicação é terminada, podendo os recursos libertados ser atribuídos a uma qualquer outra comunicação. Deste método resulta a exigência do tempo de estabelecimento de uma comunicação ter de ser bastante curto, sob pena do atraso global ser inaceitável. O tempo de

estabelecimento influencia decisivamente a concepção deste tipo de sistemas, na medida em que é necessário salvaguardar a informação gerada desde que se inicia um período de actividade da fonte, até ao momento em que ocorre o estabelecimento da comunicação com o destinatário. Existem referências na literatura [HARR80] [CHEN88] a sistemas deste tipo com tempos de estabelecimento da ordem dos 140 ms.

A técnica de *Enhanced Circuit Switching* [HARR80] é utilizada na multiplexagem dos circuitos das junções entre centrais de comutação, por forma a melhorar o grau de utilização dos recursos instalados. Para que cada circuito possa ser usado para suportar várias comunicações, são empregues técnicas de detecção dos silêncios de cada comunicação (TASI/DSI - *Time Assignment Speech Interpolation/Digital Speech Interpolation* para voz [BULL59] [CAMP76], ADM - *Adaptive Data Multiplexing* para dados [HAN75]), que permitem que os recursos de transmissão sejam ocupados por outras comunicações durante esses períodos de silêncio.

Uma outra proposta de metodologia de comutação de circuitos que pretende ultrapassar a limitação relacionada com a largura de banda fixa dos canais disponíveis em comutação de circuitos tradicional, é a técnica designada por *Variable Bit-Rate* [NUNE87]. Neste tipo de sistemas podem ser atribuídos a um canal diversos valores de largura de banda, através da variação do ritmo de alocação, a esse canal, dos *time slots* TDM/PCM. Esta técnica permite melhorar a eficiência na utilização dos recursos, aumentando a flexibilidade de aplicação do sistema de comutação. A título de exemplo, a arquitectura de ritmo variável proposta em [NUNE87], permite estabelecer canais de velocidade variável na gama 500 bit/s a 2 Mbit/s.

2.3.2 Comutação de pacotes

A técnica de comutação de pacotes foi desenvolvida com o propósito de ser utilizada em aplicações de comunicação de dados, tendo sido aplicada pela primeira vez na rede ARPANET [CHEN88]. Esta técnica decorre da metodologia de comutação de mensagens, similar à utilizada no serviço postal, e consiste basicamente na divisão de uma mensagem em segmentos - pacotes, que são comutados separadamente.

Cada pacote, para além do campo de informação, dispõe normalmente de um conjunto de campos que contêm informação de natureza diversa relacionada com as funções de encaminhamento e controle, nomeadamente, os endereços do remetente e do destinatário, indicação do tipo de pacote e controle de erros. A dimensão e constituição de cada pacote são características de cada sistema de comutação.

A fig. 2.3 apresenta a organização típica de um sistema de comutação de pacotes: a informação proveniente dos subscriptores é organizada em pacotes (ou pelo próprio subscriptor ou pelo sistema de comutação), e sempre que ocorre a condição de pacote pronto a transferir é solicitado acesso ao meio de transmissão, efectuando-se a transmissão do pacote logo que seja autorizado o acesso.

Num sistema de comutação constituído por uma rede de dispositivos comutadores, situação típica em redes públicas de comutação de pacotes, o pacote é encaminhado de nó a nó com base numa metodologia de tipo *store and forward*, de tal forma que cada nó determina qual o roteamento mais adequado em cada instante, em função do destino e do estado de ocupação dos diferentes canais de acesso aos restantes comutadores. Em sistemas constituídos por um único dispositivo comutador, caso de alguns tipos de redes locais como, por exemplo, a rede Ethernet, o pacote é difundido pelos

possíveis destinatários, sendo recolhido pelo nó identificado no pacote como sendo o destinatário.

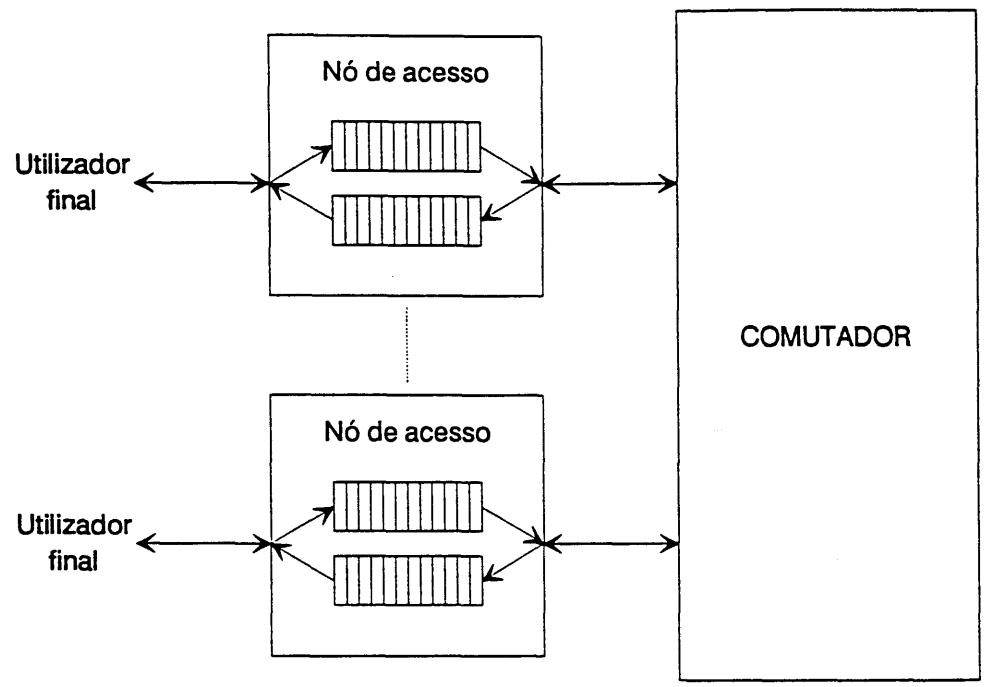


Fig. 2.3: Modelo de arquitectura de um sistema de comutação de pacotes constituído por um único dispositivo comutador.

Existem duas formas básicas de transferência de pacotes: modo datagrama ou modo chamada virtual. No modo datagrama cada pacote dispõe de toda a informação necessária para o seu encaminhamento o qual é executado pacote a pacote de forma independente, não existindo procedimentos prévios de estabelecimento de chamada. No modo chamada virtual é executado um procedimento de estabelecimento de chamada que define o percurso a ser executado pelos pacotes transferidos no decurso de uma comunicação, não existindo, no entanto, reserva permanente de capacidade nos diferentes orgãos do sistema envolvidos no encaminhamento da informação, nomeadamente no que se refere às estruturas de comutação e transmissão.

Existem diversas implementações de sistemas deste tipo, que se distinguem, nomeadamente, pelos tipos de meio e técnica de transmissão utilizados, e pela forma como o acesso a esse meio é obtido.

Independentemente da forma de implementação concreta, o que distingue os sistemas de comutação de pacotes dos sistemas de comutação de circuitos, é o facto de, nos sistemas com comutação de pacotes, não haver reserva permanente dos recursos partilhados pelos diferentes subscriptores do sistema de comutação para uma dada comunicação. A atribuição de recursos é feita, de acordo com a metodologia característica de cada tipo de sistema, apenas quando há uma solicitação explícita que, normalmente, decorre do facto de existir um pacote de informação pronto para ser transmitido.

Esta técnica de comutação permite melhorar a eficiência da utilização de recursos, visto que potencia a eliminação da reserva de capacidade não utilizada que se verifica nos sistemas de comutação de circuitos.

Nos sistemas de comutação de pacotes a eficiência da utilização dos recursos disponíveis depende da relação existente entre a dimensão do campo de informação e a dimensão total do pacote: a eficiência será tanto maior quanto maior for essa relação.

Outra característica dos sistemas de comutação de pacotes, que resulta dos recursos de transmissão serem atribuídos pacote a pacote, é o facto da informação ser sujeita a atrasos de transmissão extremo a extremo de diverso tipo. Os componentes que contribuem para este atraso são o tempo necessário para a constituição de cada pacote - tempo de empacotamento, o tempo de obtenção do direito de acesso ao meio de transmissão - tempo de acesso, e o tempo de transmissão propriamente dito.

Enquanto que os tempos de constituição e de transmissão de um pacote dependem essencialmente da dimensão do campo de informação e

da dimensão total de cada pacote, já o tempo de acesso ao meio depende da metodologia de acesso utilizada. Se esta tiver uma natureza determinística, é possível garantir um majorante para o tempo total de atraso de extremo a extremo. Caso contrário, a utilização deste tipo de sistemas pode estar comprometida em aplicações em que o atraso total seja crítico, como é o caso das aplicações em tempo real de que a comutação de voz é um exemplo.

Da discussão qualitativa apresentada podemos concluir que os sistemas de comutação de pacotes se adaptam potencialmente melhor a tráfegos de características descontínuas e assimétricas do que os sistemas tradicionais de comutação de circuitos. No entanto, as eventuais vantagens desses sistemas dependem da forma particular de implementação, nomeadamente no que se refere ao desempenho temporal do método de acesso e à velocidade de transmissão efectiva no meio de transmissão.

2.3.3 Comutação híbrida

Nos sistemas com comutação híbrida são utilizadas técnicas de comutação mistas de circuitos e de pacotes, com base nas quais se procura aproveitar as vantagens e evitar os inconvenientes de cada um dos tipos tradicionais de métodos de comutação.

Existem diversas propostas de sistemas [NUNE87] [CHEN88] [GITM81] [MORI87] [FAVR82] [FRUC84] [CASE86], todas tendo por base uma trama TDM que dá suporte a duas regiões: uma região de comutação de circuitos, e outra de comutação de pacotes (fig. 2.4).

Os diferentes sistemas propostos diferem, essencialmente, na forma como é feita a partição da estrutura TDM: existem sistemas com trama de

dimensão fixa ou variável [CHEN88], podendo a fronteira entre as regiões de comutação de circuitos e de pacotes ser estática, dinâmica [GITM81], ou mesmo inexistente [MORI87], em função do tipo de tráfego transportado.

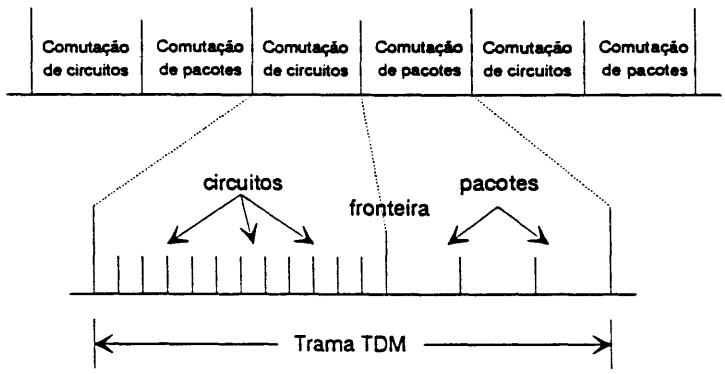


Fig. 2.4: Estrutura de trama típica de um sistema com comutação híbrida.

Em qualquer destes sistemas a região de comutação de circuitos suporta as estruturas típicas da comutação de circuitos tradicional, nomeadamente no que se refere ao intervalo de tempo de 125 μs entre os *time slots* correspondentes a uma mesma comunicação.

Embora estes sistemas sejam interessantes devido à eficiência que potencialmente apresentam, são, no entanto, pouco divulgados. Nesta data apenas temos conhecimento de um sistema comercial [FRUC84] [NEWE86] em que esta técnica de comutação é utilizada.

2.4 Sistemas com integração voz/dados

Nos parágrafos seguintes descrevem-se algumas técnicas de integração voz/dados utilizadas em PABXs e Redes Locais e Metropolitanas, que constituem contribuições significativas para o problema do suporte

integrado destes tipos de tráfegos.

Como foi descrito anteriormente, o tráfego de voz caracteriza-se por exigir tratamento em tempo real, sendo sensível tanto ao valor absoluto como à variação dos atrasos de transmissão. O tráfego de dados é normalmente tolerante aos atrasos de transmissão, tendo, ao contrário do tráfego de voz, características marcadamente descontínuas e assimétricas.

2.4.1 Integração de dados em PABXs

No parágrafo 2.3.1 foram discutidos os inconvenientes da utilização de sistemas com comutação de circuitos como suporte à comunicação de dados. No entanto, sistemas deste tipo, como os PABXs, estão muito divulgados, pelo que é interessante analisar com algum detalhe a forma como a integração de dados é efectuada.

Esta questão tem duas vertentes básicas: que tipos de interfaces de dados são utilizadas, e qual a forma como é compatibilizada a estrutura de dados da interface de utilizador com a dos canais TDM/PCM.

No que se refere às interfaces de dados, existem dois tipos de interfaces: interfaces PABX-terminal de dados e interfaces PABX-computador.

As interfaces PABX-terminal de dados geralmente utilizadas são as que constituem a panóplia de normas existentes para equipamento terminal de dados, tanto para comunicação assíncrona como para comunicação síncrona (RS 232/C, V.24 e X.21) [DOUG85].

No que respeita às interfaces PABX-Computador existem actualmente os sistemas CPI (*Computer to PBX Interface*) [JANC84] e DMI (*Digital Multiplex Interface*) [SEVE84], sendo, por vezes, também utilizadas interfaces de tipo RS 232/C e X.25 [DOUG85].

O sistema CPI contempla versões de 24 canais de 56 Kbit/s e de 30 canais de 64 Kbit/s, sendo compatível, quer no que respeita à estrutura de canais quer relativamente à sinalização, tanto com o sistema TDM norte-americano T1, como com a estrutura de grupo primário do sistema TDM europeu.

O sistema DMI contempla versões de 23 e 30 canais de 64 Kbit/s, existindo em ambos os casos um canal comum de sinalização de 64 Kbit/s. Este sistema é compatível com as versões norte-americana e europeia das estruturas TDM do CCITT, e próxima das Recomendações CCITT relativas à RDIS.

No que se refere à compatibilização da estrutura de dados da interface de utilizador com a estrutura das tramas TDM/PCM, as questões que se colocam são a da adaptação de velocidades e a da distinção entre presença e ausência de informação. Normalmente a ligação de equipamento terminal ao PABX é feita através de um módulo de adaptação de dados (com designações variadas consoante os fabricantes), sendo a informação veiculada entre esse módulo e o PABX em canais de 64 Kbit/s. Estes canais podem aceder directamente à estrutura TDM/PCM do PABX com utilização de uma codificação reservada que indica ausência de informação, ou então disporem de um protocolo com orientação de pacote do tipo do HDLC.

2.4.2 Integração de voz em redes locais e metropolitanas

A integração de voz nos diferentes tipos de Redes Locais é uma questão a que tem sido dada bastante atenção, havendo diversos exemplos na literatura especializada de análises de comportamento de Redes Locais para transporte de voz [FINE86] [HILA84] [NUNE87] [WONG84], bem como

para cenários de integração de voz e dados [ABED87] [BOYA85] [CHAI84] [CHLA85] [FRUC84] [GOEL85] [NUNE87] [PAIL84] [SOAR85].

Nestes estudos são normalmente utilizados cenários de parametrização heterogéneos, o que dificulta a formulação de critérios de comparação do desempenho dos diferentes tipos de Redes Locais.

No entanto, em [NUNE87] é apresentado um estudo com alguma homogeneidade de parâmetros que permite estabelecer uma síntese comparativa do comportamento dos tipos de Redes Locais mais divulgados, nomeadamente IEEE 802.3/Ethernet [IEEE85A] e IEEE 802.5/Token Ring [IEEE85B].

De acordo com esse estudo os sistemas do tipo IEEE 802.3/Ethernet têm um comportamento compatível com o tráfego de voz em cenários com um número relativamente reduzido de terminais de voz activos, da ordem de 50, situação em que o atraso de transmissão típico é inferior a 100 ms. Para um número superior de fontes de voz activas o atraso aumenta significativamente, sendo estimado em 300 ms para 75 terminais de voz activos. Estes sistemas apresentam ainda uma fraca eficiência, nomeadamente para voz e dados interactivos, avaliada em 30% para voz (com atraso máximo de 100 ms), 1.4% para dados interactivos e 95% para transferência de ficheiros.

Os sistemas do tipo IEEE 802.5/Token Ring têm, ainda de acordo com o referido estudo, um comportamento global um pouco mais satisfatório. O atraso de transmissão é estimado em cerca de 300 ms para 100 terminais de voz activos num sistema com 2 Km de extensão, sendo da ordem do dos sistemas tipo IEEE 802.3/Ethernet para extensões de 10 Km. A eficiência destes sistemas é avaliada em 45% a 60% para voz (dependendo da extensão, para um mesmo majorante de atraso de transmissão), sendo, no entanto, também bastante baixa para dados interactivos: cerca de 2%. No que

respeita a transferência de ficheiros, a eficiência apontada é da mesma ordem de grandeza da dos sistemas de tipo IEEE 802.3/Ethernet.

É curioso notar que, no que respeita à eficiência para voz e dados interactivos, os valores apresentados são bastante modestos, o que contradiz o comportamento que seria de esperar de acordo com a apologia feita dos sistemas de comutação de pacotes no parágrafo 3.2. De facto, essa contradicção é mais aparente do que real, na medida em que os argumentos favoráveis então apresentados se referiam à potencialidade conceptual dos sistemas de comutação de pacotes, e não a implementações específicas. A justificação para os fracos valores de eficiência apontados para redes de tipo IEEE 802.3/Ethernet e IEEE 802.5/Token Ring tem a ver com as estruturas de pacote, que impõem um *overhead* comprometedor para voz e dados interactivos, e com o desempenho dos métodos de acesso utilizados.

No que se refere à comutação de voz, o desempenho destes sistemas, bem como dos sistemas com comutação de pacotes em geral, pode ser significativamente melhorada com a utilização de técnicas de supressão de silêncios [GEIH84], que permitem suprimir a circulação de amostras de voz correspondentes a períodos de silêncio.

No que respeita a redes de tipo IEEE 802.4 Token Bus [IEEE85C], o método de acesso utilizado potencia um desempenho satisfatório para tráfego em tempo real, basicamente por se tratar de um método determinístico. Por outro lado, este *standard* considera ainda a existência de várias classes de acesso com diferentes graus de prioridade, o que permite, em cada nó, favorecer a transmissão de tráfego em tempo real em detrimento de outros tipos de tráfego.

Nos parágrafos seguintes descrevem-se algumas propostas de sistemas e protocolos com integração voz/dados, desenvolvidos com a preocupação de adequar o funcionamento da estrutura de comutação às

exigências do tráfego em tempo real, voz em particular.

2.4.2.1 Protocolo RT-V

O protocolo RT-V (Real Time-Voice Protocol) [CHLA85] aplica-se a Redes Locais de tipo IEEE 802.3/Ethernet, e baseia-se na transmissão de sequências de pacotes (tipicamente de voz) durante as quais é forçada a suspensão da transmissão de pacotes provenientes de nós que utilizem o método de acesso CSMA/CD standard (tipicamente pacotes de dados). Este efeito é conseguido pela activação ininterrupta da portadora durante a transmissão da sequência de pacotes de tipo RT-V, passando os nós envolvidos numa sequência RT-V entre si o controle do acesso ao meio, de tal forma que a portadora só é desactivada no fim da sequência (fig. 2.5).

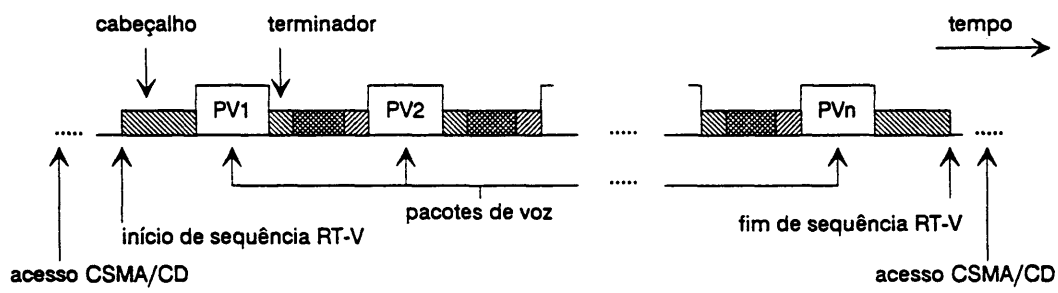


Fig. 2.5: Partilha do meio de transmissão pelos protocolos RT-V e CSMA/CD.

Os nós da rede que implementem este protocolo dispõem de controladores específicos compatíveis electricamente com os controladores Ethernet standards, o que permite a sua coexistência num mesmo meio de transmissão. Os pacotes RT-V têm uma estrutura idêntica à dos pacotes Ethernet, dispondo, no entanto, de um cabeçalho e de um terminador adicionais característicos do protocolo.

Cada nó RT-V, independentemente de estar ou não envolvido numa comunicação, mantém-se permanentemente atento ao tráfego no meio de transmissão, o que lhe permite saber se existe ou não tráfego de tipo RT-V, e, caso exista, quais os nós RT-V activos. A inclusão de uma nova comunicação na sequência é sempre feita no fim da sequência existente, conhecendo cada nó a sua posição relativamente aos restantes nós, isto é, quais os endereços dos nós predecessor e sucessor. Caso não exista uma sequência estabelecida, um nó que pretenda aceder ao meio de transmissão deve iniciar uma nova sequência, inserindo no meio de transmissão um cabeçalho de dimensão suficiente para provocar uma colisão com um pacote de dados que esteja, eventualmente, em transmissão (dimensão mínima do cabeçalho igual ao *collision detection time interval*). Este procedimento é, também, sempre executado no princípio de cada sequência, a qual se inicia quando o primeiro nó da sequência dispõe de um pacote pronto para transmitir. O terminador de pacote destina-se a permitir que o eventual nó sucessor disponha do tempo necessário para adquirir o controle do meio de transmissão, pelo que deverá ter uma dimensão mínima igual ao *round trip delay* da rede.

Os pacotes RT-V podem ser de tipo *REGULAR* ou *TERMINATE*. Os pacotes de tipo *TERMINATE* indicam que esse pacote é o último de uma dada comunicação, sendo esta informação utilizada por todos os outros nós RT-V activos para actualizarem o endereço dos nós seus predecessor e sucessor na próxima sequência. Todos os restantes pacotes relativos a uma dada comunicação são de tipo *REGULAR*.

A característica essencial deste protocolo reside no facto de conferir um carácter determinístico aos atrasos experimentados pelos pacotes de voz, mantendo total compatibilidade com as implementações de Redes tipo IEEE 802.3/Ethernet existentes.

2.4.2.2 Protocolo FARA/CSMA-CD

O protocolo híbrido FARA/CSMA-CD [GOEL85] destina-se a Redes Locais de topologia *Bus*, mas, ao contrário do protocolo RT-V, não é compatível com a rede IEEE 802.3/Ethernet.

Este protocolo baseia-se numa trama de dimensão fixa, que suporta duas regiões de comutação de pacotes com fronteira móvel. A primeira região destina-se a pacotes de voz, sendo a alocação feita de acordo com o protocolo FARA/CS [HAKE83]. A outra região destina-se a pacotes de dados, sendo o método de acesso de tipo CSMA-CD.

A dimensão da região de dados é a parte da trama não ocupada por pacotes de voz, tendo, no mínimo, 20% da dimensão total da trama. A região de voz é constituída por um número variável de intervalos de tempo - *slots*, cada um com a duração necessária para a transmissão de um pacote de voz.

O controle do acesso ao meio de transmissão é executado de forma distribuída, sendo, em cada trama, da responsabilidade do nó detentor do direito a utilizar o primeiro *slot* da região de voz, o qual é designado por *Current Controller* (CC). No caso de não existir nenhum nó a utilizar a região de voz, não havendo portanto um nó CC, um nó que tenha um pacote de voz para transmitir obtém o controlo do meio de transmissão forçando uma colisão com um eventual pacote de dados, e passando a ser CC. A partir desse momento passa a controlar a dimensão (duração) da região de voz da trama através da geração de códigos de sinalização (tons piloto), que são transmitidos para todos os nós em frequências fora da banda de transmissão de informação. Os tons piloto podem ser de quatro tipos:

SS - Start and Same voice frame

SI - Start and Increment voice frame

SD - Start and Decrement voice frame

T - Terminate Voice Frame

Um nó que pretenda obter um *slot* para transmitir pacotes de voz, declara essa intenção colidindo com o CC. O CC deverá, então, iniciar a próxima trama com um SI, oferecendo assim ao nó um novo *slot,* situado no fim da sequência de slots existentes na trama em que se deu a colisão (fig. 2.6).

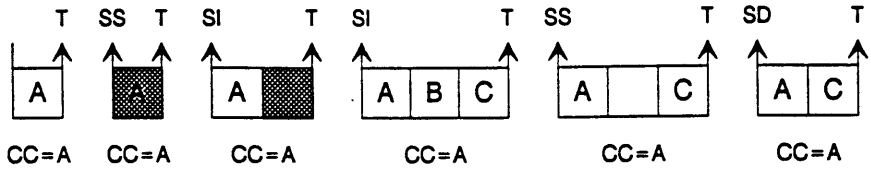
Todos os nós detectam que um nó libertou o *slot* que lhe estava atribuído quando não há transmissão de informação no intervalo de tempo correspondente a esse *slot.* O *CC* deverá então iniciar a trama seguinte com um SD, devendo cada um dos restantes nós de voz activos determinar qual o momento em que poderão transmitir, em função da nova ordem de sequência resultante do abandono registado. No caso de, na mesma trama, se ter verificado uma colisão com o CC e o abandono de um nó, o novo nó deve ocupar o *slot* deixado vago, iniciando o CC a trama gerando um SS.

Caso dois ou mais nós colidam com o CC na mesma trama, tenderão a colidir também na ocupação de um *slot*, dado que o CC só vai garantir a existência de *slot* para mais um nó. Nestes casos, o CC, que também detecta colisões na ocupação de *slots*, deve continuar a controlar a dimensão da trama até que exista um número suficiente de *slots.* A disciplina de ocupação pelos nós dos *slots* disponíveis é aleatória.

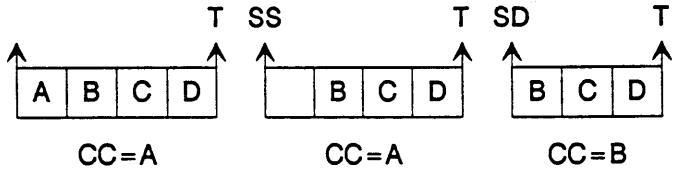
O CC indica ter terminado a região de voz gerando o tom T. A partir desse momento os nós de dados podem passar a disputar o acesso ao meio de acordo com uma metodologia de tipo CSMA-CD.

Quando terminar a comunicação em que o CC esteve envolvido, o CC gerará ainda os tons piloto da trama seguinte. O facto de não ter havido transmissão de informação na *slot* do CC será reconhecido pelos restantes

nós de voz, passando a ser CC na próxima trama o nó a que estiver atribuído o primeiro *slot* efectivamente ocupado na sequência.



a) Variação da dimensão da trama em função das colisões e dos slots libertados



b) Substituição do Current Controller (CC)

Fig. 2.6: Exemplos de tramas FARA/CS.

Este protocolo permite conferir aos atrasos de voz um carácter determinístico, mas, e ao contrário do protocolo RT-V, pode implicar atrasos absolutos não negligênciáveis, na medida em que podem ocorrer sucessivas colisões durante o processo de atribuição de *slot* a um canal.

2.4.2.3 Rede CARTHAGE

A Rede CARTHAGE [FAVR82] [NEWE85] [NEWE86] [FRUC84] é uma Rede Local com topologia em anel, na qual é utilizada comutação híbrida: comutação de circuitos para voz e comunicação síncrona de dados, e

comutação de pacotes para comunicação de dados assíncrona.

O funcionamento do anel é dirigido por uma unidade de sincronização - RSU: *Ring Synchronization Unit*, a qual gera a intervalos regulares de 125 μs uma trama de 128 *slots* de 8 *bits* cada (8 Mbit/s). Os 128 *slots*, numerados sequencialmente de 0 a 127 pela ordem temporal por que são gerados, são utilizados da seguinte forma (fig. 2.7):

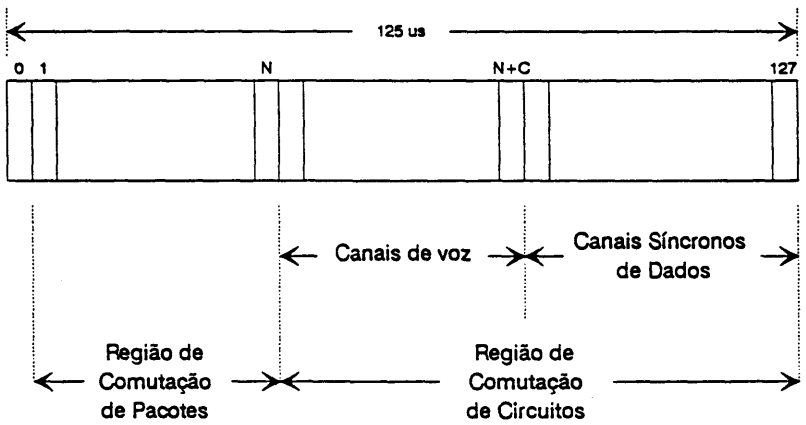


Fig. 2.7: Organização da trama da rede CARTHAGE.

slot 0: transporte de informação de sincronismo.

slots 1 a N: intervalo correspondente a um pacote de dados.

slots N+1 a N+C: *slots* reservados para C comunicações de voz (1slot=64 Kbit/s).

slots N+C+1 a 127: reservadas para comunicações síncronas de dados.

O valor N+C é definido na instalação da rede, podendo o valor N ser adaptado dinamicamente em função do tráfego de voz na rede.

No que se refere ao método utilizado para o acesso à região de comutação de pacotes, é utilizado o primeiro *slot* (*slot* 1) de cada pacote para

indicar se esse pacote se encontra, ou não, livre.

A atribuição/libertação de *slots* da região de comutação de circuitos é executada por uma unidade de control - RCU: *Ring Control Unit*, sendo a comunicação entre esta unidade e os subscriptores da rede feita por intermédio de um protocolo com orientação de pacote.

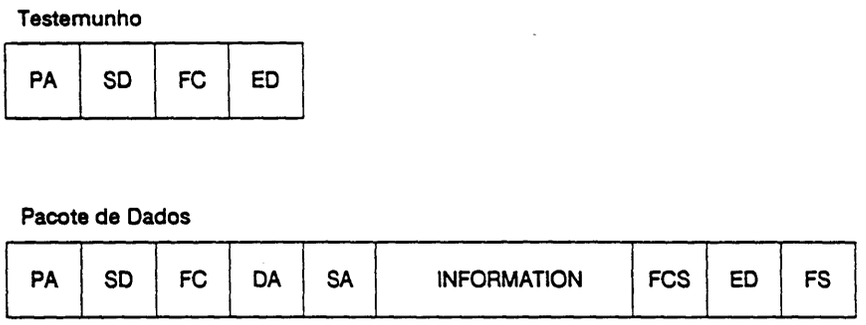
2.4.2.4 Rede FDDI-II

A rede FDDI-II [ROSS86] [CAVE87] é uma LAN de 100 Mbit/s de tipo *Token Ring*, que resulta do desenvolvimento da rede FDDI - *Fiber-Distributed Data Interface* [ISO88] - com o propósito de permitir o suporte de comutação de circuitos para aplicações síncronas.

O método de acesso ao meio de transmissão na FDDI-II tem, por defeito, orientação de pacote, sendo idêntico ao utilizado na rede FDDI - passagem de testemunho, sendo cada pacote de informação veiculado em tramas de dimensão variável.

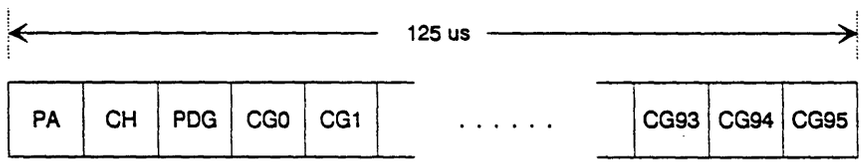
No entanto, na FDDI-II qualquer nó da rede pode negociar com os restantes o estabelecimento de um método de acesso híbrido, o qual suporta comutação de circuitos e de pacotes. O nó que desencadeou este processo passa, então, a ser responsável pela geração e gestão de uma trama síncrona com a duração de 125 μs, designada *Cycle*, que comporta, para além de informação de sincronismo, as seguintes regiões (fig. 2.8):

Cyclic Groups CG0 a CG95 (16 *bytes* cada): nos CGs é transportada a informação utilizador a utilizador, podendo cada *byte* de cada CG ser utilizado em comutação de circuitos ou de pacotes, com a característica de que cada *byte* de ordem de sequência n de cada CG ser comprometido



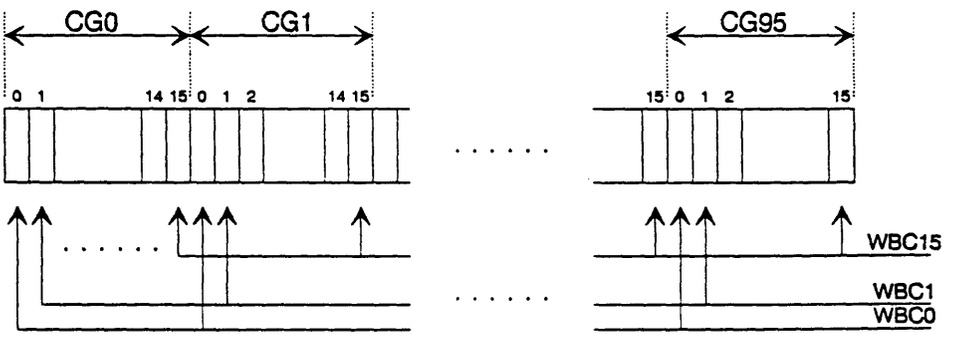
PA: Preamble
SD: Starting Delimiter
FC: Frame Control
DA: Destination Address
SA: Source Address
FCS: Frame Check Sequence
ED: Ending Delimiter
FS: Frame Status

a) Organização do testemunho e do pacote de informação.



PA: Preamble
CH: Cycle Header
PDG: Packet Data Group
CG0-CG95: Cyclic Groups

b) Estrutura de um Cycle em modo de comutação híbrida.



c) Constituição dos Wide Band Channels com base nos Cyclic Groups.

Fig. 2.8: Estrutura de um *Cycle* FDDI-II.

no mesmo tipo de método de comutação. Desta organização resulta existirem 16 canais de 6.144 Mbit/s - WBCs: *Wide Band Channels*, cada um constituído pelo conjunto dos *bytes* de ordem n dos 96 CGs, podendo cada WBC ser utilizado para comutação de circuitos ou de pacotes. Cada WBC reservado para comutação de circuitos suporta 96 canais de 64 Kbit/s, e o conjunto dos WBCs disponíveis para comutação de pacotes constitui um único canal lógico de largura de banda variável, no qual vigora o acesso por passagem de testemunho.

Packet Data Group (16 *bytes*): canal com orientação de pacote destinado à sinalização referente às comunicações de comutação de circuitos.

Cycle Header (10 *bytes*): suporta, entre outras informações, 16 *Programming Templates* (P0 a P15) que indicam o tipo de comutação em que cada WBC está envolvido.

Embora a FDDI-II tenha a propriedade interessante de contemplar dois tipos alternativos de estratégias de comutação, tem, no entanto, o inconveniente da alocação de capacidade aos canais de voz ser feita por segmentos de 6.144 Mbit/s (6.25 % da capacidade útil disponível), do que resulta um desperdício de capacidade particularmente grave no caso do número de canais de voz activos não ser múltiplo de 96.

2.4.2.5 Rede DQDB

A rede DQDB - *Distributed Queue Dual Bus* [NEWM88], inicialmente conhecida pela designação QPSX -*Queued Packet and Synchronous Switch*, é uma rede metropolitana cuja normalização está a ser estudada no âmbito do comité IEEE 802.6, e na qual é utilizada uma metodologia de comutação

híbrida: circuitos e pacotes.

A rede é fisicamente constituída por dois *buses* unidireccionais, *bus* A, ou principal, e *bus* B ou secundário, em cada um dos quais circula uma trama síncrona gerada por um dispositivo controlador da rede (fig. 2.9). O sentido de circulação da informação é, em cada *bus,* contrário ao do outro *bus*, e ambas as tramas estão sincronizadas entre si.

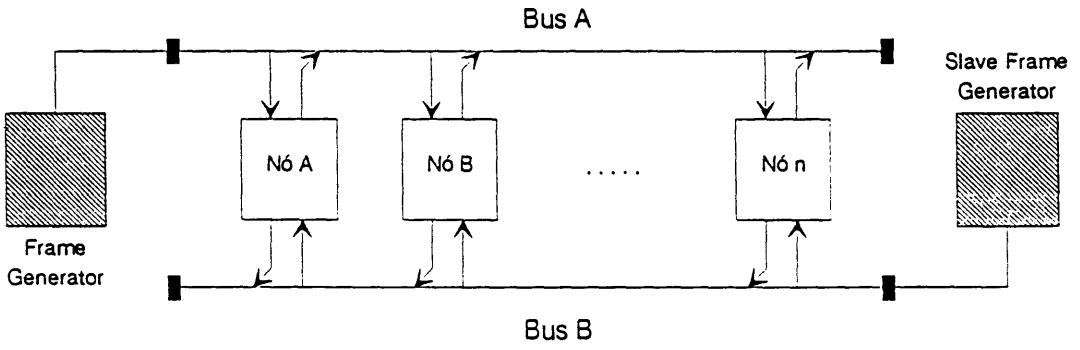


Fig. 2.9: Arquitectura da rede DQDB.

Cada nó da rede liga-se a cada um dos *buses,* utilizando para transmitir informação o *bus* cujo sentido de circulação permitir transportar a informação até ao destinatário. A transmissão de informação é efectuada no dispositivo de ligação a cada *bus* através de uma operação lógica OR entre a informação a transmitir e o conteúdo da trama.

A trama de cada um dos *buses* tem um intervalo de repetição de 125 μs, e é constituída por um número fixo de 60 *slots* cada um com 35 *bytes*. Existem três tipos básicos de *slots* (fig. 2.10): *Isochronous Slots* (ISC) utilizadas para comutação de circuitos, e *First Non-Isochronous Slots* (FST) e *Following Non-Isochronous Slots* (FLW) para suporte da comutação de pacotes. Em qualquer um destes tipos de *slots* o primeiro *byte*, designado *Access Control Field*, é utilizado para indicar o tipo de *slot* (*bits type*) e, no caso de *slots* de comutação de pacotes, se o *slot* está, ou não, ocupado (*bits busy*). Os *bits req* são utilizados, como veremos, no protocolo de acesso.

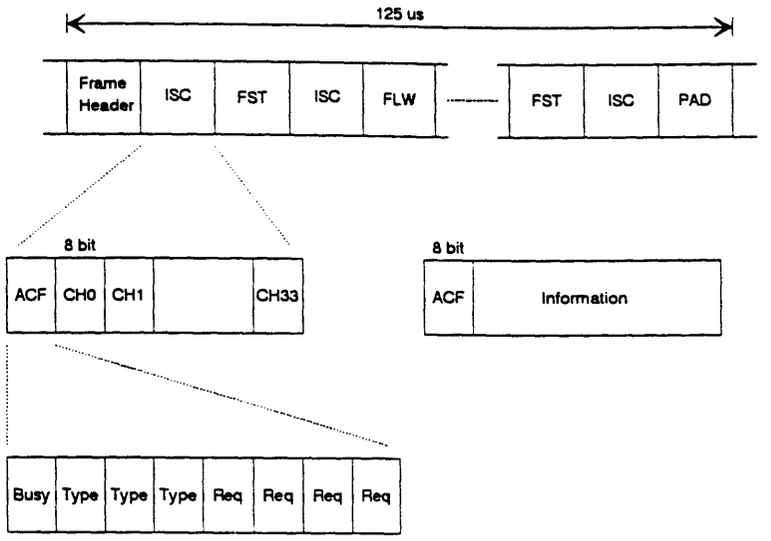


Fig. 2.10: Estrutura de trama utilizada na rede DQDB.

Os ISCs são constituídos por um campo designado *Access Control Field*, e por 34 *slots* correspondentes, cada um, a um canal síncrono de 64 Kbit/s. A alocação de *slots* a cada comunicação síncrona é efectuada pelo controlador da rede, que para comunicação *full-duplex* reserva um *slot* em cada um dos *buses*.

Nos *slots* de comutação de pacotes os 34 *bytes* para além do ACF são totalmente utilizados para o transporte de informação utilizador a utilizador. A existência de *slots* dos tipos FST e FLW destina-se a oferecer um mecanismo de segmentação e reconstituição de pacotes de dimensão superior a 34 *bytes*, sendo cada pacote de nível superior constituído por um FST seguido de um ou vários FLW.

O método de acesso ao meio de transmissão é totalmente descentralizado, baseando-se num mecanismo distribuído de fila de espera.

Cada nó (fig. 2.11) dispõe de um *Request Counter* (RQ) e de um *Count Down Counter (CD)*: sempre que um nó tem um pacote para transmitir, activa um *bit* REQ de um *slot* do *bus* B. Todos os nós que lhe sucederem no sentido de circulação da trama do *bus* B deverão incrementar o seu registo RQ, o que

indica haver um nó subsequente no *bus* A que pretende transmitir. Sempre que um nó detectar no *bus* A um *slot* de comutação de pacotes que não esteja *busy,* deverá decrementar o registo CD, dado que esse pacote vai ser utilizado por um dos nós que activou um *bit* REQ. Um nó pode utilizar um *slot* vago para transmitir informação sempre que o seu CD tenha o valor zero, dado que isso significa que não existe um pedido de transmissão prioritário.

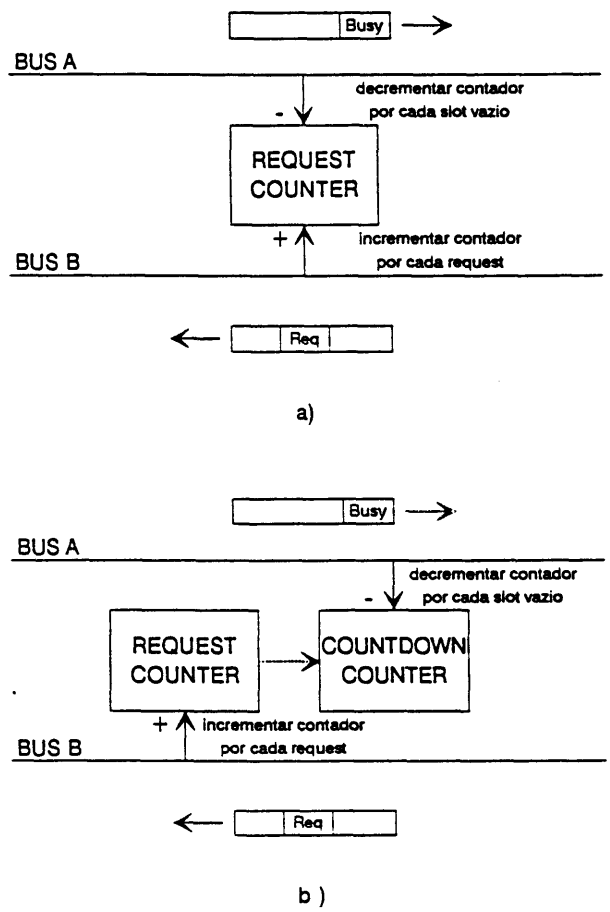


Fig. 2.11: Mecanismo distribuído de fila de espera da rede DQDB.

a) O Request Counter identifica o número de solicitações de acesso prioritárias.

b) Quando um nó tem um pacote para transmitir deve esperar que ocorram tantos *slots* livres quantos os necessários para atender os nós que já haviam declarado pretender acesso ao meio de transmissão (contagem decrescente no Countdown Counter, carregado com o valor que o RQ tinha quando o pacote ficou pronto). Os pedidos de acesso continuam a ser, entretanto, registados no RQ.

Quando um nó pretende transmitir informação e o seu CD tem um valor diferente de zero, os *bits* REQ activos que o nó receber até poder transmitir só serão utilizados para incrementar o RQ, permitindo assim que o nó continue a manter um registo dos pedidos de transmissão recebidos após se verificar a situação de existência de um pacote para transmitir, ao mesmo tempo que espera que o CD assuma o valor zero para poder aceder ao meio de transmissão. Logo que o nó execute a transmissão da informação o valor do RQ voltará a ser decrementado em função dos *slots* vazios que circularem no *bus* A, por forma a que seja continuado, tal como descrito, o processo de controlo de acesso.

2.5 Conclusão

A questão da integração de tráfegos com diferentes exigências ao nível dos sistemas de comutação resulta da necessidade de rentabilizar a utilização das infraestruturas de comunicação, e das vantagens funcionais decorrentes da integração, a mais alto nível, de serviços de diferentes naturezas. Esta necessidade é motivada pelas solicitações de desenvolvimento de aplicações de sistemas de informação cada vez mais sofisticados, com elevado grau de integração de funcionalidades, e em que o desempenho dos subsistemas de comunicação têm um papel cada vez mais decisivo.

Os diversos estudos sobre problemas de integração de tráfego que têm sido publicados nos últimos anos, bem como as múltiplas arquitecturas de sistemas integrados de comutação que têm sido propostas, são bons indicadores quer do interesse do problema quer das diferentes opções que podem assumir as propostas de arquitectura para sistemas deste tipo.

No âmbito dos sistemas de comunicação públicos a questão passa

pela redefinição completa da rede telefónica, que foi projectada para oferecer suporte apenas a tráfego de voz. O problema da integração de serviços a este nível abrange variados aspectos, que decorrem da necessidade de oferecer acesso aos diferentes serviços de comunicações que se foram desenvolvendo independentemente ao longo do tempo, sem que, no entanto, seja exequível adoptar soluções técnicas que sejam totalmente incompatíveis com a infraestrutura existente. Esta questão é fulcral no que respeita à cablagem instalada para a rede telefónica, assumindo uma dimensão particularmente importante no que se refere às linhas de assinante: são milhões de quilómetros de cabo instalados em todo o Mundo que não podem, de um momento para o outro, ser tornados obsoletos.

É neste contexto que surge a RDIS - Rede Digital com Integração de Serviços, que oferece acesso integrado a todos os serviços de comunicação a partir de um conjunto limitado de interfaces de acesso universais, sendo tecnologicamente compatível com as linhas de assinante da actual rede telefónica.

Capítulo 3

OS ISPBXS NO CONTEXTO RDIS

3.1 Introdução

Os conceitos relativos à RDIS começaram a ser desenvolvidos no início dos anos 80 no âmbito dos grupos de trabalho do CCITT, tendo o primeiro conjunto de recomendações sobre RDIS sido publicado na edição de 1984 das Recomendações do CCITT. A edição de 1988 [CCIT88C] contém já uma versão mais completa das normas, com base na qual se estão a desenvolver os sistemas RDIS comerciais.

O conceito básico que norteou o desenvolvimento da RDIS foi a normalização de uma rede pública de comunicações capaz de oferecer acesso a todos os sistemas de comunicação existentes através de um conjunto limitado e bem definido de interfaces. Por outro lado, as opções relativas à estrutura das interfaces de acesso à RDIS contemplaram um canal de sinalização independente dos canais de informação, capaz de suportar eficazmente um protocolo de sinalização flexível, dispondo das funcionalidades adequadas aos diferentes serviços. A normalização das interfaces de acesso foi, por outro lado, efectuada com base numa hierarquia de velocidades de transmissão destinada a oferecer várias alternativas de

ritmos de acesso até 2 Mbit/s.

A implementação da RDIS motiva o desenvolvimento de equipamento terminal de diverso tipo, nomeadamente de sistemas privados de comutação oferecendo funcionalidades semelhantes às da RDIS, bem como acesso transparente à RDIS pública. Estes sistemas são, no fundo, a evolução dos actuais PABXs (Private Automatic Branch Exchange) no sentido da compatibilidade com a RDIS, e são designados ISPBXs - Integrated Services Private Branch Exchanges.

Este capítulo tem por objectivo enquadrar os ISPBXs no contexto das Redes Digitais com Integração de Serviços (RDIS), com o objectivo de descrever o ambiente funcional característico de um ISPBX, e contempla a apresentação da interface utilizador-rede de uma RDIS, e o estado dos trabalhos internacionais de normalização na àrea dos ISPBXs.

3.2 Interface utilizador-rede de uma RDIS

3.2.1 Modelo de Referência

A Recomendação CCITT I.410 [CCIT88D] define a interface utilizador-rede de uma RDIS com base num modelo de referência constituído por um conjunto de grupos funcionais e pontos de referência (fig. 3.1).

Do ponto de vista dos grupos funcionais o modelo contempla os seguintes agrupamentos:

.NT1: *Network Termination 1*, terminador de rede onde residem as funções relativas à terminação física da ligação subscriptor-rede, incluindo a conversão 2-4 fios.

.NT2: *Network Termination 2*, terminador facultativo, no qual estão concentradas, nomeadamente, as funções de comutação local, e concentração/multiplexagem da ligação subscriptor-RDIS.

.TE1: *Terminal Equipment 1*, equipamento terminal dotado de interface compatível com o ponto de referência S.

.TE2: *Terminal Equipment 2*, equipamento terminal com uma interface não compatível com o ponto de referência S.

.TA: *Terminal Adaptor*, conversor de protocolos correspondentes a pontos de referência R e S.

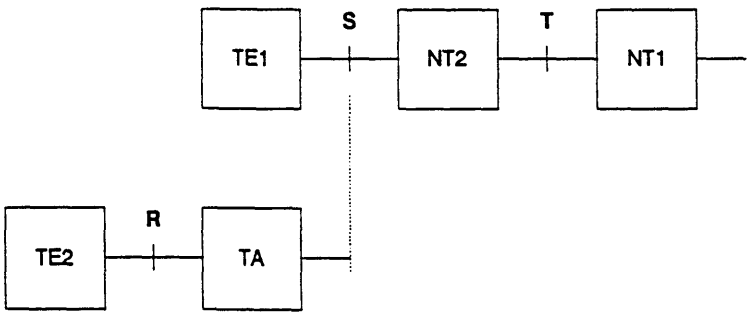


Fig. 3.1: Modelo de Referência para a interface utilizador-rede numa RDIS.

No que respeita aos pontos de referência, o modelo define os pontos seguintes:

.S/T: pontos de acesso para a ligação de equipamento terminal com interfaces RDIS. O ponto de referência T só é individualizado caso exista NT2.

.R: ponto de ligação de equipamento com interface não directamente compatível com o ponto de referência S/T.

Como foi já referido as funções de comutação local e de concentração/multiplexagem são, neste modelo, associadas a NT2,

correspondendo, portanto, à localização funcional dos ISPBXs.

3.2.2 Canais e Interfaces

As interfaces disponíveis no ponto S/T são definidas com base num conjunto de tipos de canais, dos quais se encontram já normalizados os seguintes [CCIT88E]:

.B: canal de 64 kbit/s, utilizado para comunicações em modo circuito ou em modo pacote.

.D: canal de 16 ou 64 kbit/s, utilizado para sinalização e comunicações em modo pacote.

.H: canal para comunicações em modo circuito ou pacote, para o qual estão normalizados três velocidades de transmissão:H_0-384 kbit/s, H_{11}-1536 kbit/s e H_{12}-1920 kbit/s.

Com base nestes canais o CCITT já definiu três tipos de interfaces S/T:

. Interfaces baseadas em canais B

Acesso básico: 2B+D, com canal D de 16 kbit/s.

Acesso Primário: 30B+D (23B+D nos EUA), com D de 64 kbit/s.

. Interfaces baseadas em canais H

Acesso Primário H_0: $5H_0$+D ($4H_0$ ou $3H_0$+D nos EUA), com D de 64 kbit/s.

Acesso Primário H_1: $1H_{12}$+D ($1H_{11}$ nos EUA).

.Interfaces mistas B/H_0

Acesso Primário: conjunto de canais B e H_0, tal que m B+nH_0+D+64

Kbit/s de sincronismo de trama=2048 kbit/s (1544 kbit/s nos EUA), com canal D de 64 kbit/s.

3.2.3 Protocolos

As recomendações I.430 [CCIT88F] e I.431 [CCIT88G] definem os protocolos de nível 1 da interface utilizador-RDIS, no que se refere, respectivamente, aos acessos baseados em interfaces de tipo básico 2B+D e primário 30B+D (e 23B+D).

No que respeita ao acesso básico, a norma contempla diversos aspectos da ligação física, prevendo a existência de ligações de tipo ponto a ponto, ou multiponto com a possibilidade de ligação de um máximo de 8 equipamentos terminais. A norma define, ainda, outros aspectos da camada física, nomeadamente, o tipo de codificação e estrutura de trama utilizadas para a transferência de informação.

A possibilidade de ligações de tipo multiponto exige a definição de um mecanismo de acesso dos diferentes terminais ao canal de sinalização, Canal D. Para este efeito é utilizado em cada terminal um sistema de prioridade rotativo, complementado pela detecção de colisões de acesso por comparação da informação transmitida no sentido terminal-NT, com a ecoada no canal de eco (E) no sentido NT-terminal.

Já no que se refere ao acesso primário só é proposta a existência de ligações de tipo ponto a ponto, sendo definida uma estrutura de trama directamente compatível com a hierarquia TDM-PCM de primeiro nível.

Os protocolos de níveis 2 e 3 do Canal D são normalizados pelas Recomendações CCITT I.44x (Q.92x) [CCIT88H] e I.45x (Q.93x) [CCIT88I] respectivamente.

No que respeita ao nível 2, as normas preconizam a utilização de um protocolo da famîlia HDLC [ISO79A] [ISO79B], o LAPD-Link Access Procedure on D-channel, que contempla a possibilidade de estabelecimento de múltiplas ligações lógicas, identificáveis por diferentes endereços lógicos designados DLCI (*Data Link Connection Identifier*), cada um dos quais constituído por um par de valores SAPI (*Service Access Point Identifier*) e TEI (*Terminal Endpoint Identifier*). Enquanto que o TEI identifica o endereço físico de um terminal, o SAPI determina o SAP (*Service Access Point*) do terminal a que se destina cada trama. A norma I.441 estabelece um conjunto de SAPIs pré-definidos, entre os quais os relativos à sinalização de nível 3 (SAPI=0), a comunicações em modo pacote utilizando os procedimentos de sinalização Q.931 (SAPI=1), a comunicações X.25 (SAPI=16), e a procedimentos de gestão (SAPI=63) de nível 2. No que respeita a valores de TEI pré-definidos apenas está consignado o valor relativo a transmissões de tipo difusão (TEI=127), que é utilizado nos procedimentos protocolares de oferta de estabelecimento de comunicação.

No que respeita ao protocolo de nível 3, as normas I.450 (Q.930) e I.451 (Q.931) definem os procedimentos e a estrutura das mensagens que devem ser utilizadas para o controlo dos diferentes tipos de comunicações que podem ocorrer nos canais de dados: comunicações em modo circuito, em modo pacote ou sinalização utilizador a utilizador.

As mensagens utilizadas são organizadas em pacotes cujo formato (fig. 3.2) inclui os seguintes elementos:

.*Protocol Discriminator*: identifica o protocolo utilizado.

.*Call Reference*: identifica a que chamada respeita cada pacote.

.*Message Type*: indica o tipo de mensagem veiculada no pacote.

.Outros *Information Elements*: constituem os parâmetros das mensagens, sendo, portanto, característicos de cada tipo de mensagem.

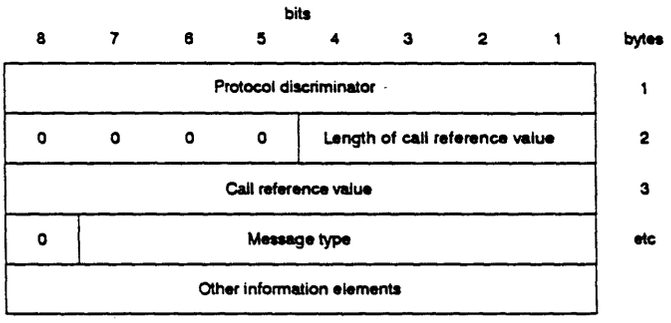


Fig. 3.2: Formato das mensagens do protocolo de sinalização do canal D.

A norma Q.931 define em pormenor os elementos de informação (EIs) aplicáveis a cada mensagem, incluindo os diferentes valores que podem assumir. Cada elemento de informação é codificado de acordo com regras que a norma também determina, sendo cada elemento genericamente constituído por (fig. 3.3):

. *Information Element Identifier:* identifica o elemento de informação.

. *Length*: indica a dimensão em *bytes* do elemento de informação.

. *Contents*: valor do elemento de informação.

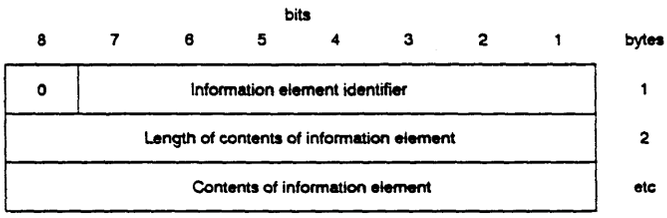


Fig. 3.3: Formato genérico dos elementos de informação do protocolo de sinalização do canal D.

A norma prevê que possam existir vários reportórios de identificadores de elementos de informação, designados *Codesets*, sendo a alteração de *Codeset* feita através de um elemento de informação apropriado. A alteração

de *Codeset* pode ser válida para um único elemento de informação ou para vários, consoante sejam utilizados, respectivamente, os procedimentos *Non-locking* ou *Locking Shift*.

Em ambiente RDIS as comunicações de tipo X.25 [CCIT88J] podem ser suportadas de acordo com dois cenários de integração alternativos definidos na Recomendação I.462 [CCIT88K], e designados *Case* A e *Case* B.

De acordo com o *Case* A (fig. 3.4), correspondente a um ambiente de integração mínima, uma comunicação X.25 efectua-se por acesso directo a uma rede X.25, sendo suportada de forma transparente sobre uma ligação canal B em modo circuito. Esta ligação deve, para este efeito, ser estabelecida pelo adaptador de terminais que suporta o acesso do DTE X.25 à RDIS, tendo por destinatário uma porta de entrada (AU - *Access Unit*) na rede X.25 com endereço RDIS pré-definido.

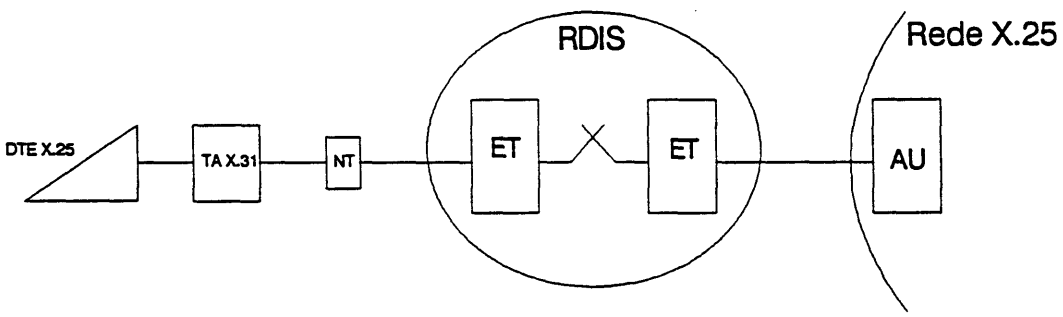


Fig. 3.4: Cenário I.462/X.31 *Case* A para o suporte a comunicações X.25 por uma RDIS: acesso transparente a uma rede X.25.

No cenário *Case* B as comunicações X.25 são suportadas por um serviço virtual RDIS, podendo ser efectuadas sobre canal B ou D (fig. 3.5). O serviço virtual X.25 (estabelecimento da chamada X.25 e comutação dos pacotes X.25) é assegurado por um *Packet Handler* (PH) da RDIS.

No caso das comunicações em canal B é estabelecida pelo TA X.31 uma ligação em modo circuito entre o terminal utilizador e o PH da RDIS

através do protocolo de sinalização do canal D, posto o que a comunicação X.25 se processa no canal B com utilização normal dos protocolos X.25 de níveis 2 e 3 [CCIT88J], respectivamente LAPB (*Link Access Procedure Balanced*) e X.25 PLP (*Packet Layer Protocol*).

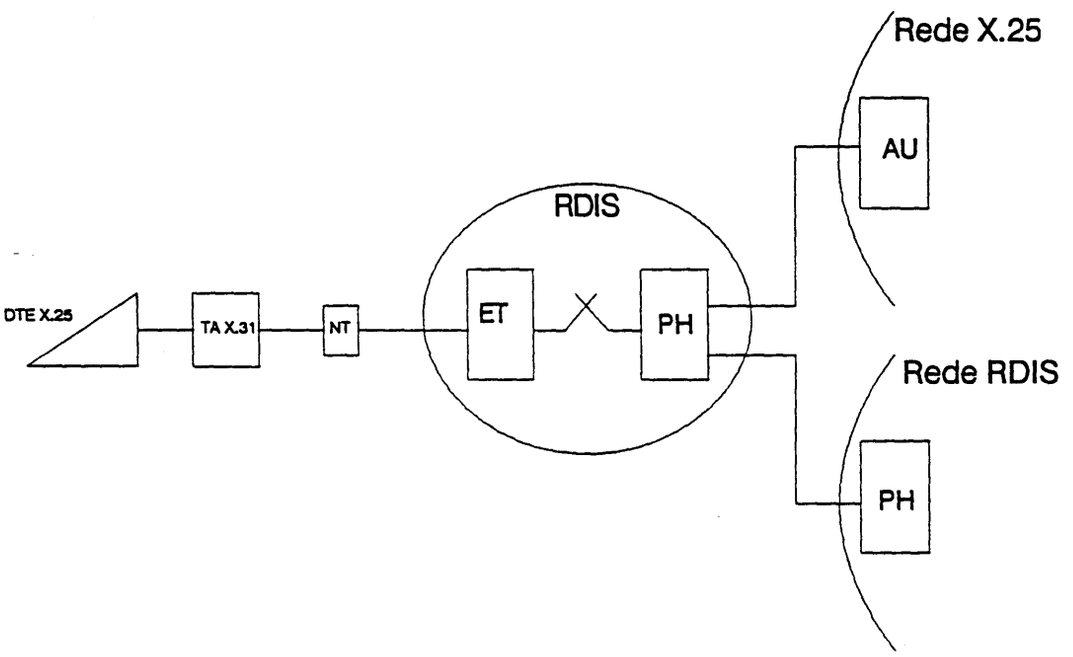


Fig. 3.5: Cenário I.462/X.31 *Case* B para o suporte a comunicações X.25 por uma RDIS: serviço virtual fornecido pela RDIS.

No caso das ligações suportadas em canal D são utilizados os protocolos LAPD (Q.921) no nível 2 e X.25 PLP no nível de rede. No entanto, não são utilizados procedimentos de sinalização de nível 3 para o estabelecimento da comunicação, efectuando-se o encaminhamento dos pacotes para o PH com base na identificação das tramas LAPD com SAPI=16. Já ao nível da interface destino é executado um procedimento de sinalização de nível 3 de oferta de comunicação, que se destina a determinar o TEI do terminal que vai funcionar como destinatário.

Qualquer que seja o cenário considerado, os adaptadores de terminais

a que estão ligados os terminais X.25 deverão executar o mapeamento entre os pontos de referência R e S de acordo com os procedimentos de *rate adaption* descritos na Recomendação X.30. De acordo com estes procedimentos cada TA X.31 deverá executar o mapeamento X.21-I.431 em função da velocidade do respectivo DTE X.25 (*Data Terminal Equipment* X.25), a qual deverá ser declarada pelo TA na mensagem de estabelecimento de chamada. De acordo com o Anexo I da Recomendação X.30 a velocidade de cada DTE X.25 poderá ser, alternativamente, detectada pelo respectivo interlocutor, através do reconhecimento de padrões de informação prédefinidos.

Um dos aspectos fundamentais da RDIS é o facto de permitir que aos diferentes serviços básicos possam ser associados serviços adicionais, destinados a complementar o conjunto de funcionalidades oferecidas. Estes serviços adicionais designam-se serviços suplementares, tendo já sido definidos [CCIT88L] os aspectos funcionais relativos a um primeiro conjunto de serviços deste tipo (Quadro 3.1).

Como é referido no Quadro 3.1, a RDIS oferece, para além do suporte a comunicações nos modos circuito e pacote, um serviço de sinalização entre utilizadores - UUS (*User-to-User Signalling*), que proporciona um meio de troca de informação entre utilizadores baseada em canal D. Este serviço pode ser utilizado associado aos procedimentos relativos ao controlo de uma ligação em modo circuito entre os utilizadores, ou independentemente de estar em curso uma ligação desse tipo. No primeiro caso a informação pode ser transportada ou numa mensagem dedicada ou aproveitando uma mensagem de sinalização. No segundo caso, isto é, caso não esteja estabelecida uma comunicação em modo circuito entre os utilizadores, deverá ser estabelecida uma ligação em modo pacote com indicação do destinatário ser o SAP de sinalização.

Grupo de Serviços Suplementares	Exemplos
Number Identification Permitem facilidades adicionais relacionadas com endereços	**Direct Dialing In (DDI)** Endereçamento directo de uma extensão de um ISPBX **Multiple Subscriber Number (MSN)** Associação de múltiplos endereços RDIS a uma interface **Calling Line Identification Presentation (CLIP)** Indicação do endereço RDIS origem de uma comunicação.
Call Offering Permitem efectuar operações de redireccionamento	**Call Transfer** Transferência de chamada **Call Forwarding Busy (CFB)** Redirecionamento em caso do destinatário estar ocupado
Call Completion Control do estabelecimento de comunicações	**Call Waiting** Notificação de inexistência de canal diponível para atender pedido de estabelecimento de comunicação **Call Hold** Suspensão/retoma de comunicação
Multiparty Control de comunicações com múltiplos interlocutores	**Conference Calling** Comunicação entre vários interlocutores **Three Party Service** Possibilidade de manter duas comunicações simultâneamente estabelecidas, com uma activa em cada instante
Community of Interest Definição de atributos a grupos de subscriptores	**Closed User Group** Permite definir um grupo de utilizadores com capacidades de acesso restritas
Charging Contabilização de custos	**Advice of Charge** Informação sobre o custo de uma comunicação
Aditional Information Transfer Formas adicionais de transferência de informação	**User-to-User Signalling** Transporte transparente de informação extremo a extremo em mensagens de sinalização

Quadro 3.1: Serviços Suplementares RDIS.

No que respeita aos aspectos de sinalização associados aos serviços suplementares, a Recomendação CCITT Q.932 [CCIT88M define três protocolos alternativos designados *Keypad Protocol, Feature Key Management Protocol e Functional Protocol*, destinados a serem utilizados por terminais com diversos graus de funcionalidades.

O *Keypad Protocol* destina-se a ser utilizado por terminais pouco

sofisticados, sendo os serviços solicitados através da digitação de um conjunto de teclas, cuja transmissão é feita individualmente para interpretação pela entidade de sinalização interlocutora. Este protocolo não exige, portanto, que o terminal disponha de qualquer tipo de capacidades relacionadas com os serviços suplementares.

O *Feature Key Management Protocol* é idêntico ao *Keypad Protocol* na medida em que o terminal é totalmente transparente ao significado funcional dos serviços suplmentares evocados. A diferença é que o serviço é solicitado através de uma tecla de função, a qual determina inequivocamente a facilidade suplementar pretendida. Do ponto de vista de sinalização estes protocolos utilizam diferentes EIs, respectivamente, os EIs *Keypad* e *Feature*.

O *Functional Protocol* baseia-se na utilização do EI *Facility*, e é destinado a cenários em que o terminal solicita e gere o serviço suplementar sem intervenção directa de um operador.

Nos parágrafos seguintes são apresentadas as mensagens e procedimentos base do protocolo de sinalização do canal D, para a sinalização relativa às principais fases dos diversos tipos de comunicações.

3.2.3.1 Comunicações em modo circuito

.Mensagens relativas ao estabelecimento de chamadas:

SETUP - Mensagem utilizada para indicar o início do procedimento de estabelecimento de uma chamada, quer seja por iniciativa do utilizador ou da RDIS.

SETUP ACKNOWLEDGE - Pode ser gerada pelo utilizador ou pela RDIS indicando que foi iniciado o estabelecimento de chamada, no caso da

mensagem SETUP não incluir toda a informação necessária ao estabelecimento da chamada.

CALL PROCEEDING - Indica que o estabelecimento de chamada está em curso, estando disponível toda a informação necessária para o estabelecimento. Pode ser gerada tanto pelo terminal como pela RDIS.

ALERTING - Esta mensagem é enviada à RDIS pelo destinatário de uma chamada ou pela RDIS ao terminal chamador, para indicar que foi iniciado o alerta do destinatário.

PROGRESS - Utilizada para transportar informação relativa ao estado de progresso de uma chamada.

CONNECT - Utilizada pelo destinatário de uma chamada para indicar que o pedido de estabelecimento da chamada foi aceite. Esta mensagem deve ser também retransmitida pela RDIS para o terminal chamador.

CONNECT ACKNOWLEDGE - Esta mensagem é enviada pela RDIS ao terminal destinatário em resposta à mensagem CONNECT.

.Mensagens relativas à fase de transferência de informação:

SUSPEND - Esta mensagem pode ser utilizada por qualquer um dos terminais envolvidos numa comunicação para suspender o fluxo de informação local relativo à chamada referenciada.

SUSPEND ACKNOWLEDGE - Esta mensagem é utilizada pela RDIS para confirmar a recepção de uma mensagem SUSPEND.

SUSPEND REJECT - Esta mensagem é enviada pela RDIS para indicar a rejeição de uma indicação SUSPEND.

RESUME - Utilizada por um terminal para solicitar que seja retomado o fluxo de informação previamente suspenso.

RESUME ACKNOWLEDGE - Enviada pela RDIS para confirmar o

restabelecimento do fluxo de informação de uma chamada.

RESUME REJECT - Utilizada pela RDIS para indicar a rejeição da execução de um RESUME.

USER INFORMATION - Mensagem específica para a transferência de informação de tipo *user-to-user*.

. Mensagens relacionadas com a terminação de uma chamada:

DISCONNECT - Mensagem utilizada por um terminal ou pela RDIS para solicitar a terminação de uma chamada.

RELEASE - Indica que o emissor, terminal ou RDIS, já considera a chamada terminada, no seguimento da recepção de um DISCONNECT.

RELEASE COMPLETE - Deve ser enviada como resposta a uma mensagem RELEASE, e indica que o canal ocupado pela chamada está pronto para ser reutilizado.

. Outras mensagens:

Para além das mensagens descritas existem outras relacionadas com diversos procedimentos de controlo das chamadas, entre as quais as mensagens de sinalização definidas na Recomendação Q.932 [CCIT88M] relativas ao controlo dos serviços suplementares:

FACILITY - Mensagem utilizada para solicitar a execução de procedimentos relativos a serviços suplementares no decurso de uma comunicação.

REGISTER - Mensagem utilizada para evocar um serviço suplementar não associado a uma comunicação estabelecida.

HOLD - Solicita a suspensão temporária de uma chamada.

HOLD ACKNOWLEDGE - Mensagem indicativa de ter sido aceite o pedido de suspensão solicitado por uma mensagem HOLD.

HOLD REJECT - Indica não ter sido aceite um pedido de HOLD.

RETRIEVE - Esta mensagem é utilizada para solicitar que seja retomada uma comunicação previamente suspensa através de uma mensagem HOLD.

RETRIEVE ACKNOWLEDGE - Mensagem que indica ter sido aceite uma solicitação RETRIEVE.

RETRIEVE REJECT - Indica ter sido rejeitado um pedido de RETRIEVE.

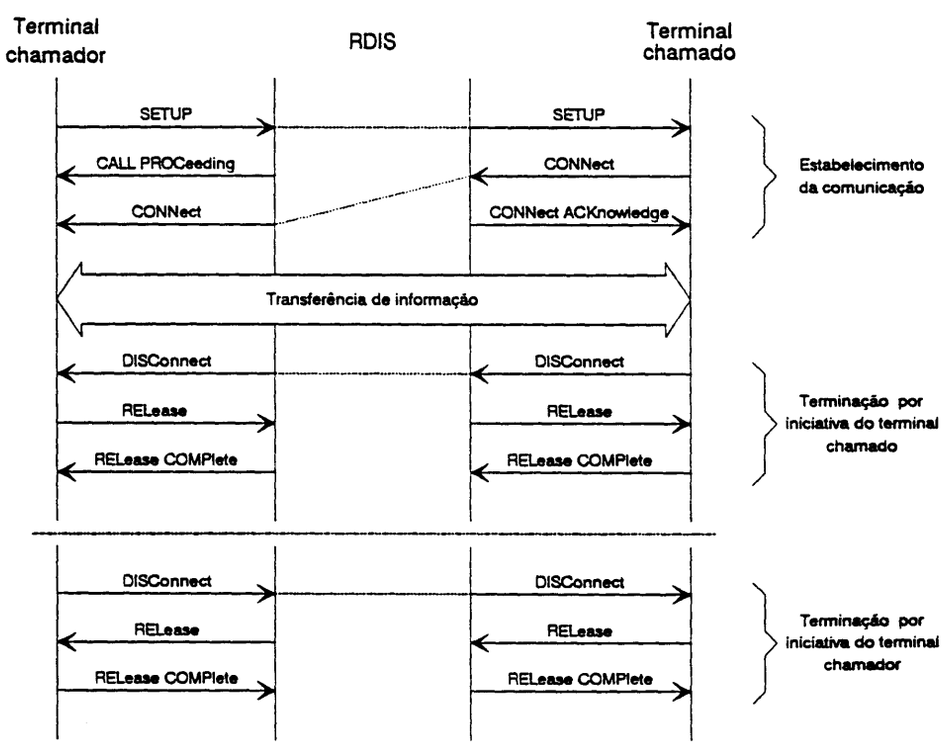


Fig. 3.6: Sinalização básica de controlo de comunicações em modo circuito.

A figura 3.6 apresenta o fluxo de mensagens relativo aos procedimentos básicos de sinalização associados ao estabelecimento e terminação de comunicações em modo circuito.

3.2.3.2 Comunicações em modo pacote

O reportório de mensagens e os procedimentos de sinalização utilizados nas comunicações em modo pacote sobre canal B são um subconjunto dos utilizados nas comunicações em modo circuito, em que a principal diferença é não existirem procedimentos aplicáveis na fase de transferência de informação.

Nas comunicações em modo pacote sobre canal D, como já foi referido, o único procedimento de sinalização de nível 3 destina-se a efectuar uma oferta de comunicação na interface destino, por forma a ser determinado o TEI do terminal destinatário (fig. 3.7).

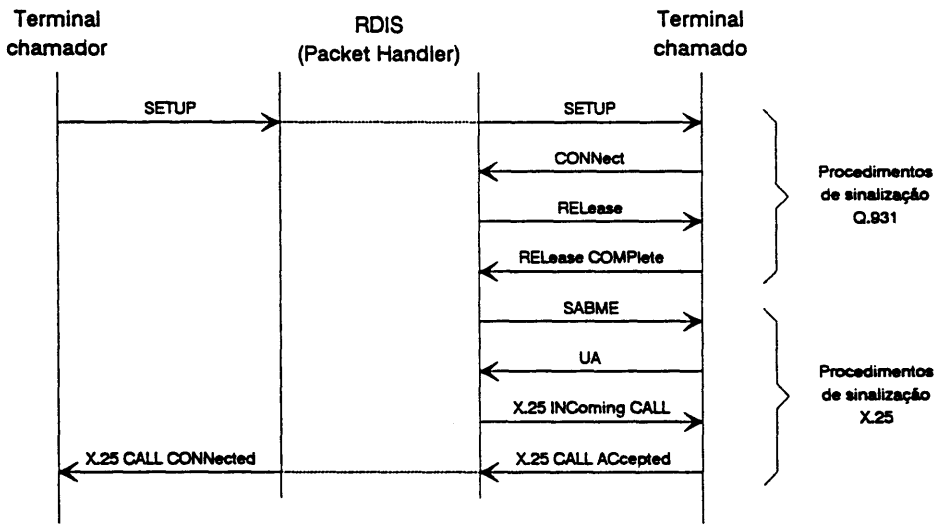


Fig. 3.7: Procedimento de oferta de comunicação em modo pacote sobre canal D.

3.2.3.3 Comunicações de tipo sinalização utilizador a utilizador

A informação relativa a comunicações de tipo sinalização entre utilizadores associadas a uma comunicação em modo circuito é transportada no elemento de informação User-User, o qual pode ser utilizado em

mensagens dedicadas de tipo USER INFORMATION, ou integrado em mensagens de sinalização SETUP, ALERTING, CONNECT, DISCONNECT, RELEASE e RELEASE COMPLETE.

Nas comunicações deste tipo não associadas com uma comunicação em modo circuito são utilizados procedimentos análogos aos da sinalização de comunicações em modo circuito, mas com a indicação de que se trata de uma comunicação em modo pacote sobre canal D, e com SAPI=0.

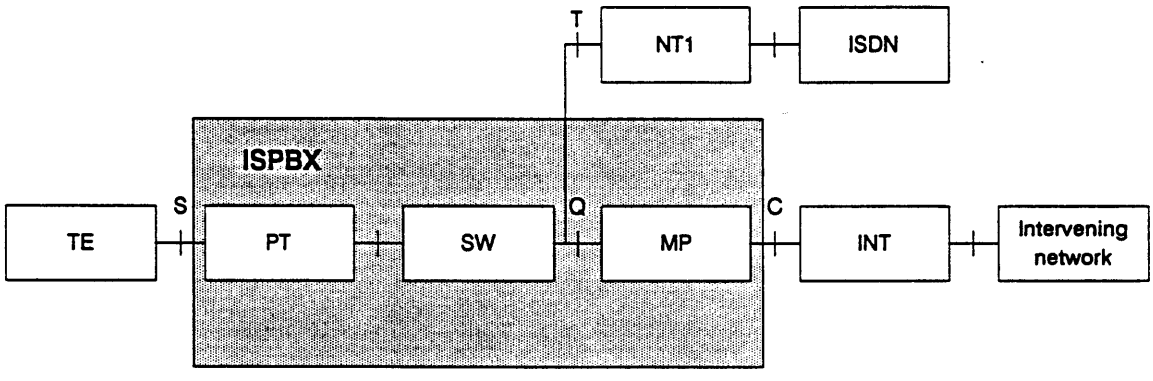
3.3 Normalização na área dos ISPBXs

A normalização nesta área tem por propósito definir os cenários e os protocolos que devem ser utilizados na interacção entre ISPBXs. Na produção destas normas tem estado particularmente activa a ECMA (European Computer Manufacturers Association), de que é exemplo a elaboração da proposta de protocolo de sinalização para o ponto Q, designada Q-Sig [ECMA90].

O modelo de referência base para a interligação de ISPBXs [MULD88] contempla dois pontos de referência específicos, Q e C (fig. 3.8), bem como um novo grupo funcional designado *Mapping* (MP). No ponto de referência Q são estabelecidos os cenários e os protocolos relativos à comunicação entre ISPBXs, de forma independente dos cenário reais que irão suportar essa comunicação. A descrição destes cenários reais é feita ao nível do ponto de referência C. Esta distinção entre os pontos Q e C destina-se a permitir diversos tipos de cenários de suporte aos protocolos Q, sendo o bloco funcional MP responsável pelo mapeamento Q-C adequado a cada caso.

O referido protocolo de sinalização do ponto Q é baseado no protocolo Canal D Q.931, dado que este protocolo já contempla quer os procedimentos

básicos relativos ao control de comunicações, quer os procedimentos respeitantes ao control das facilidades suplementares características dos ISPBXs. Os parâmetros específicos da sinalização entre ISPBXs não disponíveis no protocolo Q.931 são representados através de *Information Elements* com *Codeset* 5. Os *Information Elements* com *Codeset* 6 e 7 são reservados para utilização não normalizada por parte dos construtores de equipamentos, sendo designados *Manufacturer Specific Information* (MSI).



NT1: Network Terminator 1
TE: Terminal Equipment
PT: Private Termination
SW: Switching
MP: Mapping
INT: Intervening Network Terminator

Fig. 3.8: Modelo de Referência da interface entre ISPBXs.

Entre os EIs com *Codeset* 5 já definidos refira-se o elemento *Party Category Presentation*, o qual permite a identificação de alguns tipos de interlocutores, possibilitando a distinção entre, nomeadamente, extensão, operador ou extensão de emergência. Esta identificação pode ser utilizada pelo receptor para, por exemplo, avaliar do grau de urgência de uma comunicação.

Os cenários do ponto de referência Q (fig. 3.9) incluem a interligação de ISPBXs através de ligações privadas dedicadas, ou por intermédio de

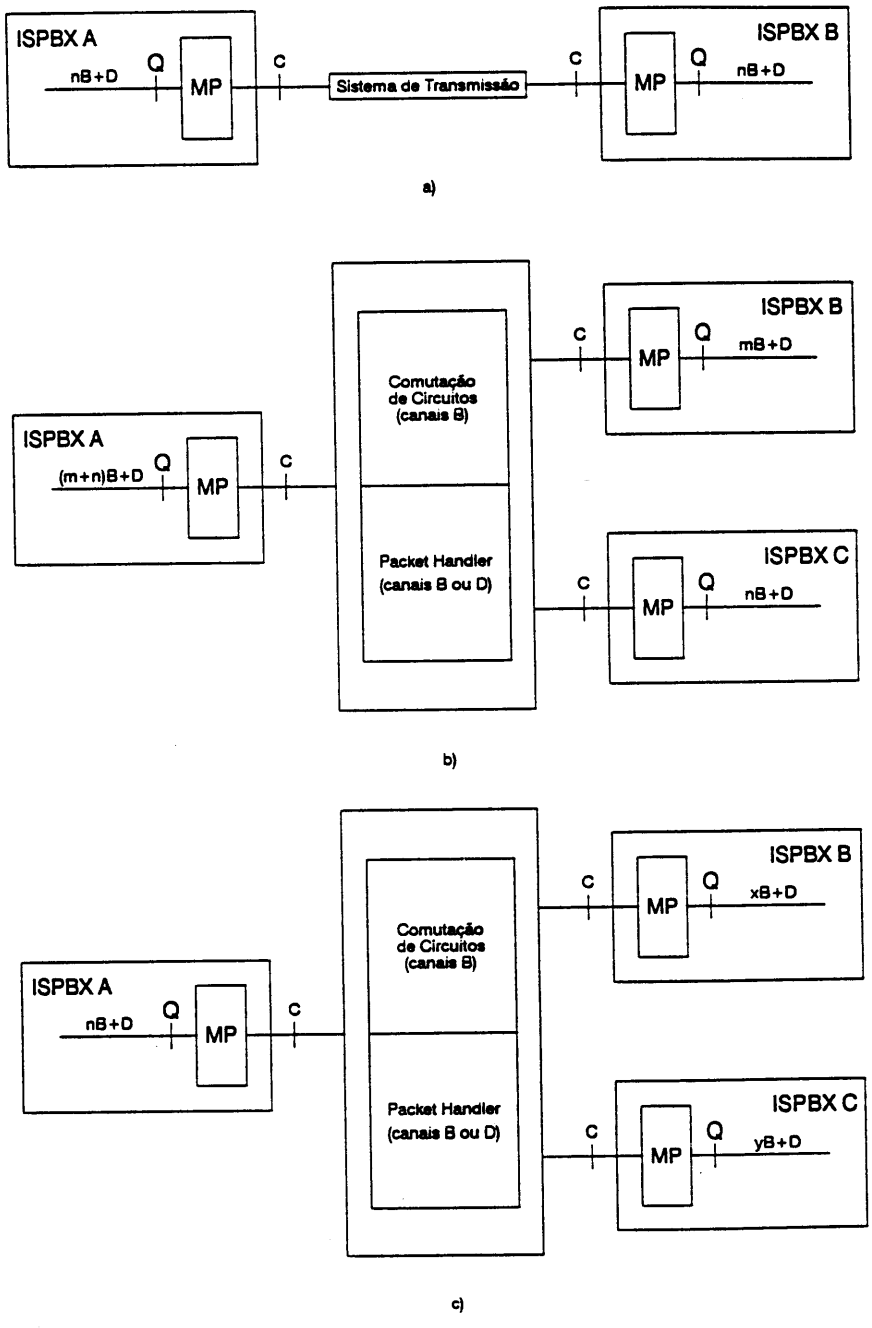


Fig. 3.9: Cenários do Ponto de Referência Q.

a) Comunicação suportada em ligação privada dedicada.

b) Comunicação através de ligações públicas permanentes.

c) Comunicação através de ligações públicas comutadas.

ligações permanentes ou comutadas em redes públicas. Nesses cenários são contempladas interfaces de tipo básico ou primário, podendo a sinalização entre ISPBXs ser suportada quer em ligações em modo circuito (canal B) quer em modo pacote (*user-to-user signalling* em canal D, ou em canal B através de um *packet handler*).

3.4 Conclusão

O processo de normalização da RDIS está ainda longe de estar terminado, em particular no que respeita às normas relativas aos procedimentos de controlo dos serviços suplementares.

Várias organizações internacionais de normalização têm vindo a contribuír para este processo, com destaque particular, na Europa, para o ETSI - European Telecommunications Standard Institute e a ECMA.

Em Portugal o desenvolvimento da RDIS está também a processar-se, estando prevista uma experiência piloto para o final de 1991, e a entrada em exploração comercial durante 1992. Do ponto de vista da normalização existe já um documento [TELE90] com o perfil da implementação da RDIS Portuguesa, que se baseia nos documentos publicados pelo ETSI, e que nomeia as opções assumidas para Portugal.

Capítulo 4

ARQUITECTURA E FUNCIONAMENTO DO SUBSISTEMA DE COMUTAÇÃO

4.1 Introdução

A Pseudo-Estrela [ALVE84] [ROCH86] [ALVE86] é o subsistema de comutação utilizado no ISPBX cuja arquitectura é proposta neste trabalho. Trata-se de um sistema de comutação de pacotes, inicialmente desenvolvido com o propósito de ser utilizado como suporte das comunicações típicas de um ambiente geograficamente restrito, que dispõe de uma topologia e de um método de acesso que o tornam potencialmente adequado para esta aplicação.

Relativamente à topologia (fig. 4.1) a Pseudo-Estrela pode ser encarada de dois pontos de vista complementares. Macroscopicamente é uma topologia em estrela, visto que os orgãos de comutação são concentrados num bastidor do qual partem as ligações físicas aos utilizadores. Microscopicamente, no entanto, o sistema desenvolve-se em torno de um barramento paralelo passivo ao qual são ligados os diferentes nós.

Este barramento é constituído por um conjunto de sinais de control e

por um barramento paralelo de dados, sendo o método de acesso ao meio de transmissão de tipo passagem de testemunho. A estratégia de atribuição do testemunho tem a particularidade de potenciar uma elevada eficiência na utilização da largura de banda disponível, dado que o processo de arbitragem é executado concorrentemente com o processo de transferência de informação.

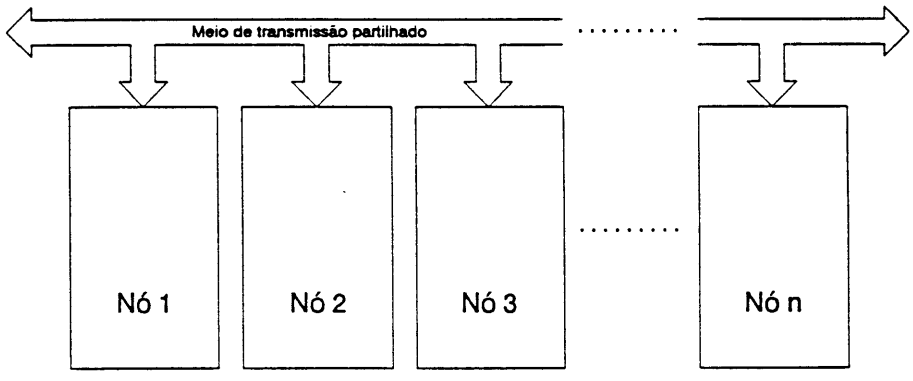


Fig. 4.1: Configuração topológica da Pseudo-Estrela.

Por outro lado, sendo o método de acesso de tipo passagem de testemunho, o acesso é determinístico, o que permite garantir, portanto, um majorante para o tempo de acesso à rede. Este aspecto é particularmente importante quando, como é o caso da presente aplicação, se pretende oferecer suporte a tráfego com requisitos de tipo tempo real.

O facto do barramento de dados ser paralelo permite obter ritmos de transmissão base elevados: por exemplo, com um barramento de dados de 8 linhas com um *clock* de 8 Mhz obtém-se uma velocidade instantânea de transferência de 64Mbit/s.

A Pseudo-Estrela tem, portanto, características qualitativas que a tornam interessante como arquitectura base do subsistema de comutação de um ISPBX: utiliza uma técnica de comutação de pacotes que potencia uma

eficiente utilização dos recursos disponíveis, dispõe de um método de acesso determinístico, e o facto de se estruturar em torno de um barramento paralelo permite elevadas taxas de transferência com base em tecnologia económica. Por outro lado, é intrinsecamente uma arquitectura modular, com controlo de acesso distribuído, pelo que está particularmente vocacionada para ser utilizada como núcleo de comutação de sistemas que, tal como os ISPBXs, se destinam a oferecer opções de configuração variadas.

Neste capítulo é proposto um Modelo de Referência generalizado para a Pseudo-Estrela (secção 2) na base do qual são descritos a arquitectura e os protocolos da Pseudo-Estrela (secção 3), sendo também apresentada uma proposta de um conjunto de protocolos de acesso ao subsistema de comutação (secção 4).

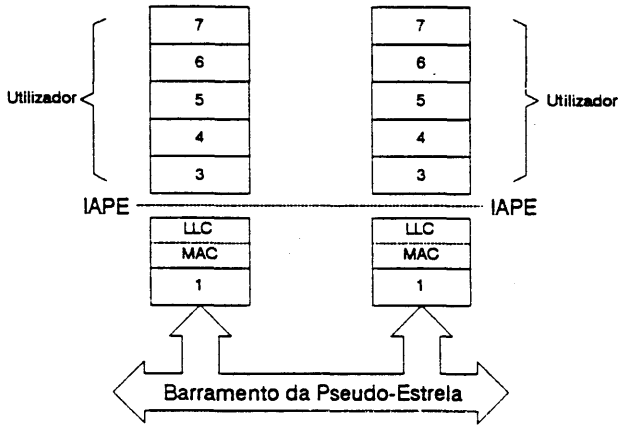
4.2 Modelo de Referência da Pseudo-Estrela

A expressão Pseudo-Estrela tem sido utilizada tanto para designar um sistema de comutação [ROCH87A] como para referir sistemas de comunicação específicos baseados nessa estrutura de comutação, de que são exemplos a apresentação de Pseudo-Estrela como Rede Local [ROCH85] [ROCH86], ou como Rede de Banda Larga [ROCH87B].

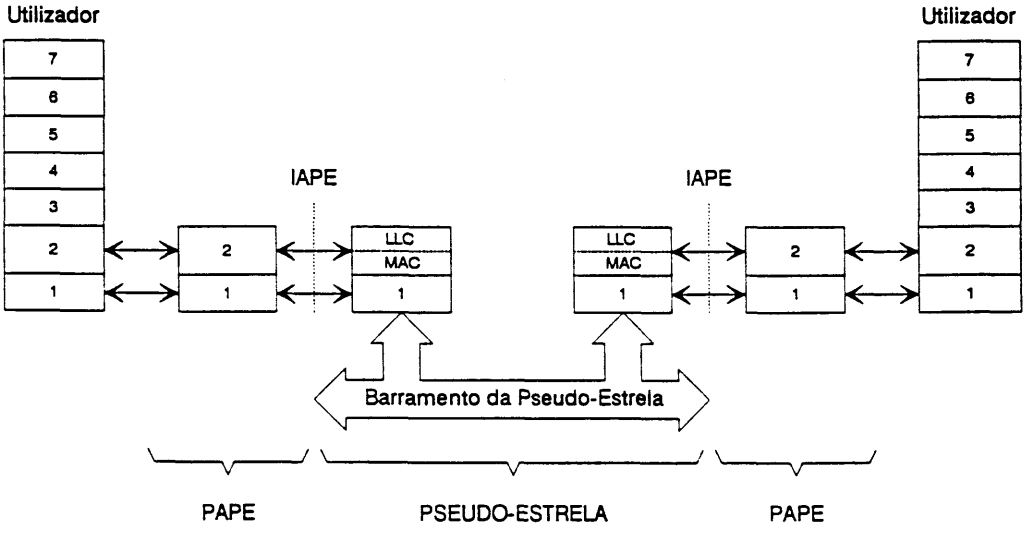
Parece-nos que a forma mais adequada de encarar a Pseudo-Estrela é como um (sub)sistema de comutação aberto, separando claramente a estrutura de comutação das aplicações a que essa estrutura pode dar suporte.

Esta perspectiva está, aliás, em concordância com a descrição conceptual da Pseudo-Estrela apresentada em [MART89], na qual a Pseudo-Estrela é enquadrada no Modelo OSI através de um paralelismo estabelecido

entre as funções protocolares identificáveis tanto na Pseudo-Estrela como nas normas IEEE 802. De acordo com o trabalho citado, a Pseudo-Estrela pode ser encarada como um sistema de comutação que, adoptando a terminologia utilizada nas normas IEEE 802, dispõe de entidades protocolares correspondentes à camada física e às subcamadas lógicas MAC (*Medium Access Controller*) e LLC (*Logical Link Control*). O acesso à Pseudo-Estrela é apresentado como sendo efectuado através de uma interface para a qual é proposta a designação Interface de Acesso à Pseudo-Estrela (IAPE).



a) Modelo I: os subscriptores ligam-se directamente à IAPE.



b) Modelo II: os subscriptores ligam-se através de PAPEs.

Fig. 4.2: Cenários propostos em [MART89] para a ligação de subscriptores à Pseudo-Estrela.

Para a ligação de um subscriptor à Pseudo-Estrela são propostos em [MART89] dois cenários distintos. De acordo com o Modelo I (fig. 4.2 a)) os utilizadores ligam-se directamente através da IAPE, o que corresponde, por exemplo, a um sistema OSI suportado na Pseudo-Estrela em que a camada 3 interaja directamente com a IAPE. Na proposta de ligação designada por Modelo II (fig. 4.2 b)) os utilizadores dialogam com um Processador de Acesso à Pseudo-Estrela (PAPE), que é responsável pela compatibilização entre a IAPE e os protocolos de acesso característicos de cada utilizador.

Na descrição da arquitectura e dos protocolos que é apresentada neste capítulo é assumido como referência base o Modelo II, opção que se justifica por este modelo ser mais genérico do que o Modelo I.

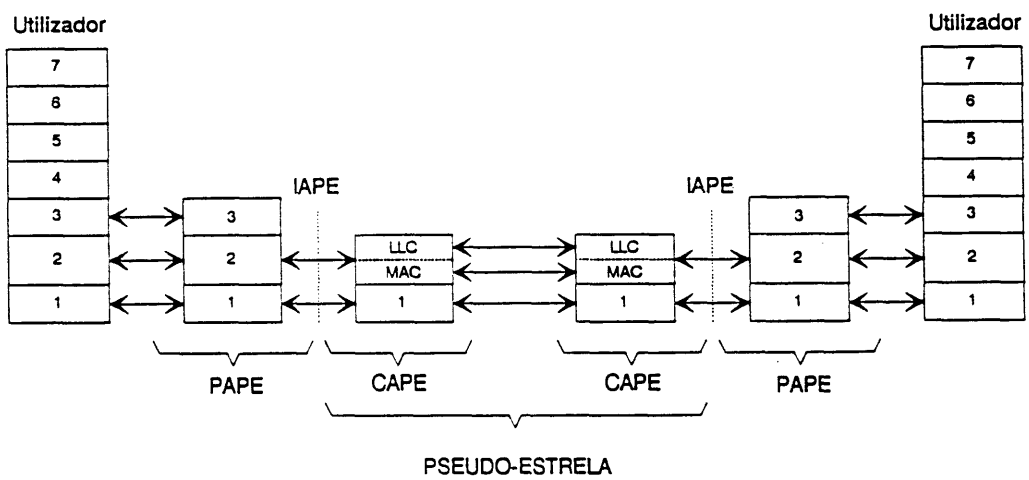


Fig. 4.3: Modelo de Referência generalizado da Pseudo-Estrela.

No entanto, e também por conferir maior generalidade ao modelo, considera-se que a estrutura protocolar dos PAPEs inclui uma camada 3 (fig. 4.3), a qual é, aliás, uma possibilidade também indiciada em [MART89]. Esta camada é responsável pelas funções protocolares do nível de rede características de cada tipo de subscriptor, bem como pelo protocolo de controlo entre PAPEs necessário a cada aplicação. Desta forma, a utilização

da Pseudo-Estrela como sub-rede de comutação de um sistema de comunicação apenas exige disponibilidade dos PAPEs adequados a cada tipo particular de subscriptor, permitindo, assim, a coexistência de diversos tipos de protocolos de acesso.

Para a entidade que executa as funções protocolares da Pseudo-Estrela, e que também proporciona aos PAPEs a IAPE, propõe-se a designação CAPE - Controlador de Acesso à Pseudo-Estrela.

4.3 Estrutura Protocolar da Pseudo-Estrela

Os protocolos da Pseudo-Estrela compreendem os mecanismos protocolares relacionados com a comunicação entre nós, nomeadamente no que respeita a:

. características do meio físico (camada 1)
. método de acesso ao meio físico (sub-camada MAC)
. protocolo de transferência de um pacote entre nós (sub-camada LLC)

Na Pseudo-Estrela, e ao contrário do que acontece na generalidade dos sistemas de comutação de pacotes, algumas das funções da sub-camada LLC são implementadas por circuitos físicos dedicados. Esta característica resulta do facto do meio físico ser de dimensão reduzida (tipicamente alguns decímetros), o que possibilita a existência de um meio físico constituído por um barramento paralelo com múltiplos circuitos eléctricos.

4.3.1 Camada Física

A estrutura da camada física da Pseudo-Estrela em seguida descrita é basicamente idêntica à apresentada em [ROCH87A].

No entanto, a aplicação da Pseudo-Estrela em cenários que exijam sincronismo com uma rede externa, como é o caso de um ISPBX, requer a existência de um sinal de sincronismo que seja difundido para todos os nós, por forma a ser utilizado na sincronização da interface com os equipamentos terminais. Para este efeito é proposta a inclusão na camada física do subsistema de comutação de um sinal de sincronismo designado NETWORK SYNC (NSYNC).

O problema que se coloca em relação a este sinal é de qual o nó que assume a responsabilidade pela sua geração. No cenário normal em que o ISPBX está ligado à RDIS, o sincronismo deverá ser fornecido por um dos nós que suporte essa ligação. Caso a ligação à RDIS não exista ou não esteja operacional, o sincronismo deverá ser suportado por um nó com capacidade de geração local desse sinal. O procedimento inicial de determinação do nó responsável pela geração do sinal deverá ser efectuado durante a inicialização do sistema, sendo proposto num dos parágrafos seguintes uma metodologia que contempla ambas as situações descritas: existência, ou não, de um nó com ligação à RDIS, sendo, naturalmente, dada prioridade ao cenário em que existe sincronização com a RDIS.

Nas publicações mencionadas relativas à arquitectura e funcionamento da Pseudo-Estrela é descrita uma metodologia distribuída de geração do testemunho, que permite atribuir o controlo inicial do acesso ao meio de transmissão a um único nó. Num dos parágrafos seguintes é proposto que uma metodologia semelhante seja utilizada para, simultaneamente, determinar também qual o nó responsável pela geração do sinal NSYNC.

Propõe-se, ainda, que seja incluído um sinal ERROR (ERR) destinado a permitir a sinalização de situações protocolares anómalas ao nível do protocolo da sub-camada LLC. O significado particular deste sinal será função do contexto protocolar em que for activado.

Para além das linhas relativas à alimentação eléctrica, o barramento do subsistema de comutação deverá ser composto pelos seguintes sinais (fig. 4.4):

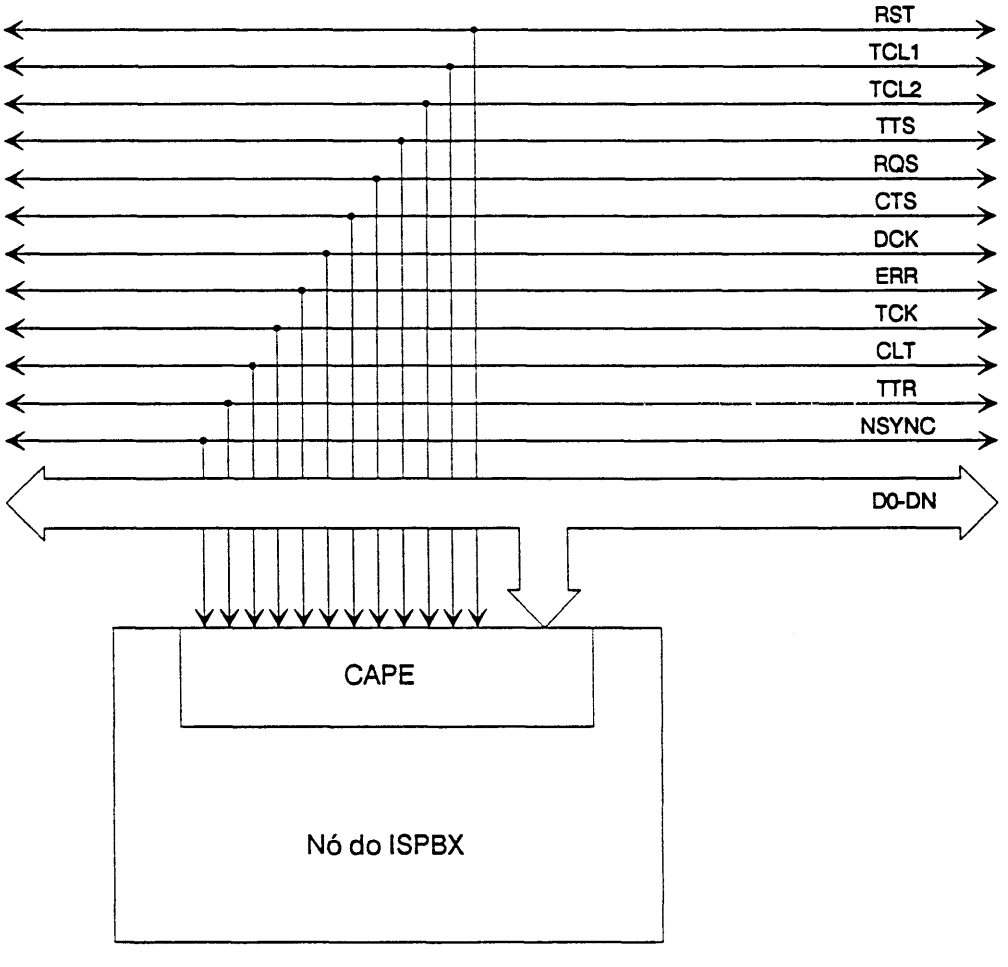


Fig. 4.4: Sinais do barramento do susbsistema de comutação do ISPBX.

a) Inicialização:

.RESET (RST): Este sinal, quando activo, determina a execução do procedimento de reinicialização em todos os nós da rede.

b) Dados:

.DATA BUS (D0-Dn): Barramento paralelo no qual circulam os pacotes de informação, bem como, na fase inicial do processo de transferência de informação, o endereço do nó destinatário.

c) Geração do testemunho e geração de sincronismo:

.TOKEN CONTROL LINE 1 e 2 (TCL1 e TCL2): Estes sinais são activados pelos nós da rede no decurso do processo de geração de testemunho e de determinação do nó responsável pela geração da referência de sincronismo.

.TOKEN TO SEND (TTS): Após o processo inicial de atribuição do control do meio de transmissão a um nó estar concluido, este nó difunde para os restantes o seu próprio endereço. O sinal TTS determina o instante em que esse endereço está presente no DATA BUS.

d) Transferência de um pacote de informação:

.REQUEST TO SEND (RQS): Este sinal valida o endereço do nó destinatário presente no DATA BUS, sendo quer o endereço do nó destinatário quer o sinal RQS gerados pelo nó emissor. Este sinal é também utilizado para sinalizar o fim do processo de transferência de um

pacote.

.CLEAR TO SEND (CTS): Este sinal é gerado pelo nó destinatário e indica ao nó emissor disponibilidade para aceitar um pacote de informação.

.DATA CLOCK (DCK): Este sinal sincroniza a transferência de cada elemento de informação dos pacotes, sendo gerado pelo nó emissor.

.ERROR (ERR): Este sinal indica a existência de uma situação de erro lógico, cujo significado depende do contexto protocolar em que o sinal fôr activado.

e) Processo de arbitragem:

.TOKEN CLOCK (TCK): Este sinal é gerado pelo nó que detém o testemunho, e é utilizado pelos restantes nós para incremento de um contador que contém o endereço do nó ao qual é oferecida a possibilidade de vir a ser o próximo responsável pelo controle do acesso ao meio de transmissão. A geração deste sinal é terminada logo que seja activado o sinal CLEAR TOKEN (CLT).

.CLEAR TOKEN (CLT): Este sinal é activado por um nó que pretenda assumir o controle do barramento para transmitir um pacote, quando, no decurso do processo de arbitragem, lhe for oferecido o controle do meio de transmissão. A activação deste sinal suspende a geração do TOKEN CLOCK, terminando o processo de arbitragem.

.TOKEN TRANSFER (TTR): Este sinal é gerado pelo nó responsável pela condução do processo de arbitragem, e indica que o controlo do barramento passa a ser da responsabilidade do nó que activou o sinal CLEAR TOKEN (CLT). No caso de estar em curso a transferência de um pacote, o sinal TTR só é activado quando essa transferência estiver concluída.

f) Sincronização:

.NETWORK SYNC (NSYNC): este sinal destina-se à distribuição de um sinal de sincronização das interfaces com os equipamentos terminais.

4.3.2 Protocolo da sub-camada MAC

A sub-camada MAC compreende as funções relacionadas com o funcionamento e o acesso ao meio de transmissão, nomeadamente, a geração do testemunho e a sua transferência entre os diferentes nós.

4.3.2.1 Natureza do testemunho

Nos sistemas que utilizam a passagem de testemunho como técnica de arbitragem do acesso ao meio de transmissão, o testemunho é, em geral, um pacote com características específicas que circula por todos os nós da rede, e que oferece aos diferentes nós oportunidades de transmissão de acordo com uma metodologia característica de cada rede. Exemplos deste tipo de abordagem são os sistemas TOKEN-PASSING RING e TOKEN-PASSING BUS, normalizados, respectivamente, pelos standards IEEE 802.5 [IEEE85B] e IEEE 802.4 [IEEE85C]. Na Pseudo-Estrela o testemunho tem uma natureza diferente, visto não corresponder a um pacote com características particulares que circule na rede.

Na Pseudo-Estrela o nó que, num dado momento, detém o controle do acesso ao meio de transmissão, gera um sinal de *clock* que é utilizado por todos os nós, incluindo o nó que o gera, para incrementar um contador cíclico

que contém o endereço do nó ao qual é oferecida a possibilidade de vir a ser o próximo detentor do control do acesso ao meio de transmissão. Quando o conteúdo desse registo atingir o endereço de um nó que tenha um pacote para transmitir, esse nó ordena a suspensão do processo de geração do *clock*, posto o que, e após finda uma eventual transferência de informação que esteja em curso, lhe será passado o controle do acesso ao meio.

Portanto, na Pseudo-Estrela, o testemunho é apenas um conceito abstracto utilizado na descrição do mecanismo de controle do acesso ao meio de transmissão, para definir qual o nó que, em cada momento, detém esse controle. O termo testemunho é utilizado por analogia com os mecanismos presentes noutros tipos de redes.

4.3.2.2 Geração do testemunho

Após a ocorrência das situações de *power up* ou *reset* geral, e antes que se possam processar transferências de informação (pacotes de dados ou controle), desenrola-se o processo de geração do testemunho, o qual tem por objectivo determinar qual o nó da rede que vai ser o primeiro a assumir o controle do acesso ao meio de transmissão.

O processo de geração do testemunho baseia-se na disputa por todos os nós do controle de duas linha do barramento, as TOKEN CONTROL LINE 1 e 2 (TCL1 e TCL2). A existência destas duas linhas destina-se a contemplar dois níveis de prioridade diferentes: uma das linhas, a que representa um nível de prioridade superior, deverá ser disputada pelos nós com capacidade de geração do sinal NSYNC sincronizado com a RDIS; os nós que apenas tenham capacidade de geração de um relógio local deverão disputar a outra linha. Em cada uma das linhas o processo de disputa decorre da seguinte

forma:

a) o nó analisa a TCL: se não estiver activa, o nó activa-a durante um intervalo de tempo de duração aleatória, e prossegue de acordo com o procedimento descrito em b); se estiver activa, o nó retira-se do processo de geração do testemunho, ficando a aguardar que lhe seja comunicado o endereço do nó que ganhou a disputa pela posse do testemunho.
b) o nó aguarda um intervalo de tempo de duração aleatória, posto o que retoma o procedimento descrito em a).

Logo que exista um nó que aceda à TCL de maior prioridade todos os nós que disputem o acesso na de menor prioridade deverão abandonar de imediato o processo de geração do testemunho, garantido, desta forma, que o controlo de acesso inicial é dado a um dos nós de maior prioridade.

A sucessiva repetição deste algoritmo conduz a que um número crescente de nós abandonem o processo de geração do testemunho, resultando que, no final, apenas subsista um único nó. Este processo deve ser executado um número de vezes suficiente para que seja arbitrariamente pequena a probabilidade de, no final, subsistir mais do que um nó.

Após estar definido qual o primeiro nó a assumir a posse do testemunho, esse nó inicializa os registos de endereço do testemunho (TOKEN ADDRESS REGISTER) de todos os nós da rede com o seu próprio endereço, colocando-o no DATA BUS e activando o sinal TTS.

4.3.2.3 Transferência do testemunho

Um nó que obtenha o testemunho, quer seja após o processo de

geração ou em pleno funcionamento do sistema, inicia de imediato o processo de transferência do testemunho que se destina a determinar qual o próximo nó a deter o controle do acesso ao meio de transmissão. A transferência do testemunho decorre simultaneamente com uma eventual transferência de informação.

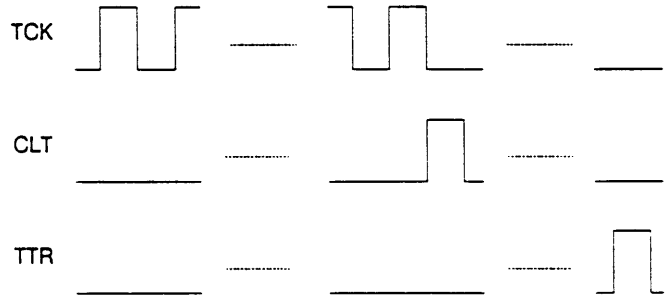


Fig. 4.5: Sinais envolvidos no processo de transferência do testemunho.

A transferência do testemunho desenrola-se em duas fases (fig. 4.5). Na primeira fase o nó que dirige o processo gera um TOKEN CLOCK (TCK) que é utilizado por todos os nós da rede para incrementarem o TOKEN ADDRESS REGISTER. Quando o valor desse registo igualar o endereço de um nó que pretenda transmitir um pacote, esse nó ordena a suspensão da geração do TOKEN CLOCK activando a linha CLEAR TOKEN. Na segunda fase, o nó que ainda detém o controle do barramento activa a linha TOKEN TRANSFER (TTR), o que indica ao nó que suspendeu a geração do TOKEN CLOCK que passa a deter o controle do acesso ao meio de transmissão, isto é, que tem a possibilidade de transmitir um pacote, e a responsabilidade pela próxima instância do processo de transferência do testemunho.

A primeira fase do processo de transferência do testemunho decorre sem qualquer limitação de tempo ou de número de vezes que cada nó é interrogado, o que significa que se prolonga o tempo necessário até que

algum nó declare pretender assumir o controle do barramento.

No que respeita à segunda fase, esta só é executada após ter terminado uma eventual transferência de informação em que o nó detentor do controle do acesso ao meio esteja, porventura, envolvido.

4.3.3 Protocolo da sub-camada LLC

A sub-camada LLC (*Logical Link Control*) é responsável pelas funções relacionadas com a transmissão de informação entre nós da rede. Para além da transmissão de tipo ponto a ponto, o protocolo LLC em seguida descrito permite ainda a transmissão em modo difusão (*broadcast*).

4.3.3.1 Estrutura dos pacotes

Devido ao facto de na Pseudo-Estrela existir separação física entre as estruturas *hardware* de suporte ao controle de funcionamento e à transferência de informação, os pacotes que circulam no barramento são apenas constituídos por informação extremo a extremo. No entanto, a largura de banda disponível não é totalmente aproveitada para tranferência de dados, devido ao tempo necessário à execução dos procedimentos relativos à transmissão de cada pacote.

4.3.3.2 Estrutura de endereços

A estrutura dos endereços utilizados na Pseudo-Estrela compreende

os seguintes campos (fig. 4.6):

- **Difusão**: este campo indica se se trata de uma transmissão de tipo ponto a ponto ou de tipo difusão.
- **Endereço do nó**: em transmissão ponto a ponto indica o endereço do nó destinatário; em transmissão de difusão indica o endereço do nó emissor.
- **Endereço do canal de informação**: em transmissão ponto a ponto indica o endereço do canal de informação destinatário; em transmissão por difusão indica o endereço do canal de informação emissor.

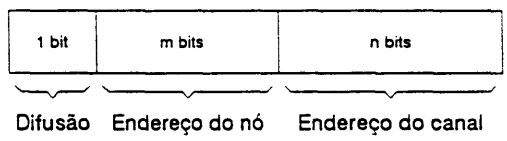


Fig. 4.6: Estrutura de endereços da Pseudo-Estrela.

4.3.3.3 Procedimento de transmissão de um pacote

O processo de transmissão de um pacote (fig. 4.7) inicia-se após a sub-camada MAC ter capturado o testemunho, e pode-se desenvolver de duas formas alternativas consoante se trate de uma transmissão ponto a ponto ou de tipo difusão.

Em ambos os casos o endereço associado ao pacote é colocado no DATA BUS, sendo sincronizado pelo sinal REQUEST TO SEND (RQS). Caso se trate de uma transmissão ponto a ponto, a transferência do pacote pode ser iniciada quando o destinatário activar o sinal CLEAR TO SEND (CTS). Se fôr uma transmissão de tipo difusão a transferência do pacote inicia-se logo

que expire um temporizador iniciado quando da activação do sinal REQUEST TO SEND (RQS), não havendo lugar a qualquer procedimento de confirmação.

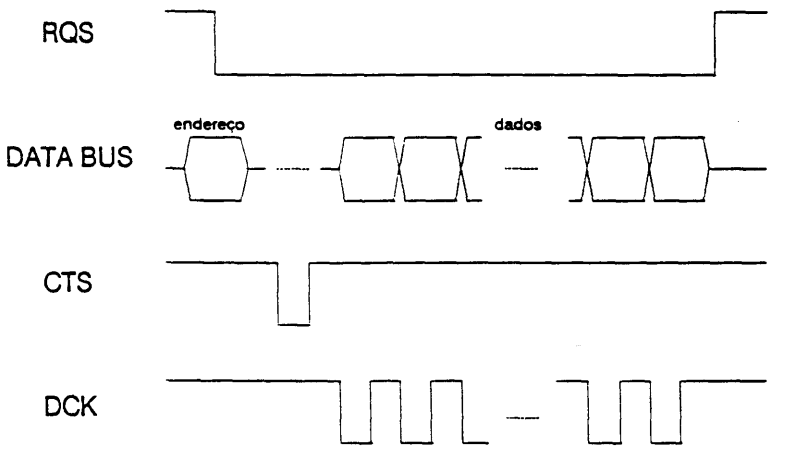


Fig. 4.7: Procedimento de transferência de um pacote do protocolo LLC.

A transferência do pacote processa-se por transmissão dos elementos de informação do pacote através do DATA BUS, sendo a sincronização efectuada pelo sinal DATA CLOCK (DCK).

A terminação de um processo de transferência de um pacote pode ocorrer de forma normal ou anormal.

O processo normal de terminação, quer se trate de transmissão de tipo ponto a ponto ou difusão, consiste na desactivação do sinal REQUEST TO SEND (RQS) após ter terminado a transmissão do pacote.

Em transmissões de tipo ponto a ponto ocorre uma terminação anormal sempre que algum dos interlocutores detecte uma violação dos procedimentos protocolares de transferência de um pacote, como, por exemplo:

a) não ser recebida a indicação CLEAR TO SEND (CTS) num dado intervalo

de tempo após a activação de REQUEST TO SEND (RQS).

b) não ser activado o relógio de sincronismo da transferência de informação durante um dado intervalo de tempo após ser gerada a indicação CLEAR TO SEND (CTS).

c) não ser desactivado o sinal REQUEST TO SEND (RQS) durante um dado intervalo de tempo após ter cessado a recepção de informação.

A terminação anormal do processo de transferência de um pacote é sinalizada pela entidade LLC que detectou a anomalia através de um impulso do sinal ERROR (ERR).

No caso da transferência de pacotes em modo difusão as situações anómalas podem ser:

a) não ser activado o relógio de sincronismo DATA CLK (DCK) durante um dado intervalo de tempo após a geração do sinal REQUEST TO SEND (RQS).

b) não ser desactivado o sinal REQUEST TO SEND (RQS) durante um dado intervalo de tempo após ter cessado a recepção de informação.

Nestes casos as entidades LLC que detectaram a anomalia devem executar o procedimento de geração da indicação ERROR (ERR), desde que não tenham detectado que essa indicação já tenha sido gerada por outra entidade. Este mecanismo permite evitar múltiplas indicações relativas a uma mesma anomalia, o que poderia conduzir a uma situação protocolar equívoca.

4.4. Protocolos da IAPE

A IAPE (Interface de Acesso à Pseudo-Estrela) é uma interface com orientação de pacote que providencia os protocolos de níveis 1 e 2 necessários à transferência de informação entre os PAPEs e a Pseudo-Estrela.

Nas secções seguintes é apresentada uma proposta de protocolos para a IAPE.

4.4.1 Camada física

A camada física da IAPE é basicamente constituída por três grupos de circuitos: circuitos de transmissão, circuitos de recepção e circuitos de indicação de erro. Para além destes circuitos existe também um sinal RESET (RST), que despoleta a (re)inicialização geral da rede, e um circuito NETWORK SYNC (NSYNC) que fornece uma referência de sincronismo relativamente à RDIS, e que se destina a sincronizar as transferências de informação entre o ISPBX e os equipamentos terminais.

4.4.1.1 Circuitos de transmissão

Os circuitos da camada física da IAPE relacionados com a transmissão de um pacote são (fig. 4.8):

.REQUEST TO SEND (RTS): Este sinal indica solicitação de transmissão de um pacote.

.BUS GRANT (BG): Este sinal solicita ao subscriptor o endereço associado ao pacote.

.ADDRESS/DATA TRANSMISSION BUS (ADD/DATA Tx BUS): barramento paralelo utilizado para a transmissão do endereço e do pacote.

.ADDRESS STROBE (ADD_STR): Este sinal valida o endereço presente no ADD/DATA Tx BUS.

.CLEAR TO SEND (CLS): Este sinal indica que pode ser efectuada a transmissão do pacote.

.RECEIVER NOT READY (RNR): Este sinal indica ter sido abortado o processo de transferência do pacote, devido a indisponibilidade do destinatário.

.TRANSMITTER CLOCK (Tx_CLK): Relógio de sincronismo associado à transmissão de um pacote.

.END OF PACKET TRANSMISSION (EOP_Tx): Este sinal indica fim de transmissão de um pacote.

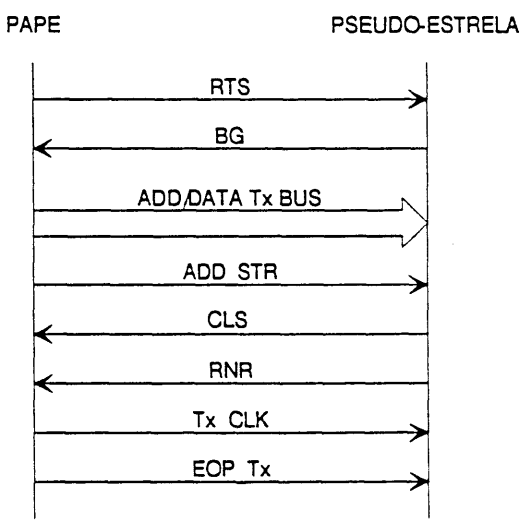


Fig. 4.8: Circuitos da secção de transmissão da camada física da IAPE.

4.4.1.2 Circuitos de recepção

A secção de recepção da camada física da IAPE compreende os seguintes circuitos (fig. 4.9):

.REQUEST TO RECEIVE (RTR): Este sinal indica que foi solicitada a transferência de um pacote para o subscriptor. É também utilizado para validar o endereço do canal de informação presente no ADD/DATA Rx BUS.

.ADDRESS/DATA RECEIVE BUS (ADD/DATA Rx BUS): barramento paralelo utilizado para recepção do endereço do canal destinatário e do pacote de informação.

.RECEIVER READY (RR): Indicação de que o subscriptor está disponível para receber um pacote.

.RECEIVER CLOCK (Rx_CLK): Relógio de sincronismo da recepção de um pacote.

.END OF PACKET RECEPTION (EOP_Rx): Indica fim de pacote.

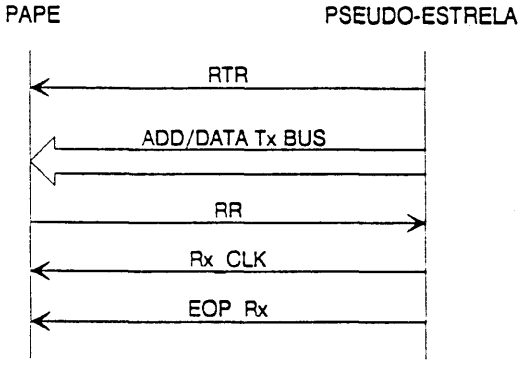


Fig. 4.9: Circuitos da secção de recepção da camada física da IAPE.

4.4.1.3 Circuitos de indicação de erro

A IAPE dispõe de dois sinais de indicação de erro, que permitem a sinalização de situações anómalas identificadas quer no PAPE quer veiculadas pela Pseudo-Estrela (por terem sido detectadas num PAPE):

.PAPE ERROR INDICATION (PAPE_ERR): sinal com origem no PAPE que indica ter sido detectada uma situação protocolar anómala.

.SYSTEM ERROR INDICATION (SYS_ERR): sinal com origem na Pseudo-Estrela que indica ter sido sinalizada uma situação de erro por um PAPE.

4.4.2 Protocolo da camada lógica

O protocolo da camada lógica da IAPE contempla os procedimentos adequados à execução das duas operações que a IAPE suporta: transmissão e recepção de um pacote.

Um PAPE (fig. 4.10) solicita a transmissão de um pacote activando o sinal REQUEST TO SEND (RTS). Este sinal inicia o procedimento de captura do testemunho, findo o qual é activada a indicação BUS GRANT (BG). O PAPE transmite, então, o endereço associado ao pacote no ADDRESS/DATA TRANSMISSION BUS (ADD/DATA Tx_BUS), sincronizando-o através do sinal ADDRESS STROBE (ADD_STR). A transmissão do pacote inicia-se logo que seja recebida a indicação CLS, consistindo na transmissão dos sucessivos elementos do pacote no ADDRESS/DATA TRANSMISSION BUS (ADD/DATA Tx_BUS), sincronizados pelo sinal TRANSMISSION CLOCK (Tx_CLK). O fim de pacote é sinalizado pela activação do sinal END OF PACKET

TRANSMISSION (EOP_Tx).

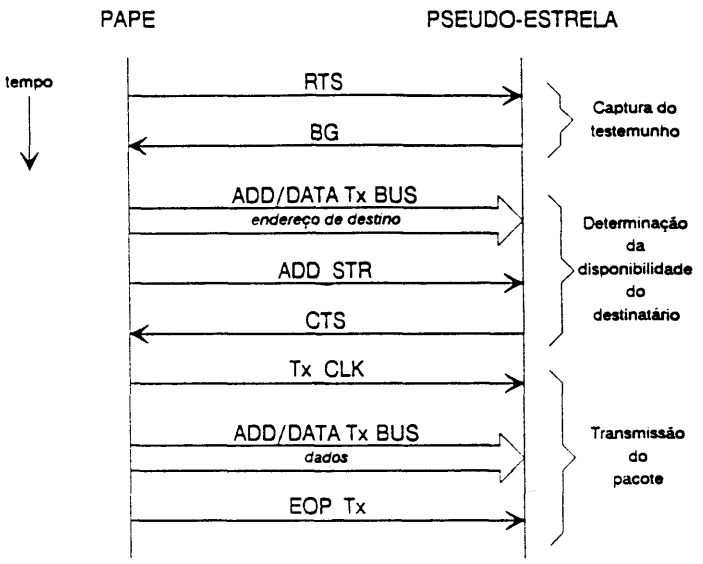


Fig. 4.10: Circuitos da IAPE envolvidos nas diferentes fases do procedimento nível 2 de transmissão de um pacote.

A recepção de um pacote (fig. 4.11), isto é, a transferência de um pacote da Pseudo-Estrela para um PAPE, é iniciada através da activação do sinal REQUEST TO RECEIVE (RTR), o qual também é utilizado para sincronizar o endereço do canal de informação destinatário presente no ADDRESS/DATA RECEIVE BUS (ADD/DATA Rx_BUS). O PAPE, caso esteja disponível para receber o pacote, deverá activar o sinal RECEIVER READY (RR). A transmissão do pacote é, então, executada através do ADD/DATA Rx_BUS, sendo os elementos do pacote sincronizados pelo sinal Rx_CLK, e o fim de pacote sinalizado pelo sinal EOP_Rx .

A terminação do processo de transferência de um pacote pode assumir duas formas distintas: terminação normal ou terminação anormal.

A terminação normal ocorre quando o PAPE origem ou a Pseudo-Estrela indicarem a situação de fim de pacote, activando, respectivamente, os sinais EOP_Tx ou EOP_Rx.

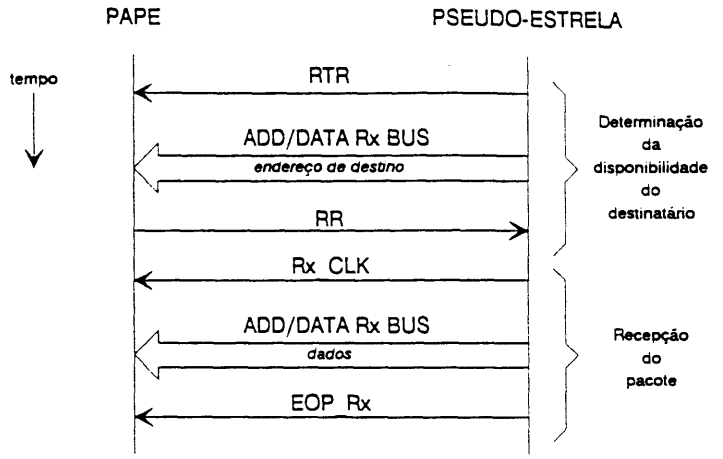


Fig. 4.11: Circuitos da IAPE envolvidos nas diversas fases do procedimento nível 2 de recepção de um pacote.

A terminação anormal pode ocorrer nas situações descritas em 4.3.4.4, as quais conduzem à ocorrência das indicações PAPE_ERR e SYS_ERR, consoante se trate, respectivamente, de um erro sinalizado pelo PAPE ou pelo subsistema de comutação.

4.5 Conclusão

A Pseudo-Estrela tem características qualitativas que a tornam interessante como subsistema de comutação de um ISPBX, e que resultam, como vimos, da topologia e do método de acesso utilizados.

Neste capítulo, para além de ser discutido o enquadramento conceptual da Pseudo-Estrela em relação ao Modelo OSI, foram também discutidas as alterações de arquitectura e protocolares relativamente às descrições publicadas sobre a Pseudo-Estrela, consideradas necessárias para a sua aplicação como subsistema de comutação do ISPBX: existência de

um sinal de sincronismo NSYNC, metodologia de atribuição da responsabilidade pela geração desse sinal, e organização da estrutura de endereços.

Foi ainda apresentada uma proposta de um conjunto de protocolos de acesso ao subsistema de comutação, que contempla os requisitos protocolares adequados ao funcionamento do núcleo de comutação, e que contempla a transmissão e recepção simultânea de um pacote num nó. Esta característica permite que existam vários canais de informação em cada nó, sendo o procedimento de comutação independente dos canais origem e destino estarem, ou não, situados no mesmo nó.

Capítulo 5

ORGANIZAÇÃO E FUNCIONAMENTO DO SISTEMA PROPOSTO

5.1 Introdução

No capítulo 4 foi apresentada uma proposta de organização de um subsistema de comutação para um ISPBX baseado na Pseudo-Estrela. A descrição efectuada contempla os aspectos de arquitectura e protocolares necessários à transferência de pacotes entre dois nós do ISPBX.

Neste capítulo é apresentada uma proposta de arquitectura para o ISPBX, que contempla os aspectos organizativos globais, sendo identificados e discutidos os requisitos de arquitectura necessários a cada componente do sistema. A descrição inclui a organização geral do ISPBX e uma proposta de modelo de arquitectura genérico para os diferentes módulos, sendo ainda apresentado o detalhe funcional de um conjunto seleccionado de módulos, e descrito o seu funcionamento para diversos cenários aplicacionais.

Este capítulo inclui, ainda, uma proposta de um Protocolo Interno de Sinalização (PIS) para o ISPBX, sendo analisada a sua utilização na sinalização entre módulos e no suporte das transferências de informação em modo pacote.

5.2 Definição das funcionalidades

Como foi referido no Capítulo 3, um ISPBX pode dispôr de um conjunto muito variado de facilidades, tanto no que se refere às interfaces de acesso como aos serviços que pode proporcionar. É, pois, necessário começar por definir quais as funcionalidades que vão ser contempladas neste estudo.

Devido à natureza deste trabalho, foi considerado um conjunto restrito de funcionalidades, seleccionadas por forma a demonstrar os mecanismos básicos de funcionamento do sistema, e a exemplificar a forma de implementação de funcionalidades adicionais que envolvam algum tipo de particularidade relevante que não esteja patente no núcleo de funcionalidades mínimas, como, por exemplo, a utilização de um recurso físico ou lógico em particular.

Desta forma, foram consideradas representativas as seguintes funcionalidades,

- Interfaces utilizador-ISPBX de tipo acesso básico (2B+D).
- Interfaces ISPBX-RDIS de tipo acesso primário (30B+D).
- Suporte a comunicações em modo circuito sobre canais B.
- Suporte a comunicações em modo pacote em canais B ou D de acordo com a Rec. X.31(I.462), incluindo comunicações X.25 entre DTEs locais.
- Serviços suplementares de Suspensão de Chamada, Transferência de Chamada e Conferência Tripartida de Voz.
- Servidor de difusão genérico, utilizável para a distribuição de, por exemplo, música em espera.

As funcionalidades que foram contempladas com o objectivo de realçar

as características de elevada modularidade e flexibilidade da arquitectura proposta foram o suporte ao serviço suplementar de conferência tripartida de voz e a inclusão de um servidor de difusão, dado exigirem a existência de módulos específicos no ISPBX, e, no segundo caso, por permitir descrever um exemplo da capacidade de transmissão em modo difusão do subsistema de comutação.

5.3 Organização do ISPBX

5.3.1 Organização geral

Tendo por base o modelo de referência da Pseudo-Estrela proposto no Capítulo 4, a definição da arquitectura de um sistema de comunicação baseado na Pseudo-Estrela é, essencialmente, uma questão de concepção dos PAPEs adequados a cada aplicação particular, dado que os pormenores de implementação e funcionamento da Pseudo-Estrela estão encapsulados nos níveis 1 e 2, apenas sendo visível uma interface de acesso normalizada: a IAPE.

No caso de um ISPBX podem ser definidas diferentes implementações de PAPEs, consoante as diferentes facilidades com que se pretenda dotar o sistema. No âmbito das facilidades definidas no parágrafo anterior são identificáveis dois tipos básicos de PAPEs: PAPEs orientados para a ligação do ISPBX a entidades exteriores - **Interfaces,** e PAPEs orientados para a execução de funções especializadas, que, pela sua natureza ou utilização esporádica, não se justifique serem implementadas em cada Interface - **Servidores.**

Para contemplar os requisitos funcionais descritos, o ISPBX deverá

dispôr dos seguintes tipos de módulos de Interface e Servidores (fig. 5.1): Módulo de Acesso Básico (MAB), Módulo de Acesso Primário (MAP), Módulo de Interface para a ligação a outro ISPBX (ISPBX-ISPBX), Servidor de Directório (SD), Servidor X.25 (SX.25), Servidor de Conferência Tripartida de Voz (SCTV) e Servidor de Difusão (SDf).

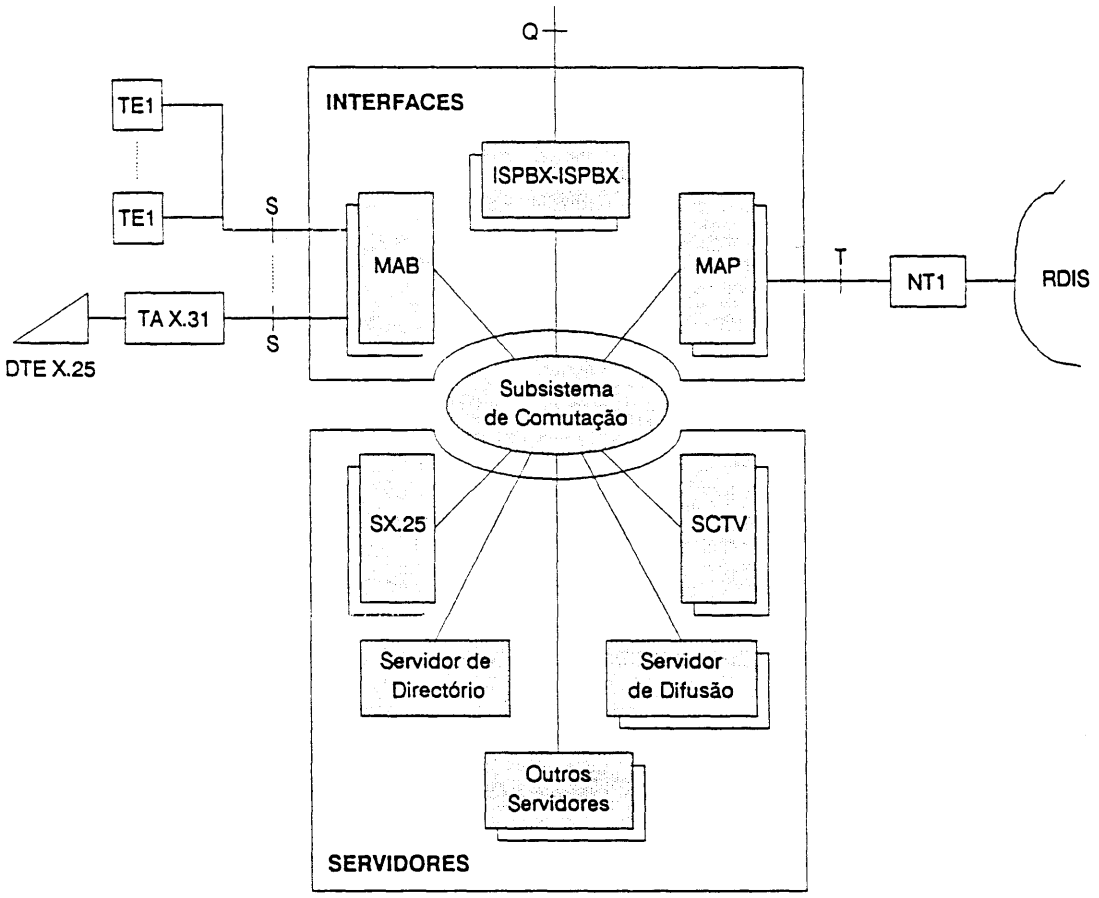


Fig. 5.1: Organização do ISPBX.

As Interfaces MAB e MAP destinam-se, respectivamente, a possibilitar a ligação de equipamento terminal dotado de uma interface S ao ISPBX, e à ligação do ISPBX a uma RDIS.

A interligação entre ISPBXs deverá ser suportada por interfaces ISPBX-ISPBX baseadas em módulos de tipo MAP, sendo o mapeamento Q-C obtido através de adaptadores adequados ao tipo de interface C utilizada.

O Servidor de Directório destina-se a conter a informação sobre os endereços de rede a utilizar para o encaminhamento de informação entre subscriptores.

O Servidor X.25 destina-se a executar os procedimentos protocolares necessários ao suporte de comunicações X.25 (níveis lógico e de pacote), executando, para além disso, o papel de comutador X.25 nas comunicações sobre canal B ou D entre DTEs locais, e nas comunicações X.25 sobre canal D envolvendo um DTE local e um DTE remoto.

O Servidor de Conferência Tripartida de Voz proporciona o processamento e encaminhamento de informação adequado ao estabelecimento de uma conferência de voz envolvendo três intervenientes.

O Servidor de Difusão destina-se a exemplificar a forma de implementação de um serviço de tipo difusão, aplicável, por exemplo, na difusão de música em espera.

5.3.2 Modelo geral de organização de um módulo

Qualquer módulo do ISPBX, quer se trate de uma Interface ou de um Servidor, deverá ter uma organização de acordo com o modelo geral apresentado na fig. 5.2, a qual proporciona elevada modularidade na organização dos diferentes módulos, e garante, por outro lado, uma referência conceptual consistente para todos os módulos do sistema.

Um Agente Comunicante (AC) é uma entidade origem ou destino de informação, podendo ser interna ou externa ao ISPBX. Entidades externas, embora sejam contempladas neste modelo, não são consideradas parte integrante de um módulo. Cada AC comunica através de um canal, que pode ser de Sinalização ou de Informação consoante o tipo de AC. A entidade de

sinalização de um equipamento terminal e a entidade gestora da base de dados do SD são exemplos típicos de ACs, respectivamente, externos e internos.

As Unidades de Acesso de Canal (UACs) providenciam os protocolos adequados a cada canal, isto é, a cada tipo particular de AC. No caso dos módulos de tipo Interface, que se destinam a suportar ACs externos, as UACs oferecem os protocolos adequados a cada tipo particular de ponto de referência.

As Unidades de Sinalização (USs) são as entidades responsáveis pela execução dos procedimentos de sinalização entre módulos, que se destinam a possibilitar a utilização coordenada dos recursos lógicos e físicos necessários a cada comunicação.

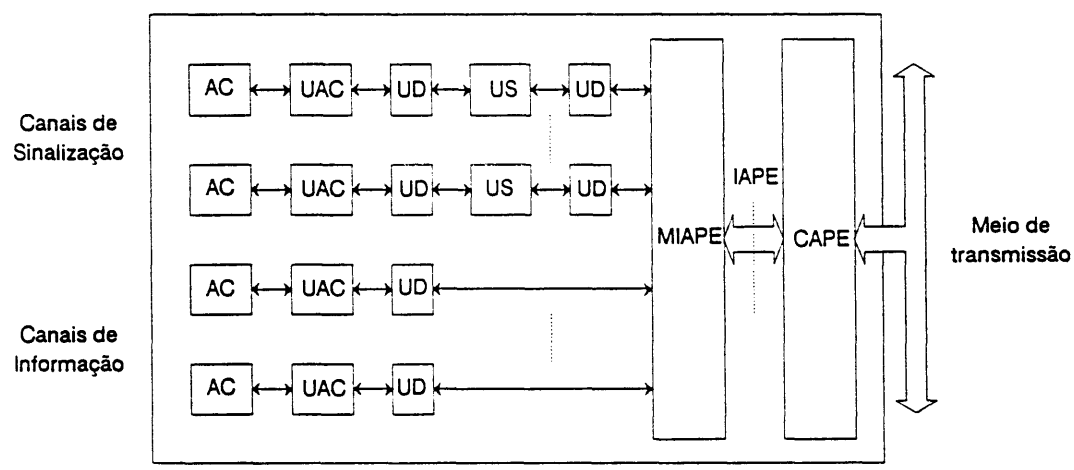


Fig. 5.2: Modelo geral de organização de um módulo do ISPBX.

O Controlador de Acesso à Pseudo-Estrela (CAPE) desempenha as funções protocolares relacionadas com o funcionamento da Pseudo-Estrela, oferecendo uma Interface de Acesso à Pseudo-Estrela (IAPE) orientada para a transmissão-recepção de um pacote. O Multiplexador da IAPE (MIAPE) executa a gestão do acesso à IAPE em módulos que comportem mais do que

um canal. Sempre que um módulo detém o testemunho, o MIAPE deverá executar todos os pedidos de transmissão de pacotes que se encontrem pendentes.

O MIAPE deverá poder ser programado por um canal para receber, a partir de um dado momento e até indicação em contrário, todos os pacotes de informação relativos a transferências em modo difusão que sejam provenientes de um dado endereço. Esta facilidade deverá, também, existir no CAPE, mas com a opção adicional de poder ser determinada transparência total ao endereço de difusão. Desta forma em aplicações em que o MIAPE não exista o CAPE deverá filtrar os endereços que interessa serem recebidos, sendo, por outro lado, transparente quando existir um MIAPE, caso em que deverá ser o MIAPE a desempenhar a função de filtragem dos endereços.

A comunicação entre as diferentes entidades de um módulo é suportada por Unidades de Dados (UDs), que são estruturas de tipo *buffer* cujas características, quer internas quer ao nível das interfaces de acesso para escrita/leitura, dependem do tipo de dados veiculados. A cada UD utilizada por uma entidade (US ou UAC) para receber informação do MIAPE, corresponde um endereço único no universo de endereços do subsistema de comutação, o qual constitui o endereço de rede, ou endereço interno, dessa entidade. Cada UD deverá dispôr de um registo destinado a conter o endereço interno da UD destinatária do próximo pacote a ser transmitido, devendo o valor deste endereço ser fixado pela US que controla cada UD.

5.3.3 Organização do Protocolo Interno de Sinalização

O Protocolo Interno de Sinalização (PIS) é o meio pelo qual as USs dos diferentes módulos do ISPBX comunicam, for forma a utilizarem de forma

coordenada os recursos físicos e lógicos disponíveis.

A organização do PIS é fortemente influenciada pela estrutura do Protocolo de nível 3 do Canal D, dado que, em boa parte, os procedimentos protocolares do PIS são directamente complementares de procedimentos Q.931.

As mensagens do PIS (fig. 5.3) são constituídas por um cabeçalho e por uma secção de informação constituída por duas subsecções A e B, tendo qualquer uma destas regiões dimensão variável.

O cabeçalho de cada mensagem inclui o Endereço Interno da US emissora, a Identificação do Tipo de Mensagem, o Número de Referência da Mensagem, e as dimensões das duas Subsecções da Secção de Informação. Os três primeiros campos são obrigatórios, e os dois restantes opcionais.

O Número de Referência da Mensagem identifica cada mensagem em particular, devendo ser reproduzido nas mensagens geradas como respostas a outras anteriormente recebidas. Este procedimento permite que uma US tenha simultaneamente, para com outra US, várias mensagens pendentes de resposta.

A Secção de Informação é constituída por um número variável de Elementos de Informação, que constituem os parâmetros de cada mensagem.

Dado que a cooperação entre USs exige, por um lado, a troca de informações que são parte integrante das mensagens do nível 3 do Protocolo de Canal D, e, por outro, de parâmetros que derivam da organização do ISPBX, e que, por isso, só têm significado interno, optou-se por dividir a Secção de Informação das mensagens do PIS em duas Subsecções, A e B, cada uma destinada a transportar cada um dos tipos de parâmetros.

Esta estratégia permite reproduzir integralmente os *Information Elements* Q.931, evitando eventuais incompatibilidades entre a estrutura dos

dois tipos de Elementos de Informação, e permitindo maior rapidez na identificação dos elementos privados do PIS veiculados em cada mensagem.

No contexto do PIS, os Elementos de Informação Q.931 são designados Elementos de Informação Públicos (EIPbs), e são transportados na Subsecção B. Os Elementos de Informação exclusivos do PIS são designados Elementos de Informação Privados (EIPvs), e são veiculados na Subsecção A.

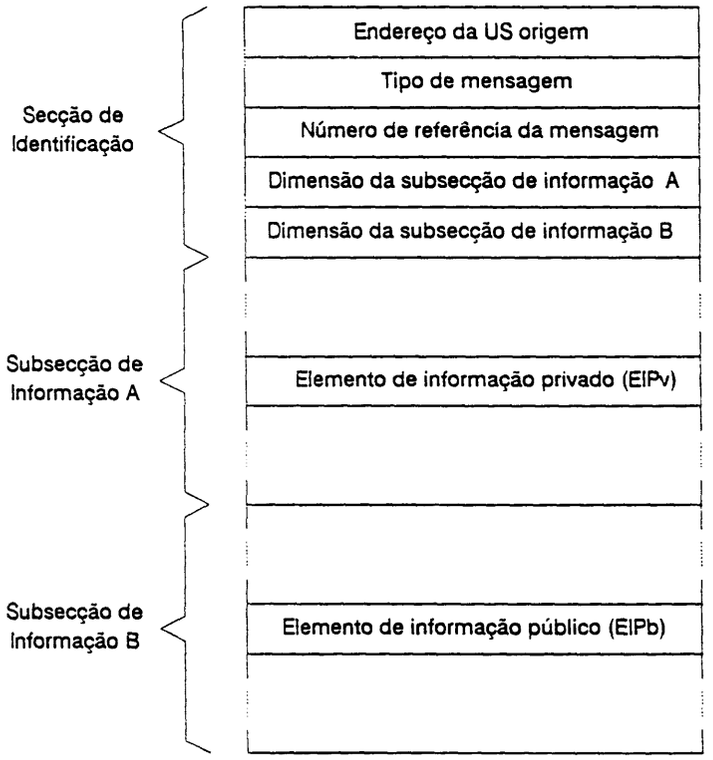


Fig. 5.3: Formato das mensagens do Protocolo Interno de Sinalização (PIS)

O PIS dispõe de um procedimento que permite assegurar a segmentação e reconstituição de mensagens, por forma a compatibilizar a estrutura das mensagens com a dimensão de pacote que estiver a ser utilizada no subsistema de comutação. Para este efeito todos os pacotes (segmentos) que fizerem parte de uma mesma mensagem PIS têm uma

organização idêntica ao formato geral das mensagens PIS. Todos os segmentos de uma mesma mensagem têm o mesmo Número de Referência, incluindo todos, excepto o último, o EIPv MENSAGEM INCOMPLETA. Este Elemento de Informação indica que a mensagem PIS é constituída por mais pacotes, cuja transferência ocorrerá posteriormente, e inclui o número de ordem de cada segmento em que a mensagem original foi dividida. A US destinatária deverá reconstituir a mensagem PIS original com base no Número de Referência e neste EI.

5.4. Arquitectura e funcionamento dos módulos do ISPBX

5.4.1 Interfaces

5.4.1.1 Módulo de Acesso Básico

Cada Módulo de Acesso Básico (MAB) comporta um conjunto de interfaces de tipo 2B+D, que permitem a ligação de equipamento terminal dotado de uma interface compatível.

A organização do MAB (fig. 5.4) contempla uma UAC por cada interface 2B+D, a qual é responsável pela execução do protocolo de nível 1, incluindo a multiplexagem dos dois canais B e do canal D, e o reconhecimento das tramas do Canal D. O processamento dos protocolos de níveis 2 e 3 é efectuado por uma Unidade de Sinalização comum a todas as UACs, a qual é também responsável pela execução dos procedimentos do Protocolo Interno de Sinalização (PIS). O fluxo de informação relativo aos canais B é suportado pelas Unidades de Dados de canal B (UDBs), que asseguram, para cada

canal, o armazenamento temporário da informação, bem como a sinalização com a UAC e o MIAPE.

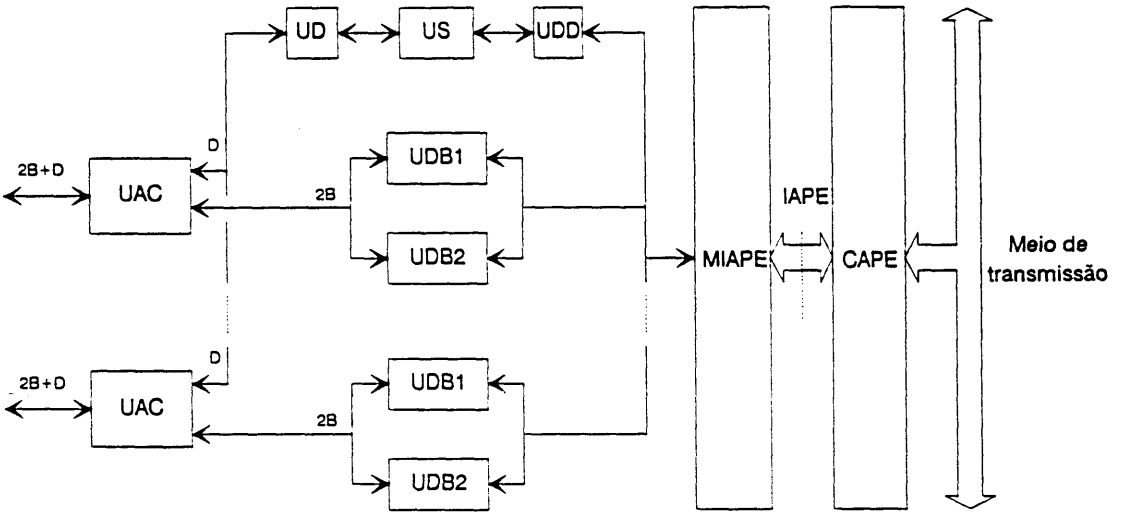


Fig. 5.4: Organização de um Módulo de Acesso Básico (MAB)

Para além da interface 2B+D, cada UAC dispõe ainda de duas outras interfaces, que se destinam a suportar a transferência de informação entre a UAC e as entidades do módulo responsáveis pelo encaminhamento dos fluxos de informação dos canais B e D, respectivamente, UDBs e Unidade de Dados do canal D (UDD).

De acordo com as mais divulgadas famílias de circuitos integrados que permitem implementar interfaces RDIS, a interface UAC-UDBs é, tipicamente, uma interface série, síncrona e bidireccional, constituída por uma linha de dados e várias linhas de sincronização de trama, que assegura o transporte, em cada sentido, de um *byte* de informação referente a cada canal B, a um ritmo de um *byte* por canal e por sentido em cada intervalo de 125 υs (64 kbit/s). A fig. 5.5 apresenta um exemplo da estrutura de interface utilizável na ligação UAC-UDBs, interface SLD, a qual é utilizada por vários fabricantes de circuitos integrados para interfaces RDIS [SIEM89A] [AMD89A].

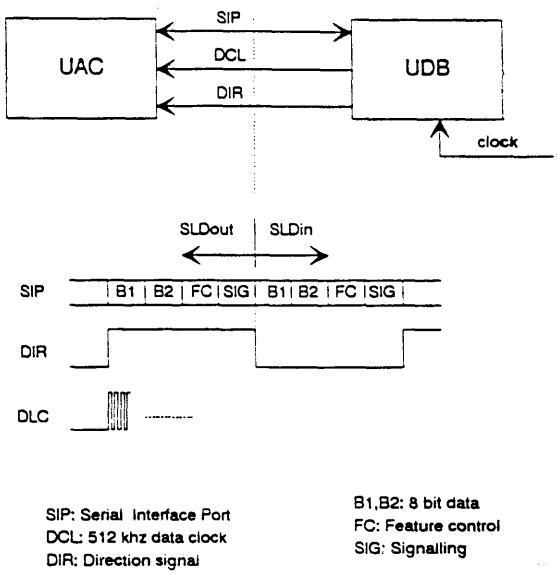


Fig. 5.5: Interface SLD

Ainda de acordo com a tecnologia mais divulgada, a interface UACs-UDD deverá ser organizada em torno de um bus paralelo de dados de 8 *bits*, partilhado por todas as UACs. A fig. 5.6 apresenta uma proposta de organização das UACs e UDDs baseada no circuito comercial ISAC-S (*ISDN Subscriber Access Controller*) oferecido por diversos fabricantes [SIEM89B] [AMD89B], sendo a transferência de informação entre as UACs e a UDD assegurada através da interface μP do ISAC-S.

Neste exemplo cada ISAC-S é responsável pela execução dos procedimentos de nível 1 da interface S, proporcionando, nomeadamente, o reconhecimento e armazenamento das tramas LAPD.

No que respeita à recepção das tramas, o circuito ISAC-S gera um sinal de interrupção com a indicação RPF (*Receive Pool Full*) por cada conjunto de 32 *bytes* consecutivos identificados numa trama LAPD. Para sinalizar o reconhecimento do último grupo de *bytes* de uma trama, é gerado o sinal de interrupção com a indicação RME (*Receive Message End*), sendo fornecido

num registo apropriado do ISAC-S (RFBC - *Receive Frame Byte Count*) o número de *bytes* que constituem este último bloco.

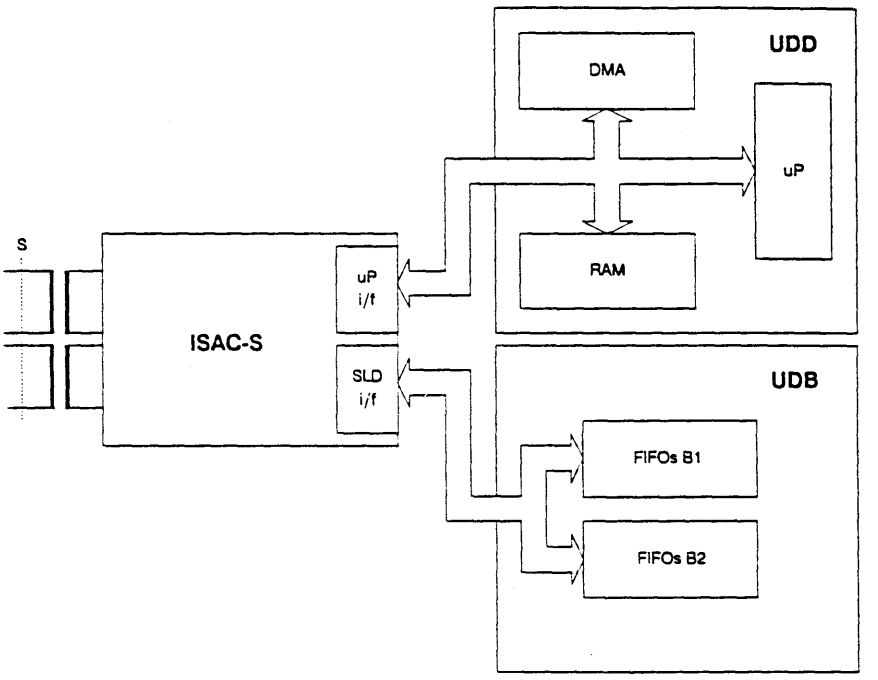


Fig. 5.6: Organização de uma UAC e de uma UDD,
com base no circuito comercial ISAC-S.

Para a transmissão das tramas LAPD destinadas à interface S, o ISAC-S proporciona a geração automática das *flags* de abertura e fim de trama, bem como do FCS (*Frame Check Sequence*) correspondente a cada trama. O conteúdo da trama deve ser depositado no FIFO de transmissão (XFIFO) do ISAC-S em blocos com dimensão máxima de 32 *bytes*, sendo o fim de trama explicitado pelo μP pela execução de um procedimento adequado (comando XME - *Transmition Message End*).

A interface entre as UDBs e o MIAPE é funcionalmente idêntica à IAPE, visto que se destina a fornecer acesso partilhado à IAPE. No entanto, e para permitir a identificação das UDs tanto no que respeita à transmissão como à recepção de um pacote, esta interface deverá dispôr de linhas de identificação e endereçamento individuais de cada UD.

5.4.1.2 Módulo de Acesso Primário

Um Módulo de Acesso Primário (MAP) pode ser organizado (fig. 5.7) de uma forma similar a um MAB. As diferenças existentes resultam de o módulo oferecer uma única interface de tipo primário (23B+D ou 30B+D), pelo que somente é necessária uma UAC.

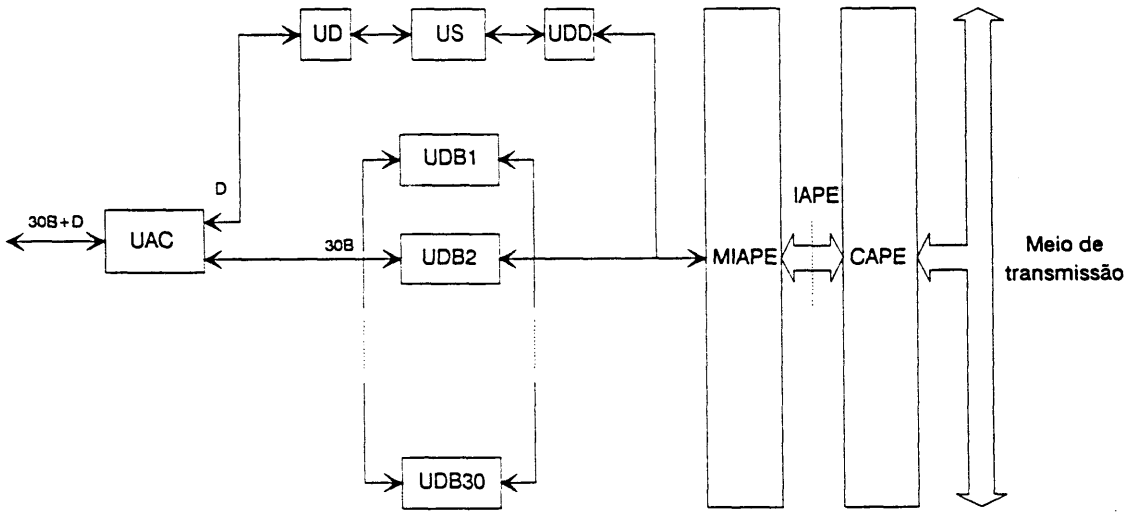


Fig. 5.7: Organização de um Módulo de Acesso Primário (MAP)

5.4.2 Servidores

5.4.2.1 Servidor de Directório

O Servidor de Directório (SD) executa a conversão de endereços lógicos para endereços internos necessária ao estabelecimento e manutenção dos circuitos virtuais que suportam as comunicações. A conversão de endereços é solicitada ao SD por uma US sempre que necessitar de determinar o endereço de rede (sinalização ou dados) de um AC, a partir do seu endereço RDIS ou X.121.

Em resposta a um pedido de conversão de endereço o SD fornece o endereço interno, o qual, de acordo com a estrutura de endereços do subsistema de comutação, referencia o módulo (nó) e o canal correspondentes ao endereço em questão. A informação relativa ao endereço interno deverá, ainda, indicar se o endereço corresponde, ou não, a um subscriptor local.

Para permitir a existência de várias USs num mesmo módulo, a secção do endereço interno que identifica o canal é utilizada de forma a contemplar dois campos (fig. 5.8): um campo define o endereço da UD associada ao canal, e um outro o endereço da US responsável pela sinalização relativa ao canal. O endereçamento das USs é feito atribuindo ao campo que identifica o canal um valor predefinido (por exemplo 0).

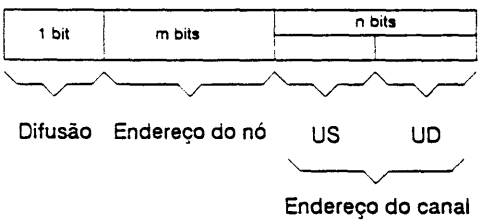


Fig. 5.8: Organização dos endereços internos do ISPBX.

O significado que os endereços de canal têm depende da estrutura de cada módulo. Os endereços de canal utilizados, por exemplo, para referenciar as UDBs em MABs e MAPs, identificam, na realidade, a interface a que corresponde um dado endereço RDIS ou X.121. De acordo com a arquitectura desses módulos, várias UDBs podem dar acesso à interface pretendida. A declaração do endereço da UDB a utilizar deverá ser feita pela US que protagoniza a sinalização referente a esse canal, de acordo com a forma mais adequada de utilização dos canais B.

A organização deste Servidor de Directório (fig. 5.9) é um exemplo típico de organização de um módulo dispondo apenas de um canal.

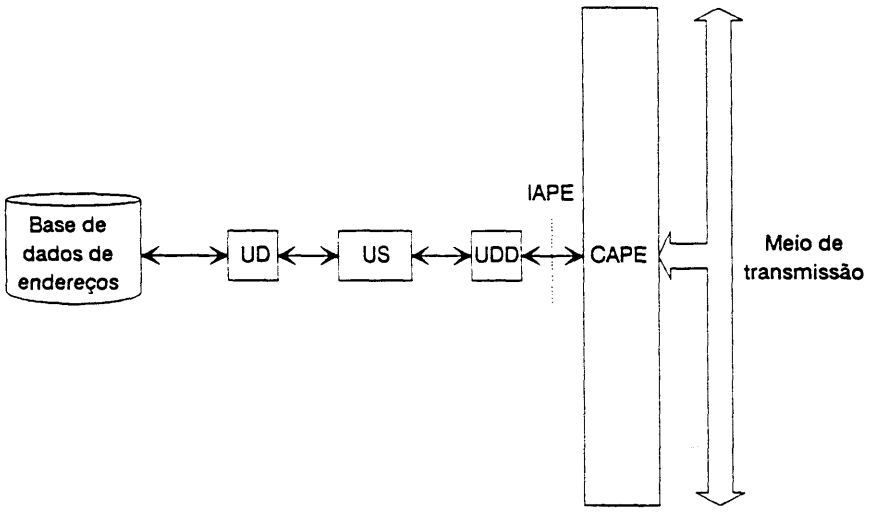


Fig. 5.9: Organização do Servidor de Directório.

A base de dados do SD é constituída por duas secções: uma contém a informação relativa aos endereços de tipo RDIS (E.164), e outra os de tipo X.25 (X.121). A identificação do plano de numeração utilizado deverá ser declarada nos pedidos de conversão de endereço solicitados ao SD.

O SD dispõe ainda de informação referente aos endereços internos de acesso aos Servidores e MAPs disponíveis em cada configuração. As comunicações que envolvam endereços RDIS ou X.25 desconhecidos no universo de endereços locais serão encaminhadas para os MAPs, dado serem consideradas como destinadas à RDIS.

A inicialização e manutenção da base de dados deve ser efectuada por forma a que o seu conteúdo seja coerente com a configuração do ISPBX. Os procedimentos de manutenção da base de dados deverão poder ser efectuados a partir de um qualquer equipamento terminal, utilizando, para tal, uma comunicação em modo pacote com SAPI=0, dirigida ao SD. Para este

efeito deverá ser atribuído ao SD um endereço RDIS, o que permite que o SD seja acedido remotamente. Esta característica pode ser utilizada para efectuar a carga remota de *software*, concentrando no SD a responsabilidade pelo armazenamento e distribuição do *software* necessário à operação dos diferentes módulos.

Para cada endereço RDIS ou X.25 correspondente a um ponto de referência S local, a base de dados deverá conter o endereço RDIS/X.25 (campo de acesso) e o respectivo endereço interno (nó+US+UD).

5.4.2.2 Servidor X.25

O Servidor X.25 desempenha no ISPBX um papel idêntico ao de um *Packet Handler* de uma RDIS, oferecendo, portanto, o suporte protocolar X.25 (níveis lógico e de pacote) necessário ao estabelecimento de comunicações X.25 entre DTEs X.25 locais, ou entre um DTE X.25 local e um outro remoto. Estas comunicações poderão ser suportadas pelo SX.25 quer através de canal B quer de canal D, de acordo com o cenário X.31 *Case* B.

A organização deste servidor (fig. 5.10) contempla dois tipos diferentes de UDs receptoras. A UDD destina-se a suportar as transferências de pacotes referentes a comunicações via canal D. A UDX suporta as comunicações baseadas em canal B, e distingue-se da UDD por incluír um mecanismo de identificação e extracção de tramas LAPB do fluxo de informação do canal B, de acordo com os procedimentos de *rate adaption* definidos na Rec. X.30. Desta forma, o funcionamento da UDX pode ser configurado pela US do Servidor X.25 de acordo com a velocidade do DTE X.25, baseando-se na caracterização da comunicação feita pela US da interface a que está ligado o DTE X.25 que pretende estabelecer a comunicação. A configuração da UDX

poderá, alternativamente, ser efectuada a partir da detecção de padrões de informação, de acordo com o procedimento descrito no Apêndice I da Recomendação X.30.

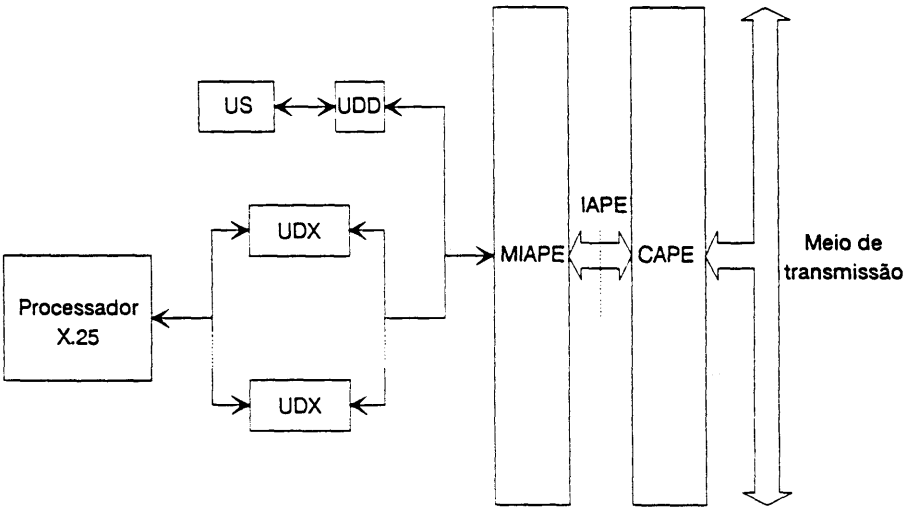


Fig. 5.10 : Organização do Servidor X.25.

5.4.2.3 Servidor de Conferência Tripartida de Voz

O SCTV-Servidor de Conferência Tripartida de Voz (fig. 5.11) tem por função executar o processamento de informação adequado ao estabelecimento de uma conferência de voz com três intervenientes.

Este processamento resulta da necessidade de fornecer a cada interveniente pacotes contendo a adição dos pacotes gerados por cada um dos outros dois intervenientes na conferência.

Esta adição, não-linear e de acordo com a lei de codificação apropriada (A ou μ), é executada *byte* a *byte* de forma síncrona pelo Somador, sem que seja efectuado qualquer alinhamento dos pacotes em relação à sua correspondência em tempo real. Esta estratégia pressupõe que o sistema de

comutação oferece garantia de que as diferenças de atraso que os pacotes experimentam não são suficientes para que a adição, em tempo real, de amostras de voz desfazadas, cause perturbação significativa na compreensão do som reconstituído no destino.

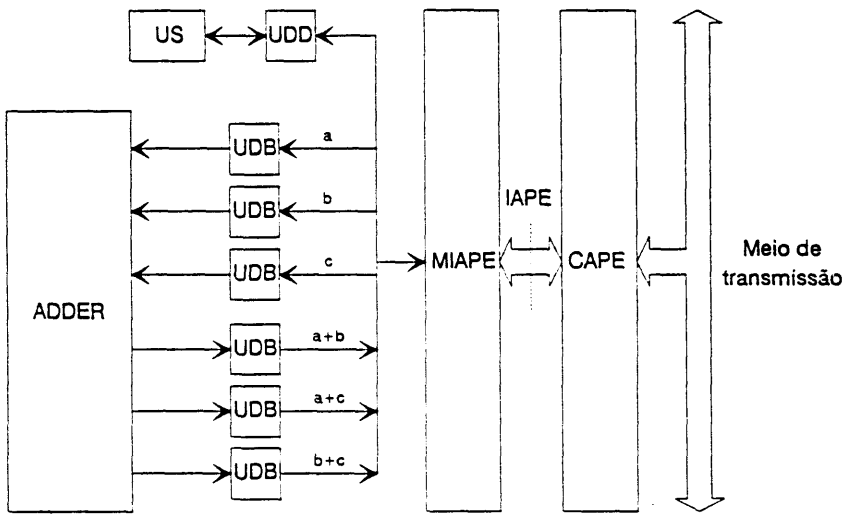


Fig. 5.11: Organização de um Servidor de Conferência Tripartida de Voz (SCTV).

5.4.2.4 Servidor de Difusão

O Servidor de Difusão (SDf) é um exemplo de módulo em que é utilizada a facilidade de difusão oferecida pelo sistema de comutação.

A organização descrita (fig. 5.12) pode ser utilizada para implementar um qualquer serviço de difusão, como, por exemplo, distribuição de música em espera. A informação difundida pelo SDf deverá ser captada pelos canais interessados na sua recepção através de programação adequada do MIAPE ou do CAPE, consoante o o módulo disponha, ou não, de um MIAPE.

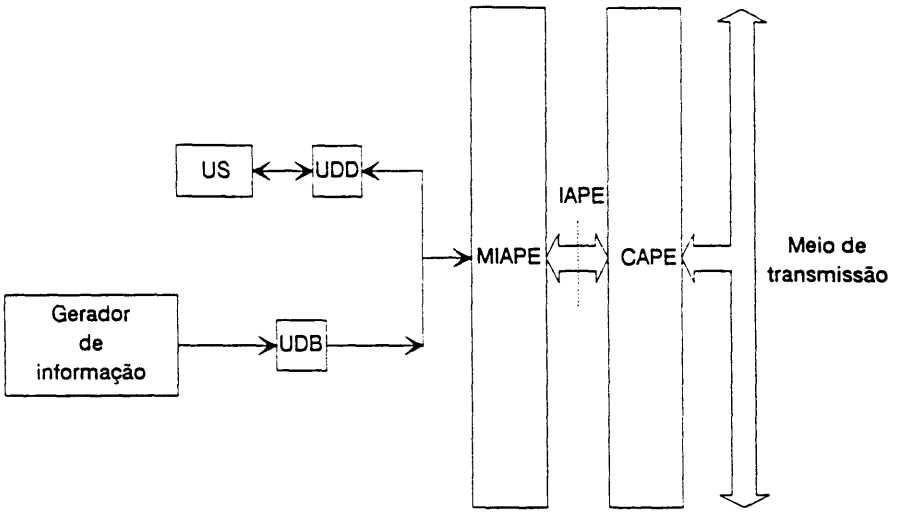


Fig. 5.12: Servidor de Difusão.

5.5. Descrição do funcionamento do ISPBX

Os cenários base de funcionamento do ISPBX decorrem, naturalmente, dos tipos de serviços suportados pela RDIS, e que podem ser caracterizados em função do tipo de modo de transferência utilizado: comunicações em modo circuito e em modo pacote.

Nos parágrafos seguintes analisaremos qual o papel desempenhado pelos diferentes módulos do ISPBX no suporte aos diversos serviços, com particular destaque para as funções desempenhadas pelo PIS-Protocolo Interno de Sinalização. A descrição dos procedimentos protocolares que é apresentada abrange apenas os mecanismos básicos, dado que não se pretende fazer uma especificação exaustiva de todas as situações protocolares. Por esta razão não são indicados elementos protocolares fundamentais em implementação, como, por exemplo, procedimentos para o processamento de situações protocolares anómalas.

5.5.1. Comunicações em modo circuito

O estabelecimento de uma comunicação em modo circuito compreende a alocação dos recursos do ISPBX necessários ao suporte do fluxo de informação entre os interlocutores.

O comprometimento desses recursos é efectuado por protocolos ao nível das interfaces de acesso, protocolo de sinalização canal D Q.931, e, internamente, entre as USs dos módulos envolvidos, pelo PIS.

Depois de estabelecida uma comunicação em modo circuito o fluxo de informação é suportado pelas UACs e UDBs, sendo as UDBs as entidades responsáveis pela segmentação dos pacotes que são submetidos ao subsistema de comutação.

5.5.1.1 Procedimentos básicos

O procedimento para estabelecer uma comunicação em modo circuito (fig. 5.13) inicia-se após uma US (US1) receber uma mensagem SETUP. Caso exista na interface em que a mensagem ocorreu um canal B disponível para vir a suportar a comunicação, e logo que disponha do endereço do destinatário (quer se trate de *en-bloc* ou *overlap sending*), a US1 solicitará à US do Servidor de Directório o endereço interno do destinatário, enviando-lhe, para esse efeito, a mensagem PEDIDO de CONVERSÃO de ENDEREÇO (P_CONV_END).

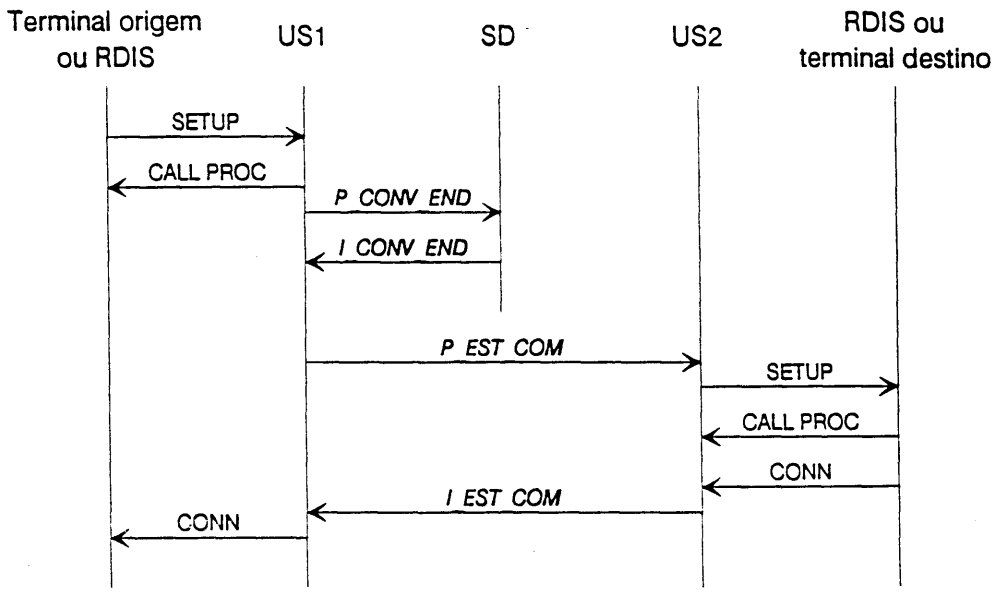
No caso de *en-bloc sending* a mensagem P_CONV_END deverá conter o EIPb *Called Party Number*, reproduzido da mensagem SETUP, o qual inclui o tipo de plano de numeração utilizado e o número do destinatário. No caso de *overlap sending* a US1 deverá efectuar a interpretação da informação

recebida nos *Information Elements* (IEs) de tipo *Keypad* das sucessivas mensagens INFORMATION recebidas do equipamento terminal origem, gerando, logo que finalizada essa sequência pela mensagem CALL PROCEDING, a mensagem P_CONV_END dirigida ao SD, contendo o EIPb *Called Party Number* construído com base nos dados recebidos do terminal.

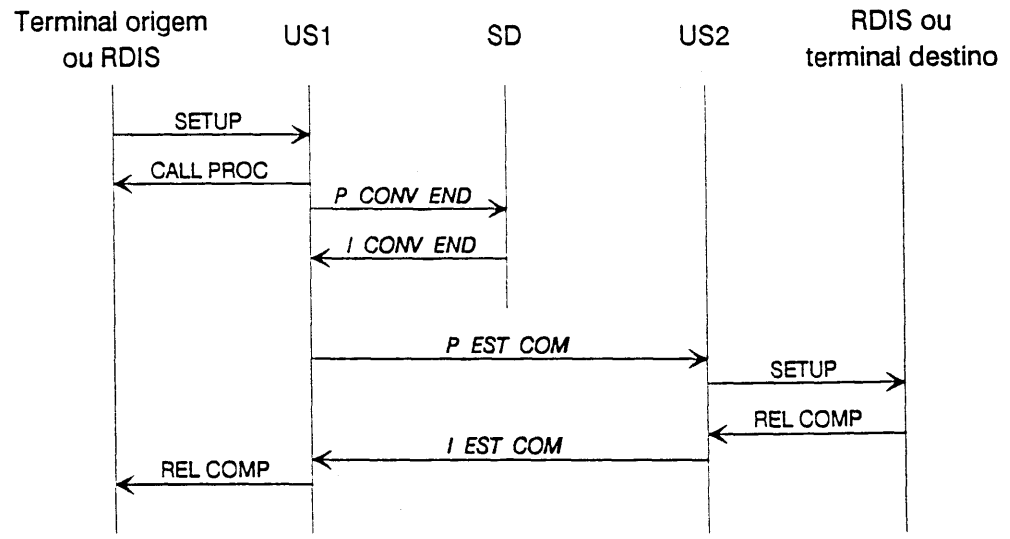
Como resposta à mensagem P_CONV_END o SD enviará a mensagem INDICAÇÃO de CONVERSÃO de ENDEREÇO (I_CONV_END), da qual constará o EIPv Endereço Interno, que indica o endereço interno relativo ao destinatário da comunicação.

Baseando-se neste endereço, a US1 enviará à US da interface de acesso ao destinatário (US2) a mensagem PEDIDO DE ESTABELECIMENTO de COMUNICAÇÃO (P_EST_COM), na qual incluirá os EIPbs e EIPvs necessários à geração da mensagem SETUP que a US2 colocará na interface destino, caso exista um canal B disponível para vir a suportar a comunicação. Dos EIPbs da mensagem deverão constar todos os EIs da mensagem SETUP submetida pelo terminal origem, bem como o EIPb Called Party Number gerado pela US1 no caso de *overlap sending.* A mensagem P_EST_COM deve ainda conter o EIPv Endereço de Dados, que indica à US2 o endereço da UDB reservada na interface origem para suporte da transferência de informação.

Caso o procedimento de estabelecimento da comunicação na interface destino seja bem sucedido, a US2 enviará à US1 a mensagem INDICAÇÃO de ESTABELECIMENTO de COMUNICAÇÃO (I_EST_COM), contendo o EIPv Endereço de Dados, que informa a US1 do endereço da UDB da interface destino destinada à comunicação, bem como os EIPbs incluídos na mensagem CONNECT gerada pelo destinatário. Estes EIPbs serão utilizados pela US1 na mensagem CONNECT a transmitir para a interface origem, indicativa da comunicação ter sido estabelecida.



a) Estabelecimento bem sucedido.



b) Estabelecimento rejeitado.

Fig. 5.13: Estabelecimento de uma chamada em modo circuito.

No caso do destinatário declarar, através da mensagem RELEASE COMPLETE, rejeitar o estabelecimento da comunicação, a US2 enviará à US1 a mensagem I_EST_COM contendo os EIPbs utilizados na mensagem

RELEASE COMPLETE, que, por sua vez, serão reproduzidos em idêntica mensagem a transmitir para a interface origem.

No caso de não existir, por parte do destinatário, resposta atempada à mensagem SETUP, a US2 enviará à US1 uma mensagem I_EST_COM, contendo o EIPb Cause, indicativo da razão do não estabelecimento da comunicação. Este EIPb será utilizado como EI da mensagem DISCONNECT com que a US1 iniciará o procedimento de terminação relativo ao pedido de estabelecimento de comunicação solicitado pela interface origem.

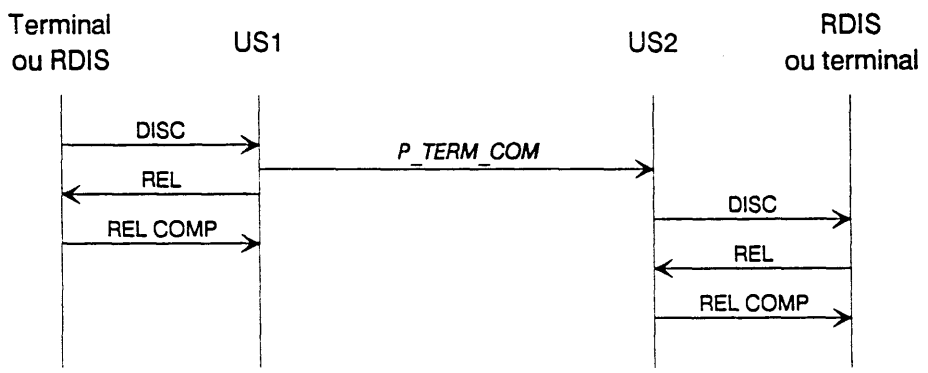


Fig. 5.14: Terminação de uma comunicação em modo circuito.

No caso da comunicação ter sido estabelecida, a transferência de informação entre UDBs processar-se-á até que (fig. 5.14) seja executado o procedimento de terminação de chamada numa das interfaces intervenientes, o qual é iniciado pela mensagem DISCONNECT. A US da interface na qual se verificou a ocorrência da mensagem deverá enviar à outra US a mensagem PEDIDO de TERMINAÇÃO de COMUNICAÇÃO (P_TERM_COM), da qual constarão os EIPbs da mensagem DISCONNECT originadora do processo de terminação. Estes EIs serão utilizados na composição da mensagem DISCONNECT a submeter à outra interface.

5.5.1.2 Facilidades suplementares

Nos parágrafos seguintes são descritos os procedimentos protocolares relativos à execução das facilidades suplementares de Transferência de Chamada, Suspensão de Chamada e Conferência Tripartida de Voz.

Na descrição assume-se que a evocação das facilidades é feita com base no método de protocolo funcional descrito na Recomendação Q.932, no qual são utilizadas as mensagens descritas em 3.2.3. A utilização dos métodos alternativos *Keypad* ou *Feature* só tem influência no que respeita à sinalização entre o subscriptor e a US da interface a que está ligado, mantendo-se válidos os procedimentos do PIS descritos.

5.5.1.2.1 Suspensão de Chamada

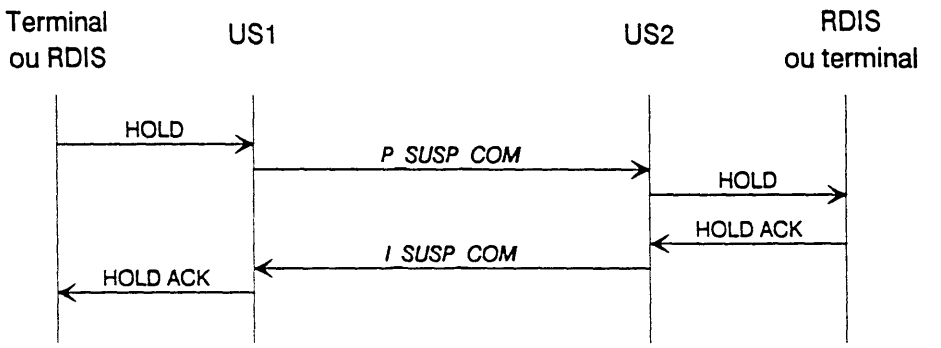
A facilidade suplementar de Suspensão de Chamada permite que um terminal envolvido numa comunicação interrompa, até indicação em contrário, o fluxo de informação entre os terminais intervenientes.

A evocação desta facilidade por um terminal é executada segundo os procedimentos descritos na norma Q.932, envolvendo um conjunto específico de mensagens HOLD e RETRIEVE.

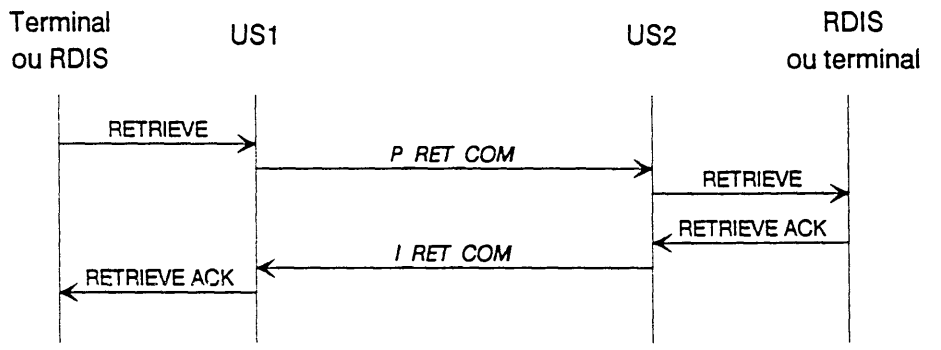
Do ponto de vista da sinalização entre USs (fig. 5.15), a suspensão de chamada envolve duas mensagens: PEDIDO de SUSPENSÃO de COMUNICAÇÃO (P_SUSP_COM) e INDICAÇÃO de SUSPENSÃO de COMUNICAÇÃO (I_SUSP_COM).

A primeira mensagem indica que a US2 deve interromper o procedimento de transferência de informação dirigida à interface onde ocorreu a mensagem HOLD. Em resposta a esta mensagem a US2 deverá

comunicar à US1 já ter sido suspensa a comunicação, utilizando, para este efeito, a mensagem INDICAÇÃO de SUSPENSÃO da COMUNICAÇÃO (I_SUSP_COM).



a) Suspensão de chamada.



b) Retoma de chamada.

Fig. 5.15: Procedimento relativo a uma Suspensão de Chamada.

Para que uma comunicação suspensa seja retomada, a entidade responsável pela suspensão deverá gerar a mensagem RETRIEVE. Com base neste evento a US1 deverá endereçar à US2 a mensagem PIS PEDIDO de RETOMA da COMUNICAÇÃO (P_RET_COM), de cuja recepção será notificada pela mensagem INDICAÇÃO de RETOMA da COMUNICAÇÃO (I_RET_COM) que lhe será enviada pela US2. A US1 confirmará que a comunicação foi retomada transmitindo a mensagem Q.932 RETRIEVE ACK.

A identificação da comunicação a que se referem as diferentes

mensagens PIS envolvidas neste procedimento é feita através da reprodução, em todas as restantes mensagens, do valor do EI Número de Referência da Mensagem utilizado na mensagem P_SUSP_COM inicial.

5.5.1.2.2 Transferência de Chamada

A facilidade de Transferência de Chamada pode ser executada segundo três formas alternativas descritas na Rec I.252 [CCIT88N], que se distinguem pelo estado que assume a comunicação original, bem como pela forma de intervenção do utilizador que solicitou a operação de transferência. Na descrição que se segue assume-se que o procedimento utilizado corresponde ao designado na referida Recomendação por procedimento normal. Por uma questão de simplicidade de exposição só é considerada a transferência de chamada entre subscriptores locais.

No cenário de transferência normal um utilizador A transforma uma comunicação estabelecida com B numa comunicação entre B e C, executando as seguintes acções:

- A indica que pretende efectuar uma transferência de chamada através do IE *Facility*. O ISPBX deverá colocar a comunicação entre A e B na situação de chamada suspensa, isto é, deverá ser interrompida a transferência de informação entre A e B, sem que, no entanto, os recursos envolvidos na chamada sejam libertados.
- A executa o procedimento de estabelecimento de comunicação em modo circuito dirigido a C. Caso a chamada seja estabelecida a transferência será efectivada logo que solicitada por A através do IE *Facility*, sendo a ligação entre A e B definitivamente terminada. No caso

da chamada entre A e C não ser estabelecida, A será notificado desse facto, devendo o ISPBX reactivar a comunicação entre A e B.

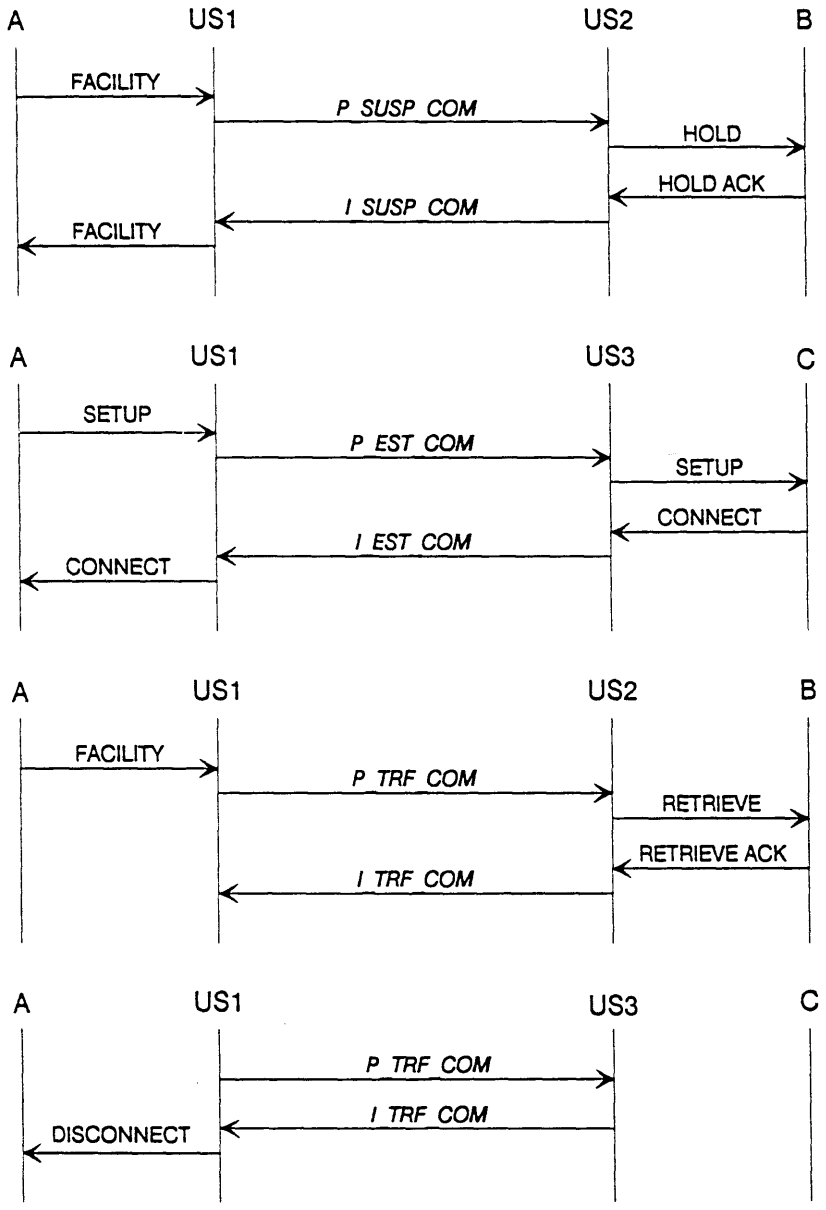


Fig. 5.16: Procedimento referente a uma Transferência de Chamada

Quando A solicita a transferência da chamada (fig. 5.16), a US da interface a que está ligado (US1) deverá executar o procedimento de suspensão de chamada, de acordo com o procedimento PIS descrito no

parágrafo anterior.

Quando A solicitar, depois de estabelecida a comunicação com C, que a transferência seja completada, a US de A deverá enviar à US de B a mensagem PEDIDO de TRANSFERÊNCIA de COMUNICAÇÃO (P_TRF_COM), indicando no EIPv Endereço de Dados o endereço interno de C determinado no decurso do processo de estabelecimento da comunicação entre A e C. Idêntico procedimento deverá ser efectuado em relação à US de C, comunicando-lhe o endereço interno de B. A aceitação da transferência será sinalizada pela US2 através do envio à US1 da mensagem I_TRF_COM.

Depois de executado este procedimento a US1 libertará todos os recursos até aí envolvidos, procedendo à operação de terminação de chamada em relação ao subscriptor A.

A comunicação entre B e C reger-se-á, então, pelos procedimentos protocolares habituais numa chamada em modo circuito.

5.5.1.2.3 Conferência Tripartida de Voz

Uma Conferência Tripartida de Voz pode ser estabelecida por solicitação de qualquer um dos intervenientes de uma comunicação activa.

Quando uma US (US1) é solicitada para estabelecer uma conferência, deverá solicitar ao SD o endereço interno do Servidor de Conferência Tripartida de Voz, utilizando a mensagem P_CONV_END contendo o EIPv SCTV (fig. 5.17).

A US1 deverá, então, enviar à US do SCTV a mensagem PEDIDO de RESERVA de RECURSOS (P_RES_REC), solicitando-lhe que, caso exista disponibilidade, reserve os recursos no SCTV necessários ao eventual estabelecimento de uma conferência. O SCTV responderá à US1 com a

mensagem INDICAÇÃO de RESERVA de RECURSOS, comunicando-lhe se a reserva foi, ou não, efectuada. Em caso afirmativo a US do SCTV incluirá na mensagem I_RES_REC três EIPvs de tipo Endereço de Dados contendo os endereços das UDBs destinadas a virem a suportar a conferência.

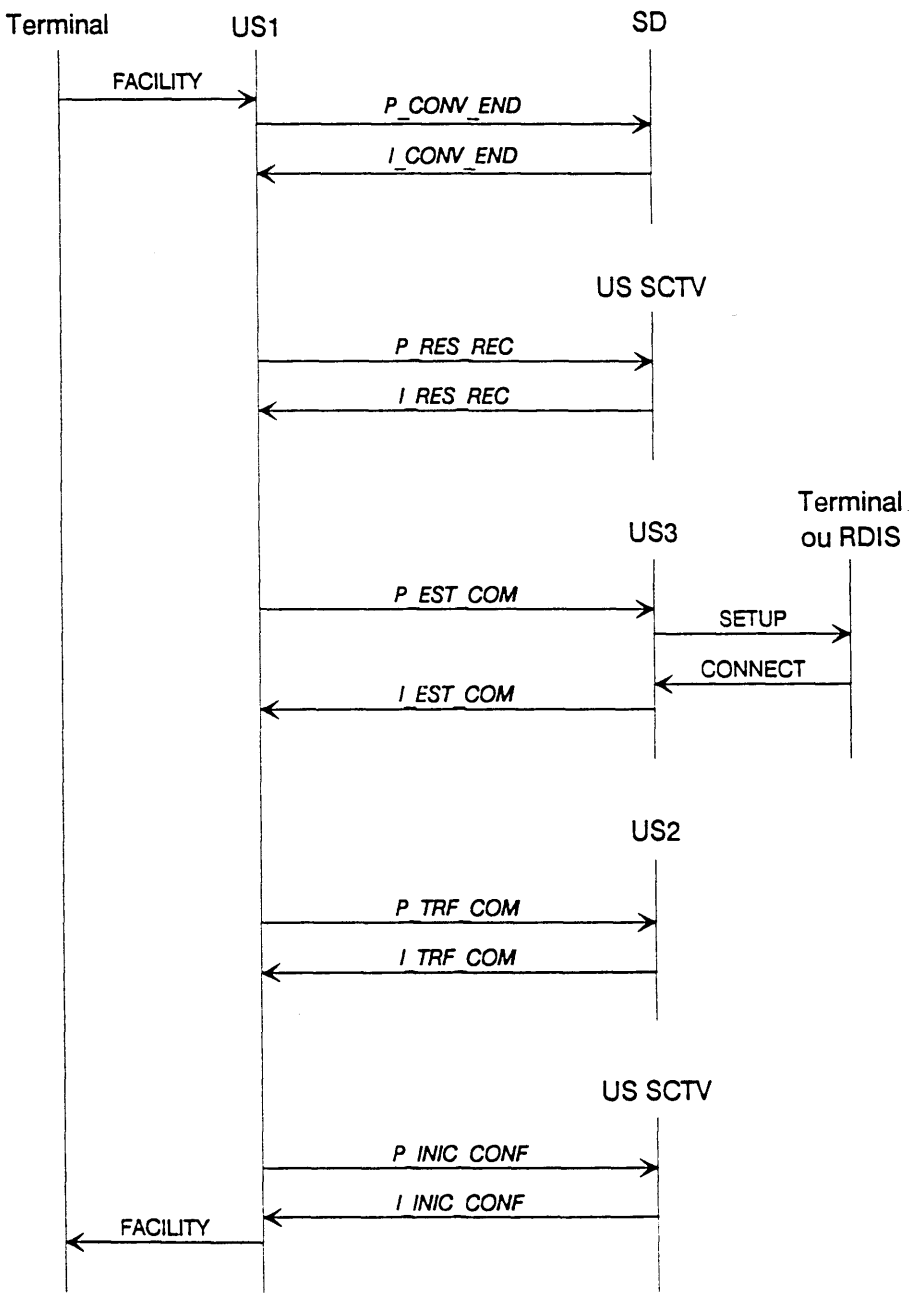


Fig. 5.17: Procedimento de estabelecimento de uma Conferência Tripartida de Voz.

Em caso negativo a mensagem I_RES_REC deverá incluír o EIPv RECURSOS INDISPONÍVEIS, o que motivará a rejeição do pedido de estabelecimento da conferência.

Se a resposta do SCTV permitir o prosseguimento do processo de estabelecimento da conferência, a US1 deverá executar o procedimento de estabelecimento de chamada dirigido ao terceiro interveniente, cujo endereço foi comunicado durante o processo de evocação desta facilidade suplementar pelo terminal que a solicitou. No entanto, o EIPv Endereço de Dados da mensagem P_EST_COM deverá conter o endereço de uma das UDBs reservadas no SCTV.

Caso o terceiro interveniente se tenha manifestado disponível para aceitar a comunicação, a US1 deverá enviar à US2 a mensagem P_TRF_COM, indicando, como endereço de dados a utilizar, o endereço de outra das UDBs do SCTV.

Depois de efectuadas estas operações, a US1 deverá enviar ao SCTV a mensagem PEDIDO de INÍCIO de CONFERÊNCIA (P_INIC_CONF), indicando que a conferência foi estabelecida. Esta mensagem deverá incluír três EIPvs Endereços de Dados, através dos quais a US1 definirá os endereços das UDBs destinatárias da informação processada no SCTV. A associação destes endereços com os endereços das UDBs receptoras do SCTV poderá ser baseada na ordem pela qual os EIPvs foram declarados nas mensagens I_RES_REC e P_INIC_CONF.

A terminação de uma conferência pode ser solicitada por qualquer um dos intervenientes. No entanto, a condução do processo deverá ser sempre da responsabilidade da US1.

A terminação de uma conferência implica três procedimentos complementares (fig 5.18): declaração de abandono da conferência, redirecionamento da transferência de informação entre os interlocutores

restantes, e libertação dos recursos do SCTV.

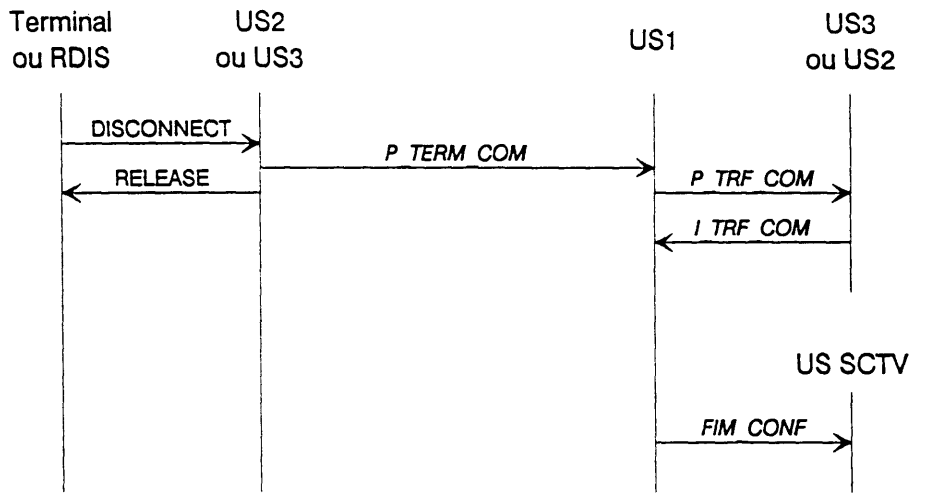


Fig. 5.18: Procedimento de terminação de uma Conferência Tripartida de Voz.

A declaração de abandono da conferência só terá lugar no caso do abandono ter sido solicitado por um interlocutor que não o que solicitou o estabelecimento da conferência. A respectiva US deverá enviar à US1 a mensagem P_TERM_COM, comunicando-lhe o abandono, desenrolando-se, em seguida, os restantes procedimento de fim de conferência. No caso do abandono ser solicitado pelo terminal que a estabeleceu, não há declaração explicita de abandono, estando este implícito no processo de redireccionamento executado pela US1.

O redireccionamento deverá ser executado com base na mensagem P_TRF_COM, a qual deverá incluír os EIPvs adequados. No caso do interveniente que abandona a conferência ser o subscriptor que a solicitou, a US1 deverá incluír nas mensagens P_TRF_COM que enviar às restantes duas USs, um EIPv Endereço de Sinalização comunicando a cada US o endereço da outra, bem como os correspondentes EIPvs Endereço de Dados. Caso o abandono seja de outro subscriptor a US1 deverá enviar ao subscriptor

restante a mensagem P_TRF_COM com o EIPv Endereço de Dados contendo o novo endereço de dados a utilizar.

A libertação do SCTV será efectuada pela US1, que enviará à US do SCTV a mensagem FIM de CONFERÊNCIA (FIM_CONF).

5.5.2 Comunicações em modo pacote

As comunicações em modo pacote de tipo X.25 podem ser efectuadas com suporte em canal B ou em canal D, sendo suportadas pelo SX.25 de acordo com os cenários descritos na Recomendação X.31 sob a designação *Case B*.

5.5.2.1 Comunicações X.25 entre DTEs locais

Em comunicações X.25 entre DTEs locais, quer sejam suportadas em canal B ou D, o SX.25 actua como comutador X.25, executando quer os procedimentos X.25 adequados à comunicação com cada um dos DTEs, quer os relacionados com o encaminhamento dos pacotes entre DTEs.

No que respeita à função comutação, o SX.25 é responsável pela atribuição dos *Logical Channel Identifiers* (LCIs) a utilizar pelos DTEs chamados, executando o encaminhamento dos pacotes subsequentes de acordo com os LCIs relativos a cada ligação virtual estabelecida.

5.5.2.1.1 Comunicações sobre Canal B

As comunicações baseadas em canal B envolvem duas ligações em

modo circuito: uma entre o DTE chamador e o SX.25, e outra entre o SX.25 e o DTE chamado. Os procedimentos de sinalização internos a executar pelas USs associadas aos DTEs são os descritos em 5.1.

Enquanto que (fig. 5.19) a ligação entre o DTE chamador e o SX.25 é solicitada pelo DTE, a ligação entre o SX.25 e o DTE chamado é efectuada pelo SX.25 com base no endereço X.25 (X.121) fornecido pelo DTE chamador no pacote X.25 que inicia a comunicação sobre o canal B (X.25 Call Request).

Uma chamada deste tipo estará activa até que um dos DTEs execute o procedimento do protocolo Canal D para terminação de chamada. Quando isso acontecer o SX.25 iniciará idêntico procedimento para a outra ligação.

A transmissão da informação sobre o canal B deverá ser efectuada em tramas LAPB, de acordo com os procedimentos de *rate adaption* definidos nas Recomendações I.460/I.461 (X.30).

5.5.2.1.2 Comunicações sobre Canal D

Nas comunicações X.25 sobre canal D não são utilizados os procedimentos de sinalização do protocolo canal D. Estas comunicações, suportadas em LAPD, são identificadas por corresponderem a pacotes LAPD com SAPI=16. Todos os pacotes com esta característica são encaminhados pelas USs para o SX.25, que executará os procedimentos X.25 adequados a cada pacote. A transferência dos pacotes da US origem para a US do SX.25 é efectuada em mensagens PIS de tipo INFOrmação.

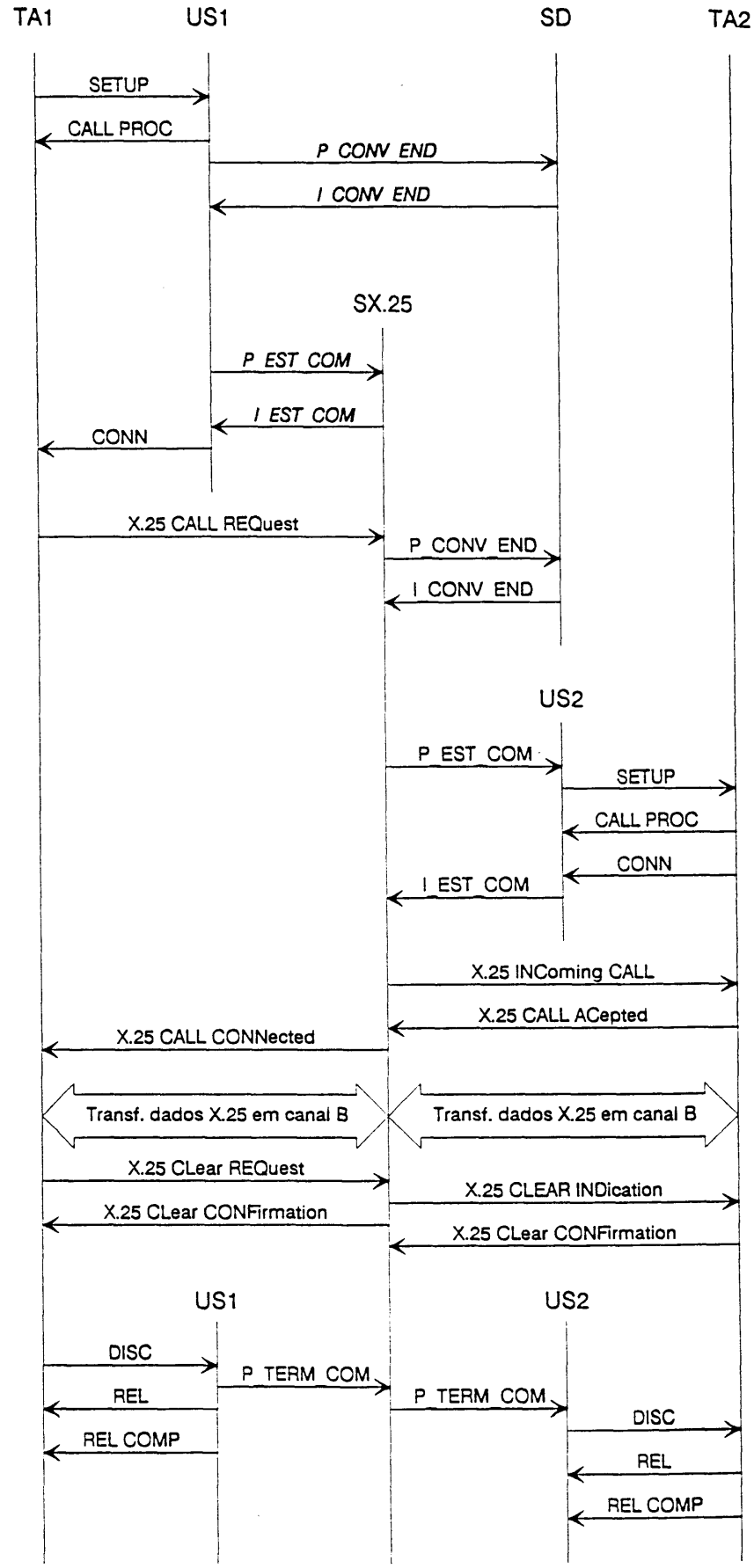


Fig. 5.19: Procedimento para comunicações X.25 sobre canal B entre DTEs locais.

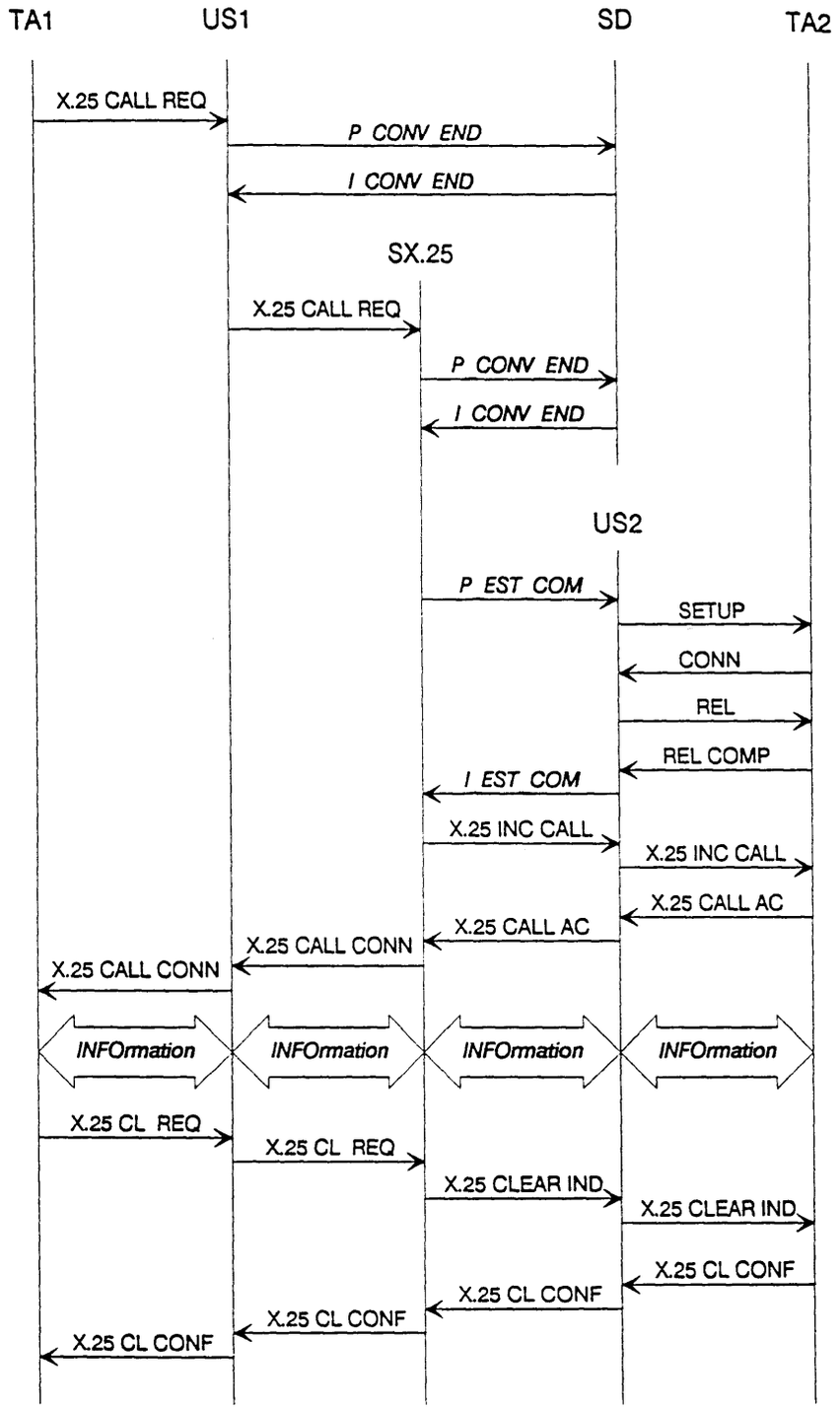


Fig. 5.20: Procedimento para comunicações X.25 sobre canal D entre DTEs locais.

Após receber um pacote X.25 Call Request (fig. 5.20), o SX.25 solicita ao SD a conversão, para endereços internos, dos endereços X.121 dos DTEs origem e destino . No caso do resultado da conversão indicar que ambos os

DTEs são locais, o SX.25 solicita à US da interface do destinatário (US2) a execução do procedimento de estabelecimento de uma ligação em modo pacote com o destinatário, tendo por objectivo apenas identificar o TEI do DTE destinatário. Para este efeito a US do SX.25 envia à US2 a mensagem P_EST_COM, incluindo o EIPv Modo Pacote. Como resposta a esta mensagem, e depois de identificar o TEI a utilizar, a US2 enviará à US do SX.25 a mensagem I_EST_COM, contendo o TEI do destinatário no EIPv TEI.

De posse do TEI, o SX.25 assume o papel de comutador X.25 de forma idêntica à descrita para as comunicações sobre canal B entre DTEs X.25 locais. No entanto, neste caso das comunicações X.25 sobre canal D, o fluxo de informação é suportado por UDDs.

5.5.2.2 Comunicações X.25 sobre canal D entre um DTE local e um DTE remoto

No caso da conversão de endereços solicitada pelo SX.25 indicar que o DTE origem é local e que o destinatário é remoto (isto, acessível através da RDIS), o SX.25 assegura o encaminhamento dos pacotes entre as interfaces envolvidas na comunicação (tipicamente uma MAB e uma MAP), até que detecte o fim de execução do procedimento de terminação da comunicação X.25.

O SX.25 tem um papel similar no caso de se tratar de uma comunicação com origem na RDIS e destinada a um DTE local. No entanto, no início da comunicação, o SX.25 deverá solicitar à US da interface destino a identificação do TEI do destinatário, de forma similar à descrita para o caso da comunicação entre DTEs X.25 locais.

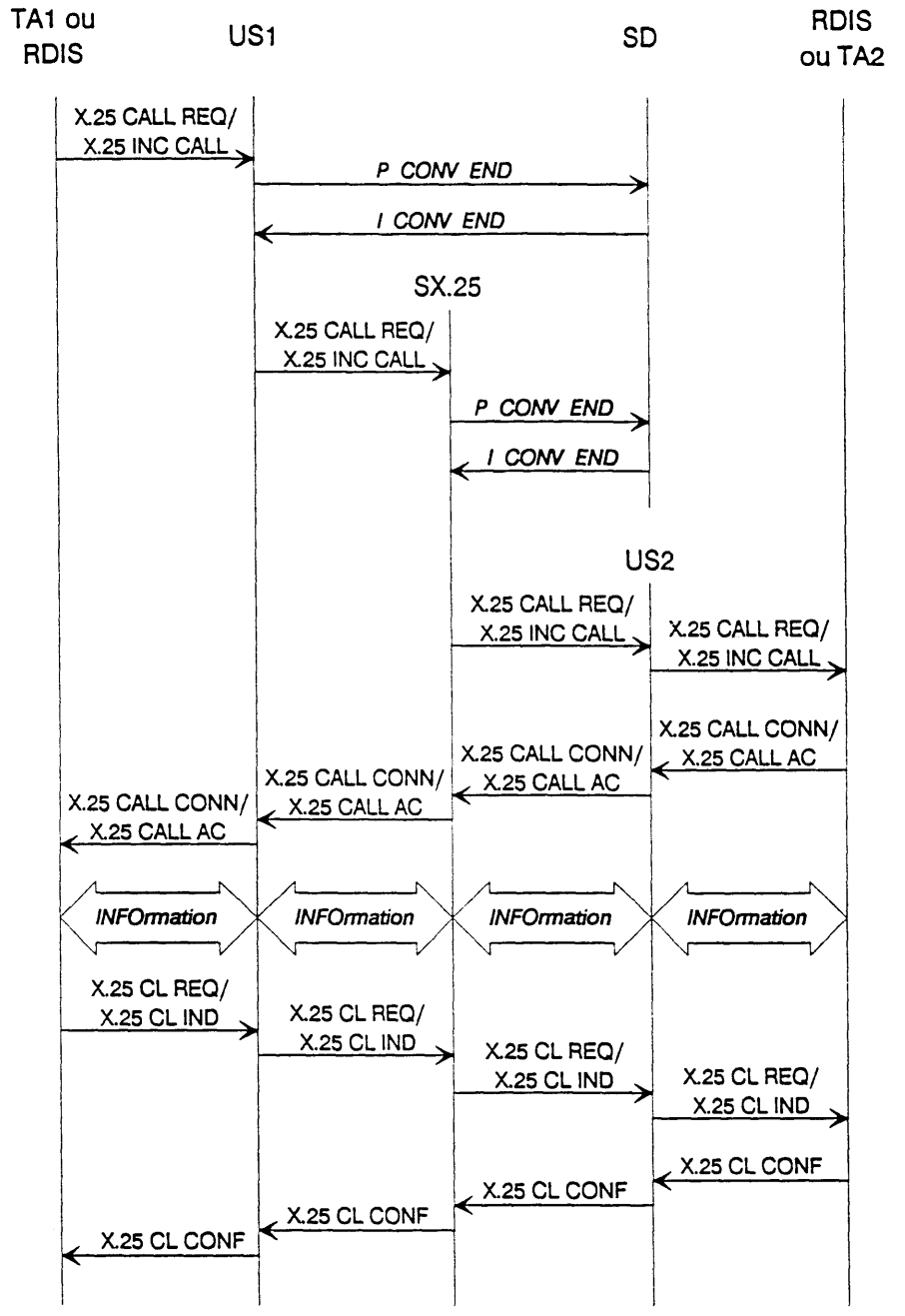


Fig. 21: Procedimento para comunicações X.25 sobre canal D entre um DTE local e um DTE remoto.

5.6 Conclusão

A arquitectura proposta para o ISPBX tem como característica particularmente interessante o facto de ter um elevado grau de modularidade,

dado que as múltiplas facilidades típicas de um ISPBX podem ser oferecidas com base num grupo reduzido de elementos e conceitos arquitectónicos.

Por outro lado, e com base num dado conjunto de módulos - Interfaces e Servidores, é possível construír sistemas com configurações muito diversas, adaptadas a necessidades específicas, distinguindo-se apenas pelos módulos que incluem.

Esta modularidade, aliada ao facto da técnica de comutação utilizada ser de tipo comutação de pacotes, o que potencia elevada eficiência na utilização de recursos, torna esta arquitectura susceptível de suportar com facilidade outro tipo de serviços e interfaces [RAMO88]. Esta característica permite, por exemplo, oferecer suporte a interfaces para a ligação de telefones analógicos, ou, ainda, interfaces de tipo RS-232, possibilitando a ligação de equipamentos com interfaces muito popularizadas.

Outros tipos de módulos que podem, com relativa facilidade, ser integrados no ISPBX são *bridges* para a interligação de redes locais, ou *gateways* para acesso à RDIS de sistemas ligados a essas redes. A referência a este tipo de interfaces é perfeitamente justificável pela grande difusão das redes locais, o que coloca a necessidade da existência de formas de comunicação entre sistemas desse tipo geograficamente distantes. A cobertura que a RDIS proporcionará permite-lhe perfigurar-se como infraestrutura de comunicação privilegiada também para este tipo de aplicação.

Uma outra aplicação que faz já sentido ser apontada como sendo interessante em ISPBXs, é o suporte à comunicação de mensagens de tipo X.400 [CCITT88O], que poderá, também, ser extendido ao suporte de transações EDI-*Electronic Data Interchange* [HILL90]. Para este efeito o ISPBX deverá ser dotado de um módulo de comutação de mensagens X.400 (MTA-*Message Transfer Agent*), destinado a executar os procedimentos

protocolares adequados à transferência das mensagens, quer entre os utilizadores e o MTA, quer entre MTAs.

O suporte às transações EDI pode conduzir à existência no ISPBX de um centro de compensação EDI, destinado a funcionar como entidade responsável pela recolha e armazenamento de informações sobre as transações EDI efectuadas, e disponibilizando dados que permitam, por exemplo, a arbitragem de conflitos entre utilizadores EDI.

O elevado grau de flexibilidade desta arquitectura permite, pois, oferecer uma característica que não é vulgar neste tipo de sistemas, que é a capacidade de evolução no tempo, em função do desenvolvimento de novos tipos de interfaces e serviços, com aproveitamento dos módulos existentes, dado que essa evolução se obtém adicionando os novos módulos adequados à aplicação pretendida.

Esta característica do ISPBX proposto permite que o sistema seja utilizado como um sistema de transição para ambiente RDIS, potenciando que os investimentos necessários à introdução desta nova tecnologia possam ser feitos de forma gradual. Deste aspecto resultam vantagens diversas, quer de carácter estritamente financeiro, quer de outro tipo, como, por exemplo, nos graus de liberdade que oferece na gestão da atitude de aceitação de uma nova tecnologia por futuros utilizadores.

Capítulo 6

ANÁLISE DE DESEMPENHO DO SISTEMA PROPOSTO

6.1. Introdução

Como em qualquer sistema, o desempenho global do ISPBX resulta da conjugação do comportamento dos diversos elementos do ISPBX que, em cada momento, contribuem para o seu funcionamento.

Nos parágrafos seguintes é apresentada a análise do desempenho do sistema proposto, sendo identificados os parâmetros com influência no desempenho e analisado o seu contributo qualitativo e quantitativo.

A análise contempla a discussão dos parâmetros que influenciam o desempenho em comunicações quer em modo circuito quer em modo pacote, que constituem, como vimos no capítulo anterior, os dois cenários base de funcionamento do ISPBX.

A avaliação do comportamento temporal do subsistema de comutação foi feita por recurso a simulação, sendo apresentados e discutidos os resultados obtidos com dois simuladores, nos quais são utilizados dois modelos de simulação alternativos.

6.2 Análise dos parâmetros com influência no desempenho

6.2.1. Comunicações em modo circuito

No que respeita a aspectos de desempenho, uma comunicação em modo circuito compreende duas fases distintas: a fase de estabelecimento da comunicação e a fase de transferência de informação.

No estabelecimento de uma comunicação o parâmetro que interessa analisar é o intervalo de tempo necessário para que a comunicação seja estabelecida, aspecto que é, como vimos, decisivo para a eficiência global em comunicações de muito curta duração. Já no que respeita à fase de transferência de informação o que é importante é o atraso a que a informação é sujeita, que não deverá atingir valores incompatíveis com as exigências dos serviços suportados.

Nos parágrafos seguintes são identificados e discutidos os aspectos que nestas duas fases influenciam o comportamento global do sistema.

6.2.1.1 Fase de estabelecimento da comunicação

No decurso da fase de estabelecimento de uma comunicação em modo circuito, as entidades do ISPBX envolvidas são as USs das interfaces origem e destino, o Servidor de Directório e o subsistema de comutação (fig. 6.1).

O tempo necessário para estabelecer uma comunicação (T_est_com) depende do tempo envolvido na conversão de endereço (T_cvend) e do tempo de duração do procedimento de sinalização entre as USs das

interfaces origem e destino (T_sin):

$$T_est_com = T_cvend + T_sin \quad (1)$$

Nos parágrafos seguintes vamos analisar os componentes que determinam o valor destes dois parâmetros que, por sua vez, definem o tempo de estabelecimento de uma comunicação em modo circuito.

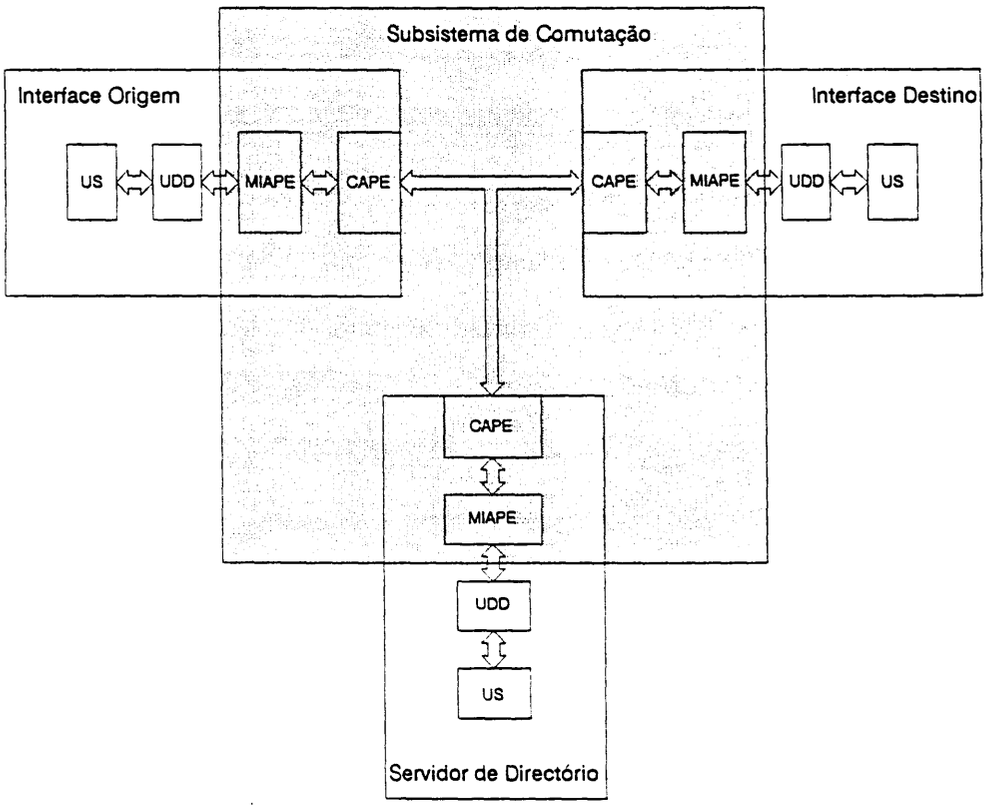


Fig. 6.1: Entidades do ISPBX envolvidas no estabelecimento de uma comunicação em modo circuito.

6.2.1.1.1 Conversão de endereço

O tempo de conversão de endereço (T_cvend) pode ser expresso por

$$T_cvend = T_gmsg1 + 2 * T_acesso + T_tx_msg1 + T_tx_msg2 + T_sd \quad (2)$$

em que:

T_gmsg1 é o intervalo de tempo que a US origem necessita para gerar a mensagem P_CONV_END dirigida ao SD,

T_acesso é o tempo de acesso ao subsistema de comutação, isto é, o intervalo de tempo que decorre entre o instante em que um pacote está pronto a ser transmitido e o instante em que se inicia a transmissão,

T_tx_msg1 e T_tx_msg2 são o tempo de transmissão, respectivamente, das mensagens P_CONV_END e I_CONV_END, entre os nós origem e destino.

T_sd, tempo de resposta do SD, é o tempo que o SD demora a executar a conversão de endereço, desde o momento em que recebe a mensagem P_CONV_END até a mensagem I_CONV_END estar pronta a ser transmitida.

Os valores de T_gmsg1 e T_sd dependem, essencialmente, da rapidez do processador que suporta o funcionamento da US de cada um desses módulos. A este respeito a tecnologia actual permite a utilização de processadores de elevada velocidade e baixo custo, capazes de assegurarem a execução de várias centenas de milhar de instruções por segundo (ex: processador INTEL 80188/186, 8 Mhz).

Considerando que a geração de uma mensagem de tipo P_CONV_END envolve, essencialmente, a movimentação de dados da memória do processador para a UDD, podemos considerar que o tempo médio envolvido na geração desta mensagem é

$$T_gmsg1 = Dim_msg1_med * T_trf_med \quad (3)$$

em que:

Dim_msg1_med é a dimensão média da mensagem P_CONV_END em *bytes*,

e

T_trf_med é o tempo médio de transferência de um byte entre duas localizações da memória do processador.

Num processador de tipo INTEL 80188/186 a 8Mhz [INTE85], uma operação de transferência de dados de tipo *memory-register-memory* demora, no máximo, cerca de 5 μs a ser executada (21 ciclos de clock). No entanto, e dado que a cada operação deste tipo estão associadas outras, nomeadamente relacionadas com processamento e controle de fluxo, o T_trf_med deverá ser considerado como o tempo médio efectivo de transferência de um *byte* entre duas localizações de memória.

Considerando, por exemplo, uma mensagem P_CONV_END com, por exemplo, 23 *bytes*, correspondentes a 5 *bytes* de cabeçalho PIS e 18 *bytes* relativos ao EIPb *Called Party Number* (1 de identificação do EI, 1 indicativo da dimensão do EI, 1 de identificação do plano de numeração e 15 dígitos de endereço), se T_trf_med = 10 μs a mensagem demorará cerca de 230 μs a ser gerada.

No que respeita ao tempo de acesso ao subsistema de comutação, T_acesso, o método de acesso utilizado permite determinar, para cada configuração, um valor máximo, visto que o acesso é atribuído aos diferentes nós por ordem sequêncial de endereços. Assim, o tempo máximo que o testemunho demora a ser atribuído a um canal é

$$T_acesso_max = N_canais * T_tx_max \quad (4)$$

em que N_canais é o número de canais (sinalização e informação) existentes na configuração considerada, e T_tx_max o tempo de transmissão de um pacote com a máxima dimensão permitida. Para um sistema com, por exemplo, 1000 canais, e em que T_tx_max=16 μs, o tempo de acesso é, no máximo, de 16 ms.

No entanto não é sensato considerar este valor como referência, dado que o tempo de acesso depende do volume de tráfego existente em cada instante. A análise, por simulação, de T_acesso para diferentes cenários de tráfego será apresentada num dos próximos parágrafos.

No que respeita ao tempo de transmissão de uma mensagem entre dois nós, T_tx_msg, o seu valor depende da dimensão da mensagem em bits (Dim_msg), e da configuração utilizada no subsistema de comutação, nomeadamente no que se refere aos parâmetros N_linhas-número de linhas do barramento de dados, e V_inst-velocidade do clock utilizado na transferência de dados (Hz).

Assim, o tempo de transmissão T_tx_msg pode ser expresso por

$$T_tx_msg = Dim_msg / (N_linhas * V_inst). \quad (5)$$

No que respeita ao tempo de resposta do SD, T_sd, os parâmetros determinantes são o tempo de consulta da tabela de conversão de endereços e o tempo de geração da mensagem de resposta I_CONV_END.

Relativamente à consulta da tabela de endereços, a utilização de um método de pesquisa binária conduz a um número máximo de operações de consulta de $(\log_2 N)+1$, em que N é o número de elementos da tabela [KNUT73]. Supondo uma tabela com 1000 pares de endereços

RDIS/endereços internos, uma pesquisa nesta tabela implica um máximo de 11 operações de comparação. Se cada endereço RDIS fôr constituído por 15 dígitos (15 *bytes*), a pesquisa da tabela significa um máximo de 165 operações de comparação de tipo *memory with register*.

Considerando, novamente, um processador de tipo 80188/186 a 8Mhz, estas operações podem ser realizadas em cerca de 206 μs, correspondentes a

$$165 \text{ operações} * 10 \text{ ciclos/operação} * 125 \text{ ns/ciclo} = 206.25\ \mu\text{s}. \quad (6)$$

Se admitirmos que este valor deve ser duplicado para contemplar o tempo necessário à execução de instruções de actualização de ponteiros, de control de fluxo e de leitura do endereço interno correspondente ao endereço RDIS pretendido, e contabilizando, ainda, da ordem de 80 μs relativos à geração da mensagem I_CONV_END (com uma dimensão típica de 8 *bytes*), podemos estabelecer o valor 500 μs como uma referência majorada aceitável para T_sd.

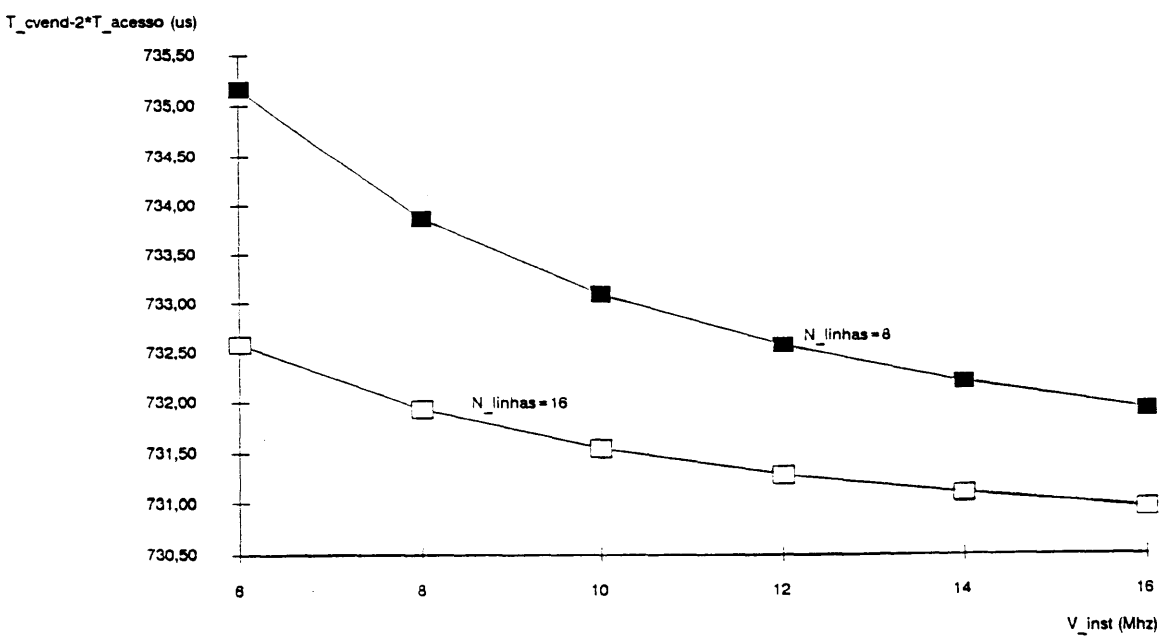


Fig. 6.2: Variação de T_cvend-2*T_acesso em função de N_linhas e V_inst.

A fig. 6.2 apresenta de forma gráfica a ordem de grandeza do valor T_cvend-2*T_acesso para diversas configurações no que respeita a N_linhas e V_inst, e para Dim_msg1_med=23 *bytes*, Dim_msg2_med=8 *bytes*, T_trf_med=10 μs e T_sd = 500 μs. As pouco expressivas variações que se constatam resultam da diminuta influência que os tempos de transmissão das mensagens têm em relação aos restantes parâmetros.

6.2.1.1.2 Procedimento de sinalização entre interfaces

O tempo necessário para a execução do procedimento de sinalização entre as interfaces de origem e destino envolvidas no estabelecimento de uma comunicação em modo circuito (T_sin), inclui o tempo relativo à geração e transmissão das mensagens P_EST_COM e I_EST_COM, bem como o tempo necessário para a execução dos protocolos entre a US destino e o interlocutor na interface de saída (TE local ou RDIS).

Este intervalo de tempo pode, assim, ser expresso por

$$T_sin = T_gmsg3 + T_gmsg4 + 2 * (T_acesso + T_tx) + T_dest, \qquad (7)$$

em que:

T_gmsg3 e T_gmsg4 representam, respectivamente, o tempo de geração das mensagens P_EST_COM e I_EST_COM,

T_tx é o tempo de transmissão de um pacote com dimensão igual à média das dimensões médias das mensagens P_EST_COM e I_EST_COM, e

T_dest é o tempo necessário à execução do procedimento de estabelecimento da comunicação na interface destino,

A mensagem P_EST_COM é constituída, essencialmente, pela mensagem SETUP do protocolo canal D recebida pela US da interface origem. A mensagem SETUP pode atingir uma dimensão máxima de 367 *bytes* no sentido *network ->user*, e de 322 *bytes* se fôr proveniente de um TE. No entanto, nem todos os *Informations Elements* estarão sempre presentes em todas as mensagens SETUP, pelo que é lícito supor que a dimensão média destas mensagens seja bastante inferior a estes valores máximos.

Considerando que a geração da mensagem P_EST_COM envolve, essencialmente, operações de transferência de dados da área de trabalho da memória do processador para a UDD, podemos concluir que

$$T_gmsg3 = Dim_msg3_med * T_trf_med, \tag{8}$$

em que Dim_msg3_med é a dimensão média da mensagem P_EST_COM.

Admitindo que a mensagem SETUP tem uma dimensão média de um terço da média dos valores máximos que a mensagem pode atingir em cada sentido, que o cabeçalho característico do PIS tem 5 *bytes*, e que o T_trf_med é de 10 μs, tem-se que, nestas condições, a ordem de grandeza de T_gmsg3 é de

$$T_gmsg3 = 120 * 10\ s = 1200\ \mu s. \tag{9}$$

A mensagem I_EST_COM destina-se, basicamente, a transportar a mensagem CONNECT do protocolo canal D, que tem uma dimensão máxima da ordem de 258 *bytes* no sentido *network->user*, e da ordem de 175 *bytes* no sentido *user->network*.

Atendendo a que, tal como em (8),

$$T_gmsg4 = Dim_msg4_med * T_trf_med, \quad (10)$$

e admitindo que a dimensão média da mensagem CONNECT é um terço da média das dimensões máximas que a mensagem pode assumir em cada sentido, pode-se concluír, de forma análoga a (9), que

$$T_gmsg4 = 77 * 10\ \mu s = 770\mu s \quad (11)$$

A aproximação de considerar como representativa da dimensão média das mensagens SETUP e CONNECT o valor de um terço da dimensão máxima que cada uma destas mensagens pode atingir em cada sentido resulta do facto desses valores máximos serem fortemente influenciados pelos Elementos de Informação facultativos *Display* e *User-user*, que pela sua natureza não estarão normalmente presentes em todas as mensagens destes tipos, e que podem assumir a dimensão máxima de, respectivamente, 82 e 131 *bytes.*

O valor T_dest pode assumir ordens de grandeza distintas consoante a comunicação tenha um destinatário local ou remoto. No primeiro caso é de admitir que o valor possa ser francamente inferior ao caso em que o destinatário é remoto, visto que não há intervenção da RDIS.

A fig. 6.3 exprime graficamente a pouco expressiva dependência que T_sin apresenta em relação aos parâmetros V_inst e N_linhas, considerando-se no gráfico os valores de T_gmsg3 e T_gmsg4 indicados, respectivamente, em (9) e (11). Como se pode constatar o que é factor decisivo para T_sin é o tempo de geração das mensagens PIS, e não o tempo envolvido na transmissão dessas mensagens entre USs.

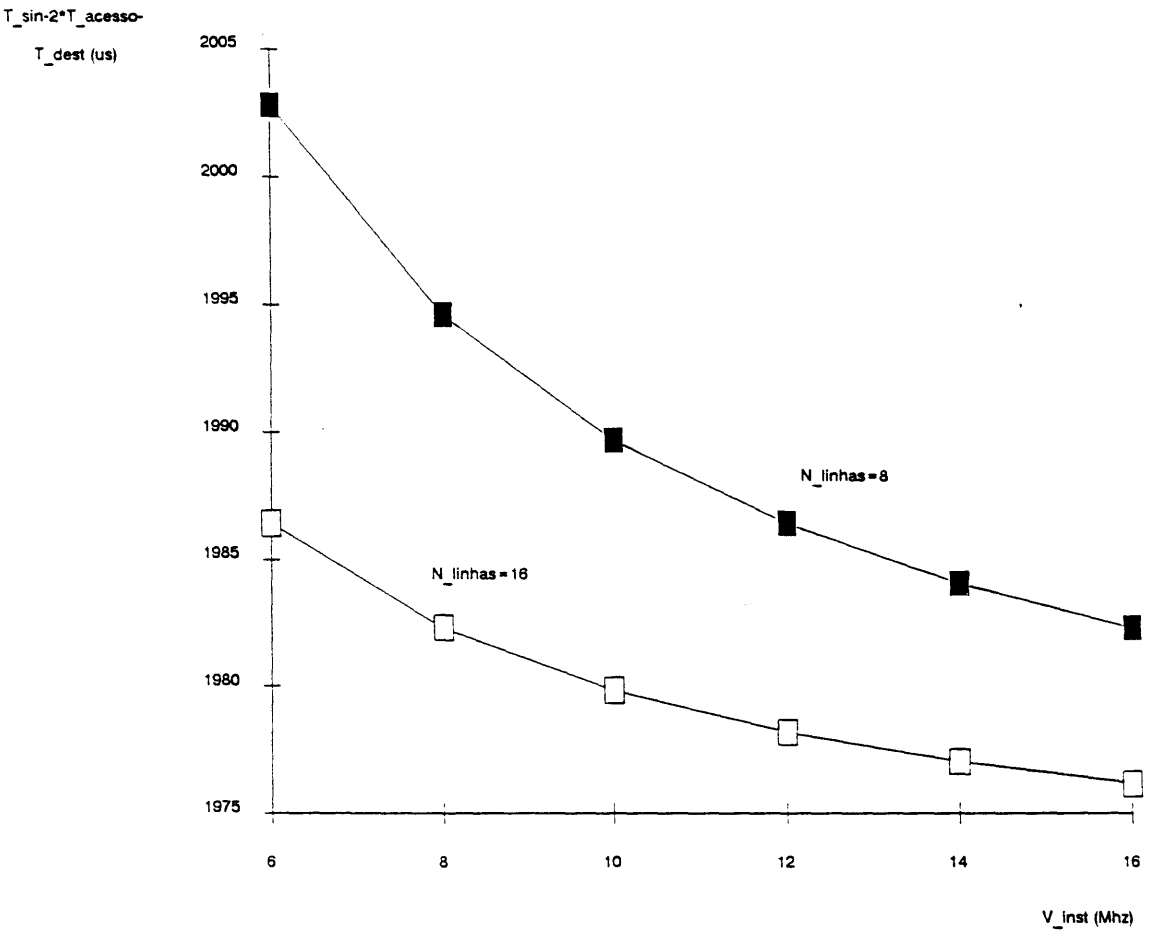


Fig. 6.3: Dependência de T_sin-2*T_acesso-T_dest de V_inst e N_linhas.

6.2.1.2 Fase de transferência de informação

A fase de transferência de informação numa comunicação em modo circuito envolve os procedimentos de empacotamento e desempacotamento, e de transmissão dos pacotes entre nós. Os elementos de arquitectura que influenciam o desempenho do sistema são as UACs e UDBs das interfaces origem e destino e o subsistema de comutação (fig. 6.4).

Assim, o intervalo de tempo que decorre desde que um *byte*, que constitui o elemento básico de informação, é transferido da UAC para a UDB da interface origem, até que é transferido da UDB para a UAC da interface

destino (T_at_info), é:

$$T_at_info = Dim_pacote * 125\mu s + T_acesso + T_tx_max \quad (12)$$

ou, atendendo a que $Dim_pacote * 125\mu s >> T_tx_max$

$$T_at_info = Dim_pacote * 125\mu s + T_acesso \quad (13)$$

em que Dim_pacote*125μs exprime o somatório dos atrasos a que um *byte* é sujeito no empacotamento e no desempacotamento. Na fig. 6.5 são apresentados valores de T_at_info-T_acesso em função da dimensão dos pacotes de informação.

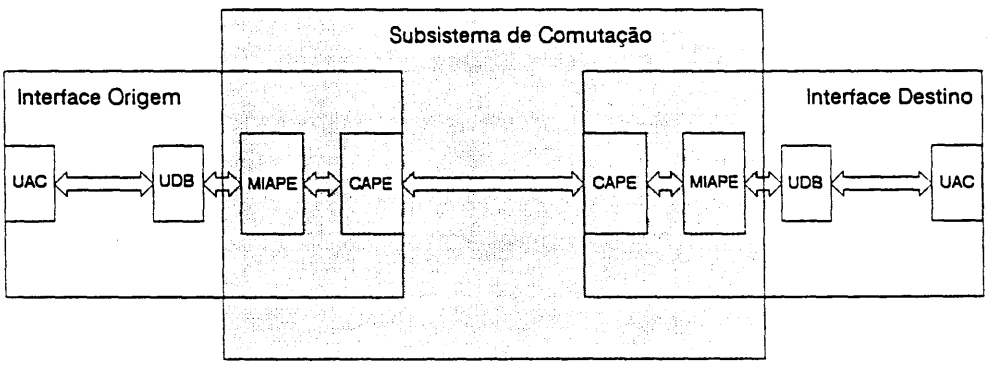


Fig. 6.4: Entidades do ISPBX com influência no processo de transferência de informação numa comunicação em modo circuito.

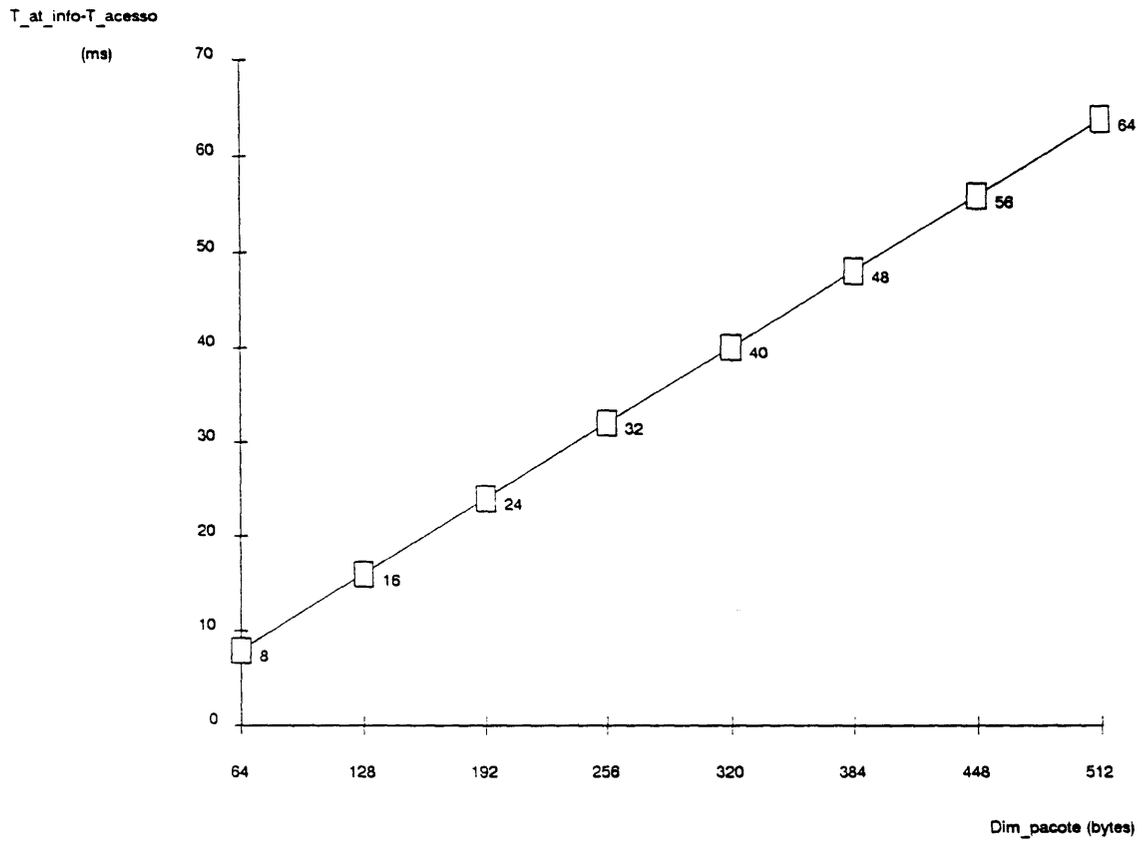


Fig. 6.5: Variação de T_at_info-T_acesso em função de Dim_pacote.

6.2.2 Comunicações em modo pacote

Como foi descrito no Capítulo 5, as comunicações X.25 podem ser efectuadas com base em diferentes cenários que se distinguem, basicamente, por serem suportadas em modo circuito sobre canal B, ou através da facilidade de transferência em modo pacote sobre canal D. Dado que estes cenários são distintos, os parâmetros que influenciam o comportamento temporal de comunicações de cada um desses tipos são, também, diferentes.

Os parágrafos seguintes abordam esta questão, sendo considerados os diferentes cenários cujos procedimentos protocolares foram pormenorizadamente descritos no capítulo anterior: comunicações X.25 entre

DTEs locais suportadas em canal B ou D, e comunicações sobre canal D entre um DTE local e um DTE remoto.

6.2.2.1 Comunicações entre DTEs X.25 locais

6.2.2.1.1 Comunicações sobre Canal B

As comunicações em modo pacote entre terminais X.25 locais suportadas em Canal B são operadas por intermédio de duas ligações em modo circuito, estabelecidas entre cada uma das interfaces envolvidas e o SX.25.

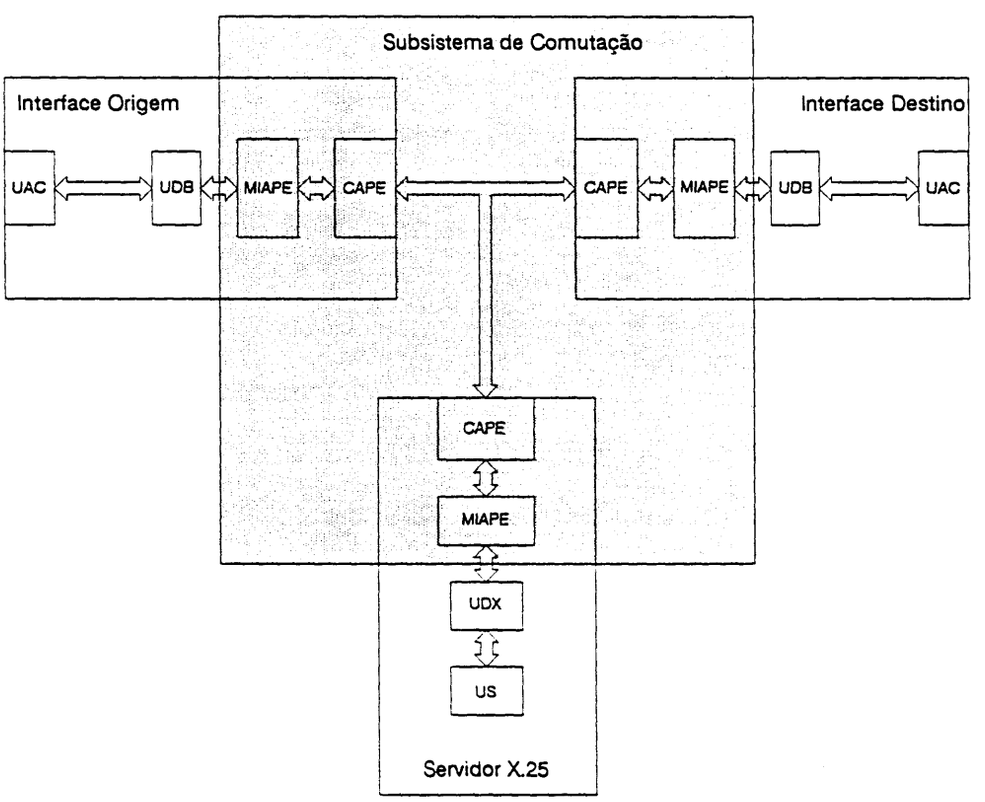


Fig. 6.6: Entidades do ISPBX envolvidas numa comunicação entre DTEs X.25 locais, suportada em canal B.

As entidades do ISPBX responsáveis por assegurar este tipo de comunicações são as interfaces origem e destino, o SD e o SX.25 (fig. 6.6).

Do ponto de vista de desempenho cada uma destas ligações comporta-se de forma análoga ao descrito em 6.2.1. Desta forma, o tempo de estabelecimento de uma comunicação deste tipo será o somatório dos tempo de estabelecimento de cada uma das ligações individuais. No que respeita ao atraso a que a informação é sujeita na fase de transferência de informação, o seu valor pode ser expresso por

$$T_at_info = Dim_pacote * 125\mu s + 2 * T_acesso + 2 * T_tx_max + T_proc \qquad (14)$$

em que T_proc é o tempo que o SX.25 demora a efectuar o processamento de cada pacote recebido, que consiste na identificação, a partir do LCI do pacote recebido, do endereço da UDB da interface destino, e da alteração do LCI do pacote para o valor atribuído ao canal destinatário.

Dada a relativa simplicidade das operações de processamento executadas pelo SX.25 para cada pacote, podemos considerar que o factor com significado efectivo em T_at_info é o relativo ao atraso de empacotamento e desempacotamento nas interfaces origem e destino.

6.2.2.1.2 Comunicações sobre Canal D

Nas comunicações X.25 entre DTEs locais suportadas em Canal D, os pacotes X.25 são transferidos da interface origem para o SX.25 e deste para a interface destino em mensagens PIS de tipo INFOrmação. O papel do SX.25 consiste na identificação do tipo de mensagem PIS, e, tal como no caso das comunicações suportadas em Canal B, da identificação da UDB destino e da

alteração do LCI do pacote X.25.

Atendendo à similitude das operações é de admitir que os componentes que contribuem para o atraso a que a informação é sujeita sejam idênticos aos de (14). Logo, para um canal D a 64 kbit/s ter-se-á

$$T_at_info = Dim_pacote * 125\mu s + 2 * T_acesso + 2 * T_tx_max + T_proc \quad (15)$$

e para um canal D a 16 kbit/s

$$T_at_info = Dim_pacote * 500\mu s + 2 * T_acesso + 2 * T_tx_max + T_proc. \quad (16)$$

6.2.2.2 Comunicações X.25 sobre Canal D entre um DTE local e um DTE remoto

As comunicações X.25 sobre Canal D entre um DTE local e um DTE remoto são, no que respeita aos factores determinantes no desempenho ao nível do ISPBX, idênticas às comunicações entre DTEs locais. A diferença essencial entre os dois cenários reside no facto de, neste caso, o SX.25 executar apenas o encaminhamento do pacote PIS para a interface destino, não sendo efectuada a alteração do LCI do pacote X.25.

6.3 Estudo do desempenho do subsistema de comutação

Como salientamos em 6.2, o tempo de acesso ao subsistema de comutação (T_acesso) é um parâmetro decisivo no desempenho do ISPBX,

mas cuja influência efectiva depende das características do tráfego existente em cada instante.

Por esta razão só faz sentido avaliar T_acesso em função de cenários de utilização específicos, nomeadamente no que respeita à caracterização estatística do tráfego considerado em cada cenário.

O estudo de desempenho em seguida apresentado foi suportado em dois programas de simulação dedicados, que designaremos, por ordem cronológica de desenvolvimento, Simulador I e Simulador II.

6.3.1 Simulador I

O Simulador I (Anexo B) foi desenvolvido com o propósito de permitir avaliar de forma rápida a ordem de grandeza dos tempos de acesso ao subsistema de comutação num cenário constituído por tráfego síncrono de 64 kbit/s, com comportamento estatístico de tipo Poisson, isto é, tráfego de voz típico.

Neste simulador foi utilizado um modelo de simulação aproximado que permite obter majorantes do tempo de acesso, mas em que os tempos de execução do simulador são da ordem de alguns minutos.

No modelo utilizado considera-se que o funcionamento do subsistema de comutação é equivalente ao de um sistema constituído por uma trama síncrona, dispondo de um conjunto de *time slots* em número igual ao número máximo de canais síncronos de 64 kbit/s que a largura de banda disponível permitisse comutar.

Os *time slots*, numerados de 1 a n, são ocupados de forma dinâmica pelos canais activos para transmitir um pacote, correspondendo, assim, a oportunidades de transmissão ciclicamente atribuídas.

Cada canal activo tende a ocupar o primeiro *time slot* que ocorrer imediatamente após ter um pacote pronto, pelo que, atendendo ao facto de serem constantes os intervalos de repetição quer da trama quer da geração de pacotes, o número de ordem desse *time slot* é, para cada canal activo, fixo.

No caso de vários canais tenderem a ocupar o mesmo *time slot* de uma mesma trama, será dada prioridade ao canal a que corresponder o menor endereço. Os restantes pacotes irão competir de forma análoga no *slot* seguinte, quer entre si quer com os pacotes entretanto gerados nos restantes canais.

A avaliação do atraso a que cada pacote é sujeito é efectuada através da determinação do número de *slots* que o pacote aguardou até ser transmitido. Como a contabilização é efectuada em múltiplos de *time slots* o atraso mínimo corresponde à duração de um *slot*.

Devido à natureza cíclica quer da ordem de ocorrência dos *time slots* quer do intervalo de geração dos pacotes em cada nó, a atribuição dos *slots* aos canais é fixa para cada conjunto de canais activos. Então o atraso a que os pacotes de cada canal são sujeitos só necessita de ser avaliado nas tramas em que se verificar alteração dos canais activos, quer por início quer por suspensão da actividade de, pelo menos, um canal.

Atendendo a que o número de tramas por segundo é elevado, e que a duração média de cada comunicação é da ordem das dezenas de segundos, não existe um erro apreciável se a análise das tramas não fôr efectuada nas tramas em que se verificam as alterações, mas sim em tramas temporalmente equidistantes. Este procedimento contribui para a diminuição do tempo de execução do programa de simulação sem que se verifiquem alterações significativas dos resultados.

Para uma dada configuração a duração de cada *time slot* corresponde

ao tempo total de transmissão de um pacote, podendo, portanto, ser expressa por

$$T_ts = (Dim_pacote + Dim_overhead) * (8/(V_inst * N_linhas)) \quad (17)$$

em que

Dim_pacote é a dimensão em *bytes* da parte de dados de cada pacote, e

Dim_overhead é o número de ciclos de *clock* de duração dos procedimentos que precedem e sucedem a transmissão de um pacote.

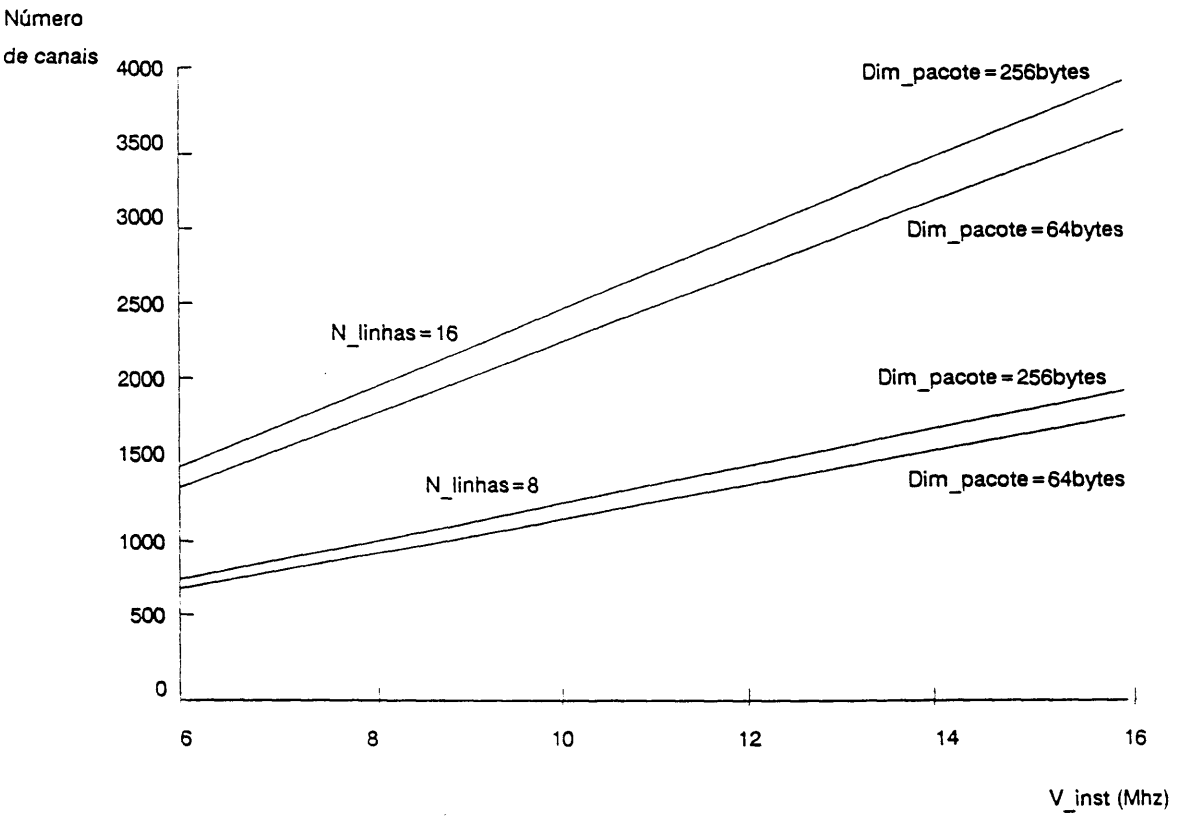


Fig. 6.7: Número máximo de canais que podem estar simultâneamente activos em função da largura de banda disponível.

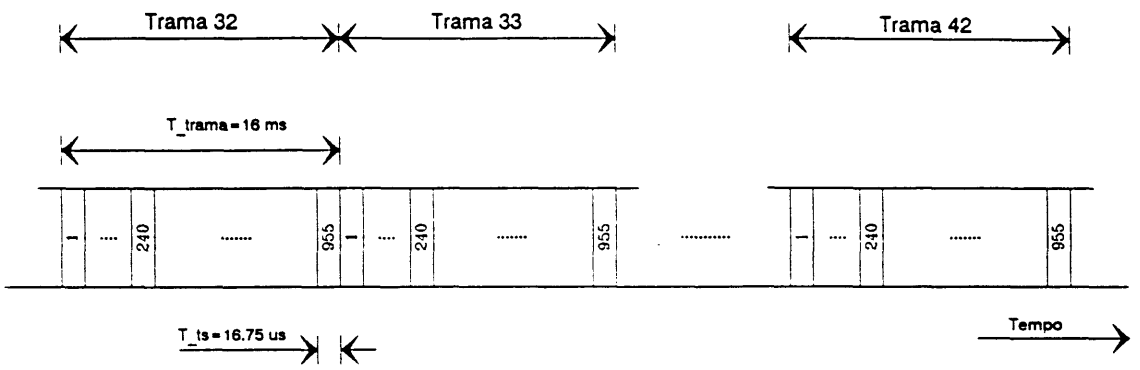


Fig. 6.8: Exemplo do modelo de simulação utilizado no Simulador I.

Por outro lado, a duração da trama é função do intervalo de tempo entre a geração de pacotes consecutivos, sendo, portanto,

$$T_trama = Dim_pacote * 125\mu s. \tag{18}$$

Então, numa dada configuração, o número de *time slots* por trama, isto é, o número máximo de canais que a largura de banda permite estarem simultâneamente activos é

$$N_ts = T_trama / T_ts =$$
$$= (Dim_pacote * 125\mu s * V_inst * N_linhas) / (8 * (Dim_pacote + Dim_overhead)) \tag{19}$$

A fig. 6.7 representa N_ts em função de V_inst, Dim_pacote e N_linhas, para Dim_overhead=6.

A fig. 6.8 ilustra um exemplo simplificado que permite demonstrar a estratégia adoptada para o modelo de simulação do Simulador I. Considerando um cenário em que V_inst=8Mhz, N_linhas=8,

Dim_pacote = 128 e Dim_overhead = 6, tem-se que:

$$T_trama = 128bytes * 125\mu s = 16ms$$

$$T_ts = (128+6)/8Mhz = 16.75\mu s$$

logo,

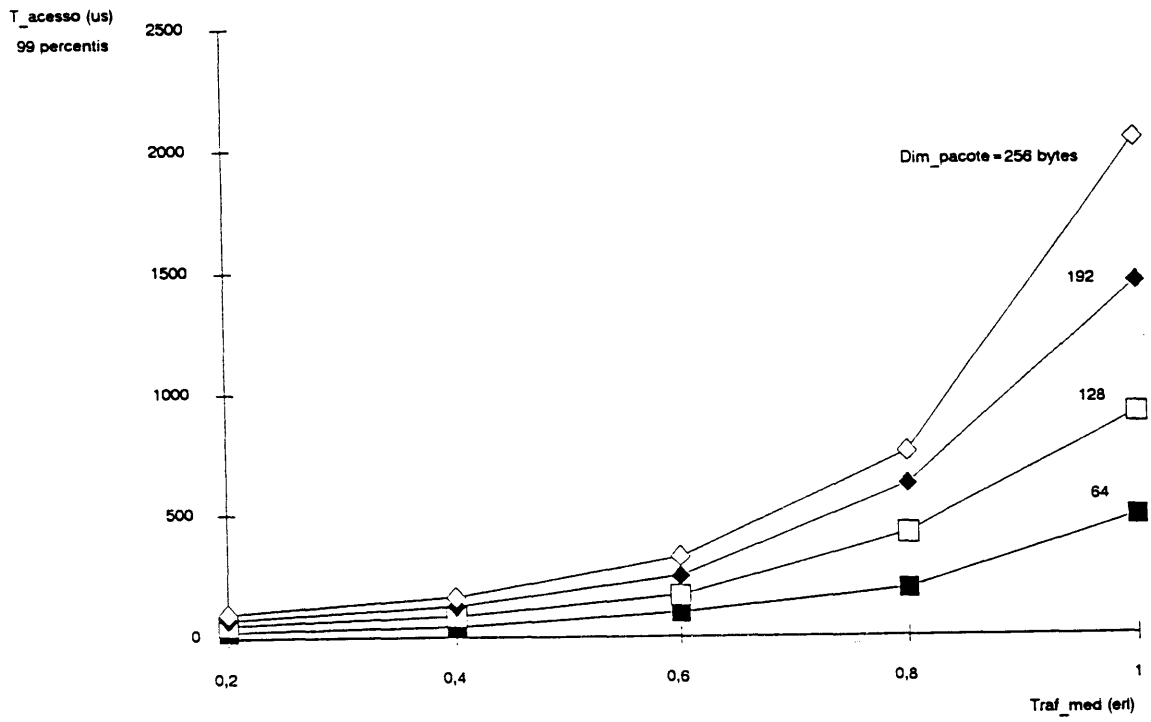
$$N_ts = 955.$$

Se um canal, de 64 kbit/s, iniciar um período de actividade, por exemplo, no instante de tempo t = 500ms, e ficar activo durante, por exemplo, 160ms, isto significa que nesse canal vai ocorrer um pacote pronto para ser transmitido nos instantes t = 516ms, t = 532ms, t = 548ms, etc, até t = 660ms. Estes instantes de tempo coincidem com os *time slots* 239 das tramas 32 a 42. Se admitirmos um majorante de atraso mínimo igual ao tempo de duração de um *time slot*, então os pacotes tenderão a ser transmitidos no *slot* 240.

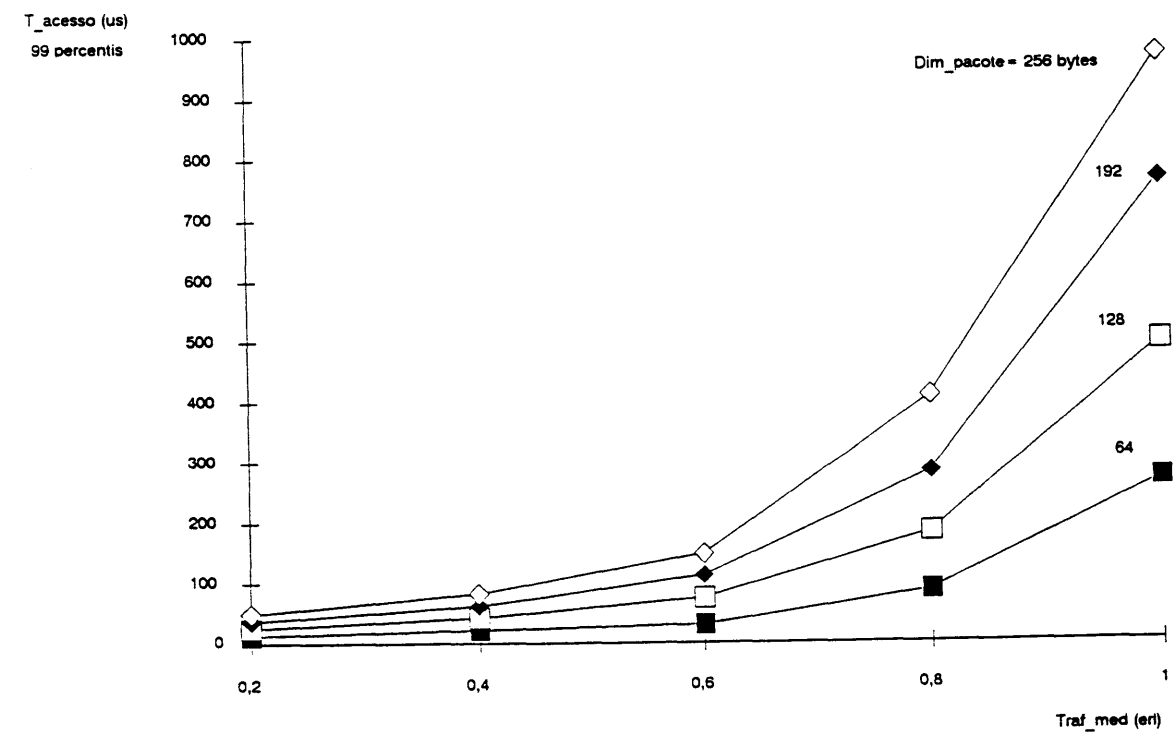
Caso existam outros pacotes a pretenderem ocupar este *time slot*, a prioridade será atribuída ao canal de endereço mais baixo, passando os restantes pacotes a disputar a transmissão no *slot* 241, e assim sucessivamente.

O atraso a que cada pacote é sujeito é, portanto, calculado em função do número de *slots* de diferença existentes entre o correspondente ao instante em que os pacotes estão constituídos, e o *slot* em que ocorre a transmissão.

A fig. 6.9 apresenta resultados obtidos com este simulador para diferentes valores de V_inst, Dim_pacote e tráfego médio por canal (Traf_med), para comunicações com um perfil de tráfego de tipo Poisson com a duração média de 120s. Os resultados apresentados respeitam a 99 percentis da função cumulativa de probabilidade, isto é, ao atraso que experimentam 99% dos pacotes.



a) V_inst = 8 Mhz e N_linhas = 8 (64 Mbit/s).



b) V_inst = 16 Mhz e N_linhas = 8 (128 Mbit/s).

Fig. 6.9: Simulador I: T_acesso em função de V_inst, Dim_pacote e Traf_med, para comunicações a 64Kbit/s com perfil de tráfego de tipo Poisson, , e duração média de 120 s.

Estes resultados indicam que o tempo de acesso ao subsistema de comutação para valores de tráfego até da ordem de 80% da capacidade de comutação, é, na maioria dos casos, bastante inferior a 1ms. Este valor é pouco representativo quando comparado com os tempos de empacotamento, que, como vimos, são tipicamente da ordem das dezenas de milisegundos, pelo que não influencia decisivamente o tempo total de atraso extremo a extremo. Por outro lado, para valores de tráfego superiores a 80% constata-se um rápido crescimento dos tempos de acesso, aumentando fortemente a probabilidade do tempo de acesso experimentado por um pacote ter um valor elevado.

Uma outra constatação que decorre destes resultados é que, para um dado cenário de tráfego, o tempo de acesso é tanto maior quanto maior fôr a dimensão dos pacotes. Numa dada configuração, quanto maior fôr a dimensão dos pacotes, maior é, também, o número de canais suportados, devido ao menor desperdício de largura de banda provocado pelos procedimentos de controlo associados à transmissão de cada pacote, sendo, por outro lado, e para as dimensões de pacote consideradas, menor o número de pacotes gerados. No entanto, quando um pacote que se pretende transmitir tem de esperar que outros pacotes sejam transmitidos, o intervalo de tempo que dura essa espera é tanto maior quanto maior fôr a dimensão dos outros pacotes. É este efeito que os resultados apresentados exprimem, e que explica o aumento do tempo de acesso em função da dimensão dos pacotes.

6.3.2 Simulador II

O Simulador II [OLIV89] foi desenvolvido com o propósito de

contemplar um modelo de simulação que reproduzisse integralmente o funcionamento do subsistema de comutação, oferecendo, por outro lado, diversos graus de flexibilidade no que respeita, nomeadamente, à possibilidade de configuração e análise de diversos perfis de tráfego.

O estudo do desempenho do ISPBX foi efectuado neste simulador considerando-se subscriptores síncronos a 64Kbit/s (Canais B), em número igual ao máximo que a largura de banda disponível em cada configuração permite estarem simultânemente activos.

A capacidade de comutação de uma dada configuração, em pacotes/s, é:

$$C = V_inst * N_linhas \; / \; (8*(Dim_pacote + Dim_overhead)) \quad pacotes/s \qquad (20)$$

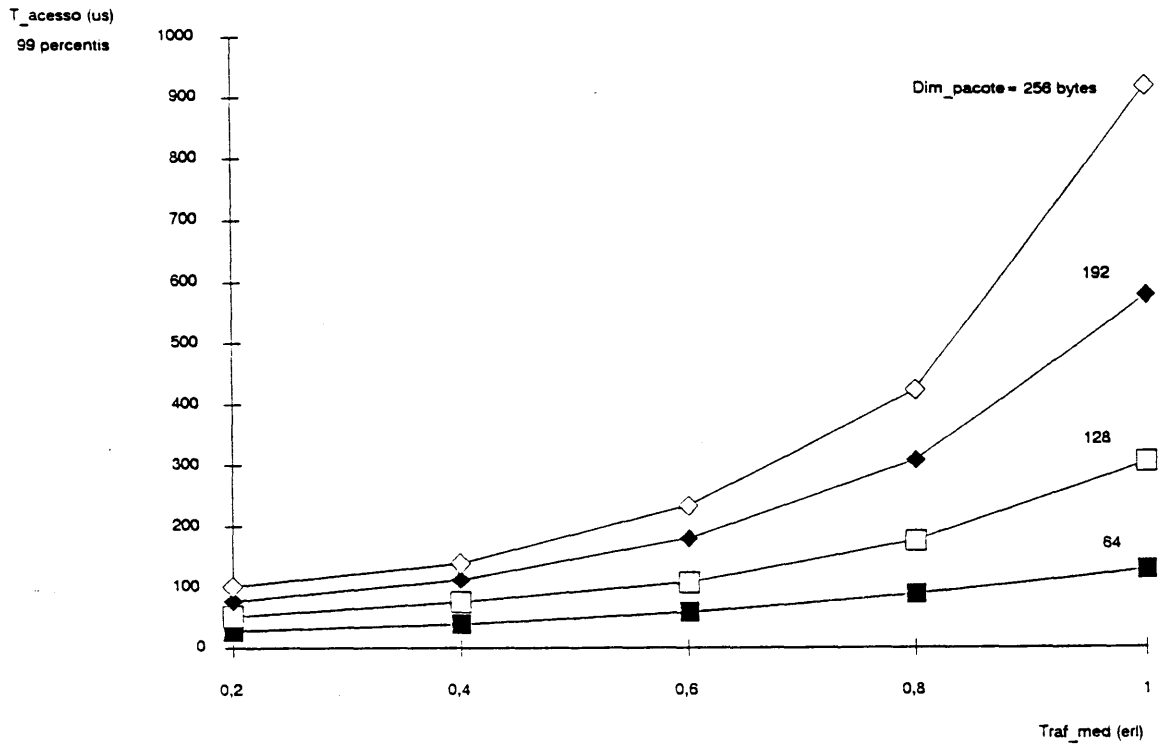
Por outro lado, uma fonte síncrona transmitindo a uma velocidade de v bit/s, gera pacotes a um ritmo de

$$v \; / \; (8*Dim_pacote) \; pacotes/s \qquad (21)$$

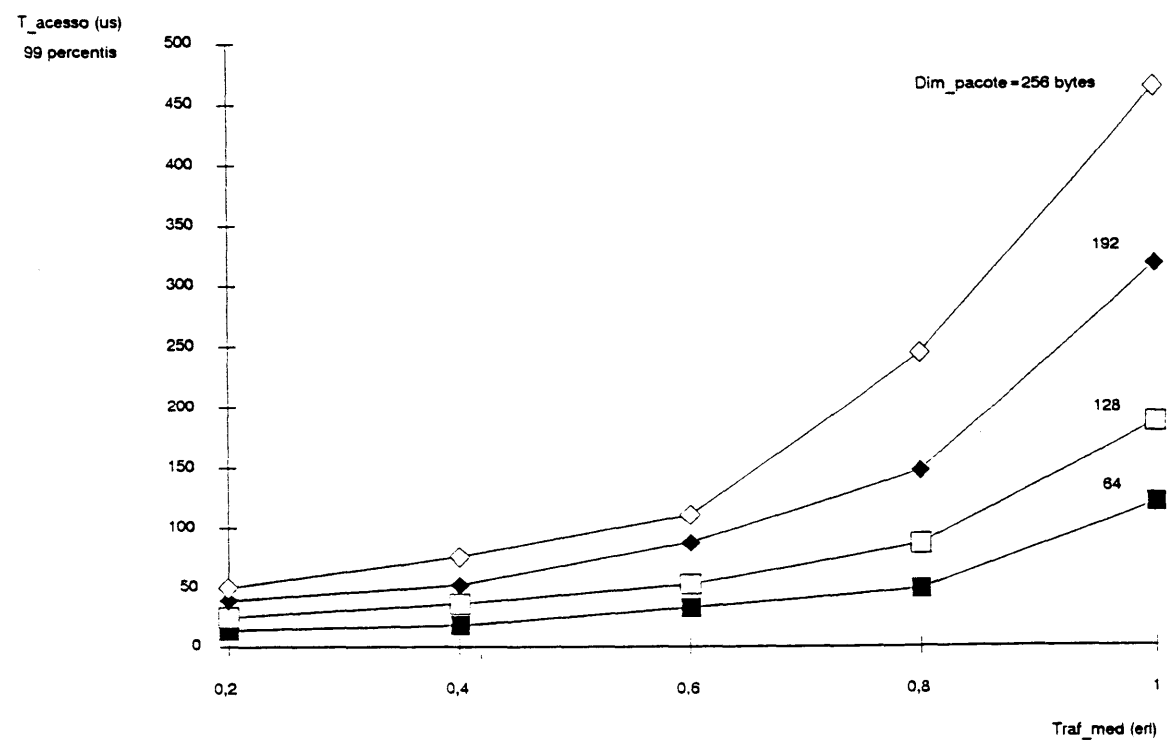
Sendo assim, numa configuração, cuja capacidade de comutação é C pacotes/s, o número máximo de fontes síncronas que podem estar simultâneamente activas é:

$$Smax = C \; / \; (v \; / (8*Dim_pacote)) \qquad (22)$$

No entanto, para que o mecanismo de arbitragem não implique desperdício de largura de banda, o número máximo de endereços do subsistema de comutação (M) não poderá ser superior à dimensão máxima que os pacotes podem ter:



a) V_inst = 8 Mhz, N_linhas = 8 (64 Mbit/s).



b) V_inst = 16 Mhz, N_linhas = 8 (128 Mbit/s).

Fig. 6.10: Simulador II: T_acesso em função de V_inst, Dim_pacote, e Traf_med, para M canais com perfil de tráfego de tipo Poisson, a k*v bit/s, e com a duração média de 120 s.

$$M = Dim_pacote \quad (23)$$

Então, para efeito de simulação, podemos considerar que numa dada configuração existem M endereços, cada um dos quais com um número de k canais síncronos expresso por :

$$k = Smax / M = V_inst * N_linhas / (v*(Dim_pacote + Dim_overhead)) \quad (24)$$

Desta forma, a cada endereço do subsistema de comutação corresponderá um ritmo de transmissão

$$k*v \text{ bit/s} \quad 25)$$

com um perfil estatístico de tráfego, no que respeita, nomeadamente, ao tempo entre chamadas e à duração de cada chamada, idêntico ao de cada canal síncrono quando individualmente considerado.

Este modelo tende a minorar as situações de geração simultânea de pacotes nos diversos endereços do subsistema de comutação, pelo que os valores obtidos são tendencialmente inferiores à realidade. No entanto, os indicadores da ordem de grandeza dos tempos de acesso que foram determinados (fig. 6.10) são qualitativamente coerentes com os que foram obtidos com o Simulador I.

6.4 Conclusões

Conjugando a ordem de grandeza dos valores de T_acesso, obtidos por simulação, com a discussão dos restantes parâmetros com influência no

desempenho, efectuada em 6.2, é lícito presumir para o ISPBX um comportamento temporal satisfatório, mesmo para cenários de funcionamento com tráfego global próximo da capacidade de comutação de cada configuração. Esta conclusão baseia-se, nomeadamente, nos majorantes de atraso que são normalmente aceitáveis para tráfego de voz, que, como vimos, são expressos por centenas de milisegundos, e na evolução relativamente moderada que o tempo de acesso ao subsistema de comutação apresenta até valores da ordem de 80% da capacidade total de comutação.

O elemento com influência decisiva no atraso total que os pacotes experimentam é a sua dimensão. Como vimos, o tempo de empacotamento é sempre da ordem das dezenas de milisegundos, enquanto que os restantes componentes asumem valores significativamente menores, da ordem das centenas de microsegundos.

A perturbação que a variabilidade do atraso de transmissão provoca em comunicações síncronas pode ser eliminada forçando o primeiro pacote de cada comunicação a ser sujeito a um atraso adicional de valor tal que compense a maior variação que possa, posteriormente, ocorrer. Este atraso será propagado naturalmente aos restantes pacotes, anulando-se, assim, o efeito provocado pelos diferentes tempos de acesso ao subsistema de comutação experimentados pelos diversos pacotes de cada comunicação.

Esta compensação poderá ser da responsabilidade da secção de recepção das UDBs, devendo o valor do atraso adicional ser, no mínimo, igual ao dobro do máximo tempo de acesso ao subsistema de comutação expectável numa configuração. Este valor permite anular o efeito da máxima variação de T_acesso no pior caso, que corresponde ao dos pacotes referentes a comunicações envolvidas em conferência de voz.

Um outro problema que se coloca é o dimensionamento da capacidade

de armazenamento das UDBs, por forma a evitar a ocorrência de situações de *overflow*. Mesmo em configurações em que sejam utilizados pacotes de pequena dimensão, os valores máximos quer de T_acesso quer de 2*T_acesso são, como vimos, bastante inferiores ao tempo de empacotamento. Então basta que a capacidade de armazenamento das UDBs, tanto no que respeita à secção de transmissão como à de recepção, seja correspondente a dois pacotes, para que haja garantia de não ocorrerem perdas de informação motivadas por sobreposição de pacotes nas UDBs.

Capítulo 7

CONCLUSÕES

Como é natural, esta tese suscita reflexões finais de duas naturezas distintas. Um tipo de reflexão tem a ver com as respostas que as propostas apresentadas permitem dar às questões que motivaram este trabalho. Outro tipo de reflexão relaciona-se com o equacionar de novas questões que foram sendo colocadas no decurso da elaboração desta tese.

As questões primárias que estiveram na génese deste trabalho foram, essencialmente, as seguintes:

- será a arquitectura Pseudo-Estrela adequada para servir de base a um subsistema de comutação para um ISPBX?
- em caso afirmativo como deverá ser constituído esse subsistema de comutação?
- que vantagens comparativas poderia ter um ISPBX com um subsistema de comutação baseado na Pseudo-Estrela sobre um ISPBX com comutação de circuitos convencional?
- de que tipo de funcionalidades deverá ser dotado um ISPBX?

- que organização deverá ter um ISPBX cujo subsistema de comutação se baseie na Pseudo-Estrela para corresponder às especificações funcionais pretendidas? e como deverá ser o funcionamento do sistema, nomeadamente no que respeita à cooperação entre os diferentes módulos, para a execução dos diversos serviços?
- que desempenho temporal é de prevêr para o sistema proposto? que limitações daí resultam? que influência é que essa previsão deverá ter na arquitectura do sistema?

Do ponto de vista topológico a arquitectura da Pseudo-Estrela é claramente interessante para suporte de um ISPBX, devido, nomeadamente, ao facto de ser geograficamente concentrada, ter uma organização modular e utilizar uma técnica de acesso ao meio de transmissão com controlo descentralizado.

O facto de ser uma arquitectura concentrada torna o ISPBX particularmente adequado como alternativa imediata de outros sistemas de comutação também fisicamente concentrados, como é o caso dos actuais PABXs, permitindo a sua substituição com mínimas alterações da cablagem instalada.

A elevada modularidade da arquitectura confere ao ISPBX grande capacidade de evolução no que respeita quer a interfaces físicas quer a serviços, permitindo que o ISPBX, numa organização, se torne o centro das comunicações quer internas quer com o exterior. Este aspecto é bastante interessante dado que permite que o ISPBX seja uma plataforma de integração de serviços de diversas naturezas, com todas as vantagens daí resultantes, quer ao nível das funcionalidades, quer, por exemplo, ao nível dos procedimentos de gestão das comunicações e dos equipamentos de suporte.

O controlo descentralizado característico do funcionamento da Pseudo-Estrela potencia que o ISPBX tenha um elevado grau de imunidade a falhas de funcionamento dos módulos, dado que o controlo do acesso ao meio de transmissão é igualmente distribuído por todos os módulos existentes numa dada configuração.

No entanto, a questão central no que respeita ao problema da utilização da Pseudo-Estrela como núcleo do subsistema de comutação de um ISPBX, é o facto de se tratar de uma arquitectura de comutação de pacotes, do que resultam algumas particularidades que o sistema deve contemplar. No entanto, e independentemente das implicações na arquitectura do sistema e dos custos envolvidos, a adopção de uma estratégia de comutação por pacotes em sistemas em que, como é o caso de um ISPBX, se pretenda integrar tráfego síncrono e assíncrono, é claramente mais interessante do que a técnica de comutação de circuitos tradicional, devido ao acréscimo de eficiência que tal estratégia proporciona.

Por outro lado, a arquitectura proposta apresenta em relação a outros sistemas de comutação de pacotes com integração de tráfego síncrono e assíncrono, caso de alguns dos sistemas descritos no Capítulo 2, vantagens comparativas importantes.

No que respeita, por exemplo, ao protocolo RT-V para integração de voz e dados em redes Ethernet, a técnica utilizada neste protocolo para ultrapassar as limitações que o método de acesso à Ethernet tem para tráfego tempo real, que, como vimos, se baseia na tomada do controlo do meio de transmissão pelos nós RT-V durante um dado intervalo de tempo, tem como consequência que é negada aos restantes nós a possibilidade de acesso ao meio enquanto durar uma sequência RT-V. Este protocolo subverte as regras convencionais de acesso ao meio em redes Ethernet, pelo que pode

perturbar aplicações cujo bom funcionamento se baseie na utilização convencional da Ethernet. Na Pseudo-Estrela, pelo contrário, o método de acesso ao meio é idêntico em todos os nós, não existindo, portanto, nós com previlégios de acesso.

Quanto ao protocolo FARA/CSMA-CD, trata-se de um protocolo com procedimentos complexos, em que a alocação de recursos a uma comunicação é efectuada através da perturbação de outras comunicações, sendo este efeito particularmente notório na comunicação em que estiver envolvido o nó que estiver a desempenhar as funções de *Current Controller*. Na Pseudo-Estrela não existe este problema, dado que a atribuição de recursos a uma comunicação é totalmente inócua para as restantes comunicações em curso.

A rede CARTHAGE tem como fortes desvantagens o facto de ter uma arquitectura com controlo totalmente centralizado, e de utilizar comutação de circuitos para tráfego síncrono. A vulnerabilidade que resulta do controlo ser centralizado pode ser minorada por duplicação da unidade de controlo, o que se reflete, no entanto, em custos adicionais. A utilização de circuitos para tráfego síncrono, embora com as vantagens daí decorrentes nomeadamente no que respeita ao atraso de transmissão, é, no entanto bastante ineficiente. Na Pseudo-Estrela o controlo é totalmente descentralizado, e, como se trata de um sistema estritamente de comutação de pacotes, potencia que a utilização dos recursos seja efectuada com elevado grau de eficiência

A rede FDDI-II tem como principal desvantagem conceptual em relação à Pseudo-Estrela o facto da alocação de largura de banda para comunicações síncronas ser feita por parcelas de 6.25% da largura de banda disponível, independente de haver, ou não, tráfego que o justifique. Por outro lado o controlo do *Cycle* característico da FDDI-II é centralizado, o que

constitui uma vulnerabilidade potencial. Na Pseudo-Estrela a alocação de largura de banda é efectuada pacote a pacote, e o controlo é descentralizado.

No que respeita à rede DQDB, o principal inconveniente resulta do suporte às comunicações síncronas ser efectuado através de comutação de circuitos, com a consequência do ponto de vista de eficiência que conhecemos. No entanto o método de acesso é totalmente descentralizado, e proporciona aos diferentes nós oportunidade de transmissão pela mesma ordem pela qual os nós declararam pretender transmitir. Porém, a estratégia de acesso privilegia os nós que, do ponto de vista do *bus* A, estão fisicamente mais afastados do controlador da rede. Na Pseudo-Estrela a atribuição do acesso ao meio de transmissão é independente da intenção de transmissão manifestada pelos nós, o que contribui para que o método de acesso seja mais equitativo na atribuição das oportunidades de transmissão.

Embora, como vimos, a Pseudo-Estrela apresente vantagens comparativas importantes em relação a outras arquitecturas, a utilização de uma arquitectura de comutação de pacotes para suporte de tráfego síncrono, como é o caso de um ISPBX, coloca a necessidade de estabelecer uma estratégia para eliminar os efeitos resultantes do atraso a que os pacotes de informação são sujeitos no subsistema de comutação

Este atraso tem duas componentes com efeitos distintos: valor absoluto e variabilidade. No que respeita ao valor absoluto do atraso, particularmente crítico para tráfego tempo real, como é o caso da voz, esse valor tem fundamentalmente que ver com a dimensão dos pacotes, e resulta do tempo que decorre até estarem disponíveis todos os elementos de um pacote. Esta componente tem um carácter constante, e é, obviamente, tanto mais significativa quanto maior for a dimensão dos pacotes. A variabilidade do atraso é o outro factor importante, e está relacionado com a garantia de

fiabilidade no suporte a tráfego síncrono em geral, que se caracteriza pela necessidade de garantir que a correlação temporal dos diferentes elementos de informação no destino seja idêntica à existente na origem. Para este efeito é proposto que o primeiro pacote de cada comunicação que seja suportada num canal síncrono, tipicamente canal B, seja sujeito a um atraso adicional, de forma a compensar a máxima variação do atraso que os pacotes relativos a essa comunicação poderão experimentar.

Um outro problema que decorre da natureza assíncrona do funcionamento da arquitectura de comutação Pseudo-Estrela, é o facto de ser necessária a existência de um relógio que garanta a sincronização entre as entidades origem e destino da informação. No cenário de funcionamento normal do ISPBX este relógio deverá estar sincronizado com a RDIS pública, pelo que deverá ser assegurado pelas interfaces ligadas à RDIS pública, tipicamente Módulos de Acesso Primário. No entanto é também interessante prever a possibilidade desse relógio poder ser gerado localmente, permitindo, assim, o funcionamento autónomo do sistema.

Uma ainda maior generalização deste conceito, que ultrapassa, no entanto, o cenário do ISPBX, pode conduzir a ser considerada a possibilidade de não haver qualquer nó com capacidade de geração do relógio, pelo que, nesse caso, ou não existem interfaces com capacidade de suporte a tráfego síncrono, ou, caso existam, cada uma deverá ter possibilidade de assegurar a geração de um relógio próprio.

A determinação da interface responsável pela distribuição do relógio de sincronismo deverá ser efectuada no processo de inicialização do sistema, sendo proposto que esse processo se desenrole aproveitando o processo de atribuição inicial do testemunho. Por forma a prever os diferentes cenários de geração do relógio este processo deverá decorrer com um número de níveis

de prioridade idêntico ao número de cenários distintos. Os nós de prioridade inferior deverão abandonar o processo de atribuição do testemunho caso seja declarada a existência de um nó com um nível de prioridade superior.

Um aspecto que tem muito interesse ser explorado em eventuais futuros desenvolvimentos deste trabalho é a adopção de uma metodologia que permita eliminar os silêncios característicos das comunicações de voz. Dado que a Pseudo Estrela é uma arquitectura de comutação de pacotes, a possibilidade de eliminar esses silêncios permite que os recursos libertados, no que respeita à ocupação do subsistema de comutação, sejam utilizados para suportar outras comunicações.

A utilização da Pseudo-Estrela como núcleo do subsistema de comutação de um ISPBX terá necessariamente que passar pela utilização de circuitos VLSI que implementem as funções protocolares quer internas quer relativas ao protocolo de acesso. A organização dos módulos do ISPBX sugerida nesta tese engloba uma proposta de encapsulamento funcional das funções do subsistema de comutação, que aponta no sentido da integração ser baseada em dois subsistemas distintos: o CAPE - Controlador de Acesso à Pseudo-Estrela englobando as funções internas relacionadas com o método de acesso ao meio de transmissão partilhado, e o MIAPE - Multiplexador da Interface de Acesso à Pseudo-Estrela destinado às funções de multiplexagem da IAPE por diversos canais.

O recurso a técnicas de integração deverá também abranger outros componentes arquitectónicos utilizados na organização dos módulos do ISPBX, entre os quais os diferentes tipos de Unidades de Dados consideradas - UDB, UDD e UDX. Trata-se, em qualquer dos casos, de subsistemas de armazenamento de informação de tipo *buffer* circular, cujo implementação se baseia em estruturas de tipo FIFO. As UDXs - Unidades de Dados X.25,

utilizadas para suportar as transferências de informação X.25 sobre canal B deverão dispôr, adicionalmente, da possibilidade de efectuar o reconhecimento e extracção das tramas LAPB do fluxo de informação do canal B, bem como da respectiva formatação para transmissão. As UDXs têm, portanto, funções similares às de um controlador LAPB, mas com a diferença de trabalharem com o fluxo assíncrono de informação resultante da comutação ter orientação de pacote.

No que respeita às funcionalidades características de um ISPBX, esta tese aponta, como aliás seria lícito esperar, para que um ISPBX, que é um sistema RDIS privado, ofereça todas as funcionalidades típicas de uma RDIS pública. A legitimidade desta afirmação resulta do facto de ter de ser necessariamente transparente para um utilizador existir, ou não, um NT2 na interface de acesso à RDIS a que se encontra ligado.

Desta forma é natural que um ISPBX possa dispôr de todas as capacidades típicas de uma RDIS. No entanto, e por razões económicas, há certos serviços do ISPBX que deverão poder ser opcionais, permitindo configurações com diversos graus de facilidades. Estão neste caso servidores como o SX.25 ou o SCTV, cuja existência deverá ser função do tipo de utilização específica.

No entanto, a inexistência de um desses módulos não impede que o serviço não seja fornecido, dado que é sempre possível recorrer ao serviço homólogo disponível na RDIS. É evidente que a diferença se traduz quer no custo pelo qual o serviço é prestado, quer na sobrecarga de utilização das interfaces de acesso à RDIS.

Relativamente ao desempenho, os estudos por simulação apresentados permitem considerar que, mesmo para valores de tráfego próximos da capacidade de comutação máxima de uma dada configuração, é

legítimo prever um comportamento temporal para o ISPBX satisfatório. Esta conclusão é válida quer no que respeita ao valor absoluto do atraso total que o ISPBX introduz na informação que lhe é submetida, quer no que respeita à componente variável desse valor, respeitante ao atraso introduzido pelo subsistema de comutação.

No entanto, é tão importante esta conclusão quanto o é definir uma estratégia que permita controlar o funcionamento do sistema caso o tráfego ultrapasse o limiar até ao qual é previsível um bom funcionamento. O problema que se coloca é por que atitude optar caso se verifique sobrecarga de tráfego: bloquear o estabelecimento de novas comunicações até que deixe de se verificar a situação de sobrecarga, ou continuar a aceitar novas comunicações à custa de degradar a qualidade do serviço?

Parece-nos que a melhor opção será uma estratégia mista: tentar manter o tráfego em valores satisfatórios à custa de degradar a qualidade do serviço das comunicações cujo tipo admita essa atitude, como é o caso das comunicações de voz, e caso essa estratégia não seja suficiente para manter o tráfego em valores convenientes, limitar o estabelecimento de novas comunicações até que se verifique uma diminuição do tráfego.

A degradação do serviço de voz pode ser obtida de diversas formas, nomeadamente à custa de ser diminuída a resolução da codificação das amostras de voz, ou por eliminação de algumas das amostras ou pacotes de voz de cada comunicação.

A diminuição de resolução das amostras de voz implica que a UDB que suporta a comunicação na origem despreze em cada amostra alguns dos *bits* menos significativos, devendo a UDB destino complementar cada amostra com um conjunto predefinido de *bits*. Esta estratégia implica alguma complexidade do procedimento de reconhecimento da informação no

barramento paralelo, complexidade essa aumentada caso se pretenda poder variar o número de *bits* eliminados em cada amostra.

A técnica alternativa de diminuição das amostras transmitidas, quer seja orientada para a supressão de algumas amostras num pacote ou de pacotes no fluxo de informação, tem a vantagem de ser de implementação mais simples, permitindo maior flexibilidade de variação da quantidade de informação suprimida. Na UDB destino a estratégia adoptada para a geração de amostras correspondentes às amostras suprimidas na origem pode ser tão simples quanto a repetição do último bloco de informação de idêntica dimensão. Em [AOKI85] é descrito um estudo do efeito desta estratégia de reconstrução aplicada a um cenário de perda de pacotes, sendo indicado que os resultados obtidos, baseados na avaliação subjectiva de um conjunto de observadores, foram mais satisfatórios do que, por exemplo, a estratégia de inserção de silêncios nos instantes de tempo relativos aos pacotes em falta.

Qualquer que seja a forma de degradação utilizada terá sempre de existir uma estratégia para a monitoração do tráfego submetido ao subsistema de comutação, e de gestão do processo de degradação, isto é, uma forma de determinar quando se inicia, como decorre e quando termina a situação de degradação. Estas tarefas podem estar centralizadas numa entidade única do sistema, como, por exemplo, o Servidor de Directório, ou estarem descentralizadas nas Unidades de Sinalização dos módulos do ISPBX.

Independentemente desta opção, a avaliação das condições de tráfego pode ser efectuada ou com base em pacotes de teste, ou através da contagem do número de transferências de informação por unidade de tempo. Na primeira hipótese a avaliação do estado de congestionamento seria baseada no atraso experimentado por pacotes de teste que, para esse efeito, seriam transmitidos tendo por destinatária a US que os gerou. Na hipótese do

congestionamento ser avaliado por contagem do volume de transferências de informação, deverá ser contado pelo CAPE o número de ocorrências do sinal DCK por unidade de tempo. O CAPE deverá, então, fornecer uma indicação que permita informar as entidades de sinalização dos diferentes módulos se o tráfego está, ou não, para além do limiar de congestionamento. Esta indicação pode ser veiculada através de um sinal adicional a incluír na IAPE.

O problema da estratégia de funcionamento a adoptar em caso de congestionamento é um dos aspectos interessantes que poderiam constituír tema de futuros trabalhos de investigação nesta área. Entre outros aspectos que teria interesse explorar destaca-se a implementação em VLSI de algumas entidades funcionais descritas nesta tese, entre os quais o CAPE-Controlador de Acesso à Pseudo-Estrela e o MIAPE-Multiplexador da IAPE. Estes dois subsistemas poderiam ser encarados não apenas para o suporte à implementação do subsistema de comutação do ISPBX, mas como dispositivos base genéricos para a implementação de um subsistema de comutação de pacotes de baixo custo, capaz de ser utilizado como núcleo de comutação em sistemas de comunicação desenhados para diversas aplicações.

Apêndice A

PROTOCOLO INTERNO DE SINALIZAÇÃO

Mensagens e elementos de informação

A.1 Mensagens

Neste parágrafo são sistematizadas as mensagens do Protocolo Interno de Sinalização (PIS) utilizadas, no Capítulo 5, na descrição do funcionamento do ISPBX. Como vimos, o PIS tem por função suportar os procedimentos de sinalização entre USs adequados à gestão dos recursos do ISPBX, oferecendo, também, suporte às transferências de informação entre módulos relativas a comunicações em modo pacote sobre canal D.

Para cada mensagem são descritos os Elementos de Informação (EIs) que a constituem, sendo para cada EI referido o parágrafo deste apêndice em que o EI é descrito, e se o EI é, ou não, opcional.

A.1.1 P_CONV_END

A mensagem P_CONV_END (Pedido de Conversão de Endereço) destina-se a ser enviada por uma Unidade de Sinalização (US) ao Servidor de Directório (SD) para obter o endereço físico relativo a um endereço RDIS.

Elemento de Informação	*Parágrafo*	*Obr/Opc*
Endereço da US origem	A.2.1	Obr
Tipo de Mensagem	A.2.2	Obr
Número de Referência da Mensagem	A.2.3	Obr
Dimensão da Subsecção de Informação A	A.2.4	Obr
Dimensão da Subsecção de Informação B	A.2.5	Obr
Called Party Number	A.2.6	Obr
SCTV	A.2.7	

A.1.2 I_CONV_END

A mensagem I_CONV_END é gerada pelo SD como resposta a uma mensagem P_CONV_END, sendo constituída pelos EIs seguintes:

Elemento de Informação	*Parágrafo*	*Obr/Opc*
Endereço da US origem	A.2.1	Obr
Tipo de Mensagem	A.2.2	Obr
Número de Referência da Mensagem	A.2.3	Obr
Dimensão da Subsecção de Informação A	A.2.4	Obr
Dimensão da Subsecção de Informação B	A.2.5	Obr
Endereço Interno	A.2.8	Obr

A.1.3 P_EST_COM

A mensagem P_EST_COM (Pedido de Estabelecimento de Comunicação) é enviada por uma US a uma outra US para solicitar o estabelecimento de uma comunicação, incluíndo os EIPbs da mensagem SETUP recebida na interface origem. Para além desses EIs, esta mensagem inclui, ainda, os EIPvs adequados à segmentação da mensagem SETUP, e para a comunicação do endereço da UD que deverá ser utilizada durante a transferência de informação.

Elemento de Informação	*Parágrafo*	*Obr/Opc*
Endereço da US origem	A.2.1	Obr
Tipo de Mensagem	A.2.2	Obr
Número de Referência da Mensagem	A.2.3	Obr
Dimensão da Subsecção de Informação A	A.2.4	Obr
Dimensão da Subsecção de Informação B	A.2.5	Obr
Mensagem Incompleta	A.2.9	Opc
Endereço de Dados	A.2.10	Obr
Modo Pacote	A.2.11	Opc
Outros EIPbs da mensagem SETUP		Opc

A.1.4 I_EST_COM

A mensagem I_EST_COM é utilizada por uma US como resposta a uma mensagem P_EST_COM.

Elemento de Informação	*Parágrafo*	*Obr/Opc*
Endereço da US origem	A.2.1	Obr
Tipo de Mensagem	A.2.2	Obr
Número de Referência da Mensagem	A.2.3	Obr
Dimensão da Subsecção de Informação A	A.2.4	Obr
Dimensão da Subsecção de Informação B	A.2.5	Obr
Mensagem Incompleta	A.2.9	Opc
Endereço de Dados	A.2.10	Obr
Cause	A.2.12	Opc
TEI	A.2.13	Opc
EIPbs da mensagem CONNECT		Opc
EIPbs da mensagem RELEASE COMPLETE		Opc

A.1.5 P_TERM-COM

A mensagem P_TERM_COM é utilizada no decurso de uma comunicação em modo circuito para indicar que uma das USs intervenientes recebeu um pedido de terminação no canal de sinalização da respectiva interface.

Elemento de Informação	*Parágrafo*	*Obr/Opc*
Endereço da US origem	A.2.1	Obr
Tipo de Mensagem	A.2.2	Obr
Número de Referência da Mensagem	A.2.3	Obr
Dimensão da Subsecção de Informação A	A.2.4	Obr
Dimensão da Subsecção de Informação B	A.2.5	Obr
EIPbs da mensagem DISCONNECT		Obr

A.1.6 P_SUSP_COM

A mensagem P_SUSP_COM (Pedido de Suspensão de Comunicação) é enviada por uma US a outra US para indicar que a comunicação deve ser temporariamente suspensa, isto é, que deve ser interrompido o fluxo de informação entre as UDBs envolvidas numa comunicação. A identificação da comunicação em causa é feita através da inclusão do EIPv Endereço de Dados, que deverá conter o endereço da UDB que está envolvida na comunicação na interface a que a mensagem se destina .

Elemento de Informação	*Parágrafo*	*Obr/Opc*
Endereço da US origem	A.2.1	Obr
Tipo de Mensagem	A.2.2	Obr
Número de Referência da Mensagem	A.2.3	Obr
Endereço de Dados	A.2.10	Obr

A.1.7 I_SUSP_COM

A mensagem I_SUSP_COM (Indicação de Suspensão de Comunicação) é enviada por uma US a outra US como resposta a uma mensagem P_SUSP_COM.

Elemento de Informação	*Parágrafo*	*Obr/Opc*
Endereço da US origem	A.2.1	Obr
Tipo de Mensagem	A.2.2	Obr
Número de Referência da Mensagem	A.2.3	Obr

O Número de Referência da Mensagem dever ter o mesmo valor que o EI homónimo da mensagem P_SUSP_COM.

A.1.8 P_RET_COM

A mensagem P_RET_COM (Pedido de Retoma de Comunicação) é enviada por uma US a outra US para indicar que uma comunicação temporariamente suspensa deve ser retomada, isto é, que deve ser restabelecido o fluxo de informação entre as UDBs envolvidas na comunicação.

Elemento de Informação	*Parágrafo*	*Obr/Opc*
Endereço da US origem	A.2.1	Obr
Tipo de Mensagem	A.2.2	Obr
Número de Referência da Mensagem	A.2.3	Obr

O El Número de Referência da Mensagem deverá conter o mesmo valor utilizado na mensagem P_SUSP_COM que desencadeou a suspensão da comunicação.

A.1.9 I_RET_COM

A mensagem I_SUSP_COM (Indicação de Suspensão de Comunicação) é enviada por uma US a outra US como resposta a uma mensagem P_SUSP_COM.

Elemento de Informação	*Parágrafo*	*Obr/Opc*
Endereço da US origem	A.2.1	Obr
Tipo de Mensagem	A.2.2	Obr
Número de Referência da Mensagem	A.2.3	Obr

O Número de Referência da Mensagem deve ter o mesmo valor utilizado na mensagem P_RET_COM.

A.1.10 P_TRF_COM

A mensagem P_TRF_COM (Pedido de Transferência de Comunicação) é transmitida por uma US que pretenda efectivar uma transferência de chamada. Esta mensagem inclui o EI Endereço de Dados, que contém o endereço da UDB para a qual deverá ser redireccionado o fluxo de informação.

Elemento de Informação	*Parágrafo*	*Obr/Opc*
Endereço da US origem	A.2.1	Obr
Tipo de Mensagem	A.2.2	Obr
Número de Referência da Mensagem	A.2.3	Obr
Endereço de Dados	A.2.10	Obr

A.1.11 I_TRF_COM

A mensagem I_TRF_COM (Indicação de transferência de Comunicação) constitui resposta afirmativa a uma mensagem P_TRF_COM. O Número de Referência da Mensagem deve ter o mesmo valor do EI homónimo da mensagem P_TRF_COM que originou esta resposta.

Elemento de Informação	*Parágrafo*	*Obr/Opc*
Endereço da US origem	A.2.1	Obr
Tipo de Mensagem	A.2.2	Obr
Número de Referência da Mensagem	A.2.3	Obr

A.1.12 P_RES_REC

A mensagem P_RES_REC (Pedido de Reserva de Recursos) é utilizada por uma US que esteja a dirigir o estabelecimento de uma Conferência Tripartida de Voz para solicitar ao Servidor de Conferência de Voz reserva dos recursos necessários para que a Conferência possa ser estabelecida. Os recursos em causa são, basicamente, as UDBs para suporte ao fluxo de informação relativa aos três subscriptores envolvidos.

Elemento de Informação	*Parágrafo*	*Obr/Opc*
Endereço da US origem	A.2.1	Obr
Tipo de Mensagem	A.2.2	Obr
Número de Referência da Mensagem	A.2.3	Obr

A.1.13 I_RES_REC

A mensagem I_RES_REC (Indicação de Reserva de Recursos) é utilizada pela US do Servidor de Conferência Tripartida de Voz como resposta a uma mensagem P_RES_REC. No caso de existirem recursos disponíveis a US do SCTV deverá incluír nesta mensagem três EIs de tipo Endereço de Dados, indicando os endereços das UDBs do SCTV que deverão ser utilizadas pelos subscriptores envolvidos na Conferência. No caso do SCTV não ter recursos disponíveis a mensagem deverá conter o EI Recursos Indisponíveis, manifestando, desta forma, a impossibilidade do SCTV suportar o estabelecimento da Conferência.

O Número de Referência da Mensagem deverá ter um valor idêntico ao da mensagem P_RES_REC a que a mensagem I_RES_REC se refere.

Elemento de Informação	*Parágrafo*	*Obr/Opc*
Endereço da US origem	A.2.1	Obr
Tipo de Mensagem	A.2.2	Obr
Número de Referência da Mensagem	A.2.3	Obr
Endereço de Dados	A.2.10	Opc
Endereço de Dados	A.2.10	Opc
Endereço de Dados	A.2.10	Opc
Recursos Indisponíveis	A.2.14	Opc

A.1.14 P_INIC_CONF

A mensagem P_INIC_CONF (Pedido de Início de Conferência) é enviada ao SCTV por uma US responsável pelo estabelecimento de uma Conferência, para sinalizar que deve iniciar o procedimento de processamento dos pacotes recebidos nas UDBs previamente reservadas por uma mensagem P_RES_REC. As UDBs a que se refere esta mensagem são referenciadas através do EI Número de Referência da Mensagem, que deve ter o mesmo valor do EI homónimo da mensagem P_RES_REC correspondente.

Elemento de Informação	*Parágrafo*	*Obr/Opc*
Endereço da US origem	A.2.1	Obr
Tipo de Mensagem	A.2.2	Obr
Número de Referência da Mensagem	A.2.3	Obr

A.1.15 I_INIC_CONF

A mensagem I_INIC_CONF (Indicação de Início de Conferência) é gerada pela US do SCTV como resposta afirmativa a uma mensagem P_INIC_CONF.

Elemento de Informação	*Parágrafo*	*Obr/Opc*
Endereço da US origem	A.2.1	Obr
Tipo de Mensagem	A.2.2	Obr
Número de Referência da Mensagem	A.2.3	Obr

A.1.16 FIM_CONF

A mensagem FIM_CONF (Fim de Conferência) indica que o SCTV deve considerar terminada a Conferência referenciada pelo EI Número de Referência da Mensagem. Este EI deve ter o valor do EI homónimo incluído na mensagem P_INIC_CONF que deu início à Conferência em causa.

Elemento de Informação	*Parágrafo*	*Obr/Opc*
Endereço da US origem	A.2.1	Obr
Tipo de Mensagem	A.2.2	Obr
Número de Referência da Mensagem	A.2.3	Obr

A.1.17 INFO

A mensagem INFO (Informação) destina-se ao transporte de informação de forma transparente entre USs, informação que deverá ser incluída no EI Informação.

Elemento de Informação	*Parágrafo*	*Obr/Opc*
Endereço da US origem	A.2.1	Obr
Tipo de Mensagem	A.2.2	Obr
Número de Referência da Mensagem	A.2.3	Obr
Mensagem Incompleta	A.2.9	Opc
Informação	A.2.15	Obr

A.2. Elementos de Informação

Os Elementos de Informação das mensagens do PIS veiculam informações de parametrização das mensagens utilizadas no protocolo. Neste parágrafo é descrita a estrutura dos EIs referenciados nas mensagens descritas no parágrafo anterior.

A.2.1 Endereço da US origem

O EI Endereço da US origem contêm o endereço interno da Unidade de Sinalização que gerou a mensagem em que o EI está inserido.

A.2.2 Tipo de Mensagem

O EI Tipo de Mensagem identifica qual o tipo da mensagem veiculada. O dicionário de mensagens do protocolo é constituído pelas mensagens descritas no parágrafo A.1.

A.2.3 Número de Referência da Mensagem

O Número de Referência da Mensagem é um valor gerado por uma US, que permite identificar mensagens. O significado particular deste EI depende do tipo da mensagem em que fôr utilizado.

A.2.4 Dimensão da Subsecção de Informação A

O EI Dimensão da Subsecção de Informação A define a dimensão em *bytes* da Subsecção de Informação A da mensagem, região em que são

incluídos os EIPvs (Elementos de Informação Privados).

A.2.5 Dimensão da Subsecção de Informação B

O EI Dimensão da Subsecção de Informação B define a dimensão em *bytes* da Subsecção de Informação B da mensagem, região em que são incluídos os EIPbs (Elementos de Informação Públicos).

A.2.6 Called Party Number

O EI Called Party Number é utilizado como EIPv na situação em que o procedimento Q.931 de estabelecimento de uma comunicação é de tipo *overlap sending*, e contém o endereço RDIS do destinatário. A estrutura deste EIPv é identica à do EI homónimo do protocolo de sinalização Q.931.

No caso de *en-bloc sending* este EI é de tipo público, fazendo parte dos EIs da mensagem SETUP.

A.2.7 SCTV

O EI SCTV (Servidor de Conferência Tripartida de Voz) é utilizado na mensagem P_CONV_END para solicitar ao Servidor de Directório o endereço do módulo Servidor de Conferência Tripartida de Voz.

A.2.8 Endereço Interno

O EI Endereço Interno destina-se a conter informações sobre um endereço RDIS, e contém dois campos distintos: indicação se esse endereço RDIS é , ou não, parte dos endereços RDIS locais do ISPBX, e o endereço

interno de um canal de dados ou sinalização.

No caso do endereço RDIS ser reconhecido como fazendo parte do universo de endereços locais, o endereço interno indica o endereço da US e das UDBs da interface referentes a esse endereço RDIS.

No caso do endereço RDIS não ser local o endereço interno referencia o endereço da US de um MAP que deve ser utilizado para acesso externo.

A.2.9 Mensagem Incompleta

O EI Mensagem Incompleta indica que a mensagem PIS em que o EI é utilizado é constituída por mais segmentos (pacotes). O EI deve indicar o número de ordem de cada segmento na mensagem, permitindo, assim, a reconstituição da mensagem no destino.

Este EI destina-se a permitir a existência de mensagens PIS de dimensão superior à dimensão máxima das mensagens que podem ser submetidas ao subsistema de comutação.

A.2.10 Endereço de Dados

O EI Endereço de Dados transporta o endereço interno de um canal de dados.

A.2.11 Modo Pacote

O EI Modo Pacote é utilizado na mensagem P_EST_COM para indicar que o pedido de estabelecimento se refere a uma comunicação em modo pacote.

A.2.12 Cause

O EI Cause é utilizado como EIPv em mensagens em que deva ser justificada a razão do insucesso de uma operação, como, por exemplo, a impossibilidade de estabelecimento de uma comunicação. A estrutura deste EI deverá ser idêntica à do EI homónimo do protocolo Q.931, porque este EI, quando utilizado como EI privado numa mensagem PIS, se destina a permitir a geração de mensagens Q.931 em que o EI Cause deve ser incluído.

A.2.13 TEI

O EI TEI (Terminal Endpoint Identifier) indica o TEI de um terminal RDIS, devendo, portanto, ter uma estrutura idêntica à do campo TEI das tramas LAPD do protocolo Q.921.

A.2.14 Recursos Indisponíveis

O EI Recursos Indisponíveis indica que os recursos solicitados numa mensagem prévia não se encontram disponíveis para serem utilizados.

A.2.15 Informação

O EI Informação destina-se ao transporte transparente de informação entre USs. Um exemplo de aplicação deste EI é na transferência de mensagens Q.921 e Q.931 que não exijam a execução de um procedimento PIS específico, como é o caso, por exemplo, das mensagens Q.921 com SAPI = 16, e das mensagens Q.931 de tipo USER INFORMATION.

Apêndice B

SIMULADOR I

```
(*************************************************************************)
(*                Simulador do subsistema de comutação do ISPBX          *)
(* f.s.ramos                                                             *)
(* 7/88                                                                  *)
(* tpascal                                                               *)
(*************************************************************************)

program sim_ispbx (input,output);


type
   call_pointer=^call_type;

   call_type=record
        terminal_number:integer;
        start_time:real;
        start_frame:real;
        end_time:real;
        end_frame:real;
        next:call_pointer
       end;

   slot=record
        entries:integer;
        first:call_pointer;
        event:call_pointer;
       end;

   waiting_service=record
             occupied:boolean;
             terminal:integer;
             arrival_slot:integer;
            end;

    stat=(free,busy);

    terminal_status=record
             status:stat;
             release_time:real;
            end;

const
   milhao=1e+6;
   T=125e-6;
   max_slots=2000;
   max_waiting_service=50;
   max_slots_delay=100;
```

```
var
   register:array [0..max_slots] of slot;
   candidates:array [1..max_waiting_service] of waiting_service;
   v,tmed,dmed,time,simul_time,last_frame:real;
   max_delay,smax,dpd,dh,nbits,tot_calls:integer;
   n_call_med,inter_call_med,frame_duration,slot_duration,step:real;
   terminal:array[0..max_terminals] of terminal_status;
   tot_delay,sim_delay:array[1..max_slots_delay] of real;


(*************************************************************************)
(*                          Procedure Init_structures                    *)
(*************************************************************************)

procedure init_structures;
var
   i:integer;
   aux:slot;
begin
   tot_calls:=0;
   max_delay:=0;
   for i:=0 to max_slots do
   begin
      with register[i] do
      begin
         entries:=0;
         first:=nil
      end
   end;
   for i:=1 to max_waiting_service do with candidates[i] do occupied:=false;
   for i:=1 to max_terminals do terminal[i].status:=free;
   for i:=1 to max_slots_delay do tot_delay[i]:=0;
end;


(*************************************************************************)
(*                          Function dexp_random                         *)
(*************************************************************************)

function dexp_random(average:real):real;
begin
   dexp_random:=-average*ln(random);
end;
```

```
(*************************************************************)
(*                    Procedure input_parameters             *)
(*************************************************************)

procedure input_parameters;
var
  confirm:char;
begin
  repeat
    clrscr;
    v:=64;
    dpd:=128;
    dh:=6;
    nbits:=8;
    tmed:=0.23;
    dmed:=120;
    simul_time:=3600;
    step:=100;
    write('Velocidade do bus (Mbits/s) [64]... ');
    readln(v);
    write('Numero de bits do Data Bus [8]... ');
    readln(nbits);
    writeln;
    write('Dimensao da parte de dados do pacote [128]... ');
    readln(dpd);
    write('Dimensao do header do pacote [6]... ');
    readln(dh);
    writeln;
    write('Trafego medio por terminal na h.m.c. (erl) [0.23]... ');
    readln(tmed);
    write('Duracao media de cada chamada (s) [120]... ');
    readln(dmed);
    writeln;
    write('Tempo de simulacao (s) [3600]... ');
    readln(simul_time);
    writeln;
    write('Step de analise (no. de frames) [100]... ');
    readln(step);
    writeln;
    write('Confirma os valores introduzidos (s/n) [s] ?... ');
    readln(confirm);
  until upcase(confirm)<>'N';
  v:=v*milhao/nbits;
  smax:=trunc(v*T/(1+dh/dpd));
  frame_duration:=(smax/v)*(dh+dpd);
  slot_duration:=(dh+dpd)/v;
  last_frame:=int(simul_time/frame_duration);
  n_call_med:=smax*tmed*3600/dmed;
  inter_call_med:=dmed/(smax*tmed);
end;
```

```
(*************************************************************************)
(*                        Procedure release_terminals                    *)
(*************************************************************************)

procedure release_terminals;
var
  i:integer;
begin
  for i:=1 to smax do with terminal[i] do
    if (status=busy) and (time>=release_time) then
      status:=free
end;


(*************************************************************************)
(*                          Procedure generate_calls                     *)
(*************************************************************************)

procedure generate_calls;
var
  i:integer;
  end_point:real;
  slot:integer;
begin
  gotoxy(1,17);
  write('um momento...');
  time:=dexp_random(inter_call_med);
  repeat
    tot_calls:=tot_calls+1;
    slot:=trunc(int(frac(time/frame_duration)*frame_duration/slot_duration));
    with register[slot] do
    begin
      repeat
        i:=random(smax+1);
      until terminal[i].status=free;
      terminal[i].status:=busy;
      entries:=entries+1;
      new(event);
      with event^ do
      begin
        terminal_number:=i;
        start_time:=time;
        start_frame:=int(time/frame_duration);
        end_time:=time+dexp_random(dmed);
        terminal[i].release_time:=end_time;
        end_frame:=int(end_time/frame_duration);
        next:=first;
        if end_time>simul_time
          then end_point:=simul_time
          else end_point:=end_time;
      end;
```

```
            first:=event;
        end;
        time:=time+dexp_random(inter_call_med);
        release_terminals;
        gotoxy(1,18);
        write(time:6:1);
    until time>=simul_time;
end;


(*************************************************************************)
(*                          Procedure process_calls                      *)
(*************************************************************************)

procedure process_calls;
var
    frame:real;
    slot:integer;

(************** accept_candidates **************)

procedure accept_candidates;
var
    i:integer;
    pointer:call_pointer;
begin
    with register[slot] do
    begin
        pointer:=first;
        while pointer<>nil do
        with pointer^ do
        begin
            if (frame>=start_frame) and (frame<=end_frame) then
            begin
                i:=0;
                repeat
                    i:=i+1;
                until candidates[i].occupied=false;
                with candidates[i] do
                begin
                    occupied:=true;
                    terminal:=pointer^.terminal_number;
                    arrival_slot:=slot;
                end;
            end;
        pointer:=pointer^.next;
        end;
    end;
end;
```

```
(************** serve_one_candidate **************)

procedure serve_one_candidate;
var
  i:integer;
  elected,quant_slot:integer;
  ch:char;
begin
  i:=0;
  repeat
     i:=i+1;
  until (candidates[i].occupied) or (i=max_waiting_service+1);
  if i<> max_waiting_service+1 then
  begin
     elected:=i;
     for i:=elected to max_waiting_service do
        with candidates[i] do
          if occupied then
            if terminal<candidates[elected].terminal then elected:=i;
     with candidates[elected] do
     begin
        occupied:=false;
        if arrival_slot<=slot then
           quant_slot:=slot-arrival_slot+1
        else
           quant_slot:=smax-arrival_slot+slot+1;
        if quant_slot>max_delay then max_delay:=quant_slot;
        if quant_slot<max_slots_delay then
           tot_delay[quant_slot]:=tot_delay[quant_slot]+1
        else
          tot_delay[max_slots_delay]:=tot_delay[max_slots_delay]+1;
     end;
   end;
end;


( ************** release_vector_candidates **************)

procedure release_vector_candidates;
var
  i:integer;
begin
  for i:=1 to max_waiting_service do candidates[i].occupied:=false;
end;
```

```
( ****************** main process_calls ******************)

begin
  clrscr;
  frame:=0;
  repeat
    for slot:=0 to smax-1 do
    begin
      accept_candidates;
      serve_one_candidate;
    end;
    frame:=frame+step;
    if step>1 then release_vector_candidates;
    if frac(frame/100)=0 then
    begin
      gotoxy(1,1);
      write(frame:6:0);
    end;
  until frame>=last_frame+1;
end;


(*************************************************************************)
(*                          Procedure get_file_values                    *)
(*************************************************************************)

procedure get_file_values;
var
  fdelay : file of real;
  delay : real;
  exist : boolean;
  i : integer;
begin
  for i:=1 to max_slots_delay do sim_delay[i]:=tot_delay[i];
  assign(fdelay,'totdelay.dat');
  reset(fdelay);
  exist:=(ioresult=0);
  if not exist then rewrite(fdelay)
    else seek(fdelay,filesize(fdelay));
  for i:=1 to max_slots_delay do write(fdelay,tot_delay[i]);
  close(fdelay);
  reset(fdelay);
  for i:=1 to max_slots_delay do tot_delay[i]:=0;
  i:=1;
  while not eof(fdelay) do
  begin
    read(fdelay,delay);
    tot_delay[i]:=tot_delay[i]+delay;
    i:=i+1;
    if i=max_slots_delay+1 then i:=1;
  end;
```

```
  close(fdelay);
  if i<>1 then
  begin
     gotoxy(1,24);
     write('*** Erro no tamanho do ficheiro TOTDELAY.DAT ! ***');
  end;
end;


(*************************************************************************)
(*                              Procedure results                        *)
(*************************************************************************)

procedure results;

var
  tot_pac_sim:real;
  tot_pac_ac:real;
  perc_ac_sim,perc_ac_ac,perc1,perc2:real;
  i,linha:integer;
  ch:char;
begin
  get_file_values;
  clrscr;
  gotoxy(1,1);
  write('No slots   Atraso');
  gotoxy(20,1);
  write('********* Simulacao *********');
  gotoxy(50,1);
  write('********* Acumulado ********');
  gotoxy(20,2);
  write('Pacs');
  gotoxy(30,2);
  write('%  Sim');
  gotoxy(40,2);
  write('%Ac Sim');
  gotoxy(50,2);
  write('Pacs');
  gotoxy(60,2);
  write('%  Acs');
  gotoxy(70,2);
  write('%Ac Acs');
  tot_pac_sim:=0;
  tot_pac_ac:=0;
  perc_ac_sim:=0;
  perc_ac_ac:=0;
  for i:=1 to max_slots_delay do
  begin
   tot_pac_sim:=tot_pac_sim+sim_delay[i];
   tot_pac_ac:=tot_pac_ac+tot_delay[i]
  end;
```

```
for i:=1 to max_slots_delay do
begin
 linha:=trunc(i-20*int(i/20))+3;
 if linha=3 then linha:=23;
 gotoxy(4,linha);
 write(i:2);
 gotoxy(10,linha);
 write(i*slot_duration*milhao:6:2,'us');
 gotoxy(20,linha);
 write(sim_delay[i]:7:0);

 gotoxy(30,linha);
 perc1:=sim_delay[i]*100/tot_pac_sim;
 write(perc1:6:2);
 perc_ac_sim:=perc_ac_sim+perc1;
 gotoxy(41,linha);
 write(perc_ac_sim:6:2);

 gotoxy(50,linha);
 write(tot_delay[i]:5:0);
 gotoxy(60,linha);
 perc2:=tot_delay[i]*100/tot_pac_ac;
 write(perc2:6:2);
 perc_ac_ac:=perc_ac_ac+perc2;
 gotoxy(71,linha);
 write(perc_ac_ac:6:2);

 if frac(i/20)=0 then
 begin
  gotoxy(1,24);
  readln(ch);
  clrscr;
 end;
end;
gotoxy(8,3);write('Tempo de Simulacao : ',simul_time:5:0,' segundos');
gotoxy(8,4);write('Numero de chamadas : ',tot_calls);
gotoxy(8,5);write('Atraso maximo : ',max_delay,' slots');
gotoxy(32,5);write(' => ',max_delay*slot_duration*milhao:6:2,' us');
gotoxy(1,10);
end;
```

```
(*************************************************************************)
(*                                  Main                                 *)
(*************************************************************************)

begin
  clrscr;
  writeln('*********************************************');
  writeln('*          SIMULADOR do ISPBX                *');
  writeln('*********************************************');
  window(1,6,80,24);
  init_structures;
  input_parameters;
  generate_calls;
  process_calls;
  window(1,1,80,24);
  results
end.
```

REFERÊNCIAS

ABED87 M. Abedin, D. Smith, J. Smith, "Performance of an Integrated Voice-Data Token-Ring Local Area Network Access Protocol Working on a Frame Structure", EFOC/LAN 87, Basel, Switzerland, June 1987.

ALVE84 J. Alves, P. Oliveira, N. Rocha, "The Pseudo Star LAN: An Hibrid Topology", Publicação Interna do Departamento de Electrónica e Telecomunicações da Universidade de Aveiro, Julho de 1984.

ALVE86 J. Alves, J. Martins, F. Ramos, N. Rocha, P. Oliveira, J. Gonçalves, "Arquitectura Integrada de Serviços numa Rede Local", 4º Congresso Português de Informática, Lisboa, Junho de 1986.

AMD89A The World Network Catalogue 1989/1990, Advanced Micro Devices, 1989.

AMD89B ISDN Subscriber Access Controller-"S" Interface (ISAC-S), The World Network Catalogue 1989/1990, Advanced Micro Devices, 1989.

AOKI85 M. Aoki, F. Ishino, "Speech Quality of Conversational Packetized Voice Communications", Transactions of the IECE of Japan, vol. E 69, nº 2, February 1986.

ARRO87 G. Arroz, I. Tomás, "Comutação de Dados nos PPCAs TAGID", 3º Workshop Nacional sobre Engenharia de Telecomunicações, Computadores e Informática, Aveiro, Novembro de 1987.

BOYA85 K. Boyanov, P. Ruskov, K. Yanev, "Performance Analysis of Local Networks with Data and Voice Traffic", Networks in Office Automation, IFIP, 1985.

BULL59 K. Bullington, J. Fraser, "Engineering Aspects of TASI", Bell System Technical Journal, Vol. 38, March 1959.

BURM87 M. Burmeister, et. al., "An Experimental Optical Local Area Network using Fast Circuit Switching", ISS'87.

CAMP76 S. Campanella, "Digital Speech Interpolation", Comsat Technical Review, Vol. 6, Spring 1976.

CASE86 L. Casey, R. Dittburner, N. Gamage, "FXNET: a Backbone Ring for Voice and Data", IEEE Communications Magazine, vol. 24, n' 12, December 1986.

CAVE87 K. Caves, "FDDI-II: a New Standard for Integrated Services High-Speed LANs", Telecommunications, September 1987.

CCIT88A CCITT Recommendation G.711, PCM of Voice Frequencies, Blue Book, vol III.4, 1988.

CCIT88B CCITT Recommendation G.721, 32Kbit/s Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM), Blue Book, vol III.4, 1988.

CCIT88C CCITT Blue Book, vol III.7, III.8 e III.9, 1988.

CCIT88D CCITT Recommendation I.410, General Aspects and Principles Relating to Recommendations on ISDN User-network Interfaces, Blue Book, vol III.8, 1988.

CCIT88E CCITT Recommendation I.412, ISDN User-network Interfaces - Interfaces Structure and Capabilities, Blue Book, vol III.4, 1988.

CCIT88F CCITT Recommendation I.430, Basic User-network interface - layer 1 specification, Blue Book, vol III.4, 1988.

CCIT88G CCITT Recommendation I.431, Primary Rate User-network interface - layer 1 specification, Blue Book, vol III.4, 1988.

CCIT88H CCITT Blue Book, vol III.4, Section 4 - ISDN User-network Interfaces: Layer 2 Recommendations, 1988.

CCIT88I CCITT Blue Book, vol III.4, Section 5 - ISDN User-network Interfaces: Layer 3 Recommendations, 1988.

CCIT88J CCITT Recommendation X.25, Interface Between Data Terminal Equipment (DTE) and Data Circuit-terminating Equipment (DCE) for Terminals Operating in the Packet Mode and Connected to Public Data Networks by Dedicated Circuit, Blue Book, vol VIII.2, 1988.

CCIT88K CCITT Recommendation I.462 (X.31), Support of Packet Mode Terminal Equipment by an ISDN, Blue Book, vol III.4, 1988.

CCIT88L CCITT Recomendations I.25x, Blue Book, vol. VIII.7, 1988.

CCIT88M CCITT Recommendation Q.932, Generic Procedures for the Control of ISDN Supplementary Services, Blue Book, vol VI.11, 1988.

CCIT88N CCITT Recommendation I.252, Call Offering Supplementary Services, Blue Book, vol III.7, 1988.

CCIT88O CCITT Blue Book vol VIII.7, 1988

CEPT88 CEPT/SPS-1/PNS, "PNS Frame Document", CEPT, April 88.

CHAI84 B. Chaillet, J. Cabanel, D. Sazbon, "Towards a Formal Approach for Baseband Local Area Networks Carrying Integrated Real Time Voice and Data Traffic", Ring Technology Local Area Networks, IFIP, 1984.

CHEN88 T. Chen, D. Messerschmitt, "Integrated Voice Data Switching", IEEE Communications Magazine, Vol. 26, No. 6, June 1988.

CHLA85 I. Chlamtac "An Ethernet Compatible Protocol for Real-Time Voice/Data Integration", Computer Networks and ISDN Systems, nº10, 1985.

COVI79 G. Coviello, "Comparative Discussion of Circuit vs. Packet Switched Voice", IEEE Transactions on Communications, Vol. 27, No. 8, August 1979.

DOUG85 N. Doughty, "PABX versus LAN", Systems International, January 1985.

ECMA90 ECMA-QSIG, "Layer 3 Protocol for Signalling Between Exchanges of Private Telecommunications Networks for the Control of Circuit Switched Calls", February 1990.

EQUI87 Short Form Catalog - Networking Data PBXs, Equinox, September 1985.

FAVR82 J. L. Favre, "CARTHAGE: a Multiservice Local Network on a Fiber Optics Loop", Local Computer Networks, IFIP, 1982.

FINE86 M. Fine, F. Tobagi, "Packet Voice on a Local Area Network with Round Robin Service", IEEE Transactions on Communications, vol. 34, n' 9, September 1986.

FRUC84 C. Fruchard, J. Dejean, "A Hybrid Switched Open Network for Voice and Data Services", ISS'84, Florence, Italy, May 1984.

GEIH84 K. Geihs, "Modeling and Analysis of Silence Supression Strategies for Packet Voice Transmissions", Performance of Computer--Communications Systems, IFIP, 1984.

GITM81 I. Gitman, W. Hsieh, B. Occhiogrosso, "Analysis and Design of Hybrid Switching Networks", IEEE Transactions on Communications, v. 29, n' 9, September 1981.

GOEL85 R. Goel, "A Hybrid FARA/CSMA-CD Protocol for Voice-Data Integration", Computer Networks and ISDN Systems, n' 9, 1985.

GRIN83 GRINSEC, "Electronic Switching", North Holland Studies in Telecommunications, Vol. 2, 1983.

HAKE83 A. Hakeem, R. Goel, A. Dhawan, "Simulation of FARA/CS, a New Access Protocol", Computer Network Symposium, Maryland, December 1983.

HAN 75 S. Han, "Circuit-Switched Digital Data Communication with Demand Adaptive Multiplexing", J. Appl. Sci. Eng, Elsevier Scientic Amsterdam, The Netherlands, 1975.

HARR80 E. Harrington, "Voice/Data Integration Using Circuit Switching Networks", IEEE Transactions on Communications, Vol. 28, No. 6, June 1980.

HILA84 W. Hilal, M. Liu, "Local Area Networks Supporting Speech Traffic", Computer Networks, Vol. 8, 1984.

HILL90 R. Hill, "EDI and X.400 using Pedi", Technology Appraisals Ltd, 1990.

IEEE85A IEEE 802.3-1985, "CSMA-CD Access Method", USA, 1985.

IEEE85B IEEE 802.5-1985, "Token-Ring Access Method and Physical Layer Specifications", USA, 1985.

IEEE85C IEEE 802.4-1985, "Token-Passing Bus Access Method and Physical Layer Specifications", USA, 1985.

INTE85 iAPX 86/88, 186/188 User´s Manual, Intel, 1985.

ISO79A HDLC Frame Structure, ISO International Standard 3309, 1979.

ISO79B HDLC - Consolidation of Elements of Procedures, ISO International Standard 4335, 1979.

ISO 88 FDDI Token Ring Media Access Control (MAC), International Standard ISO 9314-2, 1988.

JANC84 P. Janca, "Comparing the two PBX-to-Computer Specifications", Data Communications, May 1984.

KEIS89 G. Keiser, "Local Area Networks", McGraw-Hill International Editions, 1989.

KNUT73 D. Knut, "The Art of Computer Programming - Sorting and Searching", Addison-Wesley, 1973.

MALE88 M. Malek, "Integrated Voice and Data Communications Overview", IEEE Communications Magazine, Vol. 26, No. 6, June 1988.

MART89 J. Martins, "Contribuições para o Estudo de Arquitecturas Protocolares para Redes Locais de Elevada Velocidade", Dissertação de Doutoramento, Universidade de Aveiro, Maio de 1989.

MORI87 S. Morita, T. Katsuyama, K. Ito, H Hayami, "Elastic Basket Switching - A New Integrated Switching System for Voice and High-Speed Burst Data", ISS'87, 1987.

MULD88 R. J. Mulder, "Private ISDNs seen from a standardisation point of view", ISDN in Europe, The Hague, The Netherlands, April 25-27, 1988.

NEWE85 J. Newey, "LCT 6500: le Multiservice, du Cablage aux Facilités", Actes du Congrés De Nouvelles Architectures pour les Comunications", 1985.

NEWE86 J. Newey, "Le Reseau Multiservice LST 6500", Les Dossiers des Reseaux d'Entreprise, n' 3, 1986.

NEWM88 R. Newman, Z. Budrikis, J. Hullett, "The QPSX MAN", IEEE Communications Magazine, vol. 26, nº 4, April 1988.

NUNE87 M. Nunes, "Arquitectura de Comutação de Ritmo Variável e Integração de Serviços", Dissertação de Doutoramento, Janeiro de 1987.

OLIV89 J. Oliveira, "Simulador da Pseudo-Estrela", Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica, Universidade de Aveiro, 1989.

PAIL84 B. Paillassa, J. Cabanel, "Contribuition a L'Analyse du Transfert D'Information Mixte Telephone-Données dans les Reseaux Locaux", Actes du Congrés de Nouvelles Architectures pour les Communications, Paris, France, Septembre 1984.

RAMO88 F. Ramos, N. Rocha, "A Scenario and an Architecture for an ISPN", E-ISDN88, The Second ISDN Europe Conference, Amsterdam, The Netherlands, June 27-July 1, 1988.

ROCH85 N. Rocha, J. Alves, P. Oliveira, "Pseudo-Estrela: Rede Local de Elevada Performance", 2º Workshop Nacional sobre Tecnologia das Telecomunicações, Vimeiro, Outubro de 1985.

ROCH86 N. Rocha, "Rede Local Pseudo-Estrela: Topologia e Método de Acesso", PI-30, Departamento de Electrónica e Telecomunicações da Universidade de Aveiro, 1986.

ROCH87A N.Rocha, J.Alves, P.Oliveira, "A Fast and Flexible Data Communications Switch", Ibericom'87, Lisboa, 1987.

ROCH87B N. Rocha, J. Alves, "A Packet Switching Wide Band Subscriber Network", NA5 Seminar on Subscriber Premises Networks, Nurnberg, R.F.A., Novembro de 1987.

ROSS86 F. Ross, "FDDI - a Tutorial", IEEE Communications Magazine, vol. 24, n' 5, May 1986.

SCHM86 W. Schmidt, "Can the World Agree on the Next Speech Algorithm?", Data Communications, July 1986.

SCHW88 M. Schwartz, "Telecommunication Networks: Protocols, Modeling and Analysis", Addison--Wesley Publish, 1988.

SEVE84 A. Severson, "AT&T Proposed PBX-to-Computer Interface Standard, Data Communications, nº 4, April 1984.

SIEM89A ICs for Communications Data Book, Siemens, 1989.

SIEM89B ISDN Subscriber Access Controller (ISAC-S), ICs for Communications Data Book, Siemens, 1989.

SOAR85 L. Soares, "REDPUC-Un Réseau Local pour L'Integration de Services Voix-Données", Actes du Congrés de Nouvelles Architectures pour les Communications, 1985.

TELE90 Digital Subscriber Signalling nº1 (DSS1) Specification for Portugal (Pilot Phase ISDN) - Exceptions Paper on ETSI Recommendations, TELECOM Portugal, 1990.

TRAN89 I. Trancoso, L. Almeida, J. Marques, J. Rodrigues, "High Quality Mid-Range Speech Encoding", Melecon'89, Lisboa, Abril 1989.

WOIN88 M. Woinsky, "National Performance Standards for Telecommunication Services", IEEE Communications Magazine, Vol. 26, No. 10, October 1988.

WONG84 J. Wong, P. Gopal, "Analysis of a Token Ring Protocol for Voice Transmission", Computer Networks, n' 8, 1984.

ABREVIATURAS

AC	Agente Comunicante
ACF	Access Control Field (DQDB)
ADD/DATA Rx BUS	Barramento ADDRESS/DATA RECEIVE BUS da IAPE
ADD/DATA Tx BUS	Barramento ADDRESS/DATA TRANSMISSION BUS da IAPE
ADD_STR	Sinal ADDRESS STROBE da IAPE
ADPCM	Adaptative Differential Pulse Code Modulation
ANSI	American National Standards Institute
AU	Access Unit
BG	Sinal BUS GRANT da IAPE
C	Capacidade de comutação expressa em número de pacotes/s
CAPE	Controlador de Acesso à Pseudo-Estrela
CC	Current Controller (protocolo FARA/CSMA-CD)
CCITT	Comité Consultatif International de Télégraphique et Téléphonique
CD	Count down Counter (DQDB)
CG	Cyclic Group (FDDI-II)
CLS	Sinal CLEAR TO SEND da IAPE
CLT	Sinal CLEAR TOKEN do barramento do subsistema de comutação
CPI	Computer to PBX Interface
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
CTS	Sinal CLEAR TO SEND do barramento do subsistema de comutação
DCK	Sinal DATA CLOCK do barramento do subsistema de comutação
Dim_msg	Dimensão, em bytes, de uma mensagem
Dim_msg1_med	Dimensão média, em bytes, da mensagem P_CONV_END
Dim_msg2_med	Dimensão média, em bytes, da mensagem I_CONV_END
Dim_msg3_med	Dimensão média, em bytes, da mensagem P_EST_COM
Dim_msg4_med	Dimensão média, em bytes, da mensagem I_EST_COM
Dim_overhead	Número de ciclos do DCK dos procedimentos de transmissão de um pacote
Dim_pacote	Dimensão máxima, em bytes, dos pacotes no subsistema de comutação
DLCI	Data Link Connection Identifier
DMI	Digital Multiplex Interface
DQDB	Dual Queue Dual Bus
DTE	Data Terminal Equipment
ECMA	European Computer Manufacturers Association
EDI	Electronic Data Interchange
EI	Elemento de Informação
EIPb	Elemento de Informação Público (PIS)
EIPv	Elemento de Informação Privado (PIS)
EOP_Rx	Sinal END OF PACKET RECEPTION da IAPE
EOP_Tx	Sinal END OF PACKET TRANSMISSION da IAPE
ERR	Sinal ERROR do barramento do subsistema de comutação
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FDDI	Fiber Distributed Data Interface
FIFO	First In First Out
FIM_CONF	Mensagem FIM DE CONFERÊNCIA do PIS
FLW	Following Non-Isochronous Slot (DQDB)
FST	First Non-Isochronous Slot (DQDB)
HDLC	High Level Data Link Control

IAPE	Interface de Acesso à Pseudo-Estrela
IE	Information Element
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISAC-S	ISDN Subscriber Access Controller
ISC	Isochronous Slot (DQDB)
ISPBX	Integrated Services Private Branch Exchange
I_CONV_END	Mensagem INDICAÇÃO DE CONVERSÃO DE ENDEREÇO do PIS
I_EST_COM	Mensagem INDICAÇÃO DE ESTABELECIMENTO DE COMUNICAÇÃO do PIS
I_INIC_CONF	Mensagem INDICAÇÃO DE INÍCIO DE CONFERÊNCIA do PIS
I_RES_REC	Mensagem INDICAÇÃO DE RESERVA DE RECURSOS do PIS
I_RET_COM	Mensagem INDICAÇÃO DE RETOMA DE COMUNICAÇÃO do PIS
I_SUSP_COM	Mensagem INDICAÇÃO DE SUSPENSÃO DE COMUNICAÇÃO do PIS
I_TRF_COM	Mensagem INDICAÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DE COMUNICAÇÃO do PIS
k	Número de canais síncronos por endereço (Simulador II)
LAN	Local Area Network
LAPB	Link Acess Procedure Balanced
LAPD	Link Access Procedure on D Channel
LCI	Logical Channel Identifier
LLC	Logical Link Control
M	Número máximo de endereços no subsistema de comutação
MAB	Módulo de Acesso Básico
MAC	Medium Access Controller
MAP	Módulo de Acesso Primário
MIAPE	Multiplexador da IAPE
MSI	Manufecturer Specific Information
MTA	Message Transfer Agent X.400
NSYNC	Sinal Network Sync do barramento do subsistema de comutação
NT1	Network Termination 1
NT2	Network Termination 2
N_canais	Número de canais de informação e sinalização de uma configuração
N_ts	Número de time slots de uma trama (Simulador I)
OSI	Open Systems Interconnection
PABX	Private Automatic Branch Exchange
PAPE	Processador de Acesso à Pseudo-Estrela
PAPE_ERR	Sinal PAPE ERROR INDICATION da IAPE
PCM	Pulse Code Modulation
PH	Packet Handler
PIS	Protocolo Interno de Sinalização
PLP	Packet Layer Protocol (X.25)
P_CONV_END	Mensagem PEDIDO DE CONVERSÃO DE ENDEREÇO do PIS
P_EST_COM	Mensagem PEDIDO DE ESTABELECIMENTO DE COMUNICAÇÃO do PIS
P_INIC_CONF	Mensagem PEDIDO DE INÍCIO DE CONFERÊNCIA do PIS
P_RES_REC	Mensagem PEDIDO DE RESERVA DE RECURSOS do PIS
P_RET_COM	Mensagem PEDIDO DE RETOMA DE COMUNICAÇÃO do PIS
P_SUSP_COM	Mensagem PEDIDO DE SUSPENSÃO DE COMUNICAÇÃO do PIS
P_TERM_COM	Mensagem PEDIDO DE TERMINAÇÃO DE COMUNICAÇÃO do PIS
P_TRF_COM	Mensagem PEDIDO DE TRANSFERÊNCIA DE COMUNICAÇÃO do PIS

Q-Sig	Signalling Protocol for Q Reference Point
QPSX	Queued Packet and Synchronous Switch
RCU	Ring Control Unit (Rede Carthage)
RDIS	Rede Digital com Integração de Serviços
REQ	Bit REQuest (DQDB)
RNR	Sinal RECEIVER NOT READY da IAPE
RQ	Request Counter (DQDB)
RQS	Sinal REQUEST TO SEND do barramento do subsistema de comutação
RR	Sinal RECEIVER READY da IAPE
RST	Sinal RESET do barramento do subsistema de comutação
RSU	Ring Synchronisation Unit (Rede Carthage)
RT-V	Real Time Voice Protocol
RTR	Sinal REQUEST TO RECEIVE da IAPE
RTS	Sinal REQUEST TO SEND da IAPE
Rx_CLK	Sinal RECEIVER CLOCK da IAPE
SAP	Service Access Point
SAPI	Service Access Point Identifier
SCTV	Servidor de Conferência Tripartida de Voz
SD	Start and Decrement Voice Frame (Protocolo FARA/CSMA-CD)
SD	Servidor de Directório
SDf	Servidor de Difusão
SI	Start and Increment Voice Frame (Protocolo FARA/CSMA-CD)
SLD	Synchronous Link Data interface
Smax	Número máximo de canais síncronos em função da capacidade de comutaçã
SS	Start and Same Voice Frame (Protocolo FARA/CSMA-CD)
SX.25	Servidor X.25
SYS_ERR	Sinal SYSTEM ERROR INDICATION da IAPE
T	Terminate Voice Frame (Protocolo FARA/CSMA-CD)
TA	Terminal Adaptor
TCK	Sinal TOKEN CLOCK do barramento do subsistema de comutação
TCL1	Sinal TOKEN CONTROL LINE 1 do barramento do subsistema de comutação
TCL2	Sinal TOKEN CONTROL LINE do barramento do subsistema de comutação
TDM	Time Division Multiplex
TE1	Terminal Equipment 1 (dotado de interface S)
TE2	Terminal Equipment 2 (não dotado de interface S)
TEI	Terminal Endpoint Identifier
Traf_med	Tráfego médio, em erlangs, de um canal de informação
TTR	Sinal TOKEN TRANSFER do barramento do subsistema de comutação
TTS	Sinal TOKEN TO SEND do barramento do subsistema de comutação
Tx_CLK	Sinal TRANSMITTER CLOCK da IAPE
T_acesso	Tempo de acesso ao subsistema de comutação
T_acesso_max	Valor máximo que T_acesso pode assumir
T_at_info	Tempo de atraso a que é sujeito um byte para ser transferido entre duas UAC
T_cvend	Tempo de conversão de um endereço
T_est_com	Tempo de estabelecimento de uma comunicação
T_gmsg1	Tempo de geração da mensagem P_CONV_END
T_gmsg3	Tempo de geração da mensagem P_EST_COM

T_gmsg4	Tempo de geração da mensagem I_EST_COM
T_proc	Tempo de processamento de um pacote X.25 no SX.25
T_sd	Tempo de processamento de uma conversão de endereço no SD
T_sin	Tempo de sinalização entre USs
T_trama	Tempo de duração de uma trama (Simulador I)
T_trf_med	Tempo médio de transferência de um byte entre duas localizações de memóri
T_ts	Tempo de duração de um time slot (Simulador I)
T_tx_max	Tempo máximo de transmissão de um pacote no subsistema de comunicação
T_tx_msg	Tempo de transmissão de uma mensagem
T_tx_msg1	Tempo de transmissão da mensagem P_CONV_END
T_tx_msg2	Tempo de transmissão da mensagem I_CONV_END
UAC	Unidade de Acesso de Canal
UD	Unidade de Dados
UDB	Unidade de Dados de Canal B
UDD	Unidade de Dados de Canal D
UDX	Unidade de Dados LAPB
US	Unidade de Sinalização
UUS	User-to-User Signalling
v	Velocidade de transmissão de uma fonte síncrona em bit/s
VLSI	Very Large Scale Integration
V_inst	Valor, em hz, do relógio utilizado para transferência de dados
WBC	Wide Band Channel (FDDI-II)

A impressão desta Tese foi subsidiada pelo
INIC-Instituto Nacional de Investigação Científica