

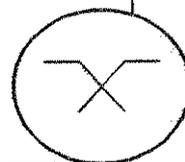
CC

Tese de Mestrado - UNICAMP



**REDE LOCAL DE
PROCESSADORES
DE UMA CPA-T**

Gilson Fernandes



Este exemplar corresponde à redação final da tese
defendida por Gilson FERNANDES

_____ e aprovada pela Comissão
Juizadora em 07 / 01 / 82.

Ed. de Carvalho
Orientador

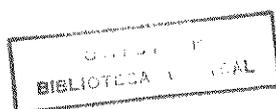
REDE LOCAL DE PROCESSADORES DE UMA CPA-T

Gilson Fernandes

Orientador: **Prof. Dr. Michel Daoud Yacoub**

Dissertação apresentada na Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Janeiro de 1992



96.02.19/96

A

meu pai Juvenal e minha mãe Albina,
a meus sobrinhos Cesar Augusto e Júlio Cesar,
e ao amigo e orientador Michel
dedico este trabalho.

A gente vai contra a corrente
Até não poder resistir...
(Chico Buarque)

AGRADECIMENTOS

Ao professor Michel Daoud Yacoub pela orientação, incentivo e dedicação, sem o que possivelmente este trabalho não seria levado a cabo.

A Fábio Luís Aprobato pelo desenvolvimento do software de controle da Estrutura de Sinalização ("software de sinalização").

A Carlos Cesar Ferreira Araújo pela especificação e desenvolvimento da interface entre o Sistema Operacional e o "software de sinalização".

A Benito Aiello Júnior pelo desenvolvimento conjunto da placa CSP.

A Celso Honda pela dedicação na aprimoração do projeto das placas SPP e CTE.

A Aldemar F. Parola, Victor A. V. Diaz e Aldo José Kuhr Júnior pelo exemplo profissional e pela confiança dedicada ao meu trabalho.

A Joseli A. Pinto pelo incentivo.

A Donaldo Gomes, José Antônio Pereira, Luís Antônio Portela, Carlos Orenes, Fernando Ribeiro e a todos os colegas do CPqD - TELEBRÁS que de uma forma ou de outra colaboraram na realização daquilo que para mim antes de um grande desafio foi um sonho: *a Estrutura de Sinalização do Sistema TRÓPICO RA.*

O AUTOR

O autor desta tese é engenheiro elétrico (eletrônico) formado pela UNICAMP. Foi pesquisador do CPqD - TELEBRÁS, de 1984 a 1990, com trabalhos voltados à área de processadores e redes locais, com aplicações nas centrais telefônicas TRÓPICO R e TRÓPICO RA. Foi o responsável pelo desenvolvimento da Estrutura de Sinalização (rede local de processadores) do Sistema TRÓPICO RA, em que concebeu a arquitetura da Rede Local de Processadores e as linhas gerais do modelo de difusão para carga software dos processadores da rede. Atualmente realiza trabalho junto à ALCATEL Standard Eléctrica S.A. - Madri, Espanha, envolvendo centrais telefônicas Sistema 12. Suas áreas de interesse incluem arquitetura de computadores, processamento distribuído e comutação de informação.

SUMÁRIO

Devido a redução nos custos dos processadores, causada pela evolução tecnológica, ocorreu uma revolução nos sistemas de controle e de processamento. Os sistemas de controle que tradicionalmente eram quase que exclusivamente centralizados, passaram a ser preteridos em função dos sistemas distribuídos. Os sistemas distribuídos propiciam uma capacidade de processamento ampliável, teoricamente infinita, pela agregação de novas unidades de processamento, além de prover um nível de confiabilidade superior ao dos sistemas centralizados convencionais.

O propósito desta tese é descrever a arquitetura e a implementação de uma rede local de processadores particular que caracteriza um sistema distribuído. O objetivo imediato deste desenvolvimento foi servir como suporte ao controle de uma central CPA-T (central temporal com controle por programa armazenado) de grande porte (Sistema TRÓPICO RA). Como resultado obteve-se uma estrutura de controle que atendeu a todos os requisitos especificados. Além disso, a sua flexibilidade é tal que a mesma solução permite ser utilizada em outras aplicações onde seja necessário um sistema de comunicação entre processadores com características como alta performance, modularidade, confiabilidade, com a vantagem de utilizar-se um reduzido número de componentes de fácil aquisição no mercado.

PREFÁCIO

Os sistemas distribuídos foram inicialmente concebidos para prover o compartilhamento de recursos hardware e software, visando aproveitá-los de maneira mais eficiente e com melhor desempenho. A princípio as implementações aconteceram de maneira empírica. À medida em que os resultados foram aparecendo, esses sistemas se tornaram cada vez mais atraentes a ponto de hoje estarem consolidados para inúmeras aplicações.

Uma central telefônica típica pode ser entendida como sendo um sistema composto basicamente por um subsistema de terminais, um subsistema de comutação e um subsistema de controle.

O subsistema de terminais ocupa-se de todas as funções de interface com a periferia da central. Essa periferia refere-se aos terminais telefônicos, à malha de acesso que integra a central à rede de telefonia mundial, e também à interface homem-máquina necessária para a operação e manutenção da central.

O subsistema de comutação trata de prover os caminhos físicos para transporte e a comutação das informações, tipo voz, intercambiadas entre os usuários pertencentes à rede externa (terminais telefônicos, malha de acesso à rede, etc.). Essas informações são recebidas e enviadas através do subsistema de terminais.

O subsistema de terminais ao verificar uma alteração no estado de um terminal aciona o subsistema de controle. O subsistema de controle determina a lógica de controle e a dinâmica em que os eventos são tratados internamente à central. Portanto, caracteriza a parte inteligente da central que cuida do controle e da supervisão das atividades desenvolvidas dentro dos subsistemas de comutação e de terminais.

A rede local de processadores apresentada neste trabalho foi desenvolvida para ser a infra-estrutura de suporte à parte de controle da central telefônica do Sistema TRÓPICO RA.

O Sistema TRÓPICO RA foi concebido de forma a permitir ser configurado em uma série de produtos de telecomunicações (centrais telefônicas locais, trânsitos, combinadas, Ponto de transferência de Sinalização, nó da Rede Digital de Serviços Integrados, etc), dando margem a cobrir uma ampla faixa de tamanhos de equipamentos, sempre com um custo compatível.

O Capítulo 1 desta tese começa com um breve histórico sobre a evolução da rede telefônica e dos seus nós de comutação (centrais telefônicas, etc). Com isso, pretende-se situar o desenvolvimento do Sistema TRÓPICO RA dentro do contexto histórico e também das tendências atuais. Este capítulo termina com a apresentação de conceitos gerais sobre sistemas distribuídos, a fim de introduzir características básicas do tema em que se situa este trabalho: redes locais de processadores.

O Capítulo 2 apresenta uma descrição geral e a estratégia de desenvolvimento do Sistema TRÓPICO RA. É apresentado a arquitetura do sistema, as técnicas utilizadas no desenvolvimento, etc, com o objetivo principal de localizar a Rede Local de Processadores, alvo deste trabalho, dentro do contexto da sua aplicação. A Rede Local de Processadores dentro do Sistema TRÓPICO RA é denominada *Estrutura de Sinalização*.

O Capítulo 3 apresenta aspectos gerais da Estrutura de Sinalização, onde são abordadas as suas características sistêmicas e também os principais requisitos considerados no projeto.

A Estrutura de Sinalização é detalhada nos Capítulos 4 e 5. No Capítulo 4 descreve-se a forma utilizada para a interconexão dos diversos processadores em rede. No Capítulo 5 apresenta-se a implementação e o modo de acesso dos

processadores à rede. Neste mesmo capítulo também descrevem-se, brevemente, a arquitetura interna dos processadores e a estrutura em que eles operam.

Nos Capítulos 4 e 5, a Estrutura de Sinalização foi apresentada em termos de blocos funcionais sem a preocupação de detalhar-se o empacotamento físico. Coube ao Capítulo 6 a associação de cada bloco funcional ao empacotamento específico adotado para a primeira versão da central telefônica TRÓPICO RA. Este capítulo ainda apresenta a técnica utilizada para obter-se um sistema de controle confiável.

Na fase de desenvolvimento de uma rede local de processadores de grande porte, antes mesmo da sua implementação, é imprescindível dispor de uma ferramenta que permita verificar se a lógica do sistema está correta e atende os requisitos de tráfego especificados. Com esse objetivo foi desenvolvido um modelo de simulação para permitir avaliar-se a capacidade da rede. O Capítulo 7 apresenta, de maneira sumarizada, o modelo de simulação desenvolvido e os resultados de alguns ensaios considerando-se aplicações típicas de centrais telefônicas.

O Capítulo 8 trata de concluir este trabalho e também apresentar alguns comentários finais.

Esta tese é o resultado de todo um trabalho desenvolvido dentro do CPqD - TELEBRÁS, de 1984 a 1990, envolvendo as centrais telefônicas TRÓPICO R¹ e TRÓPICO RA. O Sistema TRÓPICO RA veio em continuidade ao desenvolvimento da Central TRÓPICO R, com objetivo de atender requisitos mais altos de capacidade e também de serviços.

¹ A central TRÓPICO R é uma central telefônica de pequeno porte. O seu projeto serviu de base ao desenvolvimento do Sistema TRÓPICO RA.

Índice Geral

Capítulo 1: Introdução

1	INTRODUÇÃO	1-2
	1.1 A Evolução da Rede Telefônica	1-2
	1.2 Sistemas Distribuídos	1-5
	1.3 Topologia	1-9
	1.4 Meio de Transmissão	1-12
	1.5 Modos de Transmissão	1-13
	1.6 Erros de Transmissão	1-14
	1.7 Protocolo	1-15
	1.8 Canal Físico	1-16
	1.9 Objetivo do Trabalho	1-17

Capítulo 2: Sistema TRÓPICO RA

2	SISTEMA TRÓPICO RA	2-2
	2.1 Características Gerais	2-2
	2.1.1 Básico e Aplicativo	2-4
	2.1.2 Arquitetura	2-4
	2.1.3 Estrutura de Controle	2-7
	2.1.4 Carga de Programas	2-8
	2.1.5 Viabilidade do Produto	2-9
	2.2 Características Software	2-10
	2.2.1 Arquitetura Software	2-10
	2.2.2 Interação de Processos	2-12
	2.2.3 Caracterização dos Processos	2-15
	2.2.4 Organização do Sistema	2-15
	2.2.5 Mensagem	2-19
	2.2.6 Carga de Programa	2-20
	2.2.7 Linguagem de Programação	2-23

2.2.8	Linguagem de Descrição de Sistema	2-26
2.3	Características Hardware	2-27
2.3.1	Estrutura de Sincronismo	2-28
2.3.2	Estrutura de Voz	2-33
2.3.3	Estrutura de Sinalização	2-37
2.4	Características de Empacotamento	2-39
2.5	Tratamento de uma Chamada Telefônica Local	2-40
2.5.1	Detecção de Fone Fora do Gancho	2-41
2.5.2	Envio de Tom de Discar	2-41
2.5.3	Recepção dos Dígitos	2-42
2.5.4	Estabelecimento do Caminho de Conversação	2-42
2.5.5	Envio de Tom de chamada e de Corrente de Toque	2-43
2.5.6	Atendimento e Conversação	2-43
2.5.7	Liberação da Chamada	2-43
2.5.8	Tarifação	2-44

Capítulo 3: Estrutura de Sinalização

3	ESTRUTURA DE SINALIZAÇÃO	3-2
3.1	Aspectos Gerais	3-4
3.2	Aspectos de Especificação	3-7
3.2.1	Aspectos Básicos	3-7
3.2.2	Requisitos para a Topologia	3-9
3.2.3	Requisitos para o Meio de Transmissão	3-10
3.2.4	Requisitos para o Controle de Acesso ao Meio	3-11
3.3	Aspectos de Implementação	3-13
3.3.1	Topologia	3-13
3.3.2	Plano de Sinalização	3-14
3.3.3	Meio de Transmissão	3-17
3.3.4	Mecanismo de Controle de Acesso ao Meio	3-18
3.3.4.1	Varredura	3-19
3.4	Especificação do Bloco Funcional: SINP	3-20

Capítulo 4: Rede Intermodular

4	REDE INTERMODULAR	4-2
4.1	Barramento de Sinalização	4-4
4.1.1	Vias de Comunicação	4-7
4.1.2	Enlace de Controle	4-10
4.1.3	Enlace de Sincronismo	4-16
4.2	Multi-Barramento	4-21
4.3	Alocador	4-21
4.4	Controlador	4-27
4.4.1	Máquina de Estados	4-31
4.4.2	Tratador de Solicitação	4-32
4.4.3	Seletor de Endereço	4-33
4.4.4	Gerador de Habilitação	4-33
4.4.5	Seletor de Página	4-34
4.4.6	Enviador de Habilitação	4-34
4.4.7	Seletor de Via	4-35
4.4.8	Tratador de Segmento	4-35
4.4.9	Temporizador e Controlador de Vias	4-37
4.5	Unidade de Controle Alocador (UCA)	4-37

Capítulo 5: Módulo

5	MÓDULO	5-2
5.1	Introdução	5-2
5.2	Unidade de Controle	5-4
5.2.1	Processador	5-5
5.2.1.1	Microprocessador	5-5
5.2.1.2	Circuito de Gerência de Barramentos	5-6
5.2.1.3	Circuito de Gerência de Endereçamento	5-6
5.2.1.4	Circuitos Miscelâneos	5-7
5.2.2	Memória	5-8
5.2.3	Circuito Dedicado de Sinalização (CIDS)	5-8
5.2.3.1	Interface aos Planos	5-10

5.2.3.2	Controle de Comunicação (CC)	5-11
5.3	Unidade de Interface a Plano (UIP)	5-13
5.3.1	Arquitetura Interna da UIP	5-19
5.3.1.1	Bloco Tratador de Relógio	5-19
5.3.1.2	Bloco Controle de Acesso	5-20
5.3.1.3	Enviador de Resposta	5-23
5.3.1.4	Bloco Tratador de Via de Recepção	5-24
5.3.1.5	Tratador de Vias de Transmissão	5-25
5.3.1.6	Enviador de Solicitação	5-26
5.4	Unidade de Controle de Comunicação (UCC)	5-27
5.4.1	Formato das Mensagens	5-28
5.4.2	Arquitetura Interna da UCC	5-30
5.4.2.1	Controlador de Fase	5-30
5.4.2.2	Buffer de Mensagens	5-32
5.4.2.3	Registro de Entrada e Saída	5-36
5.4.2.4	Controlador de Erros	5-36
5.4.2.5	Máquina de Controle	5-40
5.5	BI Dedicado de Sinalização (BIDS)	5-44
5.6	Protocolo de Comunicação	5-47
5.6.1	Protocolo Software	5-47
5.6.2	Protocolo Hardware	5-48

Capítulo 6: Estrutura de Controle do Sistema TRÓPICO RA

6	ESTRUTURA DE CONTROLE DO SISTEMA TRÓPICO RA	6-2
6.1	Introdução	6-2
6.2	Controle Distribuído	6-2
6.2.1	Conceitos	6-2
6.2.2	Organização	6-5
6.3	Configuração Funcional	6-8
6.3.1	Configuração da Rede Intermodular	6-8
6.3.2	Configuração do Plano de Sinalização	6-10
6.3.3	Configuração do Barramento de Sinalização	6-11

6.3.4	Configuração das Unidades de Controle	6-12
6.4	Descrição Física	6-17
6.4.1	Placas do Alocador	6-17
6.4.2	Placas da Unidade de Controle de Terminal 6-	6-20
6.4.3	Placas da Unidade de Controle Genérica	6-22
6.4.4	Placas da Unidade de Controle Alocador	6-24
6.5	Estrutura Física	6-27
6.5.1	Interfaces	6-28
6.5.2	Alimentação	6-29
6.6	Detecção e Recuperação de Falhas	6-29
6.6.1	Falhas	6-29
6.6.2	Detecção de Falhas	6-29
6.6.3	Remoção de Falhas	6-31
6.6.4	Supervisão Dinâmica de Falhas	6-32

Capítulo 7: Avaliação de Desempenho

7	Avaliação de Desempenho	7-2
7.1	Modelo de Avaliação do Desempenho	7-2
7.2	Aplicação do Modelo de Simulação	7-7
7.3	Comentários	7-13

Capítulo 8: Conclusão

8	CONCLUSÃO	8-2
8.1	Introdução	8-2
8.2	Futuras Aplicações	8-4
8.3	Comentários Finais	8-5

Apêndice: Abreviações

A.1	ABREVIACÕES	a-2
-----	-----------------------	-----

Capítulo 1

Introdução

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

1.1 A Evolução da Rede Telefônica

Nos últimos cem anos, mais precisamente depois do surgimento da primeira mesa comutadora (1878), as pesquisas na área de telefonia vem objetivando proporcionar uma rede mundial dedicada à transmissão de voz com características cada vez mais adequadas de qualidade, custo de instalação e serviços suplementares para maior conforto do usuário. Durante esse processo, vem sendo estabelecidos vários estágios de evolução, determinados pelas necessidades técnicas para atendimento da crescente demanda e mesmo pelas inovações tecnológicas, que permitem simplificar e melhorar os produtos.

A princípio, na Era da Comutação Manual, os problemas e limitações intrínsecos ao processo de controle manual, no decorrer de pouco tempo, já exigia algum tipo de automatização para tornar o mecanismo mais eficiente. Os primeiros sistemas de comutação automática começaram a surgir no final do século passado, o que caracterizou o início da Era da Comutação Eletromecânica. O sistema passo-a-passo, baseado em estruturas mecânicas rotativas ou deslizantes, predominou em boa parte dessa era, sendo somente superado em meados do século quando surgem os primeiros sistemas de comutação com o princípio do seletor de barras cruzadas - seletor crossbar. Esses permitiam simplificar os equipamentos, tornando-os mais eficientes e com maior capacidade de terminais telefônicos. A consolidação do sistema crossbar veio com o advento dos reles, que permitiram maior compactação, eficiência e capacidade ainda maior [1].

Com o grande desenvolvimento que aconteceu com a eletrônica nos últimos 30 anos, surgiu a possibilidade de se viabilizarem novas teorias de comutação e transmissão. As vantagens de se codificar um sinal analógico para transmissão e

tratamento, foram amplamente comprovados, com critérios como maior imunidade a ruído e cross-talk, detecção e correção erros, etc. Esses fatores, entre outros, têm justificado a tendência para a transmissão digital. Uma vez que codificação leva naturalmente ao conceito de tratamento digital, e como também a tecnologia de processamento de informação tem tratado, quase que exclusivamente, dados como entidades digitais, tem ocorrido da mesma forma um maior desenvolvimento de centrais telefônicas digitais.

Desde o surgimento das primeiras centrais de comutação digitais, podem ser verificados já algumas mudanças e evoluções. Inicialmente, os desenvolvimentos em sistemas de comutação eram quase todos voltados aos sistemas CPA-E (sistemas espaciais com controle por programas armazenados). Como exemplo destes sistemas podem ser citados o AKE, METACONTA e AXE. No AKE e METACONTA o controle é realizado por um ou dois computadores de grande porte, caracterizando os sistemas de processamento centralizado. O AXE possui um processador central ligado a processadores regionais, caracterizando um processamento semi-distribuído.

Mais recentemente, os sistemas CPA-T (sistemas temporais, com controle por programas armazenados), paralelamente à estratégia de descentralização completa do controle dentro de um sistema distribuído (Sistema TRÓPICO R, Sistema 12) tem direcionado a nova tendência. O progresso tecnológico alterou os fatores econômicos e atingiu um ponto onde os processadores se tornaram recursos baratos, além de confiáveis. Esse aspecto e o fato de os sistemas distribuídos apresentarem uma série de características desejáveis para uma central telefônica justificam essa tendência.

A partir dos anos 50, com o aparecimento e desenvolvimento da indústria de computadores, e com o crescente aumento de suas aplicações, tem se verificado uma demanda cada vez maior de comunicação de dados com características bastante diferentes das de informações de voz. Para suprir essa nova demanda, as soluções adotadas no passado foram basicamente a introdução

de interfaces de adaptação à rede telefônica convencional ou então a criação de redes separadas. Atualmente com a proliferação cada vez maior dos serviços não telefônicos, já não se justifica utilizarem-se redes distintas para cada tipo de serviço, e sim adotar um meio único que permita transportar e comutar os diferentes tipos de sinais de voz, texto, dados, vídeo, etc., como variações de um único tipo de informação. Assim, começou então a se configurar a necessidade de se discutir a nível internacional a criação de uma rede de serviços integrados que eliminasse as desvantagens das redes dedicadas e service de base para o futuro das telecomunicações.

Pressionados pela demanda de usuários, pela movimentação dos fornecedores de equipamentos de informática e telecomunicações, e pelo aumento dos custos e complexidade de operação e manutenção das redes dedicadas, já no início da década de 70, começou a ser discutido no Comitê Consultivo Internacional de Telefonia e Telegrafia (CCITT) o assunto RDSI (Rede Digital de Serviços Integrados). De acordo com o Livro Vermelho de 1984 [2], RDSI pode ser entendido como sendo uma rede que, proporcionando vias digitais de extremo a extremo, sirva para uma ampla gama de serviços de voz e não voz, a qual possa ser acessada por usuários por meio de um número reduzido de interfaces normalizadas para múltiplas aplicações. Fundamentalmente, RDSI provê aos usuários uma variedade de serviços não telefônicos, além dos próprios serviços telefônicos. Essencialmente, RDSI é uma revitalização da existente rede telefônica.

A evolução da rede telefônica convencional tem consistido na digitalização dos enlaces de transmissão, na introdução de centrais com controle por programa armazenado (CPA) e na digitalização da comutação de voz. Com isso, obtem-se um sub-conjunto da rede telefônica denominada Rede Digital Integrada (RDI), formada essencialmente por centrais de comutação digital conectadas por enlaces digitais, sendo realizada na conexão com o assinante, a única conversão analógica/digital/analógica.

O planejamento inicial para introdução da tecnologia digital, que conduz primeiramente a várias ilhas de RDI dentro da rede telefônica, prevê o oferecimento gradual de importantes benefícios, tanto para as empresas operadoras como também para os usuários, à medida que se alcancem níveis razoáveis de digitalização na transmissão e comutação dentro da rede. Com isso, a transição da RDI até a RDSI pode ocorrer de forma que os serviços de dados possam ser incorporados progressivamente, inicialmente por interfuncionamento com redes dedicadas (telex, dados), e posteriormente com a evolução das centrais da RDI e da própria malha de interconexão [3].

O Sistema TRÓPICO RA foi concebido notando-se as tendências crescentes para a digitalização das redes telefônicas e levando-se em consideração a necessidade de uma arquitetura modular e flexível a ponto de suportar e acompanhar a evolução tecnológica. Os conceitos de RDSI foram considerados como premissa básica de projeto. Para isso, a Estrutura de Sinalização foi preparada para suportar alto índice de tráfego de comunicação de dados internamente à central, requisito básico para se poder realizar a comutação de canais de "D" da RDSI.

1.2 Sistemas Distribuídos

O termo sistema distribuído tem sido atribuído indistintamente a diferentes classes de sistemas informáticos em que o potencial de tratamento da informação se encontra repartido no espaço. Por diferentes motivos estes sistemas têm sido utilizados como alternativa para substituir os sistemas clássicos em que o potencial tratamento de informação se encontra concentrado em um único processador. Numa conceituação mais restrigente, um sistema distribuído caracteriza-se por uma coleção de elementos de processamento autônomo interconectados, tanto logicamente como fisicamente, para a execução cooperativa de tarefas, com controle geral dos recursos descentralizados [4]. Com esse conceito se excluem desta classe os sistemas fortemente acoplados, onde o

conjunto de processadores estão fisicamente bastante próximos, interligados por um barramento ou mesmo por memória compartilhada, de tal forma a existir uma interdependência.

A Figura 1.1 representa um esquema geral de um sistema distribuído em que um conjunto de elementos de tratamento de informação, aqui designado como Módulo, aparece integrado por uma Estrutura de Interconexão. O Módulo, também denominado estação ou nó de comunicação, é uma entidade autônoma que tem associado um conjunto de funções voltadas à cooperação com os demais Módulos, na realização de uma aplicação global. A Estrutura de Interconexão

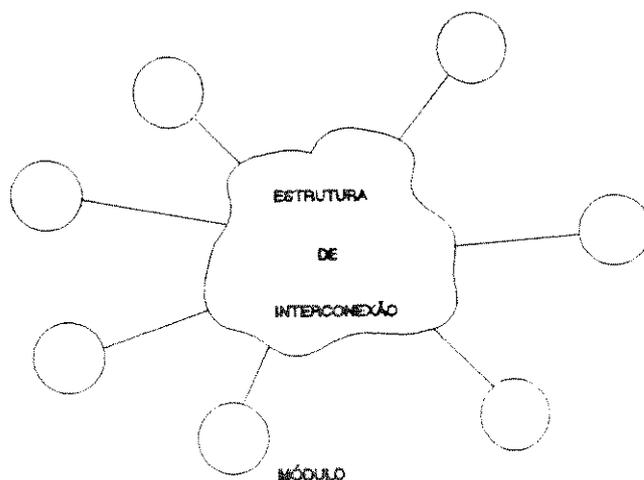


Figura 1.1: Esboço de um Sistema Distribuído

provê todo o suporte necessário para a troca de informação entre os Módulos.

Conforme as exigências das aplicações para as quais um sistema é concebido, são determinadas as características fundamentais dos seus elementos. Com relação à Estrutura de Interconexão, diversos aspectos podem ser levantados e tomados como base para enquadrar a aplicação dentro de uma classificação. Um dos parâmetros analisados é a dimensão da rede, com relação a uma escala de distância entre os Módulos.

Sistemas distribuídos que ocupam uma área restrita a alguns poucos metros, são denominados "confinados". Se o sistema se enquadra na faixa de até alguns poucos quilômetros, é um sistema "localmente distribuído (rede local)". No caso de a dispersão ser maior, tem-se um sistema "geograficamente distribuído".

As redes locais têm o seu interesse tanto para melhorar o desempenho e confiabilidade dos sistemas, como também para viabilizar o compartilhamento de recursos, cujas características de utilização, custo e funcionalidade, justificam os investimentos necessários para a utilização comum por todos ou por parte dos Módulos. Historicamente os sistemas geograficamente distribuídos foram os primeiros a serem praticados. Surgiram nos anos 60 como solução para interconexão de computadores situados em lugares remotos. A utilização da rede telefônica como solução de conexão atendeu as dimensões desejadas, com o custo somente do desenvolvimento das interfaces de acesso.

Com o desenvolvimento tecnológico, o contínuo decréscimo no custo do hardware e o crescente aumento da capacidade de processamento, cada vez mais tem favorecido a construção de sistemas distribuídos. Devido as suas características, a distribuição do processamento permite também, em muitas aplicações, ampliar bastante a capacidade de processamento do sistema como um todo. Isso porque possibilita que uma tarefa única seja decomposta e tratada em paralelo entre diversos processadores. Essa característica permite que o resultado final possa ser obtido com ganho de tempo.

Um sistema informático, do ponto de vista do usuário e de forma geral, é constituído por um conjunto de entidades (hardware e software) capazes de realizar, conjuntamente, determinadas funções orientadas à resolução de problemas de aplicação. Estas entidades são programas (tarefas), bem como recursos (periféricos, memória de massa, meio de transmissão, etc.), entre os quais podem ser estabelecidas determinadas relações. Por exemplo, comunicação entre tarefas com a finalidade de trocar informação na realização de uma função comum, comunicação entre tarefas e recursos com o objetivo da primeira utilizar

os serviços do segundo. Para que essas relações possam ser estabelecidas é necessária a existência de uma infra-estrutura de suporte que permita a efetivação dessas ações.

Em um sistema centralizado, ou seja, baseado num único computador, estas relações são viabilizadas geralmente pelo sistema operacional. Num sistema distribuído, a particularidade que existe, consiste na comunicação entre tarefas que compartilham máquinas distintas. Para permitir o mesmo tipo de relação, é necessário que a infra-estrutura de suporte esteja espalhada entre os diferentes componentes do sistema. Basicamente, estes recursos consistem de um conjunto de elementos software. Os elementos software ficam residentes nos diversos processadores e formam globalmente um sistema operacional distribuído. Os elementos hardware viabilizam a interconexão dos Módulos.

A interconexão dos Módulos se efetua sobre um suporte material capaz de permitir a transmissão da informação. Este suporte físico tem geralmente as suas características definidas pela banda de frequência que é capaz de operar, dependendo das características físicas do meio, dos elementos de transmissão e recepção utilizados, das técnicas de transmissão, etc. Em qualquer caso, a velocidade de transmissão máxima por um caminho físico é determinada pela relação sinal/ruído característica da banda de frequência disponível.

Por razões de ordem econômica e tecnológica é conveniente, muitas vezes, compartilhar entre os elementos processadores um conjunto único de recursos de transmissão. Para isso, é necessário administrar a utilização destes recursos, que em geral não são completamente confiáveis do ponto de vista da integridade da informação transportada. Em virtude disso, dependendo do tipo de aplicação, faz-se necessário prever mecanismos de detecção e tratamento de erro, seja pela recuperação da informação degradada, seja pela repetição da transmissão, ou mesmo pelo descarte incondicional da informação deteriorada.

A utilização de um mesmo suporte de comunicação que seja concorrido pelos Módulos, geralmente exige que algum tipo de multiplexação seja realizado. Multiplexação refere-se a algum esquema no qual intervalos de tempo ou faixas de frequência sejam alocados, sob bases fixas e predeterminadas, aos usuários que compartilham o uso do meio de transmissão.

Entre os métodos mais frequentes de multiplexação, em primeiro plano, estão os que se baseiam em utilizar temporalmente a capacidade de transmissão do meio. Nesta classe constam os algoritmos que integram os diferentes métodos de multiplexação no tempo - TDM (Time Division Multiplexing), e os métodos de alocação baseados na alocação do meio sob demanda dos usuários, que são chamados de maneira genérica - TDMA (Time Division Multiple Access). No segundo plano, estão as categorias dos métodos baseados na divisão da banda de frequência do meio em frações menores - FDM (Frequency Division Multiplexing). Esta solução equivale a criar caminhos físicos independentes, associados às frações da faixa total, com a particularidade de compartilhar o mesmo meio físico de transmissão [5].

1.3 Topologia

As estações (Módulos) que compõem uma rede local podem estar conectadas sob diversos arranjos possíveis. Cada arranjo apresenta características particulares, adequadas a diferentes implicações. Dentre as configurações mais difundidas, os arranjos topológicos em barramento (bus), anel e estrela (Figura 1.2) são os mais praticados.

A topologia em barramento é essencialmente uma estrutura de difusão. Quando uma estação envia uma mensagem, a mensagem fica disponível para todas as estações. No entanto, somente recebe a mensagem a estação a que esta se destina. Existe uma variedade de métodos para controle de barramento, que pode ser centralizado ou descentralizado. No caso descentralizado, os Módulos

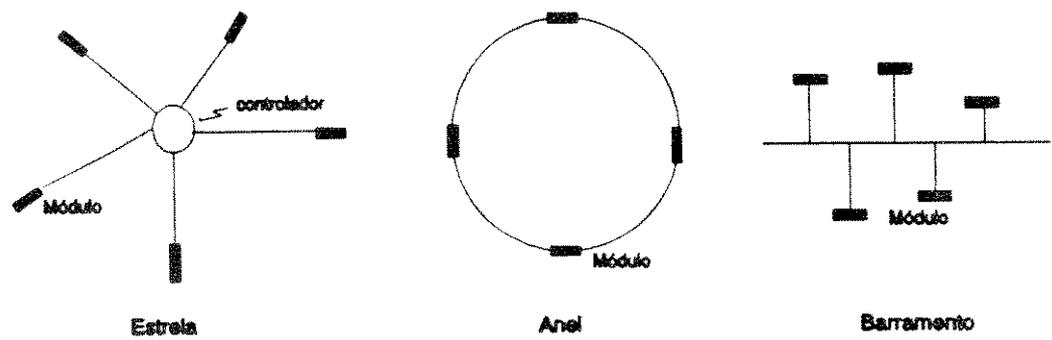


Figura 1.2: Arranjos Topológicos

compartilham o meio de transmissão segundo uma regra que determina o mecanismo de ocupação. Cada estação toma a iniciativa de analisar, num campo específico, a identificação do destino de cada mensagem que se propaga pelo meio de transmissão. Dessa maneira é possível reconhecer-se uma mensagem é ou não destinada a ela, caracterizando um mecanismo de acesso distribuído entre os nós. Num método de controle centralizado, o acesso ao meio é determinado por uma estação especial que distribui os recursos de transmissão sob demanda ou em períodos estipulados.

O método de controle descentralizado apresenta o inconveniente de no caso de alguma estação desrespeitar o algoritmo de tomada do meio de transmissão, por exemplo por falha, o sistema pode ficar um longo período inativo até que este se recupere (seja recuperado a ordem de ocupação do meio). No sistema de controle centralizado, por sua vez, uma falha do elemento controlador pode paralisar a operação dos recursos por ele administrado.

Os Módulos acoplados ao barramento têm um comportamento passivo em relação ao meio de transmissão. Essa característica, permite a adição e extração destes Módulos, sem perturbar o restante do sistema, e no caso de falha de algum nó o problema fica confinado ao próprio Módulo.

A topologia em anel é caracterizada por um enlace fechado que une todas as estações da rede. As mensagens dentro do anel são transferidas passando de estação em estação. Quando a mensagem chega numa estação o campo de endereço do destinatário é verificado. Se coincidir com o endereço da estação a mensagem é recebida, caso contrário ela é passada para a estação seguinte dentro do anel.

A configuração em anel apresenta relativa facilidade de ser implementada com todos os meios materiais de transmissão disponíveis. Uma de suas desvantagens é o fato de que a adição ou retirada de uma estação do anel pode paralisar a operação da rede durante este procedimento. O mesmo pode acontecer no caso de falha de algum nó.

A topologia estrela consiste de caminhos radiais que derivam a partir de um nó central. Este nó central pode funcionar controlando o tráfego da rede, ou apenas exercer a função de conexão física das estações. No caso do nó central exercer o controle de tráfego, normalmente a implementação de cada um dos outros nós fica simplificada. O tráfego de informação pelo nó pode ser através de comutação de mensagens ou por comutação de circuitos. Como comutador de mensagens o nó central recebe todas as mensagens e depois retransmite-as aos respectivos destinos. No caso de comutação de circuitos, o nó central estabelece a conexão física entre as estações durante a fase de comunicação. O desempenho de uma rede estrela depende essencialmente da eficiência do nó central. A topologia estrela apresenta o inconveniente da falha do nó central poder causar a paralisação da comunicação pelos recursos por ele administrados.

Devido às diferentes características que apresentam cada um dos métodos de interconexão dos nós de uma rede, algumas vezes pode ser interessante fazer uma combinação entre topologias com o objetivo de obter-se um arranjo que adapte-se melhor a uma determinada aplicação do que qualquer das configurações originais. As topologias decorrentes dessas combinações são chamadas topologias híbridas. Um exemplo de topologia híbrida é o arranjo *híbrido barramento-*

estrela. Nesta configuração, uma série de barramentos radiais são interligados por um nó central. Este nó central pode além de fazer a conexão físicas dos vários barramentos, também exercer o controle de acesso das estações ao meio. Neste caso, esse sistema pode ser entendido como uma extrapolação do esquema de barramento com controle centralizado.

1.4 Meio de Transmissão

A topologia de uma rede não define necessariamente qual tipo de meio físico deve ser utilizado para realizar a conexão entre os Módulos. As principais alternativas utilizadas são cabo coaxial, fibra ótica e par trançado. Cada um destes meios tem suas características particulares, que serão brevemente descritas a seguir.

O par trançado consiste de dois fios enrolados em espiral, que resulta um melhor desempenho (relação sinal/ruído) na transmissão de sinais do que numa disposição onde os fios são arranjados em paralelo. Constitui-se na opção mais barata e de mais simples instalação. A capacidade de transmissão desse tipo de suporte é função de suas propriedades elétricas elementares, tais como, resistência elétrica e capacitância mútua por unidade de comprimento. Sua utilização é recomendada para redes de dimensões não muito grandes (poucas centenas de metros) e para ambientes de níveis de ruído não muito elevados.

O cabo coaxial consiste basicamente de um condutor cilíndrico contido num tubo metálico, que serve como condutor de retorno e como blindagem eletrostática. Esta estrutura dá aos cabos coaxiais uma imunidade a ruídos superior aos pares trançados, além de diminuir a dependência da sua banda passante com as suas características elétricas. Assim, a sua capacidade de transmissão pode chegar a dezenas de megabits por quilômetro. Os cabos coaxiais são mais volumosos e mais caros do que os pares trançados.

As fibras óticas são condutores para a luz infra-vermelha, baseados no conceito de guia de onda. A luz codificada atravessa um filamento de sílica envolvido por uma substância de baixo índice de refração, o que provoca a reflexão sucessiva dos raios luminosos que se propagam internamente. A fibra ótica é imune à interferências eletromagnéticas e a ruídos. Por apresentar características de atenuação independentes da frequência, permite velocidades de transmissão bastante altas. Devido às reflexões e perdas geradas nas conexões, com a tecnologia disponível, as fibras óticas são mais adequadas para topologias que favoreçam a conexão ponto-a-ponto. O custo de instalação das fibras óticas ainda é relativamente alto e é uma tecnologia ainda em fase de amadurecimento.

Além dos três meios de transmissão abordados, o espaço livre também tem sido considerado como suporte de transmissão para sistemas distribuídos. O uso de rádio nestes sistemas encontra aplicações quando se exige mobilidade das estações ou mesmo onde a confiabilidade é um fator extremo, como em algumas aplicações bélicas.

1.5 Modos de Transmissão

Além do suporte físico de transmissão e da topologia da interconexão dos nós, a tecnologia de transmissão, como método de condicionamento da informação para transmissão, também é um fator para caracterização de uma rede local.

O método de transmissão binária é típico em comunicação de dados. O processo de comunicação ao nível de bits é, em geral, bidirecional com os nós de comunicação podendo transmitir e receber, simultaneamente ou não. A transmissão podendo ser simultânea nos dois sentidos caracteriza um sistema de comunicação duplex ("full-duplex"), enquanto a transmissão alternada num sentido e outro caracteriza um sistema semi-duplex ("half-duplex"). Levando em consideração as características do meio físico e as técnicas de utilização das

variáveis tempo e espaço, no controle da transmissão dos bits, podem ser identificados os modos de transmissão serial e paralelo.

No modo serial os bits são encadeados sequencialmente num único meio físico. No modo paralelo, um conjunto de bits é enviado simultaneamente em paralelo, sendo necessário um caminho físico associado a cada um dos bits.

Outro aspecto que caracteriza o modo de transmissão é o critério adotado para a separação dos bits relativamente ao tempo. A técnica que se baseia numa cadência regular fixa para a transmissão da sequência de bits é denominada síncrona. Nesta técnica algum método deve ser utilizado para manter o transmissor e o receptor sincronizados com a cadência dos bits. A transmissão assíncrona não requer sincronismo entre os dois extremos da comunicação. A separação dos bits é provida através de símbolos específicos introduzidos em conjunto com a informação, o que dispensa a necessidade de um encadeamento regular dos bits. Uma vez que informações adicionais são envolvidas, a transmissão assíncrona se torna mais lenta e menos eficiente. Na prática este conceito é bastante utilizado, no entanto, para transmissão de cadeias de bits. Os conjuntos de bits são delimitadas por elementos que informam o início e o fim da informação transmitida, sendo minorado com isso o efeito das informações adicionadas em relação a eficiência. Essa estratégia permite uma aleatoriedade nos instantes de transmissão dos segmentos de informação, característica importante para sistemas de tempo real, onde os eventos são aleatórios. Este método, na verdade, é uma mescla com o método síncrono, por depender ainda de um sincronismo a nível de bits.

1.6 Erros de Transmissão

As informações ao serem transferidas através de um suporte de comunicação estão sujeitas a alterações e perturbações, que podem influir no resultado da operação pretendida. O grau de confiabilidade de se transmitir as informações

corretamente também é um critério para se avaliar o desempenho de um sistema, assim como pode ser um requisito a ser atendido na fase de desenvolvimento. A cada tipo de aplicação está associada uma taxa de erros tolerável. O atendimento deste tipo de requisito, além de exigir muitas vezes métodos especiais de detecção e correção de erros, pode inclusive restringir certas técnicas e meios de transmissão.

Paralelamente ao avanço das técnicas e dos meios de transmissão disponíveis, também são desenvolvidos métodos orientados a tratar um amplo sub-conjunto de erros que podem afetar a transmissão de informação. Para transmissão de caracteres é bastante utilizado o método de detecção por erro de paridade, onde um bit de verificação adicionado à informação permite identificar algumas possibilidades de erros. Considerando blocos de caracteres, é comum gerar-se o elemento de comprovação através da soma dos bits da informação, método este denominado de "checksum". No caso de transmissão síncrona a nível de bits, o método utilizando código de redundância cíclico (CRC) é muito utilizado, e inclusive recomendado por diversas entidades de normatização. Neste método, a informação utilizada para a detecção de erros é obtida a partir dos coeficientes de um polinômio. Este polinômio é o resto da divisão de um polinômio (cujos coeficientes binários são os bits da informação a ser transmitida) por um outro polinômio quociente de referência [6].

1.7 Protocolo

Ao conjunto de regras que regulam o intercâmbio de informações entre elementos que cooperam entre si dá-se o nome de protocolo [7]. Em um sistema distribuído o protocolo permitirá fundamentalmente iniciar, manter e terminar um diálogo entre os elementos do sistema. O protocolo regulamenta a forma em que devem ser gerados e interpretados os componentes orientados ao controle de erros e a forma de interpretar as diversas situações possíveis de ocorrer no mecanismo de comunicação. Da mesma forma, dentro do protocolo estão previstos os

critérios para prover os caminhos que devem ser utilizados para intercambiar informações.

Os elementos de diálogo de um protocolo são mensagens. Dentro de cada mensagem, além dos dados, objeto final do diálogo, existem outras informações destinadas a permitir o seu correto encaminhamento, integridade e também a identificação do tipo. Todas essas informações compõem a mensagem conforme uma estrutura definida que constitui o seu formato.

1.8 Canal Físico

Para o transporte de informações em um sistema distribuído, deve-se estabelecer um circuito para a comunicação entre os Módulos . O canal físico necessário pode permanecer dedicado durante toda a conversação dos Módulos, ou bem ser utilizado em intervalos, sendo o caminho desfeito e recriado entre uma utilização e outra, permitindo o compartilhamento do mesmo meio físico com outros usuários.

Para se classificar o funcionamento de uma estrutura de interconexão existem dois conceitos clássicos: comutação de circuitos e comutação de pacotes.

A comutação de circuitos é definida como um procedimento que conecta dois ou mais equipamentos terminais e que permite a utilização exclusiva de um circuito (canal físico) durante o diálogo [8].

A comutação de mensagens (pacotes) é definida como um procedimento de transferência de dados mediante pacotes providos de endereçamento, em que a via de comunicação se ocupa somente durante o tempo de transmissão de um pacote (cadeia de caracteres de informação), ficando em seguida a via disponível para a transmissão de outros pacotes [8].

O objetivo deste trabalho é descrever as características básicas de uma rede local de processadores particular, que teve como aplicação imediata servir de suporte à estrutura de controle da central telefônica CPA-T do Sistema TRÓPICO RA. O material aqui apresentado é fruto da experiência obtida durante a concepção e implementação desta rede local e também do acompanhamento do desenvolvimento de outras partes que compõem a central.

O desenvolvimento de uma estrutura do porte da rede local de processadores do Sistema TRÓPICO RA (*Estrutura de Sinalização*) envolve várias fases e uma série de aspectos que devem ser definidos ou considerados, a fim de obter-se um produto condizente com as suas especificações. Na abordagem dada neste trabalho, procura-se apresentar as principais características da rede local e os aspectos considerados durante as definições, das discussões iniciais até as provas de funcionalidade.

Embora a tese tenha como objetivo exclusivo documentar as características da rede local de processadores, a arquitetura do Sistema TRÓPICO RA também é brevemente apresentada, visando dar uma idéia geral do sistema.

REFERÊNCIAS

- [1] YACOUB, M.D. *Matriz de Comutação de uma CPA - Temporal*. Tese de Mestrado - UNICAMP, 1983.
- [2] CCITT - Livro Vermelho, 1984.
- [3] DUARTE, H.A.L. e outros. *Rede Digital de Serviços Integrados - RDSI TRÓPICO RA*, Cap. 17, 1988.
- [4] ECKHOUSE. *Panel Discussion on Distributed Processing*, National Computer Conference, Anaheim, California, 1978.
- [5] ALABAU, A. e FIGUERAS, J. *Teleinformática y Redes de Computadores*, Cap. 1, Marcombo Boixareu Editores, Barcelona-México, 1984.
- [6] PETERSON, D. "Error Correcting Codes". MIT Press 1972.
- [7] *Special Issue on Network Protocols*. Computer. Setembro de 1979.
- [8] ISO/TC 97/SC 16N537. *Reference Model of Open System Architecture*. ISO Novembro de 1980.

Capítulo 2

Sistema TRÓPICO RA

CAPÍTULO 2

2 SISTEMA TRÓPICO RA

A tecnologia digital se introduz de maneira surpreendente nos dias de hoje em praticamente todos os aspectos das redes de telecomunicações. A extensa gama de componentes eletrônicos tem viabilizado e dado margem a introdução de diversos conceitos que levam as telecomunicações e a informática a traçarem caminhos muito próximos. As tendências conduzem a integração de serviços de voz e dados em uma única rede digital de telecomunicações. Ao mesmo tempo, as redes inteligentes vêm tirando do terminal telefônico o simples papel de um transmissor de voz para ser um verdadeiro manancial de prestação de serviços.

Essa eminente revolução das telecomunicações e a rapidez com que novas propostas vêm surgindo, acompanhando o avanço tecnológico, obriga a concepção da arquitetura do sistema de comutação assimilar com facilidade as inovações requeridas que geralmente ocorrem durante o período de vida do produto. Com isso, evita-se que o produto se torne obsoleto prematuramente.

Devido aos altos custos inerentes ao desenvolvimento de um sistema de grande porte, é fundamental que o projeto seja dotado de características que permitam a sua viabilidade econômica e consolidação no mercado. Desde as especificações iniciais do Sistema TRÓPICO RA procurou-se escolher uma arquitetura de sistema que melhor atendesse requisitos de confiabilidade, modularidade, possibilidade de ampliação e mesmo em fazer uso de componentes e materiais de fácil aquisição no mercado nacional.

2.1 Características Gerais

O Sistema TRÓPICO RA tem sua arquitetura baseada em um controle totalmente distribuído. A sua concepção teve como objetivo satisfazer aplicações

de centrais telefônicas locais, tandem, interurbanas, internacionais e mistas, com capacidades que podem variar entre algumas centenas a até mais de cem mil linhas de terminais equivalentes. Consiste de um sistema de comutação digital, capaz de prestar serviços telefônicos e não telefônicos com capacidade de transportar conjuntamente voz e dados (orientado às RDSI's).

Todas as funções são realizadas com a cooperação de diversas unidades inteligentes (microprocessadores), sem a necessidade de nenhum controle centralizado que seja essencial ao andamento dos serviços. A estrutura permite um crescimento virtualmente ilimitado já que os recursos podem ser adicionados sob demanda, prevendo um limite fora das aplicações normais para centrais telefônicas¹.

Todos os processadores que constituem a estrutura de controle do sistema apresentam um mesmo nível hierárquico e são capazes de estabelecer caminhos através de uma rede de interconexão para troca de informação.

O projeto teve como principais diretrizes, em primeiro lugar a capacitação para poder assimilar com facilidade novas tecnologias e aplicações, especialmente as decorrentes da evolução hardware. Em segundo lugar, de suportar diversas combinações de possíveis falhas com o sistema se mantendo em operação, mesmo de forma degradada, o que permite ao mesmo tempo, que eventuais alterações ou ampliações possam ser administradas sem a necessidade de parar o equipamento.

Como consequência da distribuição do controle e da modularidade que caracteriza o projeto hardware e software, obteve-se uma estrutura altamente confiável. Uma falha de processador só afeta a função desempenhada no seu entorno, e em geral não afetará o restante do sistema.

¹ Apesar das centrais telefônicas, existentes no mercado, para aplicações de grande porte especificarem seu limite superior em torno de 100.000 terminais telefônicos equivalentes, normalmente não instalam-se mais do que 50 % dessa capacidade, por questões técnicas e estratégicas.

Todo o projeto software se baseia no conceito de máquina virtual. Este conceito impõe que cada programa desenvolvido só interage com o restante do sistema através de interfaces padronizadas. Assim, cada unidade software desenvolvida fica praticamente imune às alterações das demais, uma vez que as interfaces devem ser sempre mantidas. Esse aspecto provê grande flexibilidade ao sistema, já que permite uma independência quase absoluta entre programas e, inclusive, em relação ao equipamento físico, o que seguramente facilita a evolução do produto.

2.1.1 Básico e Aplicativo

Uma premissa estratégica considerada na elaboração do projeto foi a de se criar uma infra-estrutura básica que não fosse voltada exclusivamente para uma aplicação específica. Essa premissa pressupõe a reutilização dessa mesma infra-estrutura básica, denominada Sistema Básico, em novos produtos de telecomunicações a serem desenvolvidos. Desse modo, pode poupar-se tempo e custo desses desenvolvimentos. Em segunda instância, ao se utilizarem os mesmos recursos de suporte, decorre um menor custo de produção e de manutenção. Todas as funções inerentes à uma aplicação específica são desenvolvidas dentro da estrutura particional denominada Sistema de Aplicação. As funções enquadradas dentro do Sistema de Aplicação são integradas ao Sistema Básico através de interfaces padronizadas de modo que, uma vez respeitadas as regras que disciplinam essa interação, torna-se indiferente para o Sistema Básico o tipo de aplicação tratado.

2.1.2 Arquitetura

A arquitetura do Sistema TRÓPICO RA consiste de blocos construtivos que são agrupados convenientemente tanto para atender uma aplicação específica como também para suportar a capacidade exigida. Como resultado, tem-se um Sistema que atende uma ampla faixa de demanda, podendo ser adaptado a

diversas aplicações em diferentes configurações, o que significa também permitir a incorporação de novas funções e novas tecnologias. Dadas as características de partição de carga entre processadores, sem comunicação de atualização entre si, o equipamento pode ser alterado ou ampliado gradativamente, pela troca ou adição de blocos construtivos, mesmo com o equipamento em operação.

Para isso, o sistema tem sua arquitetura baseada num critério de padronização em todos os seus níveis. O sistema está estruturado nos seguintes

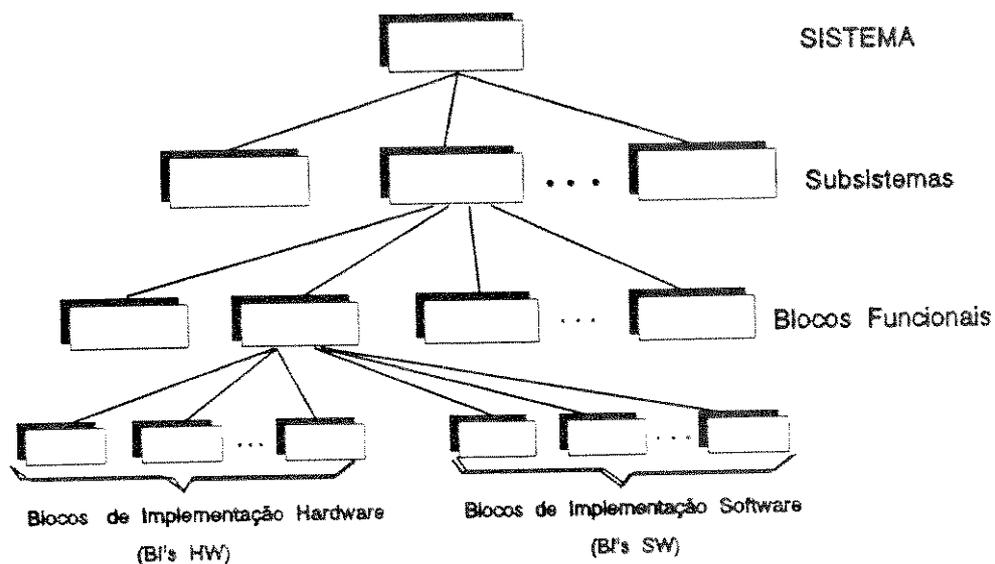


Figura 2.1: Divisão Funcional do Sistema

níveis hierárquicos, como pode ser visto na Figura 2.1:

- Sistema;
- Subsistema;
- Blocos Funcionais;
- Blocos de Implementação.

Este critério procura explorar o conceito de blocos funcionais. O conceito mostra-se especialmente adequado aos sistemas de controle distribuído projetado para ter um longo período de vida útil, durante o qual está sujeito a mudanças.

O Sistema constitui-se no nível mais alto da hierarquia. Contém todos os elementos que possibilitam fisicamente efetuar as aplicações de telefonia, de conexão de rede, etc. Na metodologia utilizada os Blocos Funcionais são entidades particionais que compõem o Sistema. Dependendo do grau de complexidade do Sistema, o processo de particionamento pode gerar um número muito grande de Blocos Funcionais, o que leva a introduzir o conceito de Subsistema, que é meramente o agrupamento de Blocos Funcionais com afinidades funcionais. O Subsistema determina um agrupamento lógico das funções afins, por exemplo, tratamento de tráfego, operação e manutenção, etc. Cada entidade do Sistema realiza suas funções em cooperação com seus usuários. Para isso o processo de particionamento funcional do Sistema é realizado de modo que as funções mais afins sejam agrupadas em Blocos Funcionais que prestam serviços, sempre através de interfaces, diretamente a seus usuários que podem ser usuários do Sistema ou outros Blocos Funcionais. Cada Bloco Funcional é encarregado de realizar as funções estritamente ligadas a uma função específica ou atividade lógica concreta.

Em uma escala inferior existem as unidades construtivas elementares denominadas Blocos de Implementação (BI). Essas unidades apresentam funções bem definidas e coexistem no Sistema integradas através da utilização de interfaces padrões, o que deixa tais unidades imunes à mudanças em outras unidades vizinhas, já que a interface deve ser sempre mantida. Assim, cada BI pode ser desenvolvido e testado independentemente, sofrer modificações posteriores, acompanhar a evolução tecnológica e permitir a compatibilização com futuros desenvolvimentos. O BI é a entidade modular mínima, e corresponde especificamente a uma função hardware (BI Hardware), que consiste no produto hardware unitário, ou a uma função software (BI Software) que em analogia corresponde ao produto software unitário.

A arquitetura assim definida, somada ao conceito de interfaces padrão, a nível de hardware e de software, contribuem para maior confiabilidade, organização, modularidade e simplicidade do Sistema. A incorporação de novas funções ou assimilação de novas tecnologias pode assim ser realizada simplesmente pela adição ou permuta dos BI's envolvidos.

2.1.3 Estrutura de Controle

A análise da conveniência de se utilizar uma estrutura de controle distribuída ou não, pode ser enfocada por diversos aspectos. O problema de se conseguir cobrir uma ampla faixa de capacidades em centrais telefônicas é um problema clássico que reside basicamente em seu controle. Em centrais com controle centralizado, ao se aumentar a capacidade da central e não poder aumentar proporcionalmente a capacidade de controle, por estar limitada à capacidade do computador ou computadores utilizados, sempre se chegará a uma saturação ou então a inviabilização econômica do produto para pequenas capacidades. Contrariamente, em centrais com controle distribuído, como o número de elementos de controle pode ser proporcional ao tamanho da mesma, a capacidade de processamento pode aumentar indefinidamente (em teoria), sem haver problemas de saturação, e a um custo linearmente proporcional à capacidade.

O conceito de modularidade parece ser mais lógico considerando-se que as unidades funcionais tenham seus conjuntos hardwares e softwares associados cada um a um processador diferente. Dessa maneira, a independência entre essas unidades é total, uma vez que só estão conectadas pela necessidade de transferência de informação entre elas. É verdade que esta disposição se torna mais complexa do ponto de vista técnico do que uma configuração onde se emprega um único computador central. Também, existe uma dependência muito grande da eficiência de um sistema distribuído relativamente a sua estrutura de interconexão, e o custo da sua realização tem que ser considerado. Pode-se dizer também que os sistemas de controle totalmente distribuídos geram um ambiente

mais tolerante a falha do que os de controle centralizado, sobretudo porque o impacto de uma falha se limita, em geral, a só um elemento de controle. Todos os demais elementos de controle seguem operando normalmente, e podem inclusive fornecer informações para facilitar o rastreamento de anomalias e provas do sistema.

No Sistema TRÓPICO RA foi adotada uma estrutura de controle distribuída, aliada aos princípios de partição de carga entre processadores e de degradação suave em presença de falhas. Com isso, não existe um ponto central de controle. Todas as funções essenciais são concorridas por grupos de processadores de pequeno porte que executam as mesmas tarefas, sem comunicação de atualização entre eles, o que impede a propagação de falhas, e atuando em redundância na base $n+1$ (onde n é o número de unidades suficientes para atender a demanda requerida). Isto permite suportar diferentes combinações de falhas. Uma vez que redundância é o ingrediente básico no projeto de um sistema confiável (tolerante a falha), uma arquitetura contendo um elevado número de componentes idênticos constitui-se em uma ótima estrutura onde a redundância pode ser incluída sem que o sistema seja duplicado como um todo.

As funções essenciais são aquelas diretamente relacionadas ao serviço telefônico e que devem estar disponíveis na central mesmo com a degradação do sistema. As funções não-essenciais são aquelas que não afetam diretamente o serviço telefônico. Essas funções podem ficar indisponíveis por breves períodos de tempo o suficiente para o reparo de uma falha ou algum trabalho no equipamento. Por isso, elas podem não ter redundância, isto significa que podem ser equipadas em um único processador [1].

2.1.4 Carga de Programas

Todos os programas e dados de configuração associados a cada um dos processadores residem em memórias voláteis. Unicamente programas de iniciação e de procedimentos de carga de programa são mantidos em memórias não voláteis

acopladas ao processador. O software de cada um dos processadores é carregado após a ocorrência de um evento do tipo energização, reset software, reset hardware ou comando de operador, a partir de elementos de memória de massa (disco rígido, discos flexíveis ou fita magnética) ou de outros processadores de mesma configuração de software (na fase de iniciação do sistema).

Esta facilidade é importante num sistema distribuído de grande porte, tanto na fase de desenvolvimento como na fase de operação do produto, em virtude do volume muito grande de software gerado e da quantidade considerável de réplicas presentes em processadores com as mesmas funções. Assim, o procedimento de atualização do software presente nos processadores do sistema exige simplesmente a cópia de uma nova versão ou função para a memória de massa do sistema, e em seguida um comando do operador para carregar os processadores afetados. Caso essa facilidade não fosse oferecida, seria necessária a troca das memórias de cada um dos processadores envolvidos toda vez que ocorresse uma alteração no software.

2.1.5 Viabilidade do Produto

Um fator importante para o sucesso de um produto é a sua competitividade em termos de custo. Vários fatores foram considerados para tornar o Sistema TRÓPICO RA economicamente viável. Graças a sua simplicidade e modularidade, é possível sempre obter uma configuração de seus blocos construtivos otimizado com a demanda requerida e o porte do equipamento. Com isso, o sistema pode atender uma larga faixa de demanda, tanto em termos de porte como também de aplicação, propiciando sempre um custo compatível.

2.2 Características Software

A produção de software para um projeto de grande porte necessita de uma metodologia eficiente aliado ao suporte e recursos humanos envolvidos. É necessário uma boa definição de planejamento e controle das atividades, para que as diversas funções atribuídas ao sistema possam ser implementadas tal que os recursos e resultados possam ser avaliados e gerenciados adequadamente.

O ambiente utilizado no desenvolvimento do software do Sistema TRÓPICO RA privilegia uma metodologia que explora o conceito de modularidade, a qual mostra-se especialmente adequada aos sistemas de controle distribuídos para ter um longo período de vida útil, durante o qual estes sistemas estão sujeitos a mudanças. As fases que dividem o processo de desenvolvimento tem seu conteúdo controlável através da aplicação de um método de refinamento passo a passo, que define eventos entre as fases que permitem a gerência permanente do progresso do projeto.

Cada fase de desenvolvimento baseia-se na fase anterior e consta de:

- condições para inicializá-la;
- atividades;
- resultados.

2.2.1 Arquitetura Software

A arquitetura software de um sistema distribuído deve ser concebida tendo como objetivo explorar as vantagens potenciais da distribuição dos componentes software que implementam as funções do sistema. Nisso, deve-se tomar o cuidado

de se separar em funções básicas da configuração específica da aplicação geral e utilizar de forma transparente as características do hardware. Nesse sentido o desenvolvimento do software deve ser o mais independente possível da estrutura do hardware para que somente na etapa de configuração tal estrutura deva ser considerada. A modularidade, a possibilidade de reutilização e a configuração flexível do software são resultados dessa separação.

Tanto na concepção da estrutura software do Sistema TRÓPICO RA, assim como na estrutura hardware, são identificadas duas grandes entidades particionais: básico e aplicação. O sistema de aplicação consiste do conjunto de todo o software especificado do ponto de vista do usuário. Estas funções se caracterizam pelo fato de independerem da estrutura interna do equipamento. O sistema básico, trata das funções voltadas à criação da infra-estrutura necessária para possibilitar a execução das funções do sistema de aplicação, dependendo intrinsecamente da estrutura interna do equipamento.

O projeto teve sua realização segundo uma estruturação bem definida, abrangendo todas as fases de desenvolvimento. A partir do conjunto de especificações iniciais foram identificadas as funções que deveriam ser realizadas pelo Sistema. Com base neste levantamento, foram definidos blocos capazes de realizar cada uma das funções, sendo organizados de forma que cada bloco tratasse um e apenas um tipo de recurso.

Processos de particionamento são sucessivamente aplicados aos Blocos Funcionais definidos, até que se tenha como resultantes estruturas simples que possam ser claramente implementadas em software. O produto resultante desse processo é uma unidade elementar de software denominada Bloco de Implementação Software (BI software).

O BI software, ou simplesmente BI, é uma unidade construtiva elementar que tem suas funções bem definidas, podendo ser especificado, projetado, implementado, montado, testado, carregado, mantido e documentado

isoladamente. O seu formato é padronizado, e a sua comunicação é realizada exclusivamente através de mensagens de estrutura definida e tamanho variável. O BI possui base de dados independente, e se utiliza de serviços prestados por outras entidades do sistema sempre por intermédio de interfaces padrão.

O modelo de programação adotado segue o princípio de decomposição modular permitindo a separação total das atividades de programação, estabelecida pelo conceito de independência entre BI's. A independência dos BI's permite que sejam vistos como componentes reusáveis na construção de diferentes sistemas onde a mesma função seja necessária. Por essa razão, constituem-se em blocos com baixo nível de acoplamento, de modo que não compartilhem áreas de dados.

O BI pode ainda ser decomposto em elementos denominados processos ou tarefas. Um BI consta de um ou mais processos que por sua vez constituem unidades básicas de concorrência. As ações executadas no processo são estritamente sequenciais, embora possa haver concorrência com outros processos.

O conceito de processo é muito útil, sendo definido como um programa em execução, isto é, o código objeto, o conteúdo dos registradores, indicadores ("flags"), o valor corrente das variáveis do programa, etc. Um processo pode ser ativado mais de uma vez concorrentemente. Cada ativação de um processo cria uma nova instância do processo, com uma identificação particular associada. Cada instância de um processo contém somente seu segmento de dados particular enquanto compartilha o segmento de código com outras instâncias do mesmo processo.

2.2.2 Interação de Processos

Processos concorrentes que estão envolvidos em uma aplicação global necessitam de um mecanismo de comunicação de modo a permitir uma cooperação efetiva entre os processos. Os processos de um BI são visíveis externamente unicamente através de uma interface padrão que estabelece as portas

lógicas de entrada e saída por onde transitam as mensagens de intercâmbio de informação. Essas mensagens permitem que um processo tenha influência na execução de outro, dentro de uma estrutura fracamente acoplada.

Os processos que compartilham um mesmo BI podem apresentar uma forte correlação entre si, caracterizada pela possibilidade de compartilharem áreas comum de memória para troca de valores de variáveis, além de possível a troca de mensagens. Essa facilidade oferece maior flexibilidade para se obter uma programação mais eficiente em algumas situações. A Figura 2.2 ilustra um BI com dois processos internos onde aparecem os caminhos de interação entre eles.

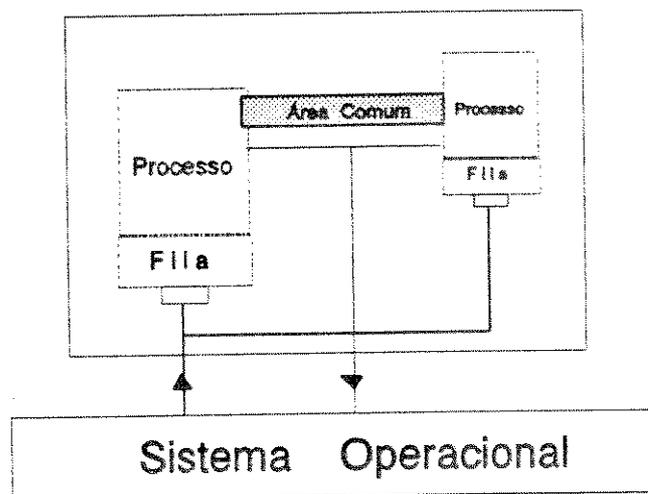


Figura 2.2: Bloco de Implementação Software e Processos Concorrentes

No mecanismo de comunicação e sincronização dos processos através da troca de mensagens, o modelo utilizado emprega o conceito de canais para especificar o caminho entre o processo origem e o destino da mensagem. O procedimento de envio de uma mensagem de um processo a outro é enxergado pelos processos somente pelos comandos de transmissão e recepção, que tem seus formatos representado simplificadaamente a seguir:

- SEND (destino, mensagem);

- RECEIVE (origem, mensagem).

Compete ao primeiro comando enviar mensagem ao processo, especificado como destino, enquanto que o outro comando é responsável pela recepção de mensagem produzida pelo processo denominado origem. A mensagem ao chegar ao destino é armazenada numa fila exclusiva deste processo, sendo a recepção das mensagens desta fila comandada pelo processo, pela execução do comando RECEIVE. Caso a mensagem especificada pelo comando não estiver disponível no momento em que for requisitada, o processo tem a sua execução suspensa até a chegada da referida mensagem. A Figura 2.3 ilustra o conceito da constituição do canal de comunicação.

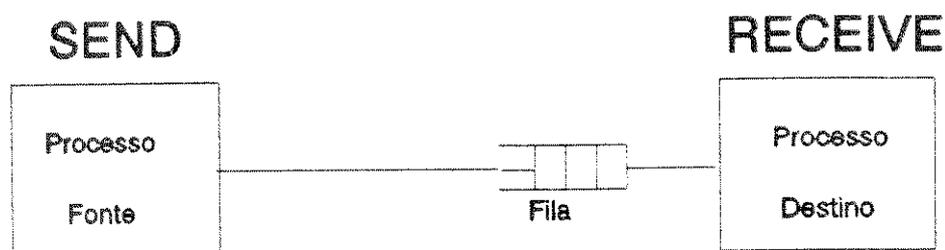


Figura 2.3 Canal Lógico de Comunicação entre Processos

Vistos em conjunto, a origem e o destino das mensagens definem um canal de comunicação, interligando suas portas lógicas (interface padrão). Os comandos que estabelecem a comunicação entre processos são assíncronos e não bloqueantes. Com isso, permite-se que o processo origem continue o processamento imediatamente após que o serviço de suporte à comunicação tenha tomado a mensagem. Dessa maneira, a concorrência na execução dos processos pode ser maximizada.

Os canais de comunicação são definidos externamente aos BI's de maneira a tornar a configuração destes, dentro do sistema, completamente independente do seu comportamento interno.

2.2.3 Caracterização dos Processos

Todo software do Sistema é baseado no conceito de máquina de estado finita onde os recursos a serem controlados assumem vários estados a partir da ocorrência de um determinado evento. A máquina de estado é caracterizada por um processo sendo que o conjunto de processos que trata um tipo de recurso caracteriza um BI Software. As mudanças de estado são provocadas por eventos (entradas) que ativam tarefas (transições) onde as ações são executadas, podendo ocorrer inclusive a geração de mensagens (saídas) a outros processos. Isto desencadeia um mecanismo em cascata para tratamento de um evento, podendo envolver uma série de BI's e diversos Processadores, sendo estes ativados pela recepção de mensagens específicas.

As aplicações previstas para o sistema são caracterizadas, essencialmente, por gerar eventos de ocorrência aleatória. Além disso, existe a exigência de que os eventos externos sejam atendidos com a rapidez que é função do grau de urgência associado aos mesmos. Para isso, os processos devem ser suspensos, quando em execução, para que o Processador possa executar uma rotina mais prioritária. Dessa maneira, é possível atender às restrições relativamente ao tempo de resposta do sistema, desde que os recursos estejam bem dimensionados.

2.2.4 Organização do Sistema

Do ponto de vista macroscópico, o sistema pode ser considerado como uma rede de processos que se comunicam através da troca de mensagens. O ambiente tem sua configuração dependente do serviço a ser prestado. Os processos são distribuídos nos Processadores e progridem ao longo do tempo através da execução de suas próprias instruções. Cada Processador presente num nó da rede

local, ao que se denomina Módulo, executa os seus processos, em memória local, de forma independente do que ocorre nos demais Processadores presentes em outros Módulos.

Os Processadores são entidades individuais que executam concorrentemente, assincronamente e sem qualquer hierarquia, as suas funções de forma a constituir um único organismo considerando a aplicação global. Neste contexto, a denominação Processador refere-se à unidade de processamento que constitui, especificamente, a Unidade de Controle de cada Módulo. Os Processadores estão interconectados à rede local do sistema. Existem outras entidades inteligentes que podem ser encontradas dentro dos Módulos como elementos auxiliares e que trabalham sob controle dos respectivos Processadores. Essa classe de unidades de processamento, tem sua visibilidade unicamente voltada ao Processador que o controla numa relação mestre-escravo, ou seja, não pode acessar a Rede, autonomamente, para uma comunicação.

Cada Processador possui como software básico uma cópia privativa de um Sistema Operacional Distribuído (SO) e um conjunto de BI's que provêem funções básicas características de um sistema distribuído. O Sistema Operacional é uma estrutura do sistema que não segue um formato padrão. Sua função é prover um ambiente adequado ao funcionamento dos BI's, executando funções de gerenciamento e alocação de recursos (escalação de processos, encaminhamento de mensagens, controle de temporizações, etc). O SO que reside em cada Processador é provido segundo uma estratégia de replicação, ou seja, mesma implementação é copiada nos diversos Processadores.

Na implementação de um serviço da aplicação, o tratamento de cada evento possui associado um ou mais processos. Para isso, internamente ao SO reside um núcleo de tempo real que é responsável pela implementação do ambiente multitarefa. O gerenciamento da execução do conjunto de processos, realizado pelo núcleo, permite que os eventos prioritários possam ser tratados com maior urgência (interrupção do tipo não preemptiva). Como consequência, a

concorrência é estabelecida de forma que cada função é executada sem afetar o resultado das demais, com um tempo de resposta apropriado.

O suporte que o núcleo de tempo real provê aos BI's permite que o resultado da execução de um processo possa também interferir, de uma maneira controlada e desejada, na execução de outros (comunicação entre processos dos BI's).

A estrutura interna de software de um Processador consiste do SO e um conjunto de BI's que são executados internamente, conforme mostra a Figura 2.4. Todo tipo de interação entre BI's é intermediada pelo SO, uma vez que não existe uma interface direta de BI a BI, e sim o canal de comunicação para troca de mensagens estabelecido pelas primitivas SEND e RECEIVE do SO.

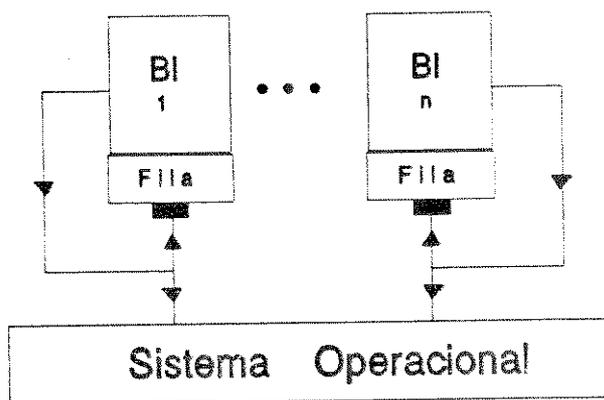


Figura 2.4: Organização Software do Processador

As mensagens são transferidas utilizando-se regiões de memória alocadas dentro de cada BI. Essa memória é compartilhada para acesso com SO. O mecanismo de transporte de uma mensagem pode ser visto, no seu resultado, como uma cópia da área do processo de origem para uma outra área de memória ("buffer") do processo de destino. O segmento de memória de cada BI é distribuído entre seus processos. Cada processo tem sua *fila de mensagens* de entrada onde são ordenadas as mensagens conduzidas pelo SO para serem consumidas pelo processo correspondente.

No caso de uma comunicação remota, ou seja, entre processos residentes em BI's instalados em Processadores diferentes, a troca de mensagem se realiza através de um meio físico de comunicação da rede local.

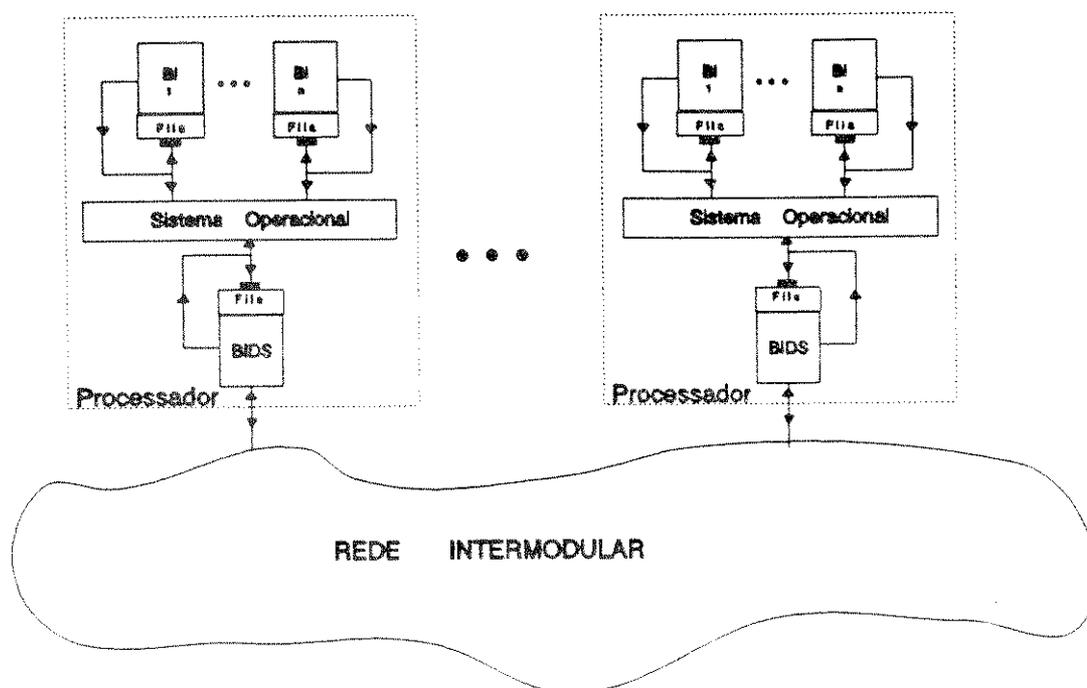


Figura 2.5: Organização do Sistema

De maneira geral, quando o SO toma uma mensagem de um BI (processo do BI), analisa-se a identificação do destino, que consta no campo no cabeçalho da mensagem. Ao se constatar que a mensagem está relacionada a uma comunicação remota, esta mensagem é inserida na fila de entrada de um BI específico (BIDS - BI Dedicado de Sinalização), que é destinado exclusivamente ao tratamento dos eventos associados à comunicação externa. O BIDS é responsável pelo controle do mecanismo de comunicação que deve ser realizado dentro da Unidade de Controle do Módulo, que envolve também o controle sobre hardware, de tal forma a ocorrer o fluxo de mensagens de entrada e saída através da rede local (Rede Intermodular). A Figura 2.5 ilustra a organização das entidades software internas ao Processador, e a Rede Intermodular que provê o

meio de comunicação para a conexão física das Unidades de Controle dos Módulos (Processadores).

O mecanismo de transporte de mensagem realizado pelo SO é exatamente o mesmo tanto para uma comunicação local, como para uma comunicação remota, uma vez que todo o tratamento do processo de transmissão ou recepção de uma mensagem remota é executada pelo BIDS. Esta característica é bastante importante uma vez que ficam ocultas tanto ao nível dos BI's como também ao SO as características distribuídas do sistema, sendo este conceito denominado de "máquina virtual".

2.2.5 Mensagem

Pode-se dizer que a mensagem é o principal elemento para caracterizar um sistema distribuído. É ela que garante o baixo nível de dependência existente entre as várias entidades software espalhadas dentro do sistema, como também define os parâmetros envolvidos na comunicação entre essas entidades.

A mensagem pode ser vista como uma estrutura de dados composta basicamente de duas partes. Uma dessas partes, o *cabeçalho*, constitui o conjunto de informações utilizado para caracterizar a mensagem sob diversos aspectos funcionais e também para prover dados para o encaminhamento através da Rede. A outra parte da mensagem é o seu *corpo*. O corpo é onde estão realmente as informações "úteis" a serem tratadas pelo destino, ou seja, dados, textos, programas, etc. Enquanto o cabeçalho da mensagem tem sempre um formato e um tamanho fixos, o mesmo não acontece com o corpo da mensagem que não tem nenhuma regra de organização e nem mesmo um único tamanho definido.

Um aspecto importante relativo à comunicação entre processos, refere-se ao tamanho das mensagens trocadas. A grande maioria das aplicações de controle

em tempo real, depende da troca de mensagens de tamanho relativamente curto, contendo informações de "status" ou valores de variáveis.

Devido a diversidade de tipos de informação que podem ser geradas na execução de uma aplicação, geralmente, surge o interesse de se dispor de diversos tamanhos de mensagens, para melhor adequação ao software de aplicação. Entretanto, oferecer essa facilidade tem o seu custo. A solução mais simples de ser implementada, para o suporte de comunicação, consiste em se fixar um tamanho de mensagem que abrange a grande maioria dos serviços. Assim, nas aplicações onde o limite máximo é ultrapassado, fica ao encargo do próprio software de aplicação desdobrar o conjunto de informação a ser transferida em mensagens de tamanho dentro do limite estabelecido.

Na definição do Sistema TRÓPICO RA, preferiu-se dar certa flexibilidade à programação, permitindo-se mensagens de tamanhos variados, tratadas dentro três faixas: de 32 a 63 bytes, de 64 a 127 bytes e de 128 a 512 bytes. Este limite máximo foi fixado levando-se em consideração a estatística de utilização (tamanhos de mensagens mais relevantes para o tipo de aplicação desejada) e também para otimizar a utilização do suporte de comunicação. A transmissão de uma mensagem muito longa ocupa o meio de comunicação por um período de tempo prolongado, podendo com isso retardar o envio de outras mensagens, e, em consequência, comprometer o tempo de resposta do sistema.

2.2.6 Carga de Programa

Para que cada Processador do sistema realize suas funções é necessário que ele tenha armazenado em sua memória os programas e dados adequados. No início da operação de uma central, os Processadores têm suas memórias vazias. A única entidade software residente está em memória não volátil em cada Processador, e consiste do software que é responsável pela carregamento do código de todos os BI's que o configurarão, inclusive o Sistema Operacional.

O conteúdo e a configuração software a ser carregado em cada Processador fica armazenado em memória de massa (disco rígido ou fita magnética) controlada por um Gerenciador de Carga, residente num Processador em um Módulo específico. O conteúdo software é enviado a cada dos Processadores através do meio de comunicação da rede local, durante seu processo de carga de programa.

O software carregador de cada Processador, que fica residente em memória não volátil, é uma entidade "boot" que executa todo o protocolo software de transferência de arquivos realizada através da rede local, assim como, também realiza a carga do código recebido na posição adequada da memória. O carregador é ativado somente para carga completa do Processador que ocorre em decorrência de um evento do tipo energização, reset software, reset hardware ou comando de operador.

Existem situações em que um Processador precisa ser recarregado devido a ocorrência de falhas. Também pode ocorrer comandos de operador para carga adicional ou alteração de alguma função e mesmo para troca da configuração total do Processador por uma mais atualizada. Nos casos em que não seja necessária a carga total do Processador, o procedimento de carga é realizado pelo Sistema Operacional já residente.

Após o carregador ter terminado a carga do código, o núcleo de tempo real assume o controle do Processador quando então são inicializadas as tabelas internas e dados de configuração, ficando o software de boot desativado.

Um sistema pode ser constituído por um grande número de Processadores, e o tempo de carga de software nos mesmos não deve ser longo. Existem requisitos de disponibilidade que determinam que o processo de carga deva ser desenvolvido num tempo limite. Por questões de custo, complexidade de gerenciamento e em virtude de ser um recurso de pouca utilização depois que o equipamento está instalado, é interessante que o sistema não contenha muitas

unidades de memória de massa unicamente como fonte para busca do código e configuração dos Processadores.

O processo de carga é mais crítico quando um grande número de Processadores requisita carga simultaneamente. Isto ocorre normalmente durante a fase de carga inicial do equipamento (instalação), na atualização de software ou reiniciação de Processadores por efeito de falha catastrófica. Por exemplo, na hipótese de uma Central Telefônica com cerca de 500 Processadores (o necessário para aproximadamente 60 mil assinantes), se o tempo de carga de cada Processador é igual a 1 minuto, caso haja um único Gerenciador de Carga (Processador e memória de massa), um processo de carga sequencial um a um dos Processadores levaria mais de 8 horas. Na fase de instalação do equipamento este tempo é até aceitável em virtude de não haver ainda usuários conectados. Entretanto, um Sistema bem concebido, tem que prever situações catastróficas com o equipamento em operação, onde o equipamento tenha que se reiniciar total ou parcialmente. Esse procedimento deve ser o mais transparente possível ao usuário, e portanto não pode ser lento.

Para satisfazer a estas condições, o Sistema TRÓPICO RA apresenta um mecanismo de carga que torna este processo mais rápido sem comprometer custos. A idéia se fundamenta no princípio de que um sistema distribuído de grande porte geralmente contem um grande número de réplicas de software distribuídas em diversos Processadores. É natural pensar em se utilizar os próprios Processadores para carregar outros com software equivalentes. Dessa maneira, um Processador ao receber um bloco software para ser instalado em sua memória local, que pode ser indiferentemente todo o conteúdo do seu código ou apenas um de seus BI's, pode repassar o conteúdo para outros que precisam do mesmo software.

O método pode ser implementado associando-se uma lista de Processadores (que pode estar vazia), a cada segmento de código enviado para carga. Essa lista indica para quais Processadores o segmento de código recebido deve ser

retransmitido. Ao se retransmitir o código, a lista de Processadores é desmembrada entre os Processadores que vão sendo carregados. Assim, sucessivamente, forma-se um processo de difusão. Esse procedimento pode se estender através de um algoritmo de distribuição da lista, de modo a configurar um espécie de árvore de carga (veja Figura 2.6). Note que a estrutura dessa árvore pode ser controlada através da própria lista que é propagada, que pode impor tanto o número de ramos como o número de nós a se estender a partir de cada ramo inicial. Essa facilidade é importante para poder dimensionar o tráfego que é escoado pelo meio de comunicação durante a fase de carga do sistema. Como resultado, pode se ter uma condição de carga estável e otimizada conforme o potencial do suporte de comunicação disponível.

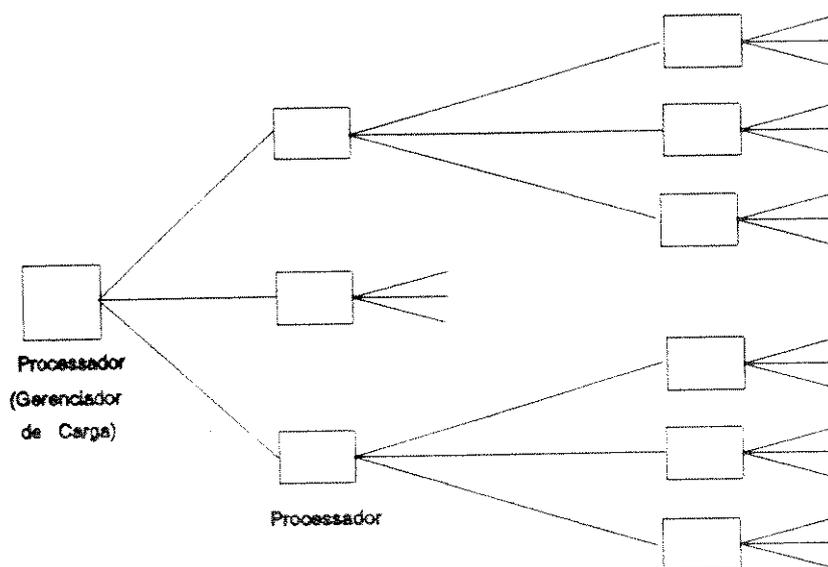


Figura 2.6: Difusão na Carga de Programa nos Processadores

2.2.7 Linguagem de Programação

O processo de desenvolvimento software visa sempre garantir uma implementação correta, eficiente e de preferência que descreva de forma completa, clara e sem ambiguidades as especificações do sistema. Estas

características tornam indispensável o uso de uma linguagem de alto nível que em geral oferece as seguintes vantagens [2]:

- Facilidade de manipulação de dados (estruturas);
- Facilidade de programação com maior rapidez;
- Comandos mais próximos da linguagem cotidiana;
- Maior facilidade de expressar idéias algorítmicas com comandos disponíveis;
- Facilidade de interpretação e manutenção;
- Auto-documentação (desde que bem construída);
- Facilidade de estruturação, etc;

Em decorrência disto, o uso de linguagens de alto nível tem sido um fator preponderante para consolidação de produtos, a tal ponto que algumas dessas linguagens passaram a ser objeto de padronização em instituições internacionais de normatização.

Redes de sistemas de comutação geralmente interconectam equipamentos de diversas gerações e procedências. A operação e a manutenção destes equipamentos seria facilitada se todos apresentassem a mesma linguagem de programação de alto nível. Nesse sentido, o CCITT desenvolveu e recomendou a linguagem CHILL (CCITT High Level Language), derivada do Pascal Concorrente, do PL/1 e do Algol 68, como padrão para tais sistemas. Dentro deste enfoque os produtos baseados no Sistema TRÓPICO RA seguem essa recomendação, mesmo porque essa linguagem apresenta os requisitos essenciais para software de tempo real, quais sejam:

- Processamento concorrente e programação modular;
- Ênfase na verificação em tempo de compilação, visando aumentar a confiabilidade dos programas;
- Geração eficiente de código objeto (com referência as demais linguagens de alto nível);
- Compilação separada de dados e programas;
- Proteção de dados;
- Programação estruturada e que ajuda o programador evitar erros, etc.

Infelizmente, apesar dos benefícios que a linguagem CHILL oferece, existem algumas desvantagens decorrentes do seu uso em relação à linguagem Assembly:

- O código gerado não é muito otimizado, utilizando mais instruções do que o necessário para algumas operações. Portanto, o código gerado necessita de uma quantidade maior de memória para armazenamento e ocupa o microprocessador desnecessariamente.

Em certas situações não é possível conviver com estes inconvenientes. É necessário, então, encontrar alguma solução para contornar o problema. Para otimizar o código de máquina e obter máxima velocidade de execução, a solução utilizada no desenvolvimento do software, foi a de codificar em linguagem Assembly da máquina alvo todas as funções software, trechos de software ou mesmo um BI inteiro, que tivessem a sua execução crítica relativamente ao tempo. O problema de escassez de memória foi resolvido, a princípio, pela ampliação da memória do processador.

2.2.8 Linguagem de Descrição de Sistema

A adoção de uma técnica formal para descrição do sistema é indispensável para a concepção de software livre de erros e em conformidade com as especificações iniciais. Estas técnicas proporcionam facilidades na construção de ferramentas automatizadas que possibilitam a passagem segura do projeto funcional (projeto de sistemas) para o projeto físico (implementação)[3].

As abstrações definidas na especificação para o Sistema TRÓPICO RA são fortemente influenciadas pela linguagem LEPF (Linguagem de Especificação de Projeto Funcional) a qual foi desenvolvida dentro do CPqD para suportar o projeto funcional e realizar a ligação com a linguagem de implementação (CHILL).

A linguagem LEPF dá ênfase à cooperação entre diferentes elementos funcionais que realizam um serviço por meio de uma sintaxe gráfica que acomoda um conjunto de conceitos e regras lógicas. Outro ponto importante é que toda a documentação é obtida automaticamente a partir das informações contidas num banco de dados, de tal forma que uma alteração em um objeto leva automaticamente à alteração da documentação afetada.

Qualquer produto da família TRÓPICO RA consiste de um conjunto de Módulos funcionais unidos entre si por uma Estrutura de Interconexão. Cada Módulo é formado por uma série de circuitos que desenvolvem funções similares, sejam elas do tipo telefônico ou não telefônico. Em geral, todos os Módulos possuem uma estrutura interna típica, seja no aspecto de controle, no acesso à rede de interconexão e mesmo no tocante à aplicação específica. Tudo se passa através de um pequeno número de interfaces hardware padrão que constituem o canal de interação das diferentes entidades.

Um aspecto fundamental considerado na definição da Estrutura de Interconexão foi a decisão de se utilizarem soluções distintas no tratamento das informações de voz e de dados trocados internamente à central. As informações tipo voz apresentam características completamente diferentes em relação às mensagens de dados, tais como, tempos de retenção muito maiores e frequência de ocorrência muito menor. Assim, seria difícil com a tecnologia disponível no momento, ter convergido para uma solução mutuamente satisfatória dentro de um prazo aceitável. O caminho natural foi otimizar cada caso separadamente.

Como consequência, dentro da Estrutura de Interconexão ficaram funcionalmente bem definidas a Estrutura de Sinalização e a Estrutura de Voz. A Estrutura de Sinalização para tratar o fluxo interno de mensagens de dados entre os diversos Módulos e a Estrutura de Voz para efetivar os caminhos internos necessários ao tráfego das informações com características de voz. Essas duas estruturas foram concebidas considerando-se que a grande parte dos eventos iria apresentar características síncronas. Para gerar os elementos de sincronismo básico para essas estruturas ficou estabelecida a necessidade de uma Estrutura de Sincronismo, e para a distribuição de sincronismo a Estrutura de Distribuição de Sincronismo.

2.3.1 Estrutura de Sincronismo

O Sistema TRÓPICO RA foi concebido de modo que a grande parte dos eventos que ocorrem na sua estrutura interna sejam de natureza síncrona. Como consequência, devem ser respeitados os instantes específicos de possível ocorrência de cada evento, definidos segundo uma estrutura de bits, bytes, quadros coerentes com a estrutura PCM, etc. A Estrutura de Sincronismo é responsável por gerar e distribuir, de maneira confiável e precisa, uma base de tempo comum a todo o sistema.

Dada a importância do sincronismo interno ao sistema, foram estabelecidos alguns critérios para se alcançar os objetivos de precisão e confiabilidade. As exigências definidas para a geração e para as referências de sincronismo, em cada ponto do sistema, são proporcionais aos efeitos decorrentes da imprecisão ou da indisponibilidade dos mesmos. Todas as partes essenciais que sejam centralizadas, apresentam redundância e métodos de detecção e localização imediata de falhas. Por exemplo, a geração e a distribuição dos sinais de referência de sincronismo são realizadas de forma triplicada.

A técnica de geração de sincronismo consiste em se obter a partir de três geradores idênticos, funcionando em malha realimentada, uma convergência entre eles na obtenção de um sinal de referência de mesma fase e frequência. O procedimento se realiza com um ajuste dinâmico que cada fonte executa seguindo como princípio uma regra de maioria, tendo como referência os sinais gerados pelas outras duas fontes.

O princípio da regra de maioria é aplicado também para o caso em que um dos geradores esteja indisponível. Neste caso, as outras duas fontes são capazes de identificar a irregularidade e continuam a operar satisfazendo os requisitos. No caso de falha de duas fontes um critério de maioria-minoria é utilizado. Esse critério pressupõe que as falhas das fontes forcem que os sinais delas

provenientes fiquem presos em níveis lógicos fixos. Assim, o sinal pulsante, na frequência esperada, no caso minoria, é estabelecido como referência.

Conforme está ilustrado na Figura 2.7, na Estrutura de Sincronismo podem ser distinguidos os seguintes conceitos [4]:

- Geradores;
- Regeneradores;
- Repetidores;
- Usuários;
- Distribuição.

a) Geradores

Os Geradores são os elementos básicos de geração de sincronismo. Para essa função, por motivo de confiabilidade, é sempre instalado um conjunto de três Geradores, cada um equipando um Plano de Sincronismo, sendo eles interligados convenientemente de modo que troquem referências e se sincronizem entre si.

Cada Gerador recebe e envia, de e para cada um dos demais Geradores, um relógio de 8kHz (onda quadrada). Esses relógios recebidos, juntamente com o seu, são as entradas de uma lógica de votação que seleciona dinamicamente uma referência para o seu PLL (Phase Locked Loop). O mecanismo permite que os três Geradores convirjam para uma situação onde seus relógios estejam em fase.

Cada um dos Geradores apresenta como saída até 4 referências de sincronismo idênticas que são dedicadas à distribuição em cada um dos chamados

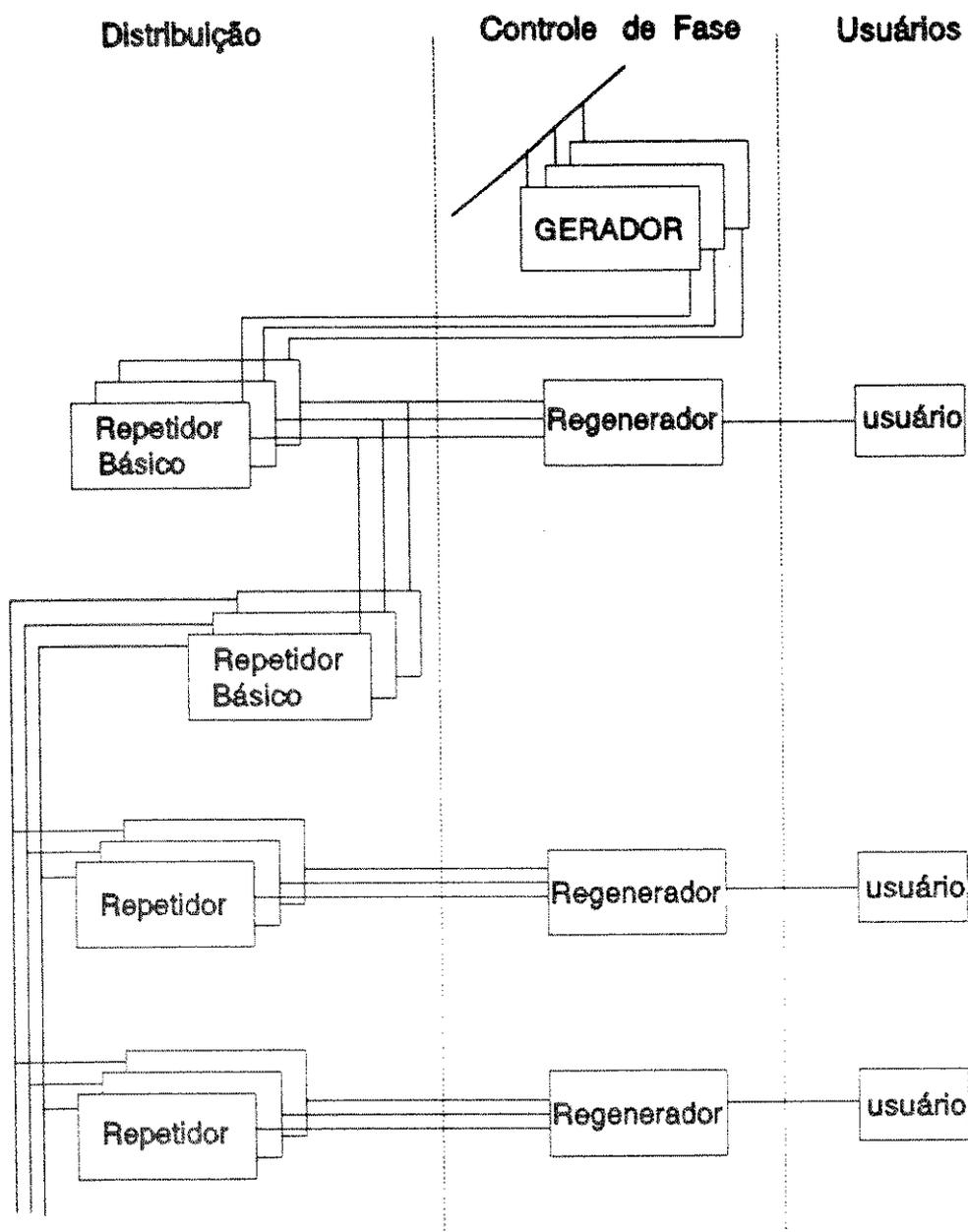


Figura 2.7: Modelo Simplificado da Estrutura de Sincronismo

Planos de Distribuição de Sincronismo. A referência de sincronismo consiste de um relógio de 2,048 Mbit/s, carente de um pulso a cada quadro de 125us, conhecido como "Relógio com Buraco" ou simplesmente 2MB. O Relógio com Buraco, provê num mesmo sinal um sincronismo a nível de bits, representado pela sua frequência caracterfstica, e um sincronismo de quadro representado pela inexistência de um pulso a cada quadro.

b) Repetidores

Podemos classificar dois tipos de Repetidores no sistema:

- Repetidor Básico;
- Repetidor.

Os Repetidores Básicos são instalados em Módulos de Interconexão (Módulos onde se encontram o núcleo e o controle das estruturas de interconexão) e possuem a função de fornecer dois dos seus três relógios 2MB, que são provenientes de cada um dos três Geradores, para um conjunto de Interfaces Intermodulares (interfaces de interconexão entre os Módulos).

Os Repetidores, em contrapartida, integram todos os Módulos, de maneira geral. Esses Repetidores efetuam simplesmente a "bufferização" dos dois relógios 2MB recebidos através de uma Interface Intermodular, para que possam ser selecionados e utilizados internamente ao Módulo onde está equipado.

c) Regeneradores

O Regenerador tem a função de prover o conjunto de sinais de sincronismo necessários internamente ao Módulo onde esteja instalado. O Regenerador tem como entrada três relógios 2MB, um oriundo de cada Gerador e fornecidos pelos Repetidores do Módulo. Dos três relógios recebidos se escolhe um deles para servir de referência interna através de um critério de votação, considerando uma lógica de maioria ou minoria (quando houver falta de 2 relógios). A referência selecionada alimenta um PLL que reproduz um relógio de frequência múltipla da entrada, a partir do qual são derivados o conjunto de relógios distribuídos ao Módulo.

d) Usuários

Entende-se como Usuários as entidades que se utilizam dos sinais de sincronismo numa etapa posterior aos Regeneradores.

e) Distribuição

A Distribuição de sincronismo consiste no processo de disseminação dos sinais de referência de sincronismo aos Módulos a partir dos Geradores. A estrutura física que transporta os sinais de referência aos Módulos do equipamento são os Planos de Distribuição de Sincronismo.

Todos Módulos que são servidos pela Estrutura de Sincronismo, apresentam internamente um Regenerador que recebe três relógios 2MB, um proveniente de cada Gerador. Cada Interface Intermodular transporta dois relógios 2MB aos Repetidores de cada Módulo interconectado.

Os Repetidores podem passar um ou dois destes relógios aos Regeneradores internos aos Módulos, dependendo do número de Planos de Distribuição que compõe o equipamento. Quando um equipamento apresenta só dois Planos de Distribuição em cada Módulo é selecionados duas referências de um dos Planos, sendo a terceira referência do outro. Esta configuração poderia ser generalizada para todas as configurações de Planos, entretanto, por confiabilidade, prefere-se formar o conjunto dos três relógios tomando um proveniente de cada Plano sempre que possível. No caso de haver quatro Planos de Distribuição, um dos Planos não é utilizado.

2.3.2 Estrutura de Voz

A Estrutura de Voz constitui-se nos recursos dedicados ao estabelecimento de caminhos internos ao equipamento, por onde os Módulos conectados realizam a transferência de informações com características típicas de voz, codificadas segundo o padrão PCM (Modulação por Código de Pulsos) da primeira hierarquia recomendada pelo CEPT (Comité Europeu de Correios e Telecomunicações) e pelo CCITT (Comité Consultivo Internacional de Telegrafia e Telefonia) e também adotada pela TELEBRÁS (Telecomunicações Brasileiras S/A)[5].

Os equipamentos baseados no Sistema TRÓPICO RA apresentam internamente um único tipo de sinal de voz, constituídos por amostras de 8 bits, escoados numa taxa de 8.000 amostras por segundo (o que resulta a taxa de 64 Kbit/s). A taxa de 8.000 amostras por segundo é própria para converter sinais analógicos em sinais digitais e a sua posterior recuperação, desde que o espectro de frequências destes sinais possua unicamente componentes abaixo de 4 Khz.

Em função da diversidade de fontes de informação e tipos de terminais possíveis, vários tipos de sinais externos podem ser tratados pelo sistema. No entanto, a todos os sinais escoados internamente ao equipamento à taxa de 64 Kbit/s, convencionou-se designar por "sinais de voz" enquanto que "caminhos de voz" são os meios percorridos por esses sinais.

O estabelecimento dos caminhos de voz internamente ao equipamento é realizado em parte de forma centralizada por uma Matriz de Comutação (MACO) e em outra parte distribuída num conglomerado de Módulos (Módulos Terminais) que realizam suas adaptações específicas para cada tipo de terminal ou rede externa interfaceada. Esses Módulos são, em primeira instância, os geradores e receptores das informações comutadas internamente.

A conexão da MACO aos Módulos é realizada por um número adequado de Interfaces Intermodulares. A parcela destinada a voz de cada Interface

Intermodular consiste em dois enlaces bidirecionais de voz e mais os respectivos sinais de controle e sincronismo associados. Os sinais de sincronismo são provenientes dos três Planos de Sincronismo. Internamente à MACO se apresenta um conjunto de Repetidores e Regeneradores de sincronismo. Os Regeneradores reproduzem o sincronismo utilizado localmente, enquanto os Repetidores efetuam a distribuição dos sinais de referência de sincronismo (2MB) a cada uma das Interfaces Intermodulares.

O conjunto formado pela MACO mais as Interfaces Intermodulares correspondentes, constitui uma estrutura modular denominada Plano de Voz (Veja Figura 2.8). A Estrutura de Voz pode ser constituída por até 4 Planos de Voz autônomos e independentes, que dividem entre si o tráfego interno demandado.

A MACO estabelece através de comutação de circuitos a conexão de canais PCM de entrada com canais PCM de saída, todos na frequência de 64 Kbit/s. Todas as conexões originadas através de um Plano de Voz, em ambas as direções da conexão (Módulo origem a destino e vice-versa), são sempre concluídas pelo mesmo Plano.

A MACO permite conectar até 64 Interfaces Intermodulares. Em cada Interface Intermodular constam dois enlaces intermodulares de voz, sendo que cada enlace multiplexa 64 canais de 8 bits correspondendo a uma taxa de 4.096 Kbits. A Matriz de Comutação é um sistema modular projetado de modo a oferecer a facilidade de a partir de uma configuração mínima, poder ser expandida de acordo com a demanda de tráfego exigida para cada aplicação.

A MACO pode crescer gradualmente por uma unidade chamada *SubMódulo de Comutação (SMX)* equivalente a 8 Interfaces Intermodulares. Se M for o número de SMX por Plano de Voz, a dimensão da MACO é determinada por:

- (Mx8) Vias PCM de 64 canais de entrada;

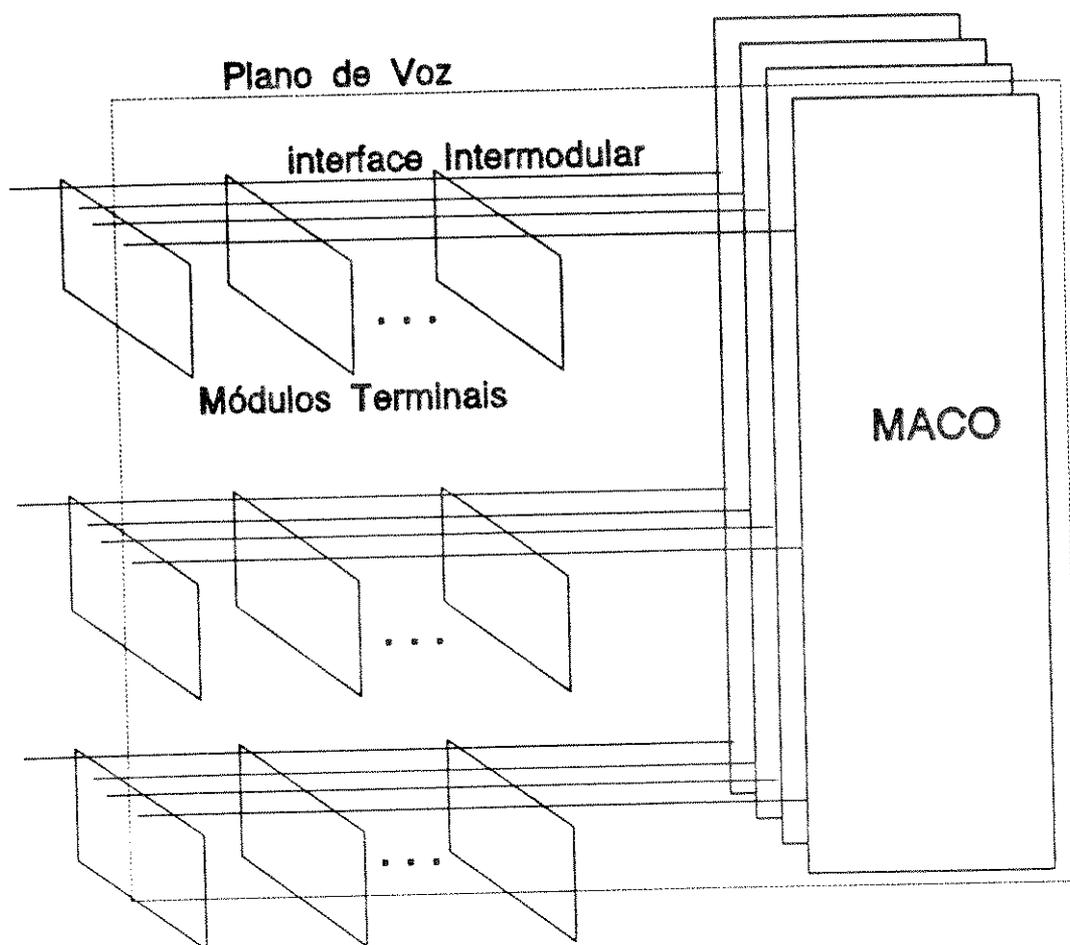


Figura 2.8: Modelo Simplificado da Estrutura de Voz

- (Mx8) Vias PCM de 64 canais de saída,

e portanto, (Mx8x64) por (Mx8x64) canais. No caso máximo de M=8, temos uma Matriz de 4.096x4.096 canais.

A MACO é um comutador temporal (T) que permite a qualquer canal de entrada acessar qualquer canal de saída (acesso pleno), sem bloqueio interno, de modo que, para qualquer tráfego existente nos canais de voz, a perda interna é nula. Cada um dos SubMódulos de Comutação (SMX) que compõe a MACO apresenta um estágio de comutação temporal (T) de 512x512 canais.

Cada um dos estágios de comutação temporal (T) da MACO está conectado aos demais SMX's pertencentes ao mesmo Plano Voz. A conexão é efetivada através de duas interfaces hardware de alta velocidade, tipo barramento, onde estão multiplexados todos os canais relativos aos enlaces de voz de entrada. Essa multiplexação dos canais implica num aumento da velocidade dos canais de voz de entrada propiciado por uma conversão de serial para paralelo. Nesta altura é efetuada a comutação propriamente dita entre os canais presentes nos vários enlaces de voz, de todos os SubMódulos de Comutação (SMX). Os canais de voz, uma vez comutados convenientemente, são demultiplexados e reconvertidos do modo paralelo para serial, para então serem escoados pelos devidos canais de voz de saída.

Na Interface Intermodular a cada um dos dois enlaces bidirecional de voz está associada uma via de controle de habilitação, também do tipo PCM de 64 canais à 4.096 Kbit/s. Essa via de controle de habilitação é utilizada pela MACO para selecionar dinamicamente qual Módulo usuário pode acessar cada canal PCM em dado momento, na efetivação de um caminho pelo enlace de voz.

Cada um dos Módulos do sistema tem associado um número de identificação exclusivo. A via de controle de habilitação e o respectivo enlace de voz têm uma correspondência biunívoca entre seus canais. Para que um Módulo possa inserir informação num dado canal PCM do enlace de voz, o correspondente canal da via de controle deve trazer a sua identificação, previamente programado pela MACO. Dessa maneira, a MACO determina o compartilhamento dos canais PCM para que todos os Módulos possam efetivar entre si, os caminhos de voz necessários para o transporte dos sinais de voz.

As informações que desencadeiam o estabelecimento dos caminhos de voz pela MACO, são fornecidos à MACO através de mensagens de controle. Essas mensagens são desencadeadas a partir dos Módulos usuários e são tratadas de forma que cheguem até a MACO as informações das conexões que devem ser realizadas. Nesse processo estão envolvidos, principalmente, os Processadores de

controle dos Módulos de terminais envolvidos na conversação, e os Processadores de controle da MACO. O protocolo de troca de mensagens, necessário para efetivação de uma conexão, é denominado Sinalização. Toda troca de mensagens, necessária ao protocolo entre Processadores, é realizada tendo como suporte a Estrutura de Sinalização.

2.3.3 Estrutura de Sinalização

O Sistema TRÓPICO RA é um sistema distribuído onde todas as tarefas são executadas cooperativamente por numa Rede Local de Processadores [6]. Cada Processador do sistema ocupa a *Unidade de Controle* do correspondente Módulo. Todo suporte que viabiliza a comunicação entre Processadores, presentes em Módulos distintos, recebe o nome de Estrutura de Sinalização.

Dentro do sistema, a cada Módulo está associado um número de identificação e um conjunto de rotas de comunicação que permitem a sua interação com a Rede. O conjunto de rotas de comunicação que são utilizadas para comunicação pela Rede pode ser dimensionado em conformidade com a expectativa de tráfego a ser gerada pela aplicação. Para isso, a Estrutura de Sinalização é composta por até quatro Planos de Sinalização autônomos e independentes, que podem ser configurados de maneira adequada aos requisitos de cada equipamento.

Cada Plano de Sinalização dispõe de até seis rotas de comunicação seriais denominadas Vias de Comunicação, à taxa de 2 Mbit/s cada. Essas Vias de Comunicação são concorridas por todos os Módulos.

O Plano de Sinalização tem uma configuração topológica Híbrida Barramento-Estrela, ficando instalado no centro desta estrutura um Alocador de Vias que é responsável pelo controle das Vias de Comunicação associadas. As Vias de Comunicação integram as Interfaces Intermodulares juntamente com a

Via de Solicitação e Via de Habilitação, além das Vias de Relógio de 4M e de Sincronismo Quadro.

A Via de Solicitação constitui-se de um conjunto de 256 janelas temporais seriais, dentro de um quadro de 125us. Cada janela temporal é exclusiva a um Módulo, e é utilizada para o Módulo correspondente requisitar Via de Comunicação ao Alocador, quando tenha mensagem para ser transmitida. A cada conjunto de 256 Módulos, denominado Página, tem em correspondência uma Via de Solicitação.

A Via de Habilitação, em contrapartida, constitui-se no meio por onde o Alocador atua nos Módulos afim de alocar as Vias de Comunicação, em decorrência de pedidos identificados nas janelas das Via de Solicitação.

O Alocador de Vias quando possui Via de Comunicação desocupada, fica num estado de varredura observando através da Via de Solicitação, a condição das janelas temporais de cada Módulo. Quando uma solicitação é verificada, uma Via de Comunicação é alocada ao Processador solicitante através de um comando enviado pela Via de Habilitação. Pela Via de Comunicação alocada, o Módulo solicitante informa ao Alocador a identificação do Módulo que também deve ser conectado a mesma Via de Comunicação. Essa Via de Comunicação vai permitir que a mensagem desejada, possa ser transferida. A conexão do segundo Módulo, que participa da comunicação como destino, se realiza com o envio de um outro comando pela Via de Habilitação endereçada ao mesmo. Assim, o Alocador interconecta os dois Módulos a mesma Via de Comunicação, e um protocolo entre eles se desenvolve para que a mensagem seja transmitida.

Terminada a comunicação, a Via de Comunicação fica novamente disponível e é então retomada pelo Alocador para que possa ser reutilizada em outras comunicações.

A Estrutura de Sinalização é o tema desta tese e será melhor detalhada no decorrer deste trabalho.

2.4 Características de Empacotamento

O hardware da central foi desenvolvido com componentes padronizados, com seu projeto tendo como premissa utilizar um número mínimo de tipos de componentes e, preferencialmente, de fácil aquisição no mercado. A concepção mecânica buscou compatibilizar o produto com normas internacionais, sendo escolhido o padrão Euro-Card (Norma DIN-41612) [7]. Dentro deste enfoque, o hardware está montado em placas de circuito impresso, padronizadas, de 223,4 mm x 340 mm, de duas ou quatro faces.

Cada uma das placas consta de um par de conectores de 96 pinos, passo de 0,1" que realizam a ligação das distintas placas a um painel traseiro, num contato tipo "macho-fêmea". O painel traseiro é uma placa de circuito impresso (em geral com uma das faces destinada à alimentação) que propicia trilhas de interligação das placas conectadas ao mesmo. O painel traseiro é adaptado na parte posterior de uma gaveta estruturada em alumínio, denominada sub-bastidor. O sub-bastidor possui guias de placa que provêm uma perfeita conexão das placas aos conectores do painel traseiro. As dimensões do sub-bastidor são 266,7 mm de altura por 533,4 mm de largura e 365 mm de profundidade, onde podem ser distribuídas as placas em diversas possibilidades de passo.

Os sub-bastidores são alinhados dentro de uma estrutura denominada bastidor. Suas dimensões externas, incluindo os pés e fechamento superior, são: altura 2250 mm, largura 716 mm e profundidade 600 mm. O bastidor possui um deflector de ar, instalado na sua altura média, de forma a compor dois grupos de três sub-bastidores. O deflector de ar juntamente com um espaço livre na parte inferior têm o objetivo de criar um fluxo de ar resultante da convecção natural, o que evita a necessidade de ventilação forçada.

As interfaces hardware que existem entre os sub-bastidores, e mesmo entre bastidores, são realizadas através de cabos que conectam seus painéis traseiros, pela parte externa. Para isso, os cabos são constituídos por conectores que são introduzidos aos correspondentes, em cada sub-bastidor, de forma a efetivar o acoplamento elétrico. Dependendo do perfil da aplicação, cada equipamento pode ter seu empacotamento mecânico constituído com um número apropriado de bastidores e os correspondentes sub-bastidores.

2.5 Tratamento de uma Chamada Telefônica Local

Será apresentado neste item, de maneira simplificada, como se realiza o tratamento de uma chamada telefônica local, bem sucedida, internamente à central.

Cada aparelho telefônico, em geral, está conectado à central através de um par de fios metálicos, que chega à central em um circuito telefônico correspondente. Atualmente, um grupo de 16 circuitos telefônicos é empacotado em uma placa de assinantes, que é instalada dentro do Módulo Terminal de Assinantes. Este módulo tem capacidade para até 10 placas de assinantes (160 assinantes) e realiza, entre outras, as funções de conexão, alimentação, supervisão e controle dos terminais telefônicos associados.

O Módulo Terminal de Assinantes, interconecta-se dentro do sistema, à Estrutura de Voz e à Estrutura de Sinalização.

Uma chamada telefônica local, do ponto de vista da central, pode ser decomposta nas seguintes funções (considerando a letra *A* para o assinante chamador e letra *B* para o assinante chamado):

- Detecção de fone fora do gancho (A);
- Envio de tom de discar (A);
- Recepção dos dígitos (A);

- Estabelecimento do caminho de conversação;
- Envio de tom de chamada (A) e corrente de toque (B);
- Atendimento de B e conversação;
- Liberação da chamada;
- Tarifação.

Para a realização de todas essas funções a central apresenta seus recursos distribuídos num conjunto de módulos integrados pela Estrutura de Sinalização e Estrutura de Voz. A Estrutura de Voz permite estabelecer-se os caminhos de conversação entre os Módulos Terminais da central. Por outro lado, a Estrutura de Sinalização viabiliza a troca de mensagens entre os todos os módulos com o objetivo de integrar a execução das funções telefônicas neles distribuídas, assim como dar suporte ao estabelecimento dos caminhos de conversação.

2.5.1 Detecção de Fone Fora do Gancho

Nesta fase, consta a detecção da retirada do fone do gancho. Tal evento é indicado pela placa de assinantes ao processador encarregado do controle do Módulo Terminal de Assinantes. O software de tratamento de chamada do módulo é então ativado. Este programa, uma vez com um conjunto de dados intrínsecos ao assinante chamador (número, classe, etc), envia-os como mensagem ao software de controle de chamada de nível sistêmico, informando o início de uma chamada. O software de controle de chamada de nível sistêmico reside em um conjunto de módulos específicos (ocupam excessiva memória) e é compartilhado por todos os Módulos Terminais de Assinantes.

2.5.2 Envio de Tom de Discar

Os programas de controle de chamada de nível sistêmico ao receberem uma mensagem reportando uma nova chamada, tratam de preparar o sistema para o tratamento da chamada. Neste processo constam, basicamente, a preparação para o recebimento dos dígitos de identificação do assinante chamado e a alocação de

uma rota para encaminhamento da conversação entre os assinantes (caminho de voz através da Estrutura de Voz). Realizado esses passos, o programa de controle de chamada de nível sistêmico envolvido, retorna uma mensagem ao Módulo Terminal de Assinantes especificando qual o caminho de voz foi selecionado para a conversação, e também para habilitar o envio de tom de discar ao assinante em questão.

2.5.3 Recepção dos Dígitos

Depois do envio do tom de discar ao assinante chamador, o software de tratamento de chamada do Módulo Terminal de Assinantes aguarda a chegada dos dígitos, provenientes do chamador, que identificam o assinante a ser chamado. Com a chegada do primeiro dígito o tom de discar é interrompido. Os dígitos são então enviados, através de mensagens, ao software de controle de chamada de nível sistêmico encarregado da chamada.

2.5.4 Estabelecimento do Caminho de Conversação

Os programas de controle de chamada de nível sistêmico ao receber os dígitos, analisa se a chamada é local ou de saída. Para o caso de chamada local, que é o que está sendo considerado, os programas de controle de chamada de nível sistêmico apresentam para o tratamento um mapeamento de todos os assinantes da central, relacionando o número do assinante ao correspondente Módulo Terminal de Assinantes e respectivo número de circuito terminal dentro do módulo.

Uma vez determinada a posição do assinante chamado dentro da central, o passo seguinte é estabelecer o caminho de voz entre o assinante chamador e o assinante chamado. Para isso, o programa controlador de chamada de nível sistêmico envia uma mensagem ao processador encarregado do controle do Módulo Terminal de Assinantes do assinante chamado. Essa mensagem transporta a identificação do assinante chamado pertencente ao módulo e também estabelece

qual caminho de voz deve ser conectado para conversação com o respectivo assinante. A mensagem é tratada pelo software de tratamento de chamada do módulo, que define se é possível dar continuidade ao estabelecimento da chamada.

2.5.5 Envio de Tom de chamada e de Corrente de Toque

Com as informações do terminal do assinante chamado e o caminho de voz selecionado, o programa de controle de chamada do módulo, associado ao processador controlador do Módulo Terminal correspondente, estabelece as conexões necessárias entre o circuito do terminal telefônico chamado e o caminho de voz alocado. O tom de chamada é então enviado ao assinante chamador através do caminho de voz estabelecido, ao mesmo tempo que é fornecida a corrente de toque necessária para excitar a campainha do aparelho telefone do assinante chamado.

2.5.6 Atendimento e Conversação

Uma temporização para o atendimento da chamada é disparada com o envio da corrente de toque. Se vence esta temporização sem que haja o atendimento, o caminho de conversação é liberado e o assinante chamador recebe um tom característico. No caso de haver atendimento, o evento é detectado pelo hardware da placa de assinantes correspondente e então informado ao processador controlador do módulo. O programa de tratamento de chamada do módulo, em consequência do atendimento, desativa o fornecimento de corrente de toque e o envio de tom de chamada ao assinante chamador. A partir desta situação a conexão entre os assinantes está pronta para o desenvolvimento da conversação.

2.5.7 Liberação da Chamada

Durante a fase de conversação, cada um dos circuitos terminais associados aos assinantes em conversação se encarregam de detectar os eventos elétricos, na

linha dos respectivos assinantes, decorrentes da colocação do fone no gancho. O tratamento deste evento depende de qual dos dois assinantes tomou primeiro a atitude de colocar o fone no gancho. Quando o assinante chamador toma esta iniciativa, os recursos alocados à conversação são liberados imediatamente. Neste caso, o assinante chamado recebe um tom característico enquanto o fone não seja também colocado no gancho. Se é o assinante chamado que toma a iniciativa de colocar o fone no gancho, a diferença em relação ao caso anterior é que uma temporização é disparada antes da liberação da chamada. Esta temporização visa permitir um período para a continuação da chamada, caso haja uma nova retirada do fone pelo assinante chamado.

2.5.8 Tarifação

A função de tarifação não faz, propriamente, parte da função de tratamento de chamada, e nem mesmo compartilha os mesmos módulos. Esta função é realizada por um software específico que tem a função tanto de analisar a tarifa a ser aplicada à chamada como também de calcular o respectivo valor a ser cobrado. Para isso, os programas de tarifação dispõem de áreas de memória que armazenam as tarifas e os contadores que são incrementados segundo o tempo consumido pela chamada.

A indicação do começo e a finalização da tarifação de uma chamada, além da informação que define a categoria da chamada, são definidas ao software de tarifação por mensagens provenientes dos programas de controle de chamada de nível sistêmico. Enquanto se realiza a chamada, a tarifação se armazena em um contador de chamada. Quando termina a chamada, o valor do contador de chamada é computado ao contador de tarifa do assinante correspondente.

REFERÊNCIAS

- [1] JÚNIOR, A.J.K., "*Estrutura de Controle*". Livro Azul do Sistema TRÓPICO RA, cap. 9, CPqD-TELEBRÁS, Agosto de 1988.
- [2] PEREIRA, M.M., "*Apresentação da Linguagem CHILL*". Publicação interna ao CPqD-TELEBRÁS, Agosto de 1987.
- [3] ARAÚJO, C.C., "*Metodologia de Projeto de Sistemas e Desenvolvimento de Software do Sistema TRÓPICO RA*". Publicação interna ao CPqD-TELEBRÁS.
- [4] NETO, I.L.S., CAVALETTI, M.C., "*Estrutura de Sincronismo*". Livro Azul do Sistema TRÓPICO RA, cap. 11, CPqD-TELEBRÁS, Agosto de 1988.
- [5] CORREA, E. et al., "*Estrutura de Voz*". Livro Azul do Sistema TRÓPICO RA, cap. 12, CPqD-TELEBRÁS, Agosto de 1988.
- [6] FERNANDES, G., "*Estrutura de Sinalização*". Livro Azul do Sistema TRÓPICO RA, cap. 10, CPqD-TELEBRÁS, Agosto de 1988.
- [7] VASCONCELLOS, A.J.L., "*Empacotamento Eletro-Mecânico*". Livro Azul do Sistema TRÓPICO RA, cap. 8, CPqD-TELEBRÁS, Agosto de 1988.
- [8] MELO, E.B., PEREIRA, S.R., "*TRÓPICO RA Software Structure*". TENCON-89, Bombay, Índia.
- [9] CAMPANHOLI, S.M., CHIZZOLINI, L.C., SOUZA, J.M., "*Modelo de Difusão para Carga de Processadores do TRÓPICO RA*". 9º SBT - USP, São Paulo, 1991.

- [10] NETO, I.L.S., CAVALETTI, M.P., *"TRÓPICO RA Synchronism Structure"*. ITS-90, Rio de Janeiro.
- [11] DIAZ, V.A.V., *"Hardware Architecture for the TRÓPICO RA Switching System"*. ICC-88, Philadelphia.
- [12] DIAZ, V.A.V., FILHO, J.S.L., *"TRÓPICO RA Digital Exchange Hardware Structure"*. TENCON-89, Bombay, Índia.
- [13] VIANNA, B.S., *"R&D at TB-CPqD: The TRÓPICO System"*. ICC-88, Philadelphia.

Capítulo 3

Estrutura de Sinalização

CAPÍTULO 3

3 ESTRUTURA DE SINALIZAÇÃO

O aspecto mais importante que caracteriza o Sistema TRÓPICO RA é a sua arquitetura que privilegia a distribuição de todo o software de controle numa rede local de processadores de mesmo nível hierárquico. Todas as funções telefônicas e não telefônicas do sistema são alocadas criteriosamente dentro de um número adequado de Módulos, sendo que cada Módulo, em geral, trata uma função específica. Todos os Módulos apresentam uma estrutura similar, cujo hardware se encontra empacotado em um certo número de placas instaladas dentro de um ou mais sub-bastidores.

Associados a cada Módulo tem-se um hardware e um software. O hardware é constituído por uma Unidade de Controle (UC) e os Circuitos de Aplicação (CA). A UC provê todo o suporte necessário para a execução dos programas, que ficam instalados em sua memória local, voltados ao controle das funções do Módulo. O hardware específico da aplicação do Módulo é implementado dentro dos Circuitos de Aplicação.

Os Circuitos de Aplicação são integrados à Unidade de Controle através de uma interface paralela padrão. A definição desta interface hardware padrão permite que uma mesma Unidade de Controle possa ser repetida em diferentes Módulos. Com isso, o que diferencia a constituição hardware dos Módulos, com aplicações diferentes, é o que está implementado dentro dos Circuitos de Aplicação.

Existem aplicações onde o Módulo é constituído unicamente pela sua Unidade de Controle. Neste caso, tem-se apenas as funções de processamento e armazenamento de informação. Assim sendo, a interface paralela pode ainda ser utilizada para expansão de memória para a UC.

No aspecto software, os programas instalados em cada Unidade de Controle estão organizados em módulos software denominados Blocos de Implementação Software (BI). Os BI's apresentam uma estrutura padronizada e se comunicam entre si exclusivamente através de mensagens. Os BI's podem ser encarados, sistemicamente, como "caixas pretas" que são capazes de receber uma série de mensagens de entrada e emitir uma série de mensagens de saída na realização de uma função. Associados aos BI's (programas) estão os seus processos (programa em execução), que na verdade são as entidades fontes e destino das mensagens¹. Todas as mensagens destinadas a um processo, enquanto aguardam serem tratadas, são armazenadas em sua própria *fila de mensagens*.

De maneira geral, todas as funções software de aplicações telefônicas e não telefônicas, assim como as funções software de suporte, são desenvolvidas em BI's. Os BI's que desempenham funções de aplicação são denominados BI's de Aplicação, enquanto os BI's de suporte ao sistema de aplicação são chamados BI's Básicos.

Para o exercício do controle dos recursos de processamento, em cada Unidade de Controle está configurada uma cópia de um Sistema Operacional (SO). Este SO é do tipo multi-tarefa, sendo que realiza todas as funções necessárias para se criar um ambiente para a execução dos diversos programas, tais como comunicação, temporização, escalção e controle de processos, etc. A implementação do SO não obedece os padrões estabelecidos aos BI's, por ser uma entidade com características intrínsecas distintas.

Como todas as funções executadas nos BI's objetivam uma ação global do Sistema, é necessário o intercâmbio de informações entre BI's. Ao mecanismo de troca de mensagens entre BI's² denomina-se Sinalização³. A Sinalização que

¹ Entenda-se por mensagem como sendo uma estrutura de dados, com formato padronizado, que é utilizada para intercâmbio de informações entre processos.

² Por questões de simplicidade, muitas vezes é assumido neste contexto a denominação BI querendo se referir a um processo do BI.

ocorre entre BI's situados na mesma Unidade de Controle caracteriza uma Sinalização Interna (transmissão interna ou comunicação interna) e é efetivada totalmente pelo próprio SO local. Contudo, quando os BI's comunicantes estão alocados em Processadores distintos, o processo de comunicação é denominado Sinalização Externa (transmissão externa ou comunicação externa).

No caso da Sinalização externa, além dos dois SO's associados às Unidades de Controle envolvidas na comunicação, existe a dependência também de toda uma infra-estrutura de suporte, denominada Estrutura de Sinalização. A Estrutura de Sinalização estabelece os caminhos físicos e lógicos, entre os SO's de todas as Unidades de Controle do sistema, a fim de possibilitar a transferência de mensagens entre BI's alocados em Unidades de Controle distintas.

3.1 Aspectos Gerais

A Figura 3.1 apresenta as entidades que participam do mecanismo de Sinalização:

- Os BI's são as fontes geradoras e receptoras das mensagens;
- O SO é o elemento de interfaceamento entre os BI's. O SO se encarrega de realizar o encaminhamento das mensagens dos transmissores (BI's origem) até os respectivos receptores (BI's destino);
- A Estrutura de Sinalização corresponde à infra-estrutura de suporte existente entre o conjunto de SO's de todas as Unidades de Controle. A função da Estrutura de Sinalização é viabilizar a Sinalização externa.

A Estrutura de Sinalização, como entidade de interconexão, caracteriza uma rede local. A parte que compõe a Estrutura de Sinalização que, propriamente,

3

O termo "Sinalização" é uma herança típica dos sistemas telefônicos convencionais, onde esse termo é utilizado para designar o intercâmbio de informações que não sejam de conversação (voz).

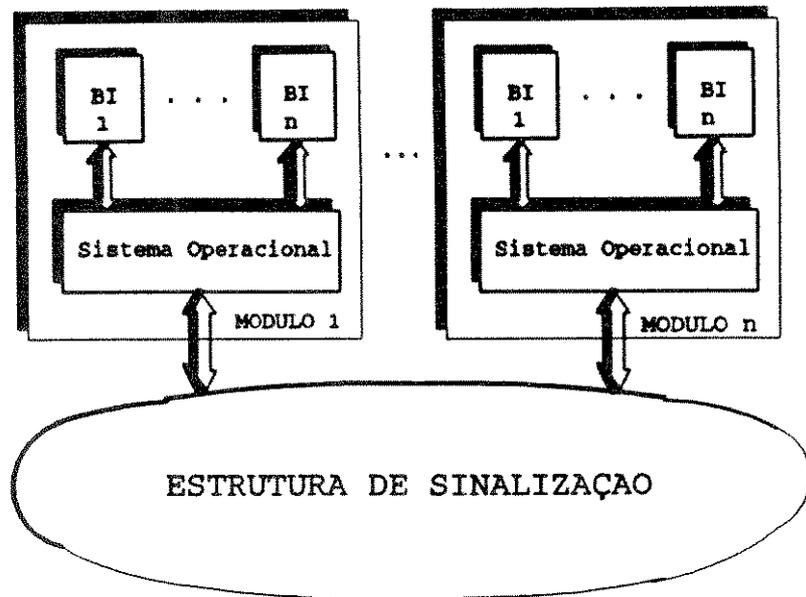


Figura 3.1: Esboço Geral da Estrutura da Rede Local

realiza a interconexão entre todos os Módulos é denominada *Rede Intermodular*⁴. A Rede Intermodular define as características funcionais e de procedimento a fim de ativar, manter e desativar conexões físicas para transmissão de bits entre Unidades de Controle (Módulos). Nestes aspectos, a Rede Intermodular engloba recursos físicos (conectores, cabos, etc) e lógicas de procedimentos (protocolo de comunicação) para promover, de forma organizada, o compartilhamento dos meios de transmissão entre todos os usuários.

Uma rede local pode ser definida e distinguida de outras através das aplicações pretendidas e dos serviços a serem oferecidos. Com este enfoque, muitos aspectos têm que ser avaliados para se poder desenvolver uma estrutura adequada de modo a atender, devidamente, todos os requisitos técnicos e econômicos desejados para um sistema.

O projeto da Estrutura de Sinalização do Sistema TRÓPICO RA envolveu vários passos, tais como a identificação das necessidades e do que deveria ser

⁴

A Rede Intermodular também é denominada "Rede de Sinalização" em alguns documentos internos ao CPqD-TELEBRÁS.

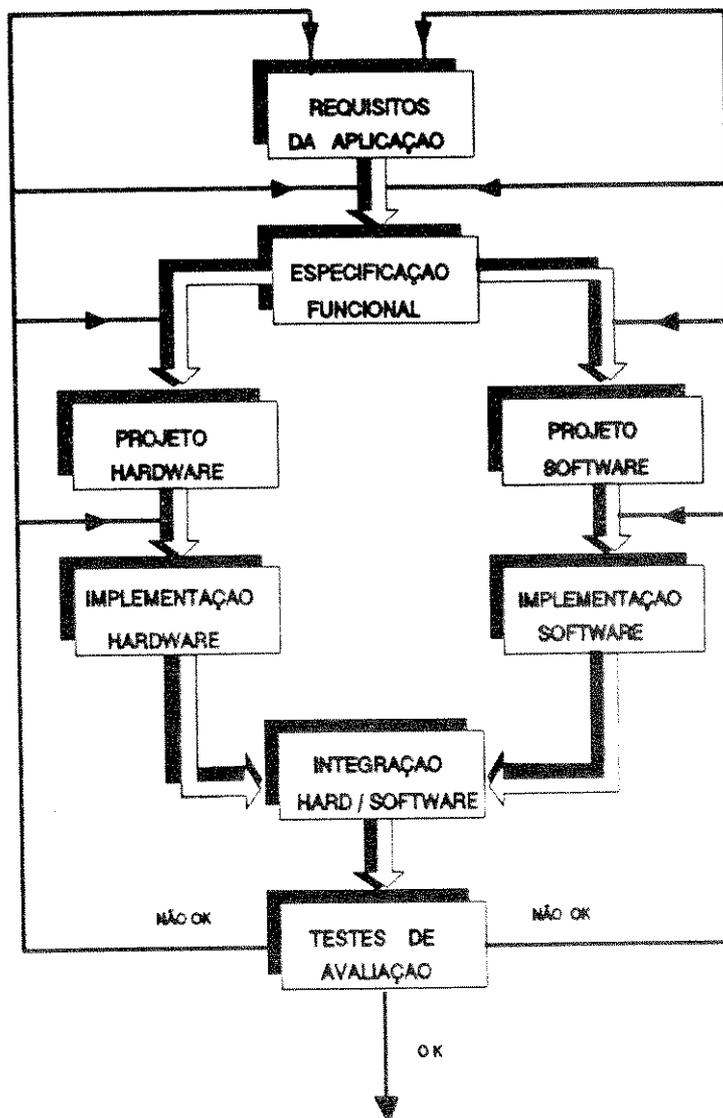


Figura 3.2: Fluxo de Desenvolvimento

oferecido pelo produto, especificação funcional, projeto hardware, projeto software, teste de integração hardware e software, e a avaliação final do produto para se verificar se as especificações estabelecidas inicialmente foram atendidas (veja a Figura 3.2).

3.2 Aspectos de Especificação

3.2.1 Aspectos Básicos

O Sistema TRÓPICO RA deveria ter como diretriz de projeto o aproveitamento da experiência e resultados obtidos no desenvolvimento anterior da central TRÓPICO R⁵. Foram utilizadas como diretrizes e requisitos básicos de projeto da Estrutura de Sinalização as seguintes considerações:

- a) *Modularidade*: a rede deveria permitir um crescimento gradual, atendendo desde sistemas pequenos até de grande porte. Características como facilidade de crescimento, facilidade de substituição de elementos, facilidade de aumento de desempenho (até seu limite superior) deveriam também ser proporcionadas.
- b) *Compatibilidade de custo*: o custo da rede deveria ser compatível com a quantidade de Módulos que seriam interconectados. Uma vez que o desenvolvimento tecnológico continuaria reduzindo progressivamente os custos dos Módulos, que poderiam evoluir ao longo do tempo, seria necessário que o custo da interconexão fosse condizente com o custo dos nós.
- c) *Padronização de Interfaces*: toda estrutura deveria ser concebida utilizando-se um número reduzido de interfaces hardware padronizadas. As interfaces deveriam ser definidas levando-se em conta que o sistema estaria sujeito a sofrer modificações e evoluções, sendo importante que fossem respeitadas as mesmas interfaces. Assim os Módulos poderiam sofrer inovações, mas para se manter uma compatibilização em termos de produto, as interfaces teriam que ser mantidas.

⁵

A central TRÓPICO R teve seu projeto limitado a 4.000 assinantes. O objetivo do Sistema TRÓPICO RA foi o de atender a toda a faixa de demanda de centrais (até mais de 100.000 assinantes) com muito mais requisitos de serviços e facilidades.

- d) *Rede exclusiva para transmissão de dados*: não seria objetivo da rede local transmitir voz ou imagem, o que não deixariam de ser, por isso, aplicações interessantes de serem oferecidas.
- e) *Comunicação através da rede local do tipo bidirecional alternada (semiduplex)*: dentro das aplicações previstas não se encontrou um número considerável de casos que tornasse conveniente ter como requisito a necessidade de comunicação bidirecional simultânea (duplex) entre as Unidades de Controle.
- f) *Desempenho*: a taxa de transmissão a ser oferecida pela rede deveria ser suficientemente alta a fim de não ser um gargalo nas aplicações previstas e também prover uma folga que permitisse novas aplicações. O tempo de resposta deveria ser tal que o tempo de percurso das informações pela rede fosse insensível à aplicação, com características de baixa taxa de erros. Os valores limites desses requisitos variam conforme o tipo da aplicação.
- g) *Disponibilidade*: os componentes deveriam ser selecionados de modo que o tempo médio entre falhas fosse compatível com os requisitos da aplicação. Dada a característica aleatória deste tempo, agrega-se ao projeto técnicas de tolerância a falhas. Em caso de falhas, o sistema deve continuar funcionando mesmo de forma degradada.
- h) *Diagnóstico de falhas*: a rede deveria prover diagnósticos de falhas para permitir a identificação de avarias tanto no software como no hardware. No caso de situações de falhas transitórias, o sistema deveria possibilitar um nível de recuperação autônoma, e no caso de falhas persistentes o evento deveria ser comunicado a um gerenciador de falhas.
- i) *Utilização, sempre que possível, de componentes disponíveis no mercado nacional*, justificado pela não dependência de importação de partes e peças, e também prestigiar produtos de tecnologia nacional.

As primeiras decisões tomadas no projeto foram sobre a topologia a se adotar para a rede, o meio de transmissão, o mecanismo de acesso e o protocolo de comunicação. Posteriormente, uma vez já definida a arquitetura básica da rede, partiu-se para as definições da estrutura interna dos Módulos.

3.2.2 Requisitos para a Topologia

Entre todas as topologias de redes utilizadas até hoje, não existe nenhuma que se enquadre adequadamente a todos os tipos de aplicações, e nem mesmo que mostre ser superior em todos os aspectos que as demais. Ao se eleger a configuração topológica da Rede Intermodular, levaram-se em consideração os seguintes pontos:

- a) *Interconectar até 1024 Módulos (Unidades de Controle)*: quantidade prevista para atender os equipamentos de grande porte (centrais com mais de 100 mil assinantes equivalentes).
- b) *Comportamento passivo*: o comportamento dos Módulos em relação ao meio deveria ser tal que a retirada, adição, ou mesmo a falha deles, não deveriam alterar as condições de funcionamento da rede.
- c) *Desagregação*: os Módulos deveriam poder ser distribuídos num raio de até 100 metros, sem utilização de repetidores, regeneradores, etc. Esta dimensão foi estabelecida visando-se a instalação de centrais com seus Módulos espalhados em diversos andares e/ou edifícios vizinhos.
- d) *Disponibilidade*: a rede deveria permitir a sua expansão com o equipamento em operação. Esta característica permite que equipamentos já instalados possam ter sua capacidade ampliada com relação ao tráfego, ao número de Módulos instalados, ou mesmo para se prover evoluções e novos serviços.

- e) *Confiabilidade*: o funcionamento da rede não deveria ser dependente de nenhum elemento central, cuja falta paralisasse o sistema. As características de controle distribuído que atribui uma grande confiabilidade ao sistema não deveria deixar de ser considerada também no desenvolvimento da estrutura de interconexão.
- f) *Rotas alternativas*: a estrutura da rede deveria privilegiar a possibilidade de caminhos de comunicação alternativos, para que na falta de uma rota de encaminhamento os Módulos não ficassem isolados.

3.2.3 Requisitos para o Meio de Transmissão

Quanto ao meio de transmissão a ser utilizado foram considerados como pontos de referências na decisão:

- a) *Adequação à topologia adotada*: com a tecnologia disponível, alguns meios de transmissão são mais apropriados a determinados arranjos topológicos.
- b) *Taxa máxima de transmissão versus distância*: características como atenuação e distorção são dependentes da taxa de transmissão e da distância prevista para a rede. Esses fatores podem inviabilizar alguns meios de transmissão.
- c) *Imunidade ao ruído*: a sensibilidade ao ruído como fonte de erros é um fator dependente do meio de transmissão e do ambiente onde o equipamento é instalado. Não foi prevista a instalação do equipamento em condições excessivamente ruidosas.
- d) *Custo*: a definição do meio de transmissão não deve considerar somente o seu custo em si, mas também a dos outros elementos que são implicados

pela adoção, tais como conectores, derivações, emendas, terminações, tecnologia de acesso ("transceivers"), instalação, etc.

3.2.4 Requisitos para o Controle de Acesso ao Meio

As técnicas para disciplinar a utilização do meio de transmissão, a fim de que todos os Módulos interconectados tenham a oportunidade de enviar e receber mensagens, são de, certa forma, dependentes da topologia e do meio de transmissão adotados. Assim, da mesma forma que ao se eleger a topologia pode-se estar sendo estabelecido também o meio de transmissão, o mesmo pode ocorrer em relação aos mecanismos de controle de acesso.

Em geral, os protocolos de acesso são desenvolvidos para uma topologia particular de rede. No entanto, algumas estratégias de controle podem ser utilizadas em diversas topologias, embora sejam, de certa maneira, mais adequadas a alguma em particular. O mecanismo de controle a ser adotado deveria privilegiar os seguintes pontos:

- a) *Hierarquia*: todos os Módulos deveriam apresentar um mesmo nível hierárquico do ponto de vista da rede. Com isso, independentemente da sua posição física qualquer Módulo deveria dispor dos mesmos serviços. O objetivo é permitir que qualquer função dentro do sistema possa estar localizada em qualquer ponto, dando assim flexibilidade ao empacotamento mecânico e à configuração do equipamento.
- b) *Conectividade*: qualquer Módulo deveria ter acessibilidade total para poder se comunicar com qualquer outro.
- c) *Método não exaustivo*: ao se alocar um suporte de comunicação a um dado Módulo, o tempo de utilização seria limitado à transmissão de uma

mensagem apenas e não ao tempo necessário ao envio de todas as mensagens prontas. A idéia é evitar a monopolização do meio de transmissão por longos períodos por um único usuário.

- d) *Mensagens de tamanho variável*: o mecanismo de controle deveria possibilitar o envio de mensagens de tamanho variável dentro da faixa de 16 a 512 bytes. Com isso, pretende-se melhorar a eficiência de utilização do meio, evitando o "overhead" decorrente da definição de um tamanho fixo.
- e) *Eficiência*: deveria ser aproveitada de maneira eficiente a faixa passante oferecida pelo meio de transmissão. Alguns fatores que afetam a performance são: taxa de transmissão, tempo de retardo, tempo de efetivação e liberação das rotas, tempo de retenção em cada Módulo, tamanho do cabeçalho para roteamento das mensagens, etc.
- f) *Erros de Transmissão*: o mecanismo de acesso ao meio deveria prover um método de detecção de erro de transmissão de mensagem, ao nível de hardware, associado a um procedimento autônomo (independente do software) de retransmissão da mensagem quando forem verificadas falhas nas informações transportadas.
- g) *Reconhecimento*: o mecanismo de acesso deveria prover caracteres de reconhecimento, ao nível de hardware, enviados pelo receptor, confirmando o recebimento das informações enviadas.
- h) *Sequenciamento*: o protocolo de transmissão deveria prover um método de controle de sequenciamento das mensagens enviadas.

3.3 Aspectos de Implementação

3.3.1 Topologia

As decisões relativas à topologia, meio de transmissão e ao mecanismo de acesso ao meio foram tomadas baseadas nos pontos descritos anteriormente. Para se satisfazer todos esses requisitos, foi desenvolvida uma estrutura com características particulares.

A topologia escolhida é um híbrido das topologias Barramento e Estrela (Figura 3.3). Buscou-se, com isso, unir as características de interesse das duas topologias. Da topologia barramento se extraiu o carácter passivo do acesso dos Módulos ao meio, facilidade de adicionar e retirar Módulos com o sistema em operação, simplicidade de roteamento, possibilidade de alta taxa de transmissão, etc. Na topologia estrela, o nó central pode agir como controle da rede, ao mesmo tempo que interliga o conjunto de barramentos radialmente configurados. Outra característica de interesse da topologia em estrela é a facilidade de se instalar tantos barramentos radiais quanto sejam necessários para atender cada aplicação específica.

O arranjo em estrela é ideal para um mecanismo de controle de acesso do tipo centralizado. Esse mecanismo tem seu interesse, visto que, em geral, simplifica a implementação do hardware dos demais nós da rede e também o protocolo de acesso.

Outros fatores que resultam da topologia adotada são:

- facilidades de configuração;
- flexibilidade de dimensionamento:
 - . em relação ao número de Módulos;
 - . em relação ao número de barramentos
- facilidade de instalação;

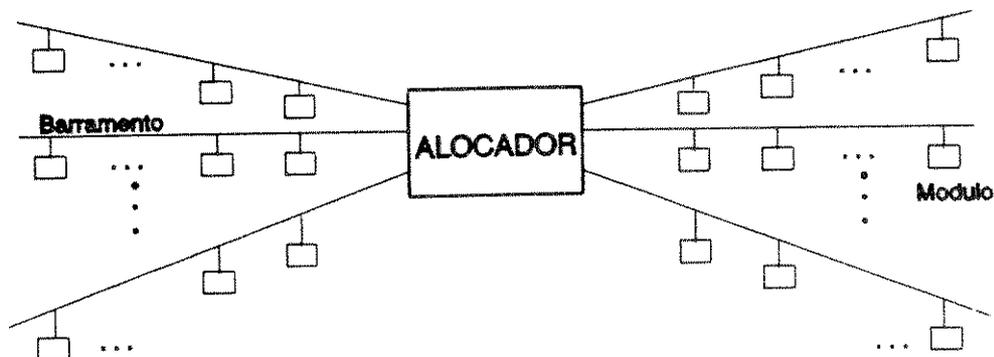


Figura 3.3: Topologia Híbrida Barramento-Estrela

- flexibilidade em relação ao comprimento dos barramentos;
- distanciamento entre os Módulos;
- posicionamento e endereçamento dos Módulos (identificação dentro da rede).

Um outro aspecto é a confiabilidade proporcionada pela possibilidade de se isolar por completo cada um dos barramentos, o que garante que no caso de alguma falha somente o barramento envolvido é afetado. Todos os pontos citados dificilmente poderiam ser propiciados conjuntamente com a escolha de algum outro arranjo topológico.

3.3.2 Plano de Sinalização

Ao se referir a uma estrutura de controle centralizado, normalmente já se associa a idéia de vulnerabilidade. Da mesma forma, ao se referir a uma estrutura bastante confiável já se tem intrinsecamente a idéia de algum esquema de redundância. Assim, em geral, todas as aplicações que dependem de alto grau de confiabilidade têm associado o conceito de redundância em suas funções essenciais.

Um equipamento de telefonia exemplifica uma aplicação que depende de um alto grau de prestação de serviço. A interrupção da sua operação pode acarretar sérios danos aos seus usuários, seja no aspecto de segurança, seja no aspecto financeiro, ou qualquer outro. Assim, é imprescindível manter a sua disponibilidade mesmo de forma degradada, o que significa dizer que todas as suas funções essenciais têm que ser confiáveis, ou seja, tem que haver alguma forma de redundância.

A Estrutura de Sinalização é uma função essencial dentro do Sistema TRÓPICO RA. Assim, independentemente das suas características de implementação (topologia, meio de transmissão, controle de acesso, etc.), seria imprescindível a utilização de algum artifício que provesse níveis mínimos de confiabilidade, condizentes com a sua aplicação. Este requisito, somado à necessidade de se proporcionar uma estrutura altamente modular, de forma que fosse possível sempre dosar o custo da rede com o tamanho e capacidade de cada equipamento, foram os ingredientes básicos que levaram a concepção da Estrutura de Sinalização a ser constituída por "Planos".

Plano ou Plano de Sinalização é uma estrutura de interconexão que possibilita o transporte de mensagens entre os Módulos que configuram o sistema. Provê acessibilidade total a todos os Módulos, podendo coexistir diversas dessas unidades num mesmo equipamento, adicionadas conforme os requisitos de tráfego e confiabilidade de cada aplicação. Os Planos são idênticos, trabalham em partição dinâmica de carga com total independência e autonomia de cada um em relação aos demais. Podem ser instalados ou retirados mesmo com o equipamento em operação.

Portanto, o arranjo topológico utilizado na implementação da Estrutura de Sinalização pode ser definido como uma topologia *Multiplano Híbrida Barramento-Estrela*. A característica de controle centralizado deixa de ser assim um fator vulnerável, ao mesmo tempo que a adoção da estrutura de Planos

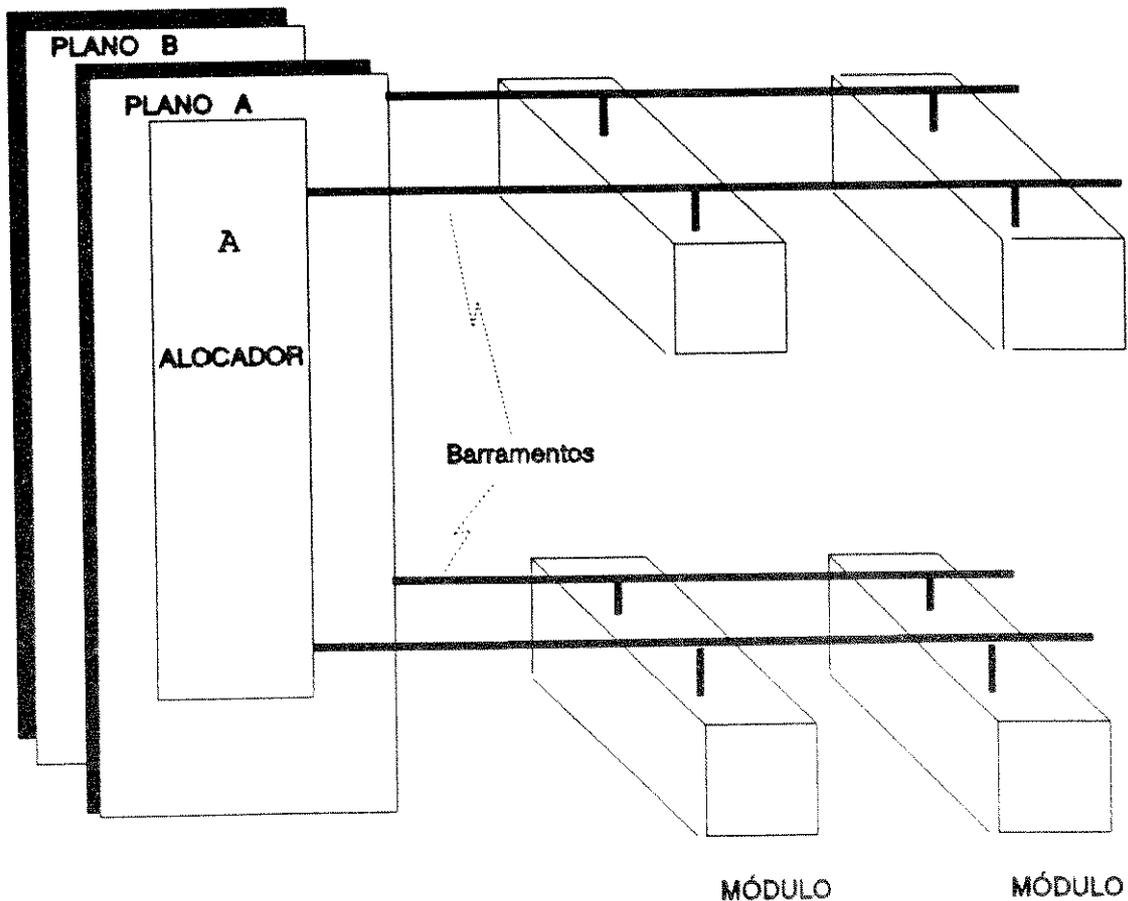


Figura 3.4: Interconexão dos Módulos aos Planos de Sinalização

oferece a confiabilidade e a modularidade necessárias ao sistema (Figura 3.4).

Um outro compromisso que existiu foi o interesse em se compatibilizar o empacotamento eletro-mecânico das duas estruturas de interconexão: a Estrutura de Sinalização e a Estrutura de Voz. A possibilidade de se poder distribuir aos Módulos, em conjunto, a cabeção destas duas estruturas simplificaria e resultaria numa solução bastante "limpa" e mais barata. As topologias adotados para as duas estruturas na central TRÓPICO R já privilegiavam esta característica⁶. A

⁶ A Matriz de Comutação (Estrutura de Voz) desenvolvida para a central TRÓPICO R, mantendo a sua concepção original [1], depois de reprojeto hardware, suportaria a expansão de capacidade necessária para atender os requisitos do novo produto. Portanto, já estava definida a sua topologia.

topologia Híbrida Barramento-Estrela seria ideal para isso e foi herdada da Central TRÓPICO R.

3.3.3 Meio de Transmissão

A decisão relativa ao meio de transmissão partiu da análise, em primeiro lugar, da possibilidade de se utilizar o par trançado. O par trançado é o meio de transmissão de menor custo por comprimento. Além disso, a ligação dos nós através de transceptores (drivers/receivers) é simples e barata, somado a um nível razoável de imunidade ao ruído nas condições estabelecidas.

Uma vez determinada a topologia e o seu esquema de controle, constatou-se que o comprimento dos barramentos radiais não superariam o comprimento de 100 metros ao atender as dimensões especificadas para a rede. O projeto das interfaces com os barramentos seriam baseadas na tecnologia TTL (LS/S). A taxa de transferência de dados pelo barramento foi definida com valor máximo em 4,096 megabytes por segundo.

Para um par trançado típico com bitola de 24 AWG, supondo-se que sinais ON-OFF sejam injetados através de excitadores ("drivers"), em conformidade com a norma de interface elétrica EIA RS 422A [2], [3], o produto taxa de transmissão x distância apresenta um nível de interferência intersimbólica (IES) na recepção ("receivers") inferior a 5%, quando a transmissão é a 4 Mbps e distância inferior a 100 m [4]. Esse valor de IES é tolerável para a aplicação pretendida e poderia ainda ser melhorado o desempenho, caso fosse necessário, com o aumento da bitola do fio (resistência menor).

Em geral, os pares trançados são disponíveis na forma de cabos multipares encapsulados com plástico que proporcionam facilidades operacionais, manuseio e instalação. Essas características são favoráveis à aplicação desejada,

principalmente, em função do barramento consistir de um conjunto de sinais que, por conveniência, sejam transportados no mesmo cabo.

Fazendo-se uma análise comparativa com os outros meios de transmissão disponíveis (cabo coaxial, fibra óptica), a relação custo x benefício proporcionada na época pelo par trançado levou à sua adoção.

3.3.4 Mecanismo de Controle de Acesso ao Meio

O mecanismo de controle de acesso ao meio refere-se à técnica empregada para disciplinar a utilização do meio de transmissão, de forma que todos os Módulos interconectados possam se comunicar de maneira desejável e organizada.

Depois de definida a topologia e o meio de transmissão, o método de controle já estava também praticamente estabelecido. É claro que qualquer estratégia de controle pode ser usada em qualquer topologia, no entanto, normalmente existe aquela em particular que é mais adequada para cada arranjo.

Em decorrência da escolha do arranjo topológico Híbrido Barramento-Estrela, naturalmente se associa como mais adequada a utilização de uma técnica de controle de acesso do tipo centralizada.

De um modo geral, a confiabilidade é favorecida ao se evitar um método que concentre o controle de acesso num único elemento. No entanto, como já ficou estabelecido anteriormente, a filosofia de implementação da rede baseada no conceito de Planos, o controle da rede estaria, então, particionado entre os controladores de cada um dos Planos.

A eficiência de uma estratégia de controle pode ser avaliada pelo grau de utilização efetiva que ela possibilita em relação ao que o sistema de comunicação

oferece. Devido a vários fatores este valor, normalmente, é apenas uma pequena porcentagem da capacidade total. O desempenho de um sistema com controle centralizado é altamente dependente do protocolo e da quantidade de tempo requerido pelo nó central para processar as funções de roteamento e encaminhamento das mensagens. Por tudo isso, ao se definir um protocolo é essencial que sua implementação confira ao elemento de controle um baixo índice de ocupação e alto grau de disponibilidade.

3.3.4.1 Varredura

O método de controle que foi adotado baseia-se no método de *varredura* ("*polling*") que é bastante conhecido [5]. Neste método, o nó controlador central realiza numa sequência a varredura de todos os nós da rede, interrogando se existe mensagem para ser transmitida. Se o nó interrogado não apresenta na ocasião da sua varredura mensagem para ser transmitida, o direito de transmissão é passado para o seguinte e assim sucessivamente. Quando o nó responde que apresenta mensagem para ser transmitida, o controlador aloca uma rota de comunicação (via de comunicação) do nó transmissor ao nó requisitado para receber a mensagem.

Para dotar a técnica de maior eficiência, foi introduzido no barramento linhas exclusivas para comunicação (vias de comunicação) e para o protocolo de alocação efetuado entre o controlador do Plano e os Processadores (Módulos). Essa implementação permite eliminar das linhas de comunicação o tráfego associado às informações necessárias à efetivação das rotas de comunicação. Um outro aspecto particular do projeto foi de dotar o barramento de múltiplas vias de comunicação. Essa característica permite que em cada Plano possam ocorrer várias comunicações simultâneas (uma por cada via de comunicação disponível), além de que o controlador pode voltar à varredura logo após ter completado uma conexão, sempre que haja outra via de comunicação desocupada.

Com um protocolo que envolve o controlador dotado de um mínimo de transação, associado a um número adequado de vias de comunicação, conseguiu-se obter um mecanismo de controle de acesso com um desempenho bastante satisfatório. Isto sem tornar complexa a implementação do controlador e ainda com a simplicidade necessária para a implementação das interfaces dos Módulos com a rede.

3.4 Especificação do Bloco Funcional: SINP

Conforme o critério de partição das funções que integram o Sistema TRÓPICO RA em Blocos Funcionais, o BF:SINP (Bloco Funcional: Sinalização InterProcessadores) foi definido, tendo como função básica o estabelecimento das conexões entre as Unidades de Controle (Processadores) dos Módulos através de recursos físicos, hardware e software, regidos por um protocolo de comunicação. O BF:SINP efetua ainda o gerenciamento e a detecção de falhas dos recursos associados. Assim, a Estrutura de Sinalização, dentro da conceituação lógica do Sistema, integra o BF:SINP.

Na estruturação lógica do Sistema, cada Bloco Funcional tem interface com dois tipos de entidades: os seus *Usuários Genéricos (UG)* e os seus *Prestadores de Serviço (PS)*. Aos UG's associam-se todas as entidades que dependem das funções efetivadas pelo BF. Entendem-se como PS's todas as entidades que prestam serviços dos quais dependem o BF para o seu funcionamento.

No modelo de serviço do BF:SINP constam os seguintes usuários genéricos [6]:

- Usuário genérico processador UG:ENRE (usuário genérico enviado e receptor): se utiliza dos seus serviços para enviar e receber mensagens;

- Usuário genérico controlador de configuração da rede UG:CONL: utiliza o BF:SINP para obter informações de falhas de transmissão de mensagens pela rede;
- Usuário genérico controlador de carga da rede UG:CATI: utiliza o BF:SINP para comunicação durante procedimentos de carga software de processador;
- Usuário genérico operador UG:OPER: utiliza os serviços do BF:SINP para interrogar e modificar o estado dos recursos de sinalização que podem ser gerenciados pelo operador.

Na prestação de serviços ao UG:ENRE, constam:

- a) *Envio de mensagem:* o serviço de envio de mensagem externa é utilizado quando uma mensagem tem destino diferente do Processador no qual está residente;
- b) *Recepção de mensagem:* o serviço de recepção de mensagem externa é utilizado quando da recepção de uma mensagem enviada por outro Processador da rede;
- c) *Garantia de sequenciamento de mensagens para um mesmo destino;*
- d) *Controle de erro no nível físico;*
- e) *Retransmissão de mensagens a nível físico (retransmissão automática no nível hardware), que ocorre quando houver insucesso na transmissão. Os casos de insucesso se caracterizam por: indisponibilidade de recursos de transmissão, indisponibilidade do destino, detecção de erro de transmissão no nível físico (nível hardware). Toda transmissão de mensagem é temporizada para se determinar um eventual insucesso.*

O serviço prestado ao UG:CONL, consta de:

- a) *Supervisão do Processador destino de mensagens:* o BF:SINP informa ao UG:CONL todas as perdas de mensagens (expira temporização de transmissão), enviando a identificação do Processador destino e da mensagem (cabeçalho);

Entre os serviços prestados ao UG:OPER, constam:

- a) *Modificar estado de sinalização de Processador:* oferece ao UG:OPER recursos para alterar o estado de acesso de cada Processador aos Planos, de modo que se possa bloquear ou habilitar a transmissão ou recepção do Processador realizadas através de quaisquer dos Planos;
- b) *Interrogar estado de sinalização de Processador:* permite interrogar o estado de sinalização de um ou mais Processadores num determinado Plano;
- c) *Modificar estado de sinalização no barramento:* permite configurar o estado dos recursos de comunicação associados aos barramentos. Pode-se bloquear ou habilitar a utilização de vias de comunicação ou mesmo do barramento;
- d) *Interrogar estado de sinalização no barramento:* permite interrogar o estado de sinalização dos recursos associados aos barramentos;
- e) *Modificar estado de sinalização de Plano:* possibilita bloquear ou habilitar um Plano de Sinalização. Este comando não deve permitir o estado de bloqueio de todos os Planos;
- f) *Interrogar estado de sinalização de Plano:* permite interrogar o estado de sinalização dos Planos;

- g) *Criar Plano de Sinalização*: permite criar um Plano de Sinalização na Rede. Este estado corresponde ao primeiro estágio para se estabelecer logicamente um novo Plano. O Plano criado entra no estado bloqueado pelo operador;
- h) *Suprimir Plano de Sinalização*: possibilita suprimir um Plano da Rede. Este comando consiste no último estágio para se desativar logicamente um Plano da Rede. A supressão só deve ser permitida se o Plano estiver no estado de bloqueado pelo operador;
- i) *Iniciar supervisão estatística de sinalização*: ativa a supervisão estatística de sinalização em um determinado Processador. Isto consiste em ativar no Processador contadores de sucesso e insucesso de transmissão e recepção associados a cada Plano. O operador deve fornecer o período de supervisão;
- j) *Interrogar supervisão estatística de sinalização*: permite interrogar o estado dos contadores de sucesso e insucesso de uma supervisão estatística em andamento num determinado Processador;
- k) *Cancelar supervisão estatística de sinalização*: permite cancelar num determinado Processador uma supervisão estatística de sinalização em andamento;
- l) *Teste de Sinalização entre dois Processadores*: permite estabelecer a comunicação entre dois processadores quaisquer da Rede. A comunicação é realizada nos dois sentidos.

Serviços prestados ao UG:CATI: os serviços prestados ao UG:CATI ocorrem no período da carga de software em qualquer Processador. Na condição de iniciação o software contido no Processador se resume ao mínimo necessário para se realizar a carga através da Rede, sendo mantido em memórias não voláteis. Dos serviços prestados ao UG:CATI constam:

- a) *Iniciar Processador para sinalização:* é utilizado para pedir a iniciação do hardware de sinalização do referido Processador. O UG:CATI deve fornecer os Planos de Sinalização que devem ser ativados;
- b) *Enviar mensagem externa:* neste serviço o UG:CATI solicita o envio de uma mensagem;
- c) *Recepção de mensagem externa:* neste serviço o UG:CATI solicita a busca de uma mensagem recebida. Como resposta recebe a mensagem;
- d) *Verificar transmissão de mensagem:* é utilizado para verificar se a última mensagem que teve seu envio solicitado foi transmitida;
- e) *Cancelar transmissão de mensagem:* é utilizado para cancelar o envio da última mensagem que teve seu envio solicitado;
- f) *Cancelar recepção de mensagem:* é utilizado para desabilitar a recepção de mensagem no Processador;
- g) *Modificar estado de sinalização em Planos:* é utilizado para alterar o estado de sinalização através dos Planos. O UG:CATI deve fornecer os Planos a serem alterados.

REFERÊNCIAS

- [1] YACOUB, M.D. "*Matriz de Comutação de uma CPA - Temporal*" Tese de Mestrado - UNICAMP, 1983.
- [2] GIOZZA, W. e outros. "*Redes Locais de Computadores*". McGraw-Hill, São Paulo.
- [3] TUGAL, D. E TUGAL, O. "*Data transmission analysis, design, applicaations*". McGraw-Hill, New York, 1982
- [4] FAIRCHILD SEMICONDUCTORES HANDBOOK. "*Transmission line interface elememt applications*". p.14-10
- [5] HAMMOND, J.L.H., O'REILLY, P.J.P. "*Performance Analysis of Local Computer Network*". Addison-Wesley Publishing Company, USA, 1986.
- [6] "Especificação do BF:SINP do Sistema TRÓPICO RA". CPqD - TELEBRÁS

Capítulo 4

Rede Intermodular

CAPÍTULO 4

4 REDE INTERMODULAR

A técnica associada ao desenvolvimento de uma rede local diz respeito, essencialmente, à tecnologia empregada na implementação do que chamamos aqui de *Rede Intermodular*. A Rede Intermodular (ou simplesmente Rede) conforme está mostrado na Figura 4.1, consiste no conjunto formado pelo meio de transmissão e pelos recursos necessários para controlar o seu compartilhamento pelos Módulos durante a transmissão de dados.

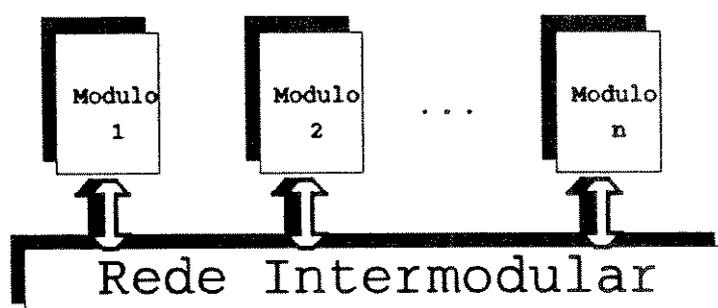


Figura 4.1: Esboço da Rede Local

Transmissão de dados refere-se ao movimento de informação codificada na forma binária, que foi ou vai ser processada dentro do sistema. Nesse processo existe a fonte de dados, o destino e caminho de interconexão. A fonte e o destino dos dados correspondem aos Módulos e o caminho de interconexão é provido pela Rede Intermodular.

A Rede Intermodular somada às respectivas interfaces de acesso, que correspondem a cada um dos Módulos, é composta por um conjunto de Planos de Sinalização.

O Plano de Sinalização possui suas características mecânicas, elétricas, funcionais, e um conjunto de procedimentos para ativar, manter e desativar as conexões físicas (nível físico), concebidas com o objetivo de prover a transmissão de bits pertencentes às entidades de camadas superiores (nível superior). A função do Plano de Sinalização é a de permitir o envio de uma cadeia de bits, convenientemente agrupados, entre seus usuários sem se preocupar com o significado destes bits. Não é função do Plano tratar os problemas tais como erros de transmissão.

A transferência de bits através do Plano de Sinalização depende de um método de controle que regula o acesso de cada um de seus usuários. A eficiência de um mecanismo de controle de acesso pode ser avaliada pela sua capacidade de utilizar o potencial dos recursos de transmissão associados. O parâmetro tempo é intuitivamente uma boa referência para avaliar-se um método de controle de acesso com relação ao "overhead" na transação para ativação e na desativação de uma conexão. De maneira geral, pode-se dizer que o tempo de transação não pode ter uma ordem de grandeza significativa diante do tempo de transmissão da mensagem pela conexão efetivada.

O Plano de Sinalização é dotado de um mecanismo de controle de acesso centralizado. Os métodos centralizados são tradicionalmente considerados de baixa eficiência. Isto devido ao montante de informações que devem ser trocadas entre o controlador de alocação dos recursos de comunicação (*Alocador*) e os Módulos usuários. Essa troca de informação ocorre durante os períodos de transação inerentes à ativação e desativação dos caminhos de comunicação. Com esta preocupação, no protocolo de alocação que foi definido, buscou-se minimizar os tempos envolvidos nas transações para alocação de via. O critério utilizado foi o de reduzir a quantidade de informação que necessitaria ser trocada nessa fase, paralelizar etapas e otimizar a implementação hardware.

4.1 Barramento de Sinalização

O arranjo topológico *Híbrido Barramento-Estrela* com mecanismo de controle centralizado (veja Figura 4.2) caracteriza a implementação da Rede Intermodular. Esta estrutura pode ser entendida como uma extrapolação do conceito de barramento com controle centralizado.

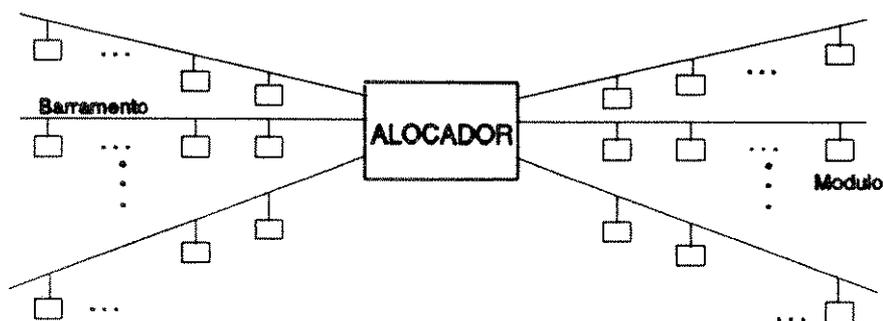


Figura 4.2: Topologia da Rede

A Figura 4.3 apresenta uma configuração da Rede contendo um único barramento radial representando a configuração básica (mínima) da estrutura. O *Alocador* (nó central) é encarregado das ações a fim de permitir o compartilhamento entre os Módulos dos recursos de comunicação. Esses recursos são representados basicamente pelo *Barramento de Sinalização*, ou simplesmente *Barramento*.

Pelo Barramento trafegam três classes de sinais: sinais de dados, sinais de controle e sinais de sincronismo. Os sinais de controle referem-se às informações de controle trocadas entre os Módulos e o Alocador. A função destas informações é o de ativar e desativar as conexões físicas necessárias ao tráfego dos sinais de dados, ou mais especificamente, ao tráfego de mensagens.

Os sinais de sincronismo determinam a cadência em que são transmitidos os sinais de controle e os sinais de dados. Isto para que não haja alteração no conteúdo da informação transportada, dentro do Barramento, por inconsistência

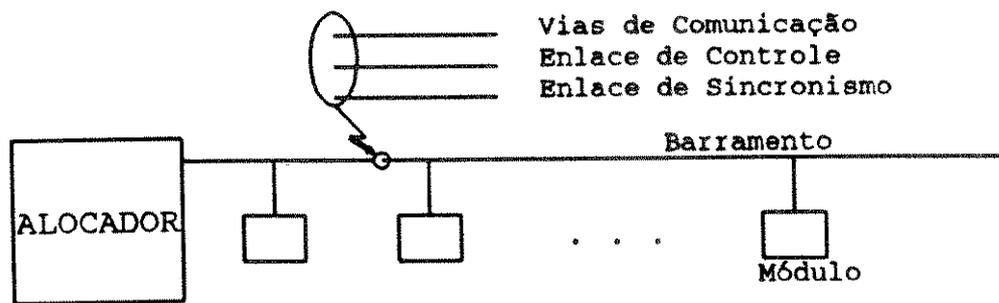


Figura 4.3: Alocaador com um Barramento

de amostragem.

Os sinais de controle são propagados por caminhos distintos aos dos sinais de dados. Com isso, pode-se prover maior eficiência tanto na ativação das conexões como também durante a fase de transmissão dos sinais de dados. Isto porque não há interdependência na transmissão das respectivas informações. Os sinais de controle são transportados pelo *Enlace de Controle* enquanto os sinais de dados são encaminhados pelas *Vias de Comunicação*.

O Barramento apresenta um Enlace de Controle e um conjunto de Vias de Comunicação. O número de Vias de Comunicação pode ser definido de modo a atender as características de tráfego específicas de cada aplicação, desde que seja respeitada a capacidade de tratamento do Alocaador.

Tanto o Enlace de Controle quanto as Vias de Comunicação transportam sinais seriais, síncronos a nível de bits. O critério utilizado para a sincronização dos bits a nível de Plano caracteriza uma técnica centralizada: o Alocaador funciona como relógio mestre e fornece a temporização de bits (relógio) a todos

os Módulos da Rede. A partir da referência fornecida pelo Alocador, os Módulos geram suas próprias bases de tempo locais (relógios escravos).

Aos Módulos são enviados, a partir do Alocador, dois tipos de temporizações: uma relativa à bit e outra relativa a quadro. Esses sinais correspondem, respectivamente, a uma onda quadrada na frequência de 4,096 Mhz e a um pulso de 244 ns a cada 125 μ s (8 Khz). Esses sinais são denominados, respectivamente, relógio de 4M e sincronismo de quadro, e são transportados separadamente dentro do *Enlace de Sincronismo*.

A estrutura física de transporte dos sinais elétricos através do Barramento é formada por um conjunto de pares trançados com características elétricas que obedecem ao padrão RS 422A. Os sinais são enviados diferencialmente (sinais balanceados) com o que se consegue diminuir o ruído de modo comum. Os transceptores utilizados nas conexões apresentam alta impedância (idealmente impedância infinita) em relação ao meio de transmissão, de forma a alterar o mínimo possível as características elétricas de transmissão.

Tendo em vista propiciar uma mínima interferência das conexões sobre o meio de transmissão, tomou-se o cuidado adicional de, no empacotamento elétrico, posicionarem-se todos os transceptores o mais perto possível do cabo que encapsula os pares trançados (uma distância grande do cabo afetaria a condição de alta impedância).

Para eliminar reflexões expúrias que interfeririam nos sinais transmitidos, terminações de casamento de impedância são colocadas nos extremos de cada par trançado. Essas terminações têm carga igual a impedância característica da linha (110 ohm). No extremo, onde se encontra o Alocador, utiliza-se a própria configuração da carga que polariza a linha no nível lógico adequado, também como casamento (veja Figura 4.4).

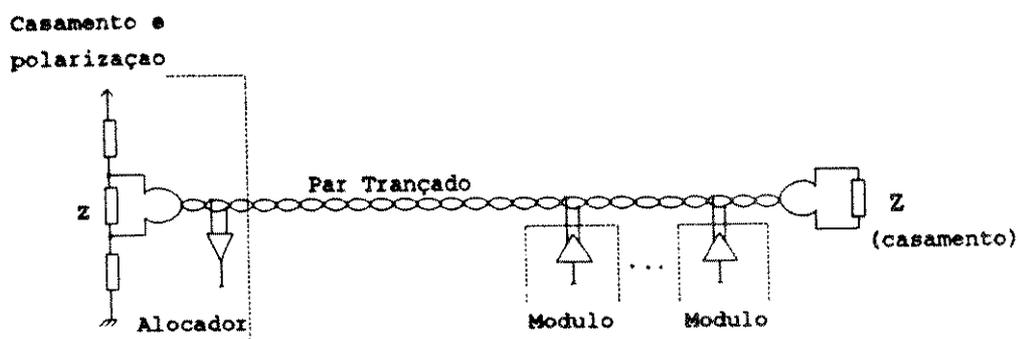


Figura 4.4: Conexão Elétrica de um Par Trançado

O Barramento foi projetado de forma a alcançar até 100 metros de comprimento, com taxa de transmissão de 4,096 Mbps e com a possibilidade de conexão de cerca de 20 Módulos.

4.1.1 Vias de Comunicação

A *Via de Comunicação*¹ é um suporte físico serial, bidirecional alternado (semiduplex), com processo de ocupação baseado em comutação de mensagens. A transmissão, apesar de ser síncrona a nível de bits, na verdade é assíncrona a nível dos caracteres. O termo assíncrono refere-se à aleatoriedade dos instantes de emissão dos caracteres de informação e, conseqüentemente, dos instantes de recepção dos mesmos.

Para que a recepção possa identificar a chegada de caracteres assincronamente, cada segmento de informação (cadeia de bits) enviado é iniciado por um bit em nível lógico zero ("start bit"). Assim, uma vez que a Via de Comunicação em estado de não transmissão seja mantida em nível lógico um, o que sucede um "start bit" é reconhecido como informação a ser recebida pelo destino.

¹ Via de Comunicação é também denominada "Via de Sinalização" em alguns documentos internos ao CPqD - TELEBRÁS.

Para informar o final da transmissão são utilizados dois critérios. O primeiro critério é destinado às informações de transação, enquanto o segundo é para transmissão de mensagens entre Módulos. No primeiro caso, na própria fase da transação em que é trocado o segmento de informação já está implícito o tamanho. Este tipo de informação é curto o que só depende da contagem do número de bits que sucedem o "start bit" pelo elemento receptor. No segundo caso, o primeiro "byte" após o "start bit" contém o número de bytes que apresenta a mensagem associada (veja Figura 4.5).

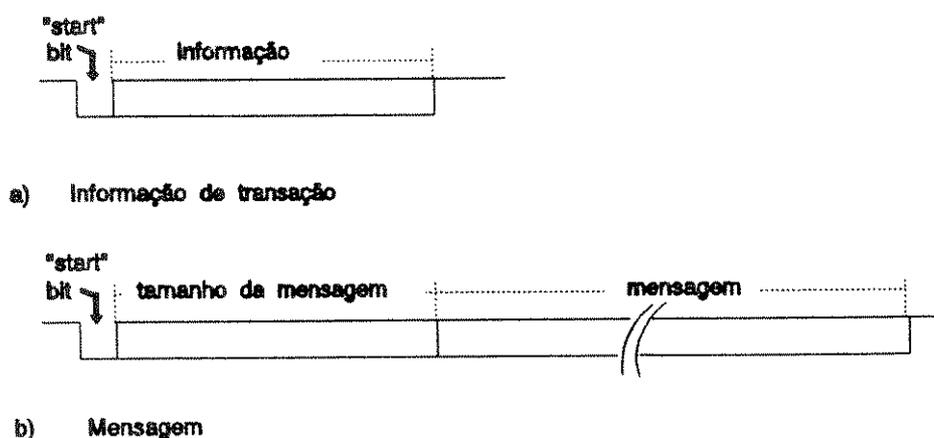


Figura 4.5: Formato das Informações Enviadas pelas Vias de Comunicações

As informações de transação são dados de roteamento ou de reconhecimento. Dados de roteamento referem-se às informações que são enviadas pelo Módulo transmissor até o Alocador com o objetivo de identificar com qual Módulo receptor deve ser criada uma Via de Comunicação para propagação de uma mensagem. Dados de reconhecimento são informações trocadas durante o procedimento de alocação de uma Via de Comunicação e também durante a transmissão de mensagem. A finalidade dessas informações é o de confirmar ou negar a efetivação das fases envolvidas no protocolo de alocação.

O arranjo da conexão elétrica de uma Via de Comunicação aos Módulos está representada de maneira simplificada na Figura 4.6. Na distribuição das Via de Comunicação existem em cada Módulo duas conexões distintas, uma realizada

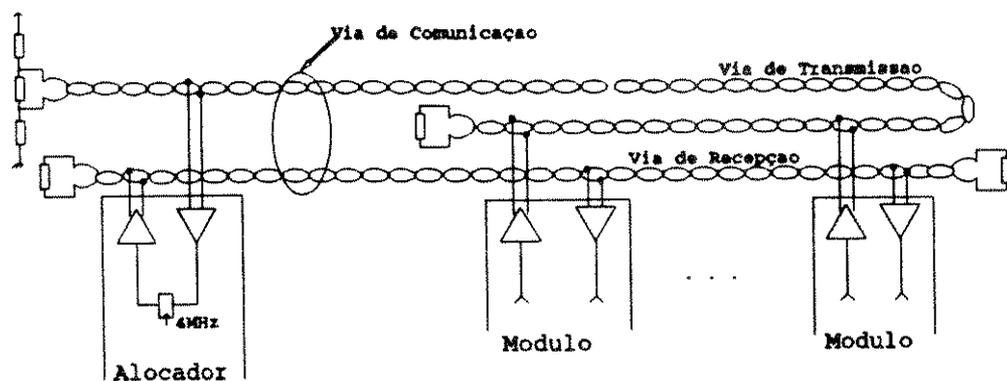


Figura 4.6: Conexão dos Módulos a uma Via de Comunicação

através de um receptor de linha diferencial ("receiver") e outra através de um transmissor de linha diferencial ("driver"). O caminho por onde chegam os sinais aos Módulos é denominada Via de Recepção, enquanto o caminho por onde saem os sinais originados nos Módulos é chamado Via de Transmissão.

Em cada momento existe somente um Módulo com sua transmissão habilitada sobre uma Via de Transmissão. Da mesma forma, apesar de todos os Módulos terem disponível em seus receptores os caracteres que se propagam pela Via de Recepção, somente aqueles que foram previamente definidos e envolvidos na comunicação têm acesso às informações presentes no meio.

O Alocador interfere numa comunicação somente na fase para ativar a conexão e, depois de transcorrido o tempo estipulado para a transferência da mensagem, para desativar a conexão estabelecida. Depois da fase de ativação até a desativação da conexão, para a Via de Comunicação considerada, a função do Alocador é unicamente a de um repetidor amostrador que une a Via de Transmissão com a correspondente Via de Recepção.

Um outro detalhe importante que deve ser salientado é a disposição dos pontos de ligação dos Módulos à Via de Recepção (veja Figura 4.6). Estas ligações são efetuadas de forma que os sinais transmitidos por qualquer Módulo,

independentemente do seu distanciamento ao Aloçador, percorra sempre caminhos de comprimentos equivalentes. Este artifício garante que indiferentemente da posição de cada Módulo, os sinais transmitidos têm aproximadamente o mesmo atraso de propagação. Isto porque são equalizadas as distâncias percorridas, e também, como será visto, compensadas as diferenças de fase e sincronismo. O procedimento citado simplifica a implementação hardware em virtude de que o atraso de propagação pelo meio de transmissão passa a ser independente do distanciamento físico de cada Módulo.

4.1.2 Enlace de Controle

O acesso dos Módulos para transmissão ou para recepção através das Vias de Comunicação é passivo, ou seja, os Módulos não têm autonomia para atuar no meio de transmissão. O direito de conexão às Vias de Comunicação, para cada Módulo, só é definido pelo Aloçador, de acordo com um protocolo de alocação efetivado através do Enlace de Controle.

O Aloçador, na sua função de coordenar o mecanismo de acesso dos Módulos às Vias de Comunicação, tem o seu tempo ocupado basicamente em duas fases: *Varredura e Alocação*. A Varredura ("polling") corresponde ao período de busca por algum Módulo com transmissão pendente, ou seja, que tenha alguma mensagem pronta para ser transmitida. Este estado é indicado por uma *Solicitação de Via*, ou simplesmente *Solicitação*.

A fase de Alocação sucede a fase de Varredura. A fase de Alocação começa quando o Aloçador encontra um Módulo com Solicitação de Via. Essa fase consiste na transação necessária para ativar a conexão, através de uma Via de Comunicação, do Módulo solicitante para transmitir com o Módulo solicitado para receber uma mensagem.

a) Varredura

A fase de Varredura consiste de um processo de consulta sequencial pelo Alocador a todos os Módulos, com o intuito de identificar o interesse de cada um em transmitir, indicado por uma Solicitação. O estado de cada um dos Módulos é provido ao Alocador através da *Via de Solicitação* que compõe o Enlace de Controle. Na *Via de Solicitação* se concentram serialmente 256 "janelas temporais" ("time slots"), também denominadas *janelas de solicitação*, que se repetem a cada período de 125 μ s.

Todo Módulo conectado à Rede é identificado através de um número específico. Associado a esse número, na *Via de Solicitação* é reservada uma janela temporal na qual é transportado ao Alocador o estado binário de *Solicitação* ou não do Módulo correspondente.

Durante a fase de Varredura, o Alocador fica em estado de observação das janelas temporais à espera de uma *Solicitação*. Quando é detectada uma *Solicitação*, o Alocador passa para à fase de Alocação. A Figura 4.7 [1] ilustra a Varredura de uma *Via de Solicitação* (uma correlação com um sistema mecânico). O instante em que a janela temporal de cada Módulo está disponível ao Alocador é fixo no tempo em relação ao ciclo total e a uma referência de sincronismo. Assim, independentemente do Alocador estar em Varredura ou não, a informação relativa a cada Módulo está presente na *Via de Solicitação* em períodos de acordo com uma referência de tempo fixa.

A realização de equipamentos com mais de 256 Módulos exige a introdução de mais *Vias de Solicitação*, na proporção de uma *Via de Solicitação* a cada 256 Módulos. Cada conjunto de Módulos associados a uma *Via de Solicitação* recebe o nome de *Página*. Assim, uma *Página* pode comportar até 256 Módulos. Os primeiros 256 Módulos ocupam a *Página 0* (Módulos de 0 a 255), os próximos 256 Módulos a *Página 1* (Módulos de 256 a 511), e assim sucessivamente.

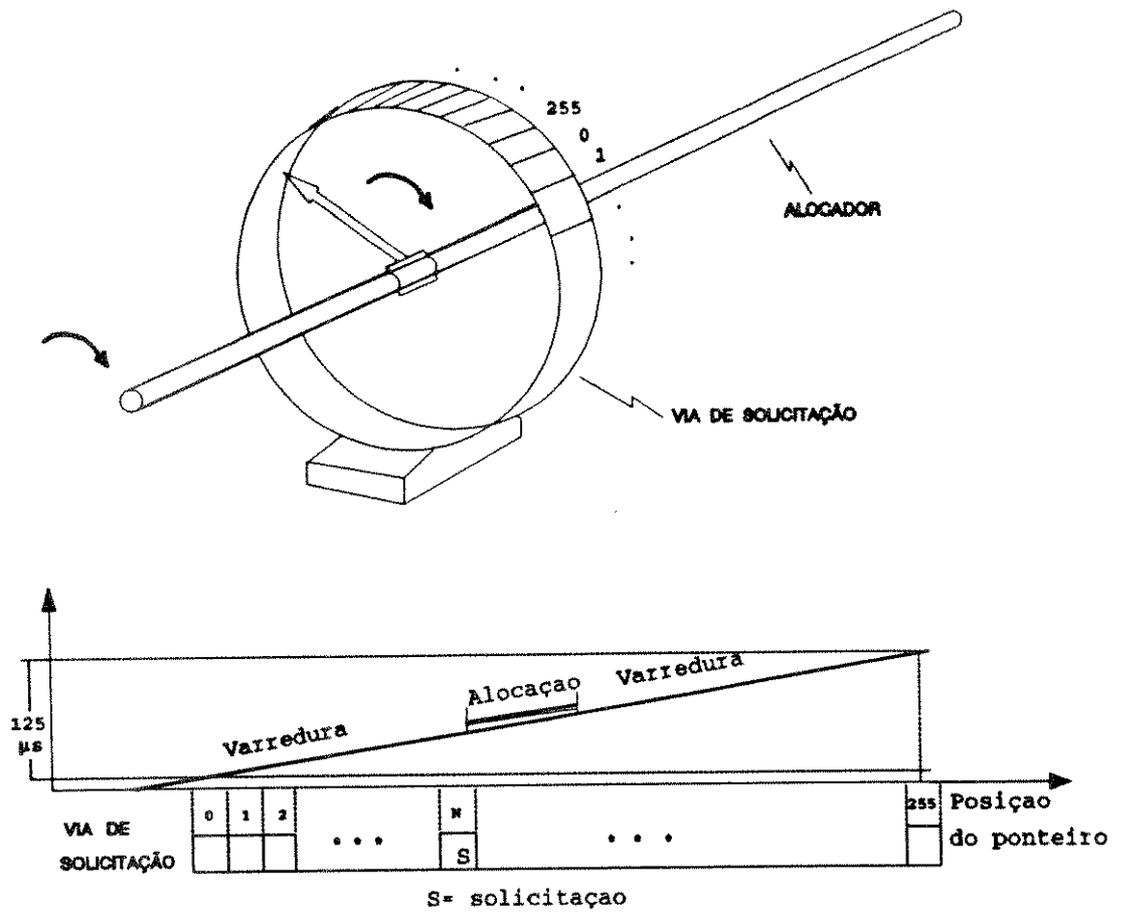


Figura 4.7: Modelo de Varredura de uma Via de Solicitação

A Figura 4.8 apresenta uma correlação entre a Varredura de N+1 Páginas (0 a N) e um sistema de polias. Note que o Alocador faz uma Varredura simultânea das várias Páginas (correspondentes Vias de Solicitação), de modo que em cada janela temporal, chegam em paralelo, o estado de solicitação de um Módulo de cada Página. Os Módulos de Páginas distintas, que ocupam uma mesma janela temporal apresentam no seu número de endereçamento os mesmos oito bits menos significativos (bits de 0 a 7), que diferenciam os 256 Módulos de uma Página. Quando na Varredura uma janela temporal apresenta em pelo menos uma das Páginas Solicitação ativa, a Varredura é interrompida. Pode acontecer também de haver mais de uma Solicitação numa mesma janela temporal. Neste caso, um critério de prioridade define o Módulo a ser atendido.

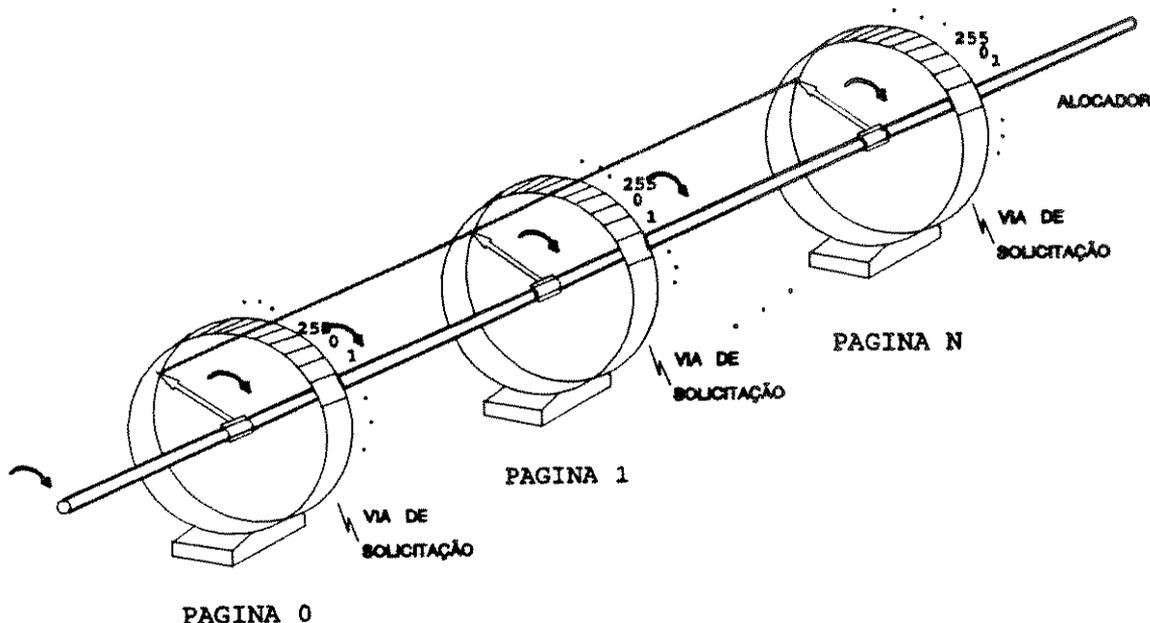


Figura 4.8: Modelo de Varredura das Vias de Solicitação

O critério de prioridade estabelecido para decidir qual Página terá seu Módulo atendido é dinâmico. A cada Solicitação atendida, a Página correspondente é colocada com prioridade mínima diante das demais. O nível de prioridade vai crescendo à medida que as demais Páginas vão tendo suas Solicitações atendidas.

Uma observação importante é que o método de Varredura desenvolvido não apresenta o "overhead" de consulta aos Módulos que, em geral, existe em alguns métodos convencionais ("roll-call polling" e "hub polling" [2]).

b) Alocação

Uma vez encontrado um Módulo com Solicitação, o Alocador passa para a fase de Alocação. Na fase de Alocação se efetiva, propriamente, a conexão dos Módulos solicitante e solicitado a uma Via de Comunicação. Para isso, o Barramento provê também dentro do Enlace de Controle a *Via de Habilitação*.

Pela Via de Habilitação são enviados a partir do Alocador os comandos que ativam as conexões dos Módulos para transmissão ou recepção de mensagens nas Vias de Comunicação.

A Via de Habilitação é um meio de comunicação síncrono à nível de bit e a nível de caractere. Os comandos são enviados na forma de *Palavras de Habilitação* em canais fixos de 16 bits, na frequência de 4,096 Mbps. O critério utilizado para se adotar uma implementação síncrona foi o de prover maior confiabilidade. Assim, para que os Módulos reconheçam uma habilitação, ela tem que apresentar um formato estabelecido e além disso, dentro de instantes específicos de amostragem (a cada 16 bits). A Via de Habilitação, enquanto não se transmitem por ela palavras de habilitação, é mantida em um nível lógico fixo (foi estabelecido o nível lógico um).

Foram definidos dois tipos de palavras de habilitação. Uma para habilitar o Módulo solicitante para transmissão (habilitação de transmissão) e outra para habilitar o Módulo solicitado para recepção (habilitação de recepção). O formato desses comandos está mostrado na Figura 4.9. Como pode ser observado, a mensagem é composta por um campo de identificação do Módulo a que se destina (*Número do Módulo*), um campo de definição do tipo de palavra a que se refere (*Modo*: transmissão ou recepção), um campo para especificar qual das Vias de Comunicação é para ser acessada (*Via*) e também campos reservados, sem aplicação imediata (x).



Figura 4.9: Formato da Palavra de Habilitação

Na fase de Alocação, o Alocador, ao detectar uma Solicitação, identifica diretamente pela posição da respectiva janela temporal quem é o Módulo solicitante. Imediatamente envia ao Módulo solicitante uma Palavra Habilitação

de transmissão com todos os campos definidos. O Módulo solicitante ao receber a habilitação imediatamente suspende o envio de Solicitação pela Via de Solicitação. Em seguida este encaminha até o Alocador um Segmento de Identificação através da Via de Comunicação habilitada. O Segmento de Identificação provê o Alocador com todas as informações necessárias a respeito da comunicação a ser efetivada, ou seja, a identificação do Módulo solicitado (Módulo receptor para a mensagem) e o tamanho da mensagem (que serve para o Alocador temporizar a retomada da Via alocada) a ser cursada. Com a identificação do Módulo solicitado o Alocador envia uma habilitação de recepção ao Módulo correspondente. Com o tamanho da mensagem, o Alocador ativa uma temporização interna a fim de estabelecer o momento de desativar a conexão efetivada e retomar a Via de Comunicação associada.

Após ter ativado o Módulo receptor, o Alocador fica novamente liberado para voltar à Varredura. Entretanto, para entrar em Varredura é necessário que haja dentro do conjunto de Vias de Comunicação configurado, alguma disponível (é possível que estejam todas ocupadas). Se não houver, o Alocador aguarda até que uma Via de Comunicação se desocupe.

A desativação da conexão dos Módulos da Via de Comunicação é realizada pelos próprios Módulos ao término da comunicação. No entanto, para assegurar que as Vias de Comunicação estejam liberadas depois do prazo estipulado e temporizado para cada comunicação, incondicionalmente, o Alocador ao entrar em Varredura mantém a Via de Comunicação a ser habilitada em nível lógico zero. Este procedimento força a desconexão de Módulos que eventualmente ainda estejam conectados.

A Figura 4.10 mostra o protocolo de alocação bem sucedido de uma Via de Comunicação entre um Módulo solicitante e o Módulo solicitado.

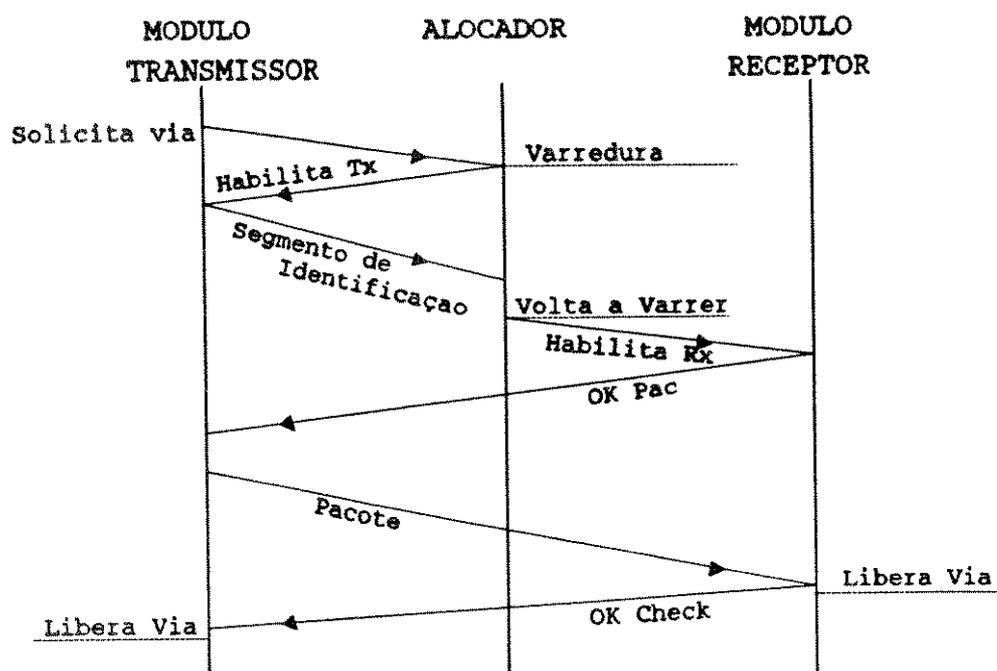


Figura 4.10: Protocolo de Ocupação de uma Via de Comunicação

4.1.3 Enlace de Sincronismo

A sincronização dos elementos que compõem a Rede é vital para que não haja perda de informação decorrente de erro de amostragem. Para isso, os diversos Módulos devem estar sincronizados entre si tanto em frequência quanto em fase. Para a adequada sincronização, além de se considerar aspectos de precisão da geração e distribuição das referências, é fundamental também a consideração de atrasos devidos aos caminhos que são percorridos pelos sinais.

Considerando que a Rede Intermodular foi especificada para cobrir uma distância com raio de cerca de 100 metros em relação aos *Módulos de Interconexão*² e que o atraso de propagação de sinais pelo par trançado é de

² Módulo de Interconexão refere-se aos Módulos que realizam as funções voltadas à interconexão de todos os Módulos do sistema, ou seja, que ocupam o nó central da topologia híbrida barramento-estrela, adotada.

aproximadamente 5 ns/m , tem que ser previstos, no tratamento dos sinais, atrasos totais da ordem de algumas centenas de nanosegundos.

Um outro parâmetro de atraso importante é produzido pelos componentes eletrônicos. Estes, além de não serem "ideais" (atraso nulo) apresentam um fator agravante devido à dispersão característica de até 50% em relação aos valores de atraso típico apresentados pelos fabricantes. Além disso, os atrasos, em geral, variam devido ao envelhecimento do componente.

A técnica de transmissão síncrona a nível de bit se caracteriza por apresentar uma base de tempo na recepção sincronizada com as unidades de informação que compõem cada sinal recebido. Na implementação da Rede Intermodular as temporizações de recepção necessárias aos Módulos são fornecidas pelo Alocador. O Alocador apresenta um relógio mestre de onde se deriva uma onda de relógio de 4,096 MHz que é enviada aos Módulos através do Enlace de Sincronismo. Esse sinal de relógio, ou Relógio de 4M, é transportado pela Via de Relógio de 4M.

O Relógio de 4M é síncrona com a amostragem que o Alocador realiza sobre as informações que têm origem ou são reamostradas internamente a ele. O sinal de relógio, ao ser enviado aos Módulos, estabelece o instante ideal (transição de subida) para que as informações recebidas pelo Barramento sejam amostradas. Esses instantes coincidem com o "centro" de cada bit que compõe a informação transmitida. Com essa estratégia permite-se, em geral, uma maior tolerância aos efeitos provocados pelo canal de transmissão, sejam eles ruído, atenuação, interferência intersimbólicas, etc. A margem de segurança que resulta é de aproximadamente meio período de relógio se não forem consideradas as diferenças de atrasos que podem existir entre os caminhos percorridos pelo relógio e os sinais a serem amostrados.

Para amenizar os efeitos provocados pelos atrasos nos cabos e componentes, uma solução natural é realizar a transmissão dos sinais de relógios por caminhos

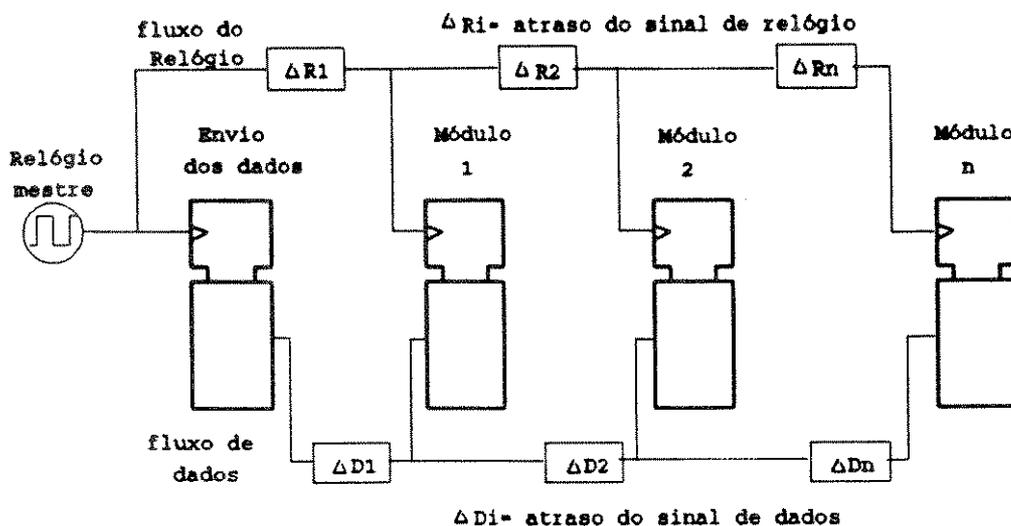


Figura 4.11: Distribuição dos Sinais de Relógio e Dados.

equivalentes aos que são percorridos pelos sinais que precisam ser amostrados. Com isso, os atrasos sofridos pelo sinal de informação e pelo próprio relógio são teoricamente os mesmos de modo a se poder desprezar a influência do comprimento do cabo (dentro dos limites estabelecidos). A Figura 4.11 ilustra a configuração tomada como base para amostragem dos sinais e distribuição do relógios. A Figura 4.12 mostra a relação entre os atrasos sofridos pelos sinais de informação e de relógio.

A garantia da amostragem correta das informações recebidas pelos Módulos, mesmo com o distanciamento variado dos Módulos em relação ao Alocador, teve a solução descrita anteriormente. Um outro problema que surge, e que também merece atenção, corresponde ao caminho inverso, ou seja, à amostragem dentro do Alocador dos sinais enviados pelos Módulos. Se todos os cabos tivessem sempre o mesmo comprimento, a solução do problema seria imediata. Bastaria fixar um único relógio para amostragem dos sinais transportados pelas Vias de Transmissão (item 4.1.1), que compensasse o atraso total no cabo. Essa solução funciona devido ao arranjo de conexão que foi adotado (veja Figura 4.6), onde

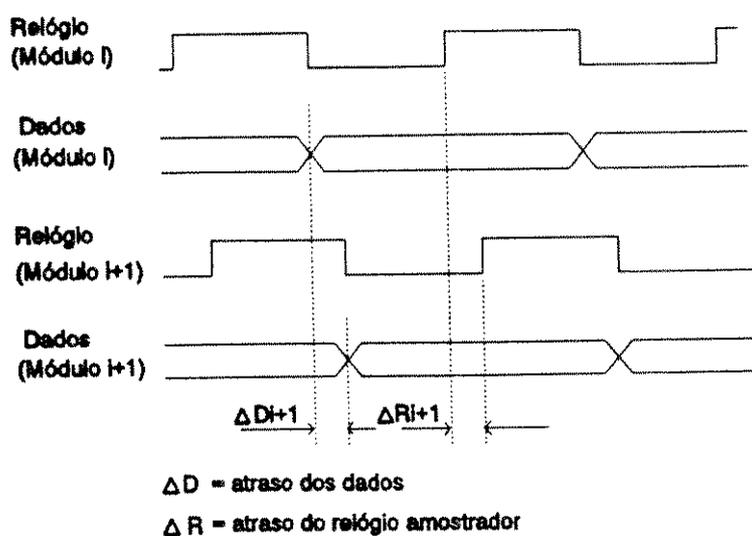


Figura 4.12: Relação entre os Sinais de Relógio e de Dados

o atraso dos sinais, tendo como referência o relógio 4M no Alocador, é sempre o mesmo independentemente da posição do Módulo.

Entretanto, ao se fixar um comprimento único aos cabos, todos os Barramentos devem ter sempre 100 metros de comprimento, o que não seria uma solução conveniente.

Para contornar este problema proveram-se o Alocador de quatro diferentes relógios de 4,096 MHz com defasagens entre si de um quarto de período. Com estes quatro relógios pode-se selecionar, de acordo com o comprimento do Barramento (cabo), a posição mais adequada para a amostragem dos sinais recebidos. A Figura 4.13 ilustra essa implementação. Para que os sinais transmitidos pelos Módulos tenham seus atrasos equalizados conforme os comprimentos dos cabos, após a primeira amostragem, internamente ao Alocador, é realizado uma compensação de modo que todos os sinais tenham um atraso equivalente ao percurso no cabo de comprimento máximo (100 m).

Durante a fase de projeto mostrou-se necessária, para facilitar a implementação do controle de acesso às Vias de Comunicação, a utilização de

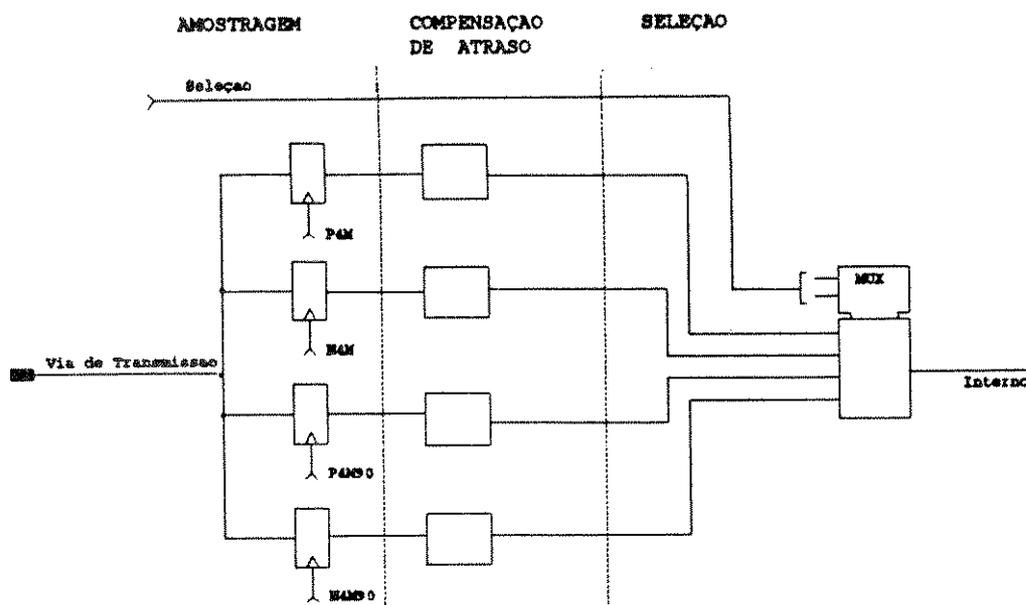


Figura 4.13: Compensação dos Atrasos de Propagação nos Barramentos

uma outra referência de sincronismo numa frequência de 8 KHz. Esse sinal, denominado de Sincronismo de Quadro (SQ), serviria para determinar o período de acesso de cada Módulo à Via de Solicitação (na janela temporal correspondente), assim como para estabelecer os canais temporais onde estariam enquadradas as palavras de habilitação dentro da Via de Habilitação.

Foram analisadas duas soluções para o envio dessa referência de sincronismo aos Módulos. Uma seria transportar essa informação em conjunto com o próprio sinal de Relógio de 4M. Para isso, a cada 512 ciclos do relógio ($125 \mu s$) se eliminaria um pulso, cuja ausência serviria como uma referência para a Rede. A segunda solução seria enviar por um caminho separado somente o Sincronismo de Quadro, que consistiria de um pulso negativo com duração de um ciclo de relógio de 4,096 MHz a cada período de $125 \mu s$ (Veja Figura 4.14). A segunda solução se mostrou mais simples de ser implementada e foi a adotada. Ela dispensaria a existência em cada Módulo de circuitos para extração da referência de sincronismo e regeneração do relógio.

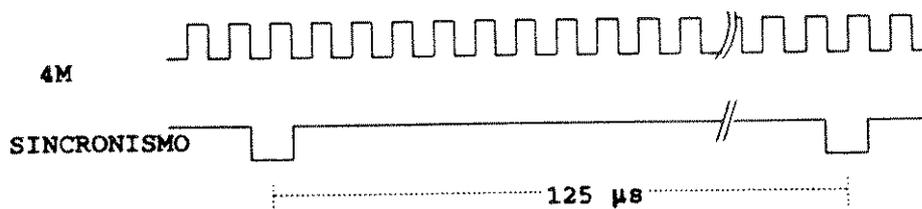


Figura 4.14: Sinais de Relógio e de Sincronismo de Quadro

4.2 Multi-Barramento

A tecnologia utilizada na implementação do Barramento permite a conexão de aproximadamente 20 Módulos. Para se atender a aplicações onde haja necessidade de um número maior de Módulos, a topologia de rede adotada possibilita a instalação de Barramentos adicionais, em quantidade adequada ao número de Módulos. Esses Barramentos são interconectados pelo nó central do arranjo (Alocador), de forma que virtualmente é como se existisse um único Barramento para cada 256 Módulos (uma Página). Em cada Página podem ser configurados até 16 Barramentos onde os Módulos podem ser distribuídos indistintamente tendo como única restrição o número máximo permitido.

Quando uma única Página não é suficiente para interconectar o total de Módulos, podem ser adicionadas outras Páginas. A concepção do projeto, em teoria, não restringe o número total de Páginas, em consequência nem o número de Módulos. A Figura 4.15 [1] apresenta a distribuição dos Barramentos e das Páginas dentro da Rede.

4.3 Alocador

A Figura 4.16 apresenta um diagrama em blocos, simplificado, do Alocador. As funções do Alocador, basicamente, podem ser definidas pelos

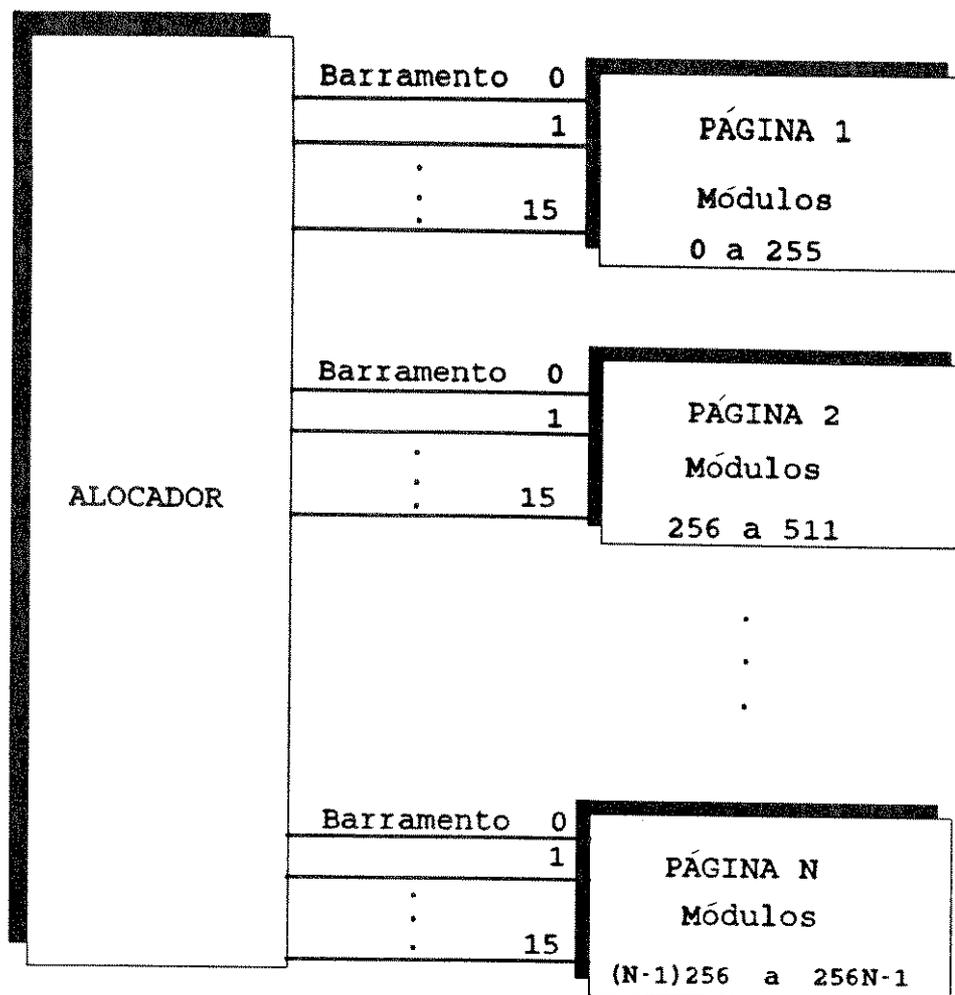


Figura 4.15: Esquema de Paginação

blocos:

- Controlador
- Concentrador de Controle
- Concentrador de Vias
- Distribuição de Sincronismo

No bloco Controlador estão implementadas as funções de controle e processamento referentes ao processo de alocação das Vias de Comunicação do Plano de Sinalização associado. O Controlador também provê os sinais de referência de sincronismo que são transportados pelos Barramentos aos Módulos.

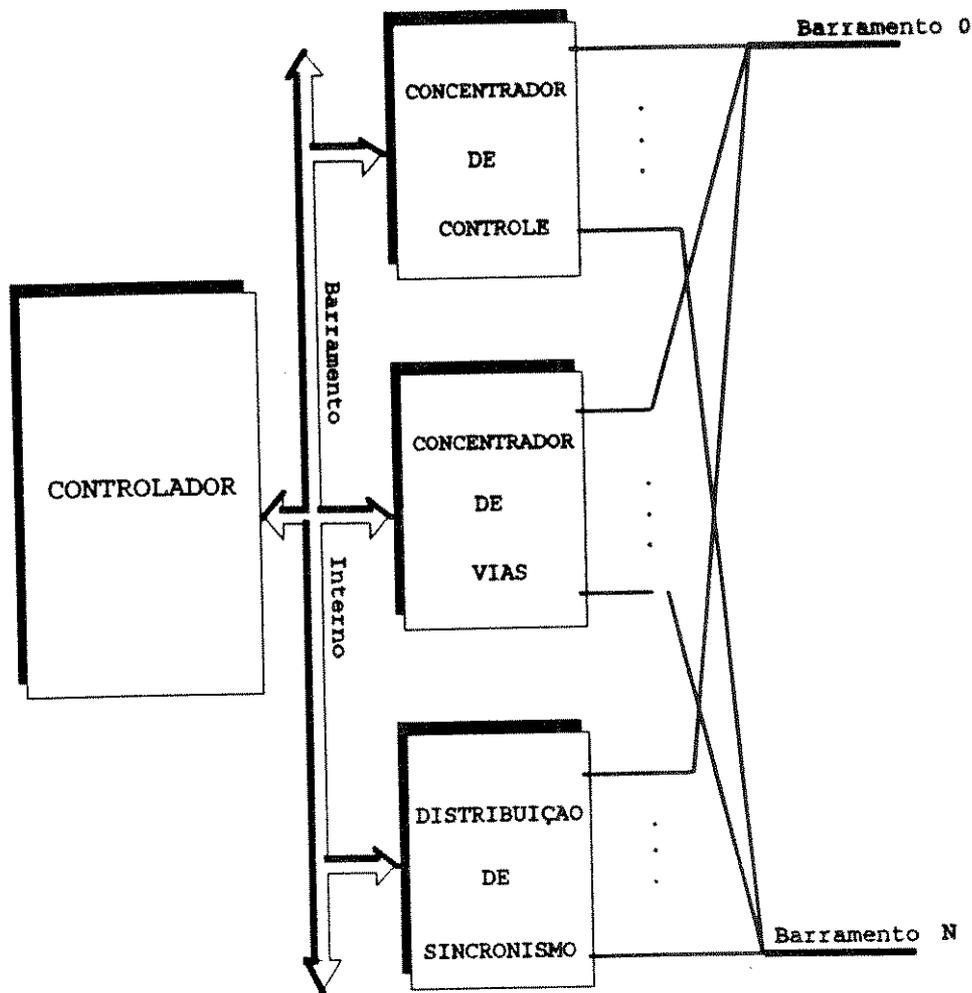


Figura 4.16: Esboço da Estrutura Interna do Alocador

O conjunto de linhas que se derivam na composição dos Barramentos Sinalização, internamente ao Alocador, constituem o *Barramento Interno*. O Barramento Interno interconecta todas as Páginas entre si e ao Controlador.

Dentro do *bloco Concentrador de Controle*, todas as (até 16) Vias de Solicitação, que compõe cada um dos Barramentos de uma Página, são somadas logicamente. O sinal resultante desta operação é transportado pela *Linha de Solicitação*, uma exclusiva para cada Página, até o Controlador, a partir do que o Controlador recebe os pedidos de Via de Comunicação dos até 256 Módulos que ocupam cada uma das Páginas. Dessa maneira, o Controlador recebe a partir

do bloco Concentrador de Controle uma Linha de Solicitação correspondente a cada uma das Páginas instaladas.

Cada uma das Vias de Solicitação provenientes de cada um dos Barramentos, dentro do bloco Concentrador de Controle, passa por "receivers" de linha onde são convertidas de sinal diferencial para lógica TTL. Depois dessa conversão, cada Via de Solicitação sofre ainda uma compensação (conforme descrito no item 4.1.3 e ilustrado na Figura 4.13) para equalizar os atrasos devidos às diferenças de comprimento, que possa existir, entre os Barramentos. Finalmente, as Vias de Solicitação são somadas logicamente ("AND" lógico) de modo a constituir a Linha de Solicitação de cada Página.

Em relação às Vias de Habilitação, o Controlador envia ao bloco Concentrador de Controle, uma *Linha de Habilitação*, destinada a cada Página, que é desdobrada em cada uma das Vias de Habilitação que compõem os correspondentes Barramentos. A Linha de Habilitação para cada Página é derivada em até 16 Vias de Habilitação para compor os até 16 Barramentos de Sinalização.

Dentro do bloco Concentrador de Controle, as Vias de Habilitação são transformadas em sinais diferenciais, por "drivers" de linha, antes de integrar cada Barramento.

A Figura 4.17 mostra, de maneira simplificada, o tratamento que é dado internamente ao bloco Concentrador de Vias a uma Via de Comunicação. Cada Via de Comunicação, devido à implementação em uma estrutura multi-barramento, se deriva dentro do conjunto de Barramentos que configura o equipamento. Entretanto, logicamente a Via de Comunicação se comporta como se integrasse um barramento único, como um único meio físico.

O bloco *Concentrador de Vias* realiza um tratamento similar ao aplicado às Vias de Solicitação, mas, para as Vias de Transmissão (de maneira independente

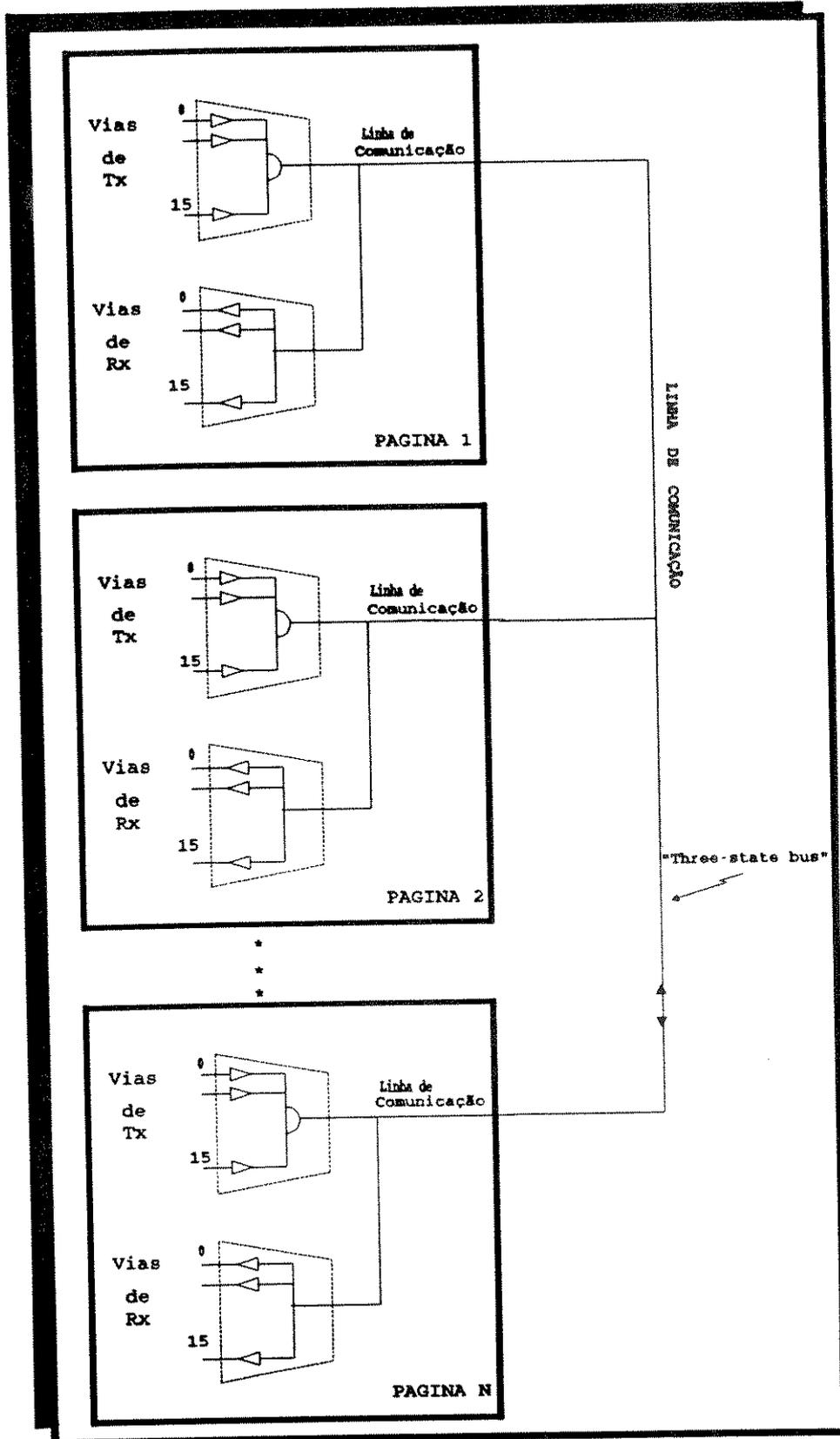


Figura 4.17: Conexão de uma Via de Comunicação entre os Barramentos e o Alocador

para cada Via de Comunicação). Em primeiro lugar, cada uma das Vias de Transmissão, provenientes de cada um dos Barramentos, passam por "receivers" de linha para serem convertidas de sinal diferencial para lógica TTL. Depois dessa conversão, cada Via de Transmissão também sofre uma compensação (conforme descrito no item 4.1.3 e ilustrado na Figura 4.13) para equalizar os atrasos devidos às diferenças de comprimento, que possa existir, entre todos os Barramentos. Finalmente, as Vias de Transmissão (correspondentes a uma mesma Via de Comunicação) são somadas logicamente ("AND" lógico) de modo a constituir uma Linha de Comunicação. Cada Via de Comunicação existente, tem em correspondência uma *Linha de Comunicação* internamente ao Alocador.

Note que cada Linha de Transmissão transporta internamente ao Alocador os sinais provenientes de qualquer Via de Transmissão correspondente, de qualquer dos Barramentos. As informações transportadas por essas Linhas de Comunicação podem ser acessadas pelo Controlador, ao mesmo tempo que são repassadas às respectivas Vias de Recepção de todos os Barramentos.

Dentro de uma Página todas as 16 Vias de Transmissão provenientes de cada um dos 16 Barramentos são somadas logicamente ("AND" lógico) de maneira independente, e depois somadas com as das demais Páginas através da Linha de Comunicação (veja Figura 4.17).

A Linha de Comunicação utiliza a lógica de terceiro estado ("three-state"). A sua conexão é tal que os sinais que por ela transitam, além de unir todas as Páginas, são repassados a todas as Vias de Recepção da Via de Comunicação correspondente. Assim, os sinais provenientes por qualquer Via de Transmissão são emitidos para todas as Vias de Recepção de todos os Barramentos, independentemente de qual Página esteja, sempre que corresponder a mesma Via de Comunicação (Veja Figura 4.17). Note que em cada intervalo de tempo existe somente um emissor ativo na Linha de Comunicação. Para as demais Vias de Comunicação configuradas, o que se tem é a repetição em paralelo da estrutura anteriormente descrita.

O Controlador, como fornecedor dos sinais de referência de sincronismo, funciona como "relógio mestre" para todos os elementos que acessam o Plano de Sinalização correspondente. O *bloco Distribuição de Sincronismo* recebe a partir do Controlador a *Linha de Relógio* e a *Linha de Sincronismo*. Essas linhas transportam, respectivamente, os sinais de referência de relógio 4 MHz e de sincronismo de quadro que são distribuídos a cada um dos Barramentos dentro do Enlace de Sincronismo (Via de Relógio e Via de Sincronismo).

A função do bloco Distribuição de Sincronismo é derivar tanto a Linha de Relógio como a Linha de Sincronismo para todos os Barramentos. Os sinais resultantes, antes de serem enviados, são convertidos de TTL para diferencial, através de "drivers" de linha, onde recebem a potência necessária para compor cada um dos Barramentos, nas correspondentes Vias de Relógio e Vias de Sincronismo, respectivamente.

A distribuição dos sinais do Enlace de Controle (Via de Solicitação e Via de Habilitação) e do Enlace de Sincronismo (Via de Relógio e Via de Sincronismo) está representada, considerando-se uma configuração com uma Página e uma Via de Comunicação, na Figura 4.18.

4.4 Controlador

Essencialmente, a função do Controlador é permitir o compartilhamento, entre todos os Módulos, do conjunto de Vias de Comunicação que o Plano tem disponível. A Figura 4.19 apresenta um diagrama em blocos simplificado do Controlador.

Externamente, o Controlador tem interface com as Linhas de Solicitação, Linhas de Habilitação e Linhas de Comunicação. Cada par formado por uma Linha de Solicitação e uma Linha de Habilitação corresponde a uma Página, enquanto cada Linha de Comunicação está associada a uma Via de Comunicação

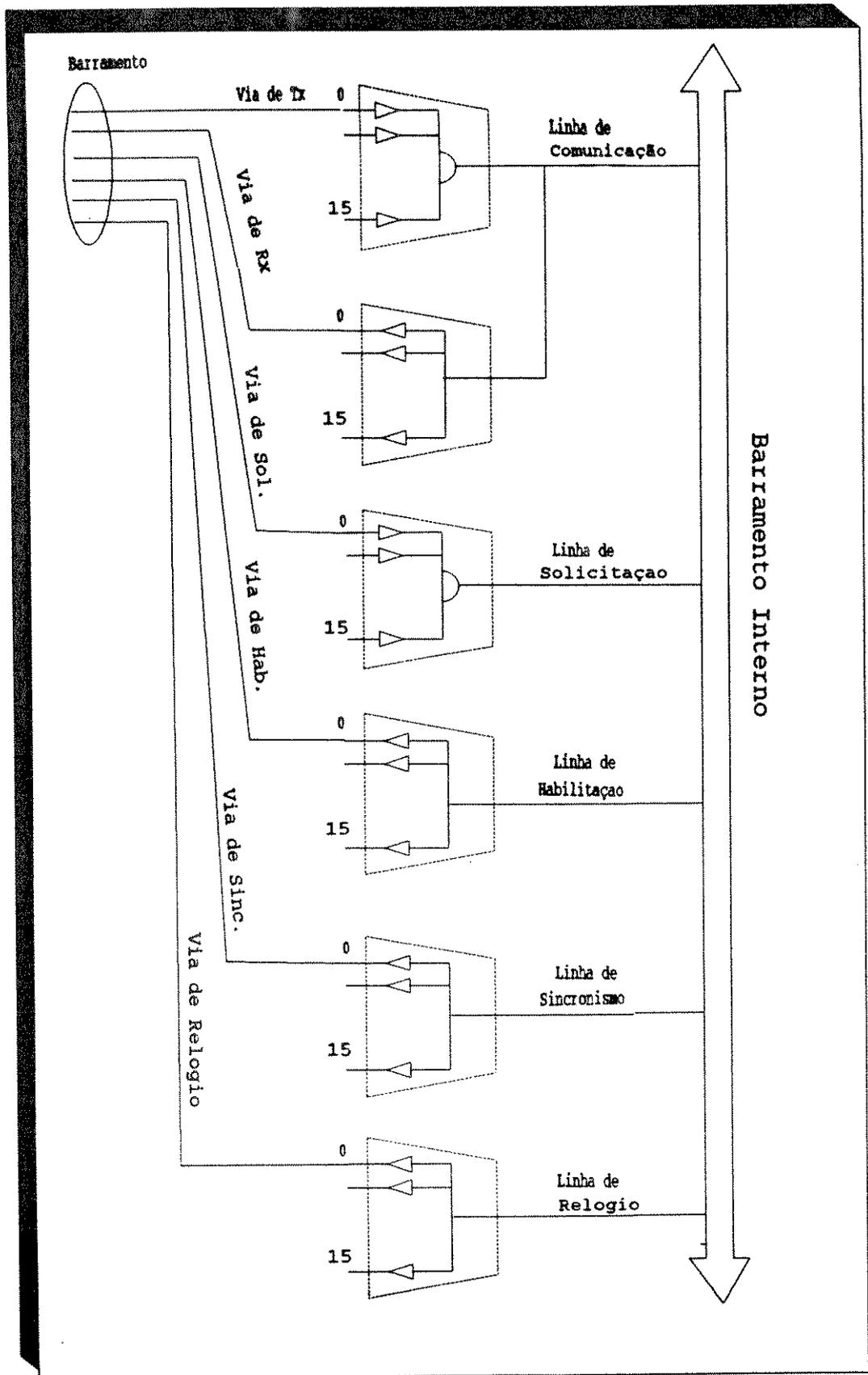


Figura 4.18: Conexão de uma Página ao Alocador

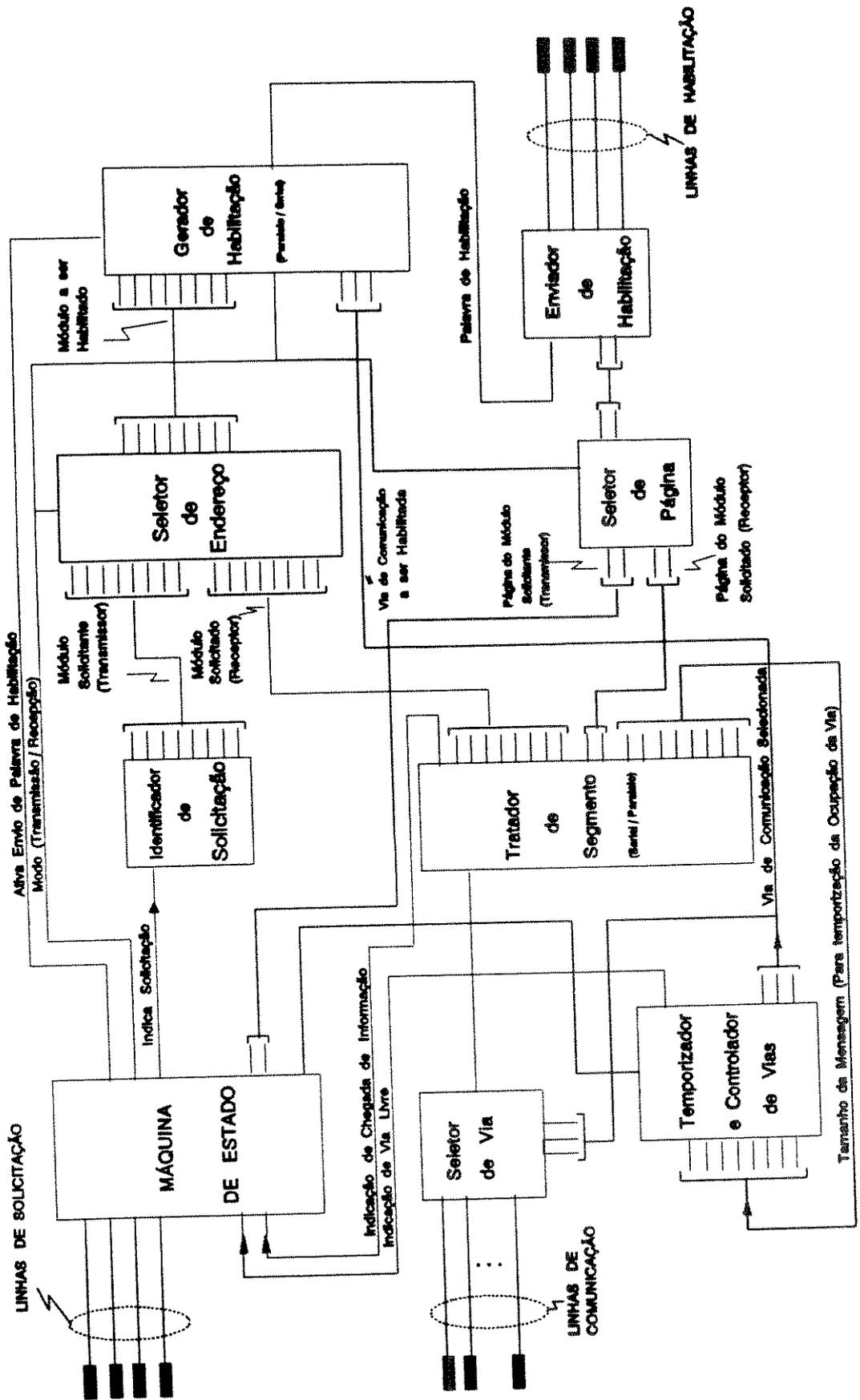


Figura 4.19: Diagrama em Blocos do Controlador

do Barramento de Sinalização. Basicamente, o Controlador exerce as seguintes atividades, dentro das fases de Varredura e Alocação:

a) Varredura:

- Analisa as Linhas de Solicitação para identificar Solicitação de Via. As Linhas de Solicitação são analisadas simultaneamente, com uma janela temporal (janela de solicitação), de cada Página, em paralelo (veja Figura 4.8);

b) Alocação:

- Na ocorrência de Solicitação de Via, identifica a Página e o correspondente Módulo Solicitante;
- Envia uma Palavra de Habilitação de Transmissão para o Módulo Solicitante (Transmissor), alocando uma Via de Comunicação;
- Temporiza a chegada do Segmento de Identificação, proveniente do Módulo Solicitante, que informa o endereço do Módulo Solicitado (Receptor) e o tamanho da mensagem a ser enviada;
- Se esgotar o tempo fixado para a chegada do Segmento de Identificação, o Controlador retorna à Varredura;
- Com a chegada do Segmento de Identificação, pela Linha de Comunicação correspondente à Via de Comunicação Alocada, o Controlador envia uma Palavra de Habilitação de Recepção, com o endereço do Módulo Solicitado, para a Página correspondente. Essa habilitação aloca a mesma Via de Comunicação utilizada, ao Receptor;

- Com a informação do tamanho da mensagem obtida do Segmento de Identificação, o Controlador ativa uma temporização, equivalente ao tempo de transmissão da mensagem, para a retomada da Via de Comunicação Alocada;
- Se houver Via de Comunicação livre, o Controlador entra novamente à condição de Varredura. Caso contrário, o Controlador aguarda a primeira desocupação.

4.4.1 Máquina de Estados

A Máquina de Estados, determina o controle e a sequência de todas as atividades que são realizadas internamente ao Controlador. Toda a dinâmica interna se desencadeia, a partir do estado de Varredura, com a chegada de uma Solicitação de Via. Uma Solicitação de Via determina a seguinte sequência de ações, realizadas pela Máquina de Estados :

- Determinação da Página em que está o Módulo Solicitante (identificação da Linha de Solicitação tratada). Essa informação é passada para o bloco Seletor de Página;
- Ativa o bloco Identificador de Solicitação para passar o endereço do Módulo Solicitante ao bloco Seletor de Endereço;
- Estabelece aos blocos Seletor de Endereço, Seletor de Página e Gerador de Habilitação o Modo (Transmissão) para envio da Palavra de Habilitação. A partir do Modo, os seletores determinam qual das suas entradas será liberada. Para o bloco Gerador de Habilitação o Modo determina qual o tipo de habilitação será gerada;

- Estabelece ao bloco Gerador de Habilitação o instante de envio da Palavra de Habilitação de Transmissão;
- Depois do envio da Palavra de Habilitação de Transmissão, temporiza a chegada do Segmento de Identificação, a ser recebido pelo Tratador de Segmento. Caso esgote a temporização, a Máquina de Estados determina o retorno à Varredura;
- Com a indicação da chegada do Segmento de Identificação pelo bloco Tratador de Segmento, a Máquina de Estados envia Modo recepção aos blocos seletores e ao Gerador de Habilitação;
- Ativa o bloco Gerador de Habilitação para enviar a Palavra de Habilitação de Recepção;
- Verifica se o bloco Temporizador e Controlador de Vias tem Via de Comunicação livre. Se houver, determina o retorno à Varredura. Caso contrário, aguarda a liberação de uma Via de Comunicação, e então retorna à Varredura.

4.4.2 Tratador de Solicitação

O bloco Tratador de Solicitação está formado, essencialmente por um contador cíclico, de 0 a 255, e um registro de 8 posições. O contador é incrementado com um relógio de 2,048 MHz, síncrono com todos os Módulos, de forma que nas Linhas de Solicitação, na entrada da Máquina de Estados, as janelas temporais transportam exatamente a informação de solicitação dos Módulos cujo endereço coincide com o valor presente no contador.

O contador conta continuamente, independente do estado do Controlador (Varredura, Alocação ou bloqueado).

O bloco Tratador de Solicitação, ao receber da Máquina de Estado uma indicação que houve Solicitação de Via, passa, no exato momento, o valor do contador para o seu registro interno. Essa informação armazenada no registro corresponde ao endereço do Módulo Solicitante e é repassada para a entrada do bloco Seletor de Endereço. A informação deste registro é perdida quando se retorna à Varredura.

4.4.3 Seletor de Endereço

O bloco Seletor de Endereço trabalha sob controle da Máquina de Estados através do sinal de Modo. Quando o sinal de Modo indica controle de transmissão, o bloco Seletor de Endereço envia para o bloco Gerador de Habilitação o endereço do Módulo Solicitante, recebido do bloco Tratador de Solicitação. Quando o sinal de Modo indica Recepção, se envia para o bloco Gerador de Habilitação o endereço do Módulo Solicitado, fornecido pelo bloco Tratador de Segmento.

4.4.4 Gerador de Habilitação

O bloco Gerador de Habilitação é responsável por gerar as Palavras de Habilitação a serem enviadas pelo Controlador. Para isso, os demais blocos fornecem o endereço do Módulo a ser habilitado, o modo (transmissão ou recepção) e a identificação da Via de Comunicação correspondente.

Para as Palavras de Habilitação de Transmissão, o endereço do Módulo Solicitante (originado no bloco Tratador de Solicitação) é provido pelo bloco Tratador de Solicitação, por intermédio do bloco Seletor de Endereço. Quando a Palavra de Habilitação é de recepção, o endereço do Módulo Solicitado é fornecido pelo Tratador de Segmento, também através do bloco Seletor de Endereço.

A informação de Modo (transmissão ou recepção) é recebida a partir da Máquina de Estados, enquanto a especificação de qual Via de Comunicação a ser alocada, é obtida a partir do bloco Temporizador e Controlador de Vias.

O bloco Gerador de Habilitação, nada mais é do que um registrador de deslocamento ("shift register") que toma as informações de suas entradas, em paralelo, e as enviam na forma serial. O instante em que a Palavra de Habilitação deve ser enviada é determinado pela Máquina de Estados. O formato da Palavra de Habilitação, com os campos de endereço, modo e via, está apresentado na Figura 4.9.

4.4.5 Seletor de Página

O bloco Seletor de Página, é encarregado de determinar ao bloco Enviador de Habilitação a Página para onde deve ser enviada cada Palavra de Habilitação.

Na entrada do bloco Seletor de Página consta o endereço de Página fornecido por dois blocos distintos. No caso da informação de Modo provida pela Máquina de Estados indicar "transmissão", o bloco Seletor de Página seleciona o endereço de Página proveniente da Máquina de Estados. Se a informação de Modo for "recepção", o endereço de Página selecionado é o recebido do bloco Tratador de Segmento.

4.4.6 Enviador de Habilitação

O bloco Enviador de Habilitação é responsável por enviar as Palavras de Habilitação, fornecidas pelo bloco Gerador de Habilitação, para uma das Páginas que compõem o Plano, segundo o endereço fornecido pelo bloco Seletor de Página.

4.4.7 Seletor de Via

O bloco Seletor de Via tem em suas entradas, todas as Linhas de Comunicação que correspondem a cada uma das Vias de Comunicação que constituem os Barramentos de Sinalização do Plano. A partir da informação recebida do bloco Temporizador e Controlador de Vias, somente uma Linha de Comunicação é selecionada. Essa Linha de Comunicação é conectada à entrada do bloco Tratador de Segmento.

4.4.8 Tratador de Segmento

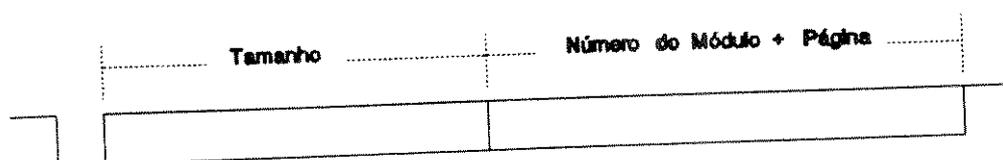


Figura 4.20: Formato do Segmento de Identificação

Ao ser enviada uma Palavra de Habilitação de Transmissão a um Módulo Solicitante, o mesmo, em consequência, envia ao Controlador um conjunto de informações denominado *Segmento de Identificação*. O Segmento de Identificação é composto pela informação do tamanho da mensagem (8 bits) e o endereço do Módulo Solicitado, a quem se destina a mensagem (8 bits do endereço interno à Página e 2 bits indicando a Página). O Segmento de Identificação é precedido por um "start bit" e é formatado conforme está representado na Figura 4.20.

O bloco Tratador de Segmento é constituído, essencialmente, por um registrador de deslocamento ("shift register") que transforma as informações recebidas serialmente, para paralelo. No instante em que todos os bits do Segmento de Identificação foram recebidos e estão na forma paralela, o bloco Tratador de Segmento sinaliza à Máquina de Estados. A Máquina de Estados ao

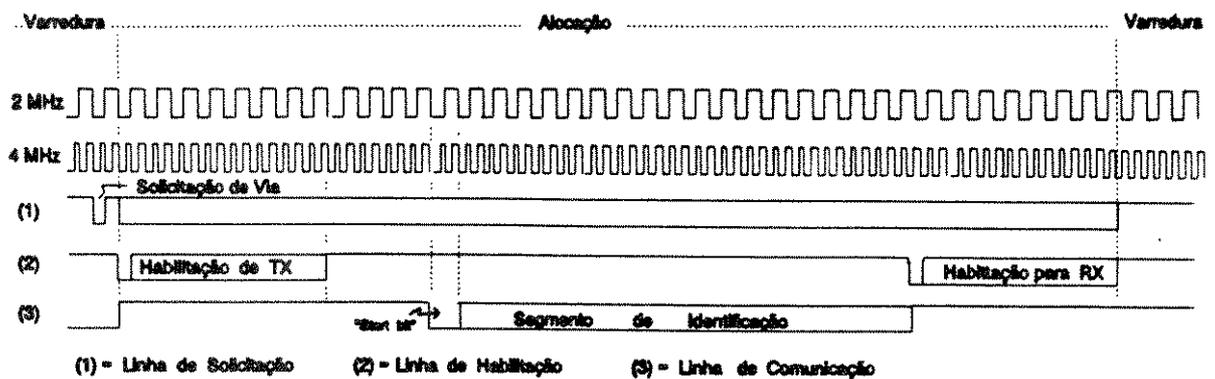


Figura 4.21: Relação Temporal dos Sinais Trocados com o Alocador

receber esta indicação, ativa o bloco Gerador de Habilitação a enviar a Palavra de Habitação ao Módulo Solicitado, ao mesmo tempo que determina ao bloco Temporizador e Controlador de Vias que comece a temporizar a ocupação da Via de Comunicação alocada, e também, que indique se há outra Via de Comunicação livre, para se poder entrar novamente em Varredura.

A Figura 4.21 ilustra o comportamento dos sinais trocados entre o Controlador e a Rede (numa base de tempo real) durante o tratamento de uma Solicitação de Via. Pode ser verificado que uma Solicitação de Via desencadeia o envio da Palavra de Habilitação de Transmissão. Em consequência da chegada do Segmento de Identificação, correspondente, ocorre o envio da Palavra de Habilitação de Recepção ao Módulo destino.

4.4.9 Temporizador e Controlador de Vias

O bloco Temporizador e Controlador de Vias é encarregado de controlar e temporizar a ocupação das Vias de Comunicação.

Para que o Controlador possa sair em Varredura é necessário que haja uma Via de Comunicação livre. Quando há Via livre, essa informação é passada à Máquina de Estados. Nesse caso, o bloco Temporizador e Controlador de Vias coloca em sua saída o número da Via de Comunicação a ser, na próxima Solicitação de Via, habilitada.

4.5 Unidade de Controle Alocador (UCA)

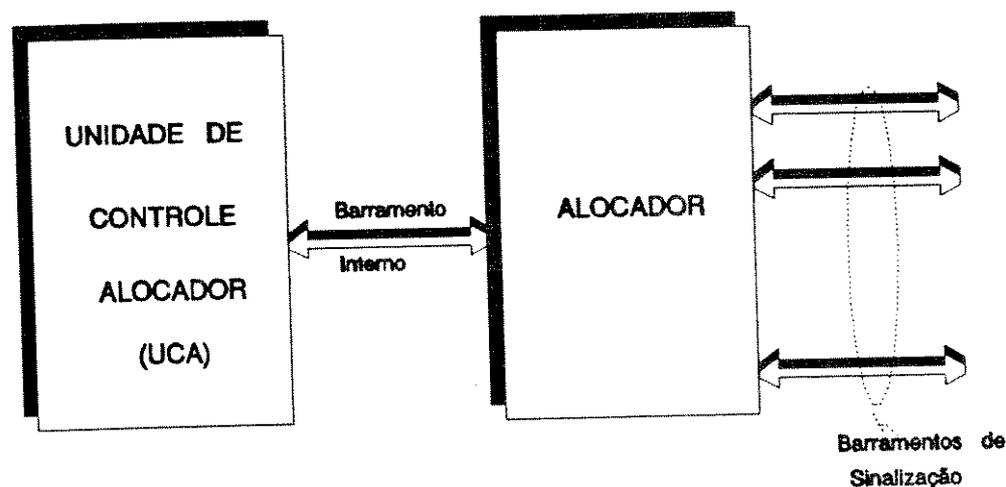


Figura 4.22: Relação entre o Alocador e sua Unidade de Controle (UCA)

A Unidade de Controle Alocador (UCA) é encarregada de exercer a configuração e a supervisão dos recursos associados ao Alocador. A UCA interage com o Alocador através de um barramento paralelo (veja Figura 4.22), que integra o Barramento Interno. A UCA está integrada à Rede unicamente pelo Plano de Sinalização do correspondente Alocador, por onde efetiva a comunicação com o restante do sistema, para receber dados de configuração, comandos de operação, transmitir dados de supervisão e de alarmes, etc.

A UCA é constituída, essencialmente, por um microprocessador, memória e os circuitos que possibilitam a comunicação externa através da Rede Intermodular.

REFERÊNCIAS

- [1] DIAZ, V.A.V., *"Expansão do TRÓPICO RA"*. Sistema TRÓPICO RA - Livro Azul, Apêndice 3. CPqD-TELEBRÁS, Agosto de 1988.
- [2] HAMMOND, J.L.H., O'REILLY, P.J.P. *"Performance Analysis of Local Computer Network"*. Addison-Wesley Publishing Company, USA, 1986.

Capítulo 5

Módulo

CAPÍTULO 5

5 MÓDULO

5.1 Introdução

O Sistema TRÓPICO RA tem sua arquitetura constituída por um conjunto de Módulos construtivos funcionalmente unidos entre si por uma estrutura de interconexão. Cada Módulo tem sua estrutura formada por entidades hardware e software básicas, que servem de infra-estrutura para a execução de funções de aplicação, implementadas dentro do software aplicativo, associadas ou não, a hardware aplicativo.

Todos os Módulos do sistema apresentam uma estrutura interna similar formada por uma *Unidade de Controle (UC)* e pelos *Circuitos de Aplicação*

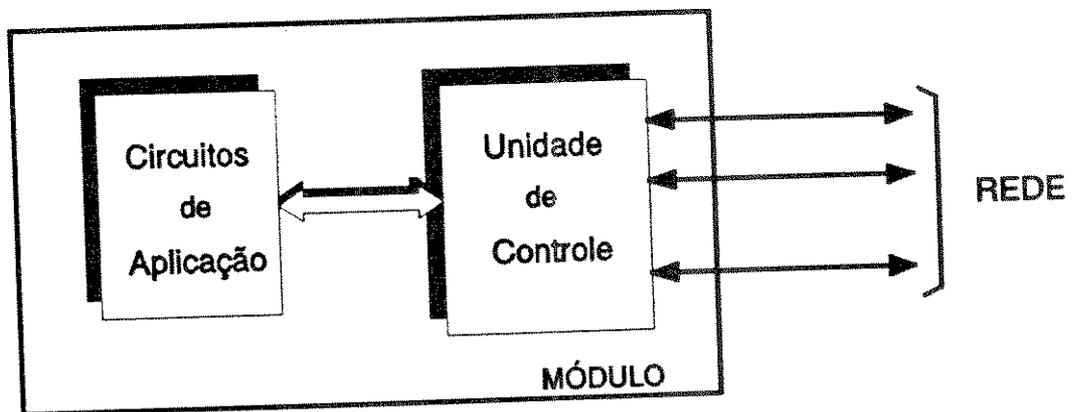


Figura 5.1: Esboço da Estrutura Interna do Módulo

(CA), conforme representado na Figura 5.1.

A Unidade de Controle compreende toda a parte hardware de controle de processamento das funções alocadas internamente ao Módulo. Todas as Unidades de Controle do sistema estão integradas entre si através da Rede Intermodular. Nos Circuitos de Aplicação estão implementadas as funções hardware voltadas à aplicação específica do Módulo.

A filosofia de projeto adotada impõe que as funções exclusivas de cada aplicação sejam implementadas dentro dos Circuitos de Aplicação. Os Circuitos de Aplicação estão associadas à Unidade de Controle através de uma interface hardware padronizada. Este critério provê o projeto da Unidade de Controle com flexibilidade de poder ser utilizado em qualquer Módulo, mesmo com diferentes aplicações.

Existem aplicações em que o Módulo só exerce funções de processamento e armazenamento de informação, sendo por isso configurado somente pela Unidade de Controle. Nessas aplicações existe a possibilidade de se prover expansão de memória à Unidade de Controle dentro dos Circuitos de Aplicação. As funções de aplicação, nesses casos, são de armazenamento e/ou processamento de informação.

Os circuitos que constituem cada Módulo são implementados e empacotados dentro de um conjunto de placas. Essas placas são integradas entre si por interfaces padronizadas e instaladas dentro de um ou mais sub-bastidores.

Nas aplicações onde o número de placas do Módulo é pequeno, por exemplo, quando não existem Circuitos de Aplicação, tem-se a possibilidade de se compartilhar uma mesma gaveta (sub-bastidor) por mais de um Módulo.

5.2 Unidade de Controle

Denomina-se Unidade de Controle (UC) ao conjunto formado pelo *Processador*, *Memória local* e o *Circuito Dedicado de Sinalização (CIDS)*,

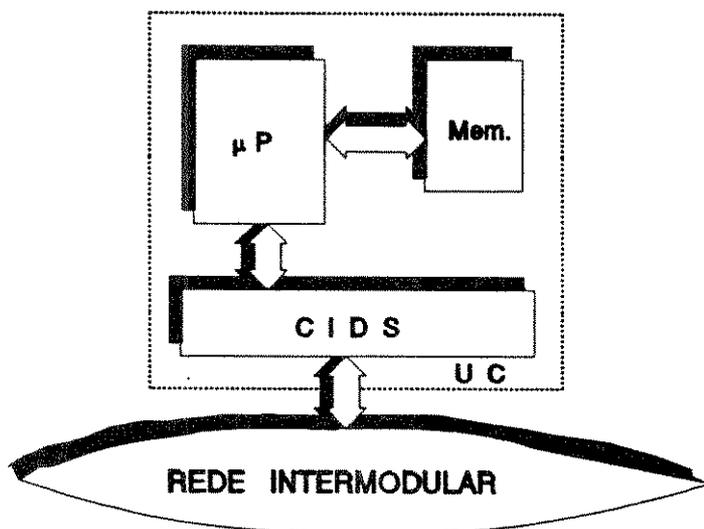


Figura 5.2: Esboço da Estrutura Interna da Unidade de Controle Conectada à Rede Intermodular

conforme representado na Figura 5.2.

No Processador estão implementadas as funções hardware que possibilitam o controle e a execução das tarefas relativas ao Módulo. Na Memória ficam armazenados os programas, dados e um sistema operacional encarregado de gerenciar e prover o compartilhamento dos recursos de processamento. O Circuito Dedicado de Sinalização (CIDS) provê o meio de acesso para comunicação do Módulo com o restante do sistema através da Rede Intermodular.

5.2.1 Processador

O bloco Processador compreende os seguintes blocos funcionais (veja Figura

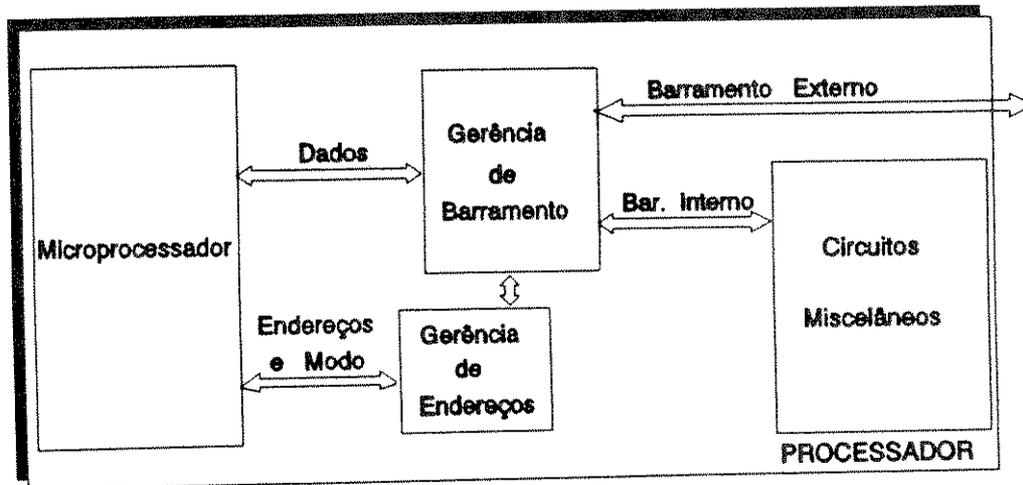


Figura 5.3: Diagramas em Blocos do Processador

5.3):

- Microprocessador
- Circuito de Gerência de Barramento
- Circuito de Gerência de Endereçamento
- Circuitos Miscelâneos

5.2.1.1 Microprocessador

O microprocessador controla as operações associadas à Memória local e também os Circuitos de Aplicação correspondentes. O microprocessador comunica-se com os demais circuitos através de barramento de dados, barramento de endereço, sinais de controle, sinais de validação, sinais de desativação, sinais de ativação e de reconhecimento de pedido de interrupções, etc. Os sinais de pedido de interrupções podem ser mascaráveis e não mascaráveis.

Entre os circuitos do microprocessador encontram-se:

- Um elemento microprocessador, que controla o funcionamento dos recursos associados ao Módulo;
- Um circuito gerador de sinal de relógio, que produz um sinal de relógio para o microprocessador;
- Um detector de conexão e desconexão de alimentação, que gera um degrau de tensão instantâneo ("power-on reset") quando se conecta a alimentação. Este degrau é utilizado para sincronizar a inicialização de todos os circuitos associados.

5.2.1.2 Circuito de Gerência de Barramentos

Este circuito proporciona a interface do microprocessador com os barramentos interno e externo. As informações de dados e endereços transferidas entre o microprocessador e os demais circuitos, são enviados e recebidos através do Circuito de Gerência de Barramentos que provê o controle de multiplexação e a demultiplexação dos barramentos.

5.2.1.3 Circuito de Gerência de Endereçamento

Este circuito controla o mapa de endereçamento coberto pelo Processador. Nas funções desenvolvidas incluem-se todo o endereçamento da faixa de memória do Processador, verificação da validade das ações e a geração dos sinais de seleção de memória.

5.2.1.4 Circuitos Miscelâneos

Os circuitos miscelâneos compreendem:

- Registros de Estado
- Temporizador Programável de Intervalos (PIT)
- Controlador de Interrupções

Os Registros de Estados são utilizados como:

- Registro de controle do Processador
- Registro de interrupções mascaráveis e não mascaráveis
- Registros de leitura de estado
- Registros de alarmes

O Temporizador Programável de Intervalos (PIT) consiste de contadores, que exercem, basicamente, a função de geração da base de tempo real (relógios de tempo real) e a função de temporizador de vigilância ("watch-dog timer"). A função de relógio de tempo real serve para determinar a referência temporal necessária para execução de tarefas software. Esses contadores podem ser programados para gerar interrupções periódicas em intervalos previamente estabelecidos. Estas interrupções são mascaráveis por programa.

A temporização de vigilância é utilizada para a detecção de falhas em que rotinas software superam um tempo máximo estipulado para a sua execução. De tempos em tempos estes contadores devem ser reprogramados antes que seja alcançado o seu limite. Um estouro de temporização ocasiona a geração de uma interrupção não mascarável.

O Controlador de Interrupção é um dispositivo utilizado para identificar e armazenar as interrupções geradas internamente à Unidade de Controle.

5.2.2 Memória

A memória principal compreende:

- Região de memória só de leitura (ROM) que contém programas não modificáveis ("firmware") para "re-start" e rotinas de carga;
- Memórias RAM;
- Dispositivos de suporte e controle de memória.

5.2.3 Circuito Dedicado de Sinalização (CIDS)

O Circuito Dedicado de Sinalização (CIDS) é o recurso hardware e firmware interno ao Módulo que viabiliza o intercâmbio de informações, tipo mensagens de dados (pacotes), com o restante do sistema. Basicamente, o CIDS realiza a integração entre o Processador e a Rede Intermodular no que se refere ao aspecto hardware (físico) e ao protocolo de comunicação (lógico).

O CIDS foi desenvolvido para desempenhar a grande parte das funções voltadas a comunicação externa, tendo em vista liberar ao máximo o Processador de tais atividades. O objetivo foi ganhar tempo de processamento e ao mesmo tempo possibilitar uma maior velocidade de execução dos procedimentos de comunicação, ao se dispor de um circuito concebido e otimizado, especificamente, para tal função.

Com o CIDS a atividade do Processador na transmissão externa consiste, essencialmente, em copiar a mensagem a ser transmitida para uma faixa de endereços definida (*Buffer de transmissão*). A tarefa de recepção, em

contrapartida, utiliza o Processador somente para ler a mensagem recebida em uma região de endereços (*Buffer de recepção*), depois de uma indicação do próprio CIDS. O Processador, portanto, fica totalmente liberado do processo de interação do CIDS com a Rede Intermodular durante o intercâmbio de mensagens.

Com relação ao CIDS, o Processador fica encarregado ainda da execução de rotinas de supervisão periódica com intuito de detectar e tratar alguns estados particulares. Esses estados são, em geral, condições em que uma mensagem não é transmitida ou recebida (circuito fica preso em recepção) durante um período estabelecido de tempo.

Cada Módulo possui Planos de Sinalização alternativos para a comunicação, sendo que cada Plano apresenta um conjunto de Vias de Comunicação. O CIDS pode ser implementado para aproveitar, de diversas maneiras, o potencial dos recursos de comunicação oferecido pela Rede Intermodular, dependendo do tráfego de mensagem que deve ser cursado. O CIDS pode prover uma única comunicação por vez (por um dos Planos), uma comunicação por cada um dos Planos instalados, simultaneamente, ou até mesmo tantas comunicações simultâneas quanto seja o número de Vias de Comunicações existentes, considerando-se todos os Planos.

A Figura 5.4 mostra a representação da estrutura interna do CIDS em dois blocos: *Controle de Comunicação e Interface aos Planos*. O circuito de Controle de Comunicação tem suas funções voltadas ao controle da dinâmica interna do CIDS (controle de estados) e de interação com o Processador. O circuito de Interface aos Planos, por outro lado, realiza a interface entre o bloco Controle de Comunicação e a Rede Intermodular, permitindo o acesso a cada um dos Planos de Sinalização.

O bloco Interface aos Planos é controlado pelo bloco Controle de Comunicação e também pelos controladores da Rede, evidentemente, em aspectos

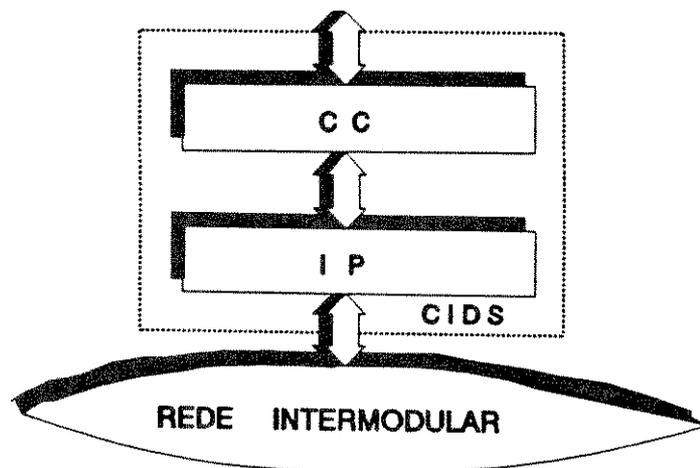


Figura 5.4: Esboço do CIDS Conectado à Rede Intermodular

e situações distintos. De maneira geral, na fase de alocação de uma Via de Comunicação o bloco Interface aos Planos fica sob o controle da Rede, enquanto que durante a fase de transmissão da mensagem fica subordinado ao bloco Controle de Comunicação.

5.2.3.1 Interface aos Planos

O bloco Interface aos Planos teve sua implementação realizada de forma que a interface com cada um dos Planos de Sinalização fosse independente. O principal objetivo foi garantir que na eventual falha de uma interface de acesso, seja afetada somente a conexão ao Plano correspondente, não causando qualquer influência sobre os demais.

Conforme está representado na Figura 5.5, cada uma das interfaces específicas ao acesso de cada Plano recebe o nome de *Unidade de Interface a Plano (UIP)*.

O fato dos circuitos associados a cada Unidade de Interface a Plano (UIP) serem independentes possibilita também que a sua instalação seja efetuada somente quando o Plano correspondente estiver configurado. Com isso, consegue-

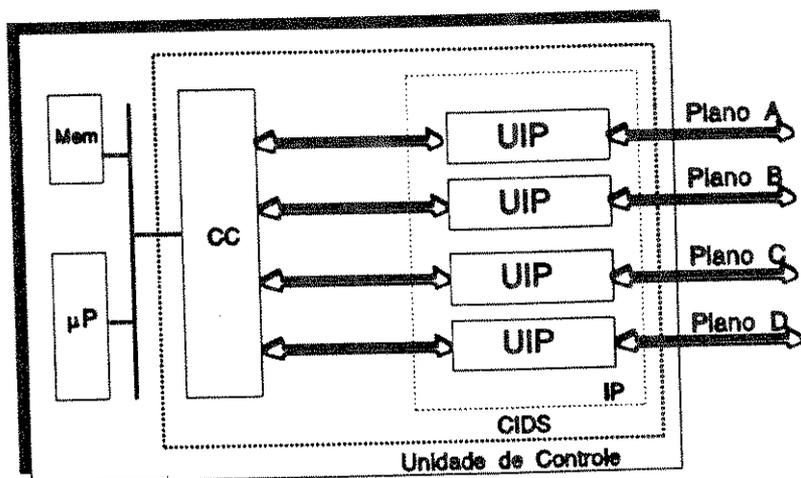


Figura 5.5: Representação da Unidade de Controle destacando-se as UIP's associadas aos Planos

se otimizar o custo de equipamentos que não necessitem de ter todos os Planos instalados.

5.2.3.2 Controle de Comunicação (CC)

O bloco Controle de Comunicação (CC) consiste dos circuitos que determinam o controle da dinâmica interna ao CIDS, com a finalidade de transmitir ou receber mensagens externas.

Na transmissão de uma mensagem de um Módulo a outro, podem ser identificadas duas fases envolvendo o bloco Controle de Comunicação: uma fase em que o bloco Controle de Comunicação interage com o Processador e outra em que o bloco Controle de Comunicação interage com a Rede Intermodular através do bloco Interface aos Planos. As fases citadas anteriormente são denominadas, respectivamente, *fase software* e *fase hardware*.

A interação do Processador com o CIDS estabelece-se através de registros hardware de programação e de leitura de estados, por interrupções e pelos buffers de mensagem (buffer de transmissão e buffer de recepção).

Os buffers de mensagens correspondem a uma região de memória compartilhada pelo Processador e pelo CIDS, que serve de interface para o trânsito de mensagem intercambiadas com o restante do sistema. As mensagens a serem transmitidas são escritas pelo Processador nos buffers de transmissão, enquanto que as mensagens recebidas pelo CIDS são lidas pelo Processador nos buffers de recepção.

Os registros de estados servem para a troca de informações de estado e programação do CIDS. O Processador pode, através dos registros de estados por exemplo, saber se o CIDS está ocupado em transmissão ou recepção de mensagem, em falha, ou mesmo bloquear o CIDS para que não receba e nem transmita mensagens por algum ou por todos os Planos.

As interrupções são utilizadas pelo CIDS para indicar ao Processador a transmissão ou recepção de uma mensagem, e também para comunicar eventuais falhas.

O bloco Controle de Comunicação está dividido internamente em *Unidades de Controle de Comunicação (UCC)*. Cada UCC é um circuito independente que executa todas as funções necessárias para a transmissão ou recepção de mensagens em conjunto com as UIP's. As UIP's são necessárias para a interface com os Planos.

Dependendo da carga de tráfego que deva ser cursado pelo Módulo, o bloco Controle de Comunicação pode ser configurado com um número adequado de UCC's. É possível implementar uma única UCC destinada a todos os Planos, uma UCC dedicada a cada Plano, ou mesmo uma combinação intermediária. A Figura 5.6 ilustra duas configurações possíveis do CIDS: a primeira apresenta uma UCC associada a todos os Planos, enquanto que na segunda configuração tem-se uma UCC dedicada a cada Plano instalado.

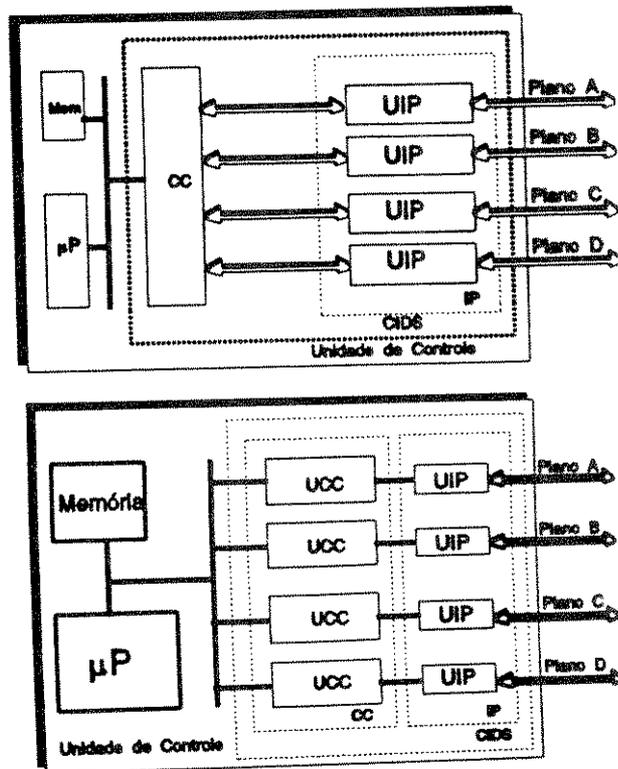


Figura 5.6: Representação de duas configurações de CIDS e Unidades de Controle

Na fase em que o bloco Controle de Comunicação está sob o controle da Rede, as UIP's estabelecem a interface com os Alocadores dos respectivos Planos. Essa interface compreende a tarefa de ativação do CC para transmissão ou recepção de mensagem, em função das Palavras de Habilitação recebidas pelas UIP's e provenientes dos respectivos Alocadores.

5.3 Unidade de Interface a Plano (UIP)

O procedimento de transmissão de uma mensagem envolve os CIDS dos dois Módulos comunicantes e a Rede, segundo uma sequência de fases regidas pelo protocolo de comunicação. Dentro deste contexto, as UIP's associadas à cada um dos CIDS, realizam a conexão entre o respectivo Plano de Sinalização e o bloco Controle de Comunicação. Esta conexão baseia-se tanto no aspecto físico como também nos aspectos relativos à lógica do protocolo de comunicação.

As funções da UIP podem ser identificadas pelos seus estados lógicos. A máquina de estados que caracteriza a UIP é definida basicamente pela quantidade de comunicações simultâneas que se pretende atender simultaneamente. Convém salientar que, dependendo da implementação, é possível trafegar pela UIP tantas comunicações quanto seja o número de Vias de Comunicações oferecidas pelo Plano de Sinalização.

Por questões de simplicidade, vamos tratar aqui o caso onde a UIP proporciona uma única comunicação por vez (que é o caso praticado na primeira versão comercial da central TRÓPICO RA), seja de transmissão ou de recepção. A implementação dos casos em que mais de uma comunicação possa coincidir no tempo por um mesmo Plano, constitui apenas uma generalização dos princípios aqui introduzidos. A máquina de estados, para tal, deve cobrir as situações em que haja simultaneidade entre os estados de transmissão, recepção, Solicitação de Via, e mesmo uma combinação dessas condições.

Os estados lógicos da UIP para o caso de uma única comunicação por vez,

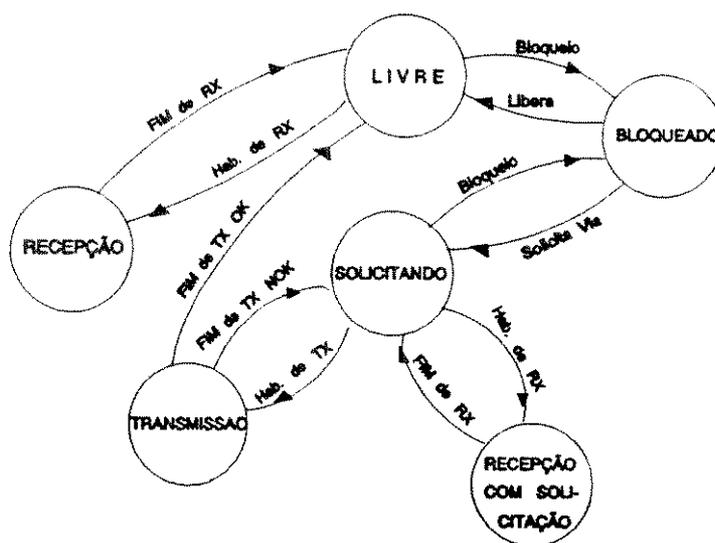


Figura 5.7: Fluxograma dos estados da UIP

estão resumidos a seguir e ilustrados na Figura 5.7:

- **BLOQUEADO:**

No estado BLOQUEADO a UIP está desabilitada a aceitar qualquer ativação de comunicação proveniente do controlador (Alocador) do respectivo Plano de Sinalização. Esse estado é determinado por comando do próprio Processador ou do bloco Controle de Comunicação, para desabilitar a comunicação pelo plano associado à UIP. O estado BLOQUEADO é determinado pelo Processador, por exemplo, sempre que uma mensagem vá ser carregada para ser transmitida (antes de passar para o estado SOLICITANDO). Isso evita que durante a carga da mensagem possa ocorrer uma ativação para recepção.

- **LIVRE:**

Neste estado, a UIP está disponível para aceitar qualquer tipo de comando, seja proveniente do Alocador, para ativar uma recepção, seja a partir do bloco Controle de Comunicação, para ativar uma Solicitação de Via ou mesmo para bloquear qualquer comunicação (passar para o estado BLOQUEADO).

- **SOLICITANDO:**

Neste estado a UIP está requisitando uma Via de Comunicação ao Alocador (para uma transmissão). A UIP está disponível para aceitar qualquer comando proveniente do Alocador, seja para ativar a transmissão solicitada ou uma recepção, ou ainda, para entrar no estado BLOQUEADO, por comando do bloco Controle de Comunicação/Processador.

- **TRANSMISSÃO:**

Ocorre a partir do estado SOLICITANDO, quando a UIP recebe uma ativação de transmissão do Alocador (Palavra de Habilitação de Transmissão). Neste estado desencadeia-se o processo de transmissão da mensagem solicitada através da Via de Comunicação estabelecida na Palavra de Habilitação recebida. A UIP fica em TRANSMISSÃO até o final do envio da mensagem que determinou o prévio estado SOLICITANDO. Se a transmissão da mensagem foi bem sucedida (o destino confirmou a recepção), a UIP vai para o estado LIVRE. Caso a transmissão da mensagem seja mal sucedida (o destino não pode receber a mensagem, não confirmou a recepção ou informou recepção incorreta), a UIP retorna para o estado SOLICITANDO. Assim, o procedimento de transmissão é postergado até o recebimento de uma nova Palavra de Habilitação de Transmissão.

- **RECEPÇÃO COM SOLICITAÇÃO PENDENTE:**

No estado SOLICITANDO, se a UIP receber uma ativação determinando o início de uma recepção de mensagem (Palavra de Habilitação de Recepção), decorre o estado RECEPÇÃO COM SOLICITAÇÃO PENDENTE. A UIP fica neste estado, com a Solicitação de Via suspensa, até o final da recepção da mensagem, quando então retorna para o estado SOLICITANDO.

- **RECEPÇÃO:**

No estado LIVRE, se a UIP recebe uma Palavra de Habilitação de Recepção, determinando o início de uma recepção de mensagem, sucede o

estado RECEPÇÃO. Neste estado, a UIP fica até o final da recepção da respectiva mensagem, quando então retorna para o estado LIVRE.

A Figura 5.8 apresenta um diagrama em blocos da UIP. A UIP tem interfaces de um lado com o Barramento de Sinalização do Plano correspondente e de outro lado com o bloco Controle de Comunicação. A interface com o Barramento de Sinalização caracteriza-se pelos Enlace de Sincronismo, Enlace de Controle e as Vias de Comunicação.

O Enlace de Sincronismo é constituído pela Via de Relógio e pela Via de Sincronismo. Esses sinais determinam as referências de sincronismo associadas

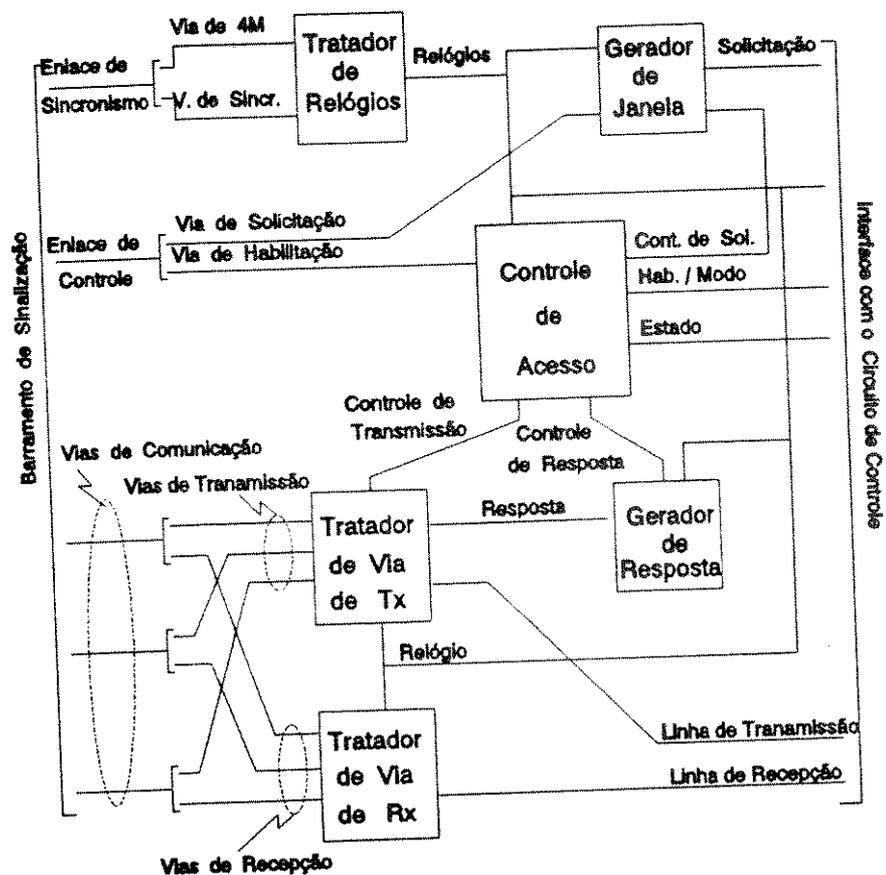


Figura 5.8: Diagrama em Blocos da UIP

às informações que trafegam pelo Barramento de Sinalização. O Enlace de

Controle é constituído pela Via de Habilitação e pela Via de Solicitação. A Via de Habilitação e a Via de Solicitação são utilizadas no protocolo de comunicação realizado entre a UIP e o Alocador, com o objetivo de selecionar uma Via de Comunicação para a transferência de mensagem para um outro Módulo.

Na transmissão de uma mensagem, o papel da UIP depende primeiramente de qual lado (transmissor ou receptor) ela se encontra. A UIP do lado transmissor, em primeiro lugar, deve enviar a Solicitação de Via proveniente do bloco Controle de Comunicação (estado SOLICITANDO) através da Via de Solicitação. Em seguida, ao receber uma Palavra de Habilitação de Transmissão correspondente, a UIP passa para o estado de TRANSMISSÃO e ativa o bloco Controle de Comunicação para efetuar a transmissão da mensagem. A partir desse estado a UIP passa a aguardar uma indicação de final de transmissão, a partir do bloco Controle de Comunicação (CC). Com o final da transmissão a UIP vai para o estado LIVRE, ou então retornar para o estado SOLICITANDO (transmissão mal sucedida).

A UIP receptor ao receber uma Palavra de Habilitação de Recepção, por sua vez, passa para o estado RECEPÇÃO, ao mesmo tempo que ativa o bloco Controle de Comunicação para receber a correspondente mensagem. Nesse estado, a UIP fica aguardando a indicação de final de recepção, proveniente do CC, quando então retorna para o estado LIVRE.

Nos estados TRANSMISSÃO, RECEPÇÃO, ou mesmo no estado BLOQUEADO, a UIP ao receber uma Palavra de Habilitação de Recepção deve recusar a ativação. Isso é realizado pela emissão, através da Via de Comunicação (Via de Transmissão) selecionada, de um caracter indicando indisponibilidade.

5.3.1 Arquitetura Interna da UIP

A seguir será descrito cada um dos blocos que constituem a UIP:

5.3.1.1 Bloco Tratador de Relógio

O Enlace de Sincronismo é tratado na UIP pelo bloco Tratador de Relógio. A função do bloco Tratador de Relógio é gerar, a partir do relógio de 4.096 Mhz e do sincronismo de quadro, todas as referências de sincronismo que são necessárias internamente à UIP.

A Via de Relógio transporta o sinal de relógio de 4,096 Mhz que é utilizado para amostrar as informações provenientes pelo Barramento de Sinalização. A Via de Sincronismo transporta o sinal de sincronismo de quadro (SQ) à frequência de 8 KHz (Veja Figura 5.9). O sincronismo de quadro apresenta um pulso negativo (transição do nível lógico "1" para nível lógico "0") com duração de um ciclo de 4,096 Mhz.

O pulso de sincronismo de quadro possibilita localizar, precisamente, a janela temporal (janela de solicitação) onde o Módulo deve enviar suas Solicitações de Via através da Via de Solicitação. Note que dentro da Via de Solicitação existe uma janela temporal associada a cada Módulo que é definida a partir do sincronismo de quadro e do número do Módulo.

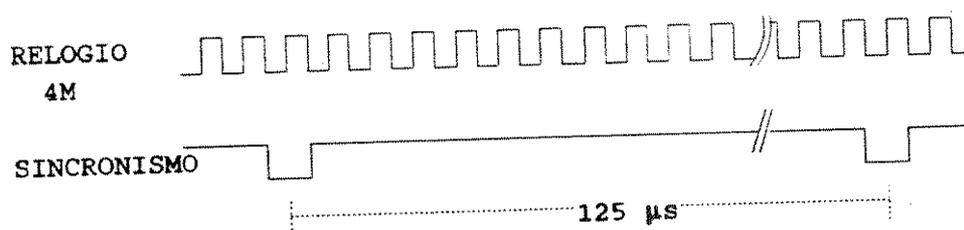


Figura 5.9: Sinal de Relógio de 4 Mhz e de Sincronismo de Quadro

O sincronismo de quadro também permite definir o sinal que determina a amostragem e a análise do conteúdo das Palavras de Habilitação transportadas pela Via de Habilitação. A Via de Habilitação é organizada em "slots" de tempo,

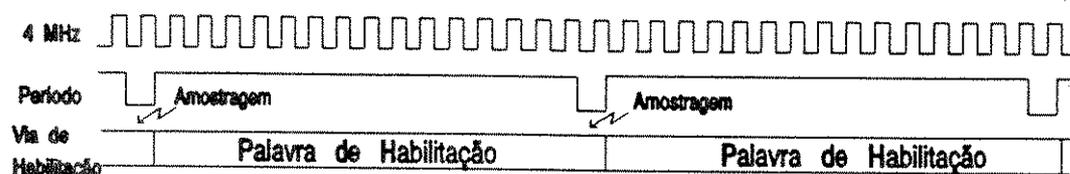


Figura 5.10: Diagrama de tempo relacionando os "slots" das Palavras de Habitação na Via de Habilitação com o sinal de amostragem

onde são enquadradas as Palavras de Habilitação (veja a Figura 5.10).

5.3.1.2 Bloco Controle de Acesso

A Via de Habilitação é responsável por transportar os comandos provenientes do Alocador, a fim de estabelecer o estado de operação da UIP em relação ao Plano de Sinalização correspondente.

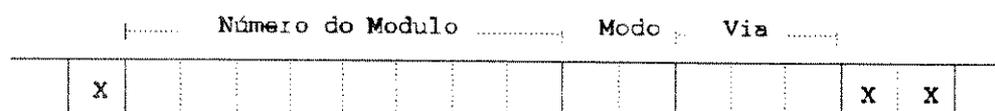


Figura 5.11: Formato da Palavra de Habilitação

A Via de Habilitação é temporalmente dividida em canais de 16 "bits" ("slots") onde sincronamente são transportadas as Palavras de Habilitação. A Figura 5.11 apresenta o formato da Via de Habilitação e os campos que compõem a Palavra de Habilitação.

A função do bloco Controle de Acesso, em relação à Via de Habilitação, é de interpretar o conteúdo dos seus canais para reconhecer as Palavras de

Habilitação destinadas ao próprio Módulo. Ao receber uma Palavra de Habilitação, dependendo do estado em que esteja, o bloco de controle deve executar os comandos adequados de forma a desencadear a transferência de uma mensagem ou recusar a ativação.

Cada Módulo tem associado um número de identificação que determina a sua posição física e lógica dentro do sistema. Essa identificação é comparada pelo bloco Controle de Acesso com o campo de endereço presente em cada Palavra de Habilitação. Dessa forma são reconhecidas as habilitações que correspondam ao Módulo.

Logicamente, o bloco Controle de Acesso segue o diagrama de estados mostrado na Figura 5.7, cuja dinâmica está descrita a seguir.

O estado LIVRE representa a condição onde não há transmissão pendente (Solicitação de Via para transmissão), nem transmissão ou recepção em curso (quando está sendo transmitida ou recebida uma mensagem) e nem bloqueio originado pelo bloco Controle de Comunicação ou por comando do Processador.

A transição do estado LIVRE para BLOQUEADO, ou de BLOQUEADO para LIVRE, ocorre a partir de um comando proveniente do bloco Controle de Comunicação ou por comando do Processador.

A passagem do estado BLOQUEADO para SOLICITANDO (transmissão pendente) caracteriza a carga de uma mensagem no buffer de transmissão dentro do bloco Controle de Comunicação. Em decorrência disso, o bloco Controle de Acesso tem que ativar o bloco Enviador de Solicitação para que seja enviado Solicitação de Via pela Via de Solicitação.

A chegada de uma Palavra de Habilitação de Transmissão (como consequência do estado prévio SOLICITANDO) determina a passagem para o

estado TRANSMISSÃO (ocupado para transmissão). Este estado caracteriza a fase de transmissão da mensagem.

Na transição do estado SOLICITANDO para TRANSMISSÃO, o bloco Controle de Acesso ativa o bloco Controle de Comunicação para iniciar a transmissão da mensagem, e ao mesmo tempo determina aos blocos Tratador de Via de Transmissão e Tratador de Via de Recepção por qual Via de Comunicação será realizada a comunicação (selecionada pela Palavra de Habilitação). Ainda na transição, o bloco Enviador de Solicitação é notificado para que suspenda o envio da Solicitação de Via.

Ao término da transmissão, o bloco Controle de Comunicação é encarregado de desativar o estado TRANSMISSÃO em que estava a UIP. Se a transmissão foi bem sucedida, o bloco Controlador de Acesso vai para o estado LIVRE. Caso a transmissão seja mal sucedida, retorna-se ao estado SOLICITANDO onde a Solicitação de Via fica novamente ativada, possibilitando tentativas de transmissão subsequentes, até que transmissão seja bem sucedida, ou então seja abortada a transmissão pelo Processador.

A partir do estado LIVRE, o bloco Controle de Acesso ao receber uma Palavra de Habilitação de Recepção entra no estado RECEPÇÃO (ocupado para recepção). Nesta transição, o bloco Controle de Acesso ativa o bloco Controle de Comunicação para recepção de mensagem, e ao mesmo tempo informa os blocos Tratador de Via de Transmissão e Tratador de Via de Recepção qual Via de Comunicação será utilizada para comunicação. Ao término da recepção, o bloco Controle de Comunicação se encarrega de liberar a UIP (bloco Controle de Acesso) para o estado LIVRE.

Caso a UIP esteja no estado SOLICITANDO e chega uma Palavra de Habilitação de Recepção, ocorre a transição para o estado RECEPÇÃO COM SOLICITAÇÃO PENDENTE. A diferença em relação ao caso em que se parte do estado LIVRE é que a Solicitação de Via é suspensa durante a permanência

neste estado. Ao término da recepção da mensagem, o retorno é então para o estado SOLICITANDO, onde a Solicitação de Via fica novamente ativa.

Quando o bloco Controle de Acesso está no estado SOLICITANDO a Solicitação de Via pode ser retirada pelo Processador. Para isso, a UIP (bloco Controle de Acesso) é antes colocada no estado BLOQUEADO.

5.3.1.3 Enviador de Resposta

Quando a UIP está num dos estados de indisponibilidade para iniciar uma comunicação (BLOQUEADO, TRANSMISSÃO, RECEPÇÃO, RECEPÇÃO COM SOLICITAÇÃO PENDENTE), as Palavras de Habilitação que possam chegar devem ser recusadas. A função do bloco Enviador de Resposta é enviar os caracteres informando o estado de indisponibilidade todas as vezes em que chegar uma Palavra de Habilitação de Recepção. O bloco Enviador de Resposta trabalha sob controle do bloco Controle de Acesso.

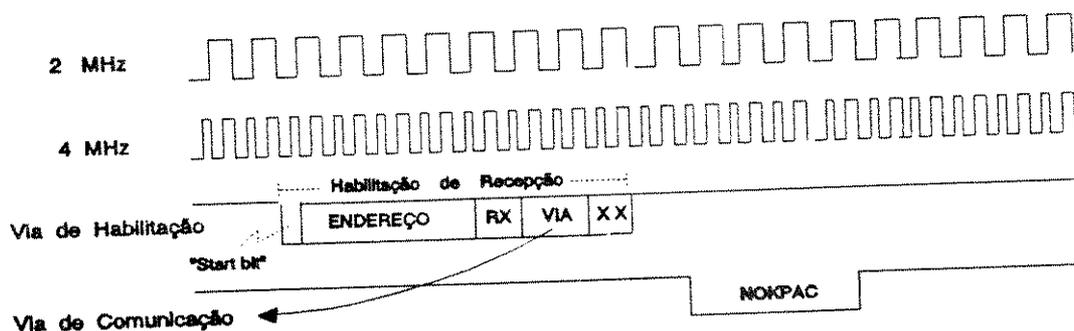


Figura 5.12: Diagrama de tempo representando uma Resposta NOKPAC decorrente da chegada de uma Palavra de Habilitação encontrando a UIP indisponível

O carácter de resposta de indisponibilidade é denominado "Não Enviar Pacote" ou simplesmente "NOKPAC". Este carácter é emitido pela Via de Comunicação (Via de Transmissão) selecionada pela Palavra de Habilitação recusada. Uma resposta "NOKPAC" consiste de uma sequência de quatro pulsos em nível lógico zero (cada pulso com duração de um ciclo de relógio de 2,048 MHz), conforme está representado na Figura 5.12.

A resposta NOKPAC ao chegar no Módulo transmissor, ocasiona a reiniciação automática do processo de transmissão pelo CIDS correspondente. A UIP transmissor, sob controle do bloco Controle de Comunicação, libera a Via de Comunicação que estava alocada e retorna ao estado SOLICITANDO, em que permite novas retentativas de transmissão.

5.3.1.4 Bloco Tratador de Via de Recepção

O Barramento de Sinalização é constituído por um conjunto de Vias de Comunicação compartilhadas por todos os Módulos, a fim de realizar-se o intercâmbio de mensagens. Cada Via de Comunicação corresponde a um par fixo formado por uma Via de Transmissão e uma Via de Recepção. Do ponto de vista da UIP, as Vias de Recepção transportam as informações destinadas ao Módulo, enquanto que as Vias de Transmissão são utilizadas para transportar as informações enviadas a partir do Módulo.

As Vias de Recepção e de Transmissão são fisicamente constituídas por pares trançados que transportam sinais balanceados. A função do bloco Tratador de Vias de Recepção, em primeiro lugar, é transformar, através de receptores de linha ("line receivers"), os sinais balanceados das Vias de Recepção para níveis TTL (Transistor-Transistor-Logic). Uma vez transformadas para níveis TTL, as Vias de Recepção, que chegam à UIP, constituem-se em entradas de um seletor. Esse seletor permite selecionar uma Via de Comunicação do conjunto disponível.

A Via de Comunicação selecionada realiza a conexão com o bloco Controle de Comunicação.

Toda vez em que o bloco Controle de Acesso aceita uma Palavra de Habilitação, este informa a identificação da Via de Comunicação selecionada ao bloco Tratador de Vias de Recepção. Com isso, o bloco Tratador de Vias de

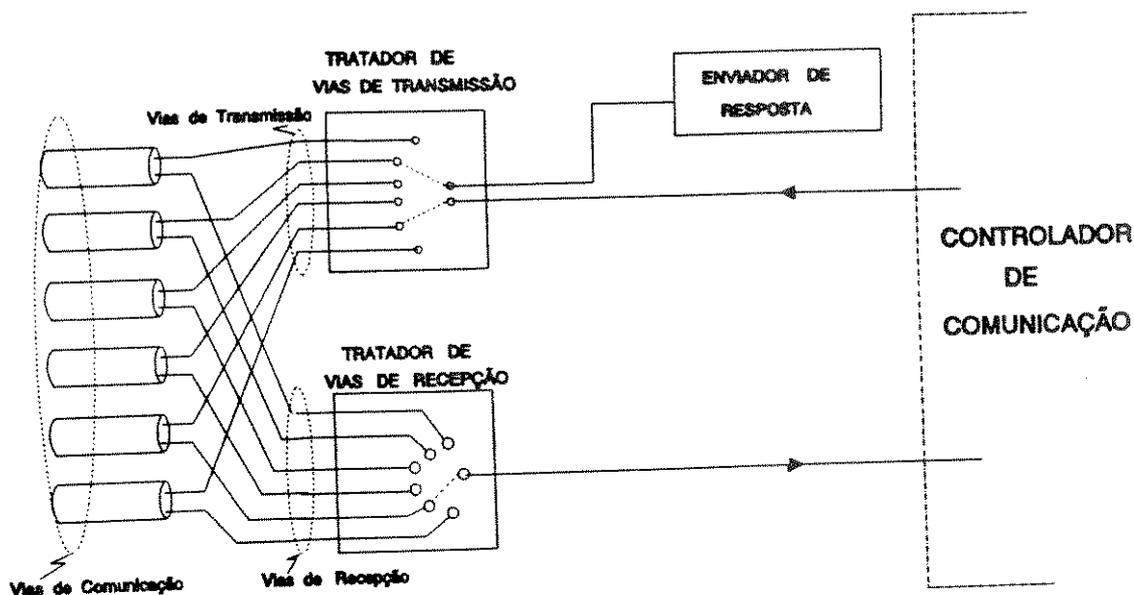


Figura 5.13: Esboço dos Tratadores de Via dentro da UIP

Recepção realiza a interligação entre a Via de Recepção selecionada e o bloco Controle de Comunicação (veja Figura 5.13).

5.3.1.5 Tratador de Vias de Transmissão

O bloco Tratador de Vias de Transmissão tem a função de selecionar uma Via de Transmissão interligando a Rede com o bloco Controle de Comunicação no estabelecimento de uma comunicação (veja Figura 5.13). Para isso, o bloco Tratador de Vias de Transmissão recebe do bloco Controle de Acesso a identificação da Via de Comunicação que foi habilitada para a comunicação.

Além da função de seleção da Via de Transmissão destinada à conexão com o bloco Controle de Comunicação, o bloco Tratador de Vias de Transmissão também é encarregado de selecionar a Via de Transmissão destinada a emissão do carácter de recusa (NOKPAC) gerado pelo bloco Enviador de Resposta. Esta função é utilizada nas vezes em que a UIP está indisponível para comunicação. O bloco Controle de Acesso fornece, para isso, a identificação da Via de Transmissão a ser selecionada (veja Figura 5.13).

5.3.1.6 Enviador de Solicitação

Quando o bloco Controle de Comunicação tem mensagem para ser transmitida (mensagem carregada no buffer de transmissão), dentro da UIP ocorre a transição do bloco Controle de Acesso do estado LIVRE para SOLICITAÇÃO. Em decorrência do estado SOLICITAÇÃO, o bloco Enviador de Solicitação emite pela Via de Solicitação, na janela de solicitação correspondente ao Módulo, a Solicitação de Via. Caso ocorra algum dos eventos em que o envio da Solicitação de Via deva ser suspenso (chegada de habilitação, estado BLOQUEIO, etc) ou a Solicitação seja retirada (a transmissão foi bem sucedida ou a transmissão foi abortada), o bloco Controle de Acesso é responsável por atuar no bloco Enviador de Solicitação para tal.

O bloco Enviador de Solicitação é controlado pelo bloco Controle de Acesso. Recebe os sinais de relógio e sincronismo fornecidos pelo bloco Gerador de Relógio e ainda tem como entrada o número de identificação do Módulo. O número de identificação do Módulo é o parâmetro utilizado para definir a posição física da janela de solicitação dentro da Via de Solicitação. A implementação do circuito é baseada, essencialmente, num contador de 0 a 255 que tem como entrada o número do Módulo. O número do Módulo é carregado pelo sincronismo de quadro no contador. Toda vez que o contador chega ao valor 255, ele solta um pulso com duração de uma janela temporal (488 ns), que determina a janela de solicitação do Módulo. Visto que cada um dos 256 Módulos

conectados a uma Via de Solicitação apresenta um número distinto, a posição temporal do pulso para cada Módulo é exclusiva, já que o sincronismo de quadro é comum.

5.4 Unidade de Controle de Comunicação (UCC)

A Unidade de Controle de Comunicação (UCC) implementa as funções de estabelecimento e controle das atividades envolvidas na transferência de dados, tipo mensagem, entre o Processador e os demais elementos da Rede. Basicamente, a função da UCC é a de transmitir por intermédio de uma UIP, mensagens carregadas previamente em sua memória (buffer de transmissão). Por outro lado, a UCC também tem a função de receber mensagens a partir da Rede através de uma UIP. As mensagens recebidas são carregadas pela UCC em sua memória interna (buffer de recepção).

Os buffers de transmissão e de recepção constituem a interface para a transferência de mensagens entre a UCC e o correspondente Processador. No processo de transmissão cabe ao Processador, essencialmente, escrever a mensagem a ser transmitida no buffer de transmissão. No processo de recepção, em contrapartida, cabe ao Processador ler as mensagens recebidas no buffer de recepção da UCC.

A UCC ao transmitir através da UIP uma mensagem pela Via de Comunicação, toma os bytes da mensagem (informação em paralelo) do buffer de transmissão e os emite, serialmente em cascata, através da Via de Transmissão alocada. Por outro lado, a UCC ao ser ativada para recepção, recolhe byte a byte a mensagem que chega serialmente pela Via de Recepção, e a armazena no buffer de recepção.

Durante a efetivação de uma comunicação (troca de mensagem entre dois Processadores) podem ser distinguidas, conforme já salientado, duas fases que envolvem a UCC: fase software e fase hardware.

A fase software consiste do processo de interação do Processador com a UCC com objetivo de passar uma mensagem para ser transmitida, ou então, para tomar da UCC uma mensagem já recebida. A fase hardware, por outro lado, refere-se a todo o período onde a UCC está disponível para interação ou está interagindo com a Rede, ou seja, a fase em que a UCC não está sob controle do Processador. Na fase hardware são estabelecidas as conexões físicas entre Módulos e se efetivam, propriamente, o intercambio das mensagens.

5.4.1 Formato das Mensagens

Na interface entre a UCC e o Processador, as mensagens têm formatos distintos quando transmitidas e quando recebidas pela UCC (veja Figura 5.14). A diferença que existe no formato corresponde ao campo adicional que apresentam as mensagens transmitidas. Esse campo adicional, denominado *campo de identificação*, é destinado a caracterização da conexão (destino e tempo de ocupação do meio de transmissão) ao Alocador dentro da Rede Intermodular.

O campo de identificação é enviado dentro do *Segmento de Identificação* (veja o Capítulo 4, item 4.4) e serve para informar o Alocador quem é o destino da mensagem a ser transmitida. O campo de identificação não chega à UCC destino, visto que essa informação é usada especificamente pelos Alocadores dos Planos de Sinalização, com o que identificam o Módulo destino (a quem deve ser enviada a Palavra de Habilitação de Recepção) e também informam-se da duração da transmissão da mensagem correspondente (para a retomada da Via de Comunicação alocada).

O campo de identificação tem no seu primeiro byte a informação correspondente ao tamanho da mensagem (número total de bytes, incluindo os

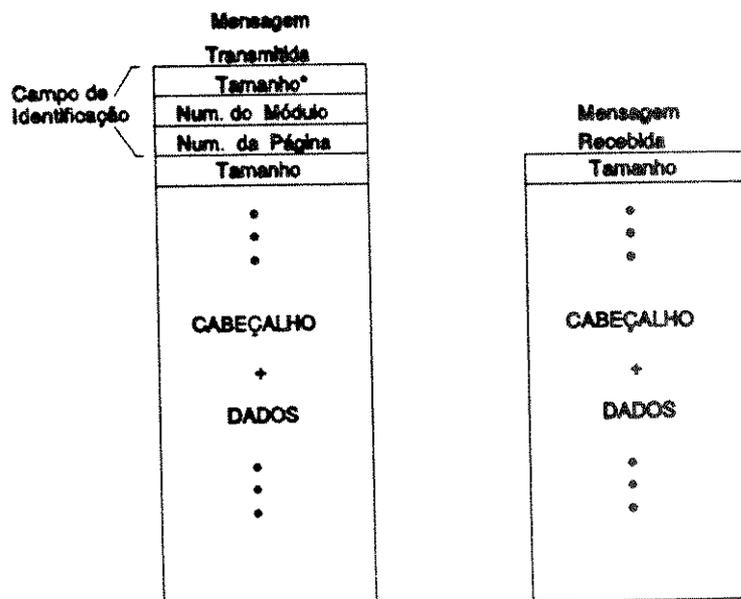


Figura 5.14: Formato das Mensagens

bytes do campo de identificação). Para utilizar-se somente um byte indicando o tamanho da mensagem e permitir mensagens de até 512 bytes, foi utilizado o critério de enviar-se somente os oito bits mais significativos da informação de tamanho. O sistema foi preparado para transportar mensagens com distintos tamanhos, entretanto, sempre com números pares de bytes, ou seja, 4, 6, ..., 16, ..., 32, ..., ..., 512 bytes. O "overhead" causado por este critério é que, às vezes, é necessário enviar um byte a mais, só para completar um número par, sendo esse byte inserido e eliminado pela própria UCC.

Depois do tamanho da mensagem, constam no campo de identificação dois bytes para identificação do destino da mensagem. Esta informação, conforme já salientado, é utilizada pelo Alocador para gerar e encaminhar a Palavra de Habilitação de Recepção para o Módulo correspondente.

O byte subsequente ao campo de identificação, corresponde ao tamanho da mensagem desconsiderando-se os bytes do campo de identificação. Este byte em conjunto com os bytes subsequentes constituem a mensagem que chega ao buffer de recepção da UCC receptora.

A UCC ao transmitir uma mensagem acrescenta ao final um byte de redundância. Este byte permanece na mensagem durante o percurso entre a UCC transmissora e a UCC receptora, e contém informações para teste de integridade da informação transferida. O byte acrescentado, denominado "CHECK", é testado pela UCC receptora junto com a mensagem recebida. Se a verificação indicar que a mensagem está íntegra, a UCC receptora envia uma confirmação de recebimento da mensagem (OK) à UCC transmissora. Caso a mensagem recebida não passe no teste é enviada uma resposta negativa (NOK), sendo a mensagem descartada. O byte CHECK só é enxergado pelo hardware.

5.4.2 Arquitetura Interna da UCC

Um diagrama em blocos da UCC é apresentado na Figura 5.15. Conforme está representado, foram considerados cinco blocos funcionais que estão descritos a seguir.

5.4.2.1 Controlador de Fase

O bloco Controlador de Fase constitui a interface entre o Processador e a UCC. Ele tem como função o controle de acesso à UCC realizado pelo Processador e pela Rede Intermodular, respectivamente, na fase software e na fase hardware.

A programação da fase de controle (software ou hardware) é determinado pelo Processador num registro dentro do próprio bloco Controlador de Fase. Para que a fase software seja estabelecida, entretanto, não pode estar se desenvolvendo uma comunicação. Quando o Controlador de Fase está na fase software, as UIP's correspondentes à UCC ficam no estado BLOQUEIO, de forma a não admitir o início de uma comunicação com a Rede.

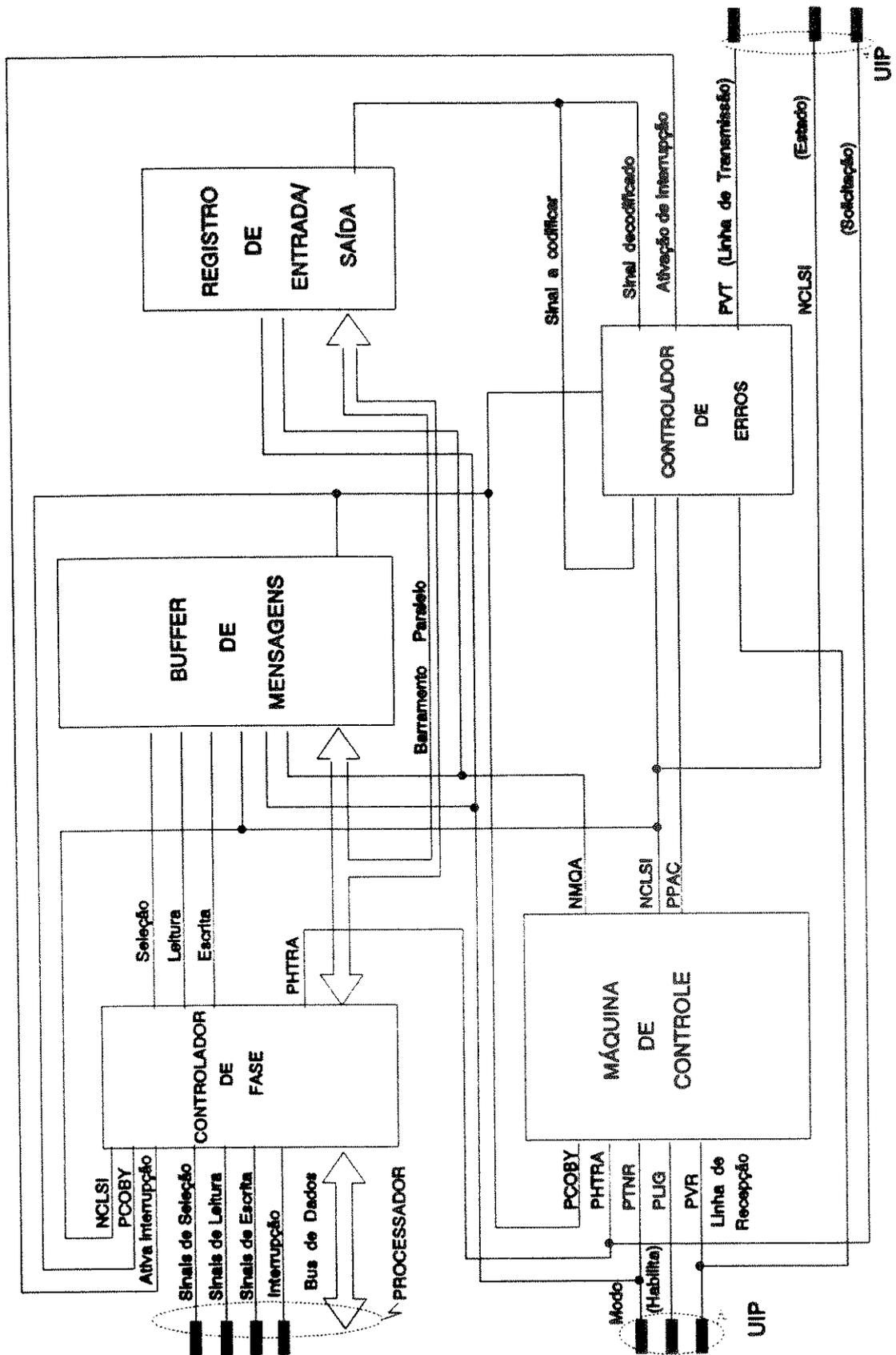


Figura 5.15: Diagrama em blocos da Unidade de Controle de Comunicação (UCC)

O bloco Controlador de Fase tem como entradas do lado do Processador o barramento de dados, os sinais de controle (sinais de seleção, sinal de escrita e sinal de leitura) e envia um sinal de interrupção. O barramento de dados é bidirecional, sendo responsável por transferir os dados intercambiados entre o Processador e a UCC. Entre estes dados constam as informações de programação e de leitura de estado da UCC, e os bytes das mensagens. Os sinais de seleção identificam qual o elemento interno à UCC está sendo acessado (Buffer de Mensagens, registros de estado, etc). O sinal de escrita define um acesso de escrita de informação na UCC, enquanto o sinal de leitura estabelece a leitura. Através de um sinal de interrupção o bloco Controlador de Fases informa os eventos internos à UCC que devem ser tratados pelo Processador (transmissão, recepção, falhas, etc.).

Do lado interno à UCC, o bloco Controlador de Fase está conectado a um barramento paralelo que realiza a interconexão com o bloco Buffer de Mensagens e com o Registro de Entrada e Saída. Esse barramento paralelo, na fase software, é uma extensão do barramento de dados do Processador, enquanto na fase hardware é utilizado para a transferência de dados entre o Buffer de Mensagens e o Registro de Entrada e Saída.

O bloco Controle de Fase apresenta internamente um registro de interrupção onde ficam armazenadas as requisições de interrupção e as correspondentes identificações das causas, ou seja, se foi resultado de uma transmissão, recepção ou falha, e também a que Plano de Sinalização se referem. Este registro tem sua escrita controlada pela Máquina de Controle.

5.4.2.2 Buffer de Mensagens

O Buffer de Mensagens constitui-se no elemento de armazenamento das mensagens tratadas pela UCC. Essencialmente, o Buffer de Mensagens é a interface entre o barramento de dados do Processador e o Barramento de

Sinalização (Via de Comunicação). Ele representa o estado intermediário onde todas as mensagens a ser transmitidas são mantidas até que uma Via de Comunicação seja alocada e permita o seu fluxo até o destino definido. Por outro lado, representa também o estado intermediário onde todas as mensagens recebidas pela UCC, através de uma Via de Comunicação, permanecem armazenadas até que o Processador esteja disponível para a leitura.

O Buffer de Mensagens é constituído, basicamente, por uma memória e por um contador (veja Figura 5.16). A memória é mapeada em buffer de transmissão e buffer de recepção, respectivamente, onde são carregadas as mensagens a serem transmitidas e as mensagens recebidas.

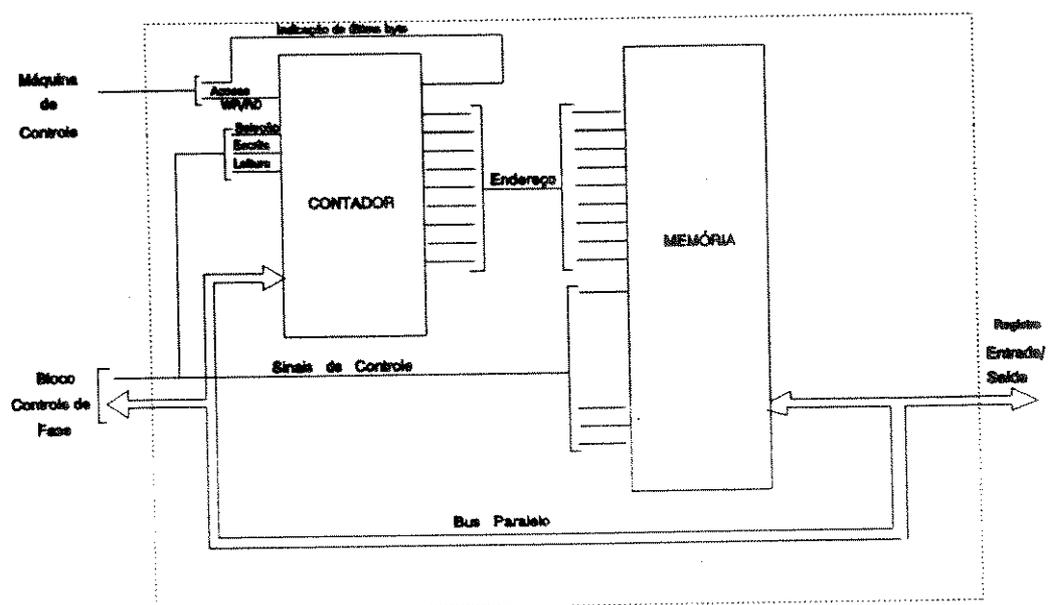


Figura 5.16: Esboço do Buffer de Mensagens

O contador interno ao Buffer de Mensagens apresenta duas funções bastante correlatas. Uma função é a contagem do número de bytes de cada mensagem à medida que vão sendo carregados ou lidos num buffer. Ainda nessa função ele indica também o final da mensagem (último byte).

A outra função do contador é a de endereçamento dos buffers de transmissão e recepção. Na função de endereçamento, cabe ao contador indicar o endereço de cada uma das posições que estão sendo acessadas nos buffers, dispensando a necessidade de endereçamento externo (do Processador, por exemplo). A solução adotada está ligada ao fato de que todos os bytes da mensagem são empacotados sequencialmente. Assim só é necessário que o contador saiba o tamanho de cada mensagem para que ele mesmo trate de ordenar a escrita ou leitura dos buffers.

Para melhor entendimento do funcionamento do bloco Buffer de Mensagens, será descrito a seguir o procedimento para a escrita e a leitura de uma mensagem.

Primeiramente, todas as vezes em que o Buffer de Mensagens vai ser acessado para a leitura ou para a escrita de uma mensagem, deve ser dado um comando de inicialização do seu contador ("reset"). O reset inicial tem a função de colocar todas as saídas do contador em zero (vetor de saída em zero), e ao mesmo tempo preparar o contador para receber uma carga, ou seja, ser carregado com o valor inicial para começar a contagem. Note que nesta situação as saídas do contador (o vetor de saída) apontam para posição zero do buffer a ser acessado (veja Figura 5.17a).

Partindo do estado anterior, suponha a escrita de uma mensagem de 16 bytes no buffer. O primeiro byte da mensagem, conforme já foi salientado, contém o tamanho da mensagem. Visto que o contador foi inicializado, o tamanho da mensagem (0FH) será escrito na posição zero do buffer e ao mesmo tempo carregado no contador (somente o primeiro byte), passando para o estado apresentado na Figura 5.17b. Note que agora as saídas do contador (vetor de saída) apontam para a posição "0FH" do buffer, e será onde carregar-se-á o próximo byte da mensagem. A cada byte carregado o contador decrementa de uma posição. Assim, depois de 15 acessos de escrita o contador estará apontando novamente para a posição zero do buffer, o que corresponde ao final da carga da mensagem (sempre que chega neste estado o contador ativa um sinal indicando o estado).

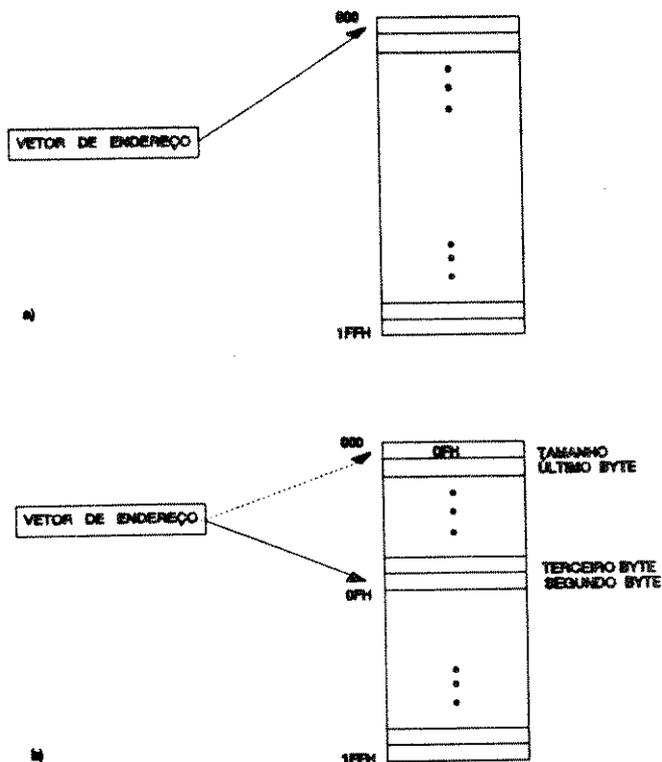


Figura 5.17: Organização da Mensagem no Buffer

Para se efetuar a leitura da mensagem carregada anteriormente no buffer, o procedimento é equivalente. Primeiro aplica-se um reset no contador colocando-o em situação de carga e com suas saídas apontando para a posição zero do buffer. Ao se realizar o primeiro acesso de leitura, o conteúdo da posição zero do buffer (tamanho da mensagem) fica disponível na saída da memória e no barramento paralelo. O barramento paralelo está conectado às entradas do contador e também ao bloco Controle de Acesso. Assim, o conteúdo da posição zero do buffer é carregado no contador. Portanto, a posição endereçada no buffer, neste estado, corresponde ao segundo byte da mensagem. As subsequentes leituras do buffer, com o correspondente decremento do contador, fornece exatamente a sequência de bytes em que foi carregada a mensagem.

5.4.2.3 Registro de Entrada e Saída

O Registro de Entrada e Saída (E/S) só é ativado na fase hardware. Durante a transmissão de uma mensagem, ele é encarregado de receber os bytes da mensagem, provenientes do buffer de transmissão, através do barramento paralelo e em seguida enviá-los serialmente até o bloco Controlador de Erros.

Na recepção de uma mensagem, o Registro de Entrada e Saída realiza o processo inverso. Os bytes da mensagem chegam ao Registro de Entrada e Saída, serialmente, a partir do bloco Controlador de Erros. O Registro de E/S transforma os bytes para paralelo e os transferem, byte a byte, pelo barramento paralelo até o Buffer de Mensagens onde ficam armazenados no buffer de recepção.

5.4.2.4 Controlador de Erros

Conforme já foi salientado, todas as mensagens que são propagadas pela Rede Intermodular têm anexado ao final um byte de informação (CHECK) destinado ao teste de integridade, realizado sobre a mensagem na UCC receptora. A técnica utilizada para controle de erro é baseada numa configuração semelhante à *Scrambler-Descrambler* utilizada no caso em que se deseja obter uma sequência de bits mais "embaralhada" que a sequência original, numa transmissão digital [1]. A aplicação do mesmo conceito para o controle de erros de transmissão, possibilita obter características de bom desempenho tais como baixa probabilidade de não detecção de erros (controlável pelo número de bits reservado para a palavra de detecção - CHECK) probabilidade nula de não detecção de erros simples. Apresenta principalmente a característica de ter uma implementação muito simples e o número de "gates" equivalentes ser bastante baixo, de modo a permitir, sem maior aumento de complexidade, sua inclusão com os demais circuitos. Será dado a seguir uma breve descrição da técnica e da implementação utilizada. Um maior detalhamento é apresentado na referência [2].

Geralmente as configurações *Scrambler-Descrambler* são utilizadas para aumentar a "aleatoriedade" dos sinais, de forma a evitar grandes sequências de "0"s ou "1"s nas transmissões. Podem também ser utilizados para a codificação de informações sigilosas. Os circuitos *Scrambler-Descrambler* têm uma configuração semelhante a um gerador de sequência pseudo aleatória [1](veja Figura 5.18).

O codificador e detector de erros utilizado dentro do bloco Controlador de Erros utiliza a configuração *Descrambler* na parte de transmissão e o *Scrambler* na parte de recepção (veja Figura 5.19).

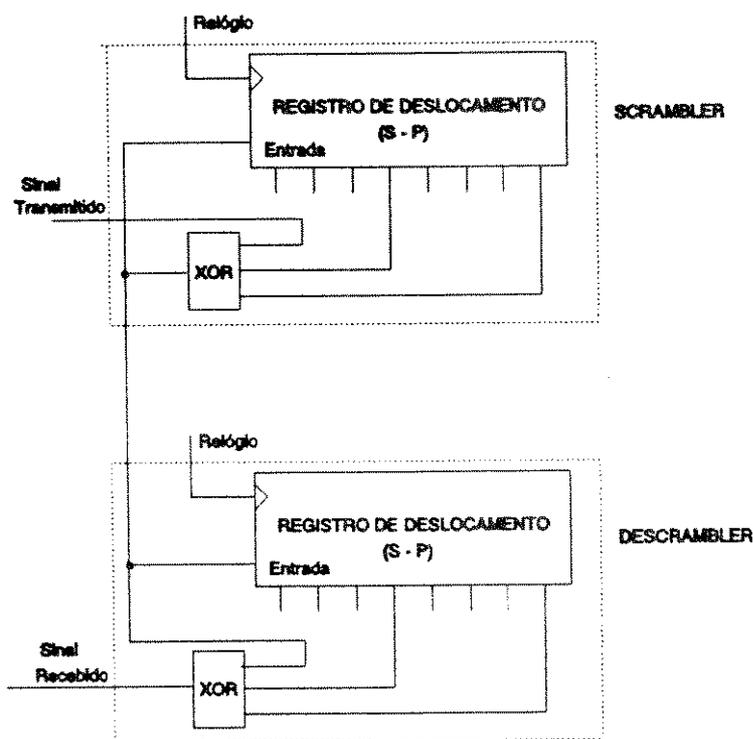


Figura 5.18: Configuração SCRAMBLER e DESCRAMBLER

Pode verificar-se facilmente que no caso de ausência de erros a sequência recebida continua sendo igual a sequência transmitida. No caso de um erro no

sinal transmitido, este pode se propagar indefinidamente ao ficar "circulando" no registrador do *Scrambler* já que este é realimentado.

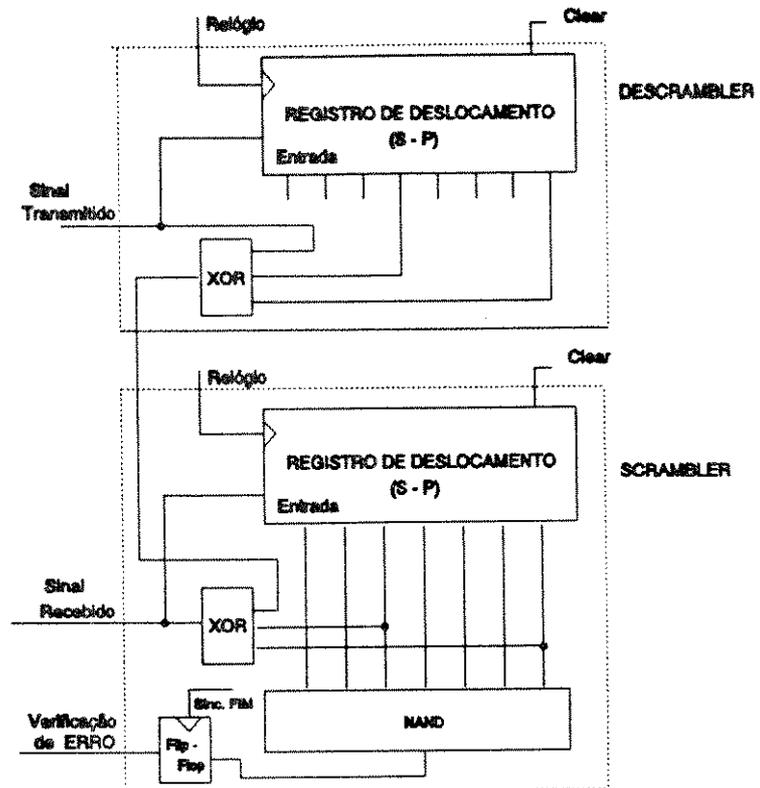


Figura 5.19: DESCRAMBLER - SCRAMBLER com detecção de erro

Um outro dado importante em que se fundamenta a técnica utilizada, e que pode ser verificado, é que no caso de ausência de erros na transmissão se tanto o conteúdo inicial do *Descrambler* como do *Scrambler* forem inicialmente os mesmos, eles se mantêm indefinidamente iguais um ao outro.

Na implementação para a detecção de erros, um mesmo conteúdo deve ser carregado inicialmente nos dois registradores. Os registradores devem possuir d posições ("flip-flops") e nos últimos d bits das mensagens consta o mesmo conteúdo (palavra padrão) fixo, conhecida pelo receptor. Assim, na transmissão de uma mensagem pode ser verificado no receptor, através dos d bits no final da mensagem, se o conteúdo destes d bits recebidos é igual ao valor presente no registrador do *Scrambler*, ou seja igual à palavra padrão. Caso seja diferente pode-se concluir que houve erro de transmissão. Caso seja igual pode-se concluir

que com uma probabilidade conhecida não houve erro. Se todos os tipos de erros fossem equiprováveis, a probabilidade de um erro não ser detectado seria:

$$P[\text{erro não detectado} / \exists \text{erro}] =$$
$$= \frac{\text{Possíveis erros não detectados}}{\text{Possíveis erros}} = 2^{-d} - 2^{-m} = 2^{-d}, \text{ se } m > d$$

onde m é o número de bits da mensagem.

Quanto maior d menor é a probabilidade de um erro não ser detectado. Na implementação do bloco Controle de Erros foi utilizado $d=7$, conteúdo inicial dos registradores igual a "0000000B" e palavra padrão "1111111B". Na implementação do *Scrambler* e do *Descrambler*, com o auxílio de multiplexadores, os mesmos circuitos reproduzem as duas funções, quando em recepção e quando em transmissão (veja Figura 5.20).

No esquema da Figura 5.20 os últimos sete bits de cada mensagem devem ser tais que quando forem introduzidos no registrador da recepção, a saída da NAND correspondente deve ser igual a zero. Assim, para a utilização desse método na verificação de integridade das mensagens intercambiadas pela rede, o circuito do lado receptor deve sempre analisar o valor da saída da NAND durante o último bit da mensagem. A mensagem só deve ser aceita, confirmada à sua origem e repassada ao Processador associado à recepção, caso a saída da NAND nesse momento seja "zero". Caso seja igual a "1", significa que houve erro de transmissão. Portanto, deve ser descartada a mensagem recebida e a irregularidade comunicada à origem da transmissão (NOKPAC)¹.

¹ O circuito em recepção ao detectar uma mensagem contendo erro, ao mesmo tempo que envia o NOKPAC à origem reinicializa-se para uma nova recepção. O circuito em transmissão ao receber um NOKPAC volta a iniciar o processo de transmissão da mensagem.

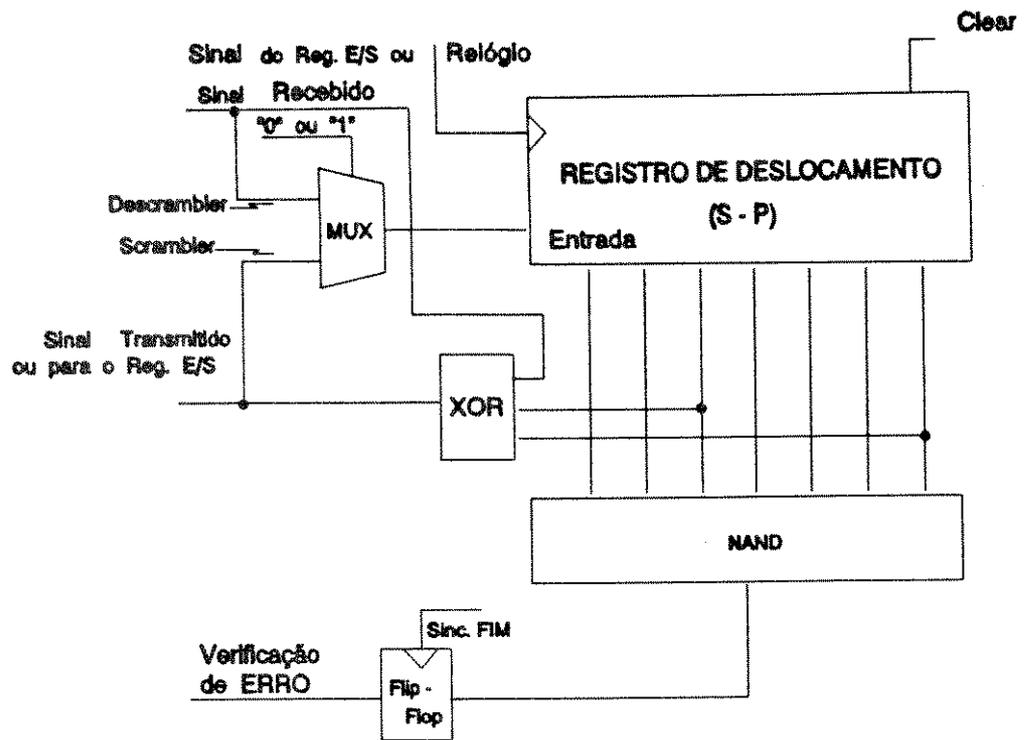


Figura 5.20: Esboço da implementação do Controlador de Erros. Codificador/Decodificador programável

Durante o processo de transmissão, o bloco Controlador de Erros recebe do Registro de Entrada e Saída o sinal da mensagem que deve ser codificado e transmitido através da Linha de Transmissão. No processo de recepção, o bloco Controlador de Erros recebe pela Linha de Recepção o sinal da mensagem que deve ser decodificado e verificado. Esse sinal, à medida que vai sendo decodificado, é passado para o Registro de Entrada e Saída para que encaminhe os bytes para armazenamento no Buffer de Mensagens. Entretanto, somente depois do teste final a mensagem é aceita.

5.4.2.5 Máquina de Controle

A Máquina de Controle é o elemento responsável por gerar e tratar os sinais de controle que determinam a dinâmica interna da UCC em sua interação com o sistema durante os processos de comunicação. A sua implementação consiste

essencialmente de uma máquina de estados que determina a lógica de execução dos eventos e o sincronismo na interação entre os elementos do seu entorno.

A Máquina de Controle apresenta um conjunto de sinais de entrada e um conjunto de sinais de saída, trocados com o Processador (bloco Controle de Fase), com os demais blocos e com as UIP's, sendo que interage com o restante do sistema através dos caracteres de controle embutidos nas mensagens trocadas. Durante a fase hardware a Máquina de Controle tem sua operação intimamente associada à operação das UIP's. Por exemplo, as UIP's são responsáveis por ativar, de acordo com as Palavras de Habilitação, a Máquina de Controle para determinar a transmissão ou a recepção de uma mensagem. Em contrapartida, a Máquina de Controle se encarrega de liberar a UIP depois de concluída uma comunicação ou mesmo de bloquear a UIP, caso não se possam tratar comunicações.

A seguir será descrita a dinâmica dos principais sinais elétricos trocados

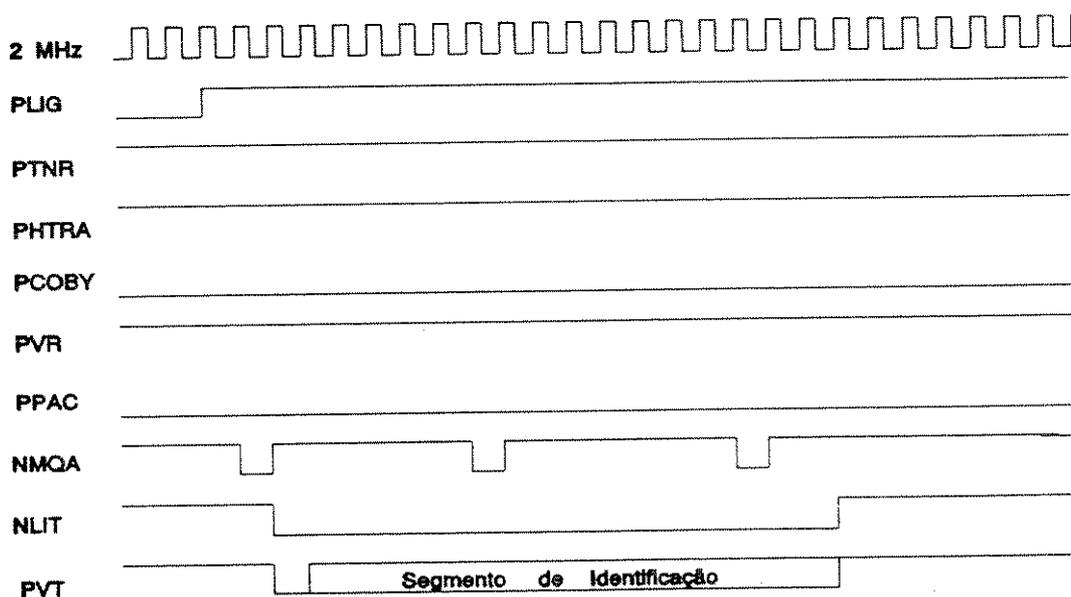


Figura 21: Diagrama de tempo da transmissão do Segmento de Identificação pela UCC entre a Máquina de Controle e seu entorno. Os correspondentes diagramas de tempo estão apresentados na Figura 5.21, Figura 5.22 e Figura 5.23. Na Figura 5.21 está mostrado o diagrama de tempo do envio do Segmento de Identificação

da UCC ao Alocaador, no processo de transmissão. Em continuação à figura anterior, na Figura 5.22 está representado o envio do Pacote (mensagem) em consequência do recebimento do caracter OKPAC proveniente do Módulo destino. Finalmente, na Figura 5.23 está mostrado o diagrama de tempo da recepção de mensagem pela UCC.

Entradas:

- *PLIG*: este sinal é recebido da UIP (bloco Controle de Acesso) e tem como função ativar a UCC para tratar uma comunicação.
- *PTNR*: este sinal é recebido da UIP (bloco Controle de Acesso) e tem como função especificar, quando o sinal PLIG está ativo, qual é modo de ativação (transmissão ou recepção).
- *PHTRA*: este sinal é recebido do bloco Controle de Fase e indica que tem mensagem para ser transmitida. A Máquina de Controle só aceita uma ativação para transmissão quando este sinal está ativo.

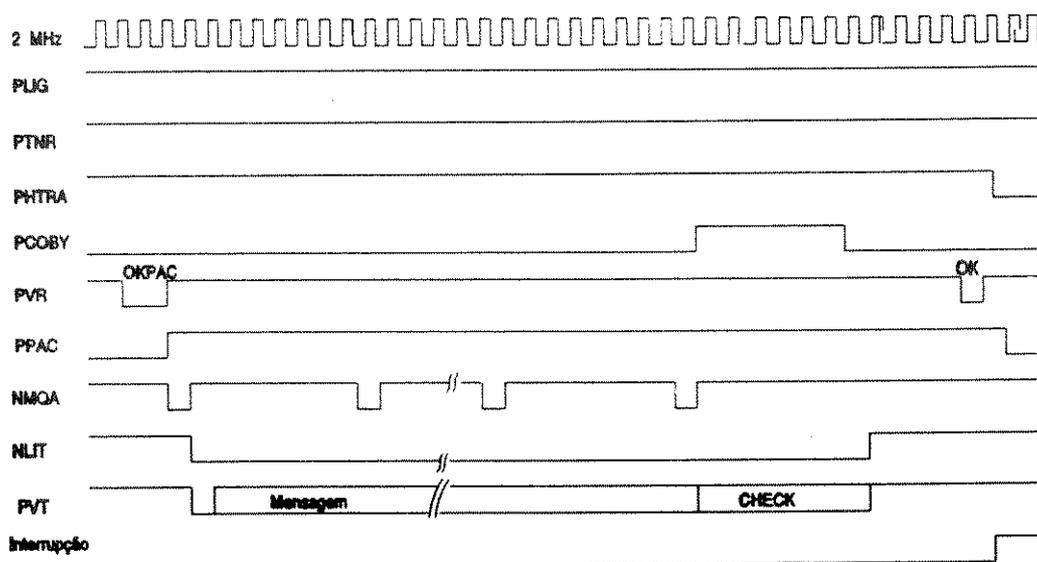


Figura 5.22: Diagrama de tempo da transmissão da mensagem no processo de transmissão da UCC

- **PCOBY:** este sinal é recebido do bloco Buffer de Mensagens e tem como função informar à Máquina de Controle que o último byte de uma mensagem está em curso. Essa informação é utilizada para desativar o envio de bytes durante uma transmissão e entrar no estado de espera de confirmação proveniente do receptor. Na recepção de uma mensagem, desativa o recebimento de bytes e ativa o bloco Controlador de Erros para o teste de integridade da mensagem recebida (CHECK).
- **PVR:** por esta entrada chegam os bytes das mensagens recebidas. Serve para a Máquina de Controle sincronizar o procedimento de recepção através do

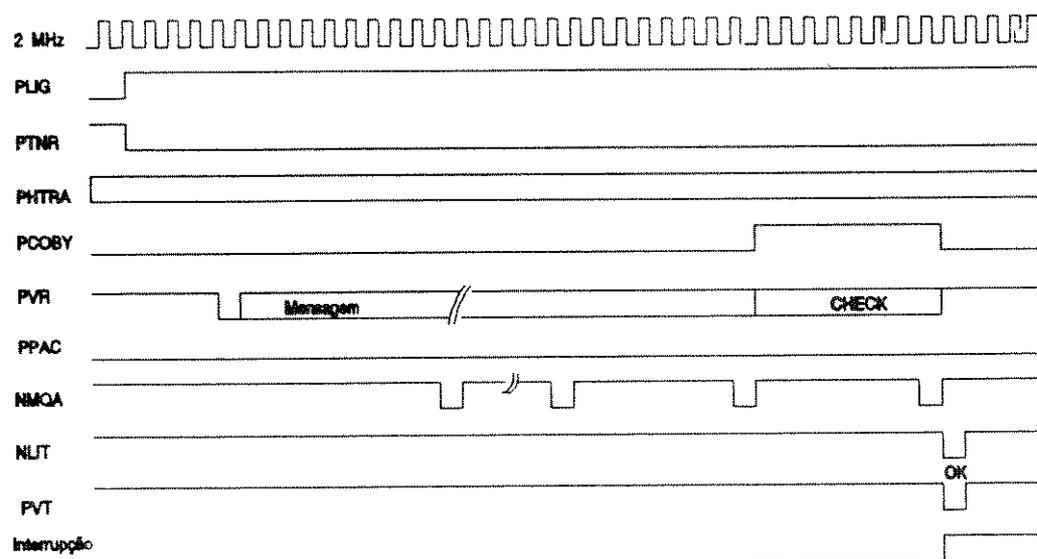


Figura 5.23: Diagrama de tempo da recepção de mensagem pela UCC

"start bit" que inicia cada mensagem. Na transmissão, serve para a Máquina de Controle receber os caracteres de confirmação que fazem parte do protocolo (OKPAC, NOKPAC, OK e NOK, respectivamente, "destino disponível", "destino indisponível", "mensagem OK" e "mensagem não OK")².

² O OKPAC consiste num pulso de dois bits (um bit equivale a um ciclo de 2,048 MHz) de em nível lógico zero. O NOKPAC consiste de um pulso de mais de dois bits em nível zero. O OK consiste de um pulso de um bit em nível zero e o NOK é caracterizado por um pulso de dois bits em nível zero.

Saídas:

- *NCLSI*: este sinal é responsável por inicializar todos os circuitos do entorno da Máquina de Controle no começo e no final de uma transmissão ou recepção. Por exemplo, na fase hardware o contador interno ao bloco Buffer de Mensagens é inicializado por este sinal, assim como a liberação das UIP's no final de uma comunicação.
- *NMQA*: este sinal durante a transmissão determina a leitura de cada byte no Buffer de Mensagens e a correspondente transferência para o Registro de Entrada e Saída, onde são descarregados serialmente. Na recepção a função é contrária, ou seja, efetua a leitura de cada byte recebido no Registro de Entrada e Saída e armazena o conteúdo no Buffer de Mensagens.
- *PPAC*: este sinal identifica no processo de transmissão quando é para ser enviado o Segmento de Identificação e quando é para ser enviado o Pacote (mensagem).
- *NLIT*: este sinal controla a transmissão de caracteres e mensagens pela UCC, ou seja, para que qualquer informação seja enviada é necessário que este sinal esteja ativo.

5.5 BI Dedicado de Sinalização (BIDS)

Quando um BI envia uma mensagem a outro, o mesmo procedimento é realizado a nível do BI, independentemente do destino estar ou não residente na mesma Unidade de Controle. O Sistema Operacional (SO) ao receber uma mensagem de um BI analisa o campo de identificação do BI destino que integra o cabeçalho da mensagem. Sendo a mensagem destinada a um BI associado ao mesmo Processador, o SO se encarrega de copiar a mensagem para a *fila de mensagem* do BI correspondente. Caso o BI destino não pertença ao conjunto de BI's configurados no mesmo Processador, o SO copia a mensagem para a fila de

mensagem de um BI específico, o BIDS (BI Dedicado de Sinalização). Assim, também para o SO, o procedimento de transferência de uma mensagem para um BI remoto é basicamente o mesmo, porque o BIDS se comporta como um BI "multi endereçado", ou seja, o BIDS aceita mensagens com qualquer identificação. Portanto, as características distribuídas do sistema ficam ocultas também para o Sistema Operacional.

O BI Dedicado de Sinalização (BIDS) constitui-se na entidade software presente em cada Unidade de Controle, que trata dos aspectos específicos de comunicação externa. O BIDS em conjunto com o CIDS e a Rede Intermodular formam uma máquina virtual, dando a ilusão, para os demais BI's e o correspondente SO, de um sistema centralizado. É de interesse que um BI ao se comunicar não necessite saber onde está localizado o outro. Essa característica permite ao BI adaptar-se a qualquer arquitetura de controle, provendo modularidade e flexibilidade de configuração.

Essencialmente, a função do BIDS é exercer a interface entre o SO e o CIDS. A Figura 5.24 representa a estrutura interna do BIDS. A rotina de

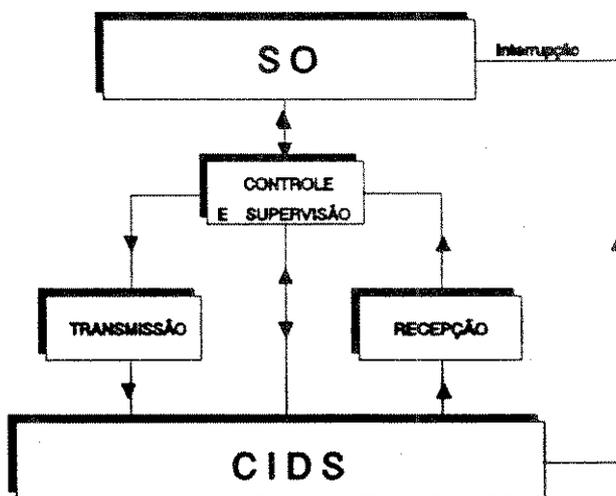


Figura 5.24: Esboço da estrutura interna do BIDS

Controle e Supervisão funciona como um núcleo que realiza a interface entre o SO e os demais blocos internos ao BIDS, no que diz respeito a ativação de tarefas e transferência de dados. A parte de supervisão é responsável por inicializar, supervisionar e tratar os estados anormais do CIDS. Dentro da rotina de Controle e Supervisão existem contadores de sucessos e insucessos de transmissão e recepção associados a cada um dos Planos de Sinalização, que servem como subsídio para o acompanhamento do estado operacional do CIDS, conforme está descrito do Capítulo 6, item 6.6.4 - "Supervisão Dinâmica de Falhas". Além dos contadores de supervisão, a rotina de Controle e Supervisão associa uma temporização a cada procedimento de transmissão ou de recepção de mensagem em curso no CIDS, de forma que, uma vez ultrapassado o tempo máximo estipulado para o evento, possa ser disparado procedimentos para que seja abortado a comunicação, liberado o CIDS e computado a ocorrência da anomalia.

A rotina de Transmissão é ativada no processo de transmissão de uma mensagem externa. Ela é encarregada de transferir, num formato definido para a Rede, as mensagens carregadas na fila de mensagens do BIDS para o buffer de transmissão do CIDS (quando este esteja disponível). A rotina de Transmissão pode ser ativada pelo SO através da rotina de Controle e Supervisão, em decorrência de interrupções periódicas (relógio de tempo real associado ao núcleo do Sistema Operacional), ou em função da carga de uma mensagem na fila de mensagem do BIDS (comando SEND), ou ainda por interrupção de fim de transmissão ou fim de recepção de mensagem (depois de lida a mensagem do buffer de recepção correspondente), provocada pelo CIDS. Em cada um destes casos, a rotina de Transmissão antes de tomar uma mensagem da fila (comando RECEIVE) inspeciona o estado do CIDS para ver se este está apto (não há outra comunicação em curso, há buffer de transmissão disponível, etc) para promover a transmissão de mensagem.

A rotina de Recepção, por outro lado, é ativada pelo SO, também através do rotina de Controle e Supervisão, em decorrência de uma interrupção de

recepção de mensagem. A função da rotina de Recepção é de ler a mensagem do buffer de recepção correspondente e repassá-la ao SO (SEND).

5.6 Protocolo de Comunicação

Quando um BI A envia uma mensagem para um BI B situado em uma Unidade de Controle distinta, parte do protocolo de transmissão é realizado por software e outra por hardware.

5.6.1 Protocolo Software

Quando um BI deseja enviar uma mensagem, a mensagem é entregue ao SO (SEND). O SO ao tomar a mensagem verifica no seu cabeçalho a identificação do BI destino. Se a transmissão for interna, ou seja, o BI destino reside na mesma Unidade de Controle, o SO executa todo o procedimento de transferência ao colocar a mensagem na fila de mensagem do BI correspondente. Em contrapartida, se a transmissão for remota o SO coloca a mensagem na fila de mensagem do BIDS.

Quando o BIDS é ativado para uma tentativa de transmissão e o CIDS está disponível, a primeira mensagem é retirada da fila (RECEIVE) e carregada no buffer de transmissão do CIDS. Com isso, uma Solicitação de Via é ativada na Rede Intermodular e em paralelo uma temporização limite para a transmissão da mensagem é disparada. Se ao término desta temporização a mensagem não foi transmitida, a transmissão é abortada e o fato é comunicado a um BI gerenciador de falhas internas, que recebe conjuntamente o cabeçalho da mensagem para a devida identificação dos elementos envolvidos. Através de um histórico estatístico é possível determinar se o problema da não transmissão é o destino, o próprio CIDS ou a Rede.

Se no momento em que o BIDS foi ativado para uma tentativa de transmissão o CIDS está indisponível, a tentativa de transmissão é postergada para uma nova ativação. A transmissão de uma mensagem carregada no buffer de transmissão do CIDS é comunicada por uma interrupção.

Em uma recepção, depois da mensagem estar pronta para ser lida, o CIDS da mesma forma gera uma interrupção no Processador. Todas as interrupções são primeiramente atendidas pelo SO, que ao verificar que a causa é o CIDS, ativa o BIDS para o devido tratamento. No caso da interrupção ser de transmissão o BIDS é ativado para retirar a interrupção e realizar uma tentativa de transmissão, no caso de haver mensagem na sua fila de mensagem. A temporização correspondente à mensagem transmitida é desativada. Se a interrupção é de recepção, o BIDS busca a mensagem no buffer de recepção do CIDS e a entrega ao SO (SEND) para ser colocada na fila de mensagem do BI destino.

Conforme já salientado no item anterior, a cada mensagem externa recebida ou transmitida, ou por escalção periódica do SO, o BIDS varre sua fila de mensagem. Caso haja mensagem, o BIDS trata de desencadear o processo de tentativa de transmissão.

5.6.2 Protocolo Hardware

Após o BIDS ter carregado uma mensagem no buffer de transmissão do CIDS e ativado a Solicitação de Via para a Rede, o CIDS está pronto para enviar a mensagem. Para isso, é aguardada a alocação de uma Via de Comunicação pela Rede, decorrente da Varredura da Solicitação de Via por um Alocador.

Quando um Alocador no seu processo de Varredura detecta uma Solicitação, uma Palavra de Habilitação de Transmissão é enviada para o CIDS correspondente identificando por qual Via de Comunicação deve ser efetuada a transmissão. O CIDS transmissor ao receber a habilitação, suspende a Solicitação e envia o Segmento de Identificação pela Via de Comunicação alocada.

O Segmento de Identificação leva o Alocador a informação do tamanho da mensagem e a identificação do Módulo destino. O Alocador ao receber essa informação envia uma Palavra de Habilitação de Recepção ao CIDS do Módulo destino, estabelecendo a conexão deste à mesma Via de Comunicação previamente alocada ao CIDS origem. Assim, é efetivado um caminho físico entre origem e destino. O Alocador depois disto ativa uma temporização proporcional ao tamanho da mensagem para que possa liberar a conexão realizada e retomar a Via de Comunicação alocada. Se houver Via de Comunicação disponível o Alocador retorna à Varredura, caso contrário aguarda até que uma seja desocupada.

Se o CIDS destino está disponível ao ser habilitado para recepção, envia um OKPAC ao CIDS origem para que este envie o pacote da mensagem. Caso contrário, envia um NOKPAC e então o CIDS origem volta a ativar a Solicitação de Via para que seja desencadeado uma nova tentativa de transmissão.

O CIDS origem ao enviar o pacote da mensagem, como já foi visto, realiza uma lógica de embaralhamento dos bits da mensagem de forma a resultar o byte de redundância (CHECK), acrescentado ao final da mensagem, utilizado pelo CIDS destino para investigar a integridade da informação recebida. Através do "start bit" que encabeça o envio da mensagem seguido pelo tamanho da mensagem, o CIDS destino sincroniza o início e o fim da transmissão. Com uma operação de desembaralhamento, inversa ao realizado pelo CIDS origem, a mensagem é recuperada pelo CIDS destino ao mesmo tempo em que verifica no final da recepção se a mensagem recebida está consistente. Se o resultado é positivo, um OK é enviado ao CIDS origem e uma interrupção de recepção é ativada no Processador. O caracter OK ao chegar no CIDS origem determina a ativação de uma interrupção de transmissão no correspondente Processador. Caso haja insucesso no teste da mensagem realizado pelo CIDS destino, um NOK é enviado para o CIDS origem e a mensagem é descartada pelo CIDS destino que libera a sua conexão com a Via de Comunicação e fica disponível para qualquer outra comunicação. O CIDS origem ao receber o caracter NOK também libera

a sua conexão à Via de Comunicação e reativa a sua Solicitação de Via para uma nova tentativa de transmissão.

O número de tentativas de transmissão que pode ser efetivado com relação a uma mensagem é dependente da temporização de transmissão estabelecida e da taxa de visitação dos Alocadores. A disponibilidade de Alocadores depende do número de Planos de Sinalização e do tráfego demandado. O dimensionamento do sistema deve proporcionar uma temporização de transmissão e um número de Planos que garanta um grau de visitação dos Alocadores de modo que se tenha uma alta probabilidade de transmissão das mensagens.

O diagrama de fluxo de eventos apresentado na Figura 5.25 reproduz as relações lógicas e temporais que ocorrem entre as entidades participantes de uma tentativa de transmissão bem sucedida de uma mensagem entre BI's alocados em Unidades de Controle distintas.

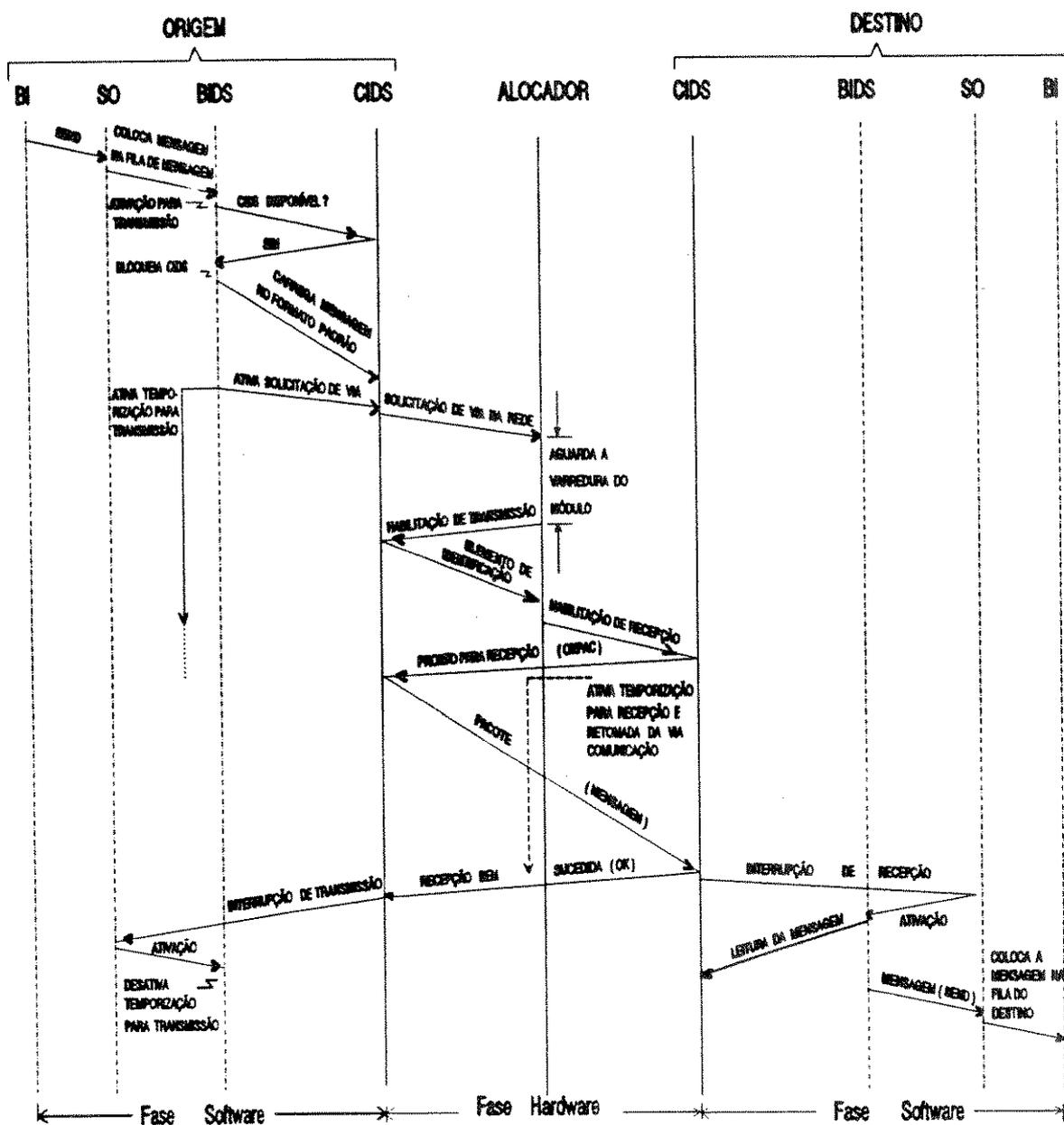


Figura 5.25: Diagrama de fluxo de eventos de uma transmissão de mensagem

REFERÊNCIAS

- [1] ZUFFO, J.A., *"Sistemas Digitais e Circuitos de Pulso"*. Edgar Blucher - Editora da USP. São Paulo, 1974.
- [2] DIAZ, V.A.V., *"Error Detecting Code For a Digital Transmission System Based on a Descrambler-Scrambler Configuration"*. International Symposium On Information and Coding Theory. Campinas, Julho de 1987.

Capítulo 6
Estrutura de Controle
Sistema TRÓPICO RA

CAPÍTULO 6

6 ESTRUTURA DE CONTROLE DO SISTEMA TRÓPICO RA

6.1 Introdução

Entende-se como Estrutura de Controle toda a parte do sistema que é encarregada de exercer o controle de processamento e de armazenamento das informações, relativas as funções desenvolvidas internamente ao equipamento. O Sistema TRÓPICO RA foi concebido tendo como característica fundamental o fato de ter seu controle distribuído, eliminando-se a necessidade de uma grande unidade processadora central. O seu controle é realizado por um número dimensionável de processadores, integrados entre si, que atuam na execução das funções alocadas dentro do conjunto de Módulos que constituem o sistema.

6.2 Controle Distribuído

A seguir, são descritas as características principais do Sistema de Controle Distribuído.

6.2.1 Conceitos

Controle Distribuído diz respeito a repartição da carga de processamento de informação dentro de um sistema entre vários processadores inter-relacionados.

A distribuição do controle pode ser de três tipos:

- Hierárquica
- Funcional
- Total

Cada um destes tipos tem suas vantagens e inconvenientes. Na prática, as centrais do Sistema TRÓPICO RA apresentam uma combinação dos três tipos de distribuição, com o objetivo de somar suas vantagens e minimizar seus inconvenientes.

A *distribuição hierárquica* é utilizada a nível de Módulos, onde as funções de ordem inferior, para a exploração de tarefas e aplicações elementares, podem ser decompostas em um pequeno grupo de microprocessadores, tal que as funções de ordem superior se centralizam de uma forma crescente na Unidade de Controle do Módulo.

A distribuição hierárquica limita os efeitos das falhas a baixo nível, porém é vulnerável a níveis altos.

No caso de *distribuição funcional*, a carga total de trabalho associada a uma função está dividida em funções discretas. Cada uma destas funções discretas é executada para a central, como um todo, por uma Unidade de Controle. Com isso, não existe a mesma função sendo executada por mais de um elemento.

Visto que há só uma Unidade de Controle designada para cada tipo de função, sua falha afetará o funcionamento da central em toda a sua extensão. Para o sistema não ficar vulnerável diante da falha destas unidades, a estratégia utilizada é implementar essa classe de controle somente para as funções não essenciais ao sistema, cuja falta, por algum período breve de tempo, não afeta a execução das funções fundamentais do equipamento (tais como, o tráfego telefônico).

A *distribuição total* proporciona a melhor proteção contra falhas. Esta proteção se executa fazendo-se que cada Unidade de Controle contenha o mínimo de recursos necessários para a realização autônoma de todas as suas funções, porém para um número limitado de atividades e usuários. O fluxo essencial de

dados que deve ser estabelecido com o restante do sistema, é executado com grupos de elementos alternativos, também funcionando numa distribuição total do controle.

As centrais do Sistema TRÓPICO RA usam uma combinação de controle distribuído total e hierárquico para a maior parte de suas funções e um controle distribuído funcional para algumas funções de supervisão e de suporte. As funções de controle podem ser classificadas como *funções essenciais* ou *não essenciais*, conforme seja o modo com que elas participam e interferem nos serviços telefônicos.

De maneira geral, as funções essenciais devem estar sempre disponíveis ao sistema, mesmo em presença de falhas que provoquem a degradação potencial dos serviços. Entretanto, podem existir no sistema funções essenciais que não estão acompanhadas de mecanismo de segurança contra falhas. Nestes casos, a falta do controle afeta um pequeno número de usuários, tendo um efeito bastante localizado. As funções não essenciais são aquelas que mesmo fora de operação não afetam diretamente os serviços telefônicos.

A Estrutura de Sinalização é o núcleo básico do Sistema TRÓPICO RA e reúne todas as características específicas de controle distribuído. As Unidades de Controle de cada Módulo se comunicam entre si através da Rede Intermodular usando uma estrutura dedicada, especificamente, para o tráfego de informação tipo mensagens. Cada Módulo contém seus próprios programas e dados, e operam assincronamente.

6.2.2 Organização

As funções de controle distribuído são desempenhadas pelas Unidades de Controle que compõem os Módulos da central. O controle de cada Módulo se exerce em duas classes:

- Controle terminal: localizado em módulos específicos para aplicações de interface com os diferentes terminais telefônicos e não telefônicos de uma central.
- Controle Auxiliar: serve de suporte ao controle terminal executando as funções de maior nível (funções sistêmicas).

Ao Módulo é dado um nome de acordo com suas funções principais. Podem ser, por exemplo:

- Módulos de Terminais (MT), para interfaceamento com a rede telefônica (tanto analógica como digital);
- Módulo de Operação e Manutenção (MO): para interfaceamento com o meio externo no aspecto de operação e manutenção. Nesta função também se provê entrada e saída para o controle de dispositivos (discos rígidos, disco flexível, fita magnética) e periféricos (terminais de vídeo, impressoras, teleimpressoras, etc), para administração, gerência de recursos e tabelas de códigos.
- Módulos Auxiliar (MA): corresponde aos Módulos dedicados, principalmente, as funções de processamento e armazenamento de informação. Pode, por exemplo, ser utilizado para extensão do MO, para tratamento de serviços suplementares de chamadas de assinantes com serviços especiais.

- Módulos de Interconexão (MI): os Módulos de Interconexão correspondem às funções associadas a interconexão do conjunto de Módulos que configuram o equipamento. Fisicamente, referem-se ao nó central da topologia híbrida Barramento-Estrela que caracteriza o sistema. O Alocador de um Plano de Sinalização, a Matriz de Comutação de um Plano de Comutação da Estrutura de Voz, o Gerador de Sincronismo de um Plano de Geração de Sincronismo da Estrutura de Sincronismo, são as funções que, essencialmente, constituem um Módulo de Interconexão. Essas funções podem estar agrupadas num única Módulo, ou então ocuparem Módulos de Interconexão exclusivos.

As Unidades de Controle (UC), em geral, se conectam da mesma forma à Rede e compreendem (veja Figura 6.1):

- Processador;
- Memória;
- Circuito Dedicado para conexão à Rede (CIDS).

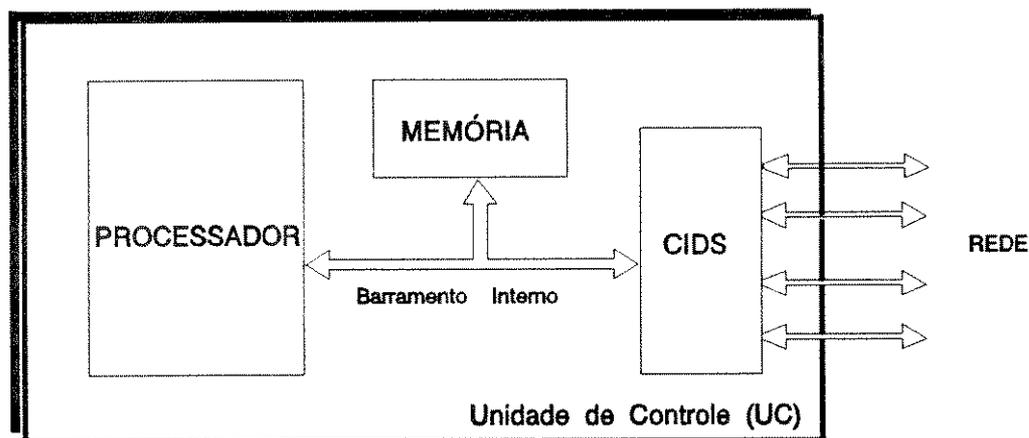


Figura 6.1: Diagrama em Blocos da Unidade de Controle

Cada UC tem um barramento externo que é utilizado segundo a sua aplicação.

Ainda que a combinação dos três tipos de controle distribuído descritos anteriormente tenha uma grande segurança de processamento, a confiabilidade do sistema pode ser melhorada da seguinte forma:

- Limitando o âmbito de influência de cada Módulo, de modo que a falha de um Módulo não tenha impacto no funcionamento global da central e nenhum efeito nos demais Módulos;
- Equipando os grupos de Módulos de funções auxiliares na central à razão de "n+1" Módulos por grupo, onde "n" é a quantidade necessária de Módulos ao que se adiciona um Módulo de reserva por grupo;
- Equipando módulos na central na razão 2n ou 3n, dependendo do grau de importância da função executada.

Com a combinação de redundância de funções e a distribuição do controle se obtém muitas vantagens. As principais são:

- Não se produz falha total na central;
- A falha de um módulo não duplicado tem um impacto limitado na central;
- Alta margem dinâmica de capacidade de controle;
- Possibilidade de reduzir a carga nos processadores aumentando seu número (partição de carga);

- As ampliações e modificações podem ser feitos com facilidade e segurança;

6.3 Configuração Funcional

A seguir descrevem-se os aspectos funcionais dos equipamentos.

6.3.1 Configuração da Rede Intermodular

A Rede Intermodular do Sistema TRÓPICO RA foi definida tendo as seguintes características funcionais, configuráveis:

- De dois a quatro Planos de Sinalização;
- De meia a quatro Páginas por Plano de Sinalização;
- De 1 a 64 Barramentos de Sinalização;
- Seis Vias de Comunicação a 2 Mbps por Plano.

Os Planos são todos idênticos, autônomos, e trabalham em partição de carga do tráfego cursado pela Rede. O limite de quatro Planos de Sinalização provê um sistema capaz de atender uma ampla faixa de tamanhos de centrais e com possibilidade de satisfazer uma ampla gama de aplicações.

Para atender o requisito de confiabilidade, fundamental para uma central telefônica, foi estabelecido que qualquer equipamento Sistema TRÓPICO RA deve ter o seu dimensionamento prevendo um Plano de Sinalização de redundância. Os requisitos de desempenho em condições nominais e em sobrecarga, devem ser

garantidos mesmo estando com um Plano de Sinalização fora de serviço. Assim, toda central tem configurada um mínimo de dois Planos de Sinalização.

O conceito de Plano de Sinalização satisfaz, portanto, dois requisitos:

- O potencial da Rede pode ser dosado à demanda real de cada aplicação;
- A confiabilidade é garantida pela independência e a redundância de Planos.

Da mesma forma que a quantidade de Planos de Sinalização pode ser definida de acordo com os requisitos de tráfego do equipamento, a estrutura interna dos Planos apresenta também um grau de liberdade para dimensionamento dos seus recursos. Esse grau de liberdade diz respeito ao parâmetro "número de Módulos que constituem o equipamento" refletido no conceito de Página e Semi-Página.

Cada Página, composta por duas Semi-Páginas, comporta até 256 Módulos. A Semi-Página é a unidade de crescimento do Plano e provê a conexão de até 8 Barramentos de Sinalização. Assim, o Plano pode, a partir de uma única Semi-Página crescer, gradualmente, até o limite de oito Semi-Páginas (quatro Páginas), o que permite interconectar até 1024 Módulos.

A Figura 6.2 ilustra a forma de crescimento da Rede Intermodular, tendo como parâmetros o número de Planos de Sinalização, associado ao "tráfego" (vertical), e a configuração de Páginas, associada ao parâmetro "número de Módulos" (horizontal). A medida em que o tráfego cresce, é necessário aumentar o número de Planos de Sinalização. Por outro lado, o aumento no número de Módulos implica no aumento do número de Páginas (ou simplesmente, Semi-Páginas).

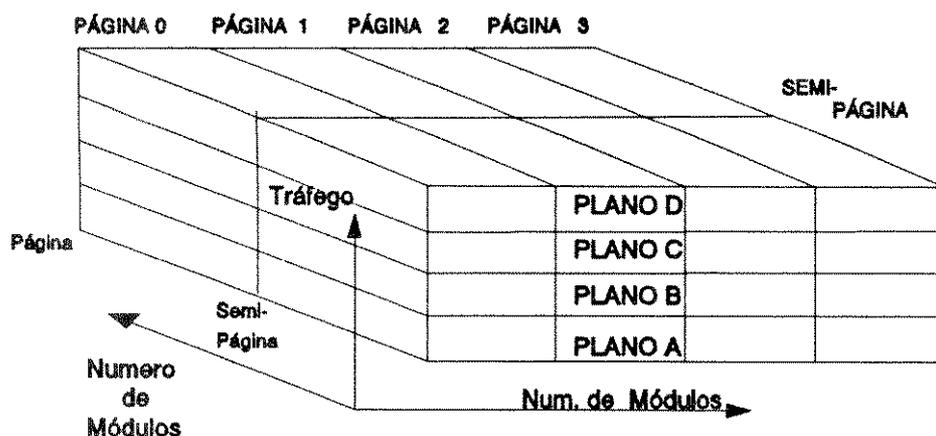


Figura 6.2: Modelo de Crescimento do Sistema

6.3.2 Configuração do Plano de Sinalização

Cada Plano de Sinalização tem seus recursos controlados pelo respectivo Alocador. O Alocador de cada Plano é instalado dentro de um Módulo classificado como *Módulo de Interconexão*. Dentro do Módulo de Interconexão o Alocador ocupa o *SubMódulo de Sinalização (SMS)*, a partir de onde se realizam todas as funções de controle e alocação das Vias de Comunicação.

Para proporcionar uma quantidade de recursos proporcional ao tamanho de cada equipamento, o critério utilizado para definir o empacotamento do Alocador foi o de contemplar um núcleo mínimo com todas as funções necessárias, que pudesse ser ampliado gradualmente.

O conceito de Página (e Semi-Página) está diretamente relacionado a configuração física do Alocador. Do Alocador podem derivar até 64 Barramentos de Sinalização associados ao máximo de quatro Páginas ou, de maneira equivalente, a até 8 Semi-Páginas.

6.3.3 Configuração do Barramento de Sinalização

O Barramento de Sinalização se constitui no meio de ligação dos Módulos ao Plano de Sinalização. Os até 64 Barramentos de Sinalização que fisicamente derivam do Alocador, logicamente, se comportam como um único barramento interligando todos Módulos. Isso porque, toda a informação que é emitida por qualquer Via de Comunicação se propaga alcançando todos os Módulos, indistintamente de qual Barramento de Sinalização e de qual Página estejam.

O Barramento de Sinalização é constituído por:

- Seis Vias de Comunicação;
- Via de Solicitação;
- Via de Habilitação;
- Via de Relógio;
- Via de Sincronismo.

Dentro do Barramento de Sinalização, cada Módulo tem a sua disposição as seis Vias de Comunicação. As Vias de Comunicação operam a 2 MHz (2 Mbps), e são organizadas em pares (total de três pares), sendo que cada par está multiplexado num mesmo meio físico (par de fios trançados) à 4 MHz. A Figura 6.3 ilustra o compartilhamento do meio físico por um par de Vias de Comunicação.

Cada Módulo, quando deseja transmitir uma mensagem, requisita uma Via de Comunicação ao Alocador através da Via de Solicitação. Dentro da Via de Solicitação a janela de solicitação, exclusivamente destinada a cada Módulo, tem duração de um ciclo de 2 MHz.

A Via de Habilitação transporta as Palavras de Habilitação a uma frequência de 4 MHz. A Via de Relógio transporta um relógio na frequência de 4 MHz (4M)

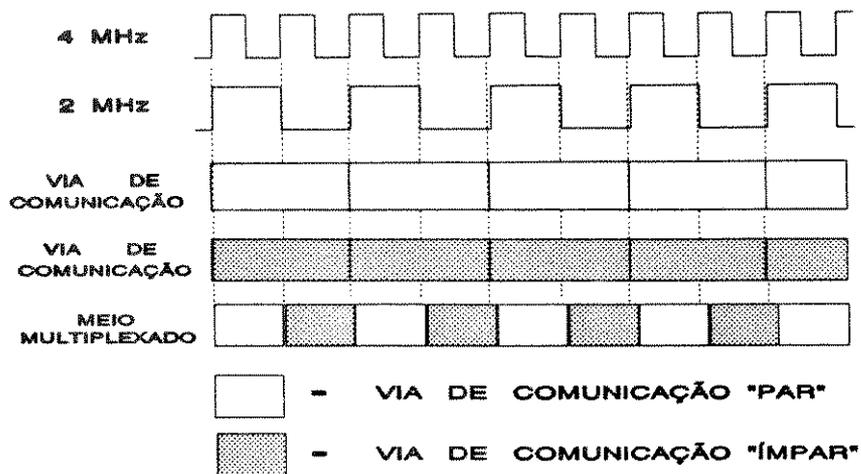


Figura 6.3: Multiplexação do Meio por Duas Vias de Comunicação

responsável por sincronizar todos os Módulos ao Barramento e determinar a cadência com que se propagam todos os demais sinais. A Via de Sincronismo transporta uma referência de sincronismo de quadro a cada $125 \mu\text{s}$. O sincronismo de quadro (SQ) serve para determinar o sincronismo de cada Módulo em relação à Via de Habilitação (amostragem das Palavras de Habilitação) e também em relação à Via de Solicitação (para definir a posição da janela de solicitação).

6.3.4 Configuração das Unidades de Controle

Entende-se por Unidade de Controle (UC) como sendo o conjunto de recursos hardware destinados ao controle de cada um dos Módulos que constituem o sistema. De maneira geral, poderia-se definir uma única Unidade de Controle genérica para desempenhar todas as funções de controle nas diversas aplicações dos diferentes Módulos. Entretanto, por questões de custo e simplicidade, foram concebidas três classes de Unidades de Controle, para melhor adequação às aplicações existentes no sistema, denominadas:

- *Unidade de Controle Terminal (UCT);*
- *Unidade de Controle Genérica (UCG);*

- *Unidade de Controle Alocador (UCA).*

Basicamente, o que distingue as três implementações é a flexibilidade de configuração quanto às características de processamento, armazenamento de informação, capacidade de cursar tráfego de mensagens e dos correspondentes Circuitos de Aplicação. As duas primeiras, Unidade de Controle Terminal e Unidade de Controle Genérica, são consideradas padrões para diversas aplicações, enquanto que a Unidade de Controle Alocador é específica unicamente para uma aplicação junto ao Alocador.

Teve-se o cuidado, de mesmo com as diferentes características existentes entre as Unidades de Controle Terminal e Genérica, de seus Sistemas Operacionais disporem de uma mesma interface software com a aplicação. Dessa maneira, qualquer programa pode ser executado indistintamente em quaisquer das duas implementações.

O terceiro tipo de Unidade de Controle, denominada Unidade de Controle Alocador, é uma aplicação bem particular, ao contrário da demais. A UCA foi desenvolvida especialmente para o controle e supervisão do Alocador e da configuração dos recursos do Plano de Sinalização correspondente. Essa função poderia muito bem ser desempenhada por uma Unidade de Controle Terminal padrão, entretanto por questões de simplificação e barateamento do empacotamento elétrico-mecânico, foi conveniente implementar uma UC particular.

O Alocador é um elemento exclusivamente voltado ao controle de alocação dos recursos de comunicação do Plano em que está integrado. Toda as informações relativas a configuração e supervisão dos recursos do Plano são intercambiadas através da Unidade de Controle Alocador com o Gerenciador de

Sinalização (GSINA)¹, localizado no Módulo de Operação e Manutenção (MO) ou num Módulo Auxiliar (MA).

a) Unidade de Controle Terminal

A Unidade de Controle Terminal tem sempre associados circuitos terminais e constitui uma implementação compacta e de recursos otimizados. É utilizada em Módulos que têm nos Circuitos de Aplicação funções terminais, telefônicas ou não telefônicas, que não dependem de uma grande capacidade de processamento, armazenamento de informação, ou de tráfego de mensagens através da Rede Intermodular.

O controle do terminal (Circuitos de Aplicação) se realiza mediante um barramento paralelo que permite acessar os dispositivos externos para a transferência de dados e comandos do Processador. Este barramento constitui uma extensão do barramento interno ao Processador. A Figura 6.4 mostra a configuração de um Módulo com uma Unidade de Controle Terminal.

A Unidade de Controle de Terminal teve seu CIDS configurado com uma única Unidade de Controle de Comunicação (UCC) comum a todos os Planos (até quatro UIP's). Dessa forma, só pode ser estabelecida uma comunicação por vez. Ao estar se desenvolvendo uma comunicação por um Plano de Sinalização, o Módulo está indisponível para uma outra comunicação por qualquer dos demais Planos. Outra característica da implementação, é que enquanto o Processador está acessando a UCC numa carga ou leitura de uma mensagem, o Módulo se encontra indisponível (BLOQUEADO) para todos os Planos.

¹ O GSINA é o BI software encarregado da gerência e supervisão dos recursos da Estrutura de Sinalização. É um elemento que centraliza o estado global da rede, no sentido que apresenta internamente a configuração e o estado atual de todos os Planos de Sinalização e da condição de acesso à Rede de todas as Unidades Controle.

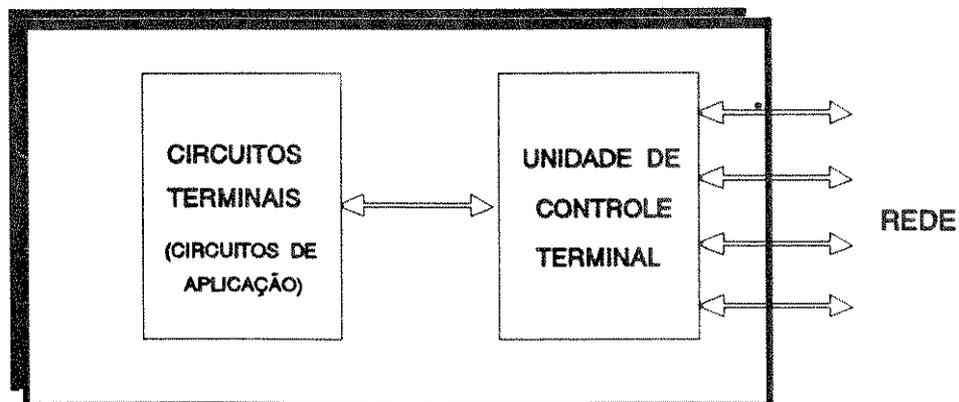


Figura 6.4: Diagrama de Contorno da Unidade de Controle Terminal

As características descritas anteriormente, podem parecer críticas, entretanto se mostram praticamente insensíveis para o sistema, visto que a Unidade de Controle Terminal não foi concebida para aplicações que curse muito tráfego. O CIDS, no caso, permite o acesso a uma Via de Comunicação por vez (2 Mbps), o que é bastante suficiente para a maior parte das aplicações de uma central telefônica. Além do mais, o tempo e a frequência em que o Processador ocupa a UCC para a manipulação de mensagens é muito pequeno (aproximadamente 0,5 μ s por byte da mensagem) e desprezível relativamente ao tempo total disponível. Outro ponto a ser salientado, é que quando um CIDS transmissor encontra o destino ocupado, ocorre tentativas automáticas de transmissão, o que efetivamente permite a transferência da mensagem posteriormente a um insucesso.

b) Unidade de Controle Genérica

A Unidade de Controle Genérica foi concebida para atender múltiplas aplicações, provendo as seguintes características:

- Alto potencial de processamento;
- Grande capacidade de armazenamento de informação;

- Alta capacidade de tráfego de mensagens;
- Flexibilidade de configuração de funções;

A Unidade de Controle Genérica é constituída por um conjunto de blocos funcionais bem definidos, unidos entre si por um barramento interno de alta velocidade que foi especificado para poder trabalhar com dispositivos de 8, 16 ou 32 bits e atender uma ampla gama de aplicações. O barramento interno da Unidade de Controle Genérica constitui sua principal característica funcional, visto que a sua definição teve como diretriz atender todas as aplicações previstas para o sistema, com características de grande desempenho, além de estar preparada para acompanhar a evolução tecnológica.

A característica modular da Unidade de Controle Genérica foi conseguida realizando um empacotamento elétrico dos seus blocos funcionais em placas específicas, unidas pelo barramento interno ou uma extensão do mesmo. A função Processador, com capacidade de multiprocessamento, é suportada por um microprocessador de 16 ou 32 bits, e empacotada numa placa em conjunto com um mínimo de memória. A sua memória pode ser expandida utilizando-se um número adequado de placas de memória conforme a aplicação.

A interconexão com a Rede Intermodular é realizada através de placas que permitem o acesso independente a cada um dos Planos de Sinalização, visto que para cada Plano se tem um conjunto UCC+UIP, exclusivo. Assim, é possível a efetivação simultânea de comunicação em todos os Planos instalados.

Os Circuitos de Aplicação associados à Unidade de Controle Genérica, compartilham o mesmo barramento interno, funcionando unicamente como uma extensão funcional. Dentro dos Circuitos de Aplicação podem constar outros processadores trabalhando em multiprocessamento, com capacidade até mesmo de acessar a Rede Intermodular.

c) Unidade de Controle Alocador

A Unidade de Controle Alocador foi desenvolvida aproveitando sua localização particular junto ao Alocador, e também de ser voltada unicamente para essa aplicação. Essas características permitiram simplificar a implementação e também dispensar algumas funções existentes na Unidade de Controle Terminal, conforme estão destacadas a seguir:

- Unidade de Controle Alocador foi especificada para ter acesso para comunicação unicamente ao Plano de Sinalização em que está integrada;
- O Barramento de Sinalização é acessado diretamente através do Barramento Interno do Alocador;
- Os programas estão sempre residentes em memória não volátil (não haveria necessidade de carga de programa);
- A quantidade de memória necessária para o armazenamento dos programas e dados é bastante reduzida.

6.4 Descrição Física

6.4.1 Placas do Alocador

O empacotamento eletro-mecânico dos circuitos que implementam as funções do Alocador, na primeira versão comercial do Sistema TRÓPICO RA, foi realizado em três tipos diferentes de placas:

- CSP (Controlador de Sinalização Paginado) ou CSI (Controlador de Sinalização);

- ECV (Estágio Concentrador de Vias);
- ECC (Estágio Concentrador de Controle).

Essas placas trabalham em conjunto, tendo cada uma delas funções bem específicas e recursos dimensionados para a interconexão de um determinado número de Módulos, sendo possível agregarem-se placas conforme as características de cada equipamento. Todas essas placas são unidas entre si através do Barramento Interno do Alocador.

O núcleo mínimo que pode configurar o Alocador é formado por uma placa CSP e uma placa ECV (CSP+ECV). Essa configuração constitui a Semi-Página 0. Uma Semi-Página consiste de até 8 Barramentos de Sinalização, podendo conter até 20 Módulos por Barramento (limite determinado pela tecnologia de componentes utilizada para acoplamento ao Barramento).

Acrescentando-se à Semi-Página 0 uma outra placa ECV compõe-se a Página 0, com capacidade para até 16 Barramentos de Sinalização e 256 Módulos. A partir da Página 0 a cada uma das demais Páginas que são configuradas se associa uma placa ECC em conjunto com uma ou duas placas ECV's. A tabela a seguir indica o número de placas CSP, ECV e ECC nas configurações do Plano de Sinalização. A placa CSI não está sendo citada por ser uma implementação provisória e ter capacidade somente de uma Página.

Número de PÁGINAS	Número de SEMI-PÁGINAS	Número de BARRAMENTOS	Configuração de Placas		
			CSP	ECV	ECC
1 (PÁGINA 0)	1	1 a 8	1	1	0
	2	9 a 16	1	2	0
2 (PÁGINA 1)	3	17 a 24	1	3	1
	4	25 a 32	1	4	1
3 (PÁGINA 2)	5	33 a 40	1	5	2
	6	41 a 48	1	6	2
4 (PÁGINA 3)	7	49 a 56	1	7	3
	8	57 a 64	1	8	3

a) Placa CSP

Com relação à função do Alocador, a placa CSP tem integrada internamente toda a função Controlador (veja Capítulo 4, item 4.4), e também parte da função do bloco Concentrador de Controle equivalente à Página 0 (Semi-Páginas 0 e 1)(veja Capítulo 4, item 4.3). Assim, para completar a função de Alocador para a Semi-Página 0 basta uma placa ECV, e para a Página 0, duas ECV's. A placa CSP também possui implementada internamente toda as funções da Unidade de Controle Alocador (UCA).

b) Placa ECV

A placa ECV apresenta implementado internamente parte do bloco Concentrador de Vias e do bloco Distribuidor de Sincronismo (veja Capítulo 4, item 4.3). Os recursos da ECV equivalem para composição de uma Semi-Página, ou seja, provê o conjunto de Vias de Comunicação e Enlaces de Sincronismo para a instalação de até 8 Barramentos de Sinalização.

c) Placa ECC

A placa ECC é instalada em equipamentos compostos por mais de uma Página. A ECC incorpora parte do bloco Concentrador de Controle para suprir até 16 Enlaces de Controle em correspondência aos 16 Barramentos de Sinalização.

6.4.2 Placas da Unidade de Controle de Terminal

A Unidade de Controle Terminal, na primeira versão comercial do Sistema TRÓPICO RA, compreende dois tipos de placas (veja Figura 6.5):

- CTE (Controlador de Terminais);
- DAP (Duplo Acesso a Planos).

a) Placa CTE

A CTE é uma placa processadora que possui internamente, essencialmente:

- Processador;
- Memória;

- Uma Unidade de Controle de Comunicação (UCC).

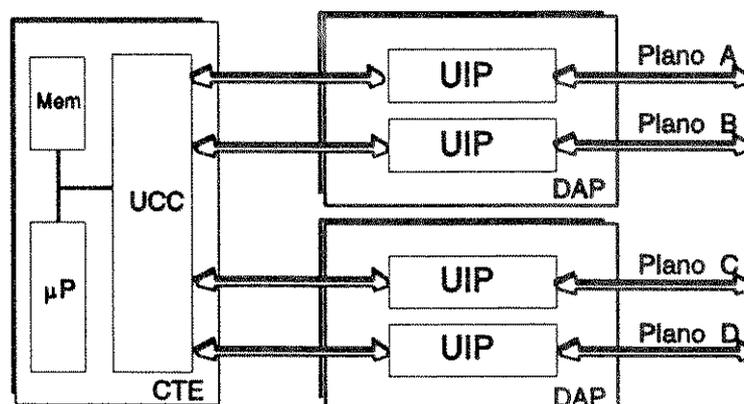


Figura 6.5: Diagrama em Blocos da Unidade de Controle Terminal

A CTE é utilizada para controlar circuitos de terminais pertencentes ao mesmo Módulo através do seu Barramento externo de 8 bits de dados.

O Processador está baseado num microprocessador compatível com o INTEL 8088 (NEC V20 a 10 MHz). O bloco de Memória proporciona uma capacidade de armazenamento ao sistema de controle distribuído. Compreende uma PROM de Rotina de Carga de 16 K x 8 bits ("boot"), implementada mediante uma memória programável só de leitura (EPROM) de 16 K x 8 bits e um conjunto RAM de 768K x 8 bits. A placa dispõe ainda de uma área de endereços de entrada/saída (I/O) de 64 K x 8 bits.

A CTE se conecta à Rede Intermodular através de até duas placas DAP's.

b) Placa DAP

A placa DAP tem incorporada:

- Duas Unidades de Interface a Plano (UIP);
- Duas unidades de acesso ao Subsistema de Voz;
- Duas unidades de acesso ao Subsistema de Distribuição de Relógio e Sincronismo.

A placa DAP proporciona a conexão da CTE a dois Planos de Sinalização e a dois Planos de Distribuição de Relógio e Sincronismo. Provê, também, aos circuitos terminais (Circuitos de Aplicação) acesso a dois Planos de Voz. Pelos Planos de Voz são efetuados caminhos semi-permanentes, através de enlaces PCM, que uma vez estabelecidos, permanecem reservados ao usuário enquanto necessário.

A partir dos dois Planos de Distribuição de Relógio e Sincronismo chegam os sinais de relógio e sincronismo que podem ser selecionados como referências internas dos circuitos que tratam as informações transportadas pelo Subsistema de Voz. Dentro da placa CTE os sinais de referência recebidos pelas DAP's são, depois de selecionados, tratados, utilizando para sincronizar um PLL (Phase Locked Loop), e entregues aos circuitos terminais.

6.4.3 Placas da Unidade de Controle Genérica

A Unidade de Controle Genérica, na primeira versão comercial do Sistema TRÓPICO RA, compreende dois tipos de placas (veja Figura 6.6):

- Placa UPN (Unidade de Processamento Numérico);
- Placa SPP (Sinalização do Processador Preferencial).

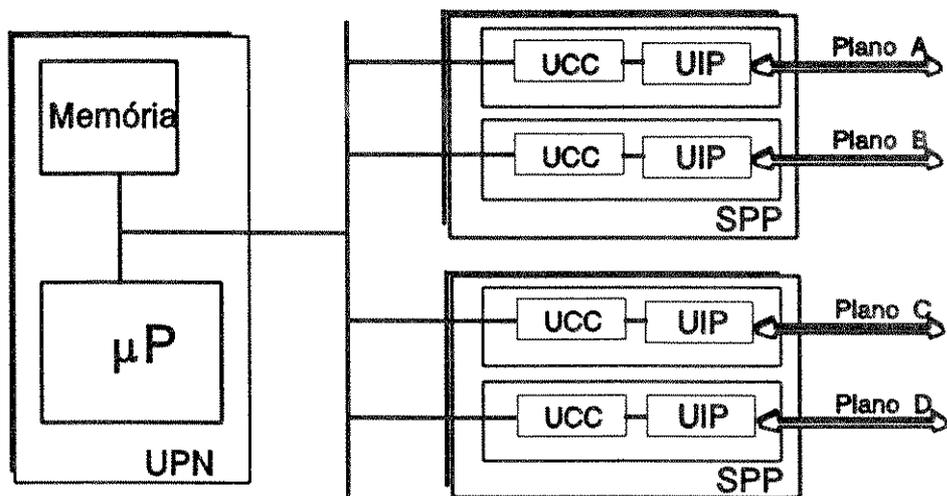


Figura 6.6: Diagrama em Blocos da Unidade de Controle Genérica

a) Placa UPN

A placa UPN é baseada no microprocessador INTEL80286 (8 MHz), com 512 Kbytes de memória e capacitada para endereçar 16 Mbytes de memória no modo protegido. A placa UPN provê externamente um barramento de alta velocidade de 16 bits.

O bloco interno de Memória proporciona uma capacidade de armazenamento ao sistema de controle distribuído. Compreende um conjunto PROM de Rotina de Carga e "firmware" implementado mediante um conjunto de memória programável só de leitura (EPROM), mais o conjunto de memória RAM dinâmica destinado para programas e dados residentes. A placa dispõe ainda de uma área de endereços de entrada/saída (I/O) de 64 K x 16 bits.

A placa UPN pode ter sua memória ampliada até a capacidade máxima permitida, agregando-se pelo barramento de alta velocidade placas de memória (placas MEM).

b) Placa SPP

A placa SPP realiza a conexão da UPN com a Rede Intermodular. Para isso, cada SPP é constituída, essencialmente, por dois conjuntos UCC+UIP, independentes, que permite o acesso a dois Planos de Sinalização. A Unidade de Controle Genérico pode estar configurada com até duas SPP para interconexão com os quatro Planos. Cada um dos quatro conjuntos configuráveis UCC+UIP oferece uma capacidade nominal de tráfego de 2 Mbps, através de cada Plano de Sinalização (total de 8 Mbps).

c) Evoluções

Com o objetivo de atender aplicações que dependam ainda de uma maior potencial de processamento, foi concebido uma placa processadora com barramento de 32 bits para operar em até 33 MHz (INTEL80386) e com 32 Mbytes de memória, projetada utilizando os mesmos princípios de modularidade e de compatibilidade com a UPN. Para tanto, caso seja necessário uma capacidade de tráfego maior do que o oferecido pelas placas SPP, o que ainda não se tem uma aplicação imediata, é necessário uma implementação do CIDS (conjunto UCC+UIP) que proporcione um melhor aproveitamento dos até 12 Mbps de capacidade oferecidos em cada Plano de Sinalização. A capacidade nominal, totalizando os quatro Planos, é de 48 Mbps.

6.4.4 Placas da Unidade de Controle Alocador

A Unidade de Controle Alocador, na primeira versão comercial do Sistema TRÓPICO RA, está empacotada completamente dentro da placa CSI (Controlador de Sinalização) ou então na placa CSP (Controlador de Sinalização Paginada)(veja Figura 6.7).

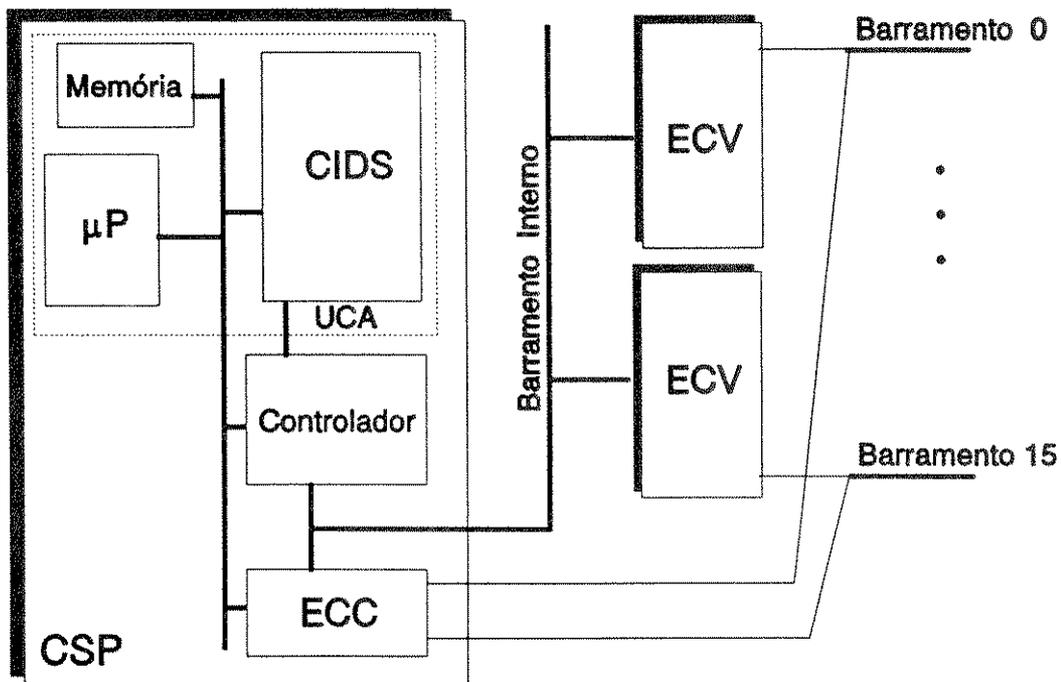


Figura 6.7: Diagrama em Blocos da Placa CSP em sua Conexões

A placa CSI foi a primeira placa desenvolvida para tal função e deve ser substituída em função da placa CSP, que é um projeto que atende a requisitos mais fortes de desempenho e permite um número maior de Módulos conectados ao Plano. Em termos numéricos as principais diferenças são:

	CSI	CSP
Número de Módulos (Processadores/Plano)	256	1024
Barramentos de Sinalização	16	64
Tempo de Tratamento de uma Solicitação de Via (μs)	105	24

Ambas as placas apresentam internamente:

- Unidade Controle Alocador (UCA)
- Controlador
- Concentrador de Controle (para uma Página)

A Unidade de Controle Alocador, de ambas as placas é formada por:

- Processador
- Memória
- Circuito Dedicado de Sinalização (CIDS)

O Controlador (veja Capítulo 4, item 4.4) realiza as funções de alocação dos recursos de comunicação do Plano de Sinalização correspondente. A parte do bloco Concentrador de Controle provê a distribuição de Enlaces de Controle para até 16 Barramentos de Sinalização.

A placa CSI é baseada no microprocessador INTEL8085 (5 MHz), com 40 Kbytes de memória interna (RAM/EPROM) e 256 portas de entrada e saída (I/O). A placa CSP é baseada em microprocessadores compatíveis com o INTEL8088 (V20 a 10 MHz) e tem instalado internamente 64 Kbytes de memória (RAM/EPROM) e capacidade para endereçar 64 Kbytes de entrada e saída. Essas placas provêm externamente um barramento paralelo de 8 bits (também integrado ao Barramento Interno do Alocador) que é utilizado para o controle das demais placas que compõem o Alocador.

Essencialmente, além dos dados apresentados anteriormente, o que diferencia a placa CSP da CSI é a forma como foram implementados os circuitos referentes ao Controlador. Na placa CSI, o Controlador foi implementado baseado num segundo microprocessador INTEL8085. No caso da CSP, o

Controlador tem seu projeto baseado numa máquina de estados que dispensa a necessidade de microprocessador.

O Controlador implementado na CSP com uma máquina de estados, proporcionou um desempenho muito melhor que no caso da CSI onde se utiliza um microprocessador. O microprocessador, na realização das mesmas funções, estava amarrado ao tempo de execução das suas instruções. Com a implementação na CSP de um hardware dedicado, otimizando-se as operações desejadas, o tempo necessário para o Controlador atender uma Solicitação de Via tornou-se 4 vezes menor (veja a tabela anterior). Além do parâmetro desempenho, o Controlador da CSP possibilita a Varredura de até quatro Vias de Solicitação em paralelo (simultaneamente), o que viabilizou, também, um número quatro vezes maior de Módulos na Rede.

A Figura 6.8 ilustra a estrutura interna dos Módulos compostos por Unidades de Controle Terminal e Genérica, interconectados, através dos Barramentos de Sinalização, aos Módulos com os Alocadores de cada Plano de Sinalização.

6.5 Estrutura Física

As placas do Módulo instaladas num mesmo sub-bastidor, se interconectam através de trilhas do próprio painel traseiro. As placas se conectam ao painel posterior mediante pares de conectores (macho-fêmea) de duas ou três filas de 32 pinos cada. Um sistema de cabeção acoplado ao painel traseiro, também por um par de conectores, é utilizado para conectar os sub-bastidores entre si e ao subsistema de distribuição de Relógio e Sincronismo, ao subsistema de Rede e subsistema de voz.

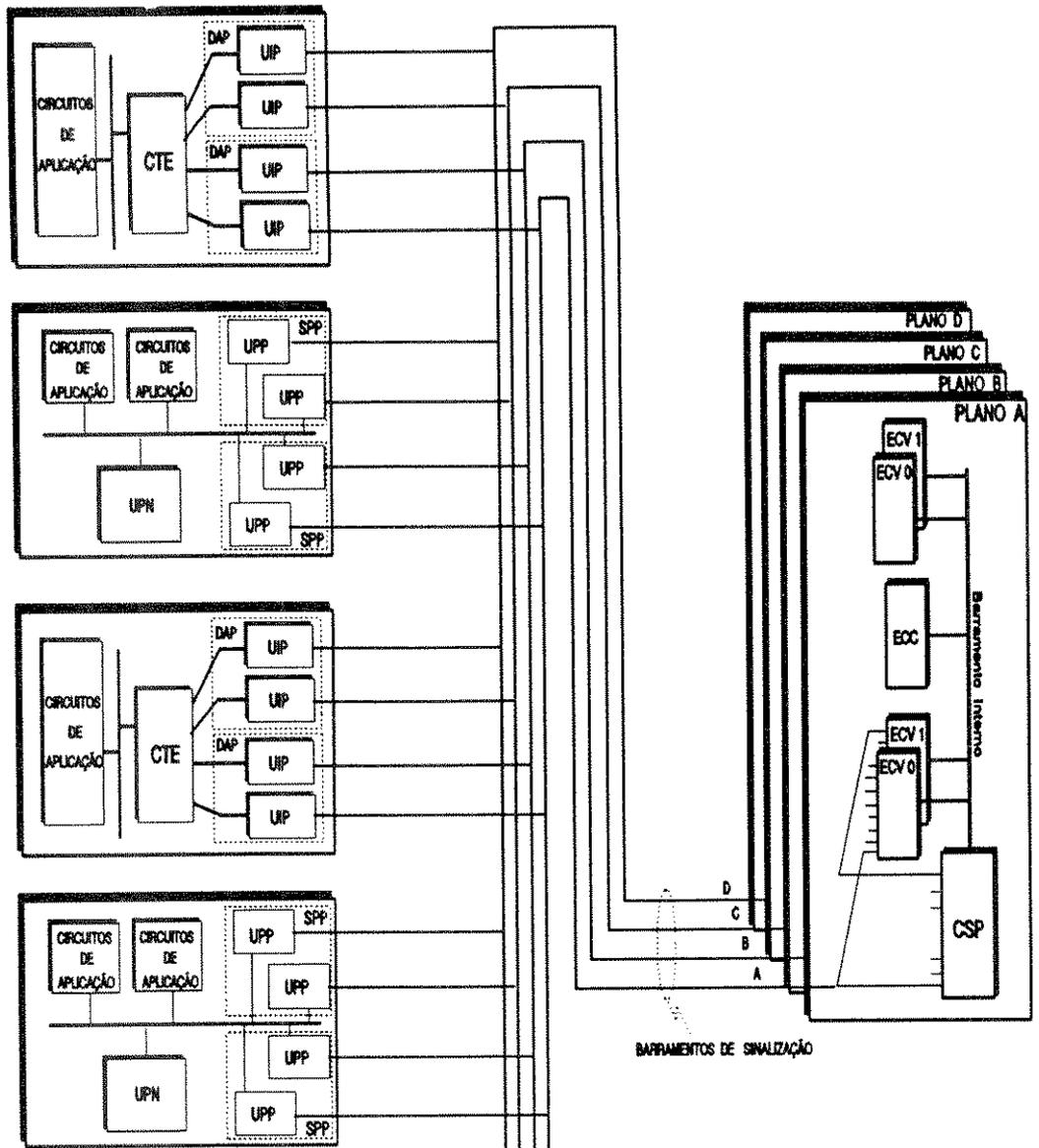


Figura 6.8: Esboço da Estrutura Geral do Sistema, mostrando as placas das Unidades de Controle e do Alocador

6.5.1 Interfaces

Uma Unidade de Controle pode interagir com seus circuitos de terminais associados mediante seu barramento externo. Este barramento provê a função de controle de processamento e o de acesso à memória, transferindo dados em paralelo.

6.5.2 Alimentação

Todos os Módulos são alimentados por conversores CC/CC independentes. Cada conversor é uma fonte regulada de alimentação que recebe alimentação a partir de elementos retificadores e conversores de tensão, encarregados de energizar todo o equipamento. Os elementos de fornecimento de energia são configurados com um sistema de baterias de segurança que garantem o funcionamento do equipamento mesmo na falta da rede elétrica externa.

6.6 Detecção e Recuperação de Falhas

6.6.1 Falhas

Falha pode ser entendida como qualquer evento anormal que ocorre durante a operação do sistema. A falha pode ou não degradar o sistema, entretanto, deve ser sempre tratada. Dependendo das suas características e dimensão, as falhas podem ser classificadas e tratadas conforme o grau de influência no funcionamento do sistema.

6.6.2 Detecção de Falhas

A detecção e tratamento de falhas do Sistema TRÓPICO RA é realizado em dois níveis:

a) Local

Nas próprias Unidades de Controle afetadas. A detecção de falhas é realizada de forma distribuída em cada Unidade de Controle dentro do conjunto de recursos associados. A detecção de falhas pode ser por:

- Teste de Iniciação: teste de consistência realizado na iniciação de cada Unidade de Controle, envolvendo teste do microprocessador, memória, temporizadores hardware, etc;
- Teste Esporádicos: realizados pela Unidade de Controle durante os períodos ociosos;
- Inconsistência na Execução: intrínseco à execução dos programas, onde cada informação tratada deve apresentar lógica de formato e armazenamento (disposição dos dados, espaço ocupado, consistência da informação). Da mesma forma, o hardware deve ter seu comportamento caracterizado por estados regulares, que dependendo do tipo de ação, deve responder com uma reação previsível;
- Testes Comandados: testes executados por solicitação do operador.

b) Centralizado

A detecção de falhas no modo centralizado caracteriza a presença de gerenciadores centralizados. Os gerenciadores, através da coleta de informações do estado dos diversos recursos distribuídos dentro do sistema, mantém o estado global do sistema. Uma alteração anormal do sistema pode ser identificada através da análise de informações provenientes das diversas fontes, que em conjunto ou por si mesma são inconsistentes ou comunicam a presença de um recurso defeituoso.

As falhas tratadas pela supervisão centralizada, caracterizam funções mais abrangentes, que envolvem recursos de uso comum a mais de uma Unidade de Controle. A Rede Intermodular é um exemplo típico de uma função

supervisionada por um elemento centralizado (Gerenciador de Sinalização - GSINA).

Um outro exemplo importante é dos gerenciadores de configuração. Cada Unidade de Controle do sistema possui associado localmente um BI software (Controle de Configuração - CCONF) encarregado do controle local da sua configuração software (BI's software instalados e o funcionamento) e da configuração hardware (placas associadas). Estes BI's presentes em todas as Unidades de Controle se reportam a um outro BI centralizado (Gerenciador de Configuração - GCONF), que é responsável pelo controle global da configuração da central. O GCONF mantém controlado o estado de operação de todas as Unidades de Controle do sistema, através da sua interface com todos os correspondentes CCONF.

6.6.3 Remoção de Falhas

O procedimento realizado para a remoção de uma falha depende basicamente da sua característica e abrangência. Existem falhas em que a própria Unidade de Controle afetada pode se recuperar. Existem falhas que dependem para a sua recuperação da interferência de elementos gerenciadores centralizados. Existem falhas que dependem da interferência do operador.

As falhas software podem causar a reiniciação ou recarga de software das Unidades de Controle envolvidas. A reiniciação é o primeiro passo para recuperação. Se a falha não desaparece a Unidade de Controle é recarregada. A decisão da recarga pode ser local, centralizada ou mesmo por comando do operador.

As falhas que decorrem do hardware e são persistentes, geralmente, para serem eliminadas dependem da ação do operador. Nesse caso, o procedimento culmina, em geral, com a substituição das placas defeituosas.

6.6.4 Supervisão Dinâmica de Falhas

Para a detecção se um Plano sob suspeita está em falha [1], da maneira mais rápida possível e com uma alta probabilidade de acerto, cada Unidade de Controle da central tem um contador de sucessos de transmissão associado a cada um dos Planos de Sinalização.

Denotemos por m , $m \geq 2$, o número de Planos em operação. Iniciando o procedimento com todos os contadores zerados, toda vez que ocorre uma transmissão de mensagem bem sucedida o contador correspondente é incrementado de uma unidade. Quando um dos contadores atinge o limite L_m pré-determinado, dependente de m , é verificado se um dos outros $m-1$ contadores está em nível zero. Em caso positivo, o Plano correspondente é retirado de serviço e desencadeado um procedimento de tratamento de falha. Em seguida os contadores são novamente zerados, iniciando-se um novo ciclo de contagem.

O valor limite L_m é determinado de modo que a probabilidade de se efetuar uma retirada de serviço indevidamente seja menor que um certo ϵ_0 dado, $0 < \epsilon_0 < 1$. Supondo equitativa a distribuição de carga nos Planos, pode-se mostrar que [1] L_m é o menor inteiro positivo n tal que

$$\frac{m^{-n(m-1)+1}}{(n-1)!} \sum_{i_1=1}^n \sum_{i_2=1}^n \cdots \sum_{i_{m-2}=1}^n g(i_1, i_2, \dots, i_{m-1}) < \epsilon_0$$

onde

$$g(i_1, i_2, i_{m-2}) = \binom{(m-1)n - i_1 - i_2 \dots - i_{(m-2)} - 1}{n - i_1, n - i_2, \dots, n - i_{m-2}} m^{\sum_{j=1}^{m-2} i_j}$$

através de uma interessante generalização do famoso problema das caixas de fósforos de Banach [2].

Por exemplo, para $m=4$ Planos de Sinalização em operação, fixando-se $\epsilon_0 = 10^{-12}$ então $n_4 = 42$, desde que a probabilidade de uma retirada de serviço indevida é igual a $9,07 \times 10^{-13}$ nesse caso.

O caso $m=1$ Plano de Sinalização é tratado de maneira diferente. Agora, está associado ao Plano em questão um contador de insucessos sucessivos em cada Unidade de Controle. A cada tentativa de transmissão mal sucedida esse contador é incrementado de uma unidade e em cada sucesso é zerado. Feller [2] mostrou que o número médio de tentativas, T_c , para obter c insucessos sucessivos é dado por

$$T_c = \frac{1 - (1-p)^c}{p(1-p)^c}$$

onde p é a probabilidade de sucesso na transmissão de mensagem pelo Plano. Desse modo, conhecendo-se p e desejando-se uma retirada de serviço indevida a cada T_c tentativas determina-se c , tal que, quando o contador atingir esse valor é desencadeado o procedimento de tratamento de falha.

REFERÊNCIAS

- [1] FERNANDES G., LAVELHA A.C. *Estrutura de Sinalização do TRÓPICO RA*. 7º Simpósio Brasileiro de Telecomunicações. Florianópolis - SC, Setembro, 1989.
- [2] FELLER, W., *Introduction to Probability Theory and its Application*, John Wiley & Sons, volume I, 3a. edição, 1970.

Capítulo 7

Avaliação de Desempenho

CAPÍTULO 7

7 Avaliação de Desempenho

Dentre os vários passos do desenvolvimento da Estrutura de Sinalização do Sistema TRÓPICO RA (Capítulo 3, item 3.1) apresentamos neste capítulo o modelo utilizado para avaliar se os requisitos de projeto foram satisfeitos, sob a ótica de simulação. A descrição aqui apresentada é baseada na referência [1]. Por questões de comparação, apresentamos dados tanto da placa CSI como também da placa CSP, na equipagem do Alocador, em aplicações típicas de centrais telefônicas.

7.1 Modelo de Avaliação do Desempenho

Os requisitos de desempenho de tráfego em uma central se reportam aos tempos de execução das fases importantes para o assinante e são especificadas para dois níveis de tráfego: um nível de carga normal, referido como carga nominal, e um nível de carga acima do normal, referido como sobrecarga de projeto. Os assinantes não podem perceber nenhum atraso significativo na execução das fases, ou seja, devem ter uma ilusão de instantaneidade, a qual é conseguida estipulando-se que a probabilidade do tempo de execução ultrapassar um dado valor seja bem pequena. Como decorrência, a Estrutura de Sinalização entre os Processadores deve dar uma disponibilidade suficiente tal que qualquer efeito de bloqueio possa ser desprezível. Portanto, o problema de avaliação do desempenho da comunicação entre Processadores é verificar se, em condições nominais e em sobrecarga,

$$\rho < \rho_0 \quad e \quad P[T > T_0] < \epsilon_0 \quad (7.1)$$

onde ρ denota o fator de utilização dos serviços ativos, P a probabilidade, T o tempo de transmissão de mensagens e ρ_0 , T_0 e ϵ_0 são valores reais pré-fixados,

$$0 < \rho_0 \leq 1, T_0 > 0, \text{ e } 0 < \epsilon_0 < 1. \quad (7.2)$$

Deve ser ressaltado que se λ_n e λ_s denotam a taxa global de comunicação em condições nominais e em sobrecarga de projeto, respectivamente, sendo adotado que $\lambda_s = 1,4 \times \lambda_n$ [1].

Para a avaliação da função densidade de probabilidade do tempo de transmissão de mensagem, a Estrutura de Sinalização pode ser vista como um sistema de *filas múltiplas* (Processadores) com múltiplos servidores cíclicos (Alocadores e barramentos). Desse modo, foi desenvolvido um modelo estocástico dinâmico de simulação [2], utilizando o enfoque de modelagem por processos e implementado em computador através da linguagem SIMULA [3].

O principal processo é o Sistema Simulado, que controla os demais processos e faz uma interface com o usuário do programa de computador em uma rodada de simulação, no sentido de obtenção dos dados de configuração, de tráfego e de controle do sistema e apresentação dos relatórios periódicos de resultados, os quais servem ao acompanhamento da evolução no tempo das respostas do modelo. Através de sua inspeção, o usuário pode, por exemplo, verificar a estabilidade do modelo, uma vez que se considera que um sistema de filas é instável se para tempos de serviços positivos e taxas de entrada finitas, os comprimentos médios das filas não são limitados.

Os processos controlados pelo Sistema Simulado são denominados Mensagens, BI, CSINCTE, CSINUPN, CSP e Gerador de Mensagens. A Via de Habilitação, Via de Solicitação, Via de Comunicação são representadas por estruturas de variáveis booleanas e inteiras, de modo a serem refletidos no modelo os seus estados reais possíveis.

- *Mensagem*: representa o sinal software de um dado tamanho, que é uma variável aleatória com distribuição discreta, a ser enviado de um Processador transmissor a um Processador receptor.

- *BI*: representa o bloco de implementação software aplicativo que solicita o envio e recebe as mensagens, e que está residente numa Unidade de Controle.
- *CSINCTE (CSINUPN)*: representa o sistema operacional, o BIDS (BI Dedicado de Sinalização) e o CIDS (Circuito Dedicado de Sinalização) associado a cada Processador.
- *CSP*: representa o Alocador associado a cada Plano de Sinalização, tendo sob seu controle um total de ν Vias de Comunicação ($\nu \geq 1$). É o servidor do modelo. Os servidores movem-se de um elemento a outro inspecionando as Vias de Solicitação (Varredura). Cada servidor associado a um Plano de Sinalização apresenta em sua Varredura uma defasagem fixa em relação aos demais (estratégia utilizada na implementação física dos Alocadores). Essa defasagem caracteriza um escalonamento dispersivo, garantindo que não haja a coincidência de que mais de um servidor esteja varrendo, simultaneamente, um mesmo elemento da Rede. Assume-se que o tempo de caminhada de um servidor entre um elemento i ao subsequente elemento na sua rota tem média h_i . Quando ele visita uma fila, serve no máximo uma Mensagem (serviço não exaustivo), ou seja, a primeira Mensagem da fila, a qual corresponde a eventual mensagem que está no buffer de transmissão em questão. O tempo de serviço na fila i tem uma distribuição geral e média μ_i^{-1} . Os servidores são simétricos no sentido de que cada um escoar a mesma carga.
- *Gerador de Mensagens*: simula o processo de aparição das Mensagens, que chegam na i -ésima fila segundo um processo de Poisson com taxa λ_i .

Na Figura 7.1 está ilustrado um sistema com N filas e M servidores.

Após receber um pedido de início de uma rodada de simulação, o Sistema Simulado obtém os dados de entrada, cria a base de dados que será utilizada no

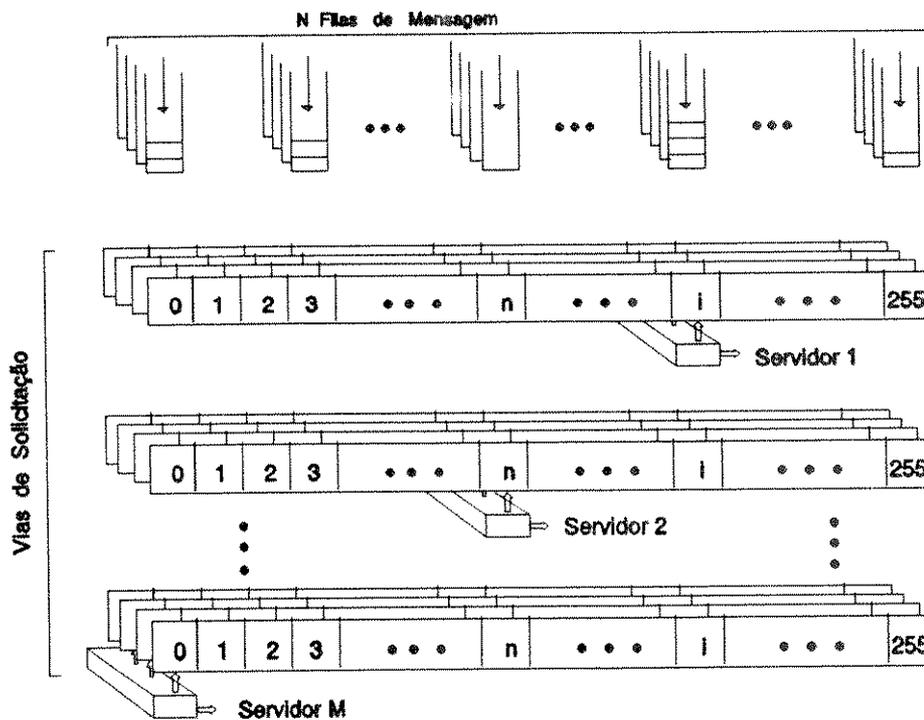


Figura 7.1: Sistemas de M servidores e N filas

decorrer da rodada , cria e ativa os demais processos e permanece passivamente aguardando os instantes de elaboração dos relatórios de resultados. Os processos interagem em uma rodada, evoluindo nos seus respectivos conjuntos de estados discretos, de modo a ser refletido no modelo o diagrama de fluxos de eventos em uma transmissão de mensagem e levando em conta os possíveis bloqueios na recepção.

O intervalo de tempo entre a geração de Mensagem tem distribuição exponencial negativa com média λ^{-1} , onde

$$\lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i \quad e \quad \lambda_i = \sum_{j=1}^N \alpha_{ij} \quad , \quad \lambda > 0 \quad (7.3)$$

sendo α_{ij} a taxa de comunicação originada em um Processador i e destinada a um Processador j . A função de distribuição de probabilidade do número do Processador origem, X , é dada por

$$P[X=i] = \frac{\lambda_i}{\lambda} \quad (7.4)$$

e a distribuição condicional do número do Processador destino, Y , em relação ao número do Processador origem é

$$P[Y=j/X=i] = \begin{cases} \frac{\alpha_{ij}}{\lambda_i}, & \text{se } \lambda_i > 0 \\ 0, & \text{se } \lambda_i = 0 \end{cases} \quad (7.5)$$

Essas distribuições refletem a atratividade de tráfego de comunicação que há entre os Processadores.

As taxas α_{ij} , $ij = 1, 2, \dots, N$, são obtidas por inspeção dos organogramas de tratamento de chamadas telefônicas e procedimentos de operação, manutenção e supervisão, e considerando que nos pontos onde existem um Processador solicitante e vários tratadores de um recurso, o número de tentativas para a obtenção do recurso é uma variável aleatória. Por exemplo, se há m Processadores que tratam r recursos cada e supondo aleatória a ocupação dos recursos, a probabilidade de encontrar p Processadores com todos os recursos ocupados, $p = 0, 1, \dots, m$, é dada por [4]

$$G_m(p) = \binom{m}{p} \sum_{s=0}^{m-p} (-1)^s \binom{m-p}{s} H(p \times r + s \times r), \quad (7.6)$$

onde

$$H(x) = \sum_{t=x}^{m \times r} \frac{\binom{m \times r - x}{t-x}}{\binom{m \times r}{t}} L(t) \quad (7.7)$$

é a probabilidade que x recursos pré-especificados estejam livres e $L(t)$ é a distribuição do número de recursos ocupados, $t = 0, 1, \dots, m \times r$ (distribuição de Erlang, binomial ou de Engset, por exemplo). Em função de $G_m(p)$ obtém-se facilmente o número de tentativas para a obtenção do recurso e conseqüentemente o número de mensagens trocadas entre solicitante e tratadores, desde que cada tentativa seja caracterizada por uma mensagem de pedido e uma resposta.

Em uma tentativa de transmissão, uma Mensagem particular gasta na Unidade de Controle de origem, um tempo de carregamento e formatação da Mensagem no buffer de transmissão, um tempo de espera por um Alocador, um tempo de serviço do Alocador que a atendeu, um tempo de ocupação da via e um tempo para atender a interrupção de transmissão. Na Unidade de Controle de destino, a recepção da Mensagem tem associado um tempo de atendimento da interrupção de recepção, um tempo para a leitura e desformatação da Mensagem. Com exceção do tempo de espera do Alocador, que é avaliado no modelo por uma rodada, todos os demais tempos são variáveis aleatórias com distribuição geral e médias conhecidas.

Cada Mensagem mede os seus respectivos tempos de permanência nos estágios por onde passa e os Alocadores medem as proporções de tempo em que passam tratando as Mensagens (fator de utilização), de modo a possibilitar ao Sistema Simulado a elaboração das estatísticas de resultados.

7.2 Aplicação do Modelo de Simulação

Vamos apresentar a seguir um caso de estudo típico, considerando uma central tandem-local TRÓPICO RA com as seguintes características básicas: 64.320 terminais de assinantes, 11.726 juntores, tráfego de voz comutado igual a 12.220 erl, capacidade de equipar até 768 Módulos, sendo 25 Módulos controlados por Unidades de Controle Genéricas (UPN's) e os restantes utilizando Unidades de Controle Terminais (CTE's), com 402 Módulos de assinantes, 32

Módulos de emissor/receptor, 236 Módulos de juntores, 25 de registrador, 32 de comutação, 1 de Operação e Manutenção e 40 não equipados, ou seja, em reserva. A distribuição percentual do tamanho dos sinais é dada na Tabela 1.

Tamanho (bytes)	Porcentagem (%)	Características (bytes)
32	80	<p>média = 52,42</p> <p>desvio padrão = 63,17</p>
64	10	
128	6	
256	3	
512	1	

Tabela 1

Para esta central particular prevê-se uma taxa global de comunicação em condições nominais igual a 11.253 mensagens/s e, portanto, uma taxa de sobrecarga de projeto igual a 15.754 mensagens/s. O objetivo é verificar se os requisitos de desempenho são atendidos em condições de degradação e, desse modo, consideramos dos 4 Planos de Sinalização equipados somente três deles em operação. Cada Alocador controla 6 Vias de Comunicações. Foram utilizados para este primeiro ensaio dados correspondentes à placa CSI (veja Capítulo 6, item 6.4.3) na função de Alocador, para quem $h_i = 2\mu s^1$ e $\mu_i^{-1} = 0,136$ ms para todo i . Os principais dados associados aos tempos gastos no diagrama de fluxo de eventos são apresentados na tabela 2. Na Tabela 3 apresentamos os principais resultados obtidos em rodadas de simulação, em termos de estimadores médios, para algumas taxas de comunicação e na Figura 7.2 os histogramas do tempo de envio de mensagem. A variável aleatória tempo intervisita é definida como sendo o tempo entre visitas sucessivas por qualquer servidor a uma fila. Em cada rodada de utilizou o procedimento sequencial: o comprimento de uma única

¹ O valor real de h_i é $0,5 \mu s$, que é o valor para a varredura de cada janela de solicitação de cada Módulo. Assim, a margem de segurança em relação aos resultados obtidos é maior.

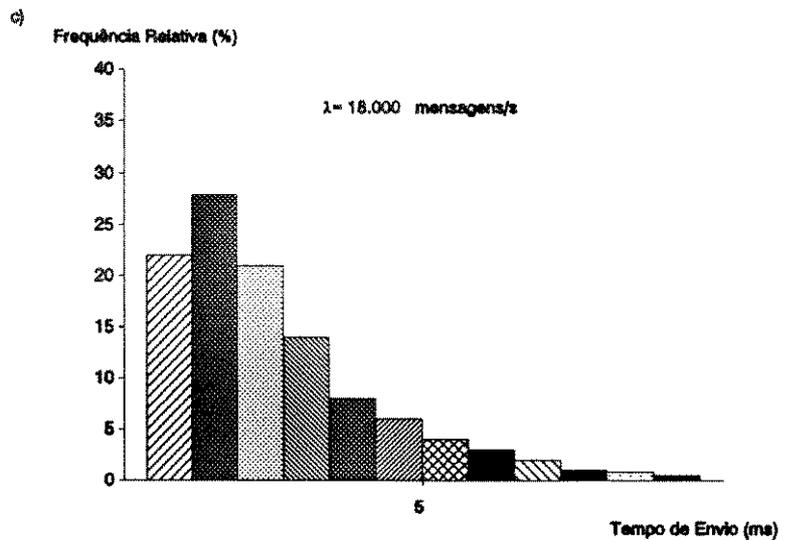
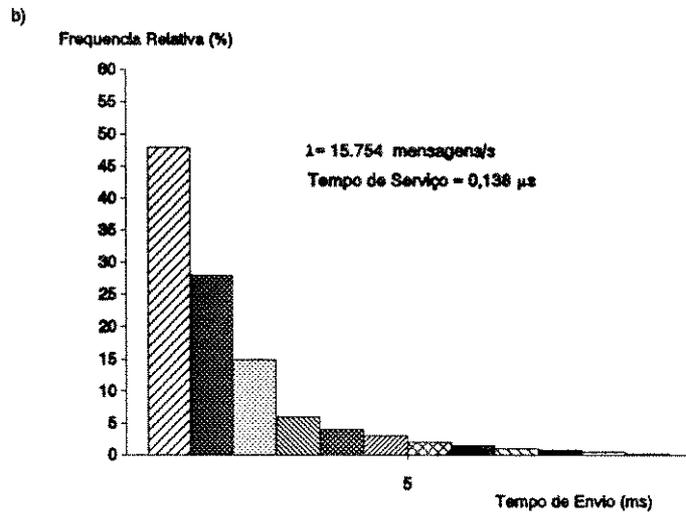
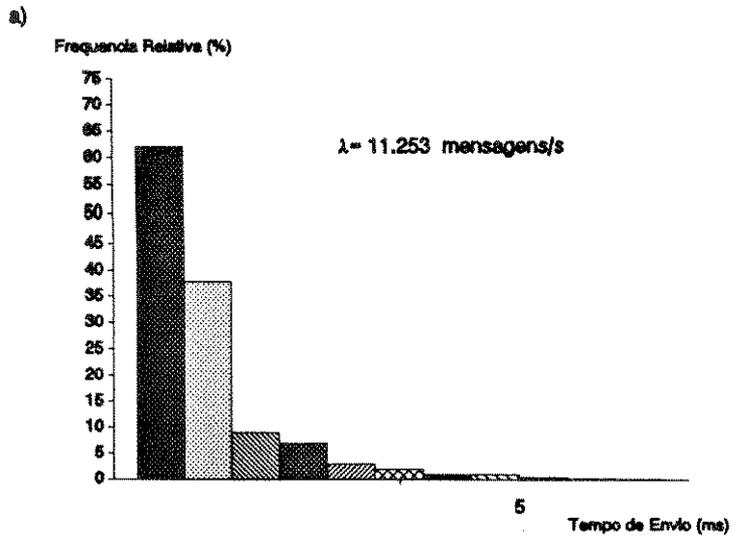
rodada de simulação foi sequencialmente aumentado até que um intervalo de confiança aceitável, no caso de 95%, pudesse ser construído.

	Tempo de carregamento (ms)		Tempo de desformatação (ms)		Tempo de ocupação de uma Via (ms)	Tempo de atendimento da Interrupção (ms)
	CTE	UPN	CTE	UPN		
média	0,344	0,085	0,332	0,085	0,214	0,019
desvio padrão	0,336	0,047	0,345	0,047	0,253	0,044

Tabela 2

Taxa de Geração (mens/s)	Tempo "intervisita" de um Alocador (ms)		Tempo de envio de uma mensagem (ms)		Fator de utilização médio dos Alocadores (erl)
	média	desvio padrão	média	desvio padrão	
11.253	0,218	0,387	0,985	2,697	0,55
15.756	0,392	0,518	1,374	3,356	0,78
18.000	0,756	0,945	1,709	4,245	0,88
19.000	1,824	3,013	5,053	11,892	0,94
20.000	Sistema Instável				

Tabela 3



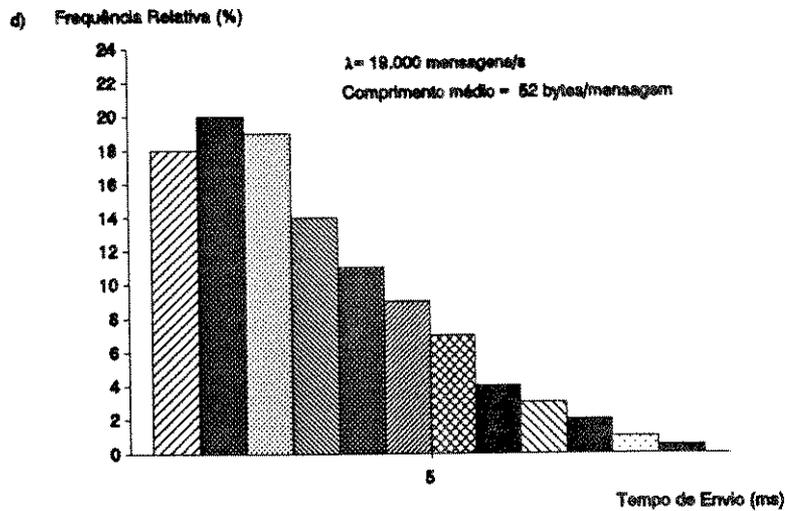


Figura 7.2: Histogramas relacionando a porcentagem de mensagens transmitidas com o tempo de envio, considerando quatro diferentes tráfegos pela Rede Intermodular.

A fim de verificar se os requisitos estipulados em (7.1) são satisfeitos, utilizamos o critério de Martin [5], aderindo à distribuição de T a função gama incompleta de parâmetro $R = [\mu_T / \sigma_T]^2$, onde μ_T e σ_T são os estimadores de média e desvio padrão de T , respectivamente. Neste caso, temos que

$$P[T \leq t] = \frac{\int_0^t \left[\frac{R_x}{\mu_T} \right]^{R-1} e^{-\frac{R_x}{\mu_T}} \frac{R}{\mu_T} dx}{\int_0^{\infty} \left[\frac{R_x}{\mu_T} \right]^{R-1} e^{-\frac{R_x}{\mu_T}} \frac{R}{\mu_T} dx} \quad (7.8)$$

No caso em estudo, os requisitos de grau de serviço impõem que devemos ter $\rho < 0,7$ e $P[T > 20 \text{ ms}] < 10^{-6}$ em condições nominais, e $\rho < 1$ e $P[T > 40 \text{ ms}] < 10^{-6}$ em condições de sobrecarga de projeto. Observando a Tabela 2 e utilizando (7.8) vemos que esses requisitos são satisfeitos com folga, desde que $\rho = 0,55$ e $R = 0,13$, em condições nominais, e $\rho = 0,78$ e $R = 0,17$, em condições de sobrecarga. Foi observado também que o sistema simulado atinge a saturação por volta de 20.000 mensagens/s, ou seja, essa é, aproximadamente, a vazão máxima do sistema em condições de degradação, considerando a placa CSI no Alocador.

A título de comparação a Figura 7.3 apresenta dois histogramas dos tempos de envio de mensagens considerando duas aplicações, onde as taxas globais de comunicação apresentadas referem-se a valores de saturação. Foram considerados

um tráfego de mensagens com comprimento médio de 52 bytes através de 3 Planos de Sinalização, 743 Módulos equipados com placas CTE's (INTEL8088, 8 MHz) e 25 Módulos com UPN's (INTEL286, 12 MHz). No primeiro histograma se utiliza a placa CSI no Alocador e no segundo a placa CSP. A diferença para o modelo é que a placa CSP apresenta um tempo de serviço bem menor. Os valores utilizados como entrada para a CSP foram $h_i = 0,250$ ms e $\mu_i^{-1} = 0,5$ μ s. Como pode ser constatado os resultados ao se utilizar a placa CSP foram substancialmente melhores. As diferenças básicas existentes entre as duas implementações estão descritas no Capítulo 6, item 6.4.4. A Figura 7.4 apresenta um ensaio considerando um único Plano de Sinalização equipado com a placa CSP e 40 Módulos controlados por placas UPN's. O tamanho médio de mensagens trafegadas, neste caso, foi de 41 bytes e o sistema esteve estável até a ordem de 16.000 mensagens/s.

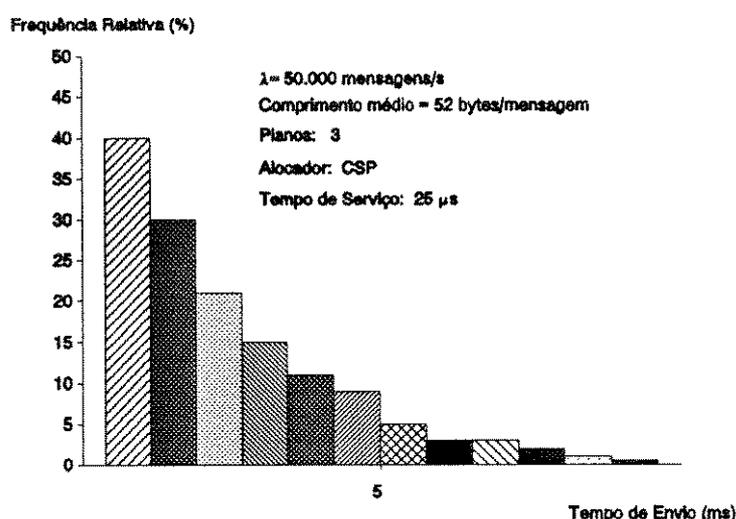
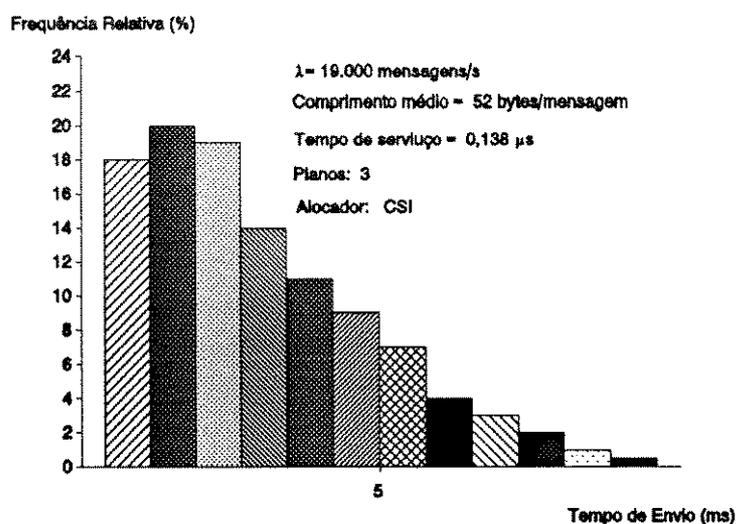


Figura 7.3: Ensaio comparativo das placas CSI e CSP equipando os Alocaadores dos Planos de Sinalização numa mesma configuração de central e com tráfegos distintos.



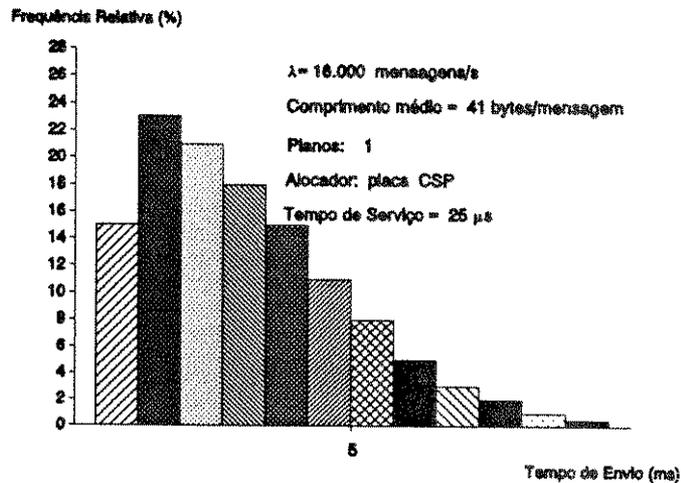


Figura 7.4: Ensaio do modelo de simulação considerando um único Plano de Sinalização equipado com a placa CSP

7.3 Comentários

A modelagem da Estrutura de Sinalização para a avaliação de desempenho conduz a um sistema multifilas com múltiplos servidores (Figura 7.1). Sistemas como esse têm sido estudados e tem havido um limitado sucesso na obtenção de soluções exatas e tratáveis, mesmo sob hipóteses bastante restritivas [1],[6]. Um modelo de simulação que captura o comportamento dominante da Estrutura de Sinalização foi descrito de maneira bastante simplificada neste Capítulo. Esse modelo foi exaustivamente utilizado como ferramenta de verificação de desempenho, isto é, na fase de concepção TRÓPICO RA, quando são avaliadas e comparadas, sob a ótica de qualidade de serviço, diversas soluções que atendem aos requisitos funcionais. A validação de desempenho foi realizada na fase de testes de sistema, utilizando-se protótipos de laboratório e geradores artificiais de tráfego, onde foi criado um ambiente tão próximo quanto possível da realidade que seria encontrado na prática. Na execução desta fase, foi possível comprovar os resultados apresentados pelo modelo de simulação.

Seguindo os mesmos passos tomados nas aplicações simuladas, e que neste capítulo foram apresentadas, pode-se mostrar que a Estrutura de Sinalização atende aos requisitos de desempenho para qualquer configuração prevista de central TRÓPICO RA, incluindo o caso da Rede máxima de 1.024 Módulos. Deve ainda ser ressaltado que o modelo fornece informações quanto ao tempo de envio de mensagem, fator de utilização do servidor (Alocador) e vazão máxima, que serão utilizadas como subsídio ao desenvolvimento de algoritmos de controle de sobrecarga catastrófica, a qual é caracterizada por um aumento do tráfego oferecido significativamente acima do valor nominal.

REFERÊNCIAS

- [1] FERNANDES, G., LAVELHA, A.C., "*Estrutura de Sinalização do TRÓPICO RA*". Sétimo Simpósio Brasileiro de Telecomunicações. Florianópolis, Setembro de 1989.
- [2] SHANNON, R.E., *Systems Simulation the art and science*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1975.
- [3] BIRTWISTLE, G.M. et all, "*Simula Begin*", Auerbach Publishers Inc. Philadelphia, Pennsylvania, 1973.
- [4] WALLSTRÖN, B., *Congestion Studies in Telephone Systems With Overflow Facilities*, Ericsson Technics No.3,1966, pp.187-351.
- [5] MARTIN, J., *Systems Analysis For Data Transmission*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1972.
- [6] RAITH, T., *Performance Analysis of Multibus Interconnection Networks in Distributed Systems*, Teletraffic Issues in an Advanced Information Society, ITC-11,1985 pp.662-668.

Capítulo 8

Conclusão

8	CONCLUSÃO	8-2
	8.1 Introdução	8-2
	8.2 Futuras Aplicações	8-4
	8.3 Comentários Finais	8-5

CAPÍTULO 8

8 CONCLUSÃO

8.1 Introdução

A performance de um sistema com controle distribuído é altamente dependente da capacidade de escoamento de tráfego de dados e do tempo de resposta da sua estrutura interna de interconexão, responsável pela integração das partes distribuídas. Além disso, o custo da estrutura de interconexão para satisfazer-se os requisitos da aplicação não pode colocar em risco a viabilidade econômica do sistema. A Rede Local de Processadores, tema desta tese, consegue conciliar performance e custo sempre numa proporção adequada ao tamanho do equipamento. Este fator é muito importante para consolidação do Sistema TRÓPICO RA.

As placas onde foram implementadas as funções de processamento (CTE, UPN) e as destinadas especificamente à comunicação de dados (CSP, ECV, ECC, DAP, SPP) têm em média aproximadamente 100 circuitos integrados, entre TTL's, microprocessadores e memórias. Todos os componentes utilizados são de fácil aquisição no mercado nacional. Partindo-se para uma produção em larga escala (isto admitindo-se que o Sistema TRÓPICO RA tenha a chance de concorrer no mercado nacional!), uma maneira de minorar o seu custo de produção seria partir-se para a implementação de circuitos integrados dedicados que poderiam simplificar e reduzir o número de placas, ao mesmo tempo que aumenta a confiabilidade do sistema (número menor de componentes sujeitos à falha), barateando a produção, os testes, manutenção, etc. Esse processo chegou a ser iniciado dentro do CPqD, ainda na fase de desenvolvimento. Entretanto, devido à mudanças de estratégias ocorridas durante a fase de desenvolvimento,

foi descartada essa iniciativa tendo resultado no projeto de apenas um único componente utilizado nas placas CSP, ECV e ECC.

O modelamento da Estrutura de Sinalização do Sistema TRÓPICO RA possibilitou avaliar a capacidade da rede até seus limites superiores, o que seria difícil de se obter através de geradores de tráfego em laboratório, devido a necessidade de uma quantidade vultuosa desses equipamentos. Os geradores de tráfego possibilitam cargas de tráfego localizadas, ideais para avaliação da capacidade de tratamento, por exemplo, de um Módulo de assinantes.

A fim de gerar tráfego de dados através da Estrutura de Sinalização, para verificação da sua capacidade e taxas de erros, o artifício utilizado foi o de executar um software de teste em "loop", que envia e recebe mensagens de testes, em um grande número de processadores. Dentro desse software têm-se contadores de sucessos e insucessos de transmissão. Um dos processadores é encarregado de fazer a coleta dos resultados de todos os demais bem como controlar a interface homem-máquina. O resultado de alguns ensaios mostrou uma média de um erro a cada 50 milhões de mensagens trocadas. Devido ao número limitado de processadores disponíveis para esse experimento (menos de 20 processadores) não foi possível gerar um tráfego de saturação, mesmo com um único Plano de Sinalização¹.

Para um maior detalhamento do modelo de simulação utilizado para avaliação da Estrutura de Sinalização pode ser consultada a referência [1], que além de descrever o modelo de simulação de maneira minuciosa apresenta também um modelo analítico aproximado para a avaliação de desempenho da rede e os resultados de alguns ensaios de equipamentos.

Conforme foi descrito no Capítulo 4, a Rede Intermodular pode ser configurada com um potencial de até 48 Mbits/s, correspondendo a quatro Planos

¹ O autor desta tese deixou de fazer parte do quadro de pesquisadores do CPqD em Setembro de 1990, quando ainda não tinha-se um ambiente para testes mais rigorosos.

de Sinalização e 24 Vias de Comunicação a 2 Mbits/s. A distribuição de cada Via de Comunicação em aos usuários ocupa um tempo de serviço nos Alocadores de aproximadamente 25 μ s (placa CSP). Com o intuito de verificar a possibilidade da aplicação da Estrutura de Sinalização para um Ponto de Transferência de Sinalização (sistema dedicado exclusivamente ao tráfego de sinalização telefônica), foi realizado um ensaio utilizando-se duas Unidades de Controle Genérica (placas UPN e SPP), uma transmitindo e a outra recebendo mensagens. Independentemente do número Planos de Sinalização (a estrutura estava dedicada integralmente a estas duas unidades), foi verificada uma vazão de cerca de 600 mensagens/s (32 bytes/mensagem), sendo que a fila de mensagens do transmissor nunca possuía mais do que duas mensagens. Essa experiência possibilitou concluir que a limitação da Unidade de Controle estava na capacidade de processamento do Processador e não no seu Circuito Dedicado de Sinalização (CIDS).

8.2 Futuras Aplicações

Com o objetivo de diminuir o custo de instalação da rede de assinantes (linha de transmissão entre a central e os aparelhos telefônicos) existe uma tendência em desenvolverem-se centrais telefônicas com comutação distribuída. A idéia é, essencialmente, levar partes da central telefônica para mais perto dos assinantes e com isso diminuir o tamanho da linha de transmissão que é exclusiva para cada assinante. Com este enfoque, um outro desenvolvimento previsto para o Sistema TRÓPICO RA foi o de desagregar os Módulos Terminais da central. Para isso, seriam desenvolvidos dois novos Módulos, um residente no "corpo da central" e o outro junto aos Módulos Terminais remotos, distanciados de até 50 Km. Caberia a estes dois Módulos possibilitar a transferência de informação a longa distância. Essa conexão seria realizada através de fibras óticas, do ponto de vista da Estrutura de Sinalização, como uma extensão adaptada do Barramento de Sinalização.

Dentre as aplicações previstas para o Sistema TRÓPICO RA (isto no final de 1990) também estava o nó RDSI faixa estreita (sem o serviço de imagem dinâmica). Nos estudos realizados ficou definido a utilização da Estrutura de Sinalização para o tratamento das informações transportadas pelo canal D e a Estrutura de Voz para transporte das informações dos canais B.

Visando desenvolver um sistema capaz de atender aplicações em banda larga (por exemplo, RDSI banda larga), o próximo passo que seria seguido, como evolução da Estrutura de Sinalização, era fundamentalmente aproveitar de maneira mais eficiente, a potencialidade dos Barramentos de Sinalização. Foi descrito no Capítulo 4 que cada Plano de Sinalização pode apresentar um grande número de Barramentos de Sinalização correspondendo a um mesmo conjunto de Vias de Comunicações. Como foi visto, quando uma Via de Comunicação é ocupada numa comunicação em um dos barramentos, essa ocupação estende-se a todos os demais barramentos (Via de Comunicação correspondente), sendo este potencial efetivamente não aproveitado. Seria então interessante desvincular o conjunto de Vias de Comunicação de cada barramento, de forma a permitir a utilização delas independentemente.

Uma forma de aproveitar todo o potencial dos Barramentos de Sinalização seria dotar o nó central da topologia do Plano de Sinalização da capacidade de comutar Vias de Comunicação entre os barramentos. A alocação das Vias de Comunicação poderia ter seu controle distribuído nos próprios Módulos usuários, sendo utilizado as próprias mensagens transmitidas para realizar o roteamento pela rede (mensagens "auto-roteantes").

8.3 Comentários Finais

O ciclo de desenvolvimento do Sistema TRÓPICO RA teve dois fatores básicos que contribuíram para retardar o seu desenvolvimento. Um fator foi as alterações de cunho político que instabilizaram o ciclo de desenvolvimento

normal, com mudanças de prioridades, estratégias e gerenciamento! O segundo fator foi técnico. A concepção do software de aplicação foi realizada tendo como premissa a falsa idéia de que os processadores tivessem uma capacidade de processamento e de memória infinita! Essa idéia foi uma decorrência direta do desenvolvimento da Central TRÓPICO R, onde utilizou-se somente microprocessadores INTEL8085 com 64 Kbytes de memória, programado em assembly. No Sistema TRÓPICO RA, a princípio, utilizaria-se o mesmo microprocessador, tendo sido inclusive implementado placas processadoras com os mesmos. Entretanto, um sistema do porte do TRÓPICO RA deveria ter sua programação utilizando uma linguagem de alto nível, além de implementar novas funções. Como resultado, seria inviável utilizar o mesmo microprocessador devido ao maior "overhead" do código gerado e a inclusão de novas funções (limitação na capacidade de memória e processamento). Ao mudar-se para o microprocessador INTEL8088 (8 MHz) com 256 Kbytes de memória, difundiu-se entre os projetistas a falsa idéia de que esta configuração de processador (com quatro vezes a quantidade de memória utilizada no TRÓPICO R!) permitiria implementações sem a preocupação de espaço de memória e processamento. Em função disso, logo foi necessário o reprojeto dos processadores para ampliar a capacidade de memória para 768 Kbytes (aproveitou-se também para trocar o microprocessador pelo compatível NEC V20 (10 MHz)).

Hoje, o Sistema TRÓPICO RA ainda está em fase de depuração, o que é normal no ciclo de vida de qualquer desenvolvimento de porte equivalente. Qualquer sistema deste nível presente no mercado internacional, certamente sofreram e sofrem ainda correções de mesma natureza. As condições e variáveis envolvidas para o funcionamento de um equipamento desta natureza não podem ser todas avaliadas e testadas em laboratório.

O Sistema TRÓPICO RA tem uma concepção avançada, tendo como principal característica a simplicidade. É necessário que seja dado tempo e condições para que ele possa amadurecer e consolidar-se, e em decorrência o país possa ter uma independência tecnológica no campo das comunicações telefônicas.

REFERÊNCIAS

- [1] LAVELHA, A.C., "*Análise de Sistemas Multifilas com Múltiplos Servidores Cíclicos*" Tese de Doutorado, FEE-UNICAMP, Outubro de 1991.

Apêndice

APÊNDICE

A.1 ABREVIACÕES

BF:	Bloco Funcional
BF SINP:	BF Sinalização Interprocessadores
BI:	Bloco de Implementação
BIDS:	BI Dedicado de Sinalização
CA:	Circuito de Aplicação
CC:	Bloco Controle de Comunicação
CCITT:	Comite Consultivo Internacional de Telegrafia e Telefonia
CEPT:	Comite Europeu de Correios e Telecomunicações
CIDS:	Circuito Dedicado de Sinalização
CHECK:	Caracter anexado à mensagem para teste de integridade
CHILL:	CCITT High Level Language
CPqD:	Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da TELEBRAS S.A
CRC:	Código de Redundância Cíclica
CSI:	Placa Controlador de Sinalização Interprocessadores
CSP:	Placa Controlador de Sinalização Paginada
CTE:	Placa Controlador de Terminais
DAP:	Placa Duplo Acesso aos Planos
ECC:	Placa Estágio Concentrador de Controle
ECV:	Placa Estágio Controlador de Vias
E/S:	Entrada e Saída
IES:	Interferência Entre Símbolos (Intersimbólica)
LEPF:	Linguagem de Especificação de Projeto Funcional
MACO:	Matriz de Comutação
NAND:	Soma lógica complementada (Booleana)
NOK:	Caracter indicador de insucesso no último passo do protocolo
NOKPAC:	Erro na transmissão do pacote de mensagem (NOK Pacote)
OK:	Caracter indicador de sucesso no último passo do protocolo
OKPAC:	Caracter de sucesso na transmissão da mensagem associada
PCM:	Modulação por Código de Pulso

PLL:	"Phase Locked Loop"
PS:	Prestador de Serviço
RAM:	Memória de Acesso Aleatório
ROM:	Memória Só de Leitura
RDSI:	Rede Digital de Serviços Integrados
SMX:	SubMódulo de Comutação
SO:	Sistema Operacional
SPP:	Placa Sinalização do Processador Preferencial
SQ:	Pulso de Sincronismo de Quadro
TELEBRAS:	Telecomunicações Brasileiras S.A
TTL:	Lógica Transistor Transistor
UAP:	Unidade de Acesso a Plano
UC:	Unidade de Controle
UCC:	Unidade de Controle de Comunicação
UG:	Usuários Genéricos
UIP:	Unidade de Interface a Plano
UPP:	Unidade de Acesso do Processador Preferencial
UPN:	Placa Unidade de Processamento Numérico