

CARACTERIZAÇÃO DE UMA REDE LOCAL PARA INTEGRAÇÃO DE SERVIÇOS  
DE DADOS, ÁUDIO E VÍDEO

Cesar A. C. Teixeira, UFSCar, EPUSP  
End: Universidade Federal de São Carlos  
CEP 13560 - São Carlos - SP

Wilson V. Ruggiero, PhD, Scopus Tecnologia, EPUSP  
End: Rua Bela Cintra 881, 9o. andar  
CEP 01415 - São Paulo - SP

## RESUMO

O objetivo deste artigo é analisar e discutir os requisitos, a arquitetura e o desempenho de uma rede local com integração de serviços.

Inicialmente apresenta-se um levantamento dos requisitos exigidos da rede local, capaz de suportar a integração de serviços de comunicação de dados, áudio, e vídeo.

A seguir é descrita a arquitetura física da rede local que se propõe à atender esses serviços e, finalmente, procede-se à avaliação de seu desempenho.

## 1 - INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico caminha no sentido de tornar viável a utilização da informática no auxílio de tarefas cada vez mais comuns à vida cotidiana. Em particular, a tendência de baixa nos custos de microcomputadores e meios de armazenamento de massa, e a evolução dos dispositivos de interação homem-máquina, permitem argumentações favoráveis a se automatizar, presentemente, tarefas de rotina de escritórios e ambientes congêneres. As redes locais são estruturas básicas apropriadas para comportar a conexão e a comunicação entre uma gama variada de equipamentos, que devem compor um escritório automatizado. Para tanto, a rede de comunicação deve tratar, de maneira integrada, tráfegos de diferentes tipos de informação, como dados, áudio e vídeo.

Assim, ao se propor uma arquitetura para rede local de propósito geral, é importante que sejam considerados os requisitos impostos a esse sistema de comunicação, para que possam ser atendidas também as novas aplicações, que o momento tecnológico tem demonstrado a viabilidade de implementação.

O compartilhamento de recursos, e a simples troca de mensagens - em ambientes de processamento de dados, e no controle de processos em laboratórios e ambientes industriais, respectivamente, são as aplicações mais comuns, atualmente, para redes locais. No entanto, com o desenvolvimento tecnológico

da microeletrônica, a redução dos custos de microcomputadores e equipamentos afins, e a evolução dos dispositivos de interação homem-máquina, delineiam-se novas aplicações que tendem a integrar esses equipamentos, e propiciar a automação de tarefas mais corriqueiras à vida humana. Dentro desse contexto, a automação de escritório tem recebido argumentações técnicas e econômicas favoráveis à sua realização [1].

São muitos os conceitos de informação, tecnologias de processamento, meios de armazenamento e métodos de comunicação inerentes a um escritório. Como conceitos de informação incluem-se cartas, memorandos, formulários, reportagens, fotos, filmes, "slides", etc. As tecnologias de processamento reúnem máquinas de escrever, copiadoras, gravadores, calculadoras, computadores, etc. Entre os meios de armazenamento encontram-se papéis, fichários, fitas magnéticas, discos magnéticos, memórias, etc. Finalmente a comunicação e disseminação de informações num escritório são realizadas através de telefonemas, correio postal, correio eletrônico, conversação face a face, mensagens gravadas, quadros, cartazes, projeções de "slides" e filmes, etc.

Existe pouca integração entre as diversas tecnologias encontradas num ambiente de escritório, a qual é, em sua grande parte, realizada pelo homem, que datilografa documentos, copia-os, arquiva-os, e remete-os. Um princípio de integração mais efetiva tem sido experimentada com os sistemas de processamento de palavras e correio eletrônico. No entanto, existe potencial para integração muito maior, e que deve ser alcançada, caso se pretenda, realmente, realizar a automação de tarefas de escritório.

A rede local é considerada forte alternativa de estrutura base sobre a qual se daria essa integração. Para tanto, é essencial que suporte, de maneira integrada, essa diversidade de tráfegos. Espera-se que serviços como telefonia avançada, comunicação de dados, videofone, video-conferência, "fac-simile", etc., estejam incluídos numa proposta ampla de automação de escritórios.

Independente dos requisitos exigidos pela automação de escritórios, a integração de tráfegos distintos numa rede local é vista com interesse sob aspectos econômicos e técnicos. Entre as possíveis vantagens de tal prática citam-se:

- . investimento otimizado: evita-se a multiplicidade de cabos e equipamentos comuns às diversas aplicações.
- . instalações, operação e manutenção integrada: evita-se a multiplicidade de esforços independentes com instalação, operação e manutenção, que seria necessária no caso de redes dedicadas a cada serviço.
- . utilização otimizada: as características de tráfego diferentes para as diversas aplicações são, em alguns aspectos, complementares, o que permite a otimização do uso do canal de comunicação.

O suporte a essa diversidade de tráfegos, entretanto, impõe requisitos a uma rede local, geralmente de difícil

atendimento simultâneo. A transmissão de dados, por exemplo, exige baixa taxa de erros de transmissão, enquanto que na transmissão de sinais de voz, esse quesito tem pouca importância. O atraso e sua variância devem ser suficientemente pequenos para que o serviço de transmissão de voz não seja degradado, a ponto de resultar em qualidade inaceitável. Na transmissão de imagem, animada principalmente, a altíssima vazão requerida é a característica fundamental do tráfego.

Apresentam-se, no Item 2, resultados estimados, ou obtidos através da literatura especializada na área, que visam qualificar e quantificar, de forma aproximada, os requisitos, impostos a uma rede local, para o atendimento a diversos serviços. São enfatizados, quando relevantes ao tipo de tráfego em estudo: a capacidade efetiva exigida da rede; o valor médio e a variância do atraso suportado pela informação transmitida.

Além de atender a esses requisitos, para cada serviço isoladamente, a rede deve apresentar características que permitam o suporte dos diversos serviços de maneira integrada. Entre os pontos relevantes citam-se:

- capacidade de suportar um número elevado de equipamentos terminais de dados - ETs - (na ordem de algumas centenas ou milhares, para ambientes típicos a redes locais com integração de serviços de voz principalmente). Como exemplos de ETs citam-se processadores de dados, telefones, monitores de vídeo, etc.
- capacidade de interligar ETs com alto índice de dispersão geográfica - mesmo que situados numa área restrita, que em geral é maior quando se interligam equipamentos de áudio e vídeo, além dos equipamentos comuns ao processamento de dados.
- possibilidade de utilização de fibras óticas como meio físico de comunicação, de maneira a: poder-se atravessar ambientes propícios à geração de interferências eletromagnéticas para o alcance dos ETs; conseguir-se pequena atenuação de sinal para cabos longos; poder-se alcançar altas taxas de transmissão.
- capacidade de admitir heterogeneidade acentuada entre as classes de ETs interligados, com geração de mensagens de tamanhos variados, a taxas de ordens de magnitude bastante diferentes, e protocolos distintos.
- possibilidade de priorização do atendimento a serviços mais sensíveis ao atraso de transmissão.
- capacidade de manter alto índice de segurança e disponibilidade do sistema.

A constatação de que é desejável que uma rede local, para integração de serviços, apresente essas propriedades, e o estudo das diversas alternativas de topologia e gerência do compartilhamento de recursos comuns, levaram os autores à opção por uma topologia hierárquica com independência entre segmentos. Centrais de comutação independentes e os ETs que conectam-se a elas, são dispostos em níveis de uma estrutura em árvore (compondo seus nós) e, quando necessário, comunicam-se entre si utilizando-se as ramificações da estrutura (linhas de comunicação) e as centrais comutadoras intermediárias,



encontradas no trajeto. A comunicação interna a uma central é realizada utilizando-se apenas meios passivos, os quais, quando comuns, são compartilhados mediante a execução de um algoritmo de gerenciamento distribuído, fundamentado na comparação de códigos de prioridade.

No item 3 apresenta-se uma descrição geral da arquitetura física da rede. O sistema é, em seguida, modelado através de redes de filas. Utilizando-se aproximações sugeridas por Sevick [2] e Allen e Cunneen [3], para processos com taxas de chegada e tempo de serviço com distribuições genéricas, obtém-se alguns resultados para a avaliação de desempenho da rede, a ser aprofundada na sequência deste trabalho.

## 2 - LEVANTAMENTO DE REQUISITOS

### 2.1- Transmissão de Dados

A transmissão de dados está associada em geral a aplicações que requerem um alto grau de confiabilidade, como a transferência eletrônica de fundos, e o controle de processos em tempo real.

São tratados neste ítem os requisitos impostos a uma rede local para o suporte de serviços que impliquem em transmissão interativa de dados, transmissão de datagramas e transmissão de arquivos.

#### 2.1.1- Transmissão Interativa de Dados

O tráfego interativo de dados é gerado por aplicações que requerem a troca de mensagens curtas (algumas dezenas de octetos) entre os elementos comunicantes. Incluem-se nesta categoria as aplicações de consulta - através de terminais remotos - às informações armazenadas em dispositivos ligados à rede, e a troca de mensagens entre processos, executados paralelamente em máquinas distintas, na realização de um processamento distribuído.

As consultas através de terminais remotos caracterizam-se, em geral, pela emissão de mensagens de inquirição, preparadas pelo usuário, e pela geração de respostas provenientes do dispositivo interrogado. Estudos realizados no projeto da rede ARPA [4] [5], sugerem um limite de 200 ms no atraso de transmissão entre dois nós quaisquer, para satisfazer aos critérios de qualidade de uma comunicação interativa naquele ambiente. Considerando-se que a rede ARPA é uma rede de longa distância, é razoável esperar-se de uma rede local uma redução, no atraso de transmissão de mensagens, de ordem 4 a 5 vezes menor, ou seja, em torno de 50 ms. Na prática, este valor implica na transparência da rede, sob o aspecto do atraso de transmissão, independente do tempo de processamento nos nós fonte e destino.

Um programa distribuído para realização de cálculos que não sejam em tempo real, em geral, não exige requisitos rígidos do sistema de comunicação. É suficiente que a comunicação não

impacte a execução do programa a ponto de atrasar os resultados e prejudicar a aplicação, como nos cálculos de meteorologia, por exemplo. Porém, no processamento distribuído em tempo real [6] [7] [8], o tempo máximo que um nó pode esperar para ganhar acesso ao meio comum e transmitir sua mensagem, pode estar limitado a valores críticos, sob pena de provocar danos ao processo controlado pelo sistema. De acordo com a padronização CAMAC (Computer Automated Measurement and Control), que estabelece normas para sistemas de controle de processos na área de energia nuclear, esse tempo está limitado a 20 ms para acessos normais, e 2 ms para transferência de mensagens de urgência.

### 2.1.2- Transmissão de Datagramas

Define-se datagrama, neste contexto, como uma mensagem curta (dezenas de bits) transmitida por um determinado nó, a um ou mais nós da rede, e que não requer mensagem de reconhecimento. O atraso imposto à mensagem neste caso, não está sujeito aos limites rígidos da transmissão interativa de dados, já que não há interação direta entre os usuários comunicantes.

### 2.1.3- Transmissão de Arquivos

A transferência de arquivos é uma das aplicações mais comuns para redes locais. Em geral, a rede comporta estações, denominadas servidores de arquivos, que controlam dispositivos de armazenamento de massa, os quais podem ser compartilhados por outras estações da rede [9]. No entanto, deve-se tomar providências a fim de minimizar-se os efeitos causados pela substituição de um meio de armazenamento próprio e local por um comum e remoto.

Os requisitos fundamentais desse serviço, exigidos da rede para torná-la transparente ao usuário, relacionam-se com sua capacidade efetiva e a taxa de erro admissível. O atraso e sua variância toleram valores menos rígidos.

Entre as operações envolvidas na transferência de arquivos incluem-se o acesso à informação no meio de armazenamento de origem, sua leitura e transferência realizadas pelo circuito controlador e interface de origem, o acesso ao ponto de gravação realizadas pelo circuito controlador e interface do dispositivo de destino. Para que a rede apresente um comportamento transparente é suficiente que, na hipótese da não existência de conflitos no acesso aos meios comuns de transmissão e armazenamento, ela tenha características compatíveis com os dispositivos envolvidos na transferência. Assim, seus valores de capacidade efetiva, atraso, e taxa de erros de transmissão devem ser pelo menos da mesma ordem de grandeza dos valores de taxa de transferência, tempo de acesso, e taxa de erros não recuperáveis, respectivamente, apresentados por aqueles dispositivos.

Observando-se as características dos acionadores de disco, seus circuitos controladores e interfaces, existentes no mercado para micros, minis e computadores de grande porte,

pode-se estabelecer as seguintes faixas aproximadas de valores para o tempo de acesso e taxa de transferência: tempo de acesso - 10 ms a 200 ms; taxa de transferência - 125 Kbps a 20 Mbps.

Ao se considerar uma situação real, em que vários usuários podem entrar em conflito no acesso ao meio de comunicação ou ao servidor de arquivos, ou ter de aguardar a liberação desses elementos comuns, as exigências sobre a rede devem ser maiores. A taxa de transferência, por exemplo, deve ser aumentada para se tentar compensar as esperas impostas aos usuários não vitoriosos nas contendas, ou que tenham que aguardar atendimento. Os acréscimos necessários dependem do número de estações conectadas à rede, do método de acesso ao meio de comunicação, do "overhead" imposto pelo algoritmo de atendimento do servidor de arquivos, e da estimativa estatística da carga do sistema.

## 2.2- Transmissão de Áudio e Vídeo

Embora oriundos de fontes radicalmente diferentes e de natureza de percepção e propagação totalmente distintas, os fenômenos de audição e visão podem ser encarados de maneira semelhante, quando se trata de representar e transmitir os estímulos de áudio e vídeo através de sinais elétricos.

O transporte de sinais de áudio e vídeo por um enlace digital, que é a situação de interesse deste trabalho, exige a codificação desses sinais analógicos, em uma cadeia de dígitos binários, que são por sua vez decodificados, para valores analógicos, nos elementos de recepção. Vários métodos de codificação, e circuitos VLSI que facilitam sua implementação, têm sido desenvolvidos, sendo o PCM (Pulse Code Modulation) um dos mais difundidos, devido à sua simplicidade.

Na transmissão de voz, padrão telefonia, a codificação PCM típica gera uma taxa de 64 Kbps, que é suficientemente baixa para permitir que uma rede local, operando na faixa de alguns Mbps, possa suportar várias conversações simultâneas. No entanto a transmissão de imagens, animadas principalmente, implica em taxas muito maiores obrigando o desenvolvimento de técnicas de codificação mais complexas. Essas técnicas tiram proveito de redundâncias contidas na informação fonte analógica, e conseguem reduções significativas na taxa de bits gerada. Para tanto, são realizadas compressões da dados, a custo de maior processamento do sinal, que podem aumentar o atraso na transmissão da informação.

Para se ter uma estimativa da taxa de bits resultante da codificação PCM, para transmissão de imagens animadas, faz-se a seguir uma análise do processo de transmissão monocromática. Primeiramente a imagem contínua é amostrada no domínio espacial produzindo-se uma matriz  $N \times N$  de amostras discretas, que são quantizadas de acordo com a intensidade de brilho, utilizando-se  $2^*K$  níveis. Portanto, B, o número total de bits transmitido por quadro é dado por  $B = (N * 2) * K$ .

Após a realização de testes subjetivos para se determinar as relações entre N e K, de maneira a se conseguir a "melhor" imagem a custos razoáveis, os sistemas comerciais de televisão adotaram os valores  $N = 525$  ou  $625$ , e  $K = 8$  bits por



elemento de quadro ("pixel" - picture element). Considerando-se a necessidade de se transmitir pelo menos 30 quadros por segundo (com "interlacing") [10], para se evitar o efeito de "flicker", a taxa resultante é de  $30 \times 8 \times (525 \times 2) = 66 \text{ Mbps}$ , ou  $30 \times 8 \times (625 \times 2) = 93 \text{ Mbps}$ .

Torna-se evidente, portanto, que a capacidade efetiva do canal é um dos quesitos mais exigidos de uma rede que pretenda suportar a transmissão de imagens.

Nos sub-ítems seguintes, apresentam-se os requisitos exigidos da rede para o suporte de diversos tipos de serviços, que envolvem a transmissão de áudio e imagens (animadas ou não). Em relação à capacidade efetiva do canal requerida, consideram-se as tendências de técnicas de codificação usualmente utilizadas, cuja complexidade e eficiência tem sido julgadas toleráveis e aceitáveis para os serviços a que se destinam.

### 2.2.1- Difusão de Áudio

Por estar limitada a uma banda entre 200 e 3200 Hz, os sinais de voz no padrão telefonia podem, e os são geralmente, ser codificados pela técnica PCM [11] [12]. O algoritmo utilizado pelo PCM é simples, e apresenta custo de implementação reduzido, relativamente a outros métodos de codificação. A taxa de bits gerada, para índice de quantização de 8 bits e intervalo de quantização de 125 microsegundos, é de 64 Kbps.

O tráfego de voz apresenta uma característica peculiar de descontinuidade. Apesar de ser tratado tradicionalmente como um fluxo contínuo de informações, verifica-se que o tráfego de voz, em cada direção de uma conversação telefônica, permanece interrompido durante 60 a 65% do tempo [13]. Isto se explica pelo fato de que apenas um interlocutor permanece ativo em cada momento, além de existirem pausas entre sentenças, palavras e mesmo entre sílabas. Numa transmissão de voz unidirecional, a fração de tempo de ocorrência de silêncio pode ser então considerada de 10 a 15%.

Ao se transmitir sinais de voz por uma rede de comutação de pacotes, os intervalos de silêncio podem ser aproveitados para o envio de outras informações, reduzindo-se assim a capacidade efetiva da rede exigida pela transmissão de voz [14] [15].

A transmissão de áudio de média qualidade (7 KHz), pode também ser realizada a taxa de 64 Kpbs ou mesmo 56 Kpbs, utilizando-se os códigos adaptativos APCM (Adaptive Pulse Code Modulation) e ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation) [16]. Essas mesmas técnicas, aplicadas à transmissão de voz na qualidade do padrão telefonia e na difusão de áudio de alto padrão (20 KHz), exigem taxas de transmissão em torno de 32 Kpbs e 150 Kpbs respectivamente.

O atraso médio imposto a um sinal difundido pela rede não é um quesito importante para serviços não interativos, no entanto a sua variação deve enquadrar-se numa faixa restrita, para que não se quebre a continuidade da voz ou da música. A descontinuidade anômala de um sinal de voz pode prejudicar sua inteligibilidade, enquanto que a ocorrência desse fenômeno na música pode interferir negativamente na qualidade da audição.

Considerando-se que cada rajada de conversação

(segmento contínuo de sinal de voz entre dois intervalos de silêncio) seja transmitido num único pacote, o efeito da variância, no atraso de transmissão, se manifesta através de modificações no tamanho dos intervalos de silêncio. Estudos realizados [17], sugerem que o tamanho dos intervalos de silêncio podem ser alterados em até 50% antes de se tornarem perceptíveis. Baseando-se na média de duração desses intervalos em uma difusão de voz, essas variações significam alterações médias de até 150 ms [18]. A técnica de concatenação de rajadas de conversação com intervalos de silêncio pequenos ("talkspurt hangover"), elimina esses intervalos do tráfego de voz, que passa a ser formado apenas por longas rajadas de conversação e longos intervalos de silêncio. Assim, às custas de maior utilização do canal de comunicação, pode-se aumentar significativamente a variância do atraso.

Por outro lado, se os pacotes de amostras de voz, ou áudio em geral, forem de tamanho fixo, e gerados em intervalos regulares, pode-se inserir atrasos artificiais,  $T_v$ , na recepção dos sinais, a fim de se compensar possíveis variações no atraso. Denominando-se  $T_a$  a distribuição do atraso de transmissão, e  $[T_a]$  o atraso médio,  $T_v$  deve ser escolhido de forma que  $p(T_a > [T_a] + T_v)$  seja desprezível [14]; além disso  $T_v$  deve ser suficientemente pequeno para não se ultrapassar os limites máximos de atraso exigidos pelas aplicações. Assim, todas as variações de módulo menor ou igual a  $T_v$  podem ser compensadas.

Na difusão de áudio, o atraso não obedece limites rígidos, o que permite, em princípio, compensar qualquer variação, às custas da manutenção de quantidade suficiente de "buffers" na recepção, para se aplicar os atrasos necessários.

### 2.2.2- Transmissão Interativa de Voz

Os requisitos exigidos da rede de comunicação, são os mesmos necessários ao atendimento de serviços de difusão de voz com padrão de telefonia, acrescidos de maior rigidez nos limites de atraso de transmissão.

A transmissão de sinais de voz via satélite, tem demonstrado na prática, que atrasos de 300 ms (um enlace de satélite) ou 600 ms (dois enlaces de satélite), trazem prejuízos pouco significativos às conversações telefônicas. Sugere-se entretanto, que para a manutenção de diálogos consistentes e serviço de boa qualidade, o atraso médio deve estar limitado a 200 ms [19].

### 2.2.3- Transmissão de Documentos e Fotografias

A digitalização de documentos ou fotografias gera uma quantidade elevada de bits, comparada à necessária para se representar caracteres através de códigos. De acordo com as recomendações T.2, T.3 e T.4 do grupo XIV do CCITT, para transmissão de documentos pelo processo "fac-simile", o quadro deve ser varrido de maneira a gerar-se 1728 pixels por linha e 3,85 linhas por milímetro, na resolução normal, e o dobro



disso em alta resolução.

Para um documento no tamanho padrão A4, são produzidos cerca de 1728 x 2400 pixels [20]. A compressão de bits resultante, do método de codificação da recomendação T.4, permite que um documento de tamanho padrão A4, e de apenas duas tonalidades, seja transmitido em aproximadamente 1 minuto. Essa recomendação, no entanto, destina-se à padronização de transmissões através de redes telefônicas normais. Para redes locais, que admitem vazões muito maiores, é conveniente uma abordagem análoga à adotada para os serviços de transmissão de arquivos. Assim, deve-se levantar os requisitos no sentido de tornar a rede o mais transparente possível ao usuário, fazendo com que os serviços mantenham maiores dependências com os equipamentos de geração (memórias óticas, câmeras, rastreadores de imagem, etc) e recepção (impressoras, monitores de vídeo, etc.) de imagens. Portanto, é suficiente que a rede apresente capacidade efetiva, e atraso, da mesma ordem de grandeza que as apresentadas por esses equipamentos.

Dispõem-se atualmente, a nível comercial, de rastreadores de imagem para digitalização de documentos e fotografias, capazes de produzir taxas em torno de 1 Mbps [21], no entanto, a transferência de documentos e fotografias, de memória a memória, é que impõe maiores exigências à rede. O desenvolvimento de técnicas de gravação e leitura ótica tem permitido a implementação comercial de sistemas acionadores de disco ótico, capazes de armazenar dezenas de gigabits em uma única superfície, mantendo em média as seguintes características [22]: taxa de transferência - 2 a 5 Mbps; tempo de acesso - 100 a 500 ms.

#### 2.2.4- Difusão de Imagens

A difusão de imagens tratada neste ítem abrange o suporte a serviços de vídeo-conferência, monitoração, e demais aplicações comuns a um circuito interno de TV, onde se inclui a difusão de vídeos com a qualidade de programas de difusão comercial. Portanto, devem ser consideradas as imagens monocromáticas ou coloridas e de pequeno ou alto grau de movimento.

O sinal de vídeo colorido carrega as informações de luminância e crominância da imagem. A luminância indica a intensidade de brilho da imagem, enquanto a crominância refere-se à matiz e saturação de suas cores [10]. Os monitores de TV branco e preto ignoram a crominância e utilizam somente as informações de luminância, que é a responsável por cerca de 75% da banda passante necessária para transmissão de um sinal de vídeo colorido [23] [24]. Assim, pode-se considerar que transmissores de imagens coloridas requerem uma capacidade efetiva da rede cerca de 1/3 maior que a necessária para transmissões de imagens monocromáticas.

Os serviços de monitoração e vídeo-conferência lidam, em geral, com imagens que apresentam um grau de movimento muito pequeno. Essa característica permite a utilização de códigos que tiram proveito da grande semelhança entre os sucessivos quadros transmitidos, e que resultam em taxas de transmissão reduzidas.

Quando se deseja, entretanto, o desempenho encontrado na difusão de TV comercial, onde a movimentação da cena, da câmera, ou a execução rápida de efeito "zoom", podem implicar em diferenças significativas entre quadros consecutivos, torna-se necessária a transmissão de maior número de informações por unidade de tempo, para que o dispositivo receptor possa realizar as mudanças de quadro exigidas. As técnicas de codificação apresentadas nas referências [23] e [24] requerem taxas de transmissão de 10 a 30 Mbps.

O atraso na difusão de imagens não é um quesito importante para a rede, pois não estão sendo considerados serviços interativos. No entanto, o desvio padrão deve estar restrito a um valor máximo para que não ocorram descontinuidades ou perda de sincronismo na exibição da imagem. Supondo-se que o dispositivo de exibição opere com defasagem de um quadro, e que cada pacote da rede carregue exatamente as informações para a geração de um novo quadro, então o sistema deve garantir um valor pequeno para a probabilidade do atraso de transmissão ser maior que o atraso médio, adicionado de 33 ms (tempo de rastreamento de um quadro).

#### 2.2.5- Transmissão Interativa de Imagens

A transmissão interativa de imagens é utilizada nos serviços de videofone. Os requisitos exigidos são aqueles dos serviços de vídeo-conferência, acrescidos de maior rigidez no tempo de atraso imposto à informação. O atraso deve estar limitado a um valor máximo, para que não seja prejudicada a interação entre os usuários, que deve obedecer ao padrão de uma conversação face a face.

Conforme mencionado no item 2.2.2, o atraso na transmissão interativa de sinais de voz deve limitar-se a 200 ms. Apesar de não se dispor de estatísticas, é de se esperar que, numa interação visual, esse valor seja reduzido para algumas dezenas de microsegundos, que é a ordem de grandeza do tempo de reação humana, decorrente da visão. Desse tempo devem ser reduzidos ainda 33 ms, caso seja considerada a hipótese do item 2.2.4, de que o dispositivo de exibição trabalhe com atraso de um quadro, e os atrasos inseridos pelo processamento do sinal de vídeo, exigido pela codificação e decodificação adotada na compressão de dados. Em geral, técnicas de compressão complexas exigem menores taxas de transmissão, porém inserem maiores atrasos na informação.

#### 2.3- Tabela

A tabela 1 representa de maneira compacta os valores discutidos nos sub-Ítens anteriores. O coeficiente de variância é considerado como a divisão da variância pelo quadrado da média.

Tráfego	Capacidade Efetiva (Mbps)	Atraso Médio (ms)	Coefficiente de Variância do Atraso
Transmissão Interativa de dados	-----	50 (*)	-----
Trasmissão de Datagramas	-----	-----	-----
Trasmissão de Arquivos	0.15 a 20.0	30 a 200	-----
Difusão de Voz	0.03 a 0.06	-----	0.25 (**)
Difusão de Áudio média qualidade	0.6	-----	0.25 (**)
Difusão de Áudio alta qualidade	0.15	-----	0.25 (**)
Trasmissão Interativa de Voz	0.03 a 0.06	200	0.25
Difusão de Documentos e Fotografias	2 a 5	100 a 500	-----
Difusão de Imagens de pouco movim.	1.5	-----	----- (***)
Difusão de Imagens de muito movim.	10 a 30	-----	----- (***)
Transmissão Interativa de imagem c/ pouco movim.	1.5	-----	----- (***)

Tabela 1 - Requisitos impostos a uma Rede Local para o suporte de vários tipos de tráfegos

(\*) - aplicações em controle de processos de pouca tolerância a atrasos, exigem tempos de acesso máximo ao meio de comunicação, da ordem de 20 ms para mensagens normais e 2 ms em casos de urgência.



- (\*\*) - considerando-se o atraso médio em torno de 300 ms e a não utilização de mecanismos de compensação de sua variância.
- (\*\*\*) - vide considerações no sub-ítem 2.2.4.

### 3- DESCRIÇÃO GERAL DA ARQUITETURA FÍSICA

A arquitetura da rede obedece a uma estrutura em árvore, cuja raiz e nós não terminais são compostos por centrais comutadoras de mensagens, e os nós terminais pelos ETs. Os arcos da estrutura representam as linhas de comunicação seriais e bidirecionais que permitem, quando necessário, o repasse de mensagens entre centrais (figura 1).

A comunicação entre dois ETs estabelece relações de hierarquia na rede, uma vez que torna-se obrigatório o uso de centrais de níveis superiores na estrutura da árvore, para se completar o enlace necessário na transferência e comutação de mensagens. No entanto, existe independência de qualquer outra central não pertencente à sub-árvore que contenha os ETs comunicantes, ou não esteja incluída na trajetória que os interliga. Essa característica, que permite denominar a arquitetura de hierárquica independente, contribui com a segurança e disponibilidade da rede, pois permite o seu funcionamento parcial, mesmo com a ocorrência de falhas irreversíveis em segmentos do meio de comunicação ou de centrais comutadoras.

A topologia hierárquica independente, permite a implementação de redes locais otimizadas, em relação à capacidade de canais de comunicação. A alocação de ETs na estrutura, de acordo com previsões bem fundamentadas das taxas de geração e recepção de mensagens por cada ET, e do volume de tráfego entre pares de ETs, é uma medida fundamental em busca dessa otimização. Assim, quando se prevê uma concentração de tráfego entre um conjunto de ETs, esses devem, preferencialmente, conectarem-se a uma mesma central, em geral de nível 2. Por outro lado, ETs que geram ou recebem grande volume de mensagens, podem ser conectados diretamente a centrais de nível 3 ou superior. É comum ETs geograficamente próximos apresentarem afinidades entre si, e conseqüentemente concentração de tráfego interno ao conjunto. Isso induz à ligação desses ETs a uma mesma central, que pode ser instalada em lugar próximo ao conjunto, proporcionando economia de cabos.

Como elemento de chaveamento de mensagens, cada central comutadora compõe-se de um conjunto de circuitos independentes, confinados em receptáculo adequado, que se intercomunicam através de uma única via passiva, compartilhada mediante a supervisão de um algoritmo distribuído para resolução de conflitos (central nível 2); ou um conjunto de vias de difusão, associadas a cada circuito independente da central (centrais níveis 3 e superiores).

Os circuitos independentes da central comutadora são denominados acopladores. Suas funções são: conectar os elementos comunicantes à central, recebendo ou enviando mensagens através

de linhas seriais bidirecionais; realizar a comutação de mensagens entre si, num processo que consiste em difundir, pela via passiva da central as mensagens que devem ser repassadas a outros acopladores, e recolher aquelas a elas endereçadas (direta ou indiretamente). A independência entre os acopladores é caracterizada pelo envolvimento apenas do par de acopladores, fonte e destino, na comutação de uma mensagem, e pela não influência da falha de um acoplador nas comutações que não o necessitem. Os elementos comunicantes são ETs, centrais do nível imediatamente inferior e possivelmente uma central do nível imediatamente superior, os quais geram ou repassam mensagens, que necessitem passar pela comutação da central em questão, para alcançarem seus destinos (figura 2).

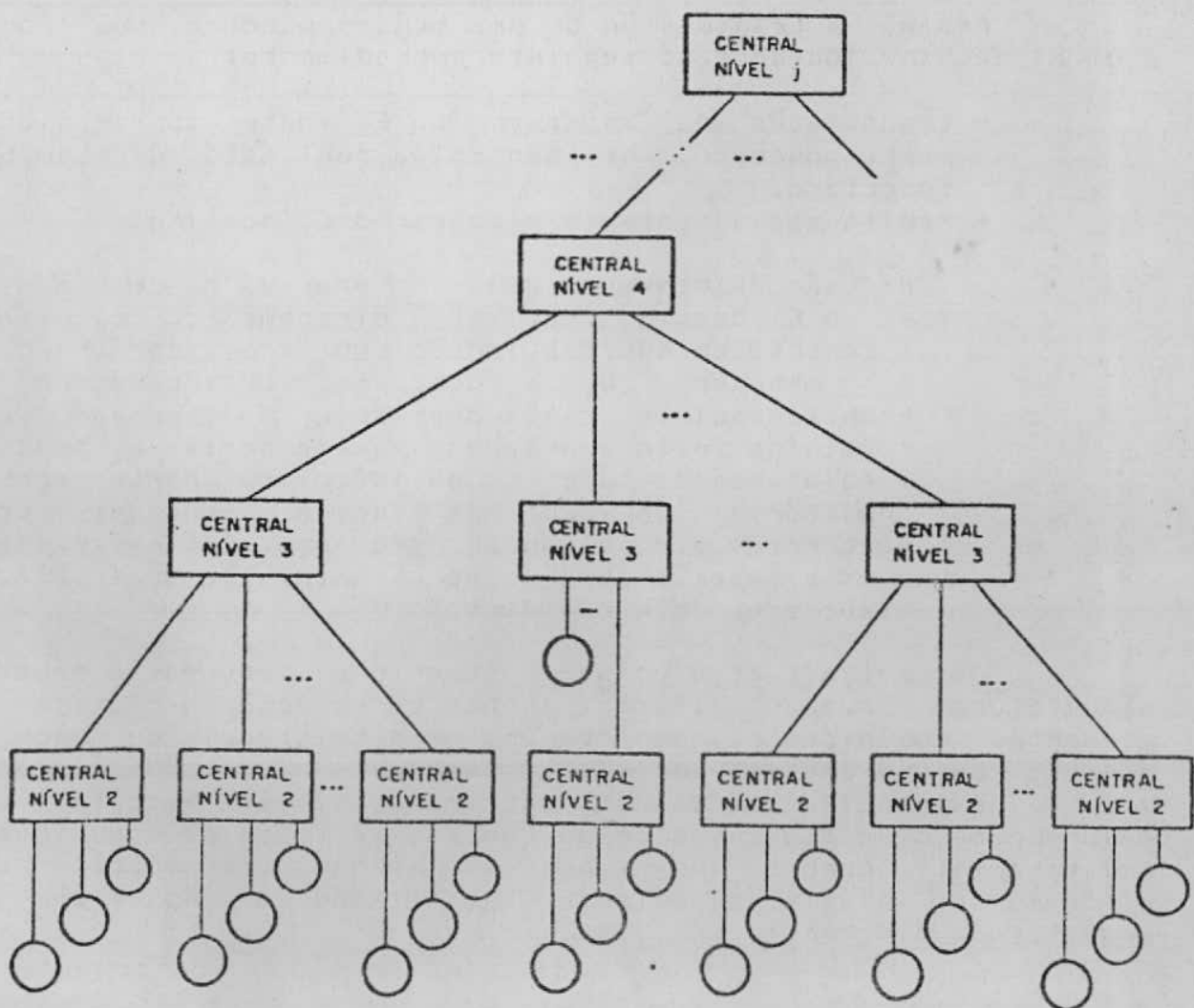


Figura 1 - Estrutura Hierárquica da rede  
( ○ = ET - Equipamento Terminal)

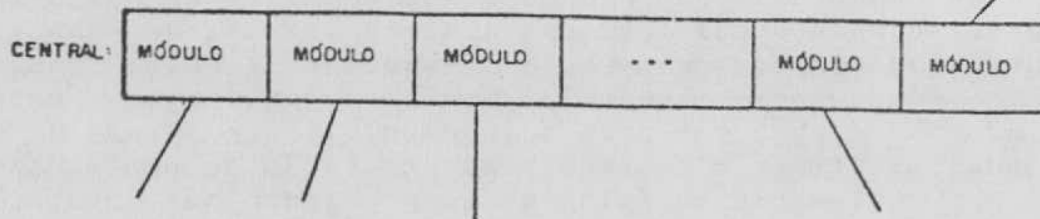


Figura 2 - Composição de uma central comutadora: um acoplador independente associado a cada elemento comunicante conectado à central.

Assim, a transmissão de uma mensagem entre um ET fonte e um ET destino, obedece ao seguinte procedimento:

- transmissão da mensagem do ET fonte ao acoplador correspondente, na central a qual está diretamente conectado.
- repita até a mensagem alcançar o ET destino:
  - . difusão da mensagem pela via passiva da central
  - . se o ET destino estiver diretamente conectado à central em questão, então seu acoplador recolhe a mensagem e a entrega, finalizando a transferência; caso contrário a mensagem será recolhida pelo acoplador, que conecta a central imediatamente superior ou inferior, pertencente à trajetória de centrais que a mensagem deve percorrer até alcançar seu destino, e repassada a essa central através de transmissão ao acoplador associado, nela residente.

As centrais de níveis 3 e superiores apresentam a mesma arquitetura, podendo diferir apenas em relação ao número de elementos comunicantes suportados, e a existência ou não de conexão com uma central de nível superior.

As peculiaridades das centrais de nível 2 - conexão com maior número de elementos comunicantes, e taxas de comunicação relativamente menores que as necessárias nas comunicações com centrais de níveis superiores - justificam uma concepção de arquitetura diferente para elas.

### 3.1- CENTRAL DE NÍVEL 2

A central de nível 2 compõe-se de um conjunto de módulos, cada um associado a um elemento comunicante, denominados acopladores, e um módulo gerador de sincronismo, para controle das transmissões realizadas sob uma via serial compartilhada (figura 3). Em particular, o acoplador da central de nível 2 com uma central de nível 3 recebe o nome de



acoplador meia-ponte, ou meia-ponte simplesmente.

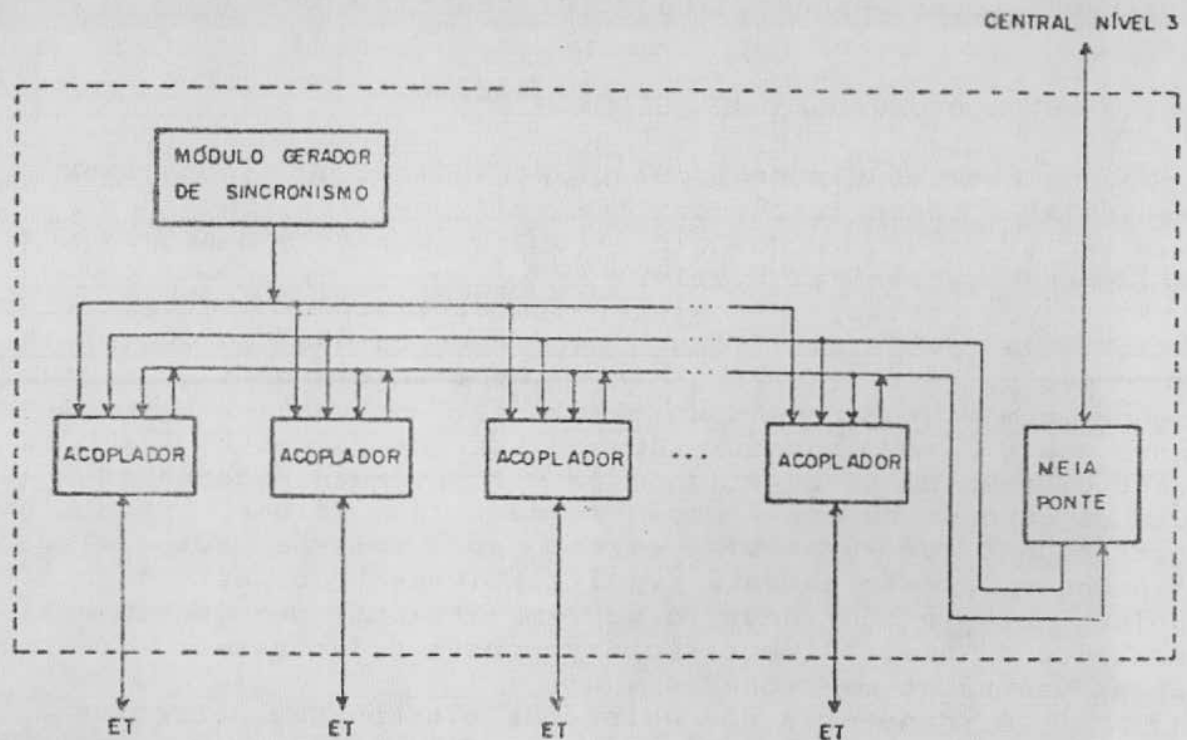


Figura 3 - Central nível 2

### 3.1.1- ACOPLADOR

O acoplador é responsável pelas seguintes comunicações: transmissão e recepção de mensagens para/de ETs, através de linha serial ou paralela exclusiva; transmissão e recepção de mensagens para/de outros acopladores da mesma central através de uma linha serial compartilhada; transmissão de mensagens para a meia ponte através da linha serial compartilhada; recepção de mensagens da meia ponte através de uma linha serial exclusiva.

### 3.1.2 - MEIA-PONTE

A meia ponte da central de nível 2, é uma particularização do modelo genérico de meia-ponte, apresentado adiante na descrição das centrais de nível 3 e superiores. Suas funções são: recolher, da via comum, as mensagens endereçadas a ETs não acoplados diretamente à central em questão, e repassá-las à central de nível 3 para o devido encaminhamento; receber todas as mensagens provenientes da central nível 3 e difundi-las entre os acopladores da central nível 2, através de uma linha

serial exclusiva a essa finalidade. A comunicação da meia-ponte da central nível 2 com a central nível 3, é realizada através de uma linha serial, regendo-se apenas por um protocolo de nível físico, que conecta o módulo meia-ponte da central nível 2 com outro módulo meia-ponte situado na central nível 3.

### 3.1.3- MÓDULO GERADOR DE SINCRONISMO

Esse módulo gera pulsos periódicos de sincronismo, que controlam a temporização das transmissões, realizadas através da via serial comum, e dos circuitos receptores dos acopladores e meia-ponte da central nível 2.

Os pulsos de sincronismo definem o início de cada "slot" da via serial comum, que pode ou não conter um bit de informação, e orientam os circuitos transmissores e receptores sobre o momento de emissão e leitura, respectivamente, de um novo bit. A adoção dessa técnica permite um melhor aproveitamento da capacidade da via, tornando desnecessário o uso de métodos de codificação de dados com "clock" embutido. A necessidade de uma via extra, para difusão dos pulsos de sincronismo, não aumenta significativamente o custo da central, pois a mesma é confinada, o que implica num comprimento bastante reduzido da via. Além disso esse custo é largamente compensado pelas vantagens mencionadas.

A frequência dos pulsos de sincronismo determina a taxa máxima de transmissão pela via, e é limitada pelo tipo de meio físico utilizado, seu comprimento, e pela capacitância parasitária que é tanto maior quanto maior for o número de acopladores ligados à via.

Para maior segurança, o módulo gerador de sincronismo pode ser construído com redundâncias, de maneira a reduzir-se as chances de um colapso da central, devido à ocorrência de alguma falha nesse módulo.

### 3.1.4- POLÍTICA DE COMPARTILHAMENTO DA VIA COMUM

A via comum da central nível 2, é compartilhada pelos acopladores, que difundem mensagens por esse meio. Os mesmos acopladores e a meia ponte da central nível 2, são os módulos que recebem as informações em trânsito por essa via.

As mensagens são constituídas por uma sequência de bits encabeçadas por um código de prioridade, cuja função é determinar a preferência de transmissão pela via, nos casos em que mais de um acoplador inicie a transmissão no mesmo "slot".

Os códigos de prioridade são constituídos de uma parte fixa (menos significativa) e uma parte dinâmica. A parte dinâmica evolui de acordo com o tempo que a mensagem espera para ser transmitida. Esse mecanismo permite a implementação, aproximada, da política de escalonamento de se atender primeiramente as mensagens mais antigas.

### 3.1.4.1- ALGORÍTMO

O mecanismo de ajuizamento, que elege o vencedor das disputas para uso da via, é implementado de maneira distribuída, sendo resultado da execução, em cada acoplador, do seguinte algoritmo:

- Sinalize desocupação da via;

#### OCIOSO

- Enquanto não houver mensagem a ser transmitida permaneça no estado OCIOSO;

#### AGUARDA LIBERAÇÃO

- Enquanto a via estiver ocupada aguarde sua liberação;

#### TRANSMISSÃO

- Inicie a transmissão pelo código de prioridade. Durante a transmissão do código de prioridade, outros acopladores podem ter iniciado a mesma operação no mesmo instante, ou seja, no mesmo "slot". Cada acoplador deve então observar o resultado da operação lógica "E", de fiação, que permanece na via durante o conflito dos bits (de mesma ordem de significância) de seus códigos de prioridade. Ao verificar que o resultado difere do bit transmitido, o acoplador deve interromper imediatamente a emissão dos bits seguintes, e voltar a aguardar a liberação da via para nova tentativa. Ao final da transmissão do código de prioridade, resta apenas um acoplador vencedor, que continua a transmissão da mensagem até o seu término, e posteriormente sinaliza a desocupação da via retornando ao estado OCIOSO.

## 3.2- CENTRAL NÍVEL 3 E SUPERIORES

As centrais de nível 3 e superiores compõem-se de um conjunto de módulos denominados acopladores meia-ponte, ou simplesmente meias-pontes, associados a cada elemento comunicante conectado às centrais. Do total de  $n+1$  meias-pontes,  $n$  são alocadas para a comunicação com centrais do nível imediatamente inferior, e uma para a comunicação com o nível superior subsequente, se existir.

A comunicação interna entre meias-pontes é realizada através de  $n+1$  linhas seriais (barramento interno), cada uma associada a uma meia ponte, cuja função é suportar com exclusividade suas transmissões. Cada meia ponte difunde mensagens para as demais, através de sua linha reservada do barramento interno, e capta-as pelas  $n$  linhas restantes, provenientes das outras meias-pontes. Na recepção são realizados processos de filtragem (reconhecimento de endereços, "flags", configurações de aborto, etc.) e armazenamento temporário, para posterior repasse das mensagens recolhidas à meia ponte externa (do nível superior ou inferior adjacente), à qual está diretamente conectada. As mensagens recebidas do meio externo são difundidas no barramento interno, depois de terem recebido adaptações nos sinais elétricos que as representam, no sentido



de se compatibilizar a transmissão externa com a transmissão interna (vide figura 4).

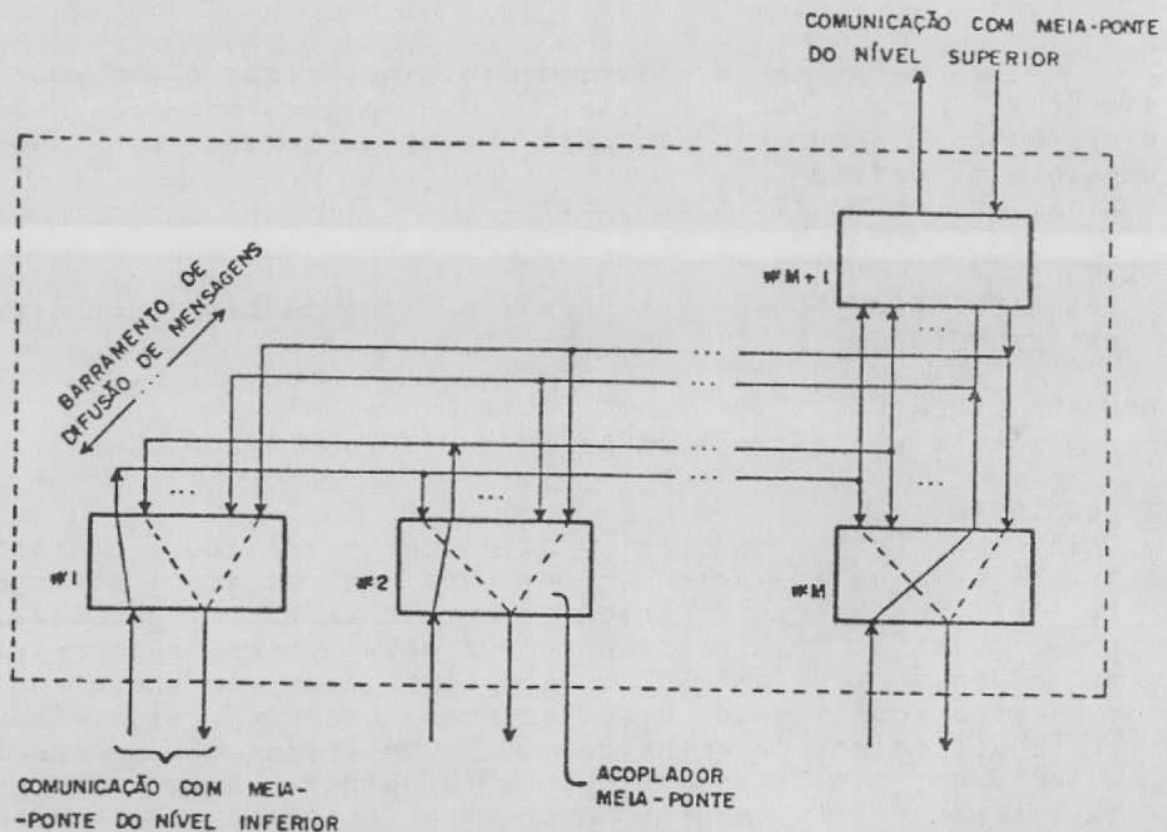


Figura 4 - Centrais de nível 3 e superiores

As meias-pontes, portanto, recolhem os bits integrantes de mensagens difundidas no barramento interno, através de  $n$  portas de entrada. Após o reconhecimento das mensagens, o que significa que a mesma deve ser recebida e repassada à central de nível adjacente, a mensagem é armazenada numa fila onde aguarda o momento do repasse. Esses processos são realizados simultaneamente e de maneira independente para cada uma das  $n$  portas de entrada.

O repasse à central de nível adjacente, das mensagens recebidas, e armazenadas nas filas correspondentes à porta de entrada por onde foram recebidas, é realizado obedecendo-se à ordem de chegada das mesmas.

A arquitetura das meias-pontes das centrais de nível 2, é um caso particular da arquitetura descrita neste item, onde  $n$  assume o valor 1.

### 3.3- ALTERNATIVAS DE EXPANSÃO E COMPLEMENTAÇÃO

#### 3.3.1- EXPANSÃO

Dependendo da implementação ou aplicação, alguns ETs conectados às centrais nível 2 podem ser substituídos por concentradores de ETs de pequeno porte, que geram e absorvem

pouco volume de mensagens. Esses concentradores, denominados centrais nível 1, devem permitir a troca de mensagens entre os Ets diretamente conectados a eles, sem a necessidade do repasse a centrais de nível 2. O protocolo de comunicação a nível físico entre Ets e concentradores pode ser simples, como o RS-232, geralmente disponível em Ets como microcomputadores, terminais de entrada de dados, etc.

Outra forma de expansão, é a utilização de "gateways" para a interligação de várias redes locais, ou a ligação com redes de longa distância. De acordo com o fluxo de informações, previsto para atravessar o "gateway" (ou "gateways"), ele pode ser conectado, como um ET, a qualquer central, e no nível mais apropriado. A adoção de um protocolo inter-rede, permite a manutenção dos protocolos de cada rede sem alterações.

### 3.3.2- COMPLEMENTAÇÃO

A arquitetura das centrais sugere a conexão, diretamente ao barramento interno, de processadores de supervisão e controle, para a realização de várias tarefas de interesse.

A simples monitoração das linhas pelo processador, permite-lhe a coleta de dados para tarifação, e a realização de análises estatísticas, com o objetivo de fornecer subsídios a posteriores expansões e balanceamento da rede.

Outra função importante do processador de supervisão e controle, é o diagnóstico e recuperação de falhas da central. Uma meia-ponte, por exemplo, pode ter uma de suas portas de entrada danificadas, deixando em valor lógico fixo, a linha do barramento interno correspondente e, como consequência, inutilizar todas as transmissões por essa linha. Ao detectar essa falha, o processador de supervisão e controle pode localizar o módulo responsável, e desconectá-lo do barramento (através de linhas de controle acrescentadas ao barramento), ou chavear as transmissões para uma linha de reserva.

O conjunto de processadores de supervisão e controle, pode também executar algoritmos distribuídos de concessão de frações dos canais - de comunicação, nas aplicações onde a continuidade das transmissões devam ser garantidas, como é o caso das conversações telefônicas, e demais aplicações em tempo real.

## 4 - Modelo e Características de Desempenho

O modelo apresentado neste trabalho, fundamenta-se em uma implementação da rede, sugerida pelos autores na referência [25], em que as centrais de comutação podem ser construídas com tecnologia de alta velocidade, de modo que a interferência sobre o atraso da comunicação possa tornar-se insignificante, quando comparado ao atraso imposto pelas linhas de comunicação. Assim, o modelo enfatiza apenas as linhas de comunicação, que são os elementos compartilhados capazes de influir no desempenho da rede.

O sistema é modelado como uma rede aberta de filas, onde os servidores representam as linhas de comunicação dos diversos níveis (figura 5). Os ETs são consideradas estações de trabalho complexas, constituídas de elementos capazes de gerar tráfegos distintos (dados, voz, imagem, etc.).

Verifica-se, na figura 5, que o modelo é representado graficamente pela interligação de nós de tipos denominados servidor, união e distribuidor. A figura 6 apresenta um conjunto de fórmulas aproximadas para estes nós, sugeridas por Sevick et al [2], que permitem o cálculo das taxas médias de saída ( $L_{sai}$ ) e seus coeficientes de variância ( $C2_{sai}$ ), em função das taxas médias de entrada ( $L$ ), seus coeficientes de variância ( $C2_{entr}$ ) e, para o nó servidor, dos parâmetros que o caracterizam: carga ( $R_0$ ), tempo médio de serviço ( $E[S]$ ), e seu coeficiente de variância ( $C2_{serv}$ ).

Construiu-se então um programa que, fazendo uso dessas expressões, permite a obtenção de valores de interesse à análise de desempenho da rede. Utilizou-se também a fórmula aproximada de Allen e Cunneen [3] para o cálculo do tempo médio de espera na fila ( $W_q$ ) para sistemas GI/G/c :

$$W_q = [ C(c,u)E[S] / (c(1 - R_0)) ] * ( (C2_{entr} + C2_{serv})/2 )$$

onde  $C(c,u)$  representa a fórmula de Erlang, ou seja, a probabilidade dos  $c$  servidores, de um sistema M/M/c, estarem ocupados.

O programa permite o cálculo, para a rede em sua totalidade, ou para quaisquer segmentos, dos valores de desempenho, valores médios e coeficientes de variância de atraso e tamanho das filas, vazões, e fatores de utilização. Como parâmetros de entrada, são consideradas as informações que definem: as distribuições dos tráfegos de entrada, e tamanhos de mensagens (caracterizadas pelas médias e variâncias); os números de ETs e seus elementos; a configuração topológica da rede; o fluxo de mensagens para cada canal de comunicação, e suas capacidades nominais.

Os gráficos apresentados nas figuras 7, 8, 9 e 10 referem-se a uma rede, de topologia homogênea, com as seguintes características:

no. de centrais nível 4	= 1
no. de centrais nível 3	= 4
no. de centrais nível 2	= 32 (8 para cada central nível 3)
no. de ETs	= 192 (6 para cada central nível 2)
no. de elementos	576 (3 para cada ET, fig. 7, 8, 9)
geradores de mensagem	= ou
	192 (1 para cada ET, fig. 10)

Capacidade nominal dos canais de comunicação e porcentagem do tráfego total de entrada a eles oferecida

ETs -> centrais nível 2	= 5Mbps - 100
centrais nível 2 -> ETs	= 5Mbps - 100
Via Comum das centrais nível 2	= 30 Mbps - 100
centrais nível 2 -> centrais nível 3	= 10Mbps - 33
centrais nível 3 -> centrais nível 2	= 10Mbps - 33
centrais nível 3 -> centrais nível 4	= 25Mbps - 11
centrais nível 4 -> centrais nível 3	= 25Mbps - 11



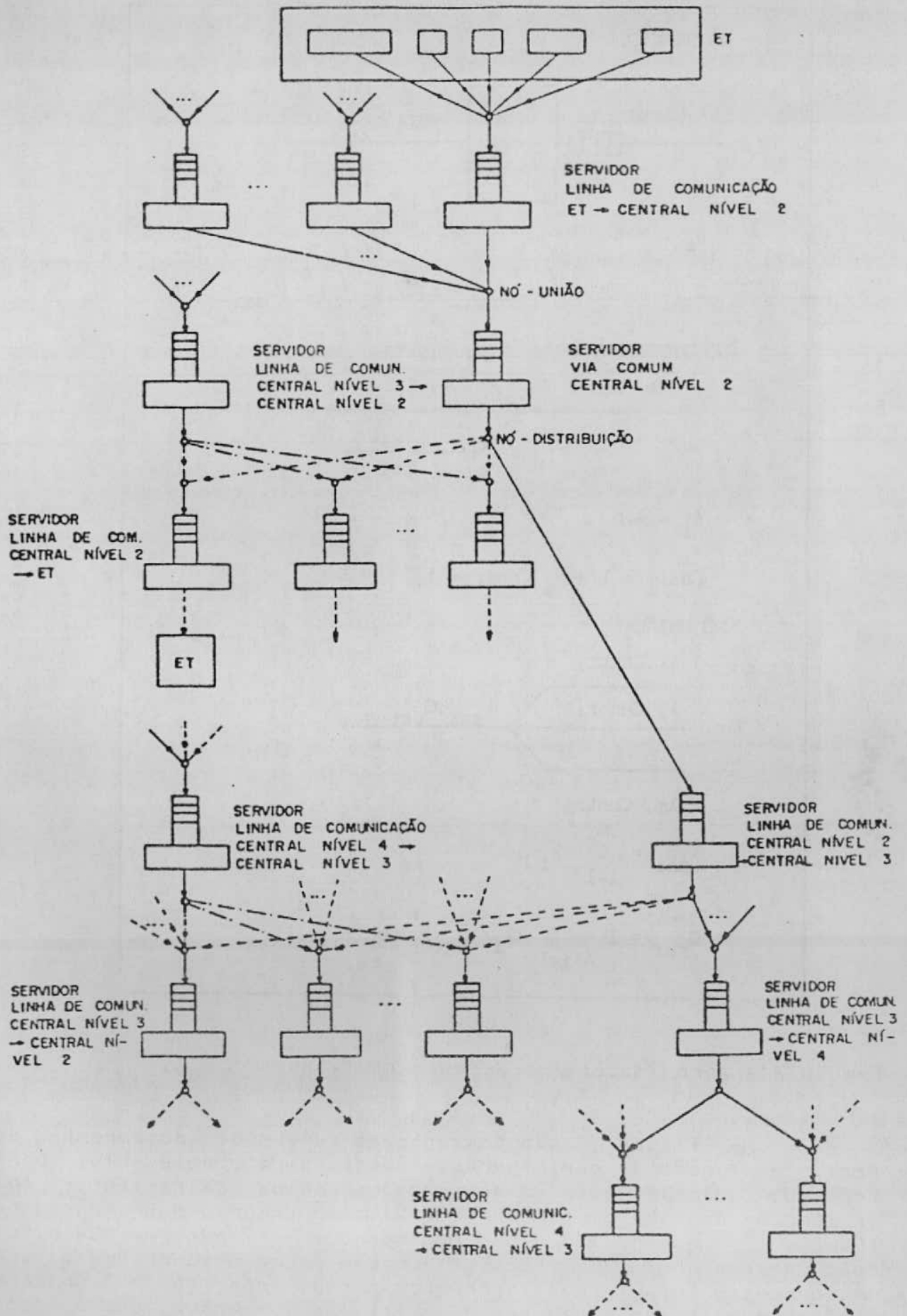


Figura 5 - Modelamento do sistema através de rede de filas

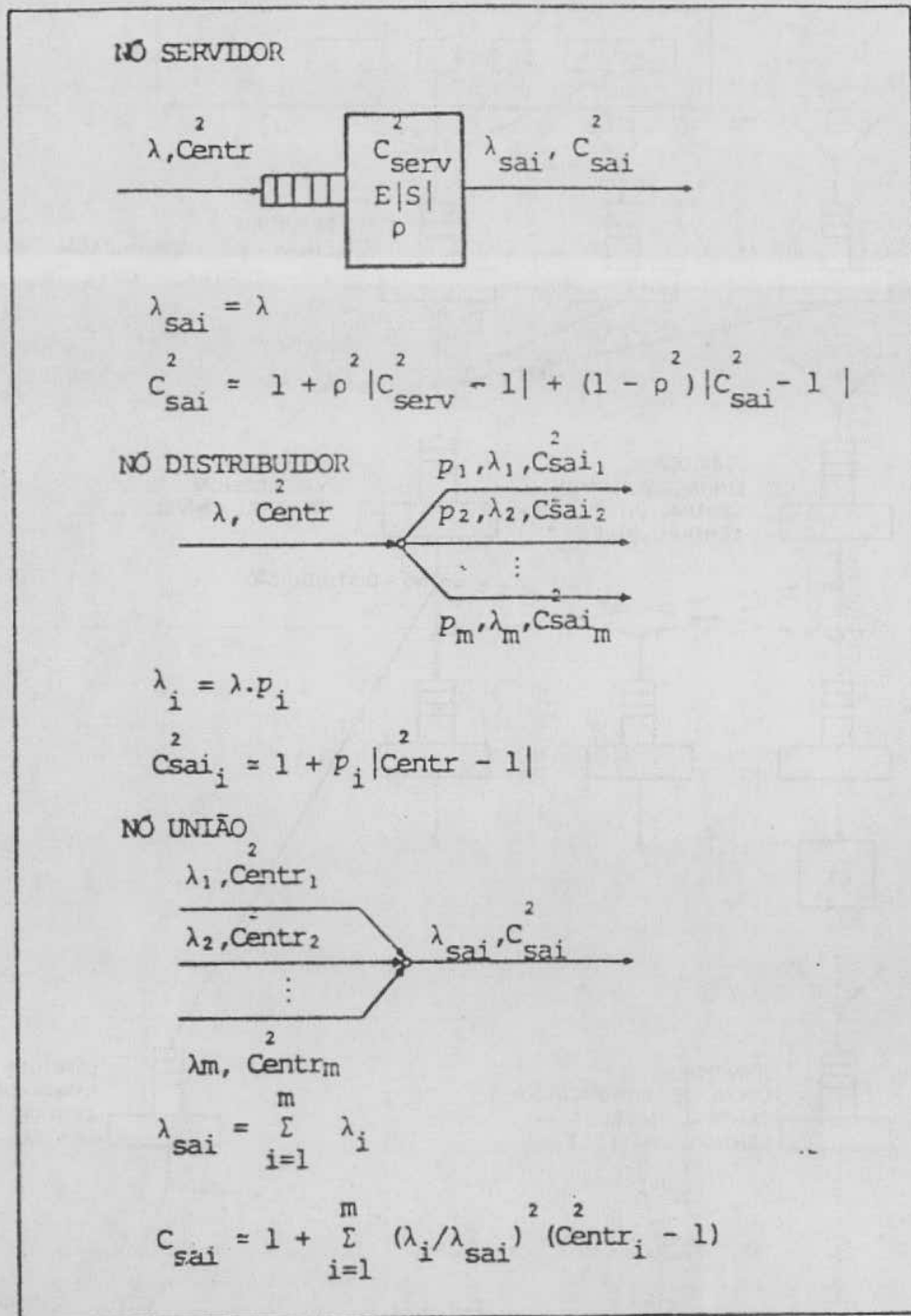


Figura 6 - Aproximações para redes de filas

Na figura 7 são traçadas as curvas de desempenho da rede, em função da carga gerada homogeneamente pelos ETs, para tráfegos distintos, caracterizados pelos coeficientes de variância da taxa de geração ( $C_{tx2}$ ) e do tamanho das mensagens ( $C_{tm2}$ ). O tamanho médio das mensagens foi fixado em 1024 bits. Como desempenho, considera-se a razão entre o tempo médio que uma mensagem levaria para percorrer a rede, caso fosse a única a fazê-lo, e o tempo médio que ela efetivamente gasta, com a rede

sujeita à carga em questão. Deve-se observar que os atrasos impostos a uma mensagem, dependem do caminho que ela tem que percorrer (quantidade de centrais que precisam atravessar), e que esta peculiaridade foi considerada no cálculo do desempenho.

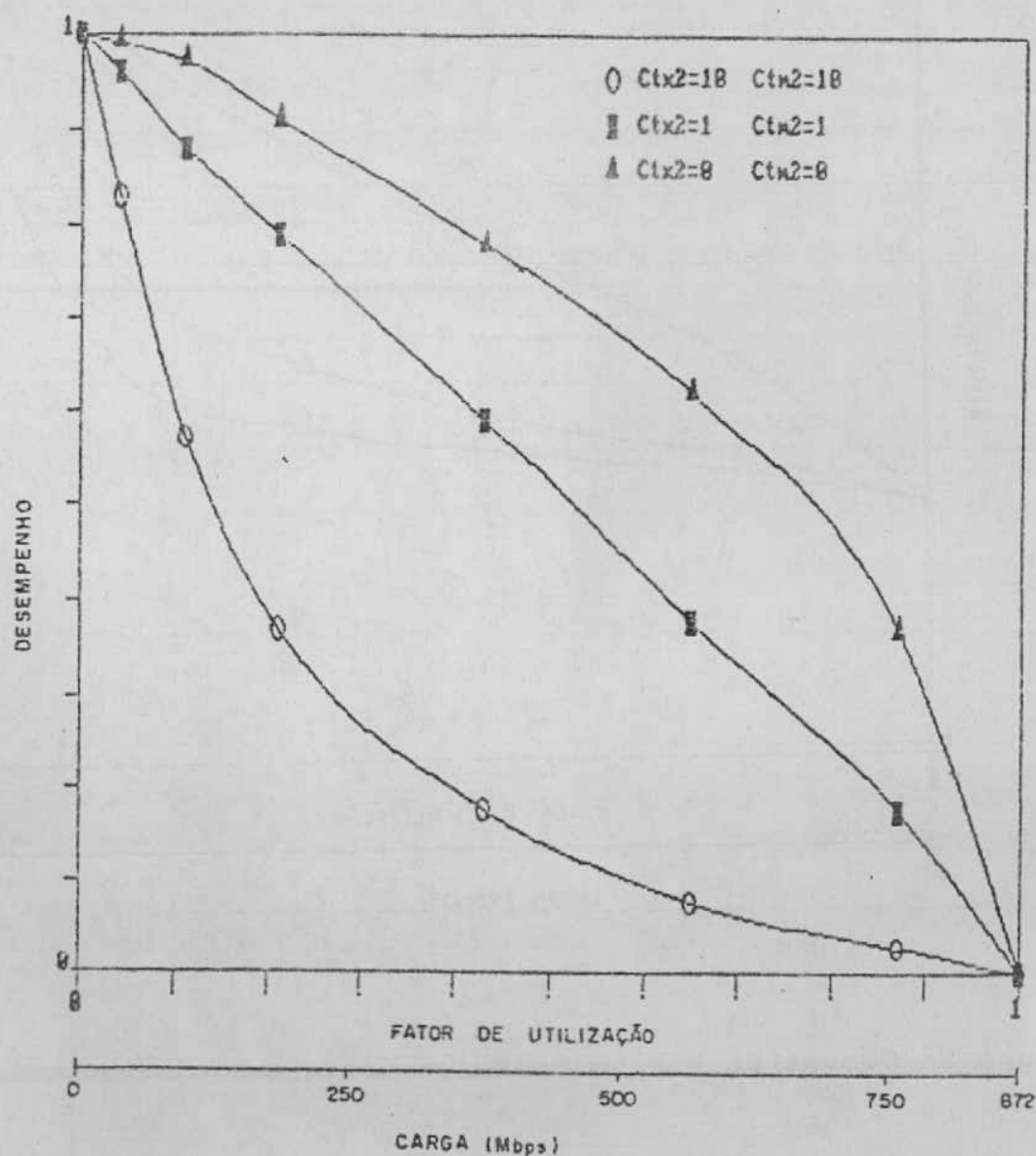


Figura 7 - Curvas de Desempenho

O gráfico da figura 8 para as mesmas condições supostas na figura 7, exibe o atraso médio efetivo, a que é submetida uma mensagem, que deva percorrer a rede em seu maior caminho, ou seja, que necessite ser comutada inclusive pela central de nível 4. A figura 9 também exibe o atraso no maior caminho, porém as curvas (para diversos fatores de utilização da rede) são obtidas em função de  $Ct_1$  e  $Ct_2$ , que variam igualmente.

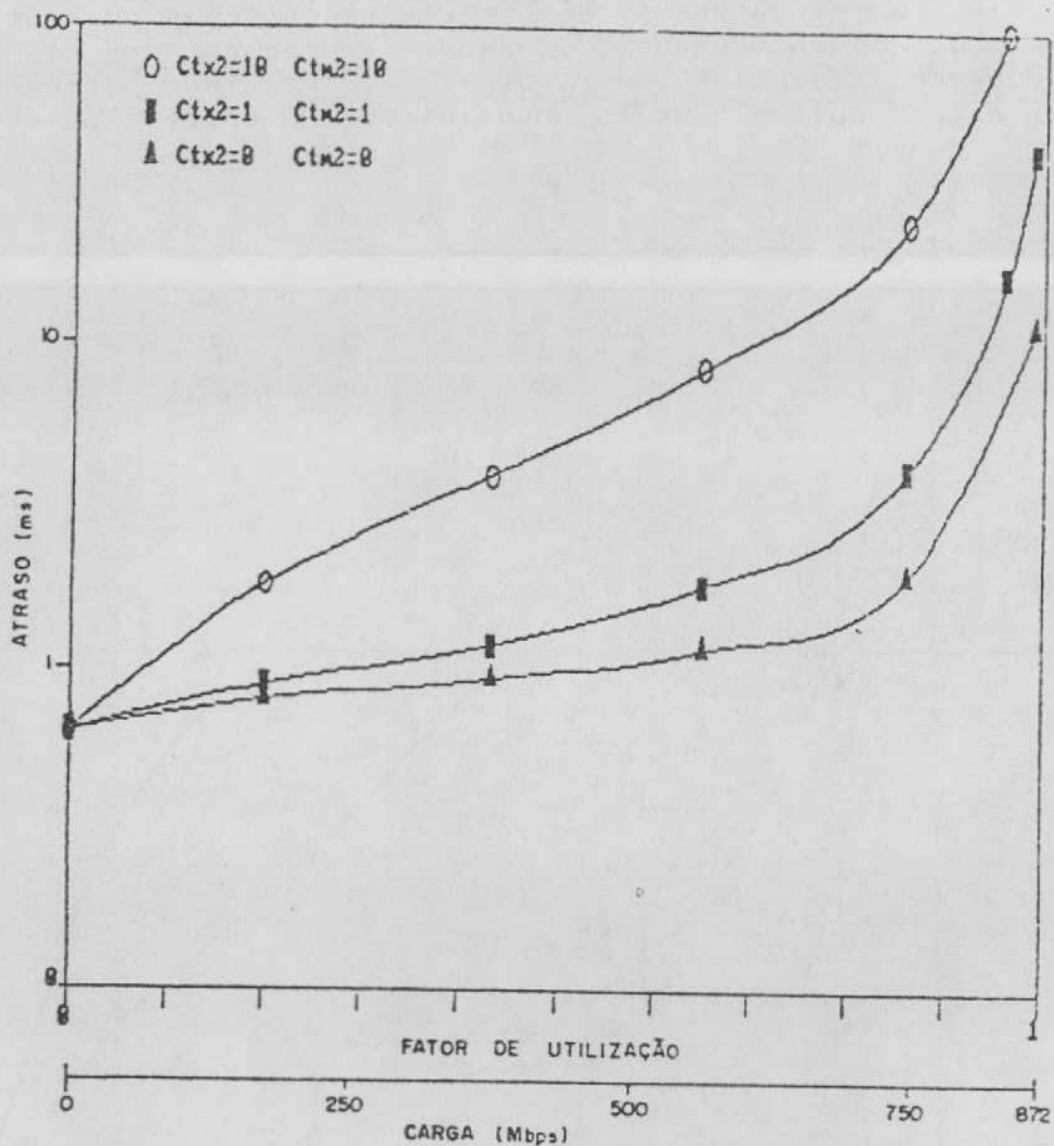


Figura 8- Curvas de Atraso no Maior Caminho

Para se obter o gráfico da figura 10, considerou-se ETs com apenas um elemento gerador de informações. As três primeiras colunas exibem o tempo médio de atraso, no maior caminho, nos casos em que todos os ETs geram tráfegos de voz, de dados, e de imagem respectivamente. A última coluna reflete a situação de tráfego integrado, em que 1/3 dos ETs geram tráfego de voz, 1/3 geram tráfegos de dados, e o restante gera tráfego de imagem. A caracterização desses tráfegos foi estimada tomando-se por base os levantamentos realizados no item 2 deste trabalho, e obedece os seguintes valores:



	Voz	Dados	Imagem
tamanho médio da mensagem em bits	1024	4096	50000
Ctm2	0	2	1
taxa de geração	58 Kbps	4,096 Mbps	1,5 Mbps
Ctx2	1	3	0

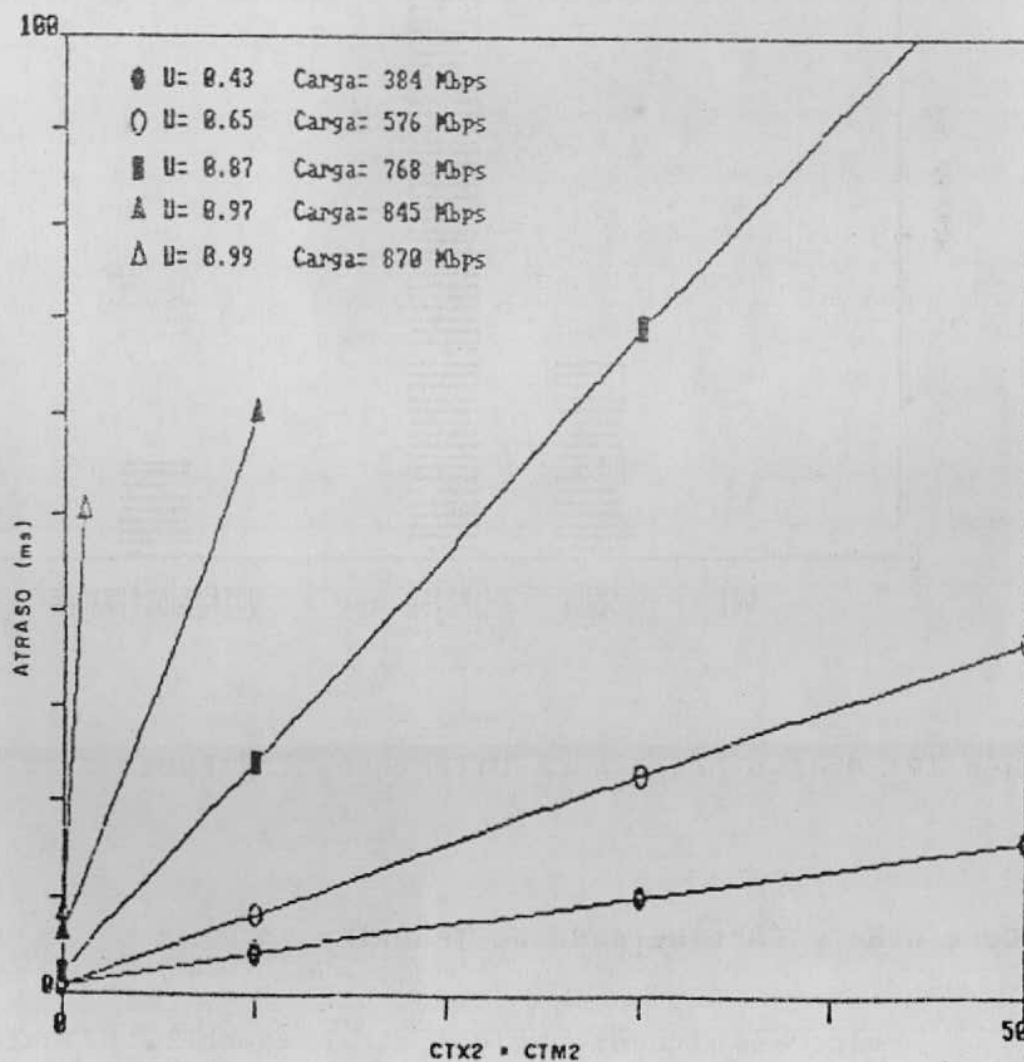


Figura 9- Curvas de Atraso no Maior Caminho

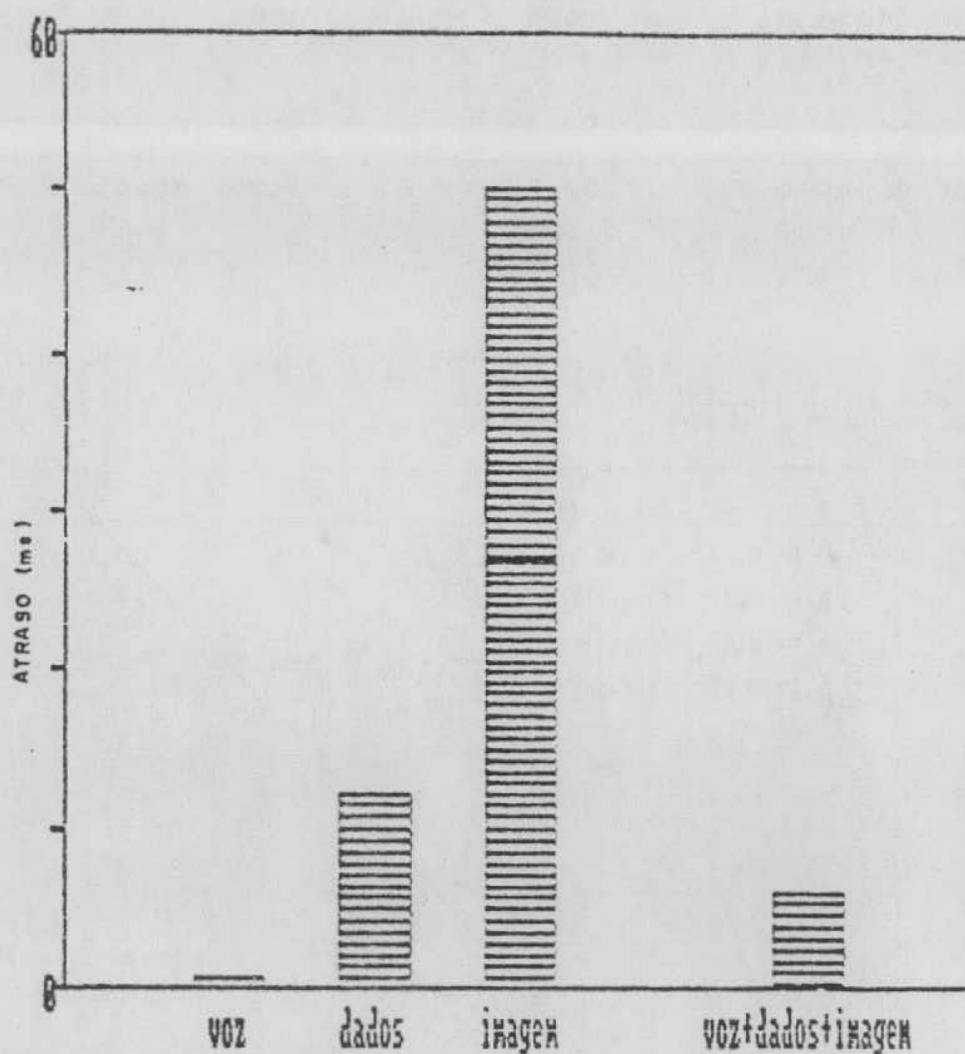


Figura 10- Atraso Médio para Diferentes Tráfegos

##### 5- Conclusão e Continuidade do Trabalho

Pelos resultados obtidos até o momento, ilustrados nos gráficos do item anterior, a rede tem apresentado desempenho bastante satisfatório. Para um tráfego total oferecido de 100 Mbps, por exemplo, a curva de desempenho alcança o valor 0.8, para taxa de geração e tamanho de mensagem com distribuições exponenciais. Mesmo para cargas mais elevadas, ou para distribuições com variâncias maiores, em que a curva de desempenho aponta valores baixos, o atraso médio a que é

submetida a mensagem (ilustrado nas figuras 8 e 9), só alcança valores inaceitáveis às aplicações, em casos extremos de variância das distribuições (não compatíveis com a realidade), ou de cargas muito próximas à saturação da rede.

Na continuidade deste trabalho serão realizados outros experimentos, para a obtenção de novas medidas de desempenho, adotando-se tráfegos e topologias não homogêneas, de maneira a se alcançar resultados referentes a um número maior de situações, e poder-se chegar a conclusões definitivas.

#### 6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [ 1 ] Tsichritzis, D.C. e Lochovsky, F.M. - "Office Informations Systems: Challenge for the 80's" - Proc. of the IEEE, vol 68, nro 9, September 1980.
- [ 2 ] Sevcik, K.C. et al - "Improving Approximation of Aggregated Queueing Network Subsystems" - Proc. Int. Symp. Computer Performance Modeling Measurement and Evaluation, 1977. North-Holland Publ. Co. Amsterdam, The Netherlands. pp 1-22.
- [ 3 ] Allen, A.O. - "Queueing Models of Computer Systems" - IEEE-COMPUTER, April 1980.
- [ 4 ] Kimbleton, S.R. e Schneider, G.M. - "Computer Communications Networks: Approach, Objectives, and Performance Considerations" - Computing Surveys, vol 7, nro 3, September 1975.
- [ 5 ] Frank, H., Kahn, R.E. e Kleinrock, L. - "Computer Communication Network Design - Experience with theory and practice" - Spring Joint Conference, 1972 - pp 255-270.
- [ 6 ] Jensen, E.D. - "The Honeywell Experimental Distributed Processor - An Overview" - Computer 11, 28-38, January 1978.
- [ 7 ] Lann, G.L. - "A Distributed System for Real-Time Transaction Processing" - Computer - February 1981.
- [ 8 ] Schoeffler, J.D. - "Distributed Computer Systems for Industrial Process Control" - Computer - February 1984.
- [ 9 ] Day, J.D. - "Resource Sharing Protocols" - Computer - September 1979.
- [10] Grob, B. - "Basic Television Principles and Servicing" - McGraw-Hill, Inc.
- [11] Jayant, N.S. - "Digital Coding of Speech Waveforms: PCM, DPCM and DM Quantizers" - Proc. IEEE, 1974.
- [12] Flanagan, J.L. et all - "Speech Coding" - IEEE Trans. on

Comm., vol COM-27, April 1979.

- [13] Brady, P.T. - "A Statistical Analysis of on-off Patterns in 16 Conversations" - Bell Syst. Tech. Journal, January 1968.
- [14] Zucchi, W.L. e Ruggiero, W.V. - "Redes Locais com Integracao de Servicos de Voz e Dados" - Anais do 2do Simposio Brasileiro sobre Redes de Computadores, 18.1 - 18.28, Abril 1984.
- [15] Zucchi, W.L. e Ruggiero, W.V. - "Caracterizacao de uma Estacao de Voz para Redes Locais de Computadores" - 3ro SBRC, Rio de Janeiro, RJ, Abril 1985.
- [16] Johnston, J.D. e Goodman, D.J. - "Digital Transmission of Commentary Grade (7 KHz) Audio at 56 or 64 Kbits/s" - IEEE Transactions on Communications, vol COM-28, nro 1, January 1980.
- [17] Webber, S.A. et all - "Use of Variable-Quality Coding and Time-Interval Modification in Packed Transmission of Speech" - The Bell System Technical Journal - vol 56, nro 8, October 1977.
- [18] Gruber, J.G. - "Delay Related Issues in Integrated Voice and Data Networks" - IEEE Communications, vol COM-29, nro 6, June 1981.
- [19] Minoli, D. - "Issues in Packed Voice Communication" - Proc. of IEEE, August 1979.
- [20] Hunter, R. e Robinson, A.H. - "International Digital Facsimile Coding Standards" - Proc. IEEE, vol 68, nro 7, July 1980.
- [21] Wang et all - "Wang Professional Image Computer" - Proc. IEEE, vol 72, nro 3, March 1984.
- [22] Haan, M. et all - "Optical Memory Research Pays Off" - Computer Design - October 1984.
- [23] Haskell, B.G. e Steele, R. - "Audio and Video Bit-Rate Reduction" - Proc. IEEE, vol 69, nro 2, February 1981.
- [24] Limb, J.O. et all - "Digital Coding of Color Video Signals - A Review" - IEEE Trans. Comm., vol COM-25, nro 11, November 1977.
- [25] Teixeira, C. A. C. e Ruggiero, W. V. - "Implementação de uma Rede Local Hierárquica Independente, para Integração de Serviços de Comunicação de Dados, e Sinais Digitalizados de Áudio e Vídeo - Relatório Técnico, Depto. Eng. Elétrica/EPUSP.