

SISTEMA DE MEDIDA DE DESEMPENHO
DE REDES LOCAIS DE COMPUTADORES

535

Ciro Aloisio Noronha Junior
Instituto Tecnológico de Aeronáutica
Divisão de Engenharia Eletrônica
Departamento de Telecomunicações
Centro Técnico Aeroespacial
12.225 - SÃO JOSÉ DOS CAMPOS - SP

SUMÁRIO

O objetivo deste trabalho é a concepção, implementação e teste de um Sistema de Medida de Desempenho de Redes Locais de Computadores. Inicialmente, é descrito o Gerador de Tráfego Artificial, usado nas medidas. É definido um conjunto de parâmetros de desempenho da rede e é descrito o sistema implementado para medi-los. Finalmente, são apresentados os resultados das medidas e são feitos alguns comentários. O sistema foi implementado numa rede local AMPLUS de quatro nós.

I - INTRODUÇÃO

I.1 - Definição do Trabalho

Os objetivos deste trabalho são:

- a) Seleção de um conjunto de parâmetros para medida e caracterização do desempenho de Redes de Computadores. Estes parâmetros devem, na medida do possível, ser independentes da topologia da rede.
- b) Desenvolvimento de um sistema de "hardware"/"software" para realizar a medida dos parâmetros escolhidos.
- c) Análise dos resultados obtidos.

I.2 - Descrição da Rede AMPLUS

O Sistema de Medida de Desempenho aqui descrito foi desenvolvido em uma rede local, fabricada pela Amplus Informática S.A. A rede conta atualmente com 4 nós, cada um deles constituído por um microcomputador tipo IBM PC XT TURBO. A placa de rede usada em todos eles foi a AC 110, que contém uma CPU 80188 com 64 kbytes de RAM e um controlador de rede

A velocidade do nível físico da rede é de 2 Mbps, e ³³⁶ o Controle de Acesso ao Meio (MAC) é tipo CSMA/CD e é implementado pelo controlador 82588 ([1]). Cada nó tem um endereço composto por 4 bytes: 2 bytes para o endereço da subrede e 2 bytes para o endereço do nó. Devido ao fato da rede sob teste ser composta de apenas um segmento, o endereço de subrede é sempre zero. O endereço do nó varia de 1 a 4, e a partir de agora identificaremos cada microcomputador pelo seu endereço na rede; assim, a "estação 1" será o microcomputador com endereço de nó igual a 1. O tamanho do pacote é limitado em 1100 bytes ([2]).

Para completar o endereçamento de um pacote, existem mais dois bytes, que formam o número do soquete. O número do soquete pode ser interpretado como um endereço dentro de cada nó, e identifica o processo que deve receber a mensagem naquele nó.

II - DESCRIÇÃO DO GERADOR DE TRÁFEGO ARTIFICIAL

II.1 - Introdução

Um Gerador de Tráfego Artificial é um aplicativo que transmite pacotes pela rede segundo distribuições de probabilidade definidas, durante um certo intervalo de tempo. Os parâmetros que caracterizam o tráfego são o intervalo entre pacotes e o tamanho dos pacotes, e deve ser possível selecionar o valor médio e a função de probabilidade para cada um destes parâmetros independentemente. As funções de probabilidade implementadas no Gerador de Tráfego Artificial são:

- Constante (determinístico)
- Exponencial
- Uniforme
- Gama (Erlang)
- Poisson
- Normal

II.2 - Geração das Funções de Probabilidade

Para implementar a geração de tráfego aleatório nas premissas discutidas acima é necessário dispor-se de números aleatórios com estas densidades de probabilidade. Uma das formas de geração destes números é através de uma

transformação aplicada a um gerador de números pseudo aleatórios com densidade uniforme entre 0 e 1. Para as distribuições uniforme e exponencial, a função de transformação é trivial: 537

Uniforme: $y = 2mx$ onde
 m : valor médio desejado
 Exponencial: $y = m \ln\left(\frac{1}{x}\right)$ x : v.a. uniforme entre 0 e 1
 y : v.a. desejada

Ao contrário das duas distribuições acima, a distribuição de Poisson é discreta. A função distribuição de probabilidade é:

$$F(y) = \sum_{k=0}^y \frac{e^{-m} m^k}{k!}$$

Como x é uma variável aleatória uniformemente distribuída entre 0 e 1, podemos gerar o número y a partir da relação $x = F(y)$. Obviamente, uma vez que y é um número inteiro, a equação anterior deve ser interpretada como "dado um número x entre zero e um, variar y na equação acima até que $F(y)$ ultrapasse o número x dado". Este algoritmo, contudo, não é adequado para a geração em tempo real, uma vez que é grande a quantidade de cálculos envolvida. Uma vez que desejávamos gerar apenas duas variáveis aleatórias, a solução adotada foi calcular uma tabela que desse a relação entre x e y , e consultar esta tabela em tempo real. Esta técnica apresenta o inconveniente de que o número y tende a $+\infty$ quando x tende a 1. A tabela é, então, necessariamente incompleta, pois o maior valor de y gerado corresponde à última linha da mesma. Um outro problema encontrado é que, uma vez que a tabela representa uma discretização no x , podem ocorrer casos onde exista uma faixa de valores de y para uma única posição da tabela. Para minimizar estes inconvenientes, decidiu-se que, sempre que uma posição da tabela corresponder a uma faixa de valores em y , esta posição será preenchida com o valor médio de y naquela faixa, considerando as probabilidades de cada valor. O valor médio, M , para $n_1 \leq y \leq n_2$, será:

$$M = \frac{\sum_{k=n_1}^{n_2} k \frac{m^k}{k!}}{\sum_{k=n_1}^{n_2} \frac{m^k}{k!}}$$

Quando $n_2 \rightarrow \infty$, a equação 2.7 pode ser escrita como:

$$M_{\infty} = \frac{m - \sum_{k=0}^{n-1} k \frac{e^{-m} m^k}{k!}}{1 - \sum_{k=0}^{n-1} \frac{e^{-m} m^k}{k!}}$$

Na nossa implementação, utilizamos uma tabela com 4096 posições, indexada pelo valor de x .

Para a distribuição gama, foi implementado um caso particular (Erlang). A inversa da equação de transformação da densidade uniforme para Erlang é:

$$x = 1 - \exp(-Cy) \sum_{k=0}^{n-1} \frac{(Cy)^k}{k!}$$

onde $C = \frac{n}{m}$ e n é o "parâmetro da distribuição".

Obviamente, a função encontrada não é inversível analiticamente. Assim, somos obrigados a recorrer novamente a uma tabela que contenha pontos desta função. Para usar a mesma técnica aplicada à distribuição de Poisson, torna-se necessário obter o valor médio de y num intervalo (a, b) . Este valor médio (MD) é dado por:

$$M = \frac{f_1(Cb) - f_1(Ca)}{C (f_2(Cb) - f_2(Ca))}$$

onde:

$$f_1(u) = \frac{e^{-u} u^n}{(n-1)!} + e^{-u} n \sum_{k=0}^{n-1} \frac{u^k}{k!}$$

$$f_2(u) = e^{-u} \sum_{k=0}^{n-1} \frac{u^k}{k!}$$

Uma vez que $f_1(u) \rightarrow 0$ e $f_2(u) \rightarrow 0$ quando $u \rightarrow \infty$, o valor médio no intervalo (a, ∞) é:

$$M_{\infty} = \frac{f_1(Ca)}{C f_2(Ca)}$$

No caso da distribuição normal, não existe resultado analítico para a integral indefinida da densidade de probabilidade. Assim, não é possível obter a transformação da variável x para y . Foi usado, então, o algoritmo de Box-Mueller (ou "método polar"), que se encontra descrito em [3]. Este método se baseia na geração de dois números aleatórios uniformemente distribuídos, x_1 e x_2 , e sua transformação em um par de números y_1 e y_2 com distribuição normal. Supõe-se que x_1 e x_2 sejam independentes. As equações de transformação são:

$$y_1 = \sqrt{-2 \ln x_1} \cos(2\pi x_2) \quad y_2 = \sqrt{-2 \ln x_1} \sin(2\pi x_2)$$

A referência [3] mostra que a densidade conjunta de V_1 e V_2 é 539 gaussiana, e que estas variáveis são independentes, com valor médio zero e desvio padrão unitário. Assim, para a geração do número aleatório normal, basta tomar uma das equações acima, multiplicar o resultado pelo desvio padrão desejado e somar o valor médio desejado. Na implementação do gerador de tráfego, valores gerados menores que zero são interpretados como zero.

II.3 - Implementação do Gerador de Tráfego Artificial

O Gerador de Tráfego Artificial foi implementado a partir das equações mostradas acima. Para a geração do número aleatório com distribuição uniforme entre zero e um, usamos a função "rand" do compilador C, que implementa um gerador multiplicativo com período 2^{32} para gerar números entre 0 e $2^{15}-1$. O número gerado é dividido por $2^{15}-1$ para se obter o resultado entre 0 e 1.

A cada instante de tempo, são gerados dois números: um para o intervalo entre pacotes e o outro para o tamanho do pacote. O tempo é dividido em intervalos de 1 ms. O programa gerador espera um número de intervalos de 1 ms correspondente ao valor gerado para o intervalo entre pacotes, e então transmite u'a mensagem com o comprimento, em bytes, correspondente ao número aleatório gerado para tamanho do pacote. Não se impõe limitação alguma ao número gerado para o intervalo; contudo, o tamanho do pacote deve estar entre 1 e 1100 bytes, por limitação da rede. Valores maiores que 1100 bytes são assumidos como se fossem 1100 bytes; caso o valor zero seja gerado, este é assumido como 1. O campo de dados do pacote gerado não contém informação.

As tabelas para geração dos números com densidade de Poisson e gama são calculadas antes da geração do tráfego e consultadas em tempo real.

III - DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE MEDIDAS

III.1 - Conjunto de Parâmetros Escolhido

O critério para a escolha dos parâmetros de medida foi, principalmente, a portabilidade. Escolheu-se um conjunto de variáveis de medida que fosse, sempre que possível, independente da topologia e da implementação particular da

rede. A seguir, apresentaremos os parâmetros escolhidos e faremos uma descrição do sistema implementado para medi-los. Escolheu-se implementar um sistema que medisse o desempenho do ponto de vista do usuário, ou seja, o desempenho da rede como visto da Camada de Sessão do modelo OSI, que é a interface fornecida pelo fabricante da rede.

Os parâmetros escolhidos foram:

- a) PERFIL DE TRÁFEGO: As duas variáveis que caracterizam o perfil de tráfego são o intervalo entre pacotes e o tamanho dos pacotes. O objetivo deste conjunto de medidas é caracterizar as densidades de probabilidade das variáveis que definem o tráfego, através de histogramas que mostram as distribuições de intervalo e tamanho de pacote.
- b) CARACTERÍSTICA VAZÃO/TRÁFEGO OFERECIDO: Mostra como varia a vazão na rede em relação ao tráfego oferecido total. A vazão é definida como a fração da capacidade do canal (velocidade do nível físico) utilizada num determinado período de tempo, e o tráfego oferecido é definido como a fração da capacidade do canal necessária para a transmissão de todas as mensagens geradas pelo usuário num certo período de tempo, sem levar em conta as colisões. É um dos parâmetros mais importantes na análise de desempenho de uma rede. Esta curva pode ser obtida para várias situações, onde a estatística do tráfego e o número de nós na rede aparecem como variáveis.
- c) ATRASO ENTRE DOIS NÓS: O atraso entre dois nós pode também ser estudado como uma função da estatística do tráfego e do tamanho do pacote de teste. Como se verá mais adiante, este tipo de medida exige um apoio adicional de "hardware".

III.2 - Visão Geral do Sistema de Medidas

O sistema de medidas é um programa escrito em linguagem C, com alguns módulos em "assembly" e um "hardware" dedicado para a medida de atraso, e forma uma aplicação que se comunica diretamente com a camada 5 do Modelo OSI. Na descrição do sistema usaremos o termo "sessão de teste" ou simplesmente "teste" para significar "sessão de medida de um dos parâmetros definidos no item III.1".

Existem duas fases no protocolo implementado: a fase de seleção de parâmetro e a fase de medida. A figura 3.1

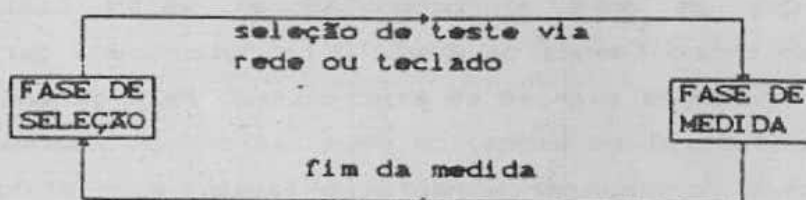


FIGURA 3.1 - DIAGRAMA DE TRANSIÇÃO DAS FASES DO PROTOCOLO

Durante a sessão de teste, existe uma estação mestre, responsável pela execução do mesmo. Todos os resultados são centralizados nesta estação, e toda a entrada de dados para a configuração do teste é feita também nesta estação. A escolha da estação mestre é feita pelo operador. Inicialmente, todas as estações são iguais, apresentando na tela um "menu" de seleção de teste. Esta é a fase de seleção do protocolo. O operador escolhe uma das estações e seleciona o teste desejado; aquela estação passará à fase de medida e transmitirá um pacote pela rede identificando-se como a estação mestre e informando o teste selecionado. Este pacote, ao ser recebido pelas outras estações da rede que estejam rodando o Sistema de Medida, faz com que estas entrem na fase de medida também. Dependendo do teste selecionado, estas estações podem enviar uma resposta à estação mestre.

III.3 - Descrição das Configurações de Medida

Foram implementadas três configurações básicas de medida, uma para cada tipo de parâmetro citado no item III.1 acima. A seguir, descreveremos cada uma delas.

III.3.1 - TESTE DE MEDIDA DE ATRASO

O atraso é definido como o tempo entre a solicitação de transmissão num nó e a recepção da mensagem, com sucesso, no nó destino. Este teste, portanto, envolve a medida do tempo entre dois eventos, que ocorrem em dois computadores distintos. Torna-se necessário, portanto, algum tipo de sincronismo entre estes dois computadores. Este problema é discutido em [4] e [5].

A solução adotada foi instalar em cada uma das duas máquinas uma placa de medida de tempo, com relógio comum. A placa contém um contador de 32 bits, que pode ser acessado pelo microcomputador. Uma das duas placas gera um relógio de

13007 Hz, que é levado à outra placa por um cabo. Isto é 542 possível porque os dois microcomputadores estão bastante próximos um do outro (menos de 2 m). O relógio comum garante que os dois contadores avançam em sincronismo. Para garantir a mesma contagem inicial em ambos, os dois microcomputadores têm condição de zerar o contador e mantê-lo assim. Além disso, o microcomputador que contém a placa onde se encontra o oscilador pode interromper a saída de relógio para o cabo. Assim, o sincronismo inicial é obtido interrompendo-se o relógio, zerando-se os dois contadores, liberando-se a contagem e finalmente liberando-se o relógio. Todo este controle é feito através da rede pela estação mestre.

Uma vez dispondo-se de contadores sincronizados em cada um dos dois microcomputadores onde será feita a medida, basta transmitir, dentro do pacote de teste, o valor da contagem no instante em que este foi gerado. Em outras palavras, o pacote sai com uma indicação da "hora" na qual ele foi gerado. A estação receptora, para calcular o atraso, precisa apenas de consultar o seu próprio contador e subtrair o valor recebido no pacote.

O teste de medida de atraso pode ser realizado sob diversas características de tráfego, variando-se o tamanho do pacote para tráfego constante ou vice-versa. A estação transmissora gera um certo número de pacotes de teste, a receptora mede o atraso para cada um deles e calcula a média e o desvio padrão, que são informados à estação controladora. O operador pode selecionar o número e o intervalo entre pacotes de teste. É importante notar que, se um intervalo muito pequeno for selecionado, pode ocorrer a formação de uma fila na estação emissora, e o atraso medido terá uma componente adicional devido à espera na fila. A figura 3.2 mostra a configuração deste teste.



FIG. 3.2: CONFIGURAÇÃO DOS TESTES DE ATRASO

A estação mestre gera tráfego, e ao fim de cada medida,

recolhe resultados. Pode haver mais estações geradoras, controladas pela estação mestre.

III.3.2 - TESTE DE PERFIL DE TRÁFEGO

Esta é a configuração de medida mais simples; apenas duas estações são envolvidas. A figura 3.3 mostra a configuração do teste.

A estação emissora gera tráfego com distribuição definida pelo operador; a estação receptora (que deve ser um dos nós com a placa de medida de tempo) recebe os pacotes e mantém um histograma do tamanho/intervalo.

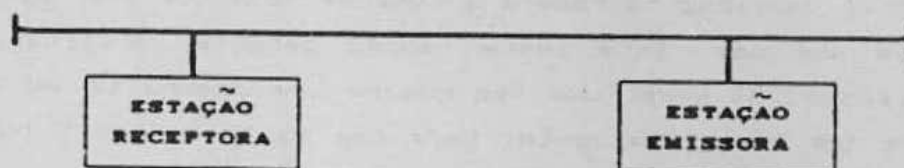


FIG. 3.3: CONFIGURAÇÃO DO TESTE DE PERFIL DE TRÁFEGO

III.3.3 - CARACTERÍSTICA VAZÃO/TRÁFEGO OFERECIDO

O objetivo deste teste é estudar como varia a vazão em função do tráfego oferecido. Neste teste, todas as estações geram tráfego com a mesma estatística; cada estação mede a vazão que conseguiu impor à rede e os resultados são reportados à estação controladora. É importante notar que a estação controladora também participa da sessão de teste gerando tráfego. A figura 3.4 ilustra a configuração de teste.



FIG. 3.4 - OBTENÇÃO DA CARACTERÍSTICA VAZÃO/TRÁFEGO

A medida de vazão é feita contando-se o número de bytes efetivamente transmitidos e medindo-se a duração do teste. Depois, basta dividir um pelo outro e a vazão é obtida. Este valor, que estará em bytes/s, é convertido para Mbps e dividido pela velocidade do meio físico para obter o valor normalizado da vazão:

$$\text{vazão} = \frac{8 * \text{número de bytes transmitidos efetivamente}}{\text{duração da medida (s)} * \text{veloc. do meio (bits/s)}} * 100\%$$

O tráfego oferecido pode ser calculado a partir das médias do intervalo entre pacotes e do tamanho do pacote

transmitido pelo Gerador de Tráfego Artificial. Sendo:

544

I_a = Intervalo médio entre pacotes programado no Gerador de Tráfego Artificial, em segundos;

T_a = Tamanho médio dos pacotes transmitidos pelo Gerador de Tráfego Artificial, em bytes;

N = Número de geradores participantes do teste;

C = Velocidade do meio físico, em bits por segundo.

O tráfego oferecido pode ser calculado por:

$$\text{Tráfego Oferecido} = \frac{B * T_a * N}{I_a * C} * 100\%$$

O valor total da vazão na rede é a soma de cada uma das vazões individuais dos nós. Este teste também permite verificar a "imparcialidade" da rede, uma vez que se tem acesso às vazões de cada um dos nós. Idealmente, para uma vazão medida S numa rede de N nós, a vazão de cada nó deve ser S/N .

IV - RESULTADOS OBTIDOS

Apresentaremos aqui resultados de medida, e faremos uma análise preliminar destes resultados, por tipo de teste. Todos os testes foram realizados na presença de tráfego artificial apenas.

IV.1 - Resultados dos Testes de Perfil de Tráfego

Uma vez que na rede sob teste não tínhamos tráfego real significativo, os Testes de Medida de Perfil tiveram como objetivo principal validar o funcionamento do Gerador de Tráfego Artificial.

O primeiro conjunto de testes conduzido teve como objetivo verificar qual era o menor intervalo entre pacotes que poderia ser conseguido na rede. Foram feitas quatro medidas de perfil de tráfego nas quais o gerador foi programado para transmitir pacotes com intervalo zero entre eles. Isto significa que o gerador transmitia um novo pacote sempre que o sistema de comunicações indicasse estar pronto para fazê-lo. O teste foi realizado para pacotes tamanho igual a 1, 100, 500 e 1000 bytes (fixo). Os histogramas do intervalo entre pacotes para 100 e 1000 são mostrados nas figuras 4.1 e 4.2, e a tabela 4.1 dá as condições de cada teste. Em todos os casos, as estações estavam funcionando a 8 MHz.

Dos dados, pode-se concluir que existe um intervalo

mínimo entre dois pacotes consecutivos que uma estação pode gerar. Além disso, verifica-se que nem todos os pacotes transmitidos são recebidos. Esta perda, para tamanho de pacote fixo, é tanto maior quanto maior for o pacote. 545

TABELA 4.1: TESTES COM INTERVALO PROGRAMADO ZERO

TAMANHO	FIGURA	PACS TX	PACS RX	PERDA (%)	INTERV MIN
1	4.1	19477	16428	15.7	2.8 ms
100	4.2	16667	12686	23.9	3.5 ms
500	4.3	12007	6658	44.6	5.4 ms
1000	4.4	8000	4074	49.1	8.0 ms

O próximo teste realizado teve como objetivo verificar o comportamento da rede para tamanhos variáveis de pacote. Assim, programamos o gerador de tráfego artificial para transmitir pacotes com distribuição uniforme para o tamanho, média 500 bytes, e intervalo zero. Foram transmitidos 11397 pacotes, com 5651038 bytes, e foram recebidos 6609 pacotes, com 3899630 bytes (perda de 42% dos pacotes e 31% dos bytes). Os histogramas resultantes são mostrados nas figuras 4.3 (histograma de tamanho) e 4.4 (histograma de intervalo). Analisando estas figuras podemos observar que a perda é maior para os pacotes menores. A média dos pacotes transmitidos foi 496 bytes; contudo, a média dos pacotes recebidos ficou em 590 bytes, indicando que houve uma perda maior nos pacotes menores. Este fato fica evidente pela observação do histograma de tamanho. Neste caso, podemos também identificar um intervalo mínimo da ordem de 2.8 ms. Conclusão: em situações de alto tráfego, com pacotes de tamanhos variados, as interfaces tendem a perder os pacotes menores em detrimento dos maiores.

Em seguida, testamos duas situações típicas de funcionamento do gerador de tráfego artificial: geração de pacotes de tamanho 100 bytes, constante, com intervalo de 15 ms entre pacotes, constante, e tráfego com as mesmas médias acima, com distribuição exponencial para o intervalo e para o tamanho. No primeiro caso, todos os 4000 pacotes transmitidos durante a medida foram recebidos com sucesso, e pudemos observar que a média se manteve exatamente em 15 ms. No segundo caso foram transmitidos 4183 pacotes, com 424260 bytes, e foram recebidos 4084 pacotes, com 419319 bytes. Pudemos observar que as médias se mantiveram dentro dos

valores programados, e que novamente existe um intervalo mínimo entre pacotes. A perda foi de 2.4% dos pacotes e 1.2% dos bytes, indicando novamente a tendência de perda dos pacotes menores (obviamente em menor escala, pois o tráfego é pouco intenso). 546

Para todos os testes de medida de perfil de tráfego cujos resultados apresentamos aqui, o gerador foi programado para transmitir durante 60 segundos, e a medida foi feita neste período. O teste foi repetido para algumas outras situações de tráfego, usando as outras distribuições implementadas, mas os resultados se mantiveram dentro do esperado: para intervalos entre pacotes acima de um certo mínimo, o Gerador de Tráfego funciona de acordo com a característica desejada; o sistema de comunicações, porém, não permite a transmissão abaixo deste limite.

IV.2 - Resultado dos Testes Tipo Atraso - Tamanho

Os testes tipo atraso em função do tamanho do pacote foram realizados sem tráfego na rede. Teoricamente, na ausência de tráfego, esta curva deve ser uma reta, com uma parte constante e uma parte proporcional ao tamanho do pacote. A parte constante se deve principalmente ao Sistema Operacional de Rede, que é responsável por processar as solicitações de transmissão. A parte proporcional ao tamanho do pacote se deve, principalmente, ao tempo de transmissão do pacote (4.096 ms/kbyte @ 2 Mbps) e aos tempos de transferência da informação pelos canais de DMA do microcomputador.

Realizamos dois conjuntos de teste, sem tráfego adicional na rede, um deles com as estações transmissora e receptora rodando a 4.77 MHz, e o outro com ambas a 8 MHz. Assim, a partir do resultado das duas medidas, podemos isolar a fração do atraso que é de responsabilidade da CPU e a fração que é de responsabilidade do sistema de comunicações. A figura 4.5 apresenta os resultados dos dois testes. A linha contínua representa os valores médios medidos sobre 50 pacotes; a pontilhada, a melhor reta (mínimos quadrados) ajustada aos resultados experimentais. Nos dois experimentos, mediu-se o atraso sobre 50 pacotes, separados por 250 ms entre si. Os coeficientes das retas ajustadas aos resultados apresentados na figura 4.5 se encontram na tabela 4.2. Nesta tabela também

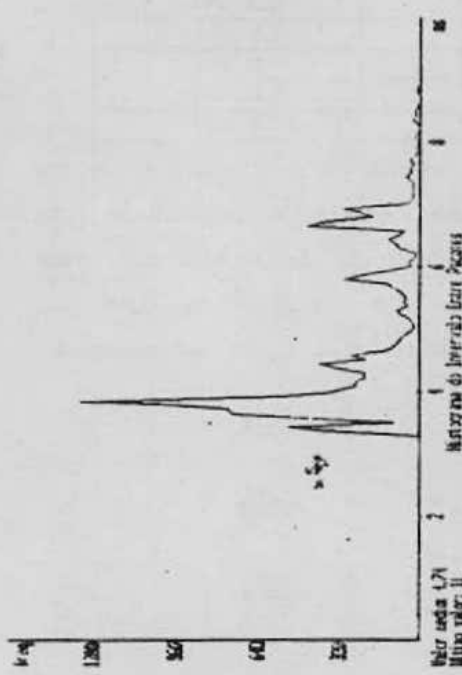


FIG 4.1 - Tamanho 100 bytes, interv. zero.

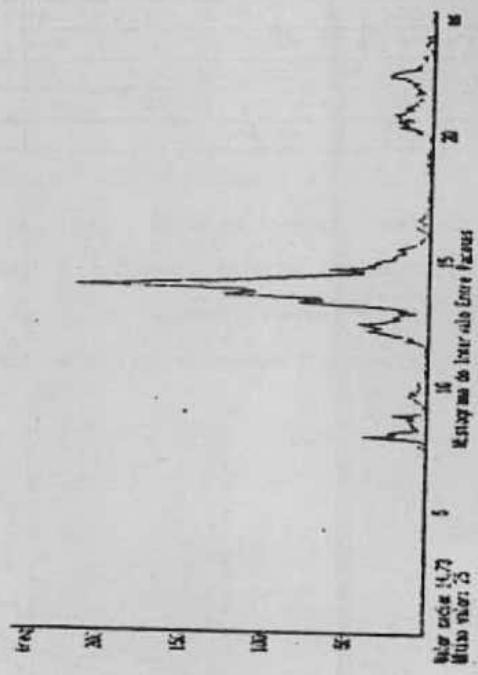


FIG 4.2 - Tamanho 1000 bytes, interv. zero

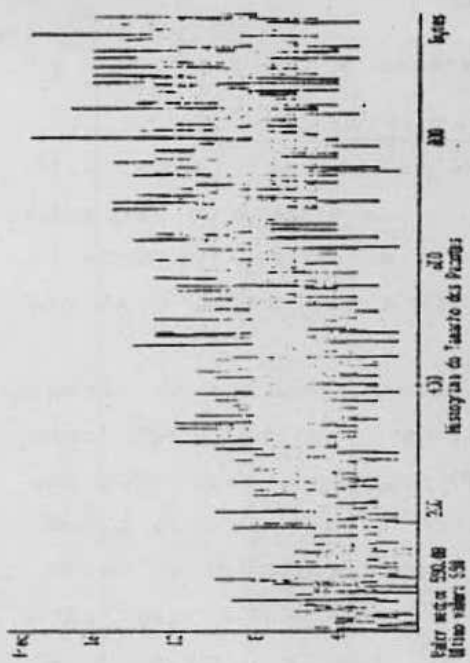


FIG 4.3 - Tamanho 500 bytes, uniforme Intervalo zero

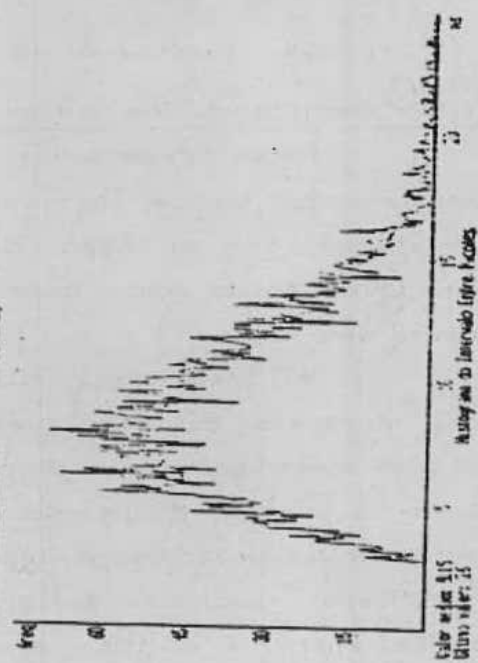


FIG 4.4 Intervalo zero, tamanho 500 (uniforme)

	COEF. LINEAR (ms)	COEF. ANGULAR (ms/kbyte)
Valor a 4.77 MHz (ajustado)	5.72	13.08
Valor a 8 MHz (ajustado)	4.59	11.04
Fração do Computador (4.77)	2.80	5.00
Fração do Computador (8)	1.67	2.98
Fração da Rede	2.92	8.08

A importância da tabela 4.2 está principalmente em indicar que fração do atraso é de responsabilidade do computador e que fração é de responsabilidade da placa de rede (é importante notar que a velocidade dos canais de DMA do computador depende também da velocidade de operação do mesmo).

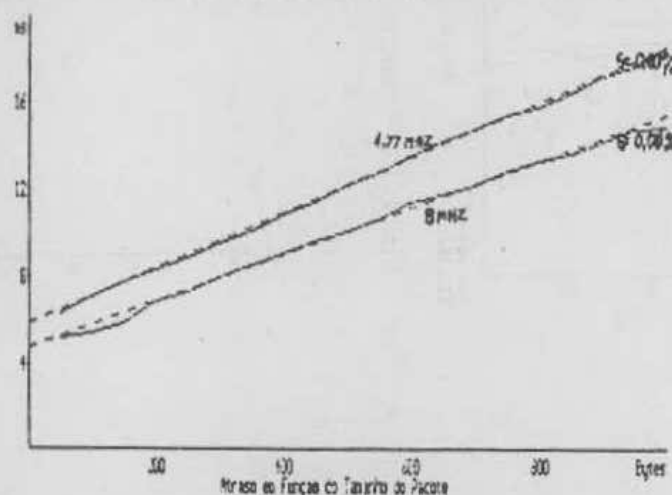


FIG 4.3 - RESULTADOS DO TESTE DE ATRASO A 4.77 E 8 MHz

IV.3 - Resultados dos Testes tipo Atraso-Vazão

Foram realizados dois conjuntos de teste tipo atraso-vazão: um conjunto com o objetivo de estudar a variação do atraso com o tipo de tráfego, e outro visando à identificação do ponto onde a rede satura, ou seja, o atraso cresce sem limite.

No primeiro conjunto de testes, medimos o atraso para diversas distribuições de tráfego. Os valores foram obtidos computando-se a média sobre 300 pacotes, separados por 20 ms. O tamanho do pacote de teste foi fixado em 100 bytes. Usou-se duas estações geradoras de tráfego, em todos os casos. A principal conclusão deste conjunto de medidas foi que, para vazões entre 4 e 16%, o atraso praticamente independe da característica do tráfego, e para pacotes de 100 bytes fica em torno de 8 ms.

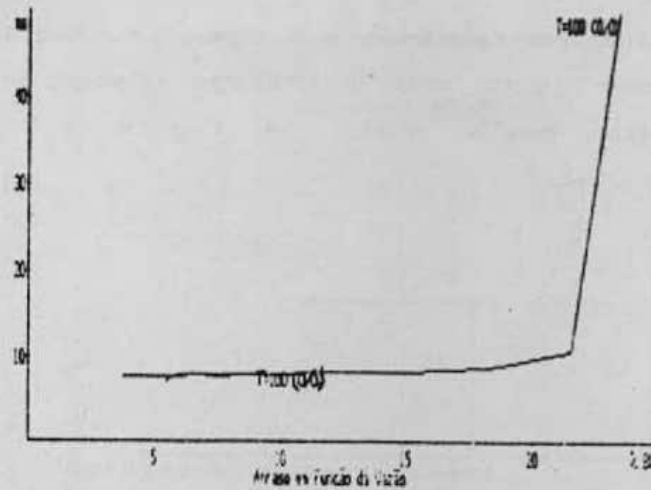


FIG 4.6 - EFEITO DA SATURAÇÃO DA REDE NO ATRASO

A figura 4.6 mostra o ponto de saturação da rede, para pacotes de 100 bytes. O tráfego na rede era de característica constante/constante, 2 geradores. Ali são apresentadas duas curvas superpostas e praticamente indistinguíveis: numa delas, o espaçamento entre os pacotes de teste ficou fixo em 250 ms (esta curva se estende apenas até 12% de vazão); na outra, ele foi feito variável e igual à média do intervalo do gerador de tráfego. Este gráfico também mostra o ponto onde o atraso diverge. Para este caso particular (pacote de 100 bytes, 2 geradores) isso ocorre no instante em que se tenta transmitir pacotes com intervalo menor que um certo mínimo. A placa de rede não consegue transmitir na taxa desejada, e forma-se uma fila de pacotes dentro da estação transmissora. Esta fila aumenta sem limite, e da mesma forma o atraso. É importante notar que, perto do ponto de saturação, a estação receptora não consegue mais receber todos os pacotes transmitidos.

IV.4 - Resultado dos Testes Tipo Tráfego Oferecido/Vazão

Ao realizar estes testes, tínhamos quatro objetivos:

- verificar a dependência desta característica com o tipo de tráfego;
- verificar a dependência com o número de estações;
- verificar a dependência com o tamanho do pacote; e
- verificar quais os pontos de saturação e congestionamento da rede.

Em todos os gráficos deste tipo foi superposta uma

linha pontilhada que representa o comportamento ideal da rede: 550 a vazão aumenta junto com o tráfego oferecido até atingir 100%, saturando neste ponto. A figura 4.7 mostra este comportamento ideal.

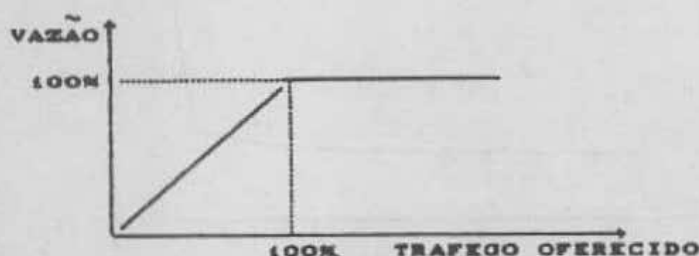


FIG. 4.7 - CURVA VAZÃO-TRÁFEGO OFERECIDO IDEAL

A figura 4.8 mostra as curvas de vazão-tráfego oferecido para 4 nós e pacotes com tamanho médio de 100 bytes. A curva marcada como (0/0) representa tráfego determinístico; (1/1) tráfego com distribuição uniforme (tanto para o tamanho quanto para o intervalo); (3/3) tráfego exponencial; (5/5) tráfego com distribuição normal. A principal conclusão que pode ser tirada desta figura é que a máxima vazão na rede realmente depende do tipo de distribuição de probabilidade do tráfego. Tráfego determinístico é o que consegue atingir maior vazão. Este fato tem uma explicação simples: neste caso, é possível ordenar as transmissões no meio físico de modo que não haja conflitos. Assim, a vazão que se obtém é maior.

A figura 4.9 mostra a medida realizada variando-se o número de geradores, com tráfego de característica constante/constante e pacote de 100 bytes. Desta figura pode-se concluir que a máxima vazão que pode ser obtida aumenta com o número de nós. Se tomarmos, por exemplo, o caso com uma estação apenas, o problema fica mais claro. A princípio, a única limitação neste caso seria a largura de faixa do cabo, uma vez que esta estação não teria que competir com mais nenhuma outra. Contudo, a vazão máxima que ela consegue é pouco mais que 5%. A razão disto está na existência de um intervalo mínimo entre pacotes, fato que foi demonstrado pelos testes de perfil de tráfego. Este mecanismo limita a máxima vazão que pode ser obtida em cada estação, e começa a atuar bem antes da limitação de largura de faixa do meio. Pode-se, contudo, prever que a máxima vazão não vai crescer sempre com o número de estações; a partir de um certo ponto,

as limitações da rede em si deverão atuar.

551

A figura 4.10 mostra o conjunto de medidas realizado para se investigar a dependência da vazão com o tamanho do pacote. Realizamos o teste com dois geradores, e o tráfego foi do tipo constante/constante. A medida foi realizada para pacotes de 100, 500 e 1000 bytes. Uma vez que o intervalo mínimo entre pacotes não aumenta linearmente com o tamanho dos mesmos, é de se esperar que a vazão máxima aumente com o aumento do tamanho dos pacotes.

A tabela 4.3 faz uma comparação entre o intervalo mínimo medido a 4.77 MHz de relógio e o valor calculado pelo ponto onde a vazão satura. Podemos observar que os intervalos têm valores semelhantes. Se o intervalo mínimo calculado a partir da medida de vazão máxima fosse maior, que o medido pelo teste de perfil de tráfego, isso significaria que o sistema de comunicações passou a ser o fator limitante. Um outro ponto importante a ser notado é que a vazão saturou em quase 70% da largura de faixa disponível, para pacotes de 1000 bytes, o que é um valor muito bom para as aplicações usuais, principalmente quando se considera que este é o desempenho visto pelo usuário (exclui todo o "overhead"). Obviamente, isto não significa que é possível realizar transferência de informação nesta taxa: a estação receptora pode não ser capaz de receber todos estes pacotes transmitidos (este fato foi verificado com bastante frequência nos testes de perfil de tráfego).

TABELA 4.3 : INTERVALOS MÍNIMOS PARA A FIG. 4.10

TAMANHO (bytes)	VAZAO (%)	INT. MIN (ms)	
		FIG 4.10	MEDIDO
100	11.6	6.9	7.7
500	51.0	7.8	8.7
1000	69.9	11.4	12.6

O gráfico da figura 4.10 mostrou que é possível obter uma vazão máxima de cerca de 70% com duas estações transmitindo. O que aconteceria se fossem colocadas mais estações na medida? Foi o que tentamos fazer. A figura 4.11 mostra os resultados deste teste. Fizemos duas medidas: uma com três estações, tráfego de estatística constante/constante, e outra com quatro estações, tráfego com tamanho constante para os pacotes, e intervalo exponencial entre eles. Nos dois casos, a curva seguiu o ideal até um certo valor de vazão.

Neste ponto, a rede congestionou: uma das estações cessou de 552 transmitir, reduzindo o tráfego. Nesta estação, o Sistema Operacional de Rede simplesmente parou de funcionar, não realizando mais nenhuma operação (transmissão, recepção, abertura/fechamento de soquetes, etc), e foi necessário re-inicializar esta estação. Este fato só foi observado para tráfego intenso, com pacotes grandes (maiores que 500 bytes) e sempre com pelo menos três estações transmitindo. A causa pode ser uma possível incapacidade do Controle de Acesso ao Meio implementado nesta rede resolver uma situação de colisão envolvendo mais de duas estações, pois o fenômeno não ocorre num valor particular de vazão e sim em situações onde a probabilidade de uma colisão entre três estações é alta.

IV.5 - Resumo das Conclusões dos Resultados de Medida

As principais conclusões a que chegamos foram:

- Existe um intervalo mínimo entre dois pacotes que podem ser transmitidos consecutivamente pela mesma estação. Este intervalo aumenta com o aumento do tamanho do pacote.
- Dado um par de estações, uma transmitindo o mais rápido possível, e a outra apenas recebendo, a estação receptora não consegue receber todos os pacotes transmitidos, mesmo que não haja tráfego adicional na rede. Esta perda é tanto maior quanto maiores os pacotes transmitidos, caso o tráfego seja homogêneo. Contudo, numa situação onde existam pacotes de diversos tamanhos sendo transmitidos, há uma tendência de se perder os pacotes menores.
- A curva de atraso por tamanho do pacote medida sem tráfego resultou numa reta, como previsto teoricamente. O coeficiente linear desta reta representa o "overhead" pelo Sistema Operacional de Rede e pela placa de comunicações; o coeficiente angular está relacionado com a transferência de informação entre o computador e a placa de comunicações, e entre esta e o cabo coaxial que leva a informação. Como pode ser visto na tabela 4.2, metade do "overhead" é de responsabilidade da CPU; contudo, a maior parte do atraso devido à transferência de informação é de responsabilidade do sistema de comunicações.
- Não foi observada variação do atraso ponto-a-ponto com a estatística do tráfego.

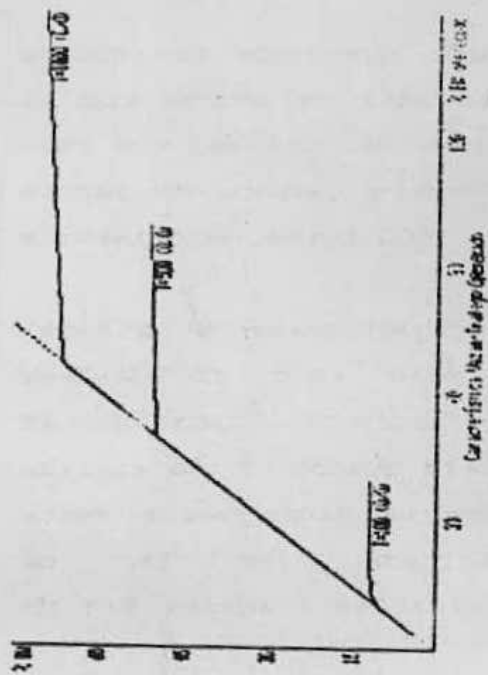


FIG 4.10 - DEPENDÊNCIA COM O TAMANHO DO PACOTE

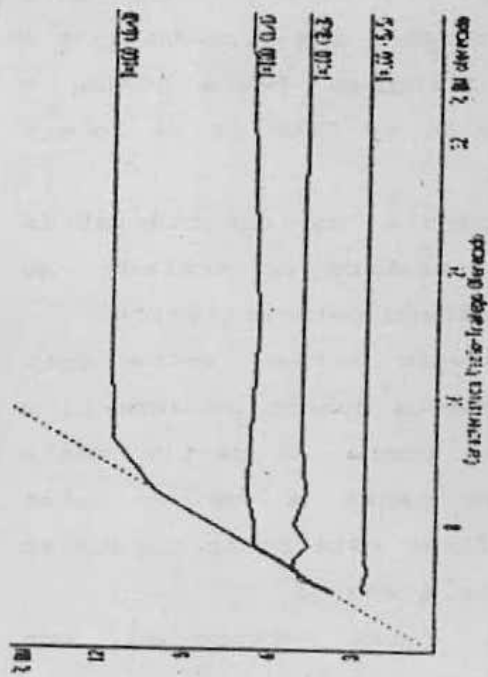


FIG 4.8 - DEPENDÊNCIA COM A CARACTERÍSTICA DO TRÁFEGO

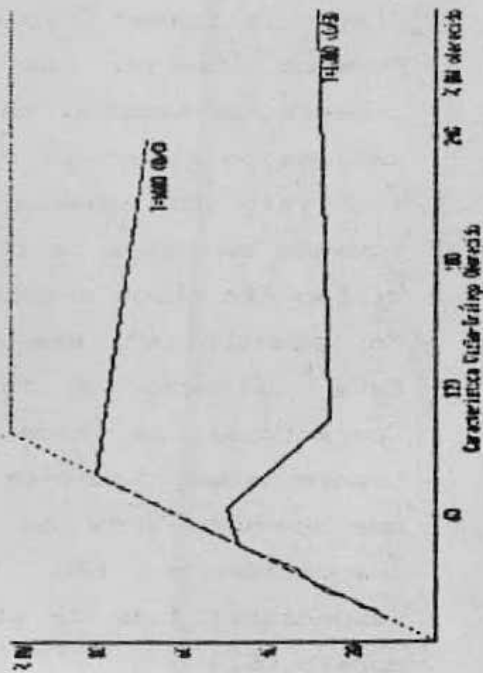


FIG 4.11 - PONTO DE CONGESTIONAMENTO DA REDE

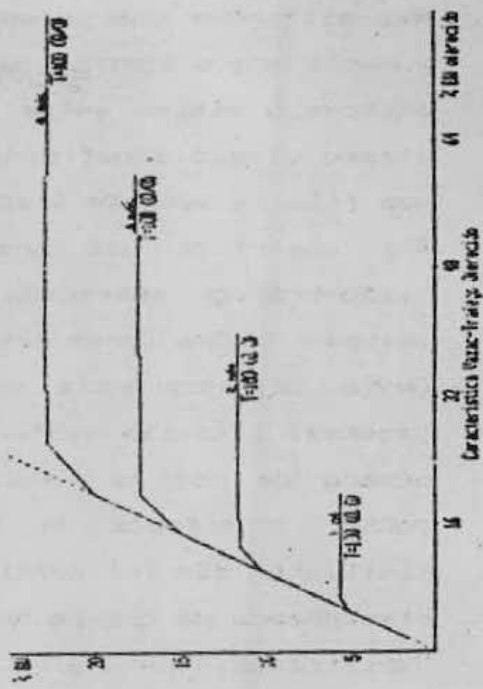


FIG 4.10 - DEPENDÊNCIA COM O NÚMERO DE NÓS

- Nas situações que pudemos observar, o atraso ponto-a-ponto aumenta com o aumento na vazão pelo cabo, até o ponto onde o intervalo mínimo entre pacotes é atingido. Neste ponto, o atraso cresce indefinidamente, devido ao fato de se formar uma fila na estação transmissora.
- Foi observada uma grande dependência da característica vazão-tráfego oferecido com a estatística do tráfego. As maiores vazões foram obtidas com tráfego determinístico.
- Devido à existência de um intervalo mínimo entre dois pacotes, a máxima vazão no cabo aumenta quando se aumenta o número de nós na rede, até certo ponto. A partir deste ponto, o sistema de comunicações passa a ser o fator limitante. Não foi possível identificar este ponto porque só dispunhamos de quatro nós para fazer a medição.
- Verificamos que a largura de faixa disponível num determinado instante é igualmente distribuída entre as diversas estações competindo pelo uso do meio físico (o desbalanceamento, em qualquer caso, é menor que 1% da capacidade do canal). Este parâmetro é chamado de "imparcialidade" ("fairness").
- Pudemos observar que a máxima vazão que pode ser obtida depende do tamanho do pacote. Isto está de acordo com as medidas de intervalo mínimo entre pacotes, uma vez que este intervalo não aumenta linearmente com o tamanho do pacote (quando se passa de 100 bytes para 1000 bytes, o intervalo mínimo não chega a dobrar).
- Foi identificada uma situação de congestionamento na rede. Esta situação é caracterizada pelo fato do Sistema Operacional de Rede deixar de funcionar, cessando as transmissões. Supõe-se que isto ocorra quando há uma colisão que envolva três ou mais estações. A causa exata deste comportamento não foi identificada, por ser de responsabilidade da placa de comunicações (camadas 1/2 do Modelo OSI).

AGRADECIMENTO: A Sra. Tiyomari N. W. Noronha, pela inestimável ajuda na preparação deste trabalho.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

555

- 01) INTEL Corp., "Microcommunications Handbook". Intel Corp., 231658-003, Santa Clara, Calif, 1988.
- 02) AMPLUS INFORMATICA S.A., "Rede Local Amplinet - Manual de Referência Técnica, versão X.1", Rio de Janeiro, jun. 1987.
- 03) HOWELL, L.W., & RHEINFURTH, M.H., "Generation of Pseudo-Random Numbers", NASA Technical Paper 2105, 1982.
- 04) SEITZ, Neal B., et alii, "User-Oriented Performance Measurements on the ARPANET". *IEEE Communications Magazine*, 21 (5):29-44, Aug. 1983.
- 05) ARONOFF, Robert, et alii, "Transport Layer Performance Tools and Measurement". *IEEE Network*, 1(3): 21-31, July 1987.
- 06) ZIMMERMANN, Hubert, "OSI Reference Model - The ISO Model of Architecture for Open Systems Interconnection". *IEEE Trans. on Communications*, COM-28(4): 425-32, Apr. 1980.