UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Instituto de Física de São Carlos
Departamento de Física e Informática

**TCP/IP Sobre LANE e o seu impacto
prático na Rede Local**

Claudio Massaki Kakuda

Dissertação apresentada ao Instituto de Física de
São Carlos, Universidade de São Paulo, para
obtenção do título de Mestre em Física Aplicada.

Orientador: Prof. Dr. Jan Frans Willem Slaets

São Carlos
Agosto de 2006

Kakuda, Cláudio Massaki

“TCP/IP sobre LANE e o seu impacto prático na Rede Local”

Cláudio Massaki Kakuda – São Carlos, 2006

Dissertação (Mestrado) – Área de Física Aplicada – opção Física
Computacional do Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São
Paulo

2006 - Páginas: 83

Orientador: Prof. Dr. Jan Frans Willem Slaets

1. TCP/IP 2. Rede Local

I. Título

Dedico este trabalho à querida Adriana, esposa e companheira, que sempre esteve ao meu lado nas horas difíceis, e aos meus queridos filhos.

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Jan F. W. Slaets e a Prof^a. Dr^a. Patrícia Magna por todo apoio e compreensão dispensados durante a orientação deste trabalho.

Aos meus pais que, com carinho e dedicação, me criaram, dando a possibilidade de me tornar o que sou hoje e aos queridos irmãos que sempre me incentivaram a seguir em frente.

Ao Bruno que sempre me incentivou a seguir em frente.

Ao ScInfor: Flávia, João Roberto, Lú, Sabá e Savério, pelo apoio e amizade.

Aos amigos de Faculdade: Fábio, José Eduardo e Victor, pelo companheirismo.

A querida amiga Isabel Rosani, pelo apoio, colaboração e amizade desde que trabalhávamos no mesmo grupo de pesquisa.

A Wladerez e Cristiane da seção de pós-graduação, pelas orientações.

Aos filhos e sobrinhos, que minha luta e determinação sirvam de exemplo. Nunca é tarde para vencer, nem tampouco para acreditar nas mudanças e nas conquistas.

A todos que colaboraram, direta e indiretamente, para o êxito deste trabalho.

Resumo

Esta dissertação descreve os métodos, medidas e análises feitas para otimizar a rede de comunicação de dados do Instituto de Física de São Carlos. As tecnologias e protocolos utilizados na rede são apresentados. Especial atenção é dada a análise do desempenho de VLANs utilizando inicialmente o protocolo LANE no núcleo ATM da rede. Neste caso a rede é composta de switches ATM e ATM-Ethernet. Medidas comparativas foram realizadas com a utilização da tecnologia *Fast Ethernet* no *backbone*, que possui uma capacidade de transmissão relativamente próxima da ATM de 155Mbps. Melhores resultados obtidos com a implementação de sub-redes maiores, Reduzindo em um numero menor de sub-redes, são discutidos e apresentados.

Análises estatísticas baseadas apenas no tempo de resposta da rede são apresentados para avaliar o desempenho das alterações efetuadas nas configurações da rede.

Mesmo que o tráfego tenha aumentado muito durante esses anos e que vários serviços tenha sido agregados a esta rede, foi possível adequar o desempenho as novas necessidades beneficiando-se da evolução tecnológica que os equipamentos de rede de dados trouxeram ao IFSC.

Abstracts

This work describes the methods, measures and analyses performed aiming to optimize the data communication network from the Physics Institute of Sao Carlos as well as the technologies and protocols used in the network recently. Special care is given to the analysis of the VLANs performance using, initially, the LANE protocol over ATM which has its core based on pure ATM and ATM-Ethernet switches.

Comparative measures had been carried out using a backbone working on a Fast Ethernet technology, which seems to have a very close transmission rate from the ATM 155Mbps.

This work also discusses best results acquired with the implementation of larger networks reducing the number of subnetworks, statistical analyses based on time delay of the network in order to evaluate the performance of the changes made on its configuration. Even though the traffic from the Institute has been increased over these years and several services have been added to the network, it was completely possible to adapt the performance to the needs, using the benefits of the technological evolution which the network equipments had brought to the Institute.

Sumário

1 Capítulo.....	1
1.1 INTRODUÇÃO	1
2 Capítulo – Modelo ISO/OSI.....	3
2.1 O MODELO OSI	3
2.2 DESCRIÇÃO DAS CAMADAS	4
2.2.1 Camada física	4
2.2.2 Camada de ligação de dados	4
2.2.3 Camada de rede	5
2.2.4 Camada de transporte	5
2.2.5 Camada de sessão	6
2.2.6 Camada de apresentação	7
2.2.7 Camada de aplicação	7
2.3 CAMADA 1 - MEIOS DE TRANSMISSÃO DE DADOS	8
2.3.1 Par de Fios	8
2.3.2 Cabo Coaxial	10
2.3.3 Fibra Óptica	11
2.3.3.1 A fibra e suas vantagens	12
2.3.3.2 Como funciona a fibra	14
2.3.3.2.1 Multimodo índice degrau	17
2.3.3.2.2 Multimodo índice gradual	17
2.3.3.2.3 Monomodo índice degrau	18
2.3.3.3 Conectores para fibras óticas	19
2.4 CAMADAS 2 E 3 – PROTOCOLOS	20

2.4.1	Conceitos Gerais ATM	20
2.4.1.1	Célula	21
2.4.1.2	Endereçamento	25
2.4.1.3	Circuitos Virtuais	26
2.4.1.4	Camadas ATM	29
2.4.1.5	IP Sobre ATM	30
2.4.1.5.1	Classical IP - CIP	31
2.4.1.5.2	LAN Emulation - LANE	31
2.4.2	Conceitos Gerais Ethernet	33
2.4.2.1	Ethernet	33
2.4.2.1.1	Regras de Controle de Acesso ao Meio	33
2.4.2.1.2	Quadro Ethernet	34
2.4.2.2	Fast Ethernet	35
2.4.2.3	Gigabit Ethernet	35
2.4.2.3.1	Transmissão em Half-Duplex	36
2.4.2.3.2	Transmissão em Full-Duplex	37

3 Capítulo – Características de equipamentos e ferramentas utilizados.....38

3.1 DESCRIÇÃO DE EQUIPAMENTOS 38

3.1.1	Hub	38
3.1.2	Switches	39
3.1.3	Roteadores	40

3.2 OS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NO IFSC 41

3.3 FERRAMENTAS DE SOFTWARE PARA MEDIDAS DE ANÁLISE DE TRÁFEGO DE REDE 42

3.3.1	Parâmetros de desempenho da rede	42
-------	----------------------------------	----

3.4 USANDO O PING 43

3.4.1 Possíveis medidas usando Ping.	46
3.5 OUTRAS FERRAMENTAS QUE USAM O PING	47
4 Capítulo – Descrição da Evolução da Rede do IFSC	52
4.1 REDE DO INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS	52
4.2 TOPOLOGIA	53
4.3 GRUPOS	57
4.3.1 Grupo 1	57
4.3.2 Grupo 2	61
4.3.3 Grupo 3	64
5 Capítulo - Resultados.....	67
5.1 DESCRIÇÃO DA ORGANIZAÇÃO DOS RESULTADOS	67
5.2 DADOS COLHIDOS	69
5.3 ESTATÍSTICA DOS DADOS	70
5.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	73
6 Capítulo – Conclusões e Trabalhos Futuros.....	76
6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	76
6.2 TRABALHOS FUTUROS	79
7 Referências.....	80

Lista de figuras

Figura 2.1: Extraído de “Fundamentals of Physics”, Halliday, Resnick e Walker.....	12
Figura 2.2: Lei de Snell da Refração [zilio2001].....	15
Figura 2.3: Extraído de “Fundamentals of Physics”, Halliday, Resnick e Walker.....	16
Figura 2.4: Tipos de conectores de Fibra ótica.....	19
Figura 2.5: Pacote ATM.....	24
Figura 2.6 - Endereçamento ATM.....	26
Figura 2.7: Canais Virtuais	28
Figura 2.8 - OSI vs ATM.....	30
Figura 2.9: Quadro ethernet.....	34
Figura 3.1: Caminho do ping. [COMER1998].....	44
Figura 3.2: Exemplo da ferramenta SmokePing.....	50
Figura 4.1: IFSC dividido em quadrantes.....	55
Figura 4.2: Crescimento do número de microcomputadores - Fonte Anuário estatísticos da USP	
57	
Figura 4.3: Diagrama em Blocos da planta baixa do IFSC.....	59
Figura 4.4: Esquema lógico do IFSC em 2001.....	60
Figura 4.5: Diagrama em Blocos da planta baixa do IFSC em 2002.....	62
Figura 4.6: Esquema lógico do IFSC em 2002.....	63
Figura 4.7: Diagrama em Blocos da planta baixa do IFSC em 2003.....	65
Figura 4.8: Esquema lógico do IFSC em 2003.....	66

Figura 5.1: Exemplo de um Script do Linux para obter os tempos.....	68
Figura 5.2: Exemplo de saída do Ping na máquina de aquisição de dados (143.107.229.171) para interface do roteador (143.107.228.10).....	69
Figura 5.3: Exemplo de tratamento de dados usando a ferramenta SAS - Insight	70
Figura 5.4: Resultados estatísticos de 2001 com tempo em milisegundos.....	71
Figura 5.5: Resultados estatísticos de 2002 com tempo em milisegundos.....	72
Figura 5.6: Resultados estatísticos de 2003 com tempo em milisegundos.....	73
Figura 5.7: Comparativo de tempos de Ping entre 2001 e 2002.....	74
Figura 5.8: Comparativo de tempos de Ping entre 2002 e 2003.....	74

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Cabeação e Backbone UTP (Atenuação: por 100 metros (328 pés) a 20° C).....	9
Tabela 2- Tabela de ferramentas de medidas de latencia.....	48
Tabela 3 - Configuração das ELANs na rede do IFSC até 2001.....	54
Tabela 4 - Cronologia da construção dos blocos de prédios do IFSC.....	55
Tabela 5 - Divisão lógica do IFSC dividido em quadrantes.....	56
Tabela 6 - Divisão Lógica das VLANs e a interface responsável.	60
Tabela 7 - Divisão Lógica das VLANs e a interface responsável no NSX9500.....	63
Tabela 8 - Divisão Lógica das VLANs e a interface responsável em 2003.....	66

1 Capítulo

1.1 Introdução

As redes de dados são ferramentas muito úteis para os usuários de informática e a sua presença é, atualmente, fundamental para operação de várias entidades, tais como empresas, universidades e outras. Redes interligadas e conectadas à internet permitem acesso a serviços e dados armazenados em servidores e bases remotos, oferecem facilidades de comunicação e, de várias formas, ampliam o uso da tecnologia de informação. A utilização das redes de computadores é uma realidade na vida dos dias de hoje. Voz, vídeo, dados convencionais, dados em tempo real (dados expressos) são transmitidos por estas redes, tornando os usuários cada vez mais dependentes da disponibilidade destes recursos. Expressões como disponibilidade, contratos de SLA (*service level agreement*) e desempenho fazem parte das conversas de administradores de rede. Todo profissional de redes de computadores certamente já ouviu e se questionou a respeito da qualidade de sua rede. Perguntas como: “a minha rede é rápida?”, “porque a rede está tão lenta hoje?”, “como posso saber se a minha rede tem bom

desempenho?”, fazem parte do cotidiano deste profissional. Porém, o desconhecimento de métodos de medição e monitoramento do desempenho da rede, faz com que nem todos consigam argumentar em face destas perguntas e afirmações.

Fazendo parte da equipe de administradores de rede do Instituto de Física de São Carlos(IFSC) da Universidade de São Paulo(USP), foi possível identificar várias particularidades da rede que serviram de motivação para este estudo.

Por exemplo, os níveis de ruídos eletromagnéticos são altos, as diferenças de potenciais entre os prédios tornaram a comunicação muito complicada para ser feito por cobre, por isso a necessidade de implementação de Fibras Ópticas (capítulo 2) foi inevitável, como é exposto a seguir e, nisso, está o fato da utilização da tecnologia ATM (capítulo 3) em dois projetos da FAPESP no IFSC (Infra 4 e 5) e a Internet 2.

A evolução da rede do IFSC desde 2001(capítulo 4) com esses equipamentos modernos sempre visou diminuir ao máximo o possível o atraso gerado pela rede, fazendo com que a transferência dos arquivos pela rede fosse mais rápida possível como comprovado através de medidas e análises apresentada no capítulo 5. A metodologia usada neste trabalho, para obtenção das medidas e sua análises, baseou-se no fato de que, em geral, os administradores da rede podem usar ferramentas simples e que ofereçam rápida interpretação. As mais comuns são as ferramentas baseadas no comando ping que devem ser usadas e interpretadas de forma cuidadosa conforme descrito no capítulo 3. Como foi comprovado neste trabalho, tornando os devidos cuidados, essas ferramentas são excelentes para a identificação de problemas nas redes, auxiliando assim a melhoria destas.

2 Capítulo – Modelo ISO/OSI

Neste capítulo são apresentados o modelo ISO/OSI e a tecnologia da fibra óptica, que foi a responsável pela implementação de novas tecnologias de rede de dados no IFSC. Também um breve histórico da evolução das redes de computadores, e a descrição da Tecnologia ATM e sua padronização. O backbone do IFSC usava esta tecnologia, quando do estudo, e um pouco sobre o protocolo Ethernet e ICMP

2.1 O Modelo OSI

Com o propósito de facilitar o processo de padronização e obter a interconectividade entre máquinas de diferentes sistemas operativos a Organização Internacional de Padronização (ISO) aprovou, no início dos anos 80, um modelo de referência para permitir a comunicação entre máquinas heterogêneas, denominado OSI (*Open Systems Interconnection*).

OSI , ou Interconexão de Sistemas Abertos, é então um conjunto de padrões ISO relativo à comunicação de dados. Um sistema aberto é um sistema que não depende de uma arquitetura específica. Este padrão também é conhecido por "Camadas OSI" e serve de base para qualquer tipo de rede, seja de curta, média ou longa distância[COMER2001].

2.2 Descrição das camadas

Uma breve descrição das sete camadas do modelo ISO/OSI [TANENBAUM1996]:

2.2.1 Camada física

Esta camada está diretamente ligada ao equipamento de cabeamento ou outro canal de comunicação, ou seja, é aquela que se comunica diretamente com o controlador da interface de rede. Preocupa-se, portanto, em permitir uma comunicação bastante simples e confiável, na maioria dos casos com controle de erros básico:

- Move um ou mais bits através de um meio físico. Define as características elétricas e mecânicas do meio, taxa de transferência dos bits, voltagens, etc.
- Controle de acesso ao meio.
- Controle lógico de enlace.
- Confirmação e retransmissão de quadros.
- Controle da quantidade e velocidade de transmissão de informações na rede.

2.2.2 Camada de ligação de dados

Esta camada também se designa por Camada de enlace de dados.

- ela detecta e, opcionalmente, corrige erros que possam acontecer no nível físico. É também responsável pela transmissão e recepção (delimitação) de quadros e pelo controle de fluxo.
- Estabelece um protocolo de comunicação entre sistemas diretamente conectados. O endereçamento é físico, embutido na interface de rede.

- Exemplo de protocolos nesta camada: PPP, LAPB (do X.25) e NetBios
- Também está inserida no modelo TCP/IP (podendo ser analisado no modelo OSI)

2.2.3 Camada de rede

A camada de Rede é responsável pelo endereçamento dos pacotes, convertendo endereços lógicos em endereços físicos, de forma que os pacotes consigam chegar corretamente ao destino. Essa camada também determina a rota que os pacotes irão seguir para atingir o destino, baseada em fatores como condições de tráfego da rede e prioridades.

Essa camada é usada quando a rede possui mais de um segmento e, com isso, há mais de um caminho para um pacote de dados trafegar da origem ao destino. Encaminhamento, endereçamento, interconexão de redes, tratamento de erros, fragmentação de pacotes, controle de congestionamento e seqüenciamento de pacotes são funções desta camada :

- Movimenta pacotes a partir de sua fonte original até seu destino através de um ou mais enlaces.
- Define como dispositivos de rede descobrem uns aos outros e como os pacotes são roteados até seu destino final.

2.2.4 Camada de transporte

A camada de Transporte é responsável por pegar os dados enviados pela camada de Sessão e dividi-los em pacotes que serão transmitidos pela rede, ou melhor, repassados para a camada de Rede. No receptor, a camada de Transporte é responsável por pegar os pacotes recebidos da camada de Rede e remontar o dado original para enviá-lo à camada de Sessão.

Isso inclui controle de fluxo (colocar os pacotes recebido em ordem, caso eles tenham chegado fora de ordem) e correção de erros, tipicamente enviando para o transmissor uma informação de recebimento (*acknowledge*), informando que o pacote foi recebido com sucesso.

A camada de Transporte separa as camadas de nível de aplicação (camadas 5 a 7) as camadas de nível físico (camadas de 1 a 3). As camadas de 1 a 3 estão preocupadas com a maneira com que os dados serão transmitidos pela rede. Já as camadas de 5 a 7 estão preocupadas com os dados contidos nos pacotes de dados, para serem enviados ou recebidos para a aplicação responsável pelos dados. A camada 4, Transporte, faz a ligação entre esses dois grupos.

Determina a classe de serviço necessária como: orientada a conexão e com controle de erro e serviço de confirmação, sem conexões e nem confiabilidade. O objetivo final da camada de transporte é proporcionar serviço eficiente, confiável e de baixo custo aos seus usuários, normalmente entidades da camada de sessão. O hardware e/ou software dentro da camada de transporte e que faz o serviço é denominado entidade de transporte.

2.2.5 Camada de sessão

A camada de Sessão permite que duas aplicações em computadores diferentes estabeleçam uma sessão de comunicação. Nesta sessão, essas aplicações definem como será feita a transmissão de dados e coloca marcações nos dados que estão sendo transmitidos. Se porventura a rede falhar, os computadores reiniciam a transmissão dos dados a partir da última marcação recebida pelo computador receptor.

Disponibilizam serviços como pontos de controle periódicos a partir dos quais a comunicação pode ser restabelecida em caso de pane na rede.

2.2.6 Camada de apresentação

Esta camada provê independência nas representações de dados (por exemplo, a criptografia) ao traduzir os dados do formato do aplicativo para o formato da rede e vice versa. A camada de apresentação trabalha transformando os dados num formato em que a camada de aplicação possa aceitar. Esta camada formata e encripta os dados para serem transmitidos através da rede, evitando problemas de compatibilidade. Às vezes é chamada de camada de Tradução, pois define como números inteiros, mensagens de texto e outros dados são codificados e, posteriormente, transmitidos na rede.

Permite que computadores com arquitetura de hardware e SOs diferentes troquem informação.

2.2.7 Camada de aplicação

A camada de aplicação faz a interface entre o protocolo de comunicação e o aplicativo que pediu ou receberá a informação através da rede. Por exemplo, ao solicitar a recepção de e-mails através do aplicativo de e-mail, este entrará em contato com a camada de Aplicação do protocolo de rede efetuando tal solicitação. Tudo nesta camada é direcionada aos aplicativos. Telnet e FTP são exemplos de aplicativos de rede que existem inteiramente na camada de aplicação.

Tendo apresentado de forma resumida cada camada do modelo OSI, nas seções seguintes serão apresentadas informações das camadas de 1 até 3 com maior grau de detalhamento, necessárias para a compreensão do presente trabalho.

2.3 Camada 1 - Meios de Transmissão de Dados

O meio de transmissão de dados serve para oferecer suporte ao fluxo de dados entre dois pontos. O termo linha é utilizado para designar o meio de transmissão usado entre esses pontos.

Essa linha pode ser de um par de fios, um cabo coaxial, fibras óticas, comunicação por rádio frequência ou até mesmo por satélites.

Nas subseções a seguir serão abordados os meios de transmissão mais comuns utilizados.

2.3.1 Par de Fios

O par de fios, também chamado de par trançado, foi um sistema originalmente reduzido para transmissão telefônica analógica. Interessante observar que utilizando o sistema de transmissão por par de fios aproveita-se esta tecnologia que já é tradicional por causa do seu tempo de uso e do grande número de linhas instaladas.

A taxa de transmissão varia de acordo com as condições das linhas telefônicas utilizadas, podendo variar entre 9600 a 19200bps. Exceto a tecnologia ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*), é a forma mais conhecida sendo utilizada predominantemente para acesso banda larga via Internet [ALENCAR1998].

No ADSL os dados são transmitidos de forma assimétrica. A taxa de transmissão na direção do assinante é maior (até 8 Mbit/s) do que no sentido contrário (até 640 kbit/s). Esta assimetria corresponde ao encontrado em serviços de banda larga como a Internet. Com o ADSL o mesmo par de fios de cobre pode ser utilizado simultaneamente como linha telefônica e como acesso banda larga a Internet, descongestionando as centrais telefônicas e a linha do assinante. Considerando enlaces ponto a ponto, essas taxas são bem aceitáveis, porém, quando se trata de enlaces multipontos (mas esse não foi utilizado no IFSC, que é o foco deste trabalho), a taxa de transmissão decresce significativamente.

Todo o meio físico de transmissão sofre influências do meio externo acarretando em perdas de desempenho nas taxas de transmissão. Essas perdas podem ser atenuadas limitando a distância entre os pontos a serem ligados.

A vantagem principal na utilização do par de fios ou par trançado é seu baixo custo de instalação e manutenção, considerando o grande número de bases instaladas.

Como par trançado tem-se no IFSC os cabos UTP, cuja impedância característica de um cabo UTP para Cabeação Horizontal e *Backbone* é de 100 Ohms + 15% de 1MHz até a maior frequência da categoria (16, 20 ou 100 MHz).

A tabela 1 apresenta um comparativo entre as três categorias UTP (3, 4 e 5) quanto a atenuação e perdas por diafonia (*crosstalk* ou *NEXT*), no caso de uso na Cabeação Horizontal e na Cabeação *Backbone*¹

Tabela 1 - Cabeação e Backbone UTP² (Atenuação: por 100 metros (328 pés) a 20°

C)

Frequência	Cat. 3	Cat. 4	Cat. 5
(MHz)	Atenuação (dB)	Atenuação (dB)	Atenuação (dB)
1,0	2,6	2,2	2,0
4,0	5,6	4,3	4,1
8,0	8,5	6,2	5,8
10,0	9,7	6,9	6,5
16,0	13,1	8,9	8,2
20,0	-	10,0	9,3
25,0	-	-	10,4
31,25	-	-	11,7
62,5	-	-	17,0
100,0	-	-	22,0

¹ ANSI/TIA/EIA-568-A

² ANSI/TIA/EIA 568-A e ISOC/IEC 11801

2.3.2 Cabo Coaxial

O cabo coaxial³ possui vantagens em relação aos outros condutores utilizados tradicionalmente em linhas de transmissão por causa de sua blindagem, que o protege contra o fenômeno da indução, causado por interferências elétricas ou magnéticas externas .

Essa blindagem constitui-se de uma malha metálica (condutor externo) que envolve um condutor interno isolado.

Os cabos coaxiais geralmente são empregados na ligação de pontos próximos um do outro (rede local de computadores, por exemplo). A velocidade de transmissão é bastante elevada devido à tolerância aos ruídos graças à malha de proteção desses cabos.

Os cabos coaxiais são divididos em duas famílias:

- **Banda base:** Nesta tecnologia de transmissão, o sinal digital é injetado diretamente no cabo. A capacidade de transmissão dos cabos nesta modalidade varia entre alguns Mbps/km (megabits por segundo por quilômetro) no caso dos cabos mais finos, até algumas dezenas de megabits por segundo (Mbps) no caso de cabos grossos. A impedância utilizada nesta modalidade de transmissão é de 50 ohms.
- **Banda larga:** Nesta tecnologia de transmissão, os cabos coaxiais suportam uma banda passante de até 400Mhz. Devido a esta grande tolerância, esse cabo é muito utilizado para a transmissão do sinal de vídeo em TV a cabo e, na transmissão de vídeo também em computadores, para a integração de imagens transmitidas para várias estações de rede local. A impedância utilizada nesta modalidade de transmissão é de 75 ohms.

As dificuldades de conexão com cabos coaxiais são um pouco maiores do que se fosse utilizado o par trançado. A conexão dos cabos é feita através de conectores mecânicos, o que

³ ANSI/TIA/EIA-568

também encarece sua instalação em relação ao par trançado, porém, os benefícios compensam com larga vantagem a utilização deste método.

2.3.3 Fibra Óptica

As fibras óticas fizeram um dos mais importantes avanços das telecomunicações. As múltiplas vantagens em relação às transmissões com cabos convencionais permitiram evoluções em diversos aspectos, como: largura de banda, qualidade e custos. Quando na década de 60, computadores situados a grandes distâncias começaram a ser interligados. Os custos para a construção de uma nova rede de telecomunicações eram muito altos e acabaram por inviabilizar a realização da mesma. Como alternativa, foram utilizadas as redes telefônicas já existentes. Com o tempo, porém, a demanda por serviços de telecomunicações cresceu, e as antigas redes já não ofereciam a qualidade desejada. Para garantir a transmissão de todo tipo de sinal, os cabos telefônicos foram gradativamente sendo substituídos pelos cabos de fibra ótica, que permitem uma transmissão mais confiável e numa distância maior.

No final da década de 80 o IFSC possuía uma rede Ethernet 10MBit/s em cabos coaxiais. Tudo funcionava perfeitamente, uma vez que eram poucos microcomputadores nessa rede. Quando o número de equipamentos aumentou, surgiram problemas, tais como: os dois prédios do IFSC têm transformadores de alta tensão diferentes e uma flutuação de tensão fazia com que as portas do repetidor queimassem. Por isso foi necessária a implantação da tecnologia de fibra óptica.

Junto à instalação das fibras óticas foi necessário realizar a escolha da tecnologia de rede e o que havia disponível, na época, era o ATM e o FDDI.

A seguir serão abordados a tecnologia das fibras ópticas e as tecnologias utilizadas na implementação da rede no Departamento.

2.3.3.1 A fibra e suas vantagens

O capilar de sílica, ou fibra ótica (Figura 2.1)⁴, possui vantagens que possibilitam o seu uso numa gama enorme de aplicações. Como principais características desse meio de transmissão, podem ser ressaltadas:

- ✓ pequenas dimensões;
- ✓ baixo peso;
- ✓ imunidade a interferências eletromagnéticas;
- ✓ elevada capacidade de transmissão;
- ✓ reduzida atenuação;
- ✓ segurança das informações.

Figura 2.1: Extraído de “Fundamentals of Physics”, Halliday, Resnick e Walker

Basicamente, a fibra é um cabo composto de um núcleo ultrafino e uma casca, concêntricos, que se diferenciam pelos seus índices de refração. É bastante frágil

⁴ ANSI/ICEA S-83-596.

mecanicamente, sendo dessa forma, menos resistente que outros meios de transmissão como cabos coaxiais ou de pares trançados. Em virtude da sua composição, a fibra também é bem menos maleável que os cabos acima mencionados, contudo, por esse mesmo motivo também é mais leve: a densidade do silício é aproximadamente 4 vezes menor que a do cobre.

A principal razão para a confiabilidade dos sistemas de fibras reside no fato de que elas não transportam sinais elétricos. Mesmo com proteção e um bom aterramento, os cabos de cobre se comportam como antenas e absorvem energia de motores, transmissores de rádio e outros dispositivos elétricos. Dessa forma, há o risco de ocorrerem diferenças de potencial em relação ao aterramento, podendo ser ocasionadas até mesmo faúlhas nos cabos. Essas interferências elétricas acabam por enfraquecer o sinal e distorcer os pacotes de dados. Os cabos de fibras de vidro são imunes a campos elétricos e magnéticos, sendo, portanto imunes a problemas dessa natureza.

A maior capacidade de transmissão dos sistemas de comunicação óptica está relacionada à frequência do sinal. A luz tem uma frequência na faixa de 10^{14} e 10^{15} Hz, enquanto que sinais de rádio e microondas oscilam em frequências de 10^6 Hz e 10^{10} Hz, respectivamente. Portanto, um sistema que trabalhe na frequência da luz pode transmitir numa taxa superior a outros sistemas que trabalhem em frequências como as de rádio ou microondas. Define-se taxa de transmissão como a quantidade de bits que podem ser transmitidos por segundo[NUNES2001].

Um aspecto determinante dessa tecnologia é o alcance proporcionado pelas fibras. Sinais em cabos de cobre ou em fibra viajam praticamente à mesma velocidade, com a diferença de que a luz encontra menos resistência ao deslocamento durante o seu percurso.

Nesse caso, diz-se que a atenuação é menor, e, por esse motivo, sinais luminosos podem alcançar distâncias maiores sofrendo perdas menores.

As fibras garantem maior sigilo e proteção contra "grampeamentos" que redes que as que utilizam meios de transmissão convencionais, como por exemplo, cabos coaxiais. Isso é decorrente do fato de que a luz que passa por uma fibra é precisamente ajustada e, a inserção de qualquer dispositivo não-autorizado na rede, causará então uma falha total na mesma [NUNES 2001-A].

2.3.3.2 Como funciona a fibra

A Lei de Snell indica que a refração não pode tomar lugar quando o ângulo de incidência é muito grande (Figura 2.2(a)). Se ele exceder um valor crítico que denominamos de ângulo crítico (Figura 2.2(b)), em que o seno do ângulo de refração se igualaria a ele, a luz não pode caminhar no vidro. O fenômeno de reflexão interna total (Figura 2.2(c)), que sustenta e mantém a luz confinada na fibra óptica, é explicada da seguinte forma: a reflexão interna deve ser proporcionada com toda a energia, fazendo com que os raios de luz saltem para o interior da fibra, obedecendo à Lei de Snell[ZILIO2001].

Ao se analisar a condução da luz, deve-se abalizar o núcleo que está na parte interior da fibra, onde a luz é guiada, e a cobertura que está em torno da fibra. Devem-se levar em consideração estes fatores porque o índice refrativo do núcleo (n_1) é mais alto que o da cobertura (n_2), fazendo que a luz vá até a borda com a cobertura, criando um ângulo e mantendo a luz confinada no núcleo pela reflexão interna total. Na prática, esta diferença não é muito grande, cerca de 1%. O cálculo é simples: se $n_2 / n_1 = 0,99$ o valor do ângulo é de cerca

de 82°. Isto faz com que a luz seja confinada no núcleo se o ângulo do raio com a cobertura for de 8° ou menos.

Figura 2.2: Lei de Snell da Refração [zilio2001]

Continuando os fatores primordiais num sistema de fibra óptica, aparecem também a Abertura Numérica⁵ e o ângulo de aceitação⁶. Os ângulos sobre uma fibra óptica possuem limites de aceitação, mas a óptica pode produzir limitado raio de luz.

Um sistema de transmissão ótica é constituído de três componentes: a fonte de luz, o meio de transmissão e o receptor/detector. A fonte de energia luminosa pode ser um laser ou um LED (*Light Emitting Diode*), ou seja, dispositivos que tenham a capacidade de emitir luz. O meio de transmissão é uma fibra ultrafina de vidro ou de sílica fundida, onde o feixe luminoso

⁵ AN(Abertura Numérica)= $\text{SQR}(n_1^2 - n_2^2)$ (é um número que define a capacidade de captação luminosa da fibra óptica)

⁶ Ângulo de Aceitação, de uma Fibra Óptica é o ângulo máximo (ângulo critico) de aceitação do raio de luz, e como a Fibra óptica tem um formato de um cilindro, temos esse ângulo, nos 360°, formando um cone de aceitação. Dentro deste Cone, todos os Raios de Luz terão condições de se propagar pela Fibra Óptica.

se propaga. O detector é um fotodiodo, que é capaz, juntamente com o circuito eletrônico, de gerar um pulso elétrico quando iluminado por um feixe de luz [NUNES 2001-B].

Nesse sistema, a informação que é transmitida pode ser um sinal de voz proveniente de um telefone, sinais de vídeo ou dados digitais de um computador.

Tanto os sinais de telefonia quanto os de vídeo são codificados numa sequência binária de zeros e uns, e são multiplexados para transmissão num único pacote de taxa de dados elevada. Se a taxa de dados do sistema for de 1Gb/s, podem ser multiplexados aproximadamente 15.000 canais de telefonia (que requerem 64Kb/s), por exemplo. Isso é obtido fazendo-se com que no transmissor, cada bit 1 corresponda a um pulso elétrico, e cada bit 0 corresponda à ausência dele. Esses pulsos são usados para ligar e desligar sucessivamente a fonte de luz. Temos então que, no transmissor, as informações são codificadas sob a forma de pulsos elétricos, que são convertidos em sucessivos flashes de luz, que por sua vez são convertidos novamente em sinais elétricos no receptor.

Basicamente, existem três tipos de fibra ótica: multimodo de índices degrau e gradual e monomodo índice degrau (Figura 2.3 na ordem).

Figura 2.3: Extraído de “Fundamentals of Physics”,

Halliday, Resnick e Walker

A seguir uma breve explicação sobre cada um dos tipos de fibra óptica.

2.3.3.2.1 Multímodo índice degrau

A fibra desse tipo possui um núcleo composto de um material de índice de refração constante e superior ao da sua casca. Aqui, a luz pode viajar por diversos caminhos diferentes.

Diversos raios (todos viajando a mesma velocidade) percorrem o núcleo da fibra, sendo que o raio que viaja no centro dela percorre uma distância menor que os outros que vão se chocando com as paredes internas do cabo ao longo do caminho.

Como resultado, o pulso estreito que fora inicialmente transmitido é consideravelmente alargado após viajar muitos quilômetros no interior da fibra, sendo esse o efeito que condiciona o espaçamento entre os pulsos na entrada, para que eles não se sobreponham na saída.

2.3.3.2.2 Multimodo índice gradual

Observando a Figura 2.3, nota-se que esse tipo de fibra possui o seu núcleo com índice de refração variável, sendo ele crescente da periferia para o centro. Essa variação gradual do índice de refração permite que haja uma redução no alargamento do pulso óptico. Como no modelo descrito anteriormente, aqui a luz também percorre diversos caminhos diferentes, são menos angulosos, uma vez que a luz é suavemente curvada ao longo da sua trajetória. Esse fato serve para diminuir ainda mais o alargamento do pulso ótico, uma vez que os raios passam a maior parte do tempo viajando por um caminho de índice de refração menor.

2.3.3.2.3 Monomodo índice degrau

Esse tipo de fibra possui um núcleo e uma blindagem de diâmetros reduzidos, além de a diferença entre seus índices de refração também ser bem pequena, possibilitando que a luz se propague em linha reta ao longo do cabo. Portanto, não há raios que percorram caminhos diferentes ao longo da trajetória. Esse fato acaba por eliminar completamente o alargamento do feixe, uma vez que os raios luminosos não chegam defasados entre si.

Basicamente, há dois fatores que influenciam na distância máxima que uma fibra pode transmitir informação: o alargamento do pulso (*broadening*) e a atenuação.

Quanto maior for o alargamento do pulso transmitido, maior é a chance dos dados chegarem corrompidos ao seu destino, uma vez que o pulso recebido tende a possuir uma similaridade menor com o pulso inicialmente enviado.

A atenuação está relacionada com a potência luminosa que é transmitida e que é recebida. Ao longo do caminho, a luz sofre perdas devido ao espalhamento e absorção dos raios luminosos. A absorção corresponde à parcela de energia luminosa que é transferida para o capilar de sílica. O espalhamento é causado pela deflexão de raios luminosos em várias direções, assim, uma parte da luz enviada pelo LED ou laser é perdida para fora do núcleo, diminuindo a intensidade do sinal que é recebido.

Dos três tipos de fibra apresentados, a que apresenta maior taxa de transmissão é a fibra monomodo. Isso ocorre em virtude de ela proporcionar o recebimento de um pulso com alargamento mínimo no receptor, além de também apresentar uma perda menor. Por esse motivo, essa fibra possui um alcance maior do que as outras duas. Valores médios de

comprimento admissível são de 2km e de 20km para fibras multimodos e monomodo, respectivamente.

2.3.3.3 Conectores para fibras óticas

O conector é um dispositivo mecânico utilizado para unir uma fibra a um transmissor/receptor (*transmitter receiver*) ou até mesmo a outra fibra. Existem diversos tipos de conectores: ST, STII, FC, SC, FDDI, ESCON, e SMA. Entre eles, os mais comuns são o ST, FC e SC.

Os conectores também são responsáveis por perdas na energia luminosa, tanto no envio como na recepção dos sinais, e por esse motivo são contabilizados no cálculo da energia total perdida ao longo da transmissão.

SC

ST

Figura 2.4: Tipos de conectores de Fibra ótica

Na Figura 2.4, são mostrados dois dos principais tipos de conectores, em particular, aqueles usados no IFSC.

2.4 Camadas 2 e 3 – Protocolos

Esta seção enfoca as tecnologias ATM e ethernet, pois é essa tecnologia utilizada no IFSC.

2.4.1 Conceitos Gerais ATM

No final dos anos 50 se pensava na integração das tecnologias de comutação e de transmissão, sendo o conceito formalizado em junho de 1971 numa reunião da equipe de trabalho 2 do grupo de estudo XI do CCITT, que definiu o termo Rede Digital de Serviços Integrados (RDSI – *Integrated Services Digital Network* (ISDN)) [ONVURAL1997] [MCDYSAN2001].

A idéia da RDSI era a de dotar o usuário de uma “tomada de informações”, contendo uma interface comum para a transferência de dados dos mais variados tipos e com possibilidade para acomodar novos serviços, sem a necessidade de criar-se uma rede dedicada para os mesmos.

A evolução da RDSI levou ao surgimento da chamada RDSI-FL (Rede Digital de Serviços Integrados Faixa Larga) tendo, como característica principal, o uso do conceito de comutação rápida de pacotes, denominado Modo de Transferência Assíncrono (ATM), garantindo um uso mais eficiente da banda passante e menor complexidade no processamento da comutação.

A partir de 1990, os primeiros protótipos de comutadores ATM começaram a surgir, enfocando principalmente o uso de malhas de interconexão como elemento básico de comutação, estratégias de interligação dos elementos de comutação para a construção de grandes malhas (escalabilidade) e gerenciamento simples de filas. As propostas de comutadores ATM, apresentadas na exibição da Telecom em 1991 em Geneva, Suíça e no ISS'92

(International Switching Symposium - 1992) em Yokohama, Japão, tinham essas características.

Nos últimos 14 anos, a crescente convergência entre as tecnologias de comunicação e computação influenciou decisivamente para o surgimento de novos serviços, afetando substancialmente os requisitos da nova geração de comutadores ATM que, agora, além de manter altas vazões e serem escaláveis, necessitam agregar novas características como: controle de fluxo das conexões, controle de congestionamento, estratégias de agendamento de prioridade de células, etc.

Apesar dos esforços de órgãos como o ITU-T e Fórum ATM, a padronização básica de ATM, ainda hoje, não é suficiente para garantir uniformidade mínima de implementação, deixando ao projetista uma boa margem de criatividade para atender funcionalidades internas de seu comutador. A indústria de Comutadores ATM enfoca soluções voltadas para atender as necessidades de grandes empresas e provedores de serviços, notadamente no que diz respeito a escalabilidade, velocidade e interoperacionalidade [MCDYSAN2001].

2.4.1.1 Célula

De acordo com o modelo de referência *Open Systems Interconnection* – OSI para interconexão de sistemas abertos de redes, na camada de rede (camada 3) as Unidades de Informação (UI) são chamadas “pacotes” (*packets*) e na camada de enlace (camada 2) de “quadros” (*frames*). Como exemplos podem ser citados quadros *Ethernet*, *Token Ring* e *Frame Relay* e pacotes IP e IPX.

Normalmente existe uma relação 1:1 entre eles, ou seja, um pacote IP normalmente é transportado por um quadro Ethernet, por exemplo.

De uma maneira geral, as UI que circulam pelas redes possuem duas características básicas:

- I. Tamanho variável para adaptar eficientemente a quantidade de dados a serem transmitidos;
- II. Tamanho máximo muito grande, tipicamente maior que 1k.

A principal dificuldade em tratar pacotes e quadros está no fato do tamanho ser variável. A idéia de trabalhar com UI de tamanhos fixos (chamados de “células”) é atraente, pois os equipamentos usados para juntar ou compartilhar fluxos de informação, chamados multiplexadores, possuem uma eletrônica capaz de manipular células com facilidade e rapidez.

Sendo assim, a questão de definir o tamanho desta célula, e este foi um dos principais temas de discussão em meados dos anos 80, particularmente pela *International Telegraph and Telephone Consultative Committee* – CCITT.

Cada célula deve conter duas partes: um cabeçalho (*cell header*) que caracterize a origem, o destino e demais parâmetros relevantes (este assunto será abordado ainda neste item) e uma segunda parte contendo o dado propriamente dito (*payload*). Para o usuário da rede este cabeçalho pode ser considerado um *overhead* e deve ser minimizado. Pensando em quadros Ethernet, foi sugerido um tamanho de 1500 bytes para *payload*. Células deste tamanho levariam cerca de 12ms para percorrer uma rede de 1Mb/s. Para dados, isto não seria problema, porém se a informação fosse áudio inviabilizaria sua compreensão pelo usuário destino.

A idéia básica seriam células de tamanho reduzido, que dentre outras vantagens, evitaria o típico eco encontrado em transmissões de telefonia. Foram sugeridos dois tamanhos: os

europeus propuseram 4+32 bytes enquanto os americanos 5+64 bytes de *header* e *payload*, respectivamente.

Curiosamente, e sem uma explicação tecnicamente razoável, foi escolhido um tamanho intermediário: 5+48 bytes, o que conduz à famosa célula de 53 bytes, número primo e sem nenhuma relação com a estrutura de registros das CPUs, que foi definida em 1988.

Após esta breve história, podemos concluir que uma característica do ATM é o uso de células de comprimento fixo ao invés de pacotes de tamanho variável utilizado pela tecnologia Ethernet. A célula ATM Figura 2.5(a) é composta de 53 bytes, sendo 5 destinados ao cabeçalho (*header*) e 48 aos dados (*payload*). Em mensagens longas, várias células são enviadas e quando os dados forem menores que 48, em geral na última célula, o restante é preenchido com caracteres espúrios.

A principal vantagem da utilização de células de tamanho fixo está na maior facilidade de tratamento dado por hardwares baseados em chaveamento (*switches*), quando comparado a quadros de tamanhos variáveis. A desvantagem está na maior quantidade de cabeçalhos acarretando um enorme *overhead* no meio de transmissão chamado de “*cell tax*”. Em conexões de alta velocidade isto é pouco relevante, ao contrário de circuitos mais lentos como 56-64kb/s ou DS-1 e E1.

O Figura 2.5 (b) identifica a estrutura da célula ATM para uma interface UNI que foi adotada pela interface PNNI (ambas as interfaces serão abordadas posteriormente). A primeira parte, *Generic Flow Control*—GFC usada desde 1996 para rede *Wireless ATM* -B-ISDN(*Broadband Integrated Services Digital Network*).

Originalmente este campo foi designado para controlar o tráfego, no sentido de limitar fluxo de dados durante períodos de congestionamento. No caso PNNI, este campo não existe e

Figura 2.5: Pacote ATM

os 4 bits são acrescentados ao campo VPI. Os próximos campos *Virtual Path Identifier*–VPI (8 bits) e *Virtual Channel Identifier*–VCI (16 bits) representam o endereço local de uma dada conexão, o que significa dizer que este endereço muda conforme o tráfego da célula na rede (na próxima seção será abordado este assunto). No caso UNI/PNNI, são 24/28 bits, o que se conclui que há mais de 16/268 milhões de sessões, respectivamente. O próximo campo, *Payload Type Indicator*–PTI possui 3 bits. O primeiro deles indica se a célula é de usuário (0) e, portanto, deve prosseguir seu caminho destino, ou se a célula é de controle (1) terminando seu movimento no *switch*. O segundo bit chamado *Congestion Indicator* (CI) é utilizado em um mecanismo de controle EFCI. O terceiro e último bit é utilizado em esquemas de controle de congestionamento tal como *Packet Level Discard* (PLD) utilizado em sistemas de Qualidade de Serviço assim como o próximo bit *Cell Loss Priority* (CLP).

O último campo do cabeçalho, *Header Error Check* (HEC) é um mecanismo padrão de verificação de erro. Os 48 bytes restantes, *payload*, carregam a informação e são completamente livres de formatação.

2.4.1.2 Endereçamento

O esquema definido pelo ATM Fórum para endereçamento de *endpoints switches* (**Switches de borda**) em uma rede ATM particular foi modelado depois de definido pela OSI *Network Service Access Point* – NSAP e especificado em ISO-8348 (CCITT X.213).

Existem três formatos de endereçamento ATM:

1. DCC (*Data Country code*);
2. E.164 (*Specific Integrated Service Digital Network Number*);
3. ICD (*International Code Designator*).cujo primeiro byte é 39, 45 e 47, respectivamente.

Estes formatos são constituídos de 20 bytes que são divididos em duas seções: Prefixo de Rede com 13 bytes e *End System Part* – ESI com 7 bytes, Figura 2.6 apresentamos um esquema destes 20 bytes relativos ao terceiro formato, ICD, que é utilizado na configuração dos equipamentos dos projetos REMAV.

O endereço ATM só é usado durante uma requisição *Switched Virtual Channel Call Setup* que basicamente é o processo que estabelece uma conexão (*Virtual Channel Connection* – VCC). Uma vez estabelecida a conexão, um par VPI/VCI será atribuído a ela e este par estará presente no cabeçalho de cada célula que tráfegará na conexão e não mais será utilizado o endereço de 20 bytes.

Figura 2.6 - Endereçamento ATM

É importante destacar que os endereços ATM são utilizados somente na fase de definição dos Circuitos Virtuais e não mais representados nas células, que passam a ser roteadas através dos VPIs e VCI, que abordaremos em seguida.

2.4.1.3 Circuitos Virtuais

A palavra circuito é utilizada em eletrônica para representar caminhos contínuos por onde circulam diferentes correntes elétricas entre os diversos componentes. Circuitos Virtuais (*Virtual Circuits* – VC) no contexto de redes significa caminhos contínuos onde circulam os diversos fluxos de dados. Quando um destes fluxos existe em um VC, uma conexão está em andamento. Em redes do tipo Ethernet e Token Ring este conceito não é utilizado apesar de apresentar as seguintes vantagens:

- ✓ As características do VC são definidas antes do seu estabelecimento;
- ✓ Pode ser atribuído ao VC uma largura de banda fixa ou pelo menos um mínimo;

- ✓ A utilização de VCs para fluxo de dados otimiza a utilização de *buffers*.
- ✓ VCs simplificam o processo de construção de *switches* rápidos. VCs são criados para conexão entre *switches* e assim as células do fluxo entre eles são identificadas por números.

O processo de chaveamento realizado pelo equipamento fica assim facilitado se baseado nestes números que caracterizam cada VC. O conceito de VC é uma das principais diferenças entre as tecnologias ATM e Ethernet.

Os VCs podem ser definidos dinamicamente, *Switched Virtual Circuits* – SVCs, ou definidos pelo administrador de rede e conectados todo o tempo, *Permanent Virtual Circuits* – PVCs.

Uma rede ATM é fundamentalmente orientada à conexão. Isto significa que uma conexão virtual necessariamente deve ser estabelecida através da rede ATM antes de qualquer transferência de dados. A tecnologia ATM oferece dois tipos de conexão de transporte que se completam: *Virtual Path* – VP e *Virtual Channels* – VC (como representado na Figura 2.7). Um VC é um acesso unidirecional feito da concatenação de uma sequência de elementos de conexão. Um VP consiste de um grupo destes canais. Sendo assim, para cada VP existem vários VCs.

Cada VP e VC possui um identificador associado, VPI e VCI, respectivamente. Cada conexão virtual em um único caminho (VP) possui distintos VCIs, porém o mesmo VCI pode vir a ser usado em um outro VP.

Como visto anteriormente, cada célula ATM possui no cabeçalho um campo para VPI (8 bits) e outro para VCI (16 bits). Este endereçamento identifica de forma única uma conexão virtual em uma interface física, ou seja, é uma ligação individual em um caminho de

transmissão específico e só tem significado local em um *switch*. Em outras palavras, cada cabeçalho de célula possui campos VPI e VCI que explicitamente associam a célula com um canal virtual em uma conexão física.

Figura 2.7: Canais Virtuais

Na Figura 2.7, a parte inferior mostra o chaveamento apenas de VPs, mantendo os mesmos VCs. Já na parte superior, observa-se o chaveamento de VPs e VCs quando for desejável para manutenção dos parâmetros de QoS.

Sendo didático, podemos fazer um paralelo entre o fluxo de informação em uma rede ATM e o fluxo de veículos entre cidades.

Considere a célula sendo um veículo, as estradas seriam os VPs e as pistas, diferenciadas pela velocidade, os VCs. Para um carro ir da cidade A para C, pode ir direto, através de VP1 na pista VC5 que garante alta velocidade. Um ônibus poderá usar a mesma estrada, VP1, porém uma pista mais lenta, VC3, por exemplo. Pode haver a possibilidade de passar pela cidade B.

Neste caso teria que usar uma outra estrada, VP2, e uma pista VC3, agora rápida, se for um carro ou VC5, agora lenta, se for um ônibus. Repare que o mesmo VCI foi usado para representar pista lenta e rápida, porém em estradas, VPs, diferentes. Da cidade B até C, outra estrada, VP, seria usada e assim outras pistas, VCs, poderiam ser utilizadas ou não.

2.4.1.4 Camadas ATM

O modelo *Open Systems Interconnection* – OSI é muito usado para modelar a maioria dos sistemas de comunicação. A tecnologia ATM também é modelada com a mesma arquitetura hierárquica, entretanto somente as camadas mais baixas são utilizadas. Assim como no modelo OSI/ISO, a tecnologia ATM também é estruturada em camadas, que substituem algumas ou uma parte das camadas da pilha original de protocolos. Esta estruturação do sistema ATM é dividida em 3 camadas.

A primeira delas é a Camada Física que consiste no transporte físico usado para transferência de células de um nó para outro. Esta camada é muito flexível no sentido de que pode trabalhar com várias categorias de transporte físico.

A próxima é a Camada ATM que viabiliza o chaveamento e roteamento das células ATM de acordo com os campos VCI e VPI do cabeçalho, descritos anteriormente.

A última é a Camada de Adaptação ATM. Esta camada cuida dos diferentes tipos de tráfego. Existem diferentes tipos de Camada de Adaptação para diferentes tipos de tráfego devido às diferentes características de transmissão de um tráfego específico.

Na Figura 2.8 estão relacionadas as camadas do modelo OSI e ATM, assim como as subcamadas do modelo ATM. Especificamente neste caso, as camadas ATM substituem a camada Física e uma parte da camada de Enlace de Dados (*Data Link*). Dessa forma, os serviços oferecidos à camada de rede são os mesmos, só que com uma velocidade maior. Observa-se que a camada três está em contato direto com a subcamada MAC, ou seja: a infra-

No começo dos anos 90, a tecnologia ATM passou por uma fase de desenvolvimento muito intensa o que levou ao IETF a definir as operações de IP sobre ATM. O Fórum ATM também iniciou seus trabalhos de definição de operações de diferentes protocolos de camada 2 e 3 sobre ATM. Estes trabalhos são abordados a seguir .

2.4.1.5.1 Classical IP - CIP

O ambiente CIP foi desenvolvido para permitir que usuários IP pudessem migrar para o uso de ATM como uma tecnologia de transporte, mantendo a utilização de aplicações herdadas de sistemas IP. *Classical IP*, definido na RFC1577, é uma tecnologia que permite roteamento camada 3) de datagramas IP sobre redes ATM.

Redes ATM são divididas em *Logical IP Subnets* – LIS que se comunicam entre si através de roteadores. Como não existe a capacidade nativa de *broadcast* em ATM, o tradicional protocolo *Address Resolution Protocol* – ARP é substituído pelo protocolo ATMARP baseado na técnica cliente/servidor. Assim sendo, a estação do usuário deve se registrar em um servidor ARP e assim fazer parte de uma *Virtual LAN* - VLAN, que neste caso se chama LIS.

2.4.1.5.2 LAN Emulation - LANE

O serviço *Lan Emulation*, definido pelo ATM Forum, é um serviço para redes ATM, que emula os serviços existentes em redes Ethernet/802.3 e Token Ring/802.5. O uso de LANE permite que aplicações de LAN possam se comunicar sobre redes ATM como se estivessem em redes tradicionais com estações que usam interfaces baseadas no endereço MAC. Dentre os possíveis serviços, podemos citar a transferência de dados *multicast*. O serviço LANE atua na camada MAC e pode ser usada com qualquer protocolo de camada 3, enquanto que o serviço CIP sobre ATM somente atua com o protocolo IP.

Um sistema *Emulated LAN* – ELAN consiste de um grupo de clientes LANE que residem nas extremidades de uma rede ATM e um único serviço LANE. Este serviço possui vários componentes que cuidam, por exemplo, da resolução de endereços, configuração e *broadcast*. Estas componentes normalmente residem nos *switches* ATM e podem ser centralizados ou distribuídos.

Uma ELAN é similar a um segmento de LAN e pode se comunicar com outros segmentos através de uma *bridge* ou roteador. Para o transporte do controle do sistema LANE e pacotes de dados sobre ATM, é usado um encapsulamento LANE de 2 bytes. A especificação LANE 2.0, também permite encapsulamento LLC/SNAP. Os pacotes LANE são mapeados diretamente em células ATM, usando AAL5 e são transportadas em SVCs.

O sistema LANE basicamente é composto por quatro principais componentes:

- ✓ *LAN Emulation Server* – LES: sua principal função é dar suporte ao *LAN Emulation Address Resolution Protocol* – LE-ARP necessário para que o cliente fonte determine o endereço ATM do cliente alvo responsável por um endereço MAC. Normalmente localizado em um *Switch* ATM.
- ✓ *LAN Emulation Clients* – LEC: normalmente localizado em estações ATM (*ATM End Systems*).
- ✓ *Broadcast Unknown Server* – BUS: sua tarefa é encaminhar todo tráfego *multicast* para os clientes conectados.
- ✓ *LAN Emulation Configuration Server* – LECS: utilizado para maior facilidade de configuração dos diversos LES que eventualmente existem em uma rede ATM, dentre outras funções.

2.4.2 Conceitos Gerais Ethernet

2.4.2.1 Ethernet

A Ethernet é um padrão de camada física e camada de enlace, opera a 10 Mbps, com quadros que possuem tamanho entre 64 e 1518 bytes. O endereçamento é feito através de uma numeração que é única para cada host com 6 bytes sendo os primeiros 3 bytes para a identificação do fabricante e os 3 bytes seguintes para o número seqüencial da placa. Esta numeração é conhecida como endereço **MAC** – Media Access Control.

A subcamada MAC, pertencente a camada 2 da pilha de protocolos OSI, controla a transmissão, a recepção e atua diretamente com o meio físico, conseqüentemente cada tipo de meio físico requer características diferentes da camada MAC.

As características da camada de MAC:

- ✓ Modo de transmissão *half-duplex*, evoluindo para *full-duplex*
- ✓ Encapsulamento dos dados das camadas superiores
- ✓ Desencapsulamento dos dados para as camadas superiores
- ✓ Transmissão dos quadros
- ✓ Recepção dos quadros.

2.4.2.1.1 Regras de Controle de Acesso ao Meio

O modo de transmissão em *half-duplex* requer que apenas uma estação transmita enquanto que todas as outras aguardam em “silêncio” esta é uma característica básica de um meio físico compartilhado. O controle deste processo fica a cargo do método de acesso *Carrier*

Sense Multiple Access with Collision Detection - **CSMA/CD** qualquer estação pode transmitir quando “percebe” o meio livre. Pode ocorrer que duas ou mais estações tentem transmitir simultaneamente; nesse caso, ocorre uma colisão e os pacotes são corrompidos. Quando a colisão é detectada, a estação tenta retransmitir o pacote após um intervalo de tempo aleatório. Isto implica que o CSMA/CD pode estar em três estados transmitindo, disputando ou inativo.

2.4.2.1.2 Quadro Ethernet

Figura 2.9: Quadro ethernet

O quadro ethernet (Figura 2.9) é dividido em campos. Os principais campos podem ser descritos da seguinte maneira:

- ✓ *Destination Address*: contem o endereço MAC do destinatário
- ✓ *Source Address*: contem o endereço MAC do remetente
- ✓ *Type/Length*: indica o tamanho em Bytes do campo de dados
- ✓ *Data*: contem os dados que deverão ser passados à próxima camada, deve ter tamanho mínimo de 46 bytes e máximo de 1500 bytes
- ✓ *FCS – Frame Check Sequence*: contem o *Cyclic Redundancy Check* (CRC)

2.4.2.2 *Fast Ethernet*

O padrão *fast ethernet* manteve do padrão *ethernet* o endereçamento, o formato do pacote, o tamanho e o mecanismo de detecção de erro. As mudanças mais significativas em relação ao padrão *Ethernet* são o aumento de velocidade que foi para 100 Mbps e o modo de transmissão que pode ser *half-duplex* ou *full-duplex*.

Com modo de operação *half-duplex* não aconteceram mudanças no método de acesso – CSMA/CD. Porém no modo *full-duplex* aconteceram as seguintes mudanças:

- ✓ Criação dos *pause frames*, são pacotes que a máquina que está recebendo a informação envia a fonte para avisá-la que deve pausar a transmissão durante um período de tempo
- ✓ Não existe mais diferenciação entre estar transmitindo e estar recebendo
- ✓ Não é mais necessário “perceber” o silêncio da linha, a transmissão se faz quando o receptor se diz apto
- ✓ Aumento da banda (200 Mbps).

2.4.2.3 **Gigabit Ethernet**

Este novo padrão agregou valor não só ao tráfego de dados como também ao de voz e vídeo. O gigabit ethernet foi desenvolvido para suportar o quadro padrão ethernet, isto significa manter a compatibilidade com a base instalada de dispositivos ethernet e fast ethernet e não

requerer tradução do quadro. Possui taxa de transmissão de 1Gbps e, na sua essência, segue o padrão ethernet com detecção de colisão, regras de repetidores, aceita modo de transmissão *half-duplex* e *full-duplex*. Algumas mudanças foram necessárias para obter o suporte ao modo *half-duplex*.

O órgão que comanda as pesquisas e a padronização é o “10 Gigabit Ethernet Alliance”.

O padrão 10 gigabit ethernet, na sua essência, segue o padrão gigabit ethernet, porém seu modo de transmissão é, única e exclusivamente, *full-duplex* e o meio físico é a fibra ótica – multimodo ou monomodo. Em virtude do aumento da distância abrangida pela fibra ótica (40 km), o 10 gigabit ethernet já está sendo utilizado em rede metropolitana. A sua limitação de meio físico, por enquanto somente a fibra ótica, só permite ligações ponto-a-ponto.

2.4.2.3.1 Transmissão em *Half-Duplex*

O controle da transmissão em modo *half-duplex* é realizado pelo CSMA/CD, com a finalidade de tornar possível a comunicação e a recuperação devido a colisões. Os princípios do CSMA/CD utilizados no ethernet e no fast ethernet são os mesmos dos utilizados no gigabit ethernet, isto é permitiriam a utilização do gigabit em redes que utilizassem *hubs*.

O fato do CSMA/CD utilizar o tempo de espera, torna necessária a criação de um quadro mínimo para o domínio de colisão. Um domínio de colisão é determinado pelo tempo de transmissão do menor quadro válido. Esta transmissão determinará o valor máximo entre duas estações terminais em um segmento compartilhado. O crescimento da taxa de transmissão leva ao decréscimo do tempo de transmissão de um quadro, assim como diminui o diâmetro máximo de colisão. O tamanho do menor quadro para um domínio de colisão é determinado

pelo atraso máximo dos vários dispositivos da rede, como repetidores, pela camada MAC das estações e pelo meio físico em si.

2.4.2.3.2 Transmissão em *Full-Duplex*

Sua utilização no gigabit ethernet aumenta a banda de 1 Gbps para 2 Gbps, aumenta as possíveis distâncias para meio e elimina a colisão. O controle não será mais feito pelo CSMA/CD e sim pelo *Flow Control*. O mecanismo *flow control* deve ser utilizado em enlaces ponto-a-ponto. Quando a estação receptora se torna congestionada, ela envia de volta um quadro chamado *pause frame*, estes quadros contem instruções para que seja parado o envio de informações durante um intervalo de tempo específico. A estação que estava enviando aguarda o tempo requisitado e então re-inicia a transmissão, ou a estação receptora envia um outro pacote com *time-to-wait* igual a zero e instruções para recomeçar o envio de informações.

3 Capítulo – Características de equipamentos e ferramentas utilizados

Este capítulo apresenta as ferramentas utilizadas nesta pesquisa. Mais especificamente o Ping, do protocolo ICMP, com o qual foram feitas as aquisições de tempos.

3.1 Descrição de equipamentos

Equipamentos utilizados no IFSC na rede *Ethernet* e ATM, utilizavam cabo coaxial, cabos UTP classe 5 e 6, fibras ópticas monomodo e multimodo. As seções a seguir apresentam informações sobre cada um dos equipamentos usados.

3.1.1 Hub

O hub é um dispositivo que tem a função de interligar os computadores de uma rede local. Sua forma de trabalho é a mais simples se comparado ao *switch* e ao roteador: o *hub* recebe dados vindos de um computador e os transmite às outras máquinas (praticamente a camada 1 do modelo OSI, interliga as máquinas uma nas outras num só segmento, podendo ou não haver colisões). No momento em que isso ocorre, nenhum outro computador consegue enviar sinal. Sua liberação acontece após o sinal anterior ter sido completamente distribuída. Em um hub é possível ter várias portas, ou seja, entradas para conectar o cabo de rede de cada

computador. Geralmente, há aparelhos com 8, 16, 24 e 32 portas. A quantidade varia de acordo com o modelo e o fabricante do equipamento. Caso o cabo de uma máquina seja desconectado ou apresente algum defeito, a rede não deixa de funcionar.

Hubs são adequados para redes pequenas e/ou domésticas. Havendo poucos computadores é muito pouco provável que surja algum problema de desempenho.

3.1.2 Switches

Os switches são usados para conectar segmentos físicos de uma rede e permitir que os dados se movimentem entre esses segmentos. Eles operam na camada 2 do modelo OSI e direcionam o tráfego de acordo com o endereço MAC da camada 2.

Os switches são configurados automaticamente. Eles ouvem o tráfego de cada porta Ethernet e descobre a qual porta cada dispositivo está conectada. O switch, então, envia o tráfego diretamente para a porta de destino. A menos que os recursos adicionais precisem ser ativados, o switch não requer nenhuma configuração, o que é uma grande vantagem durante a instalação da rede. O processo de comutação é realizado no hardware, na velocidade da conexão, praticamente sem nenhuma latência.

Originalmente, os switches conectavam segmentos a vários dispositivos, mas, como seu preço caiu, tornou-se normal conectar um único dispositivo a cada porta. Isso é conhecido como Ethernet "comutada", e não "compartilhada". Com apenas um dispositivo ativo por porta, não pode haver colisões, portanto, o desempenho da rede é melhor e os dispositivos podem operar em *full duplex* transmitindo os dados bidirecionalmente simultaneamente para atingir uma taxa de transferência mais alta.

O tráfego de rede inclui mensagens de difusão (*broadcast*), e elas devem ser copiadas para cada porta, com um impacto considerável em uma rede grande. Como a maioria dos usuários quer comunicar-se com um grupo limitado de servidores e associados, qualquer tráfego de difusão poderia ser enviado apenas dentro desse grupo. Um método para reduzir o tráfego de difusão é disponibilizar um switch para cada grupo e depois conectá-los a um roteador, pois o roteador não transmite difusões. Outro método é usar VLANs no switch. A VLAN é um grupo de dispositivos configurados para se comunicarem como se estivessem conectados ao mesmo cabo, quando na verdade estão em vários segmentos físicos diferentes da rede local. Uma difusão proveniente de um membro da VLAN chegará somente a outros membros dessa mesma VLAN, reduzindo assim o alcance do tráfego de difusão.

3.1.3 Roteadores

Os roteadores operam na camada 3 do modelo OSI. Eles transmitem o tráfego entre duas redes IP diferentes que podem ser redes locais ou remotas. O processo de roteamento baseia-se na análise do endereço IP de destino dos dados de entrada e no envio dos dados por meio de uma porta de saída, de acordo com uma tabela de roteamento. As tabelas de roteamento podem ser configuradas manualmente ou descobertas com o uso de protocolos de roteamento, no entanto, diferentemente dos switches, os roteadores sempre precisarão de alguma configuração.

Grandes switches também podem incluir um roteador, geralmente em uma placa suplementar. Normalmente, é descrito como comutação de camada 3, mas sua funcionalidade é igual ao roteamento.

3.2 Os equipamentos utilizados no IFSC

Na seção 4.2 serão apresentadas as topologia da rede do IFSC durante o período de tempo que foram obtidas as informações usadas neste trabalho. Nesta seção serão especificados apenas os equipamentos existentes. São eles:

- 1- Intel *Express 510T – Switch fast Ethernet 10/100*, com 24 portas, com *uplink ATM* (possibilidade para 2 módulos) com modulo gerenciável(155MM *ATM module for 500 series Switches*) em SNMP
- 2- Intel *Express 410T – Switch fast ethernet 10/100*, com 24 portas,
- 3- NSX 9500 – Roteador modular ATM produzida pela empresa Marconi (antiga *Fore Systems*), com 4 interfaces Ethernet 10/100, e 4 interfaces ATM 155.
- 4- ASX 1000 e ASX 1001– *Switch* modular ATM produzida pela empresa Marconi (antiga *Fore Systems*), com dois módulos gerenciadores, 3 módulos de 4 portas ATM155 em fibra multimodo, uma com 2 portas ATM622, e dois módulos de 4 portas ATM 155 em cobre.
- 5- ASX 1002 – *Switch* modular ATM produzida pela empresa Marconi (antiga *Fore Systems*), com módulo gerenciador, 3 módulos de 4 portas ATM155 em fibra multimodo, uma com 2 portas ATM622, e dois módulos de 4 portas ATM 155 em cobre.

3.3 Ferramentas de Software para medidas de Análise de Tráfego de Rede

3.3.1 Parâmetros de desempenho da rede

Velocidade, ou taxa de transferência(*Throughput*) é a quantidade de dados que é possível transmitir em um dado intervalo de tempo é um dos parâmetros mais relevantes na caracterização de uma rede de dados.

Latência, tempo que um pacote perde para ir da origem até o destino.

Jitter, É a variação de velocidade ou da latência que observamos durante a transferência de dados.

Informalmente, a definição mais difundida de desempenho da rede está diretamente relacionada à sua velocidade. Ou seja, uma rede é tão rápida quanto menor for o tempo gasto para que se efetue uma transação particular, ou quão rápida conseguir fazer um *download* de um determinado arquivo. A medida do tempo gasto por uma consulta, *download* ou transação, certamente nos indica a velocidade da rede , o que é uma boa forma de se ter uma referência, se a rede for único limitante dessa transferência. Porém a velocidade não é tudo.

De nada adianta ter uma rede extremamente veloz se a mesma suporta apenas uma transação ou *download* por vez. A habilidade da rede em suportar múltiplas transações simultâneas, e que incluem grandes volumes de dados, deve ser levada em conta quando se mede a carga e o desempenho da rede. Mas isso ainda não é tudo. Quando é utilizada por aplicações de tempo real (*real-time*), como voz e vídeo, sobre uma rede de dados, é necessário

que ela trabalhe com um baixo atraso (*delay*) fim-a-fim, e também tenha pouca variação na sua latência (*jitter*), que são parâmetros que afetam a qualidade e o desempenho desses serviços. Adicionalmente, medições de desempenho devem também incluir a taxa de pacotes descartados, a quantidade de pacotes enviados, a taxa de perda, o modo como os pacotes são reordenados e como é tratado o enfileiramento nas interfaces.

3.4 Usando o Ping

O comando *ping* (*packet internetwork groper*) é um dos métodos mais comuns para testar a acessibilidade aos dispositivos de rede. Ele utiliza uma série de mensagens de eco de ICMP (*Internet Control Message Protocol*)⁷ para determinar: se o *host* remoto está ativo ou inativo, se houve perda de pacotes e qual é o *delay* na comunicação com este *host*. [CISCO2003].

O *ping* envia um pacote de requisição de eco e espera pela resposta. O comando obtém sucesso se a requisição de eco chega ao destino e se o destino é capaz de mandar a requisição de eco de volta dentro de um tempo pré-determinado conhecido como *timeout* [COMER1998] [HUSTON2003].

Alguns cuidados devem ser tomados na interpretação dos resultados do *ping*. Por ser o método mais difundido para teste de conectividade, é também o que gera maior confusão na sua interpretação. Quando há resposta para as requisições, pode-se concluir que:

- a máquina destino está em razoável grau de funcionamento, capaz de interpretar e responder às requisições adequadamente;

⁷ RFC 792 – Internet Control Message Protocol.

- que o roteamento de ida e roteamento de volta estão perfeitamente funcionais;
- o tempo de resposta está baixo e não há perdas.

Figura 3.1: Caminho do ping. [COMER1998]

Porém, quando o resultado não é o esperado, é que surgem algumas confusões. Muitas arquiteturas de roteadores de alto desempenho possuem um mecanismo de rápida comutação para pacotes de dados, deixando para o processamento central responder e encaminhar pacotes de controle, como mostrado na Figura 3.1. Ainda, a atividade de controle pode ser retardada para que o equipamento atenda às requisições funcionais do sistema, que são mais prioritárias. Desta forma, o comportamento do tráfego ICMP pode não seguir o comportamento do tráfego de dados. Sempre que os *buffers* de transmissão dos roteadores estiverem com valores considerados perigosos, haverá descarte de pacotes, para que seja assegurada a integridade do sistema. Naturalmente, descartar algumas informações de controle pode ser menos crítico do que descartar pacotes de dados. Nesta situação haveria novamente um comportamento diferenciado entre o fluxo de dados e o fluxo ICMP, na rede.

A ausência de resposta também pode levar a equívocos, pois muitos equipamentos possuem a resposta ao ICMP desabilitada, para reduzir a possibilidade de incidentes de segurança. Equipamentos de segurança, como *firewalls*, que bloqueiam o ICMP deles próprios e dos equipamentos protegidos.

Evidentemente, é possível através do *ping* (tomando os cuidados mencionados anteriormente), encontrar vários problemas de conectividades, para os quais o comando é adequado: erros de roteamento, interfaces em não funcionamento, existência de filtros, problema relacionado com ARP (*address resolution protocol*)⁸, alto tempo de atraso (*delay*) e sobrecarga em conexões (*links*).

Em resumo, com o comando *ping* (e também com o comando *traceroute*) obtém-se o RTT (*round-trip time*), que é o tempo para enviar um pacote de requisição de eco e o tempo para tê-lo de volta. Dessa forma, é possível ter uma idéia do atraso no *link*, porém, sem precisão suficiente para ser uma medida absoluta de desempenho. Infelizmente, grande parte dos profissionais do mercado interpreta o *ping* como sendo esta medida absoluta. Há de se levar em conta que um roteador é um dispositivo projetado para rotear pacotes. A capacidade de recepção de pacote de requisição de eco e resposta, é oferecida como um serviço do tipo melhor esforço (*best-effort*). Para as mesmas condições de WAN, se for iniciado algum tipo de processo no *router* que requeira grande capacidade de processamento, o RTT pode ser incrementado.

Portanto, o *ping* é uma excelente ferramenta para determinação de falhas e desempenho. Entretanto, alguns cuidados devem ser tomados na sua interpretação. Conexões com velocidades diferentes de acesso possuem perfis diferentes de resposta à sobrecarga.

⁸ RFC 826 - An Ethernet Address Resolution Protocol

3.4.1 Possíveis medidas usando Ping.

O Ping pode ser utilizado para medir o tempo de resposta, as porcentagens da perda do pacote, a variabilidade do tempo curto e longo do tempo de resposta, e a falta da conectividade (nenhuma resposta para uma sucessão dos pings).

A perda do pacote é uma boa medida da qualidade da ligação para muitas aplicações baseadas em TCP. A perda é causada, tipicamente, pelo congestionamento que leva ao aumento das filas suficiente para que alguns pacotes sejam descartados. A perda pode também ser causada pela entrega de uma cópia imperfeita do pacote pela rede. Causado geralmente por erros de pacote nas ligações ou em dispositivos da rede.

A não perda de pacote faz com que os tempos obtidos por uma sequência de ping sejam sempre praticamente os mesmos indicando uma rede muito utilizada. Por outro lado, a perda total de pacotes indicada por uma sequência de *time out* pelo *PingER*, indicaria ou uma falta de conectividade ou uma rede totalmente congestionada. Qualquer situação intermediária indica um estado de rede sem estar nessas situações limites.

O tempo de resposta ou *Round Trip Time* (RTT) pode dar uma idéia da taxa de dados do Ping (kilo Bytes /segundo). O RTT é relacionado à distância entre os locais mais o atraso em cada *hop* (roteadores para roteador = 1 *hop*) ao longo do trajeto entre os locais. O efeito da distância pode aproximadamente ser caracterizado pela velocidade de luz na fibra, e é dado aproximadamente pela distância/(0.6 * c) onde c é a velocidade da luz.

Por isto, juntando-se o atraso de cada *hop*, o RTT é dado aproximadamente por:

$$RTT = 2 * \left(\frac{\text{distância}}{30.6 * c} \right) + \text{hop} * \text{atraso}$$

onde o fator de 2 existe por esta medida ser o tempo de saída até a volta(ida e volta) para o *round-trip*. Esta métrica não se aplica se houver um satélite na rota. Atraso em cada hop é uma função de 3 componentes principais:

- A velocidade do roteador,
- Das taxas de *clock* da interface,
- O estado em que se encontra a fila do roteador.

O *throughput* do TCP pode ser obtido combinando as perdas e o RTTs usando a fórmula de Mathis para derivar o *throughput* máximo do TCP:

$$\text{throughput} = \frac{MSS}{RTT} * \frac{1}{\sqrt{\text{perda}}}$$

onde: MSS = *Maximum Segment Size*, RTT = *Round Trip Time* e Perda em %

3.5 Outras Ferramentas que usam o Ping

Existem também as ferramentas que executam a monitoração do comando Ping que são conhecidas como o PingER.

Cada ferramenta utiliza as respostas de uma seqüência de Pings (que seria tempo de resposta ou não resposta) de forma diferente de acordo com o objetivo que a monitoração deve atingir) ferramentas como *sting*, *imeter*, *smokeping* desconsideram praticamente os pacotes perdidos, já as ferramentas como *echoping*, *fping*, *gnuping* consideram na sua estatística o número de pacotes perdidos em uma seqüência de Ping pré definidos pelo usuário.

Para um melhor entendimento dos métodos de análise de desempenho de rede [CAIDA2006], descrevemos algumas ferramentas encontradas na literatura. Desta forma segue um breve comentário a respeito de alguns deles na Tabela 2.

Tabela 2- Tabela de ferramentas de medidas de latencia⁹

One-way Availability/Latency Tests						
Tool	Input	Active / Passive	Measurement Functions	Time Scope	Aggregate Scope	Output
<u>echoping</u>	ICMP					
	Echo/Reply ICMP	active	availability, latency, pkt loss multihost	real-time	none	text
<u>fping</u>	Echo/Reply ICMP	active	availability, latency, pkt loss multihost	real-time	none	parseable text
	Echo/Reply ICMP	active	availability, latency, pkt loss multihost	real-time	none	gnuplot graph of delay
<u>gping</u>	Echo/Reply ICMP	active	availability, latency, pkt loss	real-time	none	distribution
	Echo/Reply ICMP	active	long-term ping performance	various	none	web page graphs
<u>Imeter</u>	Echo/Reply ICMP	active	availability, latency, pkt loss	real-time	none	text
	Echo/Reply ICMP	active	availability, latency, pkt loss	real-time	none	text
<u>Nikhef ping</u>	Echo/Reply ICMP	active	availability, latency, pkt loss	real-time	none	text
	Echo/Reply ICMP	active	availability, latency, pkt loss	real-time	none	text
<u>ping</u>	Echo/Reply ICMP	active	availability, latency, pkt loss	real-time	none	text
	Echo/Reply ICMP	active	availability, latency, pkt loss	real-time	none	text
<u>sting</u>	Echo/Reply ICMP	active	availability, latency, pkt loss	real-time	none	text
	Echo/Reply ICMP	active	availability, latency, pkt loss	real-time	none	text
<u>Traceping</u>	Echo/Reply ICMP	active	availability, latency, pkt loss	real-time	none	text
	Echo/Reply ICMP	active	availability, latency, pkt loss	real-time	none	text

Cooperative Association for Internet Data Analysis (CAIDA)

⁹ <http://www.caida.org/tools/taxonomy/measurement/> em março 2006

ping Ferramenta clássica para a avaliação de conectividade/latência. Latência ponto a ponto das medidas e perda do pacote.

echoping é uma ferramenta para medir a latência de TCP/UDP emitindo ('eco padrão') a um porto arbitrário. Inclui a sustentação para testar a latência de uma requisição em HTTP.

fping é um variante do ping apropriada para scripts. fping emitirá pedidos do eco ICMP a uma lista de destinos na forma circular round-robin.

gnuplotping Múltiplos Pings paralelos em vários destinos, com exposição gráfica (gnuplot) de distribuição de atrasos.

imeter É uma serie de *scripts*, de análise e gráficos visíveis na web, gráficos de dados a longo prazo do Ping. Escreveu-se originalmente para medidas de serviço do ISP.

nikhef ping Uma variante do Ping com as seguintes diferenças do Ping clássico: Redesenhado para a manipulação apropriada do Ping *flood* ao estilo da Cisco; A perda do pacote agora relatada corretamente em todas as modalidades

sting é uma ferramenta da medida da rede baseada em TCP que mede as características da rede fim a fim, características do trajeto da rede das medidas seja original porque pode estimar propriedades de sentido único, tais como a taxa da perda, com a manipulação e a observação cuidadosas do comportamento do TCP. Além, usar o TCP permite que o sting utilize a infra-estrutura existente da Internet, todo o usuário do TCP pode ser usado como um serviço da medida de fato, e evita de aumentar problemas com medida da rede baseada em ICMP (obstrução, spoofing, taxa que limitam, etc.).

SmokePing é uma ferramenta gráfica de medida da latência. Pode medir, armazenar e indicar a latência, a distribuição da latência e a perda do pacote. SmokePing usa RRDtool

manter um longo tempo de armazenamento de dados e extrair os gráficos (Figura 3.2)¹⁰, dando até a informação minuciosa no estado de cada conexão de rede.

Figura 3.2: Exemplo da ferramenta SmokePing

Traceping O uso de Ping e Traceroute para seguir taxas da perda do pacote a uma variedade dos destinos. É usada atualmente para seguir o desempenho entre vários locais, na maior parte-internacional relacionada com a implementação física. E esta ferramenta funciona sobre a plataforma VMS.

PingER (relatório ponto a ponto do Ping) é o nome do projeto de medida ponto a ponto de desempenho da Internet (IEPM), para monitorar o desempenho ponto a ponto das ligações da internet. O projeto atual envolve centenas de locais em vários países do mundo.

O mecanismo principal usado é o mecanismo do eco do Internet Control Message Protocol (ICMP), sabido também como a facilidade Ping.

¹⁰ <http://www.caida.org/tools/taxonomy/measurement/> em março 2006

De acordo com as ferramentas até agora descritas, pode-se notar que o Ping é muito utilizado [BADMAN2005][BOARDMAN2006][BOARDMAN2004], apenas mudam-se as métricas utilização dos tempos obtidos como resposta.

Assim sendo, a sua larga utilização em medidas de rede é frequentemente encontrada na literatura [LEE2006][NOH 2005][SHYAMASUNDAR2002]. Por esse motivo e também por atender plenamente a análise proposta por este trabalho foi adotada o seu uso.

4 Capítulo – Descrição da Evolução da Rede do IFSC

Este capítulo apresenta um breve histórico e descrição da pesquisa feita, o material e as ferramentas utilizadas. Juntamente com os diagramas em blocos da disposição dos prédios e esquemas da interligação dos equipamentos ativos da rede de dados

4.1 Rede do Instituto de Física de São Carlos

Este capítulo mostra a evolução da rede do Instituto de Física de São Carlos (IFSC) desde 1990. Ao longo deste histórico são descritas várias situações que fizeram com que houvesse alterações como a eliminação de algumas sub-redes visando melhorar o desempenho da rede, e o aumento da área física do IFSC e a construção de um novo prédio, ressaltando não só uma malha mais extensa e num aumento substancial de equipamentos conectados.

Até o primeiro semestre de 2001, o IFSC possuía apenas os blocos de edifícios denominados A (antiga biblioteca), B (Cristalografia e Crescimento de Cristais), C (Biofísica, Polímeros e Oficinas), D (Anfiteatro Azul, Verde e salas de Aula) e E (Ensino). Com a inauguração de um novo prédio em 2001, mais quatro blocos foram criados abrigando a

Administração, Diretoria, Biblioteca, Setor de Informática e os grupos de pesquisa Instrumentação Eletrônica e Física Teórica.

Na mesma época que o IFSC inaugurou o novo prédio, inaugurou também a instalação do *backbone* ATM, constituído de *um Switch Fore ASX1000, Fore Power Hub*, cinco *Switches ES3810* e seis *Switches Intel 510* (estes dois eram ATM – *Ethernet*). Esses equipamentos tiveram como função principal melhorar a segmentação da rede no nível 2 (em relação ao modelo ISO/OSI) viabilizando o aumento à disponibilidade de conexão UTP. Os *Switches* tornaram-se os principais componentes do *backbone*. Assim, várias ligações ópticas ATM 155 Mbps foram implementadas. A mais importante delas foi a ligação entre os dois prédios, onde logo em seguida, foi instalada a comunicação entre os dois *Switch Fore ASX1000* e a implementação do roteador NSX9500 que dividiu o tráfego e manteve reserva de equipamento para o caso de falhas.

4.2 Topologia

A topologia da rede do IFSC até 2001 era baseada em:

- *Fore Power Hub* (com interfaces ATM, FDDI e Ethernet).
- *Switch Fore ASX1000*.
- Cinco *Switches ES3810* (1 *uplink* ATM 155Mbps e 24 portas 10Mbps).
- Dois DEC HUB 900 (16 portas 10BaseFX, 72 portas 10BaseTX e 16 portas 10BaseT).
- 4 DEC Hub 90 (1 porta 10BaseFX, 16 portas 10BaseTX e 8 portas 10BaseT)

Configurava-se a infra-estrutura física do IFSC, um misto de topologias em barramento, anel e estrela. Nesta condição, os usuários dos laboratórios de pesquisa e ensino, administração e salas de docentes e funcionários eram servidos por segmentos *Ethernet*, em cabeamento UTP 100 ohms e cabos coaxiais 50 ohms. A partir de cada *Switch* ES3810 ou DEC HUB 900.

Na topologia lógica, a rede era formada por um conjunto de redes locais emuladas (*emulated local área network* ELANs) era gerenciado pelos equipamentos *Switch Fore* ASX1000, com as sub-redes criadas por mascaramentos sobre os endereços IP. Esta configuração lógica ficava a cargo do *Fore Power Hub*, este não sendo compatível com os novos *Switches* Intel 510 foi transferida para o *Switch Fore* ASX1000, e a Tabela 3 mostra a configuração das sub-redes, com isso as medidas de tempo foram feitas sem o *Fore Power Hub*.

Tabela 3 - Configuração das ELANs na rede do IFSC até 2001

Nome da Elan	Interface Responsável	Interface IP no switch
180-0	ASX1000	143.107.180.1
Adm(180-64)	ASX1000	143.107.180.65
Scinfor(180-128)	ASX1000	143.107.180.129
180-192	ASX1000	143.107.180.193
228-0	ASX1001	143.107.228.2
228-64	ASX1001	143.107.228.65
228-128	ASX1001	143.107.228.129
228-192	ASX1001	143.107.228.193
229-0	ASX1000	143.107.229.1
229-64	ASX1000	143.107.229.65
229-128	ASX1001	143.107.229.129
229-193	ASX1001	143.107.229.193

É muito difícil explicar a divisão física dos prédios do IFSC, pois os nomes dados aos blocos não seguem diretamente a ordem cronológica em que eles foram agregados ao IFSC,

mas de acordo com a Tabela 4 pode-se visualizar como a implantação da rede de dados ocorreu.

Tabela 4 - Cronologia da construção dos blocos de prédios do IFSC

anos	1980-85	1985-90	1990-95	1995-2000	2000-2005
blocos	F	F - E	F-E-G-I	F-E-G-I-H	F-E-G-I-H-C-D-A-B

Entre 1990-1995 foi implementada a primeira conexão de fibra ótica, entre os blocos E e F, em um *link* FDDI de 100Mbps com o equipamento DEC Switch 900, mais tarde substituído por um *link* ATM 155 entre o *Switch Fore* ASX1000 e *Switch* ES3810. Além da parte física do IFSC ser complexa, a divisão lógica da rede também o é. No final da década de 80, como os equipamentos não eram tão velozes, e não havia tecnologia dos *Switches*, o domínio de *broadcast* tinha que ser pequeno para evitar colisões, por isso a divisão lógica ficou definida como mostra a Figura 4.1.

Figura 4.1: IFSC dividido em quadrantes

Tabela 5 - Divisão lógica do IFSC dividido em quadrantes

Início	Fim	
143.107.228.0	143.107.228.63	1 quadrante
143.107.229.0	143.107.229. 63	
143.107.228.64	143.107.228.129	2 quadrante
143.107.229. 64	143.107.229.129	
143.107.228.128	143.107.228.193	3 quadrante
143.107.229.128	143.107.229.193	
143.107.228.192	143.107.228.255	4 quadrante
143.107.229.192	143.107.229.255	

Nesta fase do IFSC, na maioria dos prédios, havia no mínimo quatro sub-redes (Tabela 5 - Divisão lógica do IFSC dividido em quadrantes) em funcionamento, fazendo com que a administração dos endereços IP se tornasse bem complicada. A idéia era aproveitar o conceito VLAN, que o endereço pertencesse a um único usuário e por onde ele fosse levaria com ele este endereço facilitando a migração de docentes, alunos, funcionários e laboratórios de pesquisa conforme a nova distribuição de espaços. Essa forma era bastante promissora, pois com um único cadastro a pessoa se tornava responsável por ele, uma vez que os equipamentos permitiam esse tipo de flexibilidade;

Os problemas surgiram principalmente pelo uso de cabos coaxial, sendo que a topologia utilizasse um único segmento(quando o cabo desconectava todos do segmento ficava sem conexão de rede), pois o número de microcomputadores comprados cresceu muito rápido (como mostra a Figura 4.2) e mudanças de alunos e funcionários nos grupos de pesquisa também.

Figura 4.2: Crescimento do número de microcomputadores - Fonte Anuário estatísticos da USP

Na seção seguinte são apresentadas as alterações realizadas na rede do IFSC tanto em topologia física, quanto em topologia lógica. Para simplificar a apresentação de medidas efetuadas em cada configuração da rede no próximo capítulo, cada configuração é identificada como grupo, que são numerados de 1 a 3.

4.3 Grupos

Os grupos foram divididos em ordem cronológica, o início e o término de cada grupo se deu pela mudança na topologia lógica da rede.

4.3.1 Grupo 1

A Figura 4.3 mostra como era composta a divisão física do IFSC no ano de 2001, formada apenas pelos blocos E,F,G,H e I. Em seguida, a Figura 4.4 mostra o diagrama

esquemático da rede. Já a Tabela 6 mostra as interfaces responsável pelas *VLANs* no Switch *ASX1000* e *1001*.

O incentivo de uma mudança deste grupo para o seguinte foi que a administração dos números IPs das máquinas de usuários estava dificultando o trabalho de gerenciamento de rede, pois toda vez que um usuário mudava de prédio, tínhamos que reconfigurar as *VLANs* nos switches. Muitas vezes um switch de 24 portas chegava a possuir 6 *VLANs*. Uma situação crítica e não rara de ocorrer era quando já existia uma máquina de uma determinada *VLAN* em uma sala e um outro usuário vinha com outra máquina a ser instalada já com o número IP de outra *VLAN*, a necessidade de IPs crescia muito rápido com o aumento de número de *hosts*.

Havia, naquele momento, dois grandes problemas: a administração dos números IPs e o gerenciamento das sub-redes, que se tornava cada vez mais complicado. Com isso, a ideia de diminuir o número de *VLANs* crescia em toda a equipe.

Um indício que havia uma grande quantidade de *VLANs* em nossa rede era o fato de que o próprio *Switch ASX1000*, necessitar de dois módulos de gerenciamento de *VLANs*, pois havia uma limitação de cada módulo suportar apenas 2 *VLANs*.

Assim, uma nova configuração foi proposta e implementada, sendo descrita na próxima seção.

Diagrama em Blocos do IFSC

Figura 4.3: Diagrama em Blocos da planta baixa do IFSC

Figura 4.4: Esquema lógico do IFSC em 2001

Tabela 6 - Divisão Lógica das VLANs e a interface responsável.

Nome da Elan	Interface Responsável	Interface IP no switch
180-0	ASX1000	143.107.180.1/255.255.255.192
Adm (180-64)	ASX1000	143.107.180.65/255.255.255.192
Scinfor (180-128)	ASX1000	143.107.180.129/255.255.255.192
180-192	ASX1000	143.107.180.193/255.255.255.192
228-0	ASX1001	143.107.228.2/255.255.255.192
228-64	ASX1001	143.107.228.65/255.255.255.192
229-128	ASX1001	143.107.228.129/255.255.255.192
228-192	ASX1001	143.107.228.193/255.255.255.192
229-0	ASX1000	143.107.229.1/255.255.255.192
229-64	ASX1000	143.107.229.65/255.255.255.192
229-128	ASX1001	143.107.229.129/255.255.255.192
229-193	ASX1001	143.107.229.193/255.255.255.192

4.3.2 Grupo 2

A Figura 4.5 mostra como era composta a divisão física do IFSC em 2002, que nesta época ganhou os blocos A,B,C e D. Em seguida, a Figura 4.6 mostra o diagrama esquemático da rede e a Tabela 7 mostra as interfaces responsáveis pelas *VLANs* no Switch ASX1000 e 1001. Neste ano entra em funcionamento o roteador NSX9500. Podemos notar que a máscara de rede alterou de 255.255.255.192 para 255.255.255.128 diminuindo pela metade o número de *VLANs*.

Apesar da redução do número de *VLANs*, implementada para reduzir o problema descrito na seção anterior, o fato da construção do novo prédio trouxe outros problemas.

O remanejamento de usuários para o prédio novo (Blocos A,B,C e D) e o preenchimento das áreas desocupadas pelos antigos usuários, fez com que o gerenciamento de IPs se tornasse quase que um caos. Afinal a migração de *hosts* de um prédio ao outro não seguiu nenhuma regra, não se concentraram em um local, ficando espalhados, e o projeto da década de 80 do IFSC dividido em quadrantes não era mais aplicado, O aumento de números de switches no nosso *backbone*, também trouxe certos problemas que não existiam, o mais grave eram as constantes perdas de conexão entre os switches-ATM(*core*) e switches ATM-Ethernet (*border*). A queda de conexão sempre ocorria nas bordas e não havia uma situação típica em que ela ocorria, não sendo possível sequer prever o momento em que poderiam ocorrer.

Desta forma, a falta de endereço IPs em certas *VLANs*, criação da *VLAN NAT* e as constantes perdas de conexões entre equipamentos do nosso *backbone* nos incentivaram a mudar para o grupo seguinte.

Figura 4.6: Esquema lógico do IFSC em 2002

Tabela 7 - Divisão Lógica das VLANs e a interface responsável no NSX9500.

Nome da Elan	Interface Responsável	Interface IP no switch
180-0	ASX1000	143.107.180.1/255.255.255.128
180-128	ASX1000	143.107.180.129/255.255.255.128
228-0	ASX1001	143.107.228.2/255.255.255.128
229-128	ASX1001	143.107.228.129/255.255.255.128
229-0	ASX1000	143.107.229.1/255.255.255.128
229-128	ASX1001	143.107.229.129/255.255.255.128

4.3.3 Grupo 3

A Figura 4.7 mostra como era composta a divisão física do IFSC em 2003. Nesta figura também se pode verificar que houve uma grande mudança na estrutura lógica da rede. Foram separadas fisicamente as *VLANs* de acordo com a área física ocupada pelos equipamentos. Os blocos de A à C ficaram com a sub-rede 143.107.180.0, o bloco D ficou com a sub-rede 143.107.229.0 e os blocos E a I ficaram com a sub-rede 143.107.228.0. Em seguida, a Figura 4.8 mostra o diagrama esquemático da rede.

Já a Tabela 8 mostra as interfaces responsáveis pelas *VLANs* no Switch ASX1000 e 1001 e o roteador NSX9500. Pode-se notar que a máscara de rede alterou de 255.255.255.128 para 255.255.255.0 diminuindo pela metade o número de *VLANs*, mas acrescentou-se neste ano uma nova sub rede 192.168.228.NAT, uma rede NAT (*Network Address Translation*) que foi instalada para suprir a necessidade crescente de IP's.

Com a instalação dos Servidores NAT resolvendo os problemas de IPs, e a concentração de uma única VLAN por região facilitou em muito o gerenciamento logico da nossa rede de dados, e o mais importante é que com essa medida as conexões entre os nossos equipamentos de *backbone* se tornaram estáveis. Fato que se pode ser comprovado com as medidas apresentadas na seção 5.3.

Figura 4.7: Diagrama em Blocos da planta baixa do IFSC em 2003

Figura 4.8: Esquema lógico do IFSC em 2003

Tabela 8 - Divisão Lógica das VLANs e a interface responsável em 2003

Nome da Elan	Interface Responsável	Interface IP no switch
180-0	ASX1000	143.107.180.1/255.255.255.0
228-0	ASX1000	143.107.228.2/255.255.255.0
229-0	ASX1000	143.107.229.1/255.255.255.0
228-NAT	ASX1000	192.168.228.1/255.255.255.0

5 Capítulo - Resultados

Neste capítulo são apresentados gráficos e tabelas com os resultados obtidos neste trabalho, convenientemente agrupados e resumidos. A exibição dos registros coletados é impraticável, já que somam muitas linhas de texto.

5.1 Descrição da Organização dos Resultados

Um estudo detalhado do comportamento de latência com métodos feitos em laboratório em um *switch* ATM em várias condições foi descrito por [MUEZERIE2001], onde o valor médio de um ping numa rede Ethernet-ATM resultou numa latência de 0,4ms

Tomaremos esta medida como tempo “meta” para a latência na nossa rede por ser a menor alcançável com nossos equipamentos em configuração Ethernet-ATM.

Os resultados mostrados a seguir estão divididos em três grupos:

Grupo 1	O IFSC dividido em máscara 255.255.255.192 contendo 64 endereços por sub-rede, em 2001.
Grupo 2	O IFSC dividido em máscara 255.255.255.128 contendo 128 endereços por sub-rede, em 2002.
Grupo 3	O IFSC dividido em máscara 255.255.255.0 contendo 256 endereços por sub-rede, em 2003.

Esses resultados foram obtidos usando o comando ping que é realizado por diversas máquinas, uma em cada sub-rede. Inicialmente eram doze máquinas com o sistema operacional linux coletando os dados e, de acordo com a diminuição do número de sub-redes, o número de máquinas foi diminuindo proporcionalmente. Cada um continha um *Script* coletando os dados dos pings enviados a várias máquinas de sub-redes distintas.

```
#!/bin/bash
while [ true ]
do
date >>228-10.dat
ping -c 5 143.107.228.10 >> 228-10.dat
date >>229-15.dat
ping -c 5 143.107.229.15 >> 229-15.dat
date >>180-122.dat
ping -c 5 143.107.180-122>> 180-122.dat
sleep 305s
done
```

Figura 5.1: Exemplo de um Script do Linux para obter os tempos

No exemplo (Figura 5.1) a máquina 143.107.229.171 disparava ping para as máquinas 143.107.228.10, 143.107.229.15 e 143.107.180.122, gerando os arquivos 228-10.dat, 229-15.dat e 180-122.dat, sendo que a coleta era repetida a cada 305 segundos, pois a idéia era verificar se a rede ATM fechava o VPN após 300 segundos de inatividade. No exemplo, somente três máquinas estão sendo monitoradas, mas a verificação foi feita entre todas as sub-redes envolvidas, a maior parte dos tempos eram adquiridos nas duas direções, como no exemplo citado acima, a máquina 143.107.229.171 colhia os dados dos tempos feito na máquina 143.107.229.15, a máquina 143.107.229.15 também colhia os dados de tempos disparados para a máquina 143.107.229.171.

A Figura 5.1 mostra também que eram feitas cinco médias de tempo a cada vez. Esses eram gravados nos arquivos.

Como foi verificado estatisticamente, no mesmo período, nas médias entre as sub-redes não havia uma variação significativa, por isso a estatística foi feita apenas entre as variações de configuração da topologia da rede.

5.2 Dados Colhidos

```
Mon Jan  8 22:27:56 BRST 2001
PING 143.107.228.10 (143.107.228.10) from 143.107.229.171 : 56(84)
bytes of data.
64 bytes from 143.107.228.10: icmp_seq=0 ttl=254 time=2.055 msec
64 bytes from 143.107.228.10: icmp_seq=1 ttl=254 time=106.256 msec
64 bytes from 143.107.228.10: icmp_seq=2 ttl=254 time=11.475 msec
64 bytes from 143.107.228.10: icmp_seq=3 ttl=254 time=86.965 msec
64 bytes from 143.107.228.10: icmp_seq=4 ttl=254 time=6.047 msec

--- 143.107.228.10 ping statistics ---
5 packets transmitted, 5 packets received, 0% packet loss
round-trip min/avg/max/mdev = 2.055/42.559/106.256/44.652 ms
Mon Jan  8 22:29:20 BRST 2001
PING 143.107.228.10 (143.107.228.10) from 143.107.229.171 : 56(84)
bytes of data.
64 bytes from 143.107.228.10: icmp_seq=0 ttl=254 time=2.744 msec
64 bytes from 143.107.228.10: icmp_seq=1 ttl=254 time=1.645 msec
64 bytes from 143.107.228.10: icmp_seq=2 ttl=254 time=21.927 msec
64 bytes from 143.107.228.10: icmp_seq=3 ttl=254 time=2.035 msec
64 bytes from 143.107.228.10: icmp_seq=4 ttl=254 time=25.737 msec
```

Figura 5.2: Exemplo de saída do Ping na máquina de aquisição de dados (143.107.229.171) para interface do roteador (143.107.228.10)

Os dados diretamente observados na rede foram coletados e gravados na forma de arquivos de texto simples, como mostra a Figura 5.2, com registros de data, endereços IP de origem e destino, e o principal que é o tempo de latência da rede.

Dos arquivos gerados pelo coletor de dados (Figura 5.2), foram extraídas todas as informações utilizadas neste trabalho. A Figura 5.3 mostra uma tela do software SAS

Insight, utilizado para a análise de dados. Os valores de tempo já foram convertidos do formato texto para valores absolutos.

Após recolher os dados em arquivos texto, utilizando o Software *SAS-Insight* foram separados os tempos de latência, facilitando a execução do tratamento estatístico dos pontos.

I	Int.
1	2.055
2	108.256
3	11.175
4	88.965
5	8.047
6	2.744
7	1.645
8	21.927
9	2.005
10	25.737
11	5.001
12	21.745
13	28.287
14	111.1145
15	23.311
16	2.901
17	2.945

Figura 5.3: Exemplo de tratamento de dados usando a ferramenta SAS - Insight

5.3 Estatística dos Dados

A aquisição de dados foi feita em todas as sub-redes existentes, mas como os dados são muito parecidos, foi decidido representar nesta seção somente uma das aquisições. A idéia não foi obter um grande número de dados, mas material suficiente para que fosse possível efetuar uma comparação, de onde pudessem ser obtidos tabelas e gráficos suficientes para análises mais rápidas, eficientes e seguras, com uma interpretação mais precisa dos dados.

Na Figura 5.4-B é representada uma das telas obtidas pelo software SAS Insight, de onde foram utilizados os valores de: “N” representando o número de pontos utilizado na estatística e “Mean” representando a média aritmética dos pontos.

De acordo com os dados obtidos em 2001, quando o IFSC era dividido em 12 sub-redes de 64 endereços cada, a média dos atrasos na rede era de 27,1890ms, e que 50% da frequência dos dados estão entre 3.2430ms e 39.9500ms (conforme descrito na Figura 5.4-B). Na Figura 5.4-A é mostrado o gráfico de caixa (*Box-plot*), onde pode ser visualizada a dispersão dos dados.

Figura 5.4: Resultados estatísticos de 2001 com tempo em milisegundos

Analogamente ao ano de 2001, de acordo com os dados obtidos, em 2002, quando o IFSC era dividido em 6 sub-redes de 128 endereços cada, a Figura 5.5-C descreve que a média dos atrasos na rede era de 0,5542ms, e que 50% da frequência dos dados estão no valor de 0.500ms. Na Figura 5.5-A é mostrado o gráfico de caixa onde se pode visualizar a dispersão dos dados, que estão espalhados até o valor de 12ms. O gráfico de caixa é composto de 5 partes

e aparece apenas uma parte, pois os valores estão muito próximos. Na -B a escala é modificada para se ter uma melhor interpretação.

Figura 5.5: Resultados estatísticos de 2002 com tempo em milisegundos

A Figura 5.6 apresenta os resultados de acordo com os dados obtidos em 2003, quando o IFSC era dividido em 4 sub-redes de 256 endereços cada. Pela Figura 5.6-C é descrito que a média dos atrasos na rede era de 0,4147ms, e que 50% da frequência dos dados estão entre os valores de 0.3700 e 0.4310ms. Na Figura 5.6-A é mostrado o gráfico de caixa onde se pode visualizar a dispersão dos dados. Na Figura 5.6-B aparece a escala modificada para se ter uma melhor interpretação.

Figura 5.6: Resultados estatísticos de 2003 com tempo em milisegundos

5.4 Análise dos Resultados

Para a representação desses gráficos foi retirada uma amostra de 1000 pontos, para que fosse possível a melhor visualização dos tempos. De acordo com a legenda na Figura 5.7-A o ano de 2001 é representado em azul e 2002 representado em magenta, nota-se que em 2001 os tempos de resposta dos pings são maiores que as de 2002. Enquanto que em 2002, dois pontos perto de 10ms, em 2001, muitos pontos que ultrapassam 100ms de tempo de resposta. Para que a visualização fosse mais precisa na Figura 5.7-B é apresentado apenas pontos abaixo de 20ms

de 2001, desta forma pode-se observar mais claramente que a maioria dos pontos de 2002 está abaixo do mínimo registrado em 2001.

Figura 5.7: Comparativo de tempos de Ping entre 2001 e 2002

Figura 5.8: Comparativo de tempos de Ping entre 2002 e 2003

Foram feitas duas figuras de gráficos, pois a diferença de 2001–2002 é mais significativa que 2002-2003. Nesta última, a diferença é bem mais sutil. Para a comparação com a figura anterior, foi utilizada uma amostra de mesmo tamanho ($N=1000$ pontos) e mesma cor (2002 em azul e 2003 em magenta). Pela Figura 5.8-A, nota-se que em 2002 os tempos de resposta dos Pings são maiores que as de 2003, enquanto que em 2002, dois pontos perto de 10ms. Em 2003 não há pontos que ultrapassem 1ms de tempo de resposta. Para que a visualização fosse mais precisa na Figura 5.8-B descartam-se os pontos acima de 1ms de 2002, para que possa ser observado mais claramente. Nesse gráfico observa-se que a maioria dos pontos de 2002 está acima da média dos pontos de 2003.

E com a ajuda das figuras (Figura 5.4, Figura 5.5 e Figura 5.6) podemos verificar melhor esse resultado, pois em 2001 (Figura 5.4) a média dos tempos era de 27.1890ms, em 2002 (Figura 5.5) a média dos tempos era de 0.5542ms. Nota-se que a redução de 2001-2002 no tempo de resposta foi de 97.9616%. Uma redução considerável. Em 2003 (Figura 5.6) a média dos tempos era de 0.4147ms. A diferença entre 2002-2003 foi de apenas 25,1714%.

Conforme descrito no início deste capítulo o tempo “meta” era de 0.4ms e o tempo obtido a partir de 2003 está muito próximo àquele considerado ótimo.

6 Capítulo – Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste capítulo são apresentadas as conclusões e as propostas de possíveis trabalhos futuros.

6.1 Considerações Finais e Conclusões

O presente estudo ajudou significativamente a melhora de desempenho da rede do IFSC alcançadas tanto com a alteração de configurações quanto com a adoção de novas tecnologias.

Com a análise dos gráficos estatísticos foi possível ver a tendência dos dados obtidos em grande quantidade, descrevendo de forma precisa o comportamento da rede. De acordo com os gráficos e as estatísticas feitas entre 2001-2002, há uma redução de 97.9% nos tempos de respostas devido à redução do número de *VLANs*, mesmo considerando o aumento do tráfego na rede. Esta alteração foi feita gradativamente partindo de uma máscara inicial que comportava 64 endereços por *VLAN* para uma configuração onde cada *VLAN* comportava 128 endereços e finalmente, para uma máscara que permite 256 endereços por *VLAN*. Mesmo com a união das sub-redes, resultando num aumento de chamadas de *broadcast*, o estudo mostrou que o desempenho da rede melhorou, pois a adoção de equipamentos modernos tais como *switches* eliminaram a proliferação desnecessária destas chamadas ao longo da rede.

A inexistência de *switches ethernet* no início da implantação da rede no IFSC inviabilizou inicialmente a utilização de grandes sub-redes e a adoção de *VLANs* com *ATM* foi adotada na época por dar grande flexibilidade no gerenciamento e na redistribuição física de grupos de pesquisa.

Destacou-se neste trabalho também a grande utilidade da ferramenta “Ping” que possibilitou a coleta dos tempos de respostas da rede utilizados em todas as análises estatísticas de desempenho.

Ao longo do período observado neste trabalho (2001 a 2003), não só o número computadores cresceu mas vários novos aplicativos surgiram tais como: vídeo conferência, buscas e alimentação de base de dados (Plataforma LATTES e sistemas administrativos e acadêmicos da USP), monitoramento e sistemas de segurança de patrimônio (câmeras digitais de segurança e as catracas) ICQ, *Microsoft Menssenger*, *Kazaa*, *E-Mule* e muitos outros P2P utilizados para aquisição de músicas MP3 e não esquecendo também os *games on-line*. Muitos *softwares* operando via rede foram introduzidos auxiliando pesquisas, tais como acesso a palestras, tutorias, submissão e análise de projetos científicos (CNPq, FAPESP, CAPES, FINEP), submissão de artigos e o enorme volume de publicações científicos já disponibilizado e acessado *on line*.

Microcomputadores cada vez mais velozes foram agregados à rede. Outros sofreram *upgrades* tornando-os mais rápidos. Placas de rede de 10Mb/s foram substituídas com interfaces de 100Mb/s permitindo um aumento considerável na velocidade das conexões.,

Por esses fatos, o fluxo de dados na rede do IFSC aumentou mas as alterações e atualizações tecnológicas analisadas, implantadas e descritas neste trabalho resultaram numa rede com uma resposta cada vez melhor.

Pode-se destacar também nesse trabalho a experiência adquirida do ponto de vista de um administrador de rede institucional. Decisões baseadas simplesmente na facilidade para o usuário final, como por exemplo, a atribuição de um número IP que passava a ser de um único usuário, podendo este migrar para qualquer local do IFSC, trouxeram para rede uma grande perda de eficiência, não descrita pelos fabricantes dos equipamentos ATM adquiridos pelo IFSC.

Alem disso, o uso de ferramentas *pinger* é bastante simples e podem ser usadas como fortes aliadas dos administradores de rede na identificação de situações em que suas redes não estão sendo aproveitadas de forma ótima.

6.2 Trabalhos futuros

Algumas possibilidades para continuação deste trabalho:

- ? À idéia adotada neste trabalho poderá ser continuada para avaliar a eficiência da rede utilizando *VLANs* sobre *ethernet*, com o *backbone* em *gigabit ethernet*, pois neste trabalho foi estudado somente o impacto de *VLANs* sobre a rede *ATM*.
- ? Outra possibilidade é modificar a estrutura de roteamento, excluindo-se as *VLANs*, eliminando assim a utilização de várias redes lógicas deixando os *Switches* trabalharem sem serem sobrecarregados com o processamento envolvido com o gerenciamento de *VLANs* e observando-se neste caso a eficiência da rede.
- ? Tem – se a possibilidade de medir a eficiência da rede visando relacionar o atraso com a taxa de ocupação da rede. Para tanto, em um determinado instante se faz a aquisição do atraso obtido pelo ping juntamente com a taxa de ocupação da rede. Para realização deste trabalho deve-se inicialmente definir uma ferramenta que permita adquirir simultaneamente esses dados.
- ? Tendo todas as medidas feitas com os IP real, podemos comparar também com os tempos obtidos em uma rede NAT(*Network Address Translation*) com IP's falsos para uma máquina com IP real.

Todos esses possíveis trabalhos permitirão avaliar os atrasos nos pacotes, provocados pelo processamento dos *Switches* devido a presença de *VLANs* na sua configuração.

7 Referências

- [ALENCAR1998] ALENCAR, Marcelo Sampaio de. *Telefonia Digital*. São Paulo: Érica, 1998.
- [BADMAN2005] BADMAN, Lee ; Only a SuperAgent Will Do; Network Computing ;_Manhasset: Vol.16 Dcembre 2005.
- [BOARDMAN2004] BOARDMAN, Bruce ; Ping Me . . . We'll Do Lunch ; Journal Network Computing v. 15 no. 17 (September 2 2004)
- [BOARDMAN2006] BOARDMAN, Bruce ;Near Hole-in-One, But No All in One; Netwok Computing; Manhasset; March 2006
- [CAIDA2006] “Performance Measurement Tools Taxonomy”
<http://www.caida.org/tools/taxonomy/performance.xml#oneway>
(Acesso em 13/05/2006).
- [CISCO2003] CISCO SYSTEMS. *Understanding the Ping and Traceroute Commands*. www.cisco.com (Acesso em 13/10/2003).

- [COMER1998] COMER, Douglas S. E.. *Interligação em Rede com TCP/IP*. Vol. 1. Rio de Janeiro: Campus, 1998.
- [COMER2001] COMER, DOUGLAS E. *Redes de Computadores e Internet*. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- [COTTRELL2005] <http://www.slac.stanford.edu/grp/scs/net/papers/noms/noms14224-122705-d.doc>(Acesso em 13/5/2006).
- [FORE1998-A] Fore Systems, “ATM Forum PNNI – An Overview”, M. Held, - <http://www.ncne.org/news/workshop/vbns-techs2/Talks/mheld/sld001.htm>.
- [FORE1998] Fore Systems, “PNNI Feature Edition – Part 1: Routing and Addressing”, ATM Academy, 29/09/1998.
- [HUSTON2003] HUSTON, Geoff. *Measuring IP Networks*. Cisco Systems. Internet Protocol Journal. Vol. 6 no 1. March, 2003.
- [LEE2006] Lee HK, Kim G, Mun Y ;Adaptive mode switching for internetworking of MANET and WLAN based on HMIPv6
COMPUTATIONAL SCIENCE AND ITS APPLICATIONS - ICCSA 2006, PT 2 LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE 3981: 214-223 2006
- [MCDYSAN2001] MCDYSAN, David; SPOHN Darren . ATM Theory and Applications - Mac Graw Hill – 2001
- [MUEZERIE2001] Caracterização de Desempenho de uma Rede ATM –

2001,capítulo 5

- [NOH 2005] Noh S, Kim J, Lee DC Assurance method of high availability in information security infrastructure system , SPRINGER-VERLAG BERLIN, HEIDELBERGER PLATZ 3, D-14197 BERLIN, GERMANY
- <http://apps.isiknowledge.com/WoS/CIW.cgi?SID=J16ogHgFDj2d8hBbdcm&Func=Abstract&doc=3/1>
- [NUNES 2001-A] NUNES, Frederico Dias; BAGNATO, Vandeí Salvador. Comunicação Óptica - Uma visão para o Futuro a - São Paulo - Renovarum Ltda. 2001
- [NUNES 2001-B] NUNES, Frederico Dias. Dispositivos para Comunicação Óptica - São Paulo - Renovarum Ltda. 2001
- [NUNES 2001] NUNES, Frederico Dias. Sistemas de Comunicação Óptica - São Paulo - Renovarum Ltda. 2001
- [ONVURAL1997] ONVURAL Raif O.; CHERUKURISIM, Rao. Signaling in ATM Networks – Boston - Artech House – 1997
- [SHYAMASUNDAR 2002] Shyamasundar RK, Rajan B, Prasad M, Jain A; A low latency messaging infrastructure for Linux clusters ; HIGH PERFORMANCE COMPUTING - HIPC 2002, PROCEEDINGS LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE 2552: 112-123 2002

<http://apps.isiknowledge.com/WoS/CIW.cgi?SID=J16ogHgFDj2d8hBbdcm&Func=Abstract&doc=3/2>

[TANENBAUM1996] Tanenbaum, A. S. *Computer Networks*. Prentice Hall, Upper Saddle River, 1996.

[ZILIO2001] ZILIO, Sergio Carlos. *Conceitos Básicos para Comunicação Ópticas* - São Paulo - Renovarum Ltda. 2001