

Implantando a Tecnologia ATM em Redes Locais

Lalinka de Campos Teixeira Gomes

Orientador: Prof. Dr. Ivanil Sebastião Bonatti

Dissertação de Mestrado

Este exemplar corresponde a redação final da tese
defendida por Lalinka de Campos
Teixeira Gomes e aprovada pela Comissão
Julgada em 18/02/1987.
Ivanil Bonatti
Orientador

Campinas - S.P. - Brasil

1998

G585i

34643/BC

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	UNICAMP
	G585i
Ex.	
NUMERO BC/	34643
PROC.	395/98
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	04/08/98
N.º CPD	

CM-00113942-6

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

G585i Gomes, Lalinka de Campos Teixeira
Implantando a tecnologia ATM em redes locais. /
Lalinka de Campos Teixeira Gomes.--Campinas, SP:
[s.n.], 1998.

Orientador: Ivanil Sebastião Bonatti
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de
Computação.

1. Redes locais de computação. 2. DELPHI
(Linguagem de programação de computador. I. Bonatti,
Ivanil Sebastião. II. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. III.
Título.

RESUMO.....	1
ABSTRACT.....	2
BANCA EXAMINADORA.....	3
AGRADECIMENTOS.....	4
INTRODUÇÃO.....	5
CAPÍTULO 1	
TECNOLOGIA ATM.....	6
1.1 CARACTERÍSTICAS DA TECNOLOGIA ATM.....	6
1.2 INTERFACES DE REDE.....	7
1.3 MODELO DE REFERÊNCIA DE PROTOCOLO.....	8
1.4 A CAMADA ATM.....	10
1.5 COMUTAÇÃO NA REDE ATM.....	11
1.6 A CAMADA DE ADAPTAÇÃO.....	14
1.7 ADMINISTRAÇÃO DE TRÁFEGO.....	16
1.8 SINALIZAÇÃO.....	20
1.9 P-NNI.....	20
1.10 CONCLUSÃO.....	24
CAPÍTULO 2	
REDES VIRTUAIS E EMULAÇÃO DE REDES LOCAIS	
2.1 INTRODUÇÃO.....	25
2.2 COMUTADORES.....	25
2.3 CONFIGURAÇÃO DE REDES LOCAIS VIRTUAIS.....	26
2.4 COMUNICAÇÃO ENTRE MEMBROS DE LANs VIRTUAIS.....	27
2.5 ENCAMINHAMENTO ENTRE LANs VIRTUAIS.....	28
2.6 CARACTERÍSTICAS DE EMULAÇÃO DE REDES LOCAIS.....	29
2.7 COMPONENTES DE EMULAÇÃO DE REDE LOCAL E TIPOS DE	
CONEXÃO.....	30
2.8 OPERAÇÃO E EMULAÇÃO DE REDE LOCAL.....	34
2.9 EMULAÇÃO DE REDE LOCAL E REDES LOCAIS VIRTUAIS.....	35
2.10 CONCLUSÃO.....	35
CAPÍTULO 3	
ATMnet	
3.1 INTRODUÇÃO.....	37
3.2 PLANEJAMENTO.....	39
CÁLCULO DA BANDA EFETIVA.....	39
CÁLCULO DE DISTRIBUIÇÃO DE DEMANDA.....	40
BUSCA DO CAMINHO MÍNIMO.....	42
ENCAMINHAMENTO DO TRÁFEGO.....	44
CÁLCULO DE ATRASOS E PROBABILIDADES DE PERDA DE	
CÉLULAS EM ENLACES.....	44
3.3 DESCRIÇÃO DO PROGRAMA.....	45
3.4 REPRESENTAÇÃO EM NÍVEIS.....	46
3.5 DESCRIÇÃO DOS NÓS.....	47
DADOS RELATIVOS A NÓS.....	47
3.6 DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS.....	49
DADOS RELATIVOS A SERVIÇOS.....	49
3.7 DESCRIÇÃO DO ENLACE.....	51
DADOS RELATIVOS A ENLACES.....	51
3.8 ESTUDO DE CASO - INTRODUÇÃO DE EQUIPAMENTOS ATM PARA	
INTERCONEXÃO ENTRE PRÉDIOS.....	52
UNIDADES.....	52
DOCUMENTAÇÃO.....	53
NÍVEL GENÉRICO.....	54
NÍVEL DE SUB-REDE.....	55
3.9 AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO E DE UTILIZAÇÃO.....	58
3.10 CONCLUSÃO.....	58
CONCLUSÃO.....	60
APÊNDICE 1	
DIAGRAMA DE FLUXO DE DADO	
A1.1 CONVENÇÕES SIMBÓLICAS.....	61
ENTIDADE EXTERNA.....	61
FLUXO DE DADOS.....	61
PROCESSO.....	62
DEPÓSITO DE DADOS.....	62

A1.2	CONVENÇÕES DE EXPANSÃO.....	63
A1.3	DIAGRAMAS DE FLUXOS DE DADOS RELATIVOS AO ATMnet..	63
	NÍVEL 0.....	64
	NÍVEL 1.....	65
	NÍVEL 2.....	66
	DICIONÁRIO DE DADOS - FLUXO DE DADOS.....	67
	DICIONÁRIO DE DADOS - ESTRUTURAS DE DADOS.....	71
	DICIONÁRIO DE DADOS - ELEMENTOS DE DADOS.....	77
	DICIONÁRIO DE DADOS - DEPÓSITOS DE DADOS.....	87
	DICIONÁRIO DE DADOS - PROCESSOS.....	90
APÊNDICE 2		
O MODELO DE REFERÊNCIA OSI		
	A2.1 ESTRUTURA EM CAMADAS.....	93
	A2.2 A CAMADA FÍSICA.....	94
	A2.3 CAMADA DE ENLACE.....	94
	A2.4 CAMADA DE REDE.....	95
	A2.5 CAMADA DE TRANSPORTE.....	95
	A2.6 CAMADA DE SESSÃO.....	95
	A2.7 CAMADA DE APRESENTAÇÃO.....	95
	A2.8 CAMADA DE APLICAÇÃO.....	96
	A2.9 TRANSMISSÃO DE DADOS NO MODELO OSI.....	96
APÊNDICE 3		
COMUTAÇÃO		
	A3.1 COMUTAÇÃO DE CIRCUITOS.....	97
	A3.2 COMUTAÇÃO DE MENSAGENS.....	98
	A3.3 COMUTAÇÃO DE PACOTES.....	98
	SIGLAS.....	99
	DEFINIÇÕES.....	101
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102

RESUMO

A evolução tecnológica e a oferta de novos serviços, tais como voz e vídeo interativo e transmissão de dados gráficos, têm gerado uma necessidade de reestruturação das redes locais tradicionais. A topologia que envolve compartilhamento do meio físico é bastante eficiente para transmissão de dados, que embora exijam baixas probabilidades de erros, são bastante tolerantes com relação a atrasos, suportando dessa forma retransmissões e congestionamentos. As aplicações multimídia nas redes locais, no entanto, apresentam restrições severas quanto a atrasos, ocupam grande banda e requerem transmissões a altas taxas, tornando assim a topologia física de acesso múltiplo inadequada e requerendo a migração para outra base tecnológica. Essa base é o *ATM (Asynchronous Transfer Mode)*. Devido ao fato de a tecnologia ATM ser relativamente nova no ambiente das redes locais, representar maior investimento financeiro e ser mais complexa tanto na implantação quanto no gerenciamento, existe a necessidade de planejamento. Nesse contexto se insere este trabalho, no qual são apresentadas as características básicas do ATM, sua aplicabilidade nas redes locais e um aplicativo matemático-computacional destinado à implantação da tecnologia ATM nas redes locais.

ABSTRACT

The technological advances and the offer of new services, like voice and interactive video and graphic data transmission, have generated a need of changes in traditional local area networks. The topology that involves shared media is quite efficient for data transmission applications, which require low error probabilities but are very tolerant to delays, supporting retransmissions and congestions. The multimedia applications in local area networks, however, have strong delay constraints, need large bandwidth and require transmission at high rates, making the multiple access topology inadequate and creating a need for another technology. This technology is ATM (Asynchronous Transfer Mode). As ATM is new in the local area networks environment, its implantation and management are more complex and require higher financial investments, leading to the need of careful planning. This work is inserted in this context, presenting the basic characteristics of ATM, its aplicability in local area networks, and a software designed for suporting ATM-based LANs.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ivanil Sebastião Bonatti (presidente)
FEEC/Unicamp

Profa. Dra. Eunice Luvizotto Medina Pissolato
CPqD - Telebrás - Campinas - SP

Prof. Dr. Pedro Luis Dias Peres
FEEC/Unicamp

Prof. Dr. Sushaburo Motoyama (suplente)
FEEC/Unicamp

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos ao Prof. Ivanil Sebastião Bonatti por sua orientação e pelo acompanhamento deste trabalho durante todo o seu desenvolvimento. Gostaria de agradecer também a Amaury Kruei Budri, e à CAPES pelo apoio financeiro.

INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica e a oferta de novos serviços têm gerado uma necessidade de reestruturação das redes locais. Os serviços multimídia requerem transmissão a altas taxas, gerando dessa forma uma necessidade de faixa larga também no ambiente das redes locais. O sucesso das redes locais tradicionais deve-se ao fato de o tráfego gerado por cada estação ser pequeno, permitindo assim a utilização de topologias simples, levando a considerações de tecnologia e custos bastante distintas das redes faixa larga. Entretanto, com a introdução das aplicações multimídia, tais como voz e vídeo interativo, a topologia física de acesso múltiplo torna-se inadequada, conduzindo à necessidade de migração para uma base tecnológica que permita a introdução dos novos serviços nas redes locais e propicie uma transição gradativa, de modo a permitir o aproveitamento do parque já instalado.

Diferentemente das tecnologias utilizadas nas redes locais tradicionais, as redes ATM apresentam uma topologia física que envolve estações conectadas de forma ponto-a-ponto. Desse modo, passa a existir a necessidade de encaminhamento e, portanto, da introdução de nós de comutação, o que não ocorre em um meio físico compartilhado no qual a informação é transmitida por difusão. A curto e médio prazo, as aplicações destinadas às redes locais tradicionais devem continuar rodando na nova plataforma, e algumas características das redes tradicionais devem ser suportadas, tais como a capacidade *broadcast*. Visando prover essas funcionalidades, foram criados os conceitos de *emulação de redes locais sobre a tecnologia ATM* e de *redes virtuais*.

Devido ao fato de a tecnologia ATM ser relativamente nova no ambiente das redes locais, ser mais complexa e requerer consideráveis investimentos financeiros, existe a necessidade de um planejamento elaborado. Embora o planejamento seja uma etapa fundamental na criação de redes ou migração para novas plataformas, ainda não existe uma metodologia consagrada para se efetuar o planejamento. O planejamento está relacionado a previsões, e deve considerar a situação da rede no presente, bem como as perspectivas tecnológicas, demandas futuras e fatores de custo.

Por ser o ATM uma tecnologia emergente, que não se encontra completamente padronizada e é nova no contexto das redes locais, existe uma ausência de ferramental matemático-computacional que auxilie projetistas na implantação da tecnologia ATM nessas redes, sendo este o principal fator que motivou este trabalho. A tese é estruturada em três capítulos. O primeiro aborda as principais características da rede ATM. O capítulo 2 abrange as redes virtuais e suas principais formas de implementação, enfocando a emulação de redes locais. No capítulo 3 é apresentado o ATMnet, um aplicativo implementado com o objetivo de auxiliar projetistas de redes locais ATM na etapa de planejamento. Ainda no capítulo 3, são apresentados os modelos adotados neste trabalho para o processo de planejamento e um estudo de caso avaliado no ATMnet.

CAPÍTULO 1

TECNOLOGIA ATM (ASYNCHRONOUS TRANSFER MODE)

Neste capítulo são apresentadas resumidamente as principais características da tecnologia ATM de comunicação.

O modo de transferência assíncrono (*Asynchronous Transfer Mode - ATM*) baseia-se na transmissão de pequenas unidades de informação de tamanho fixo e padronizado denominadas *células*. A transferência de dados é precedida por uma fase de estabelecimento de conexão, na qual é verificado se a rede é capaz de suportar a qualidade de serviço requerida para a conexão. Uma conexão é aceita somente se a rede apresentar recursos suficientes disponíveis. As células são transportadas através de *conexões com circuitos virtuais*, sendo seu encaminhamento baseado em informações contidas em um cabeçalho. A conexão entre dois nós terminais é denominada *conexão de canal virtual (VCC - Virtual Channel Connection)*. A cada VCC encontram-se associados parâmetros de *qualidade de serviço*, tais como atrasos máximos e prioridade de descarte de células.

O modo de transferência assíncrono opera com multiplexação estatística, significando que o meio de transmissão é compartilhado por diferentes tipos de tráfego. A camada de adaptação (*AAL - ATM Adaptation Layer*) tem por objetivo adequar as características internas da rede ATM aos vários tipos de tráfego. Por suportar diferentes tipos de tráfego, o ATM é a tecnologia adotada para as *Redes Digitais de Serviços Integrados (RDSI)*.

1.1. CARACTERÍSTICAS DA TECNOLOGIA ATM

Em uma rede ATM, a informação é transmitida em pequenas unidades de tamanho fixo denominadas *células*. As células são transportadas em conexões. Assim como na modalidade de comutação de circuitos, a fase de transferência de dados em uma rede ATM deve ser precedida por uma fase de estabelecimento de conexão. Dessa forma, os dados liberados para a rede por um ponto terminal origem são transferidos ao ponto terminal destino na mesma seqüência em que foram apresentados à rede.

Em caso de congestionamentos na rede, ocorrem descartes de células, de acordo com a prioridade estabelecida pelo usuário. Como medida preventiva contra congestionamentos, a rede efetua um controle na entrada dos dados. Para cada conexão solicitada, o usuário estabelece *parâmetros de qualidade de serviço (QoS - Quality of Service)*, que especificam prioridades de perda de células e atrasos máximos. De acordo com a disponibilidade de recursos na rede, a conexão pode ser aceita ou rejeitada. Durante a fase de transferência de dados, as conexões são monitoradas para verificar se as células estão de acordo com os parâmetros de qualidade de serviço estipulados durante a fase de estabelecimento de conexão.

Células que trafegam na rede estão sujeitas a perdas e descartes, decorrentes de congestionamentos ou falhas da rede. A rede não notifica descartes e perdas de células, cabendo portanto aos pontos terminais a integridade de dados fim-a-fim e a detecção de perdas e recuperação dos dados.

1.2. INTERFACES DE REDE

A Figura 1.1 ilustra a estrutura de uma rede ATM, na qual existem três redes interligadas, sendo uma pública e duas privadas. O usuário pode se conectar diretamente a cada uma delas através de interfaces apropriadas.

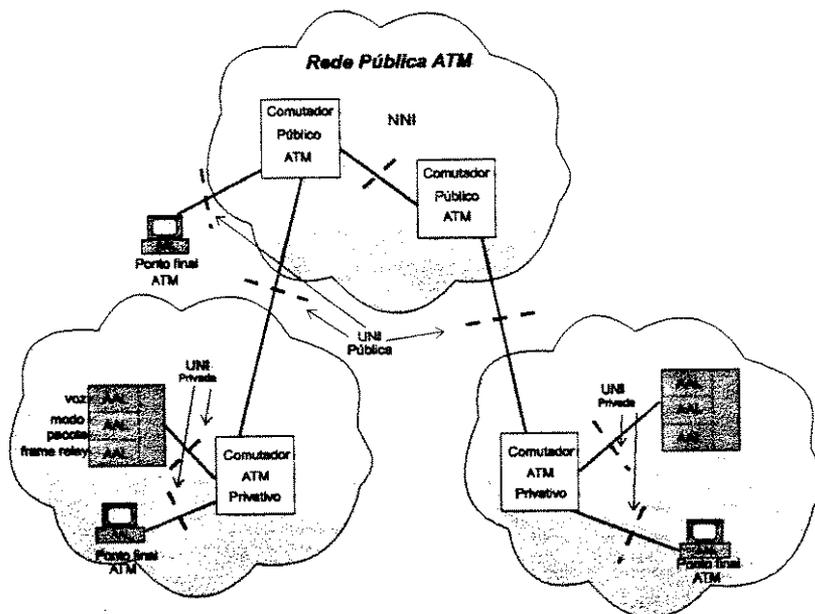


Figura 1.1 - Estrutura básica de uma rede ATM.

Os comutadores ATM são classificados em *comutadores públicos* e *comutadores privados*. As principais diferenças entre esses dois tipos de comutadores residem nos tipos de enlaces suportados, nos modos de endereçamento, e em suas capacidades de processamento, tendo em vista que os comutadores públicos geralmente apresentam maior vazão que os comutadores privados.

Um ponto terminal ATM constitui a parte do equipamento do usuário que se relaciona com a rede ATM, efetuando transmissão e recepção de células. Um ponto terminal se conecta à rede ATM através de uma *User Network Interface (UNI)*.

Uma UNI pode ser pública ou privada, de acordo com o tipo de conexão estabelecida. Os pontos terminais se conectam a uma rede ATM pública através da UNI pública. A UNI privada geralmente é utilizada na ligação entre pontos terminais e comutadores situados em uma rede privada.

As principais características que diferenciam a UNI pública da privada são:

- formatos de endereço – redes públicas utilizam endereços *E.164* [Pricker 95], enquanto que as técnicas de endereçamento das redes locais derivam dos padrões das redes locais ou do modelo *OSI* (vide Apêndice 1);
- tipos de enlaces suportados – os enlaces na UNI privativa utilizam protocolos que trabalham a curtas distâncias e portanto são impróprios para a UNI pública;
- instituição de padronização – a UNI pública é definida pelo *ITU-T* e a UNI privativa é definida pelo *ATM Forum*¹.

Uma Network Node Interface (NNI) conecta dois nós da rede pública ATM.

1.3. MODELO DE REFERÊNCIA DE PROTOCOLO

A Figura 1.2 mostra o protocolo de referência ATM definido pela recomendação I.321 do ITU-T, composto por três planos:

- *plano de usuário;*
- *plano de controle;*
- *plano de gerenciamento.*

Os planos de usuário e de controle são subdivididos nas camadas de *adaptação*, *ATM* e *física*, conforme pode ser observado na Figura 1.2.

O plano de usuário tem como função a transferência de informações de usuários. O plano de controle é utilizado para efetuar operações de controle, tais como sinalização para ativar, manter e desativar conexões. O plano de gerenciamento é responsável pelo gerenciamento dos planos e pelo gerenciamento das camadas. O gerenciamento dos planos coordena a interação entre os planos de usuário, de controle e do próprio plano de gerenciamento. O gerenciamento das camadas realiza as funções de gerenciamento locais, e trata da troca de informações entre as camadas do plano de usuário e a gerência de plano.

¹O ATM Forum é uma organização internacional sem fins lucrativos formada com o objetivo de acelerar o uso de produtos e serviços baseados na tecnologia ATM, bem como promover a rápida convergência de especificações relacionadas a interoperabilidade.

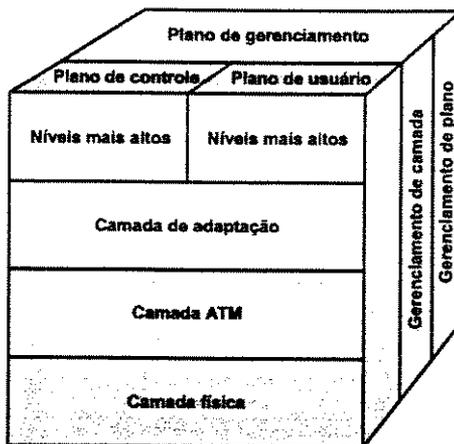


Figura 1.2 - Modelo de referência de protocolo ATM da ISO.

As camadas física e ATM são divididas em subcamadas, cujas funcionalidades encontram-se descritas na Tabela 1.1.

Camada/Subcamada	Função
Camada de Adaptação Subcamada de segmentação e remontagem	-Partição do fluxo de informação em segmentos -Remontagem dos segmentos a partir das células recebidas
Subcamada de convergência	-Multiplexação de serviços, detecção de perdas de células, recuperação de relógio
Camada ATM	-Controle de fluxo -Adição/remoção de cabeçalho -Multiplexação e demultiplexação de células -Comutação e encaminhamento de células
Camada Física Subcamada de convergência de transmissão	-Desacoplamento entre taxa de geração e taxa de transmissão -Controle de erros do cabeçalho -Delineamento de células
Subcamada do meio físico	-Transmissão dos bits pelo meio físico

Tabela 1.1 - Subcamadas das camadas física e ATM.

1.4. A CAMADA ATM

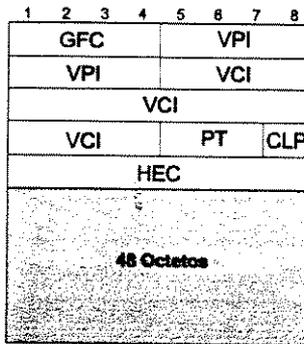
A camada ATM é responsável pelo transporte da informação através da rede. Uma rede ATM é composta por terminais de rede e nós de comutação interligados ponto-a-ponto. A tecnologia ATM opera no modo orientado à conexão, ou seja, a transmissão da informação é precedida por uma fase de estabelecimento de conexão, em que um circuito virtual é criado na rede. A cada circuito virtual são associados *parâmetros de QoS*, através dos quais são especificados os recursos necessários para o tipo de tráfego que será transportado nessa conexão. Caso a rede não possua recursos suficientes disponíveis, a conexão é rejeitada. Quando a fase de estabelecimento de conexão é bem sucedida, é iniciada a fase de *transferência de dados*. Ao se encerrar a conexão, os recursos são liberados.

Os circuitos virtuais são divididos em dois níveis:

- canais virtuais (*VC - virtual channel*), identificados pelo *Virtual Channel Identifier (VCI)*;
- caminhos virtuais (*VP - virtual path*), identificados pelo *Virtual Path Identifier (VPI)*.

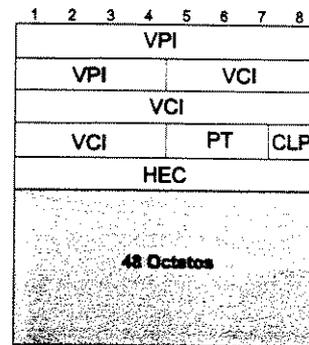
A célula ATM é composta por um cabeçalho de 5 bytes e por um campo de informação de 48 bytes.

O tamanho reduzido das células diminui consideravelmente atrasos na transferência dos dados através da rede, pois limita o tamanho dos *buffers* internos dos nós de comutação, bem como as filas de espera referentes a esses *buffers*.



UNI

Figura 1.3a



NNI

Figura 1.3b

Figura 1.3 - Formato da célula ATM nas interfaces UNI e NNI

O conteúdo do cabeçalho da célula depende do tipo de informação transmitida. Se a célula contiver informação transmitida por um usuário (através da UNI), o formato da célula é esquematizado na Figura 1.3a. Caso a célula contenha informações trocadas entre os nós da rede (através da NNI), a estrutura da célula é a mostrada na Figura 1.3b.

Conforme pode ser observado na Figura 1.3, o campo GFC (*Generic Flow Control*) aparece somente na célula UNI, portanto ele não é transportado através da rede, apresentando significância local entre um ponto terminal ATM e o comutador ao qual se encontra conectado.

Os campos VCI e VPI são utilizados na operação de encaminhamento. Juntos, esses campos permitem a identificação da conexão à qual uma determinada célula pertence. Alguns valores de VCI são pré-allocados para tarefas de sinalização, administração e manutenção da rede. Os VCIs no intervalo VCI=0 a VCI=15 são reservados pelo ITU-T. O conjunto de VCIs no intervalo VCI=16 a VCI=31 são reservados pelo *ATM Forum*.

O campo PT (*Payload Type*) apresenta uma codificação que indica o tipo e o estado da célula. Existem três bits disponíveis para esse campo, denominados *bit 0*, *bit 1* e *bit 2*, respectivamente. O bit 0 indica o tipo do campo de informação. Quando esse bit é 0, o campo de informação da célula contém dados de usuário. Quando o bit é 1, o campo de informação está sendo utilizado para transporte de operações de sinalização, administração e gerenciamento. O bit 1 igual a 1 indica que uma célula passou por congestionamentos na rede. O bit 2 é utilizado pelas camadas superiores, sendo que bit 2 igual a 1 indica que essa célula é o final de um bloco de dados de usuário.

O bit CLP (*Cell Loss Priority*) indica a prioridade de descarte da célula. Quando o bit assume o valor 1, a célula apresenta alta prioridade de descarte e poderá ser descartada em caso de problemas na rede, tais como congestionamentos.

O campo HEC (*Header Error Check*) permite a correção de um único bit, e a detecção de um ou vários bits incorretos no cabeçalho da célula.

1.5. COMUTAÇÃO NA REDE ATM

As células em uma rede ATM são transportadas através de conexões. A conexão entre dois nós terminais é denominada Conexão de canal virtual (*Virtual Channel Connection - VCC*), é unidirecional e sempre ocorre aos pares. Uma conexão de canal virtual é composta por um conjunto de *enlaces de canal virtual (VCL - Virtual Channel Link)* que se estendem entre os nós de comutação. Cada enlace de canal virtual é localmente identificado dentro do enlace pelo campo VCI (*Virtual Channel Identifier*). Na rede ATM são utilizados enlaces ópticos capazes de transportar informações a centenas de *Mbps*, enquanto que canais virtuais requerem taxas da ordem de *kbps*. Dessa forma, cada enlace físico comporta vários canais de enlace virtual simultâneos, e a identificação de cada um dos canais de enlace virtual é definida pelo campo VCI.

Existem diversos tipos de conexões virtuais, que incluem:

- aplicações usuário-usuário entre os equipamentos de usuários;
- aplicações usuário-rede entre os equipamento do usuário e nós da rede;
- aplicações rede-rede entre dois nós da rede, o que inclui o tráfego de encaminhamento e gerenciamento.

Caminhos Virtuais

Caminho virtual (*Virtual Path - VP*) é o termo utilizado para designar um conjunto de *enlaces de canal virtual (VCL)* que apresentam os mesmos pontos terminais. Assim como para os canais virtuais, *enlaces de caminho virtual* podem ser unidos de modo a formar uma *conexão de caminho virtual (Virtual Path Connection - VPC)*. Cada conexão de caminho virtual é

identificada por seu VPI (*Virtual Path Identifier*). Um enlace de canal virtual pode ser identificado em cada comutador por um identificador de VPL (VPI) mais um identificador de conexão (VCI). Dentro de um *cross-connect ATM* o VCI não é analisado, pois todos os VCs contidos em um VP seguem a mesma rota definida pelo caminho.

Os caminhos virtuais podem constituir conexões semi-permanentes, nas quais recursos são alocados objetivando maior eficiência e facilidade de gerenciamento da rede. Assim, as células pertencentes a uma determinada conexão de canal virtual seguem o mesmo caminho físico.

Caminhos virtuais podem existir:

- entre dois pontos terminais ATM;
- entre comutadores ATM e pontos terminais ATM;
- entre comutadores ATM.

Os caminhos virtuais são utilizados para simplificar a estrutura de endereçamento ATM, pois provêem rotas lógicas entre dois nós de comutação que não se encontram necessariamente ligados por um enlace físico direto. A Figura 1.4 ilustra a relação entre canais e caminhos virtuais.

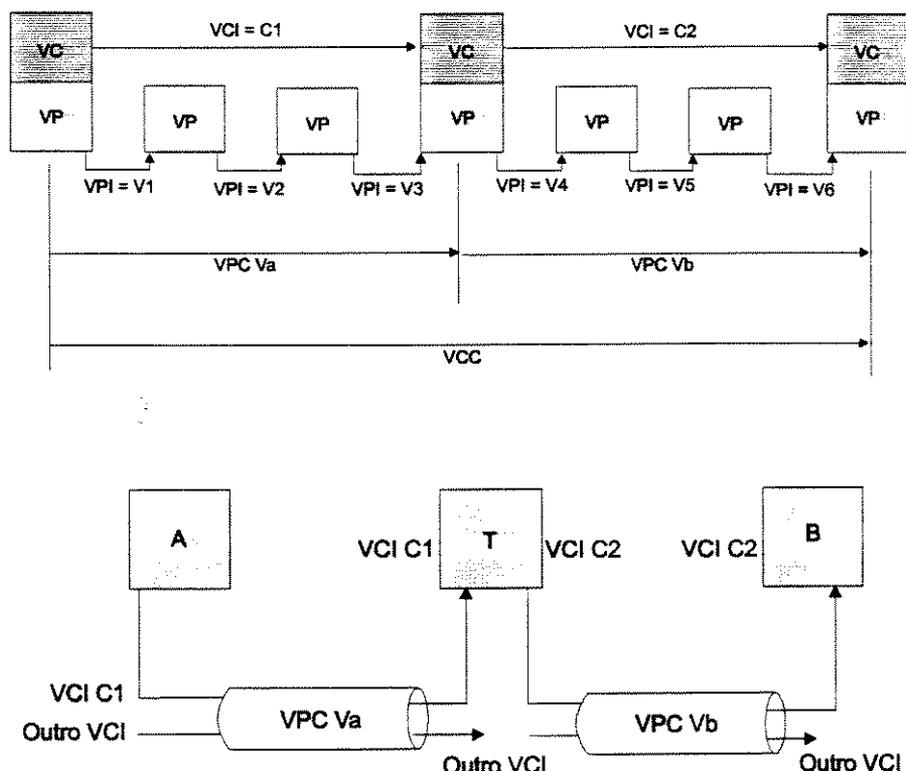


Figura 1.4 - Relação entre canais virtuais e caminhos virtuais.

Um nó de comutação é formado por várias portas associadas aos enlaces físicos da rede. A operação básica de um nó de comutação ATM consiste em receber células através de um enlace, sendo conhecidos os valores VPI e VCI, e em seguida determinar a porta de saída apropriada. Para efetuar o encaminhamento, os nós de comutação mantêm *tabelas de encaminhamento*, que indicam o encaminhamento das células para cada VCC.

Em uma rede ATM não existe um tipo de conexão análogo à capacidade *broadcast* (em que um único sistema transmite para vários outros), comum nas tecnologias de redes locais, como *Ethernet* e *Token Ring*. A introdução de capacidade *broadcast* em redes ATM pode ser feita de duas formas:

- *Servidor Multicast*, em que os sistemas terminais que desejarem enviar dados a um determinado grupo *broadcast* devem estabelecer uma conexão ponto-a-ponto com um dispositivo externo denominado *Servidor Multicast*, que por sua vez estabelece uma conexão ponto-a-multiponto com todos os sistemas terminais pertencentes ao grupo *broadcast*. A estação terminal transmissora envia as células com destino *broadcast* ao servidor *multicast* através da conexão ponto-a-ponto, e o servidor *multicast* replica e retransmite as células para todas as estações pertencentes ao grupo *broadcast* através da conexão ponto-a-multiponto;
- *Conexões Ponto-a-Multiponto*, em que todos os nós pertencentes a um grupo *broadcast* estabelecem uma conexão ponto-a-multiponto com cada um dos outros elementos do grupo. Assim, os nós podem transmitir e receber informações de todos os nós. Este método requer um processo de registro para cada nó inserido no grupo, de modo a possibilitar o estabelecimento das conexões.

1.6. A CAMADA DE ADAPTAÇÃO

A Camada de Adaptação efetua o mapeamento entre a camada ATM e as camadas de nível mais alto, provendo à rede flexibilidade com relação aos diferentes tipos de tráfego. No caso da transmissão de dados, a AAL segmenta blocos de dados em células e adiciona um cabeçalho de modo a permitir a reconstrução do quadro no receptor. A camada de adaptação não efetua recuperação de erros, cabendo essa função aos níveis superiores de protocolo. Quando um erro é identificado em uma célula (através do campo CRC do cabeçalho), essa célula não é liberada para o receptor.

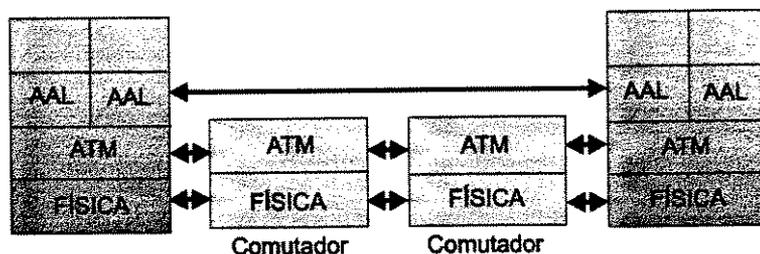


Figura 1.6 - A camada AAL (ATM Adaptation Layer).

Os níveis superiores de protocolo acessam as funcionalidades da rede através da chamada *interface de serviço*. A interface de serviço é interna ao dispositivo, e é especificada como uma série de operações primitivas lógicas que podem ser implementadas de forma distinta nos

vários equipamentos de rede. É função da camada AAL conectar a interface de serviço à rede ATM, como é mostrado na Figura 1.6.

1.6.1. CLASSES DE SERVIÇO

Classe A (Circuit Emulation)

É utilizada para emulação de circuitos em serviços isócronos que requeiram transmissão a taxa constante, como a transmissão de voz.

Nos serviços de classe A, as funções da camada AAL são:

- quebra e remontagem de quadros;
- controle de atraso;
- tratamento de erros na entrega de células e tratamento das perdas de células;
- recuperação do relógio de origem.

Classe B (Variable-bit-rate Services)

Utilizada para serviço orientado à conexão com taxa variável, existindo a necessidade de sincronização entre origem e destino. Como exemplos de aplicações têm-se tráfego de voz e de vídeo, cuja transmissão pode ser efetuada a taxas variáveis, devido a técnicas de compressão.

Os serviços oferecidos pela classe B são:

- quebra e remontagem de quadros;
- controle de atraso;
- recuperação de relógio;
- indicação de perda de informação.

Classe C (Connection Oriented Data)

Destinada aos serviços não isócronos orientados à conexão, em que variações de atraso não acarretam grande impacto na aplicação.

O serviço de classe C deve prover:

- segmentação e remontagem de quadros em células;
- detecção e sinalização de erros em dados.

Como exemplo de serviço Classe C, têm-se o serviço de transferência de quadros oferecido pelo serviço *Frame-Relay* [Soares 95] e os serviços encontrados nas redes de comutação por pacotes *X.25* [Soares 95].

Classe D (*Connectionless Data*)

Define serviços sem conexão e com taxa variável. As funções requeridas para esse tipo de serviço são:

- segmentação e remontagem de quadros em células;
- detecção de erros em dados;
- multiplexação e demultiplexação de fluxo de vários usuários em um fluxo único;
- endereçamento e encaminhamento.

Classe X

Define um serviço orientado à conexão ATM. Neste caso, a camada AAL não apresenta funcionalidade.

Há cinco tipos de camada AAL:

- *AAL 0* corresponde ao processo que conecta a interface de serviço AAL diretamente aos serviços internos da rede ATM;
- *AAL 1* trata do fornecimento de serviços de classe A;
- *AAL 2* trata do fornecimento de serviços de classe B;
- *AAL 3/4* efetua os procedimentos necessários para prover serviços do tipo C e D;
- *AAL 5* trata do fornecimento dos serviços classe C e D, porém de forma mais simples que a *AAL 3/4*.

1.7. ADMINISTRAÇÃO DE TRÁFEGO

A tecnologia ATM opera com multiplexação estatística, o que significa que o meio de transmissão é compartilhado por diferentes fontes de tráfego. O gerenciamento e controle de tráfego deve prover as seguintes funcionalidades:

- mecanismo de controle de admissão de conexões (*CAC - Connection Admission Control*), que analisa os requisitos da conexão a ser estabelecida frente às condições atuais da rede. Caso a rede apresente recursos suficientes, a conexão é aceita; caso contrário, a conexão é rejeitada;

- função de controle dos parâmetros do *usuário* (*UCP - Usage Control Parameters*), que verifica se as células das conexões estabelecidas estão em conformidade com o contrato de tráfego;
- controle de prioridade de descarte de células – cada célula ATM possui um bit de indicação de prioridade de descarte cujo valor é definido pelo usuário ou pela rede em casos de congestionamento;
- controles baseados em realimentações, que são definidos como o conjunto de ações tomadas pela rede ou pelos terminais visando regular o tráfego gerado pelas conexões de acordo com o estado da rede.

Cada conexão é caracterizada por um conjunto de parâmetros. Os parâmetros são classificados em *parâmetros descritores de tráfego* e *parâmetros de qualidade de serviço*.

PARÂMETROS DE TRÁFEGO

As características do tráfego são descritas por um conjunto de parâmetros denominados *descritores de tráfego*. Os descritores de tráfego possibilitam a operação das funções de *controle de admissão de conexão* e do *controle dos parâmetros do usuário*.

Os parâmetros de tráfego são:

- Tolerância de variação de atraso das células (*CDVT - Cell Delay Variation Tolerance*) – as funções da camada ATM podem alterar as características de tráfego nas conexões ATM através da introdução de variação de atrasos. Quando células provenientes de duas ou mais conexões são multiplexadas, as células de uma delas podem sofrer atrasos devido à transmissão das células das outras conexões. Similarmente, algumas células podem ser atrasadas devido a *overheads* de inserção de células *OA&M (Operation, Administration and Maintenance)*.
- Taxa de pico de células (*PCR - Peak Cell Rate*) especifica a taxa máxima de dados oferecida em uma conexão ATM;
- Taxa média de células (*SCR - Sustainable Cell Rate*) especifica a taxa média máxima oferecida em uma conexão ATM;
- Tamanho máximo do surto (*MBS - Maximum Burst Size*) especifica o número máximo de células que podem ser emitidas durante um período de surto;
- Taxa mínima de células (*MCR - Minimum Cell Rate*) especifica a taxa mínima de células em uma conexão ABR.

PARÂMETROS DE QUALIDADE DE SERVIÇO

Os parâmetros de QoS (*Quality of Service*) negociados entre o usuário e a rede são:

- PtP-CDV (*Peak-to-Peak Cell Delay Variation*) é um componente do atraso de transferência da célula, decorrente do processo de armazenamento e remontagem de células;
- maxCTD (*Maximum Cell Transfer Delay*) é o tempo máximo decorrido desde a partida da célula da UNI origem até a chegada da célula à UNI destino;
- CLR (*Cell Loss Ratio*) é definido como sendo a relação entre o número de células perdidas e o número de células transmitidas. O objetivo é minimizar o valor desse parâmetro durante a conexão.

CATEGORIAS DE SERVIÇO ATM

Taxa de bit constante (CBR - Constant Bit Rate)

É o serviço do ATM que se aplica a transmissões de seqüências de bits a uma taxa constante predefinida. Como exemplos dessa categoria, têm-se os serviços de voz e emulação de circuito.

Parâmetros de tráfego aplicáveis:

- PCR e CDVT

Parâmetros de QoS aplicáveis:

- CLR
- PtP-CDV
- Max CTD

Tempo real a taxa variável (rt-VBR - Real-Time Variable Bit Rate)

Serviços pertencentes a esta categoria requerem garantia de baixos atrasos e apresentam taxa de transmissão variável. Vídeo comprimido e voz comprimida com supressão de silêncio são exemplos dessa categoria de serviço.

Parâmetros de tráfego aplicáveis:

- PCR e CDVT
- SCR
- MBS

Parâmetros de QoS aplicáveis:

- CLR
- PtP-CDV
- Max CTD

Não em tempo real de taxa variável (nrt-VBR - Non-Real-Time Variable Bit Rate)

Essa categoria é indicada para aplicações que não apresentem características de tempo real e possuam tráfego em surtos. É o serviço básico ATM para uso em aplicações de dados, como *e-mail* multimídia.

Parâmetros de tráfego aplicáveis:

- PCR e CDVT
- SCR
- MBS

Parâmetros de QoS aplicáveis:

- CLR

Taxa de bit não especificada (UBR - Unspecified Bit Rate)

Indicado para aplicações que não trabalham em tempo real e não requerem atrasos máximos, tais como transferência de arquivos e *e-mail*. As células são transmitidas quando há banda disponível e descartadas em casos de congestionamento. É adequado para as aplicações de dados de redes locais, assim como no caso de emulação de redes locais.

Para os serviços CBR e VBR os recursos da rede são reservados no momento do estabelecimento da conexão, de modo a possibilitar que as fontes CBR e VBR transmitam em suas taxas máximas (definidas pelo parâmetro PCR) e máximas taxas médias (definidas pelo parâmetro SCR) com garantia de desempenho. O mesmo não ocorre para o serviço UBR, em que não existem níveis de desempenho pré-contratados.

Parâmetros de tráfego aplicáveis:

- PCR e CDVT

Taxa de bit disponível (ABR - Available Bit Rate)

Essa categoria visa oferecer uma entrega de serviço com mínima perda de células para aplicações que tolerem variações na taxa de transmissão e atrasos. O serviço ABR pode ter a taxa de bit de uma determinada conexão modificada dinamicamente, de acordo com mudanças nas condições da rede. Tal como ocorre para a classe de serviço UBR, a categoria ABR também não negocia níveis de desempenho no momento do estabelecimento da conexão.

Parâmetros de tráfego aplicáveis:

- SCR e CDVT
- MCR

A Tabela 1.2 exhibe as características das categorias de serviço ATM e a Tabela 1.3 mostra os parâmetros de tráfego e QoS aplicáveis a cada uma das categorias de serviço ATM.

Características	CBR	rt-VBR	nrt-VBR	ABR	UBR
garantia de banda disponível	sim	sim	sim	parcial	não
adaptável para tempo real	sim	sim	não	não	não
adaptável para tráfego em surto	não	não	sim	sim	sim
controle de congest. por realimentação	não	não	não	sim	não

Tabela 1.2 - Características das categorias de serviço ATM

CBR	rt-VBR	nrt-VBR	ABR	UBR
PCR e CDVT				
	SCR e MBS	SCR e MBS		
			MCR	
ptpCDV	ptpCDV			
MaxCTD	MaxCTD			
CLR	CLR	CLR		

Tabela 1.3 - Parâmetros das categorias de serviço ATM.

1.8. SINALIZAÇÃO

Sinalização é o processo utilizado para estabelecimento e terminação de conexões ATM de forma dinâmica. As conexões podem ser permanentes, estabelecidas através de processos OA&M, ou as conexões podem ser comutadas, caso em que o estabelecimento das conexões é efetuado por um processo de sinalização. Caso uma conexão permanente seja perdida, ela será automaticamente reestabelecida pela gerência da rede. Se uma conexão comutada é perdida, ela deverá ser restaurada através de uma requisição do ponto terminal.

A sinalização é transmitida em canais virtuais específicos. Uma requisição de estabelecimento de conexão é enviada para a rede em um canal de sinalização especial. Durante o estabelecimento da conexão, é informado ao usuário qual VPI e qual VCI serão utilizados na conexão. Informações mais detalhadas a respeito do tópico sinalização podem ser obtidos em [Dutton 95].

1.9. P-NNI (PRIVATE NETWORK-TO-NETWORK / NODE-TO-NODE INTERFACE)

P-NNI é uma especificação do ATM Forum para conectar comutadores ou redes ATM. A P-NNI padroniza a *Public Node-to-Node Interface* ou a *Private Network-to-Network Interface*, dependendo do contexto em que é utilizada.

A Figura 1.7 ilustra os usos da P-NNI.

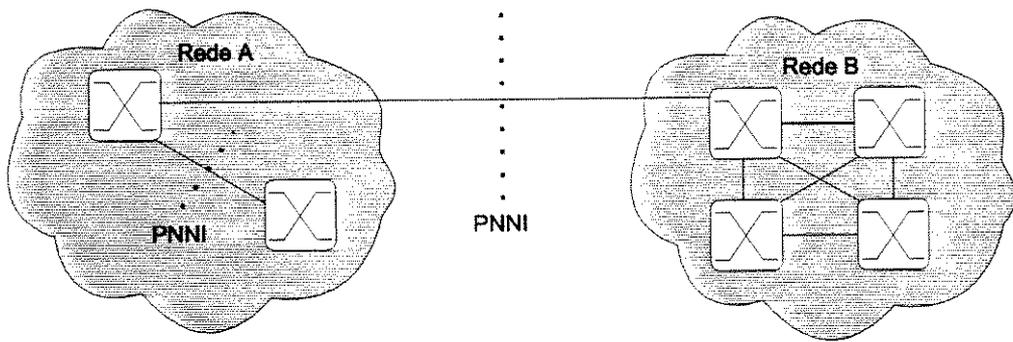


Figura 1.7 - Uso da PNNI (Private Network-to-Network/Node-to-Node Interface).

Considerando que as conexões são categorizadas em diversos tipos (CBR, VBR, ABR e UBR), dependendo das garantias de QoS solicitadas e das características dos tipos de tráfego, a rede deve apresentar uma funcionalidade que indique se uma determinada requisição de conexão poderá ou não ser suportada. Essa funcionalidade cabe à P-NNI.

Na P-NNI, cada comutador possui uma base de dados contendo a topologia da rede, de modo a possibilitar que se efetue um estabelecimento de rota simplificado. Um estabelecimento mais elaborado envolve um processo cooperativo entre diversos comutadores.

O processo de estabelecimento da rota baseia-se em uma estrutura hierárquica de sistemas de comutação virtuais. Um sistema de comutação virtual pode ser um nó de comutação físico, ou um grupo de sistemas de comutação interconectados. Um comutador virtual é denominado *Logical Group Node (LGN)*. Esse conceito é ilustrado na Figura 1.8.

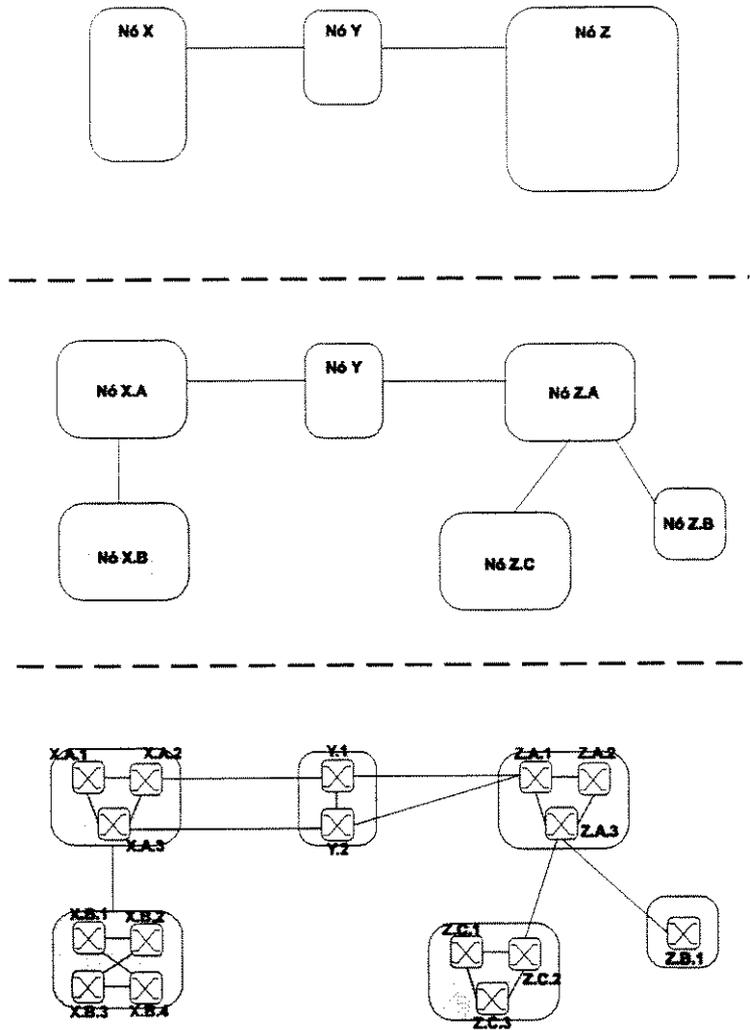


Figura 1.8 - Visão hierárquica de rede.

A hierarquia é construída com base em endereços ATM. Cada comutador físico é identificado por um endereço ATM único.

Cada grupo lógico (LGN) é composto por um *grupo par* de LGNs ou comutadores físicos. Um grupo par é um grupo de sistemas de comutação ou LGNs interconectados e que apresentam a mesma identificação de grupo. A identificação de grupo é estabelecida através de endereços ATM.

No nível mais baixo da representação hierárquica, os comutadores são interconectados através de enlaces físicos ou através de VPCs. Nos níveis mais altos existem enlaces lógicos que podem representar um ou mais enlaces físicos, conforme pode ser observado na Figura 1.8. Ainda no nível mais baixo, os comutadores trocam entre si pacotes cuja informação mais importante é a identificação do grupo par ao qual pertence o nó de comutação emissor. Se o nó emissor pertencer ao mesmo grupo par do receptor, então os dados do enlace e as informações do nó são armazenados como parte da topologia do grupo par. O nó receptor constrói uma mensagem *PTSP (P-NNI Topology State Packet)* que lista suas características e todos os seus enlaces adjacentes. Em seguida, essa mensagem é enviada via *broadcast* a todos os membros adjacentes pertencentes ao grupo par. Nos níveis mais altos, entretanto, não é necessária uma descrição tão

detalhada a respeito da topologia da rede. O aspecto mais importante é determinar as rotas quando existem vários enlaces paralelos entre dois LGNs. Nesse caso, surge a necessidade de se conhecer a topologia interna do nível inferior para que boas rotas sejam estabelecidas. Um caso típico é mostrado na Figura 1.9, no qual o nó *X* deseja estabelecer uma conexão para o nó *Y*. Considerando as rotas *X-A-B-C-Y* e *X-C-Y*, observa-se que a rota *X-C-Y* é melhor, pois envolve menos comutadores. Porém, esse fato se torna imperceptível caso não seja analisada a topologia interna do LGN A.

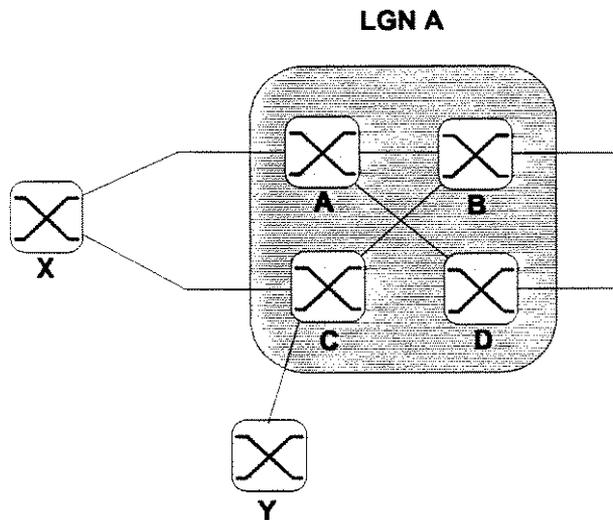


Figura 1.9 - Possível estrutura interna de um LGN.

Uma conexão ATM não é estabelecida caso não possa ser suportada pela rede. A função que determina se uma chamada pode ser aceita ou não denomina-se *controle de admissão de chamada*. Durante a fase de estabelecimento de uma rota vários caminhos alternativos podem ser tentados antes que uma nova chamada seja rejeitada. Denomina-se *crankback* o ponto em que uma conexão bloqueada, em meio a um caminho selecionado, retorna a um nó intermediário. Esse nó intermediário tenta um novo caminho até o destino final. A Figura 1.10 ilustra uma operação de estabelecimento de rota em que é necessário o uso de *crankback*.

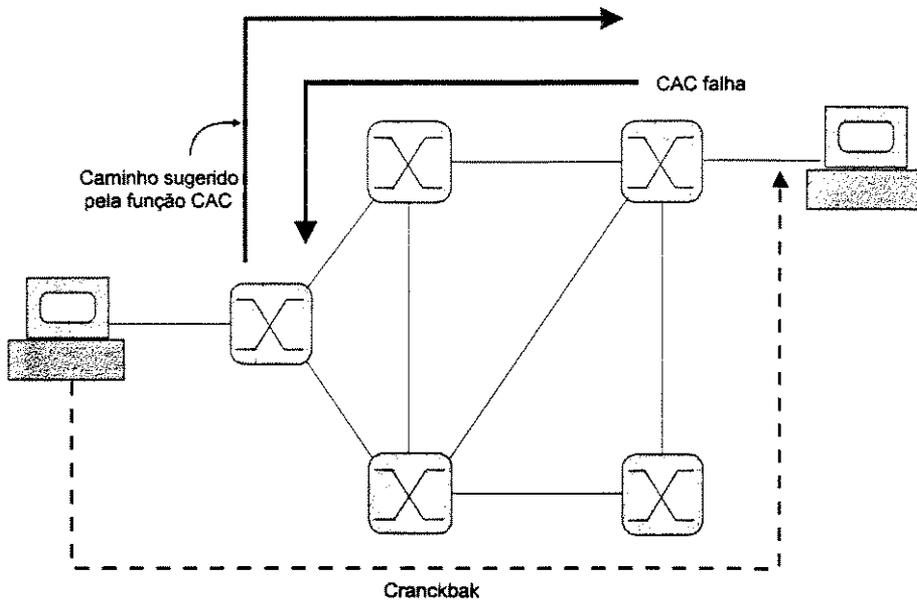


Figura 1.10 - função CAC e necessidade de crankback

Para obter uma visão mais detalhada sobre P-NNI, veja [Dutton 95].

1.10. CONCLUSÃO

ATM constitui uma tecnologia de alta velocidade que opera no modo orientado à conexão. Os dados de usuários são transmitidos em pequenas unidades de tamanho fixo denominadas *células*. As células trafegam na rede através de *conexões de circuito virtual*, de modo a prover as garantias de entrega de dados oferecidas pelas categorias de comutação de circuitos e ao mesmo tempo promover uma eficiente utilização dos recursos da rede. Para cada conexão solicitada pelo usuário são estabelecidos parâmetros de *qualidade de serviço*. Caso a rede possa suportar a qualidade de serviço solicitada, a conexão é aceita. Devido ao fato de o ATM suportar diferentes tipos de tráfego, constitui a solução ideal para as redes com integração de serviços.

CAPÍTULO 2

REDES VIRTUAIS E EMULAÇÃO DE REDES LOCAIS

Neste capítulo é abordada a construção de redes locais virtuais ATM, considerando aspectos referentes a configurações e comunicação entre membros de redes.

2.1. INTRODUÇÃO

Uma *rede virtual* é um sistema de configuração que permite que sub-redes sejam criadas de forma lógica, sendo que introduzir, mover e retirar elementos da rede virtual constituem processos executados por software.

A tecnologia de redes virtuais permite agrupar logicamente portas de comutadores e usuários conectados de diversas formas, independentemente da localização geográfica. O agrupamento de usuários e portas de comutadores em grupos de interesse, referenciados como *organizações de LAN virtual*, pode ser acompanhado de um único comutador ou de vários comutadores conectados.

Essa estrutura pode ser construída em cima de sistemas orientados à conexão ou sem conexão.

Uma rede virtual é construída sobre várias tecnologias de comutação, ao contrário das redes compartilhadas, que são baseadas em cabos compartilhados interconectados através de roteadores.

2.2. COMUTADORES

Os comutadores provêm a funcionalidade para agrupamento de usuários, portas, ou definição de endereços lógicos a comunidades de interesse. As funções básicas de um comutador são filtragem e decisão de encaminhamento de pacotes com base em métricas definidas pelos gerentes da rede virtual, e comunicação dessas informações a outros comutadores e roteadores existentes na rede.

O conceito de filtragem de pacote é similar àquele geralmente utilizado pelos roteadores. Uma tabela de filtragem é desenvolvida para cada comutador. Os gerenciadores de rede podem agrupar os usuários de acordo com o endereço MAC da estação, tipos de protocolo de camada de rede, e/ou tipos de aplicativos. As entradas da tabela são comparadas com os pacotes filtrados pelo comutador, de modo a possibilitar que o comutador tome uma providência adequada com base nessas entradas.

A identificação de pacotes envolve a atribuição de um identificador único ao cabeçalho de cada pacote. O identificador é entendido e examinado por cada comutador antes de um envio

A identificação de pacotes envolve a atribuição de um identificador único ao cabeçalho de cada pacote. O identificador é entendido e examinado por cada comutador antes de um envio *broadcast* ou encaminhamento do pacote para outros comutadores, roteadores ou estações terminais. O processo de identificação de pacotes constitui uma funcionalidade de camada 2.

Os comutadores que trabalham com camada 3 fornecem funções básicas de encaminhamento, já que entendem endereços IP, e possuem maior poder de processamento que os comutadores de camada 2, pois apresentam filtros e capacidades de acomodar múltiplas sub-redes por porta (não apenas múltiplas portas por sub-rede).

2.3. CONFIGURAÇÃO DE REDES LOCAIS VIRTUAIS

Usuários podem ser associados a LANs virtuais utilizando diferentes opções de configuração, que incluem associações estáticas a portas, associações dinâmicas a portas, e associações multi-porta.

MEMBROS POR GRUPO DE PORTA

Os membros da LAN virtual são definidos por grupos de portas de comutador (por exemplo, portas 1, 2, 3, 7 e 8 de um determinado comutador fazem parte da LAN virtual A, enquanto que as portas 4, 5 e 6 fazem parte da LAN virtual B).

Todas as estações podem ser associadas de forma única a LANs virtuais. Quando as estações se movem para outras locações físicas, utilizando outra conexão à porta de um comutador, cada estação mantém sua identidade de LAN virtual independentemente de sua nova localização geográfica.

Estações conectadas a um comutador através de um *hub* compartilhado geralmente são agrupadas em uma mesma LAN virtual, devido ao fato de todas as estações compartilharem a mesma porta do comutador.

LANs virtuais estáticas constituem portas de um comutador que o gerenciador de rede associa estaticamente a uma LAN virtual. Essas portas mantêm as LANs virtuais associadas até essa configuração seja desfeita.

LANs virtuais dinâmicas são portas de comutadores que podem determinar automaticamente suas associações de LAN virtual. Essas associações são inseridas e mantidas em uma aplicação de gerenciamento de LAN virtual centralizada. Quando uma estação é conectada a uma porta de um determinado comutador, é automaticamente associada a uma LAN virtual.

CONFIGURAÇÕES MULTI-PORTA

Múltiplos comutadores podem constituir uma LAN virtual (por exemplo, as portas 1 e 2 do comutador #1 e as portas 4, 5, 6 e 7 do comutador #2 constituem a LAN virtual A, enquanto que as portas 3,4,5,6 ,7 e 8 do comutador #1 combinadas com as portas 1, 2, 3 e 8 do comutador #2 compõem a LAN virtual B).

MEMBRO POR ENDEREÇO MAC

Como o endereço MAC da estação encontra-se configurado na placa de rede (NIC), as LANs virtuais baseadas em endereço MAC permitem que estações de trabalho sejam movidas para várias localizações físicas distintas, mantendo a associação à rede virtual de forma automática.

LANS VIRTUAIS BASEADAS EM CAMADA 3

LANs virtuais baseadas em informações de camada 3 levam em consideração o tipo de protocolo (caso o uso de múltiplos protocolos seja suportado) ou endereços de camada de rede (por exemplo, endereços de sub-rede para redes TCP/IP) na determinação de membros de LANs virtuais. Embora essas LANs virtuais baseiem-se em informações de camada 3, não executam encaminhamento.

GRUPOS MULTICAST IP COMO LANS VIRTUAIS

Quando um pacote IP é enviado via *multicast*, é enviado a um endereço referente a uma *proxy*. A cada estação é dada a oportunidade de se juntar a um determinado grupo *IP multicast*, através da resposta afirmativa a uma notificação *broadcast*. Todas as estações que se unem a um grupo *multicast* específico são vistas como membros de uma mesma LAN virtual.

2.4. COMUNICAÇÃO ENTRE MEMBROS DE LANS VIRTUAIS

Com o objetivo de tratar o tráfego proveniente de outros comutadores, um comutador deve conhecer o mapeamento entre LANs virtuais e estações finais. Em geral, LANs virtuais baseadas em informações de camada 2 (definidas por portas de comutadores ou por endereços MAC) devem se comunicar com o membro da LAN virtual explicitamente, enquanto que as LANs virtuais baseadas em camada 3 se comunicam de forma implícita, através do endereço IP.

Existem três métodos que implementam a comunicação entre comutadores através do *backbone* da rede:

- manutenção de tabela via sinalização – quando uma estação final envia seu primeiro quadro *broadcast*, o comutador resolve o endereço MAC da estação final ou da porta do comutador à qual a estação encontra-se conectada. Essa informação é então transmitida via *broadcast* para outros comutadores. Como os membros das LANs virtuais podem se alterar, essas tabelas de associações a endereços são mantidas manualmente pelo administrador do sistema. Conforme a rede se expande e novos comutadores são incorporados, é necessária uma sinalização para atualizar as tabelas de endereços de todos os comutadores, o que pode causar

congestionamento e quedas de desempenho. Por esse motivo, esse método não é completamente satisfatório;

- *frame tagging* – um cabeçalho é inserido a cada quadro nos troncos entre comutadores, de modo a identificar a qual LAN virtual determinado endereço MAC pertence. Esses cabeçalhos adicionam algum *overhead* extra à rede;
- TDM – o terceiro e menos utilizado método é a multiplexação no tempo. Aqui, canais são reservados para cada LAN virtual. Essa técnica elimina alguns problemas de *overhead* inerentes à sinalização e *frame tagging*, porém pode haver canais ociosos devido ao fato de um *slot* de tempo dedicado a uma LAN virtual não poder ser utilizado por outra, mesmo que não esteja conduzindo tráfego.

2.5. ENCAMINHAMENTO ENTRE LANs VIRTUAIS

LANs virtuais podem ser usadas para estabelecer domínios *broadcast* dentro da rede, tal como fazem os roteadores, mas não podem encaminhar tráfego proveniente de uma determinada LAN virtual para outra. O encaminhamento ainda é necessário para tráfego entre LANs virtuais, e gera um *overhead* extra na rede. Dessa forma, as redes virtuais devem ser desenvolvidas de modo a minimizar o tráfego destinado a outras LANs virtuais, evitando assim que roteadores se tornem um gargalo na estrutura da rede. A seguir, são apresentadas quatro arquiteturas que se propõem a resolver o problema.

- *encaminhamento de borda* – determina que a função de encaminhamento através do *backbone* ATM deve ser incorporada a cada comutador de rede local situado na borda do *backbone* ATM;
- *one-armed router* – nessa arquitetura, pacotes que não necessitam ultrapassar os limites de uma LAN virtual são devidamente encaminhados por um comutador, enquanto que os que necessitam ultrapassar os limites da LAN virtual são encaminhados a um roteador;
- *servidor de encaminhamento* – o modelo de servidor de encaminhamento é fisicamente semelhante ao *one-armed router*, mas é bastante diferente sob o ponto de vista lógico, pois quebra a função de encaminhamento em partes distribuídas. Na *configuração one-armed router*, um pacote proveniente de uma LAN virtual A destinado a uma LAN virtual B é enviado para o *one-armed router*, onde é aguardada uma resolução de endereço, cálculo de caminho, estabelecimento de conexão através do *backbone* ATM, e finalmente, a transmissão. Em um esquema de servidor de encaminhamento, o mesmo pacote aguarda na cache do comutador de rede local localizado na borda do *backbone* ATM. Nesse processo, o pacote não atravessa roteadores. O único tráfego através do roteador servidor é a sinalização necessária para estabelecimento de conexão entre comutadores de rede local em cima do *backbone* ATM. Dessa forma, o tráfego sobre o roteador é reduzido;

- *MPOA (Multiprotocol Over ATM)* – O MPOA espera prover conectividade entre dispositivos ATM através de circuitos virtuais diretos, sendo que a origem e o destino podem se encontrar em sub-redes distintas. Assim, o MPOA permite que estações finais situadas em LANs virtuais diferentes se comuniquem sem que haja a necessidade de um roteador intermediário.

2.6. CARACTERÍSTICAS DE EMULAÇÃO DE REDES LOCAIS

A configuração básica de uma rede local emulada consiste em pontos terminais ATM que se comunicam através de um comutador ATM central (ou vários comutadores) ao qual todas as estações encontram-se ligadas. O protocolo de emulação de rede local não emula os protocolos de acesso ao meio presentes nas redes locais atuais, tais como *CSMA/CD*, *Token Ring*, *Token Bus* etc., mas define uma interface de serviço para os protocolos de camadas de nível mais alto, sendo que essa interface é idêntica à existente nas redes locais atuais. Os dados enviados através da rede ATM são encapsulados em pacotes com formato *LAN MAC* apropriado.

A função do protocolo de emulação de rede local é resolver endereços MAC em endereços ATM.

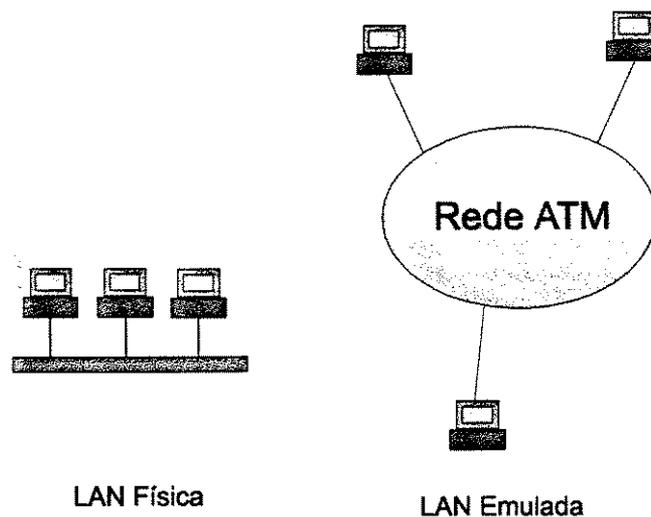


Figura 2.1 - Aspectos de uma rede local física e de uma rede local emulada.

Na Figura 2.1 são mostrados os aspectos de uma rede local física e de uma rede local emulada.

O protocolo de emulação de rede local emula os padrões de rede 802.3 (*Ethernet*) e 802.5 (*Token Ring*) sobre uma rede ATM. Para tanto, são necessárias modificações nos protocolos de nível mais alto, de modo a permitir sua operação em uma rede ATM. Desde que o serviço de emulação de rede local apresenta a mesma interface de serviço dos protocolos MAC existen-

tes atualmente para os *drivers* da camada de rede, não são necessárias modificações nesses *drivers*.

O protocolo de emulação de rede local é implementado em dois tipos de equipamentos:

- *placa de rede ATM* – implementa o protocolo de emulação de rede local e a interface para a rede ATM;
- *equipamentos de roteamento* – os comutadores e roteadores, juntamente com os *hosts* ATM, são utilizados para prover serviços de redes locais virtuais. As portas dos comutadores são associadas a redes locais virtuais, independentemente da localização física das estações terminais.

O protocolo de emulação de rede local não tem impacto direto sobre os comutadores ATM, pois opera transparentemente sobre a rede ATM, utilizando apenas o procedimento de sinalização ATM padrão.

2.7. COMPONENTES DE EMULAÇÃO DE REDE LOCAL E TIPOS DE CONEXÃO

O protocolo de emulação de rede local define a operação de uma única rede local emulada. Múltiplas redes locais emuladas podem coexistir em uma única rede ATM. Uma determinada rede local pode ser emulada no padrão *Ethernet* ou no padrão *Token Ring*, e consiste nas seguintes entidades:

- *cliente de rede local emulada* - LEC (*LAN Emulation Client*);
- *servidor de rede local emulada* - LES (*LAN Emulation Server*);
- *servidor multicast e de endereços desconhecidos de rede local emulada* - BUS (*Broadcast and unknown server*);
- *servidor de configuração de rede local emulada* - LECS (*LAN Emulation configuration server*).

A Figura 2.2 ilustra os componentes de uma rede local emulada.

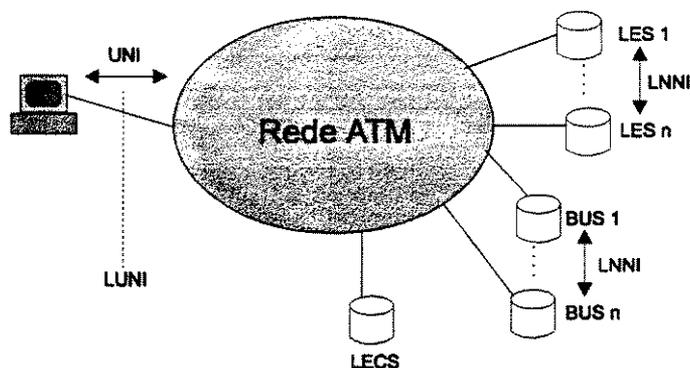


Figura 2.2 - Componentes de uma rede local emulada.

CLIENTE DE EMULAÇÃO DE REDE LOCAL (LEC - LAN EMULATION CLIENT)

Um *cliente de rede local emulada* é uma entidade do ponto terminal que executa encaminhamento de dados, resolução de endereços e outras funções de controle para um único sistema terminal em uma determinada rede local emulada. Um cliente também provê uma interface de serviço de rede local padrão para entidades de nível mais alto que se relacionam com o cliente. Uma placa ATM ou um comutador suporta um único cliente para uma rede local emulada específica. Um sistema terminal conectado a múltiplas redes locais emuladas deverá apresentar um cliente por rede local emulada.

Cada cliente de uma rede local emulada é identificado por um endereço ATM único, e pode ser associado a um ou mais endereços MAC. Caso o cliente constitua uma placa ATM, ele apresentará apenas um endereço MAC correspondendo a um único endereço ATM. Porém, caso o cliente seja um comutador, ele apresentará vários endereços MAC (correspondentes às várias portas dos comutadores) associados a um único endereço ATM, que identifica o comutador.

Embora o serviço de emulação de rede local defina dois tipos de redes locais emuladas (*Ethernet* e *Token Ring*), não é permitida a conectividade direta entre um cliente que implemente uma rede local emulada *Ethernet* e um cliente que implemente uma rede local emulada *Token Ring*, pois o protocolo de emulação de rede local não resolve problemas de ligação de tecnologias distintas. Assim, duas redes locais emuladas devem ser conectadas através de um roteador, o qual irá agir como cliente de cada uma das redes locais emuladas.

SERVIDOR DE EMULAÇÃO DE REDE LOCAL (LES - LAN EMULATION SERVER)

O *servidor de emulação de rede local* implementa funções de controle para uma determinada rede local emulada. Existe somente um servidor lógico por rede local emulada, e pertencer a uma rede local emulada significa possuir uma relação de controle com o servidor correspondente.

A principal função do servidor de emulação de rede local é prover serviço de resolução de endereço para os clientes. Cada cliente deve registrar seus endereços MAC no servidor. Quando um cliente deseja estabelecer uma conexão direta com outro cliente, ele obtém o endereço MAC do destino utilizando protocolos de camadas superiores e envia uma requisição ao servidor solicitando o endereço ATM correspondente àquele endereço MAC. Nesse caso, o servidor pode responder a requisição (caso o cliente destino tenha registrado seu endereço) ou encaminhá-la aos demais clientes.

SERVIDOR BROADCAST E DE ENDEREÇOS DESCONHECIDOS (BUS - BROADCAST AND UNKNOWN SERVER)

O BUS é um servidor *multicast*, utilizado para envio de tráfego a destinações desconhecidas e encaminhamento de tráfego *broadcast* aos clientes de uma rede local emulada. Cada cliente é associado a somente um servidor *multicast* por rede local emulada, mas em uma rede local emulada pode haver múltiplos servidores *multicast*. O servidor *multicast* ao qual o cliente se conecta é identificado por um endereço ATM único. No servidor de emulação de rede local, o servidor *multicast* é associado ao endereço MAC *broadcast*.

SERVIDOR DE CONFIGURAÇÃO DE EMULAÇÃO DE REDE LOCAL (LECS - LAN EMULATION CONFIGURATION SERVER)

O servidor de configuração de emulação de rede local é uma entidade que associa clientes a uma rede local emulada, direcionando-os ao servidor de emulação de rede local que corresponde àquela rede local emulada. Existe apenas um servidor de configuração lógico por domínio administrativo, que serve a todas as redes locais emuladas pertencentes ao domínio.

O protocolo de emulação rede local especifica somente a operação da interface *LAN Emulation User to Network (LUNI)* entre um cliente e a rede provedora de serviço de emulação de rede local. A interface *LAN Emulation NNI (LNNI)* opera entre componentes servidores em um único sistema de rede local emulada.

Os componentes de uma rede local emulada comunicam-se através de conexões de canal virtual. Existem conexões de controle, através das quais trafegam apenas informações de controle, e conexões de dados, pelas quais trafegam somente dados.

As conexões de controle são:

- *configuration direct VCC (conexão de canal virtual direta de configuração)* - é um VCC bidirecional ponto-a-ponto estabelecido pelo cliente em direção ao servidor de configuração;
- *control direct VCC (conexão de canal virtual direta de controle)* - é um VCC bidirecional estabelecido do cliente para o servidor de emulação de rede local;
- *control distribute VCC (conexão de canal virtual distribuída de controle)* - é um VCC unidirecional estabelecido do servidor de emulação de rede local para o cliente, e geralmente é uma conexão ponto-a-multiponto.

A figura 2.3 mostra as conexões de controle.

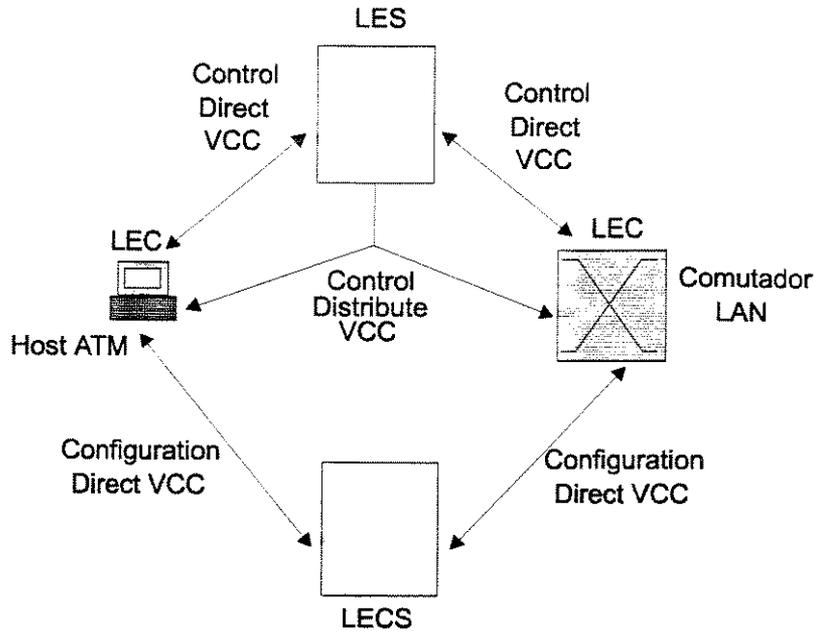


Figura 2.3 - Conexões de controle.

As conexões de dados são:

- *Data Direct VCC (conexão de canal virtual direta de dados)* é um VCC ponto-a-ponto bidirecional estabelecido entre dois clientes que desejem trocar dados.
- *Multicast Send VCC (conexão de canal virtual de envio multicast)* é um VCC ponto-a-ponto bidirecional estabelecido do cliente para o servidor *multicast*;
- *Multicast Forward VCC (conexão de canal virtual de encaminhamento multicast)* é um VCC unidirecional estabelecido do servidor *multicast* para o cliente, sendo geralmente uma conexão ponto-a-multiponto, tendo cada cliente como nó folha.

A Figura 2.4 mostra as conexões de dados.

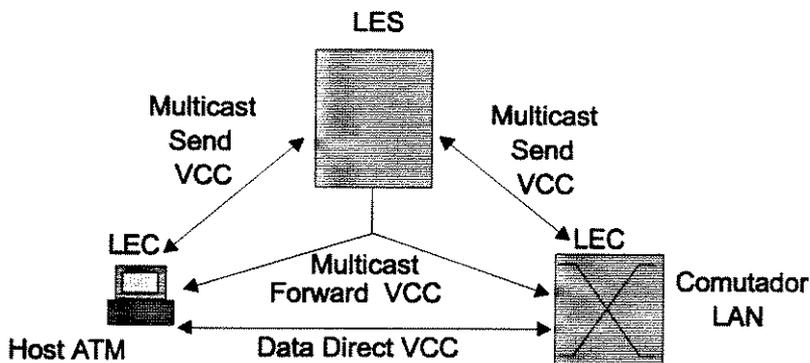


Figura 2.4 - Conexões de dados.

2.8. OPERAÇÃO DE EMULAÇÃO DE REDE LOCAL

INICIALIZAÇÃO E CONFIGURAÇÃO

O cliente deve inicialmente obter seu próprio endereço ATM (que pode ser fornecido pelo administrador da rede, por exemplo). O cliente estabelece então uma *conexão de canal virtual direta de configuração* para o servidor de configuração. Para efetuar essa conexão, o cliente deve primeiramente obter a localização do servidor de configuração, o que pode ser feito através de um procedimento ILMI [Alles 95] ou configurando-se um endereço padrão para o servidor de configuração.

Uma vez que o cliente se encontra conectado ao servidor de configuração, um protocolo de configuração é utilizado pelo servidor de configuração para obter e informar ao cliente dados necessários para que ele se conecte a uma rede local emulada. Esses dados incluem o endereço ATM do servidor de emulação de rede local, o nome da rede local emulada, tamanho máximo do pacote, o tipo etc.

JUNÇÃO E REGISTRO

Uma vez que o cliente obteve o endereço do servidor de emulação de rede local, ele pode opcionalmente eliminar a conexão de canal virtual direta de configuração. Em seguida, ele estabelece uma conexão de canal Virtual direta de controle para o servidor de emulação de rede local. O servidor de emulação de rede local irá então associar o cliente a um identificador único (LECID), e o cliente registra seus endereços MAC e ATM no servidor.

O servidor de emulação de rede local atribui de volta para o cliente uma conexão de canal virtual distribuída de controle. As conexões direta e distribuída de controle podem ser utilizadas pelo cliente para procedimentos de rede local *Emulation ARP (LE-ARP)* para efetuar requisições de resolução de endereços MAC para endereços ATM. O cliente formula uma requisição LE-ARP e a envia para o servidor de emulação de rede local através da conexão direta de controle. Caso o servidor conheça o mapeamento, ele pode retornar o endereço ATM correspondente ao endereço MAC solicitado pelo cliente via conexão direta de controle. Caso não conheça o mapeamento, o servidor de emulação de rede local encaminha a requisição para os demais clientes, através da conexão distribuída de controle.

Quando uma estação terminal está separada do servidor de emulação de rede local por uma ponte (*bridge*), este pode não conhecer o mapeamento de endereços LAN-ATM.

Ao final da fase de Inicialização, o cliente envia uma requisição LE-ARP ao servidor de emulação de rede local solicitando o endereço ATM do servidor *multicast*. Nesse caso, o servidor de emulação de rede local responde com o endereço ATM correspondente ao endereço MAC *broadcast*.

TRANSFERÊNCIA DE DADOS

Durante a fase de transferência de dados, o cliente ou recebe um pacote de camada de rede para transmitir a um protocolo de nível mais alto (no caso de uma placa de rede) ou recebe um pacote MAC para encaminhar para uma porta contendo uma rede local (no caso de um comutador).

Caso um cliente não possua o endereço ATM do cliente destino, será formulada e enviada ao servidor de emulação de rede local uma requisição LE-ARP.

Enquanto aguarda pela resposta, o cliente origem pode encaminhar o pacote para o servidor *multicast*. O servidor *multicast* irá então enviar o pacote para todos os clientes pertencentes à rede local emulada, pois no caso do cliente destino ser um dispositivo passivo e estar localizado após um comutador de emulação de rede local, o cliente origem não saberia onde o endereço MAC estaria localizado.

Se uma resposta LE-ARP é recebida, o cliente então estabelece uma conexão direta de dados para o nó destino. Caso não seja recebida resposta LE-ARP, o cliente continuará a enviar pacotes por intermédio do servidor *multicast*, mas irá regularmente enviar requisições LE-ARP, até que uma resposta seja recebida. Como o pacote é enviado por intermédio do servidor *multicast*, e o cliente destino responde à origem, o endereço ATM do cliente destino será então conhecido.

As mensagens com destino *broadcast* são enviadas pelo servidor *multicast* os clientes através da conexão de encaminhamento *multicast*.

2.9. EMULAÇÃO DE REDE LOCAL E REDES LOCAIS VIRTUAIS

A tecnologia de emulação de rede local é utilizada para prover serviços de redes virtuais sobre o *backbone* ATM. A rede local emulada assemelha-se a uma rede local comum em muitos aspectos, exceto pela maior largura de banda e pelos protocolos de nível mais alto operando com *hosts* ATM e roteadores.

Múltiplas redes locais virtuais podem existir em um único *backbone* ATM, independentemente da localização física dos dispositivos.

2.10. CONCLUSÃO

Devido à demanda por novos tipos de serviços, tais como voz e vídeo interativo, vem surgindo a necessidade de migração para uma nova plataforma nas redes locais. A transição para a nova tecnologia não pode deixar de considerar a vasta base já instalada, de modo a uma migração suave, permitindo que se mantenham equipamentos e aplicativos destinados às redes locais tradicionais, construindo ao mesmo tempo uma plataforma sólida para as redes futuras. Para tanto, foi criado o conceito de *redes virtuais*

Sistemas de redes virtuais permitem que redes locais sejam criadas de forma lógica, independentemente da localização geográfica dos componentes. As redes virtuais podem ser configuradas dinamicamente, considerando endereços MAC, endereços de rede, endereços IP, tipos de protocolo, ou tipos de aplicações que serão utilizadas pelos usuários da rede. Através de servidores específicos, é possível estabelecer domínios *broadcast* em LANs virtuais. Entretanto, a transferência de dados entre redes virtuais distintas requer encaminhamento, havendo necessidade do uso de roteadores. Dessa forma, com o objetivo de evitar que roteadores se tornem gargalos na rede, as redes virtuais devem ser configuradas de modo a gerar um mínimo tráfego externo. Uma das principais formas de implementação de redes virtuais é *emulação de redes locais*. Uma rede local emulada formada por quatro componentes: cliente de emulação de rede *local* (*LEC - LAN Emulation Client*), servidor de emulação de rede local (*LES - LAN Emulation Server*), servidor de configuração de emulação de rede *local* (*LECS - LAN Emulation Configuration Server*) e servidor *broadcast* e de *endereços desconhecidos* (*BUS - Broadcast and Unknown Server*). Esses componentes comunicam-se através das *conexões de canal virtual* de emulação de redes locais, sendo que existem as conexões de dados e as conexões de controle, sendo que através das conexões de dados trafegam apenas dados, e através das conexões de controle somente mensagens de controle.

Um cliente de emulação de rede local passa pelos seguintes estados:

- iniciação e configuração;
- junção e registro;
- transferência de dados.

CAPÍTULO 3

ATMnet

Neste capítulo, é apresentada uma proposta de planejamento para implantação da tecnologia ATM nas redes locais. São detalhadas as etapas do planejamento e é apresentado um aplicativo computacional destinado a auxiliar projetistas de redes na implantação da tecnologia ATM no contexto das redes locais.

3.1. INTRODUÇÃO

As redes locais tradicionais possuem uma estrutura topológica que envolve um número limitado de estações conectadas a um meio físico compartilhado, apresentando grande simplicidade de instalação, gerenciamento e manutenção. Devido ao tráfego gerado por cada estação ser pequeno, as considerações de custo e tecnologia das redes locais são bastante distintas das de longa distância, permitindo a utilização de topologias inviáveis em um ambiente de rede faixa larga.

A evolução tecnológica e a oferta de novos serviços, tais como voz e vídeo interativo e transmissão de dados gráficos, têm gerado uma necessidade de reestruturação das redes locais. A topologia que envolve compartilhamento do meio físico é bastante eficiente para aplicações de transmissão de dados, que embora exijam baixas probabilidades de erros, são bastante tolerantes com relação a atrasos, suportando dessa forma retransmissões e congestionamentos. As aplicações multimídia nas redes locais, no entanto, apresentam restrições severas quanto a atrasos, ocupam grande banda e requerem transmissões a altas taxas, tornando assim a topologia física de acesso múltiplo inadequada e requerendo a migração para outra base tecnológica que, ao mesmo tempo que cubra as limitações das tecnologias atuais, propicie uma transição gradativa que permita o aproveitamento do parque já instalado. Essa base é o *ATM*.

Ao contrário das tecnologias comumente utilizadas nas redes locais, as estações pertencentes a uma rede ATM são conectadas através de ligações ponto-a-ponto. A forma como as estações encontram-se conectadas e as capacidades das conexões são fundamentais para o uso eficiente dos recursos compartilhados e para o bom desempenho da rede. Como ATM suporta diferentes tipos de tráfego, de acordo com os serviços oferecidos por cada terminal da rede, estações podem gerar mais tráfego que outras, e estações que geram mais tráfego requerem conexões com maiores capacidades.

Devido ao fato de a tecnologia ATM ser relativamente nova no ambiente das redes locais, representar maior investimento financeiro e ser mais complexa tanto na implantação quanto no gerenciamento, existe a necessidade de planejamento [Newman 94]. Embora ainda não exista uma metodologia consagrada para se efetuar o planejamento, a premência na implantação das redes de faixa larga cria a necessidade de ferramentas computacionais que, ainda que parciais e preliminares, exercem um papel fundamental no dimensionamento dessas redes: oferecer um

ambiente propício para construção de diferentes cenários de estudo de modo a permitir que o projetista de rede avalie possíveis configurações com o objetivo de identificar qual é a que melhor se adapta às suas necessidades. Um dos resultados do planejamento é a determinação do tráfego em enlaces e atrasos e perdas de células em enlaces. Neste capítulo são utilizados modelos simples para as perdas e atrasos das células em enlaces, mas que permitem a determinação de estratégias de encaminhamento adequadas para redes ATM. Obtidos os resultados, cabe então ao projetista da rede analisá-los frente às características da rede e às condições de custos financeiros, procurando pelas soluções alternativas mais promissoras, através de um processo de análise e comparação dessas alternativas e finalmente selecionando a melhor opção.

O primeiro passo no planejamento consiste na previsão da demanda. A demanda é caracterizada pelo número de terminais e pelo tráfego entre esses terminais. Para obter o tráfego gerado por cada nó, foi adotado o modelo COST242¹ [Ritter 94]. Para cada serviço associado aos nós da rede, esse modelo especifica parâmetros de tráfego e de qualidade de serviço, através dos quais pode-se calcular a banda efetiva. A banda efetiva corresponde à banda total requerida pelo serviço em questão com o objetivo de suportar as variações de taxa de transmissão. Dessa forma, a banda efetiva deve ser grande o suficiente para suportar taxas de pico, e pequena o bastante para proporcionar um uso eficiente das facilidades de transmissão. Após a determinação do tráfego gerado por cada nó, podem ser calculadas as demandas entre os nós da rede, gerando uma *matriz de interesse de tráfego*.

O segundo passo consiste no dimensionamento dos enlaces da rede. Dada a topologia da rede e obtida a matriz de interesse de tráfego, são calculados os tráfegos em cada enlace. O cálculo do tráfego envolve a determinação de um caminho mínimo entre todos os nós que representem demanda. Dessa forma, podem ser criados cenários de estudo que permitam o dimensionamento dos enlaces da rede. A capacidade de cada enlace deve ser suficiente para suprir o tráfego que passa pelo enlace. A passagem de tráfego através do enlace implica em atrasos e perdas de células. A avaliação de atraso é dada pelo modelo M/M/1 [Harris 74], e as perdas são obtidas com base no modelo M/M/1/K [Harris 74]. A Figura 3.1 mostra as etapas do planejamento tal como proposto neste capítulo.

¹ COST (European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research) é um fórum de preparação e implementação de projetos envolvendo pesquisa aplicada nos países europeus. O modelo COST242 surgiu em 1994 e refere-se à área de redes de telecomunicações.

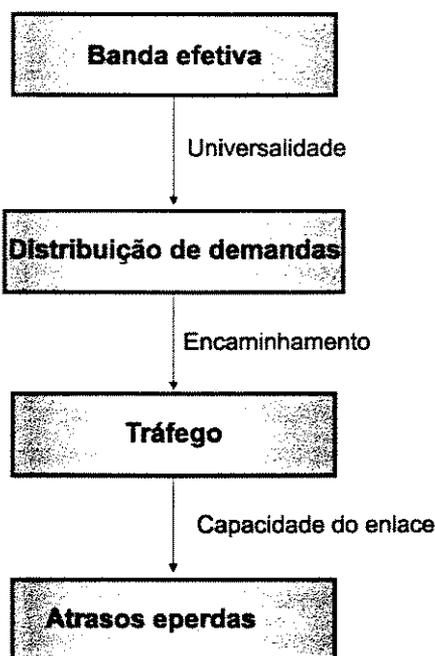


Figura 3.1 - Etapas do processo de planejamento.

3.2. PLANEJAMENTO

CÁLCULO DA BANDA EFETIVA

As redes ATM caracterizam-se pela capacidade de suportar diferentes tipos de tráfego, sendo portanto uma alternativa eficiente para a integração de vários serviços. Sob esse aspecto, existe uma dificuldade adicional inerente à rede com integração de serviços, que é a quantidade de banda a ser alocada. Diversas soluções têm sido propostas, e dentre elas destaca-se a idéia de banda efetiva.

O cálculo da banda efetiva depende das hipóteses assumidas em relação aos tipos de serviço, considerando parâmetros descritores de tráfego e de qualidade de serviço. A estratégia de cálculo envolve todos os parâmetros definidos para o modelo COST242, com o objetivo de gerar uma banda que seja bastante grande para suportar as flutuações estatísticas do tráfego e ao mesmo tempo propiciar um uso eficiente dos recursos da rede. O modelo mostra uma abordagem para o cálculo da banda efetiva essencialmente dependente de dois parâmetros de tráfego da fonte: taxa média e taxa de pico. São também consideradas a taxa de serviço do enlace e a razão de perda de células desejada.

Os parâmetros considerados são:

- taxa média: $\bar{\lambda}$;
- taxa de transmissão: c ;
- taxa de pico: λ_p ;

- probabilidade de bloqueio: $P = 10^{-l}$.

Calculando:

$$v = \frac{\lambda_p}{\lambda}; \quad b = \frac{c}{\lambda_p}; \quad d = \frac{2l}{b}; \quad f = 1 + \frac{2l}{100}$$

tem-se que a banda efetiva λ é dada por:

$$\text{Para } d \leq 1 \quad \lambda = \begin{cases} f\lambda_p; & v < 3d \\ f\lambda \left[1 + 3d \left(\frac{v-1}{v} \right) \right]; & v \geq 3d \end{cases}$$

$$\text{Para } d > 1 \quad \lambda = \begin{cases} f\lambda_p; & v < 3d^2 \\ f\lambda \left[1 + 3d^2 \left(\frac{v-1}{v} \right) \right]; & v \geq 3d^2 \end{cases}$$

O modelo COST242 é um modelo empírico, fundamentado em aproximações, sendo válido para buffer de grande capacidade, taxa de pico muito menor que a capacidade do enlace ($15 < c/\lambda < 1000$) e em uma determinada razão entre a taxa de pico e a taxa média ($\lambda/c > 2$ e $\lambda/\lambda < 20$).

CÁLCULO DA DISTRIBUIÇÃO DE DEMANDA

O tráfego gerado por um nó consiste na soma das bandas efetivas de todos os serviços relacionados ao nó. A cada nó encontra-se associado um fator de *atratividade*, que indica o grau de atração de tráfego. A demanda atraída por um nó depende do tráfego gerado pelo nó e de seu fator de atratividade.

A distribuição do tráfego gerado por um nó para os demais nós da rede é proporcional à relação entre a demanda atraída pelo nó destino e a demanda dos demais nós que receberão o tráfego gerado. A distribuição dos tráfegos gerados pelos nós resulta em uma matriz de interesse de tráfego.

Considerando:

t : número de nós da rede que geram serviços;

$B = \{1, 2, \dots, t\}$ o conjunto de índices dos nós que geram serviços;

obtem-se o interesse de tráfego $\lambda_{o,d}$, $o, d \in B$, $o \neq d$ entre os nós o e d como:

$\lambda_{o,d} = \frac{\lambda_d \times u_d}{\sum_{k \in B, k \neq o} u_k \times \lambda_k} \times \lambda_o$, sendo u_k a atratividade do nó k e $\lambda_k, k \in B$, as bandas efetivas dos nós.

A Figura 3.2 mostra uma rede com cinco nós e seus respectivos coeficientes de atratividade e tráfegos oferecidos (bandas efetivas). A Tabela 3.1 ilustra a matriz de interesse de tráfego para a rede da Figura 3.2.

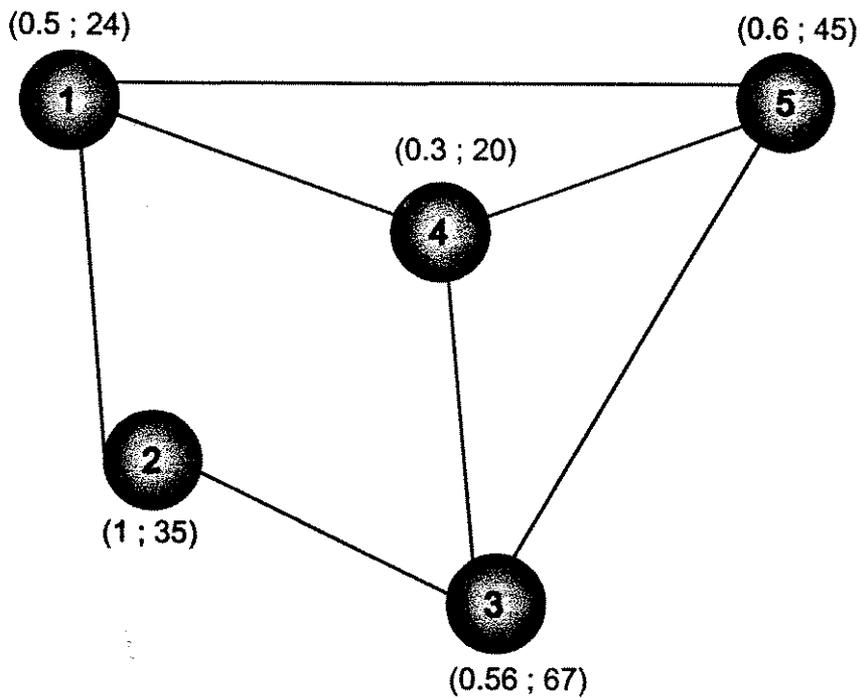


Figura 3.2 - Rede apresentando nós, enlaces, coeficiente de atratividade e tráfego oferecido por cada um dos nós.

	NÓ 1	NÓ 2	NÓ 3	NÓ 4	NÓ 5
NÓ 1	–	7.97	8,53	1,36	6,14
NÓ 2	5.09	–	15.92	2.54	11.45
NÓ 3	10.05	29.31	–	5.03	22.61
NÓ 4	2.15	6.28	6.73	–	4.84
NÓ 5	6	17.4	18.6	3	–

Tabela 3.1 - Matriz de interesse de tráfego correspondente à rede da Figura 3.2.

BUSCA DO CAMINHO MÍNIMO

Neste trabalho a demanda proveniente de uma estação é direcionada à estação destino através do caminho que apresentar menor custo de trânsito. Para cálculo do caminho mínimo foi utilizado um algoritmo de programação dinâmica [Lieberman 91], o qual supõe a existência de uma rede conexa composta por nós e arcos, sendo que a cada um dos arcos é atribuído um custo de trânsito.

A finalidade do algoritmo é encontrar o caminho de custo mínimo entre os nós origem e destino.

O objetivo da n -ésima iteração é encontrar o n -ésimo nó mais próximo da origem. Esse processo se repete até que o n -ésimo nó seja o destino.

Os dados de entrada para a n -ésima iteração consistem nos $(n-1)$ nós que apresentam menor custo de trânsito a partir da origem (obtidos nas iterações anteriores), incluindo o caminho de menor custo e o custo de trânsito total a partir da origem. Esses nós mais a origem são denominados "nós resolvidos". Os demais nós constituem "nós não resolvidos". Dessa forma, nós resolvidos são aqueles para os quais já se encontra definido o caminho mínimo entre o nó e a origem.

Cada nó resolvido diretamente ligado através de um enlace a um ou mais nós não resolvidos provê um candidato - o nó não resolvido cujo enlace apresenta menor custo. Empates acarretam candidatos adicionais.

Para cada par de nó resolvido e seu respectivo candidato, somam-se o custo entre eles e o custo do caminho de menor custo partindo da origem até o nó resolvido. A soma que apresentar menor valor determinará o n -ésimo nó de menor custo a partir da origem e o nó candidato torna-se um nó resolvido. A figura 3.4 apresenta o fluxograma correspondente ao algoritmo do caminho mínimo. A Tabela 3.2 mostra os resultados do algoritmo partindo do nó A em direção ao nó E da rede da Figura 3.3.

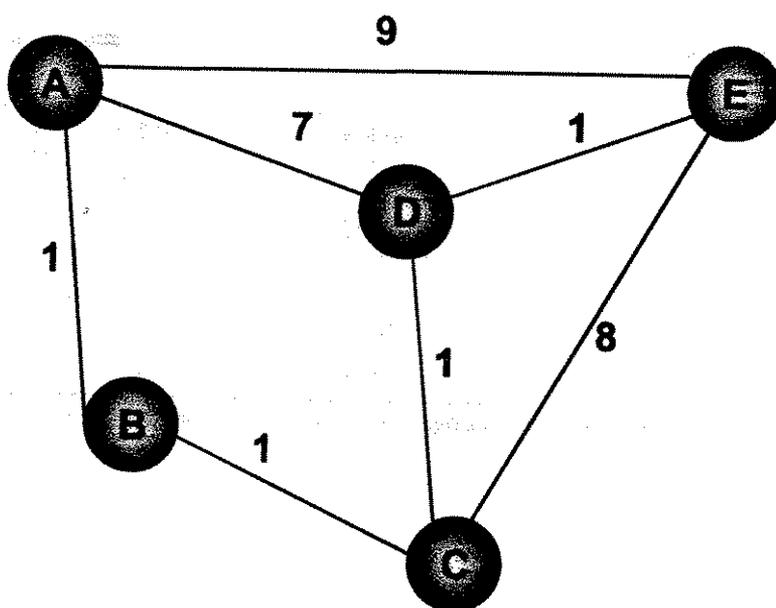


Figura 3.3 - Rede contendo nós, enlaces e seus respectivos custos de trânsito.

Nós resolvidos conectados a nós não resolvidos	Nó não resolvido de menor custo	Custo total envolvido	n-ésimo nó de menor custo selecionado	Custo mínimo	Última conexão
A	B	1	B	1	AB
A	D	7			
B	C	2	C	2	BC
A	D	7			
C	D	3	D	3	CD
A	E	9			
C	E	10			
D	E	4	E	4	DE

Tabela 3.2 - Caminho mínimo entre os nós A e E da rede mostrada na Figura 3.3.

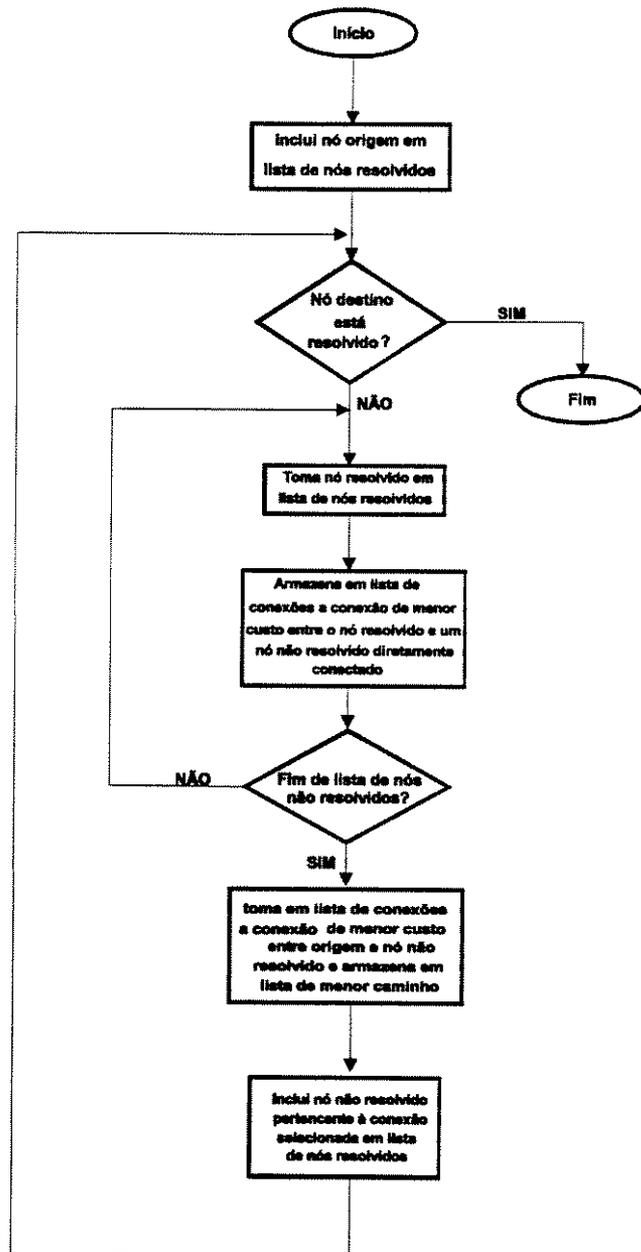


Figura 3.4 - Fluxograma correspondente ao algoritmo do caminho mínimo

ENCAMINHAMENTO DO TRÁFEGO

Obtida a matriz de interesse de tráfego e tendo as conexões entre os nós da rede, pode-se calcular o tráfego em cada enlace.

Considere uma rede descrita pelo grafo conexo (N, A) , onde $N = \{1, 2, \dots, N\}$ é o conjunto de índices dos nós e $A = \{1, 2, \dots, M\}$ é o conjunto de índices dos arcos orientados. Associadas a cada arco, existem quádruplas que designam o nó origem, o nó destino, a capacidade em células por segundo e o custo de trânsito através do arco, denotadas $(o, d, p, c)_a$. A topologia da rede, as capacidades e custos dos arcos são considerados conhecidos. O tráfego gerado por um nó é encaminhado a um determinado destino através do caminho que apresentar menor custo de trânsito total. Um caminho é uma seqüência de arcos $[(i_0, i_1), (i_1, i_2), \dots, (i_n, i_{n+1})]$ na qual o nó inicial de cada arco coincide com o nó final do arco precedente, com os índices representando nós distintos. Efetuando-se o encaminhamento do tráfego gerado por todos os nós, obtém-se o tráfego nos enlaces da rede. A existência de tráfego em enlaces implica em atrasos e perdas de células.

CÁLCULO DE ATRASOS E PROBABILIDADE DE PERDA DE CÉLULAS EM ENLACES

Dados os valores da capacidade do enlace e a taxa a ser transmitida:

- c : capacidade no enlace dada em bits por segundo;
- λ : taxa de células a ser transmitida dada em células por segundo;

E definindo:

- $\frac{1}{\mu}$ como sendo o tempo para se transmitir uma célula dado em segundos, temos que $\mu = \frac{c}{53 \times 8}$;
- Tráfego oferecido: $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$;
- P_b : probabilidade de perda da célula

A perda é dada por $P_b = \frac{1}{1 - \rho^{b+1}} (1 - \rho) \rho^b$, sendo b o tamanho do buffer do enlace. Neste trabalho, foi utilizada a aproximação $P_b \approx (1 - \rho) \rho^b$;

O tempo de espera no buffer é dado pela por $E = \frac{1}{\mu} \frac{\rho}{1-\rho}$

3.3. DESCRIÇÃO DO PROGRAMA

O ATMnet constitui uma ferramenta de apoio a projetistas de redes na construção e expansão de redes locais ATM, provendo informações relativas ao dimensionamento da rede.

O programa interage com o usuário via uma interface gráfica - dada a grande complexidade das redes, é imprescindível oferecer ao projetista de rede uma visualização gráfica da rede, através da qual é possível acessar os bancos de dados de nós, enlaces e serviços. As redes ATM ainda se encontram em um estado preliminar de desenvolvimento restando muitas indefinições sobre como deve ser feito seu planejamento. Em pouco tempo esta tecnologia estará sendo utilizada e portanto é preciso dispor-se de ferramentas de planejamento que, independentemente de incertezas, auxiliem no planejamento destas redes. À medida que a tecnologia ATM for sendo padronizada, as ferramentas destinadas ao planejamento tendem a amadurecer.

O ATMnet não abrange modelamento físico da rede. Os enlaces constituem enlaces lógicos, que representam conexões entre terminais e que podem não corresponder ao arranjo dos enlaces físicos.

A cada rede em análise encontra-se associado um arquivo de projeto. Um projeto pode ser criado, aberto, fechado ou eliminado.

Ao criar ou abrir um projeto, o programa disponibiliza as seguintes funcionalidades:

- dados de projeto: apresenta campos para entrada e visualização de dados relativos ao projeto, assim como nome do projeto, descrição, autor e tamanho de buffers de enlaces;
- descrição gráfica da rede: apresenta a figura correspondente à rede em análise, permitindo inserir, mover e eliminar nós, enlaces e serviços componentes da rede;
- pesquisa: permite consulta, alteração e remoção de dados relativos a nós, enlaces e serviços através de uma interface textual;
- relatórios: apresenta listagem com todos os dados referentes a demandas entre nós, tráfego, atrasos e probabilidades de perdas de células em enlaces;
- impressão: impressão de relatórios;

Fornecidos parâmetros relativos ao modelo COST242, o programa calcula demandas entre nós da rede, valores de tráfego, atrasos médios e probabilidade de perda de células em cada enlace, indica enlaces saturados, fornece o custo total de implantação da rede e o caminho mínimo entre dois nós.

Para cada nó são definidos serviços, custos de compra e instalação, tipo e um coeficiente de atratividade, o qual indica o grau de utilização dos serviços oferecidos por esse nó pelos demais nós da rede. Para cada serviço devem ser definidos parâmetros do modelo COST242, tais como taxa de transmissão média, prioridade de descarte da célula e taxa de pico, sendo que esses parâmetros são classificados em parâmetros de tráfego e parâmetros de qualidade de serviço, e a aplicabilidade de cada parâmetro depende da natureza do tráfego a ser suportado pelo serviço.

Ao inserir um enlace, devem ser especificados o *Nó A* e o *Nó B*. Considerando que os enlaces são bidirecionais, devem ser definidas uma capacidade no sentido *Nó A* - *Nó B* e uma capacidade no sentido *Nó B* - *Nó A*. A cada enlace é também atribuído um custo financeiro que aumenta de forma proporcional à sua capacidade, e um custo de trânsito no enlace em ambos os sentidos.

Através de uma interface gráfica, o usuário pode visualizar a rede, introduzir novos nós, serviços, enlaces, visualizar o caminho mínimo entre dois nós e identificar enlaces saturados.

O programa oferece duas visões gráficas da rede - uma a nível genérico e outra a nível de sub-rede. O nível genérico destina-se à representação das redes que interagem com a rede local em análise. A rede local em análise é representada por um único nó, e existem enlaces conectando-a às redes que se relacionam com ele. O nível de sub-rede apresenta os nós pertencentes a uma rede existente a nível genérico.

3.4. REPRESENTAÇÃO EM NÍVEIS

A representação em níveis visa proporcionar uma visualização mais clara da rede, isolando o núcleo da rede ATM em análise.

O software permite a representação da rede em dois níveis. São eles:

- Genérico – este nível tem como objetivo permitir a visualização das redes que interagem com a rede sendo documentada. A Figura 3.10 mostra uma possível representação a nível genérico;
- Nível de sub-rede – este nível destina-se à representação interna de uma sub-rede. A Figura 3.11 exibe a representação interna da rede Core (mostrada na Figura 3.10). Todas as sub-redes pertencentes ao nível Genérico podem ter uma representação a nível de sub-rede.

Com o objetivo de identificar a qual estação um enlace que parte de uma sub-rede do nível genérico em direção ao Core encontra-se conectado internamente ao Core, são definidos *pontos de conexão*. A cada enlace ligado ao Core no nível genérico é atribuído um ponto de conexão, conforme ilustrado na Figura 3.3.

3.5. DESCRIÇÃO DOS NÓS

- ATM Core: é a representação a nível mais alto da rede sendo documentada.
- ATM Server: servidor pertencente a uma rede ATM ou ao ATM Core.
- ATM Station: estação de trabalho pertencente a uma rede ATM ou ao ATM Core.
- ATM Subnet: representação a nível mais alto de uma rede ATM que interage com o ATM Core.
- ATM Switch: comutador pertencente a uma rede ATM ou ao ATM Core.
- Bridge: ponte destinada à interligação de sub-redes. Pode ser representada somente a nível genérico.
- Ethernet Server: servidor pertencente a uma rede Ethernet.
- Ethernet Station: estação de trabalho pertencente a uma rede Ethernet.
- Ethernet Subnet: representação a nível mais alto de uma rede Ethernet que interage com o ATM Core.
- Ethernet Switch: destina-se à interconexão entre uma rede ATM ou ATM Core e uma rede Ethernet.
- Gateway: utilizado a nível genérico para interligar redes que utilizam tecnologias distintas.
- Hub: equipamento que tem por função interligar dois ou mais segmentos de rede, não havendo interpretação do conteúdo da informação, funcionando assim como um meio de expansão.
- Router: utilizado a nível genérico para interconectar redes que podem utilizar tecnologias distintas.
- Token Ring Server: servidor pertencente a uma rede Token Ring.
- Token Ring Station: estação de trabalho pertencente a uma rede Token Ring.
- Token Ring Subnet: representação a nível genérico de uma rede Token Ring.
- Token Ring Switch: destina-se à interconexão de uma rede ATM ou ATM Core e uma rede Token Ring.

DADOS RELATIVOS A NÓS

- Label: string representando o nome do nó. Deve ser único em cada nível ou sub-rede.
- Type: deve ser um dos tipos listados no item 3.5.
- Description: descrição textual referente ao nó.

- **attractivity:** pode ser classificada em *baixa* (correspondendo ao valor 0.02), *média* (correspondendo ao valor 0.5) ou *alta* (correspondendo ao valor 1). Indica o grau de "atratividade" do nó, e é utilizada no cálculo de distribuição de demandas. A demanda que um nó recebe dos demais é proporcional a seu grau de atratividade.
- **Connections:** indica quais enlaces provenientes de nós conectados ao Core no nível genérico encontram-se conectados ao nó. Ao clicar o botão Connections, é exibida uma lista de pontos de conexão. Cada componente da lista de conexões corresponde a um ponto de conexão que caracteriza um enlace no nível genérico.

A Figura 3.5 mostra a tela de entrada e visualização de dados referentes a nós.

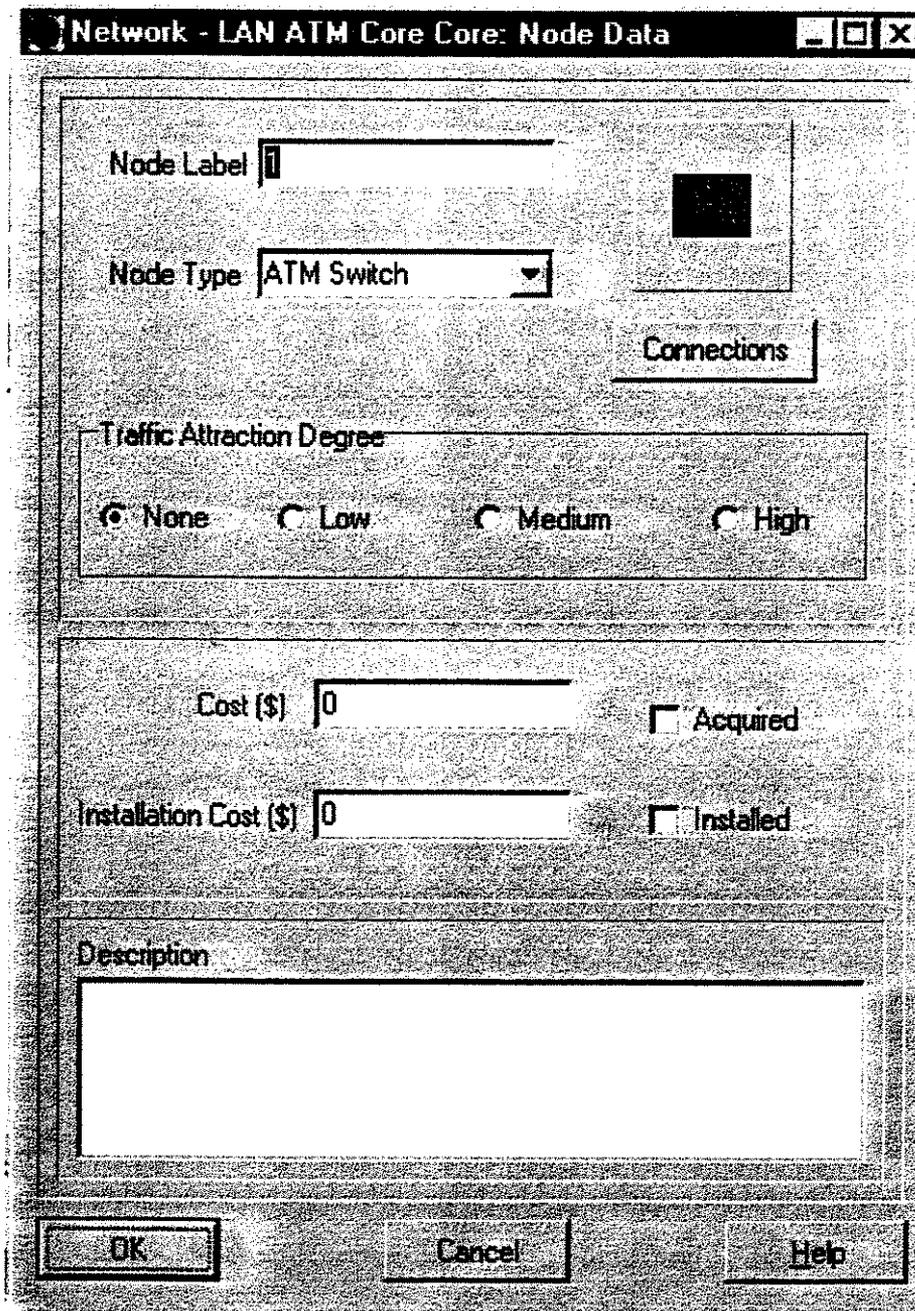


Figura 3.5 - Tela para entrada de dados relativos a nós.

3.6. DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS

DADOS RELATIVOS A SERVIÇOS

- Service name: nome do serviço;
- Number of elements: quantidade de serviços desse tipo existentes no nó;
- Cost: valor do custo de compra do serviço;
- Installation cost: valor do custo de instalação do serviço;
- Installed: indica se o serviço já se encontra instalado;
- Acquired: indica se o serviço foi comprado;
- TCR (Transmission Cell Rate): taxa de transmissão de células;
- SCR (Sustainable Cell Rate): taxa média máxima de células;
- CLR (Cell Loss Ratio): razão de perda de células;
- PCR (Peak Cell Rate): taxa de pico de células;
- Bandwidth (banda equivalente): tráfego gerado pelo serviço.

Os serviços são descritos através do modelo COST. O modelo COST apresenta os seguintes parâmetros:

- TCR (Transmission Cell Rate): Taxa de transmissão de célula -
- SCR (Sustainable Cell Rate): é a máxima taxa média permitida em uma conexão ATM;
- PCR (Peak Cell Rate): Taxa de pico de célula - especifica a taxa máxima oferecida em uma conexão ATM;
- CLR (Cell Los Rate): Taxa de perda de célula - é definida para uma conexão ATM como sendo $\text{Total de células perdidas} / \text{Total de células transmitidas}$.

As Figuras 3.6 e 3.7 mostram as telas referentes à entrada de dados de serviço.

Service Srv11-2

General | ATMForum | COST 242

Service Name: Srv11-2

Diffusion Coefficient: 0

Number of elements: 1

BHCA: 0

Holding Time: 0

Cost (\$): 0

Installation Cost (\$): 0

Erlang: 0

Acquired:

Installed:

Buttons: Prior, Next, OK, Cancel

Figura 3.6 - Tela para entrada de dados relativos a serviços.

Service Srv11-2

General | ATMForum | COST 242

TCR: 283745 cps

CLR: 1E-6

SCR: 1215 cps

PCR: 3298 cps

Bandwidth: 1648.6 cps

Help

Buttons: OK, Cancel

Figura 3.7 - Tela para entrada de parâmetros do modelo COST242.

3.7. DESCRIÇÃO DO ENLACE

DADOS RELATIVOS A ENLACE

- Node A, Node B: nós limitantes do enlace;
- Reference point: valor utilizado na conexão entre redes;
- A-B capacity: capacidade do enlace no sentido A-B;
- B-A capacity: capacidade do enlace no sentido B-A;
- A-B transit Cost: custo de trânsito no enlace no sentido A-B;
- B-A transit cost: custo de trânsito no enlace no sentido B-A;
- A-B acquire cost: custo de aquisição do enlace no sentido A-B;
- B-A acquire cost: custo de aquisição do enlace no sentido B-A;
- A-B installation cost: custo de instalação do enlace no sentido A-B;
- B-A installation cost: custo de instalação do enlace no sentido B-A;
- A-B acquired: indica se o enlace no sentido A-B já se encontra adquirido;
- B-A acquired: indica se o enlace no sentido B-A já se encontra adquirido;
- A-B installed: indica se o enlace no sentido A-B já se encontra instalado;
- B-A installed: indica se o enlace no sentido B-A já se encontra instalado;
- A-B traffic: tráfego do enlace no sentido A-B;
- B-A traffic: tráfego do enlace no sentido B-A;
- A-B delay: atraso do enlace em filas de espera de buffers no sentido A-B;
- B-A delay: atraso do enlace em filas de espera de buffers no sentido B-A;
- A-B Lost: probabilidade de perda de células do enlace no sentido A-B;
- B-A Lost: probabilidade de perda de células do enlace no sentido B-A;

A Figura 3.8 mostra a tela para visualização e entrada de dados referentes a enlace.

Network - LAN ATM-Core-ATM-Link Data

Link ID

Node A Node B Reference Point

A-B Capacity cps B-A Capacity cps

A-B Cost B-A Cost

A-B Cost (\$) A-B Installation Cost (\$) A-B Acquired

B-A Cost (\$) B-A Installation Cost (\$) B-A Acquired

A-B Installed

B-A Installed

A-B Traffic cps B-A Traffic cps

A-B Lost B-A Lost

A-B Delay s B-A Delay s

Figura 3.8 - Tela para entrada de dados de enlaces.

3.8. ESTUDO DE CASO - INTRODUÇÃO DE EQUIPAMENTOS ATM PARA INTERCONEXÃO ENTRE PRÉDIOS

UNIDADES

Os parâmetros de entrada do ATMnet relativos a taxas de transmissão devem ser dados em células por segundo. Dessa forma, algumas conversões foram necessárias no estudo de caso apresentado.

A rede em análise adota estrutura baseada na SDH [Soares 95], sendo que as células ATM são transportadas em quadros STM-1 [Soares 95]. Dessa forma, um canal com capacidade

de 155Mbps equivale a $\frac{155520000}{53 \times 8} \times \frac{261}{270} = 354566$ cps.

Supondo que um serviço gere um tráfego de 10Mbps convertido em cps da seguinte forma: $\frac{10000000}{8 \times 48} = 26041$ cps, considerando que a carga útil de uma célula ATM é 48 bytes.

DOCUMENTAÇÃO

A Figura 3.9 mostra a situação atual da rede em análise. São mostrados todos os nós e conexões, sendo que as capacidades das conexões são:

Conexão Prédio 6 - Prédio 2: dois canais de 155Mbps;

Conexão Prédio 6 - Prédio 4: dois canais de 155Mbps;

Conexão Prédio 6 - Prédio 7: três canais de 155Mbps;

Conexão Prédio 6 - Prédio 11: dois canais de 155Mbps;

Conexão Prédio 7 - Prédio 11: três canais de 155Mbps;

Conexão Prédio 6 - Prédios 3, 12, 13, 16 e 32: um canal de 155Mbps;

Conexões com estações ATM: 155Mbps.

Para uma descrição detalhada dos prédios e equipamentos da rede, consultar [Barone 96].

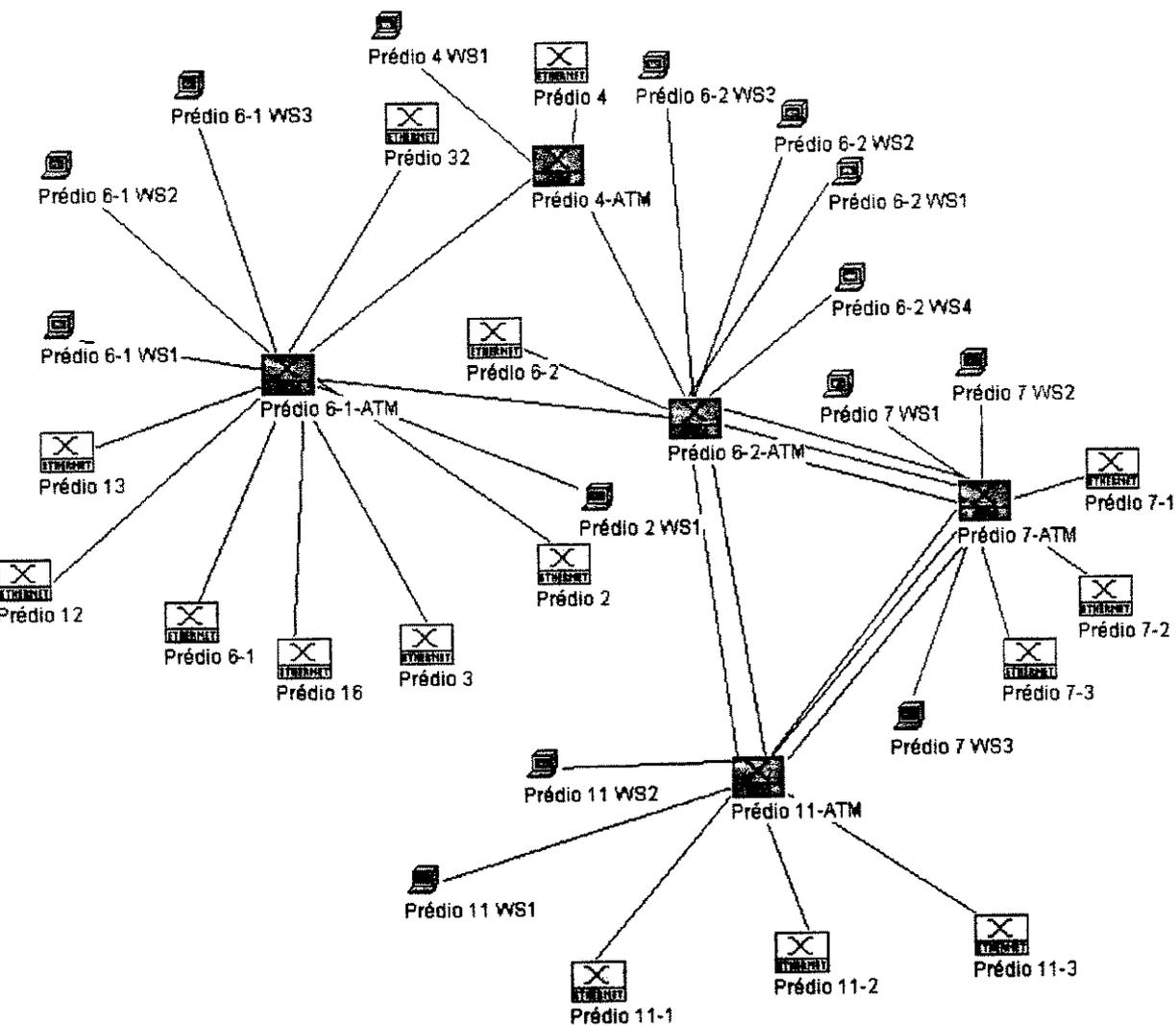


Figura 3.9 - Documentação da rede.

NÍVEL GENÉRICO

Figura 3.10 mostra a rede a nível genérico. Nesse nível são apresentados o Core, representando o núcleo ATM da rede em análise, e os equipamentos de comutação Ethernet.

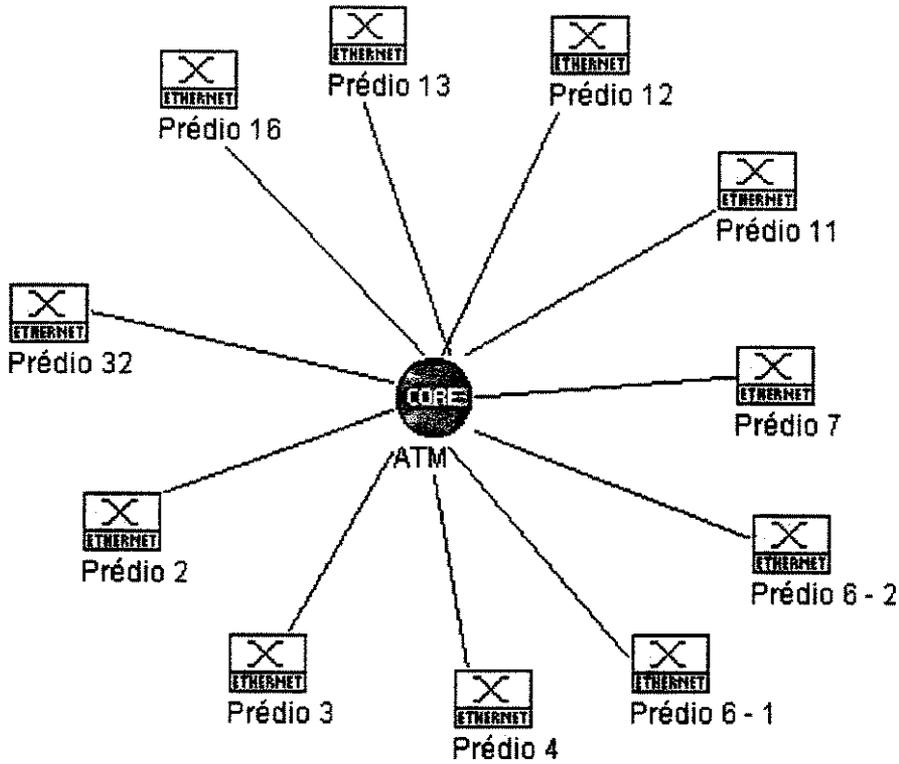


Figura 3.10 - Rede a nível genérico

NÍVEL DE SUB-REDE

A nível de sub-rede, foram efetuadas duas rodadas do ATMnet. Na primeira, não são consideradas as estações ATM ligadas aos comutadores, de modo a existir na rede somente tráfego proveniente dos serviços Ethernet. Para todos os nós Ethernet foi adotado coeficiente de atratividade alto (1). Os tráfegos em cada nó Ethernet foram obtidos experimentalmente [Barone 96] e encontram-se listados na Tabela 3.3.

A Figura 3.11 mostra a rede da Figura 3.10 (representada a nível genérico pelo nó ATM_CORE) vista a nível de sub-rede na primeira rodada.

Prédio	Banda efetiva
Prédio 2	1751.66
Prédio 3	1267.89
Prédio 4	8867.42
Prédio 6-1	3560.96
Prédio 6-2	3560.96
Prédio 7	118810.33
Prédio 11	4945.8
Prédio 12	1597.53
Prédio 13	1465.47
Prédio 16	2910.26
Prédio 32	2877.07

Tabela 3.3 - Bandas efetivas nos computadores Ethernet.

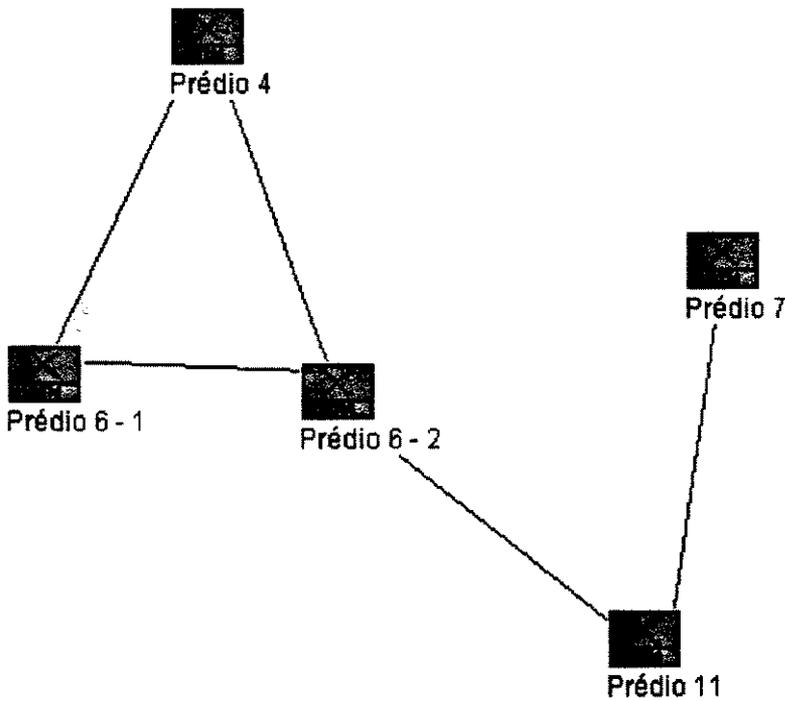


Figura 3.11 - Rede a nível de sub-rede considerando apenas equipamentos Ethernet como provedores e consumidores de serviços.

Na primeira rodada, nota-se que os enlaces estão superdimensionados, considerando que o tráfego gerado pelos equipamentos Ethernet é relativamente pequeno.

Na segunda rodada (Figura 3.12), foram atribuídos serviços e coeficientes de atratividade também para as estações conectadas a computadores ATM. Os coeficientes de atratividade e as

bandas efetivas utilizados para as estações ATM, definidos com base na descrição dos equipamentos de cada prédio [Barone 96], encontram-se listados na Tabela 3.4.

Prédio	Grau de atratividade	Banda efetiva
Prédio2-WS1	Médio	102137
Prédio4-WS1	Médio	102137
Prédio6-1-WS1	Alto	1204277
Prédio6-1-WS2	Alto	1204277
Prédio6-1-WS3	Alto	1204277
Prédio6-2-WS1	Alto	165974
Prédio6-2-WS2	Alto	165974
Prédio6-2-WS3	Alto	165974
Prédio6-2-WS4	Alto	165974
Prédio7-WS1	Alto	165974
Prédio7-WS2	Médio	102137
Prédio7-WS3	Médio	102137
Prédio11-WS1	Médio	102137
Prédio11-WS2	Médio	102137

Tabela 3.4 - Bandas efetivas provenientes das estações ATM.

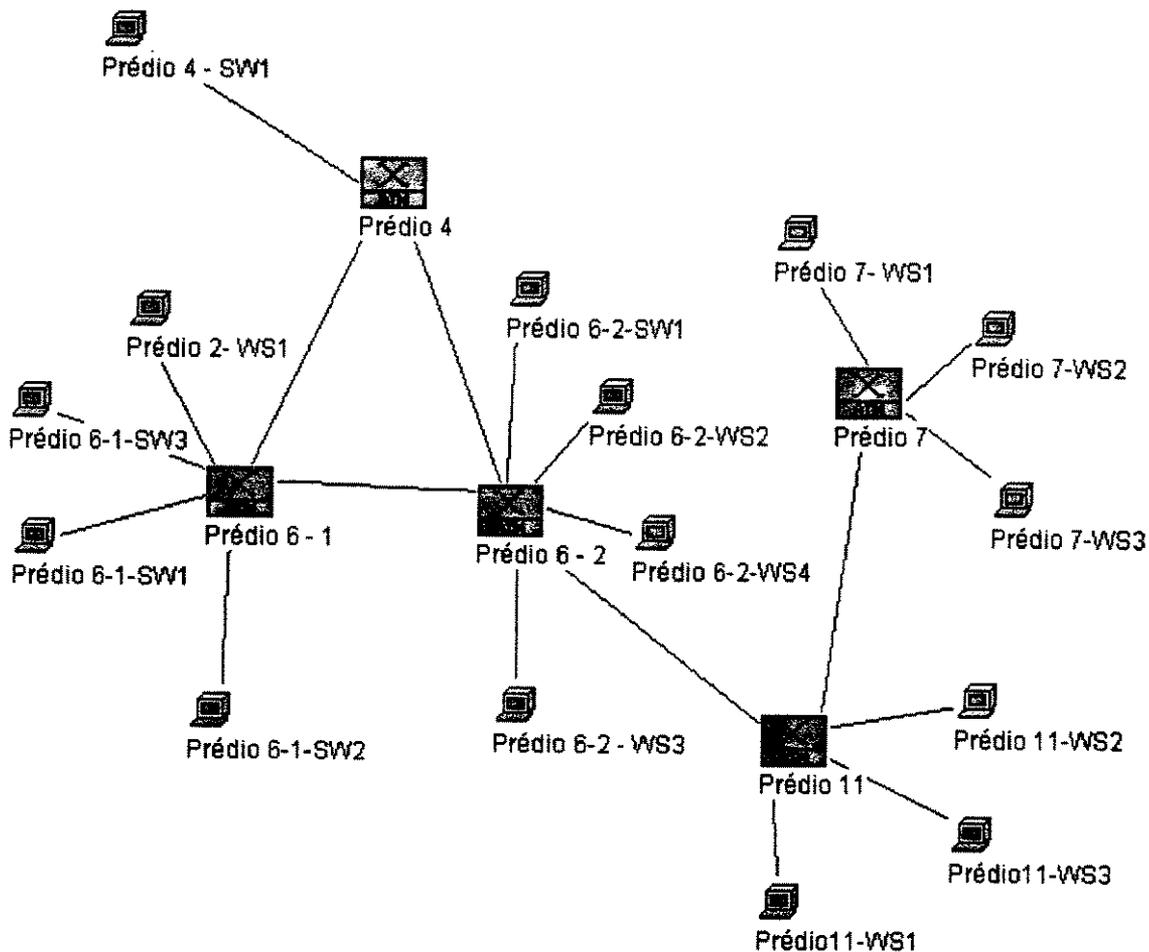


Figura 3.12 - Rede a nível de sub-rede considerando serviços de equipamentos Ethernet e ATM.

Na segunda rodada, o tráfego nos enlaces aumentou consideravelmente devido ao tráfego ATM. Entretanto, os enlaces não apresentam suas capacidades totalmente aproveitadas, de modo a suportar uma expansão futura da rede.

3.9. AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO E DE UTILIZAÇÃO

O programa foi desenvolvido usando a ferramenta DELPHI 2.0 da Borland. O programa executável resultante roda em microcomputadores PC com sistema operacional Windows 95 ou Windows NT. O acesso às bases de dados são efetuados através do Borland Database Engine.

3.10. CONCLUSÃO

Neste capítulo foi apresentado o ATMnet, uma ferramenta computacional destinada à implantação da tecnologia ATM no ambiente das redes locais.

Devido ao fato de as redes ATM apresentarem considerações de custos e tecnologia bastante distintas das redes locais tradicionais, é fundamental que o projetista de rede efetue um planejamento cuidadoso envolvendo questões relacionadas a equipamentos, topologia e novos serviços oferecidos. Com o objetivo de auxiliar o projetista de rede nessa etapa de planejamento, o ATMnet permite a construção de cenários de estudo através de uma interface gráfica, provendo uma visualização de nós, enlaces e serviços da rede, permitindo que se analise o tráfego em cada enlace e a identificação de enlaces saturados.

Foi apresentado um estudo de caso envolvendo a implantação da tecnologia ATM na interconexão de diversos prédios. Em uma primeira rodada do programa, são considerados apenas os nós Ethernet, e os resultados de execução mostram que os enlaces estão superdimensionados. Em uma segunda rodada, são considerados os serviços Ethernet e ATM, aumentando consideravelmente o tráfego no enlace. A maioria dos enlaces não apresenta sua capacidade totalmente aproveitada, permitindo assim a expansão da rede e suportando aumento de demanda.

Os modelos implementados para cálculo de banda efetiva e de perdas e atrasos de células em enlaces são bastante simples, mas mostraram-se eficientes para redes de pequeno porte.

O programa é estruturado de forma a permitir que os modelos implementados sejam facilmente substituídos por modelos mais sofisticados.

Uma expansão do programa seria a representação da camada física, permitindo o mapeamento da rede lógica em uma configuração física e abordando aspectos referentes a equipamentos, tais como número de portas existentes em um comutador e capacidade dos nós de comutação.

CONCLUSÃO

A demanda por novos serviços têm gerado a necessidade de uma reestruturação nas redes locais tradicionais. Em sua concepção, as redes locais são baseadas em um meio físico compartilhado através do qual a transmissão de dados se dá por difusão. Essa estrutura oferece bastante simplicidade de implantação e operação das redes, mas apresentam restrições quanto ao número de estações conetadas ao meio compartilhado e o tráfego muito elevado compromete a eficiência da rede. Assim, com o objetivo de suportar diferentes tipos de tráfego e transmissões a altas taxas, as redes locais vêm caminhando em direção à tecnologia ATM.

Como o ATM apresenta maior complexidade tanto sob o ponto de vista de instalação como o de gerenciamento, requer maiores investimentos financeiros e apresenta características bastante distintas das tecnologias utilizadas nas redes locais tradicionais, existe a necessidade de um planejamento cuidadoso com o objetivo de construir uma estrutura topológica que otimize o uso dos recursos compartilhados. Com o objetivo de auxiliar o projetista de rede na tarefa de planejamento, neste trabalho foi desenvolvido um aplicativo matemático-computacional destinado ao dimensionamento de enlaces da rede.

APÊNDICE 1

DIAGRAMA DE FLUXO DE DADOS

A1.1. CONVENÇÕES SIMBÓLICAS

ENTIDADE EXTERNA

Entidades externas são categorias lógicas de coisas ou pessoas que representam uma fonte ou destino para transações, tais como *cliente*, *fornecedor* ou um *departamento*. A entidade externa está situada fora dos limites do sistema considerado. A Figura A1.1 ilustra as convenções adotadas para representação de entidades externas.

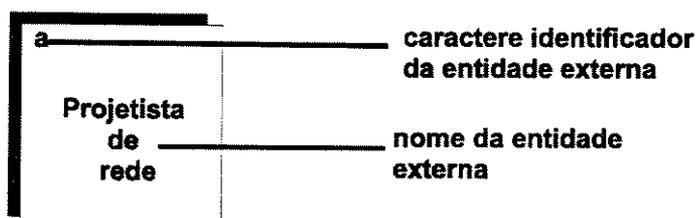


Figura A1.1. Representação de entidade externa.

Objetivando criar uma representação gráfica do sistema de fácil visualização, devem-se evitar cruzamentos de fluxos de dados. Assim, pode ser necessário que um mesmo componente seja representado mais de uma vez no diagrama. No caso da entidade externa, essa multiplicidade é representada por um traço no canto superior esquerdo, conforme ilustrado na Figura A1.2. Existirão tantos traços quanto for o número de repetições.

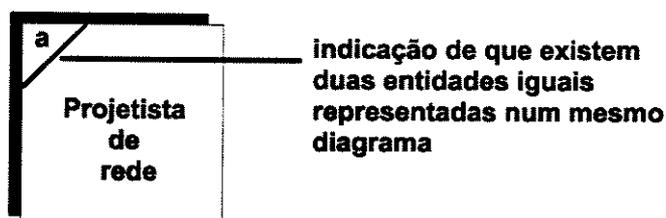


Figura A1.2 - Representação de entidade externa com uma repetição.

FLUXO DE DADOS

O fluxo de dados é simbolizado por meio de uma seta, com a ponta indicando a direção do fluxo. Cada fluxo pode ser considerado como um tubo pelo qual passam pacotes de dados. A cada fluxo de dados está associado um nome identificador. Cada fluxo de dados deve ser descrito de forma detalhada, em termos de estruturas e elementos de dados, em um *dicionário de dados*. A Figura A1.3 ilustra a representação de um fluxo de dados.

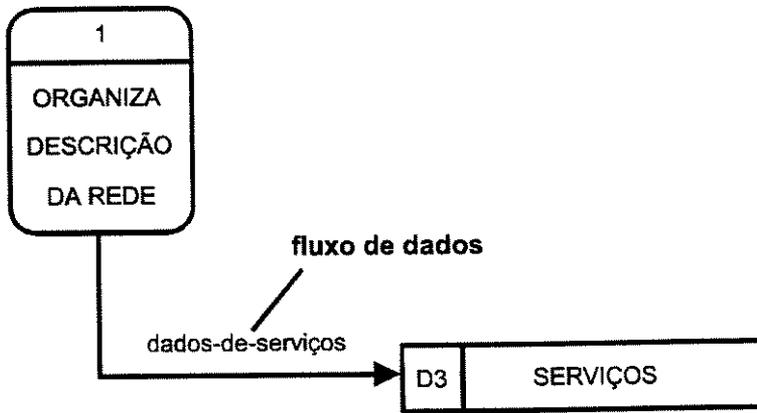


Figura A1.3 - Representação gráfica de fluxo de dados.

PROCESSO

Um processo equivale a uma função lógica do sistema. A Figura A1.4 mostra a representação gráfica de um processo.

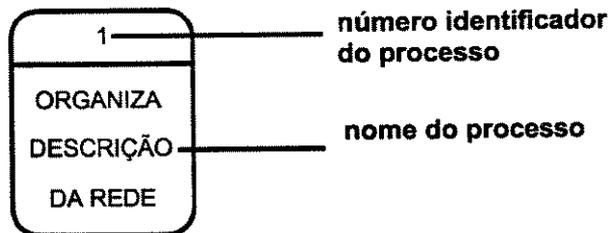


Figura A1.4 - Representação gráfica de processo.

DEPÓSITO DE DADOS

Representa dados armazenados. Quando um processo armazena dados, a seta do fluxo de dados aponta para o depósito de dados. Quando um processo recebe dados armazenados, existe um fluxo de dados proveniente do depósito de dados em direção ao processo. As figuras A1.5 e A1.6 ilustram a representação gráfica de um depósito de dados. A Figura A1.7 mostra a relação entre fluxos de dados e depósitos de dados.



Figura A1.5 - Representação gráfica de depósitos de dados.

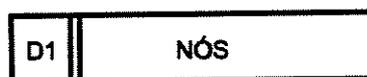


Figura A1.6 - Representação gráfica de depósito de dados com uma repetição.

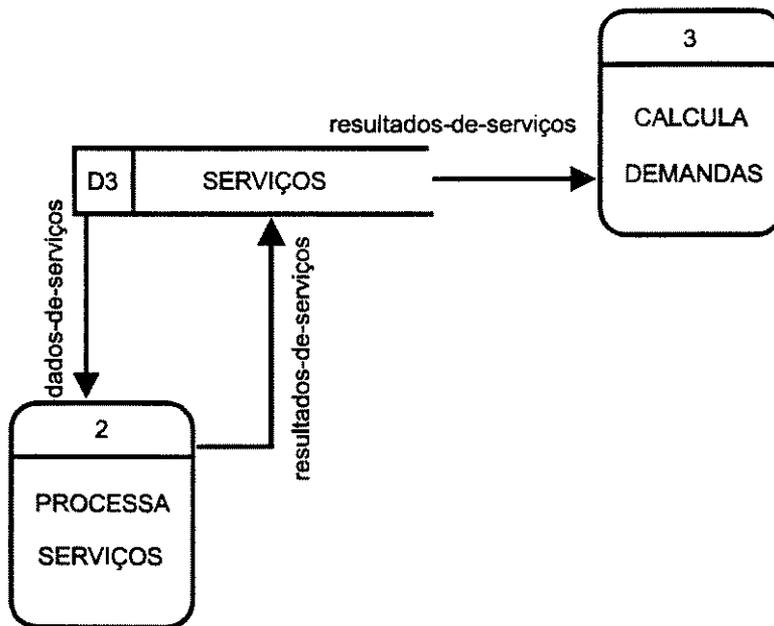


Figura A1.7 - Fluxo de dados partindo de depósito e fluxo de dados entrando em depósito.

A1.2. CONVENÇÕES DE EXPANSÃO

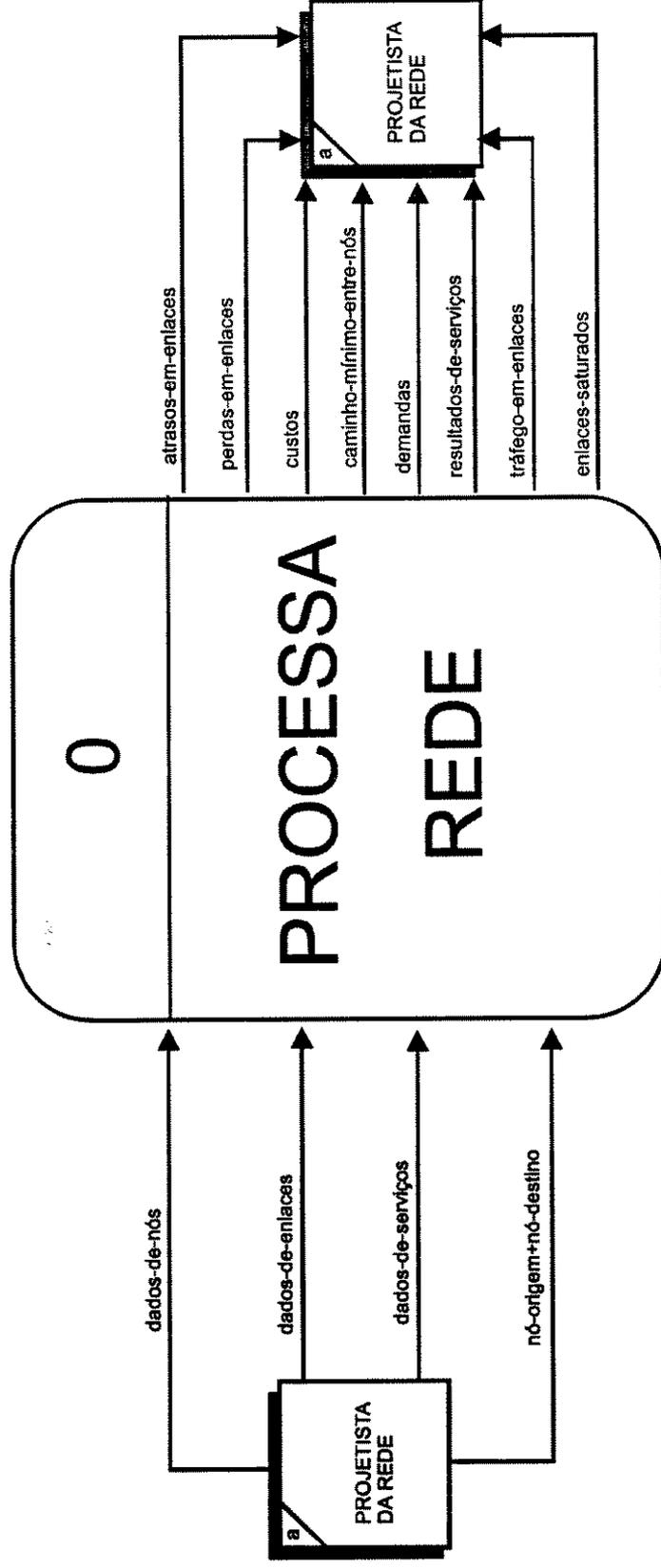
Cada processo no nível superior do diagrama pode ser expandido para tornar-se um novo diagrama de fluxo de dados. O nível superior é denominado *nível 0*. No nível 0 o sistema é composto por um único processo, e são indicadas as entradas e saídas desse processo.

O processo de nível 0 é expandido em vários processos de *nível 1*. Por sua vez, cada processo de nível 1 pode ser expandido em *nível 2*, e assim consecutivamente.

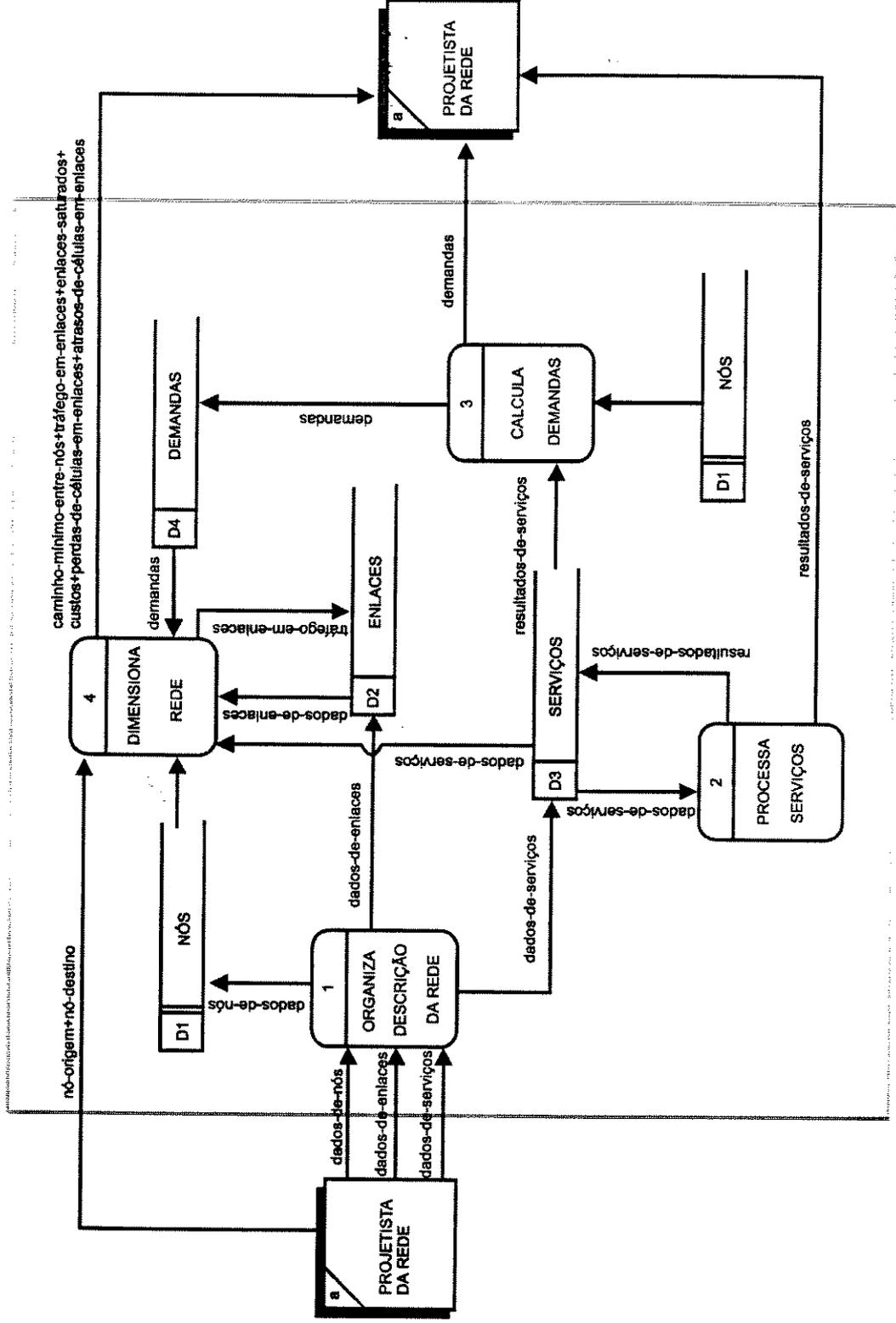
A1.3. DIAGRAMAS DE FLUXOS DE DADOS RELATIVOS AO ATMnet

Nos itens seguintes são mostrados os diagramas de fluxos de dados referentes ao ATMnet e a dicionarização dos fluxos de dados, depósitos de dados e processos.

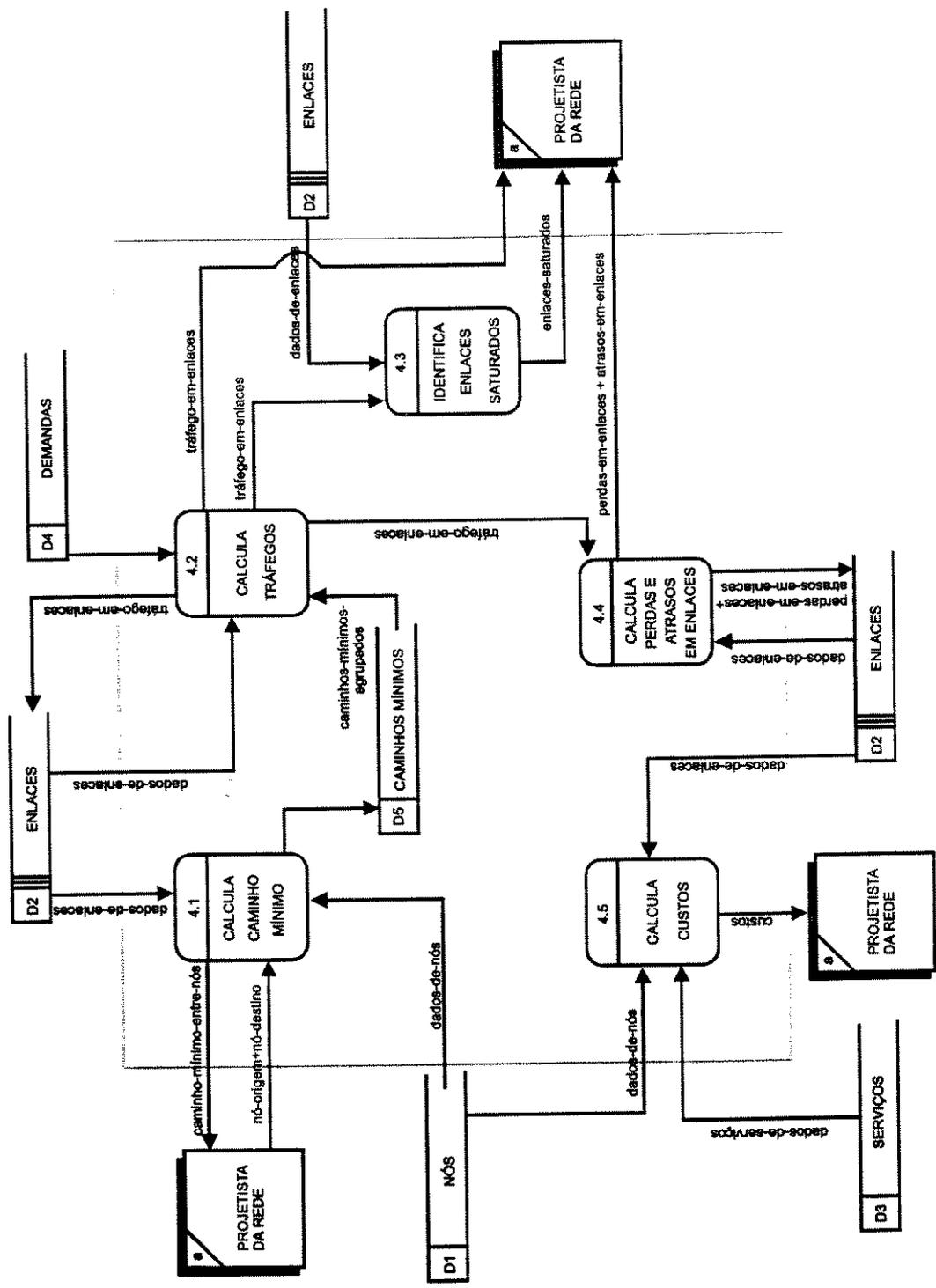
NÍVEL 0



NÍVEL 1



NÍVEL 2



DICIONÁRIO DE DADOS - FLUXOS DE DADOS**atrasos-em-enlaces**

Descrição: contém valores de atrasos de células em ambos os sentidos do enlace.

Estruturas de dados:

DETALHES-DE-ATRASO-EM-ENLACES

IDENTIFICAÇÃO-DE-ENLACE

NOME-DE-NÓ * (2)

VALOR-DE-ATRASO-EM-ENLACE-AB

VALOR-DE-ATRASO-EM-ENLACE-BA

custos

Descrição: contém os valores de custo efetivo e geral da rede, sendo considerado como custo efetivo a soma de todos os custos de instalação e aquisição de equipamentos que não se encontram já se encontrem instalados na rede e não constituam patrimônio da empresa, e custo geral é uma avaliação de custo financeiro da rede, incluindo patrimônios.

Estruturas de dados:

DETALHES-DE-CUSTO

DETALHES-DE-CUSTO-GERAL

VALOR-DE-INSTALAÇÃO-GERAL

VALOR-DE-AQUISIÇÃO-GERAL

VALOR-TOTAL-GERAL

DETALHES-DE-CUSTO-EFETIVO

VALOR-DE-INSTALAÇÃO-EFETIVO

VALOR-DE-AQUISIÇÃO-EFETIVO

VALOR-TOTAL-EFETIVO

dados-de-enlaces

Descrição: apresenta as características dos enlaces existentes na rede.

Estruturas de dados:

DETALHES-DE-ENLACE

IDENTIFICAÇÃO-DE-ENLACE

NOME-DE-NÓ * (2)

CAPACIDADE-DE-ENLACE
CAPACIDADE-DE-ENLACE-AB
CAPACIDADE-DE-ENLACE-BA
CUSTOS-FINANCEIROS-DE-ENLACE
CUSTO-FINANCEIRO-DE-AQUISIÇÃO-DE-ENLACE-AB
CUSTO-FINANCEIRO-DE-AQUISIÇÃO-DE-ENLACE-BA
CUSTO-FINANCEIRO-DE-INSTALAÇÃO-DE-ENLACE-AB
CUSTO-FINANCEIRO-DE-INSTALAÇÃO-DE-ENLACE-BA
ENLACE-AB-JÁ-ADQUIRIDO
ENLACE-BA-JÁ-ADQUIRIDO
ENLACE-AB-JÁ-INSTALADO
ENLACE-BA-JÁ-INSTALADO
CUSTOS-DE-TRÂNSITO-DE-ENLACE
CUSTO-DE-TRÂNSITO-DE-ENLACE-AB
CUSTO-DE-TRÂNSITO-DE-ENLACE-BA

dados-de-nós

Descrição: apresenta as características dos nós existentes na rede.

Estruturas de dados:

DETALHES-DE-NÓ

NOME-DE-NÓ

TIPO-DE-NÓ

UNIVERSALIDADE-DE-NÓ

dados-de-serviços

Descrição: apresenta as características dos serviços existentes na rede.

Estruturas de dados:

DETALHES-DE-SERVIÇO

DETALHES-DE-SERVIÇO-GENÉRICO

NOME-DE-SERVIÇO

NÚMERO-DE-ELEMENTOS-DE-SERVIÇO

CUSTO-DE-SERVIÇO

CUSTO-DE-INSTALAÇÃO-DE-SERVIÇO

CUSTO-DE-AQUISIÇÃO-DE-SERVIÇO
DETALHES-DE-SERVIÇO-COST242
TCR
PCR
SCR
CLR

caminho-mínimo-entre-nós

Descrição: contém o valor de identificação de cada enlace componente do caminho mínimo entre dois nós.

Estruturas de dados:

IDENTIFICAÇÃO-DE-ENLACE*
NOME-DE-NÓ * (2)

caminhos-mínimos-agrupados

Descrição: contém o valor de identificação de cada enlace componente do caminho mínimo entre cada par de nós da rede.

Estruturas de dados:

IDENTIFICAÇÃO-DE-ENLACE*
NOME-DE-NÓ * (2)

demandas

Descrição: contém os valores das demandas entre cada par de nós existentes na rede.

Estruturas de dados:

DETALHES-DE-DEMANDA
NOME-DE-NÓ * (2)
VALOR-DE-DEMANDA

enlaces-saturados

Descrição: contém os valores de identificação de enlaces cujo tráfego é maior que a capacidade em um ou ambos os sentidos de trânsito.

Estruturas de dados:

IDENTIFICAÇÃO-DE-ENLACE*
NOME-DE-NÓ * (2)

nó-origem+nó-destino

Descrição: nomes dos nó origem e destino.

Estruturas de dados:

DETALHES-DE-NÓ * (2)

NOME-DE-NÓ

TIPO-DE-NÓ

UNIVERSALIDADE-DE-NÓ

perdas-em-enlaces

Descrição: contém valores de perdas de células em ambos os sentidos de um enlace.

Estruturas de dados:

DETALHES-DE-PERDAS-DE-CÉLULAS-EM-ENLACES

IDENTIFICAÇÃO-DE-ENLACE

NOME-DE-NÓ * (2)

PERDAS-DE-CÉLULAS-EM-ENLACE-AB

PERDAS-DE-CÉLULAS-EM-ENLACE-BA

resultados-de-serviços

Descrição: contém o valor da banda equivalente gerada por um determinado serviço.

Estruturas de dados:

DETALHES-DE-RESULTADOS-DE-SERVIÇOS

BANDA-EQUIVALENTE

tráfego-em-enlaces

Descrição: contém valores de tráfego de células em ambos os sentidos do enlace.

Estruturas de dados:

DETALHES-DE-TRÁFEGO-EM-ENLACE

IDENTIFICAÇÃO-DE-ENLACE

NOME-DE-NÓ * (2)

VALOR-DE-TRÁFEGO-EM-ENLACE-AB

VALOR-DE-TRÁFEGO-EM-ENLACE-BA

DICIONÁRIO DE DADOS - ESTRUTURAS DE DADOS

CAPACIDADE-DE-ENLACE

Descrição: estrutura de dados representando as capacidades de tráfego do enlace em ambos os sentidos de trânsito.

Elementos de dados:

CAPACIDADE-DE-ENLACE-AB

CAPACIDADE-DE-ENLACE-BA

Fluxos de dados:

dados-de-enlaces: a-0; a-1; 1-D2; D2-4; D2-4.1; D2-4.2; D2-4.3; D2-4.4; D2-4.5

CUSTOS-FINANCEIROS-DE-ENLACE

Descrição: estrutura de dados representando os custos financeiros referentes a instalação e aquisição de enlaces.

Elementos de dados:

CUSTO-FINANCEIRO-DE-AQUISIÇÃO-DE-ENLACE-AB

CUSTO-FINANCEIRO-DE-AQUISIÇÃO-DE-ENLACE-BA

CUSTO-FINANCEIRO-DE-INSTALAÇÃO-DE-ENLACE-AB

CUSTO-FINANCEIRO-DE-INSTALAÇÃO-DE-ENLACE-BA

ENLACE-AB-JÁ-ADQUIRIDO

ENLACE-BA-JÁ-ADQUIRIDO

ENLACE-AB-JÁ-INSTALADO

ENLACE-BA-JÁ-INSTALADO

Fluxos de dados:

dados-de-enlaces: a-0; a-1; 1-D2; D2-4; D2-4.1; D2-4.2; D2-4.3; D2-4.4; D2-4.5

CUSTO-DE-SERVIÇO

Descrição: estrutura de dados representando custos de instalação e aquisição de serviços.

Elementos de dados:

CUSTO-DE-INSTALAÇÃO-DE-SERVIÇO

CUSTO-DE-AQUISIÇÃO-DE-SERVIÇO

Fluxos de dados:

dados-de-serviços: a-1; 1-D3; D3-2; D3-4; D3-4.6

CUSTOS-DE-TRÂNSITO-DE-ENLACE

Descrição: estrutura de dados representando custos de trânsito em ambos os sentidos do enlace.

Elementos de dados:

CUSTO-DE-TRÂNSITO-DE-ENLACE-AB

CUSTO-DE-TRÂNSITO-DE-ENLACE-BA

Fluxos de dados:

dados-de-enlaces: a-0; a-1; 1-D2; D2-4; D2-4.1; D2-4.2; D2-4.3; D2-4.4; D2-4.5

DETALHES-DE-ATRASOS-EM-ENLACES

Descrição: estrutura de dados representando os valores de atrasos de células em ambos os sentidos do enlace.

Estruturas de dados:

IDENTIFICAÇÃO-DE-ENLACE

Elementos de dados:

VALOR-DE-ATRASO-EM-ENLACE-AB

VALOR-DE-ATRASO-EM-ENLACE-BA

Fluxos de dados:

atrasos-em-enlaces: 0-a; 4-a; 4.4-a; 4.4-D2

DETALHES-DE-CUSTO

Descrição: estrutura de dados representando os dois tipos de custos retornados ao projetista de rede: custo efetivo e custo geral.

Estruturas de dados:

DETALHES-DE-CUSTO-GERAL

DETALHES-DE-CUSTO-EFETIVO

Fluxos de dados:

custos: 0-a; 4-a; 4.5-a

DETALHES-DE-CUSTO-EFETIVO

Descrição: estrutura de dados representando os valores de instalação, aquisição e total gerados pelos custos efetivo, ou seja, custos gerados por equipamentos e serviços cuja aquisição e instalação causaram gastos imediatos.

Elementos de dados:

VALOR-DE-INSTALAÇÃO-EFETIVO

VALOR-DE-AQUISIÇÃO-EFETIVO

VALOR-TOTAL-EFETIVO

Fluxos de dados:

custos: 0-a; 4-a; 4.5-a

DETALHES-DE-CUSTO-GERAL

Descrição: estrutura de dados representando os valores de instalação, de aquisição e total gerados pelos custos gerais, ou seja, custos de equipamentos e serviços já adquiridos e instalados somado a custos de equipamentos e serviços a adquirir e a instalar.

Elementos de dados:

VALOR-DE-INSTALAÇÃO-GERAL

VALOR-DE-AQUISIÇÃO-GERAL

VALOR-TOTAL-GERAL

Fluxos de dados:

custos: 0-a; 4-a; 4.5-a

DETALHES-DE-DEMANDA

Descrição: estrutura de dados representando o valor de demanda entre dois nós da rede (origem e destino).

Elementos de dados:

NOME-DE-NÓ * (2)

VALOR-DE-DEMANDA

Fluxos de dados:

demandas: 0-a; 3-a; 3-D4; D4-4

DETALHES-DE-ENLACE

Descrição: estrutura de dados representando todos os dados referentes a enlaces da rede.

Estruturas de dados:

IDENTIFICAÇÃO-DE-ENLACE

CAPACIDADE-DE-ENLACE

CUSTOS-FINANCEIROS-DE-ENLACE

CUSTOS-DE-TRÂNSITO-DE-ENLACE

Fluxos de dados:

dados-de-enlaces: a-0; a-1; 1-D2; D2-4; D2-4.1; D2-4.2; D2-4.3; D2-4.4; D2-4.5

DETALHES-DE-NÓ

Descrição: estrutura de dados representando os dados referentes a nós da rede.

Elementos de dados:

NOME-DE-NÓ

TIPO-DE-NÓ

ATRATIVIDADE-DE-NÓ

Fluxos de dados:

dados-de-nós: a-0; a-1; 1-D1; D1-4; D1-3; D1-4.1; D1-4.6

DETALHES-DE-PERDAS-DE-CÉLULAS-EM-ENLACES

Descrição: estrutura de dados representando perda de células em enlaces da rede.

Estruturas de dados:

IDENTIFICAÇÃO-DE-ENLACE

Elementos de dados:

PERDAS-DE-CÉLULAS-EM-ENLACE-AB

PERDAS-DE-CÉLULAS-EM-ENLACE-BA

Fluxos de dados:

perdas-em-enlaces: 0-a; 4-a; 4.4-a

DETALHES-DE-RESULTADOS-DE-SERVIÇOS

Descrição: estrutura de dados representando resultados obtidos a partir do processamento de parâmetros de tráfego e de qualidade de serviço dos serviços existentes na rede.

Elementos de dados:

BANDA-EQUIVALENTE

Fluxos de dados:

resultados-de-serviços: 0-a; 2-D3; D3-3; 2-a

DETALHES-DE-SERVIÇO

Descrição: estrutura de dados representando dados referentes aos serviços da rede.

Estruturas de dados:

DETALHES-DE-SERVIÇO-GENÉRICO

DETALHES-DE-SERVIÇO-COST242

Fluxos de dados:

dados-de-serviços: a-1; 1-D3; D3-2; D3-4; D3-4.6

DETALHES-DE-SERVIÇO-COST242

Descrição: estrutura de dados representando dados de serviço relativos ao modelo COST242.

Elementos de dados:

TCR

PCR

SCR

CLR

Fluxos de dados:

dados-de-serviços: a-1; 1-D3; D3-2; D3-4; D3-4.6

DETALHES-DE-SERVIÇO-GENÉRICO

Descrição: estrutura de dados representando dados de serviço genéricos.

Elementos de dados:

NOME-DE-SERVIÇO

NÚMERO-DE-ELEMENTOS-DE-SERVIÇO

Estruturas de dados:

CUSTO-DE-SERVIÇO***Fluxos de dados:***

dados-de-serviços: a-1; 1-D3; D3-2; D3-4; D3-4.6

DETALHES-DE-TRÁFEGO-EM-ENLACE

Descrição: estrutura de dados representando valores de ráfego em cada sentido de trânsito de um enlace da rede.

Estruturas de dados:**IDENTIFICAÇÃO-DE-ENLACE*****Elementos de dados:***

VALOR-DE-TRÁFEGO-EM-ENLACE-AB

VALOR-DE-TRÁFEGO-EM-ENLACE-BA

Fluxos de dados:

tráfego-em-enlaces: 0-a; 4-a; 4-D2; 4.2-D2; 4.2-4.3; 4.2-4.4; 4.2-a

IDENTIFICAÇÃO-DE-ENLACE

Descrição: estrutura de dados representando a identificação de cada enlace existente na rede.

Elementos de dados:

NOME-DE-NÓ * (2)

Fluxos de dados:

dados-de-enlaces: a-0; a-1; 1-D2; D2-4; D2-4.1; D2-4.2; D2-4.3; D2-4.4; D2-4.5

caminho-mínimo-entre-nós: 0-a; 4-a;4.1-a

caminho-mínimo-agrupados: D5-4.2

enlaces-saturados: 0-a; 4-a; 4.3-a

perdas-de-células-em-enlaces: 0-a; 4-a; 4.4-a; 4.4-D2

tráfego-em-enlaces: 0-a; 4-a; 4-D2; 4.2-D2; 4.2-4.3; 4.2-4.4; 4.2-a

atrasos-em-enlaces: 0-a; 4-a; 4.4-a; 4.4-D2

DICIONÁRIO DE DADOS - ELEMENTOS DE DADOS

CAPACIDADE-DE-ENLACE-AB

Descrição: capacidade de transmissão do enlace no sentido de trânsito nó A - nó B.

Domínio: números reais.

Estruturas de dados relacionadas:

CAPACIDADE-DE-ENLACE

Fluxos de dados relacionados:

dados-de-enlaces: a-0; a-1; 1-D2; D2-4; D2-4.1; D2-4.2; D2-4.3; D2-4.4; D2-4.5;

CAPACIDADE-DE-ENLACE-BA

Descrição: capacidade de transmissão do enlace no sentido de trânsito nó B - nó A.

Domínio: números reais.

Estruturas de dados relacionadas:

CAPACIDADE-DE-ENLACE

Fluxos de dados relacionados:

dados-de-enlaces: a-0; a-1; 1-D2; D2-4; D2-4.1; D2-4.2; D2-4.3; D2-4.4; D2-4.5;

CUSTO-FINANCEIRO-DE-AQUISIÇÃO-DE-ENLACE-AB

Descrição: custo de compra dos enlaces físicos correspondentes ao enlace lógico sentido nó A - nó B.

Domínio: números reais.

Estruturas de dados relacionadas:

CUSTOS-FINANCEIROS-DE-ENLACE

Fluxos de dados relacionados:

dados-de-enlaces: a-0; a-1; 1-D2; D2-4; D2-4.1; D2-4.2; D2-4.3; D2-4.4; D2-4.5;

CUSTO-FINANCEIRO-DE-AQUISIÇÃO-DE-ENLACE-BA

Descrição: custo de compra dos enlaces físicos correspondentes ao enlace lógico sentido nó B - nó A.

Domínio: números reais.

Estruturas de dados relacionadas:

CUSTOS-FINANCEIROS-DE-ENLACE

Fluxos de dados relacionados:

dados-de-enlaces: a-0; a-1; 1-D2; D2-4; D2-4.1; D2-4.2; D2-4.3; D2-4.4; D2-4.5;

CUSTO-FINANCEIRO-DE-INSTALAÇÃO-DE-ENLACE-AB

Descrição: custo de instalação dos enlaces físicos correspondentes ao enlace lógico sentido nó A - nó B.

Domínio: números reais.

Estruturas de dados relacionadas:

CUSTOS-FINANCEIROS-DE-ENLACE

Fluxos de dados relacionados:

dados-de-enlaces: a-0; a-1; 1-D2; D2-4; D2-4.1; D2-4.2; D2-4.3; D2-4.4; D2-4.5;

CUSTO-FINANCEIRO-DE-INSTALAÇÃO-DE-ENLACE-BA

Descrição: custo de instalação dos enlaces físicos correspondentes ao enlace lógico sentido nó B - nó A.

Domínio: números reais.

Estruturas de dados relacionadas:

CUSTOS-FINANCEIROS-DE-ENLACE

Fluxos de dados relacionados:

dados-de-enlaces: a-0; a-1; 1-D2; D2-4; D2-4.1; D2-4.2; D2-4.3; D2-4.4; D2-4.5;

ENLACE-AB-JÁ-ADQUIRIDO

Descrição: indica se o enlace AB já se encontra adquirido ou se representa custos de compra.

Domínio: pode assumir os valores VERDADEIRO ou FALSO.

Estruturas de dados relacionadas:

CUSTOS-FINANCEIROS-DE-ENLACE

Fluxos de dados relacionados:

dados-de-enlaces: a-0; a-1; 1-D2; D2-4; D2-4.1; D2-4.2; D2-4.3; D2-4.4; D2-4.5;

ENLACE-BA-JÁ-ADQUIRIDO

Descrição: indica se o enlace BA já se encontra adquirido ou se representa custos de compra.

Domínio: pode assumir os valores VERDADEIRO ou FALSO.

Estruturas de dados relacionadas:

CUSTOS-FINANCEIROS-DE-ENLACE

Fluxos de dados relacionados:

dados-de-enlaces: a-0; a-1; 1-D2; D2-4; D2-4.1; D2-4.2; D2-4.3; D2-4.4; D2-4.5;

ENLACE-AB-JÁ-INSTALADO

Descrição: indica se o enlace AB já se encontra instalado na rede ou não.

Domínio: pode assumir os valores VERDADEIRO ou FALSO.

Estruturas de dados relacionadas:

CUSTOS-FINANCEIROS-DE-ENLACE

Fluxos de dados relacionados:

dados-de-enlaces: a-0; a-1; 1-D2; D2-4; D2-4.1; D2-4.2; D2-4.3; D2-4.4; D2-4.5;

ENLACE-BA-JÁ-INSTALADO

Descrição: indica se o enlace BA já se encontra instalado na rede ou não.

Domínio: pode assumir os valores VERDADEIRO ou FALSO.

Estruturas de dados relacionadas:

CUSTOS-FINANCEIROS-DE-ENLACE

Fluxos de dados relacionados:

dados-de-enlaces: a-0; a-1; 1-D2; D2-4; D2-4.1; D2-4.2; D2-4.3; D2-4.4; D2-4.5;

CUSTO-DE-INSTALAÇÃO-DE-SERVIÇO

Descrição: é o custo de instalação de um serviço na rede.

Domínio: números reais.

Estruturas de dados relacionadas:

CUSTO-DE-SERVIÇO

Fluxos de dados relacionados:

dados-de-serviços: a-1; 1-D3; D3-2; D3-4; D3-4.6

CUSTO-DE-AQUISIÇÃO-DE-SERVIÇO

Descrição: é o custo de instalação de um serviço na rede.

Domínio: números reais.

Estruturas de dados relacionadas:

CUSTO-DE-SERVIÇO

Fluxos de dados relacionados:

dados-de-serviços: a-1; 1-D3; D3-2; D3-4; D3-4.6

CUSTO-DE-TRÂNSITO-DE-ENLACE-AB

Descrição: é o custo de trânsito de células através do enlace AB.

Domínio: números reais.

Estruturas de dados relacionadas:

CUSTOS-DE-TRÂNSITO-DE-ENLACE***Fluxos de dados relacionados:***

dados-de-enlaces: a-0; a-1; 1-D2; D2-4; D2-4.1; D2-4.2; D2-4.3; D2-4.4; D2-4.5;

CUSTO-DE-TRÂNSITO-SE-ENLACE-BA

Descrição: é o custo de trânsito de células através do enlace BA.

Domínio: números reais.

Estruturas de dados relacionadas:**CUSTOS-DE-TRÂNSITO-DE-ENLACE*****Fluxos de dados relacionados:***

dados-de-enlaces: a-0; a-1; 1-D2; D2-4; D2-4.1; D2-4.2; D2-4.3; D2-4.4; D2-4.5;

VALOR-DE-INSTALAÇÃO-EFETIVO

Descrição: é o custo total de instalação de todos os equipamentos existentes na rede que não se encontram instalados.

Domínio: números reais.

Estruturas de dados relacionadas:**DETALHES-DE-CUSTO-EFETIVO*****Fluxos de dados relacionados:***

CUSTOS: 0-A; 4-A; 4.5-A

VALOR-DE-AQUISIÇÃO-EFETIVO

Descrição: é o custo total de aquisição de equipamentos da rede, considerando apenas equipamentos que não se encontram adquiridos, representando portanto custo de compra.

Domínio: números reais.

Estruturas de dados relacionadas:**DETALHES-DE-CUSTO-EFETIVO*****Fluxos de dados relacionados:***

CUSTOS: 0-A; 4-A; 4.5-A

VALOR-TOTAL-EFETIVO

Descrição: é a soma do custo total de aquisição efetivo e o custo total de instalação efetivo.

Domínio: números reais.

Estruturas de dados relacionadas:**DETALHES-DE-CUSTO-EFETIVO*****Fluxos de dados relacionados:***

custos: 0-a; 4-a; 4.5-a

VALOR-DE-INSTALAÇÃO-GERAL

Descrição: é o custo total envolvido na instalação de equipamentos da rede.

Domínio: números reais.

Estruturas de dados relacionadas:

DETALES-DE-CUSTO-GERAL

Fluxos de dados relacionados:

custos: 0-a; 4-a; 4.5-a

VALOR-DE-AQUISIÇÃO-GERAL

Descrição: é o custo total envolvido na aquisição de equipamentos da rede.

Domínio: números reais.

Estruturas de dados relacionadas:

DETALES-DE-CUSTO-GERAL

Fluxos de dados relacionados:

custos: 0-a; 4-a; 4.5-a

VALOR-TOTAL-GERAL

Descrição: é o custo total de instalação e de aquisição de equipamentos da rede.

Domínio: números reais.

Estruturas de dados relacionadas:

DETALHES-DE-CUSTO-GERAL

Fluxos de dados relacionados:

custos: 0-a; 4-a; 4.5-a

NOME-DE-NÓ

Descrição: nome identificador de um nó da rede. Pode ser composto de letras e dígitos.

Domínio: string com até 49 caracteres.

Estruturas de dados relacionadas:

DETALHES-DE-DEMANDA

DETALHES-DE-NÓ

Fluxos de dados relacionados:

demandas: 0-a; 3-D4; D4-4

dados-de-nós: a-0; a-1; 1-D1; D1-4; D1-3; D1-4.1;D1-4.6

VALOR-DE-DEMANDA

Descrição: é o valor da demanda existente entre dois nó da rede.

Domínio: números reais.

Estruturas de dados relacionadas:

DETALHES-DE-DEMANDA

Fluxos de dados relacionados:

demandas: a-0; 3-a; 3-D4; D4-4

TIPO-DE-NÓ

Descrição: a cada nó existente na rede é associado um tipo. Pode assumir os seguintes valores:

Domínio: string, podendo assumir os seguintes valores:

- ATM Core: é a representação a nível mais alto da rede sendo documentada.
- ATM Server: servidor pertencente a uma rede ATM ou ao ATM Core.
- ATM Station: estação de trabalho pertencente a uma rede ATM ou ao ATM Core.
- ATM Subnet: representação a nível mais alto de uma rede ATM que interfaceia com o ATM Core.
- ATM Switch: comutador pertencente a uma rede ATM ou ao ATM Core.
- Bridge: ponte destinada à interligação de sub-redes. Pode ser representada somente a nível genérico.
- Ethernet Server: servidor pertencente a uma rede Ethernet.
- Ethernet Station: estação de trabalho pertencente a uma rede Ethernet.
- Ethernet Subnet: representação a nível mais alto de uma rede Ethernet que interfaceia com o ATM Core.
- Ethernet Switch: destina-se à interconexão entre uma rede ATM ou ATM Core e uma rede Ethernet.
- Gateway: utilizado a nível genérico para interligar redes que utilizam tecnologias distintas.
- HUB:
- Router: utilizado a nível genérico para interconectar redes que podem utilizar tecnologias distintas.
- Token Ring Server: servidor pertencente a uma rede Token Ring.
- Token Ring Station: estação de trabalho pertencente a uma rede Token Ring.
- Token Ring Subnet: representação a nível genérico de uma rede Token Ring.

- Token Ring Switch: destina-se à interconexão de uma rede ATM ou ATM Core e uma rede Token Ring.

Estruturas de dados relacionadas:

DETALHES-DE-NÓS

Fluxos de dados relacionados:

dados-de-nós: a-0; a-1; 1-D1; D1-4; D1-3; D1-4.1;D1-4.6

ATRATIVIDADE-DE-NÓ**Descrição:** representa o grau de utilização de um nó pelos demais nós da rede.**Domínio:** pode assumir valores entre 0 e 1.**Estruturas de dados relacionadas:**

DETALHES-DE-NÓS

Fluxos de dados relacionados:

dados-de-nós: a-0; a-1; 1-D1; D1-4; D1-3; D1-4.1;D1-4.6

PERDAS-DE-CÉLULAS-EM-ENLACE-AB**Descrição:** valor representando a probabilidade de perdas de células no enlace AB, considerando tráfegos, capacidade de enlace e tamanho de buffers.**Domínio:** pode assumir valores entre 0 e 1.**Estruturas de dados relacionadas:**

DETALHES-DE-PERDAS-DE-CÉLULAS-EM-ENLACES

Fluxos de dados relacionados:

perdas-em-enlaces: 0-a; 4-a; a.4-a

PERDAS-DE-CÉLULAS-EM-ENLACE-BA**Descrição:** valor representando a probabilidade de perdas de células no enlace BA, considerando tráfegos, capacidade de enlace e tamanho de buffers.**Domínio:** pode assumir valores entre 0 e 1.**Estruturas de dados relacionadas:**

DETALHES-DE-PERDAS-DE-CÉLULAS-EM-ENLACES

Fluxos de dados relacionados:

perdas-em-enlaces: 0-a; 4-a; a.4-a

BANDA-EQUIVALENTE**Descrição:** valor representando o tráfego gerado por um serviço da rede.

Domínio: números reais.

Estruturas de dados relacionadas:

DETALHES-DE-RESULTADOS-DE-SERVIÇOS

Fluxos de dados relacionados:

resultados-de-serviços: 0-a; 2-D3; D3-3; 2-a

TCR

Descrição: parâmetro do modelo COST242 representando a *taxa detransmissão de célula* de um serviço da rede.

Domínio: números reais.

Estruturas de dados relacionadas:

DETALHES-DE-SERVIÇO-COST242

Fluxos de dados relacionados:

dados-de-serviços: a-1; 1-D3; D3-2; D3-4; D3-4.6

PCR

Descrição: parâmetro do modelo COST242 representando a *taxa de pico de célula* de um serviço da rede.

Domínio: números reais.

Estruturas de dados relacionadas:

DETALHES-DE-SERVIÇO-COST242

Fluxos de dados relacionados:

dados-de-serviços: a-1; 1-D3; D3-2; D3-4; D3-4.6

SCR

Descrição: parâmetro do modelo COST242 representando a *máxima taxa média de transmissão* de célula requerida por um serviço da rede.

Domínio: números reais.

Estruturas de dados relacionadas:

DETALHES-DE-SERVIÇO-COST242

Fluxos de dados relacionados:

dados-de-serviços: a-1; 1-D3; D3-2; D3-4; D3-4.6

CLR

Descrição: parâmetro do modelo COST242 representando a *razão de perda de células* requerida por um serviço da rede.

Domínio: números reais.

Estruturas de dados relacionadas:

DETALHES-DE-SERVIÇO-COST242

Fluxos de dados relacionados:

dados-de-serviços: a-1; 1-D3; D3-2; D3-4; D3-4.6

NOME-DE-SERVIÇO

Descrição: seqüência de caracteres que identificador de um serviço da rede.

Domínio: string com até 20 caracteres.

Estruturas de dados relacionadas:

DETALHES-DE-SERVIÇO

Fluxos de dados relacionados:

dados-de-serviços: a-1; 1-D3; D3-2; D3-4; D3-4.6

NÚMERO-DE-ELEMENTOS-DE-SERVIÇO

Descrição: representa a quantidade de serviços de um tipo que se encontram associados a um determinado nó da rede.

Domínio: números inteiros positivos.

Estruturas de dados relacionadas:

DETALHES-DE-SERVIÇO

Fluxos de dados relacionados:

dados-de-serviços: a-1; 1-D3; D3-2; D3-4; D3-4.6

VALOR-DE-TRÁFEGO-EM-ENLACE-AB

Descrição: representa o valor do tráfego existente em um determinado enlace da rede no sentido de trânsito AB.

Domínio: números reais.

Estruturas de dados relacionadas:

DETALHES-DE-TRÁFEGO-EM-ENLACE

Fluxos de dados relacionados:

tráfego-em-enlaces: 0-a; 4-a; 4-D2; 4.2-D2;4.2-4.3; 4.2-4.4; 4.2-a

VALOR-DE-TRÁFEGO-EM-ENLACE-BA

Descrição: representa o valor do tráfego existente em um determinado enlace da rede no sentido de trânsito BA.

Domínio: números reais.

Estruturas de dados relacionadas:

DETALHES-DE-TRÁFEGO-EM-ENLACE

Fluxos de dados relacionados:

tráfego-em-enlaces: 0-a; 4-a; 4-D2; 4.2-D2;4.2-4.3; 4.2-4.4; 4.2-a

VALOR-DE-ATRASSO-EM-ENLACE-AB***Descrição:*** representa o valor de atraso de células em um enlace no sentido de trânsito AB.***Domínio:*** números reais.***Estruturas de dados relacionadas:***

VALORES-DE-ATRASSOS-EM-ENLACES

Fluxos de dados relacionados:

atrasos-em-enlaces: 0-a; 4-a; 4.4-a; 4.4-D2

VALOR-DE-ATRASSO-EM-ENLACE-BA***Descrição:*** representa o valor de atraso de células em um enlace no sentido de trânsito BA.***Domínio:*** números reais.***Estruturas de dados relacionadas:***

VALORES-DE-ATRASSOS-EM-ENLACES

Fluxos de dados relacionados:

atrasos-em-enlaces: 0-a; 4-a; 4.4-a; 4.4-D2

DICIONÁRIO DE DADOS - DEPÓSITOS DE DADOS

D5 - CAMINHOS MÍNIMOS

Descrição: Conjunto de caminhos mínimos estabelecidos entre cada par de nós que representam demanda.

Conteúdo:

Estruturas de dados:

IDENTIFICAÇÃO-DE-ENLACE

NOME-DE-NÓ * (2)

Fluxos de dados que entram:

caminho-mínimo-entre-nós: 4.1-D5

Fluxos de dados que saem:

caminhos-mínimos-agrupados: D5-4.2

D4 - DEMANDAS

Descrição: Conjunto de demandas entre cada par de nós da rede.

Conteúdo:

Estruturas de dados:

DETALHES-DE-DEMANDA

NOME-DE-NÓ * (2)

VALOR-DE-DEMANDA

Fluxos de dados que entram:

dados-de-enlaces: a-0; a-1; 1-D2; D2-4; D2-4.1; D2-4.2; D2-4.3; D2-4.4; D2-4.5;

Fluxos de dados que saem:

demandas: D4-4; D4-4.2

D2 - ENLACES

Descrição: Conjunto contendo todos os enlaces da rede.

Conteúdo:

Estruturas de dados:

DETALHES-DE-ENLACE

IDENTIFICAÇÃO-DE-ENLACE

NOME-DE-NÓ * (2)

CAPACIDADE-DE-ENLACE

CAPACIDADE-DE-ENLACE-AB

CAPACIDADE-DE-ENLACE-BA

CUSTOS-FINANCEIROS-DE-ENLACE

CUSTO-FINANCEIRO-DE-AQUISIÇÃO-DE-ENLACE-AB

CUSTO-FINANCEIRO-DE-AQUISIÇÃO-DE-ENLACE-BA

CUSTO-FINANCEIRO-DE-INSTALAÇÃO-DE-ENLACE-AB

CUSTO-FINANCEIRO-DE-INSTALAÇÃO-DE-ENLACE-BA

ENLACE-AB-JÁ-ADQUIRIDO

ENLACE-BA-JÁ-ADQUIRIDO

ENLACE-AB-JÁ-INSTALADO

ENLACE-BA-JÁ-INSTALADO

CUSTOS-DE-TRÂNSITO-DE-ENLACE

CUSTO-DE-TRÂNSITO-DE-ENLACE-AB

CUSTO-DE-TRÂNSITO-DE-ENLACE-BA

Fluxos de dados que entram:

dados-de-enlaces: 1-D2

tráfego-em-enlaces: 4-D2; 4.2-D2;

perdas-em-enlaces + atrasos-em-enlaces: 4-D2; 4.4-D2

Fluxos de dados que saem:

dados-de-enlaces: D2-4; D2-4.1; D2-4.2; D2-4.3; D2-4.4; D2-4.5

D1 - NÓS***Descrição:*** Conjunto contendo todos os nós da rede.***Conteúdo:******Estruturas de dados:***

DETALHES-DE-NÓ

NOME-DE-NÓ

TIPO-DE-NÓ

ATRATIVIDADE-DE-NÓ

Fluxos de dados que entram:

dados-de-nós: 1-D1

Fluxos de dados que saem:

dados-de-nós: D1-4; D1-3; D1-4.1; D1-4.5

D3 - SERVIÇOS

Descrição: Conjunto contendo todos os serviços existentes nos nós da rede.

Conteúdo:

Estruturas de dados:

DETALHES-DE-SERVIÇO

 DETALHES-DE-SERVIÇO-GENÉRICO

 NOME-DE-SERVIÇO

 NÚMERO-DE-ELEMENTOS-DE-SERVIÇO

 CUSTO-DE-SERVIÇO

 CUSTO-DE-INSTALAÇÃO-DE-SERVIÇO

 CUSTO-DE-AQUISIÇÃO-DE-SERVIÇO

 DETALHES-DE-SERVIÇO-COST242

 TCR

 PCR

 SCR

 CLR

Fluxos de dados que entram:

dados-de-serviços: 1-D3

resultados-de-serviços: 2-D3;

Fluxos de dados que saem:

dados-de-serviços: D3-2 D3-4;D3-4.5

resultados-de-serviços: D3-3

DICIONÁRIO DE DADOS - PROCESSOS

3 - CALCULA DEMANDAS

Descrição: efetua o cálculo das demandas entre cada par de nós da rede.

Fluxos de dados que entram:

dados-de-nós: D1-3

resultados-de-serviços: D3-3

Fluxos de dados que saem:

demandas: 3-a; 3-D4

4 - DIMENSIONA REDE

Descrição: calcula o tráfego existente em cada enlace da rede, perdas e atrasos de células em enlaces, identifica enlaces saturados e calcula custo de instalação e de aquisição de equipamentos.

Fluxos de dados que entram:

dados-de-enlaces: D2-4

dados-de-nós: D1-4

demandas: D4-4

nó-origem+nó-destino: a-4

dados-de-serviços: D3-4

Fluxos de dados que saem:

tráfego-em-enlaces: 4-D2; 4-a

caminho-mínimo-entre-nós: 4-a

enlaces-saturados: 4-a

custos: 4-a

perdas-de-células-em-enlaces: 4-a

atrasos-de-células-em-enlaces: 4-a

1 - ORGANIZA DESCRIÇÃO DA REDE

Descrição: organiza a descrição da rede fornecida pelo projetista da rede em nós, enlaces e serviços.

Fluxos de dados que entram:

dados-de-nós: a-1

dados-de-enlaces: a-1

dados-de-serviços: a-1

Fluxos de dados que saem:

dados-de-nós: 1-D1

dados-de-enlaces: 1-D2

dados-de-serviços: 1-D3

2 - PROCESSA SERVIÇOS

Descrição: com base em parâmetros do modelo COST242 fornecidos para os serviços pelo projetista da rede, calcula a banda efetiva necessária para suportar o tráfego requerido pelo serviço.

Fluxos de dados que entram:

dados-de-serviços: D3-2

Fluxos de dados que saem:

resultados-de-serviços: 2-D3; 2-a

4.1 - CALCULA CAMINHO MÍNIMO

Descrição: determina a seqüência de enlaces que compõem o caminho de menor custo de trânsito existente entre dois nós da rede.

Fluxos de dados que entram:

dados-de-enlaces: D2-4.1

nó-origem+nó-destino: a-4.1

Fluxos de dados que saem:

caminho-mínimo-entre-nós: 4.1-a; 4.1-D5

4.5 - CALCULA CUSTOS

Descrição: calcula o custo total de aquisição e de implantação de equipamentos na rede.

Fluxos de dados que entram:

dados-de-nós: D1-4.5

dados-de-enlaces: D2-4.5

dados-de-serviços: D3-4.5

Fluxos de dados que saem:

custos: 4.5-a

4.4 - CALCULA PERDAS E ATRASOS EM ENLACES

Descrição: calcula probabilidades de perdas e atrasos de células em enlaces.

Fluxos de dados que entram:

tráfego-em-enlaces: 4.2-4.4

dados-de-enlaces: D2-4.4

Fluxos de dados que saem:

perdas-em-enlaces: 4.4-a; 4.4-D2

atrasos-em-enlaces: 4.4-a; 4.4-D2

4.2 - CALCULA TRÁFEGOS

Descrição: calcula o tráfego em cada enlace da rede.

Fluxos de dados que entram:

dados-de-enlaces: D2-4.2

demandas: D4-4.2

caminhos-mínimos-agrupados: D5-4.2

Fluxos de dados que saem:

tráfego-em-enlaces: 4.2-a; 4.2-4.3; 4.2-4.4; 4.2-D2

4.3 - IDENTIFICA ENLACES SATURADOS

Descrição: identifica na rede enlaces cujo tráfego é maior que a capacidade de transmissão.

Fluxos de dados que entram:

tráfego-em-enlaces: 4.2-4.3

dados-de-enlaces: D2-4.3

Fluxos de dados que saem:

enlaces-saturados: 4.3-a

APÊNDICE 2

O MODELO DE REFERÊNCIA OSI (OPEN SYSTEMS INTERCONNECTION)

A2.1. Estrutura em camadas

O *Modelo de Referência OSI* é um modelo de arquitetura de rede aberta para a interconexão de redes heterogêneas, podendo ser utilizado em redes de longa distância e em redes locais.

O modelo OSI é estruturado em sete camadas hierárquicas, conforme pode ser observado na Figura A2.1.

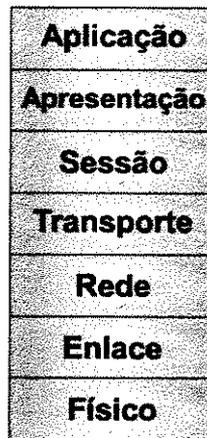


Figura A2.1 - Camadas do Modelo de Referência OSI.

A arquitetura da rede é composta por camadas, protocolos e interfaces. Os elementos ativos de cada camada são denominados entidades. Entidades de mesma camada pertencentes a sistemas terminais distintos são denominadas *entidades pares*. Cada camada oferece serviços à camada imediatamente superior. Os protocolos estabelecem uma comunicação horizontal entre entidades pares. As interfaces estabelecem comunicação entre camadas adjacentes.

A Figura A2.2 ilustra a relação entre camadas, interfaces e protocolos.

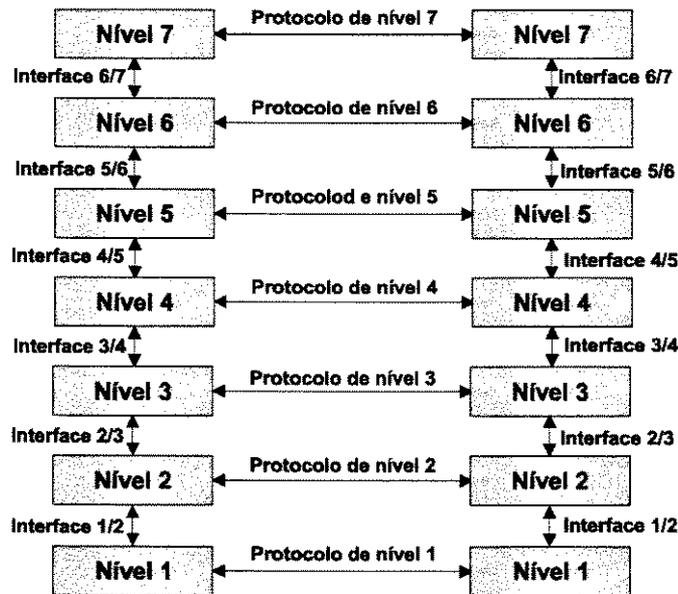


Figura A2.2 - Relação entre camadas, interfaces e protocolos do Modelo de Referência OSI.

A2.2. CAMADA FÍSICA

Trata da transmissão de bits através da rede. Define aspectos mecânicos e elétricos, tais como tipos de conectores, cabeamento, pinos, representação de bits através de sinais elétricos, taxas de transmissão e distâncias que o sinal pode atingir na rede.

As principais funções realizadas pela camada física são:

- Estabelecimento e encerramento de conexões entre entidades da camada física;
- Transferência de dados;
- Sequênciação, em que a ordem dos bits é mantida durante a transmissão;
- Notificação de falhas para funções de gerenciamento.

A2.3. CAMADA DE ENLACE

Essa camada é responsável por checagem de erros que eventualmente tenham ocorrido na camada física e por controle de fluxo. A camada de enlace divide a cadeia de bits em unidades denominadas quadros, cada um contendo alguma forma de redundância, de modo a permitir a detecção de erros. Cabe a essa camada a criação e o reconhecimento dos limites dos quadros.

A2.4. CAMADA DE REDE

É responsável pelo endereçamento e roteamento de pacotes. Gerencia as operações de comutação, roteamento e controle de congestionamento. A camada de rede oferece dois tipos de serviço: datagrama (não orientado à conexão) e circuito virtual (orientado à conexão).

A2.5. CAMADA DE TRANSPORTE

Trata de reconhecimento de erros e da liberação de mensagens. Algumas das principais funções são:

- segmentação e blocagem;
- controle de fluxo;
- seqüenciação fim-a-fim;
- recuperação de erros fim-a-fim.

É a partir dessa camada que se dá a comunicação fim-a-fim entre dois sistemas terminais. Nas camadas inferiores, geralmente a comunicação ocorre entre sistemas intermediários.

A2.6. CAMADA DE SESSÃO

Responsável pela inicialização, controle e término de sessões entre sistemas terminais. Os principais serviços oferecidos são:

- gerenciamento de *token*: é utilizado em aplicações que requeiram comunicação *half-duplex* em um ambiente *full-duplex*. Somente pode transmitir o sistema terminal de posse do *token*.
- controle de diálogo: caso ocorra um problema com a rede em meio a uma transmissão de dados, o serviço de controle de diálogo permite que, no momento em que a rede volte a funcionar e a conexão seja reestabelecida, a transferência de dados seja retomada a partir do ponto imediatamente anterior ao da interrupção.

A2.7. CAMADA DE APRESENTAÇÃO

Essa camada é responsável pela sintaxe dos dados que são trocados entre dois sistemas terminais. Como exemplos de transformações típicas têm-se compressão de textos e criptografia.

A2.8. CAMADA DE APLICAÇÃO

Permite que os processos de aplicação utilizem o ambiente OSI e oferece suporte à construção de aplicações distribuídas.

A2.9. TRANSMISSÃO DE DADOS NO MODELO OSI

A Figura A2.3 ilustra o processo de transmissão de dados do usuário do ponto terminal 1 para o usuário do ponto terminal 2.

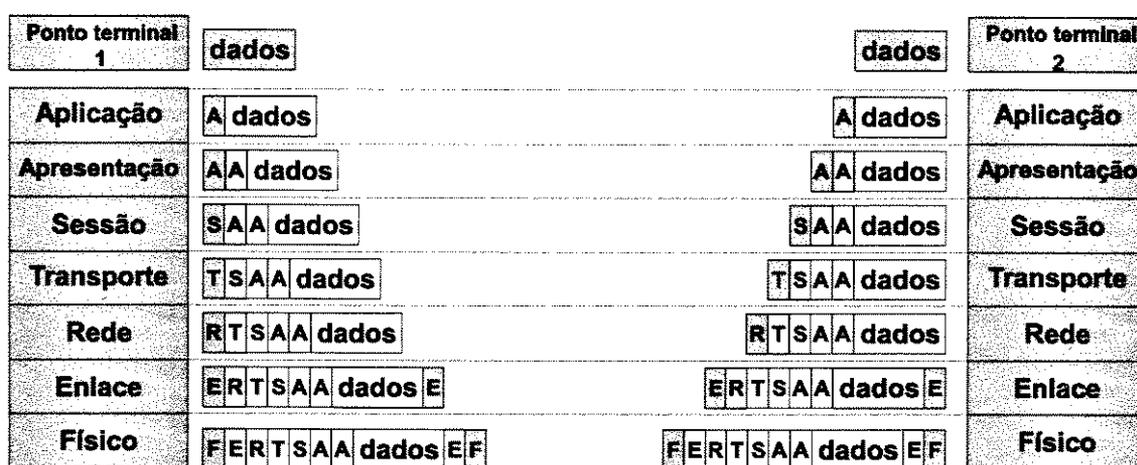


Figura A2.3 - Processo de transmissão de dados entre dois usuários do Modelo OSI.

O processo tem início com a entrega dos dados do à camada de aplicação do ponto terminal 1. Esses dados constituem a *Unidade de Dados do Serviço (SDU - Service Data Unit)* dessa camada. Em seguida, a entidade da camada de aplicação adiciona à SDU um cabeçalho, formando a *Unidade de Dados de Protocolo (PDU - Protocol Data Unit)*. A PDU é a unidade de informação trocada pelas entidades pares na comunicação horizontal (ver figura 2). A PDU da camada de aplicação é então passada para a camada de apresentação.

A PDU da camada de aplicação se torna a SDU da camada de apresentação. A entidade da camada de apresentação adiciona um cabeçalho à SDU, compondo a PDU da camada de apresentação. Esse processo se repete até a camada de enlace, em que a PDU é denominada quadro e é composta pela SDU, um cabeçalho e um fecho contendo informação destinada a checagem de erros. O quadro é então transmitido ao ponto terminal 2 através da camada física. Quando o quadro é recebido pelo destinatário, a unidade de dados é sucessivamente passada às camadas superiores, e cada camada retira o cabeçalho e o fecho adicionado por sua entidade par no ponto terminal 1.

Para uma abordagem mais detalhada sobre o modelo OSI, consultar [Soares 95].

APÊNDICE 3

COMUTAÇÃO

A3.1. COMUTAÇÃO DE CIRCUITOS

A comutação de circuitos caracteriza-se pela existência de um caminho dedicado entre o ponto final origem e o ponto final destino, sendo que esse caminho pode ser uma sucessão de enlaces físicos, uma sucessão de canais em frequência ou uma sucessão de canais no tempo.

A comutação de circuitos envolve três fases:

- Estabelecimento de conexão;
- Transferência de dados;
- Término da conexão.

Na fase de estabelecimento de conexão é definido um caminho através do qual o ponto final origem efetuará a comunicação com o ponto final destino, considerando os recursos que serão necessários durante a fase de transferência de dados. Para tanto, uma mensagem de controle é enviada do ponto final origem em direção ao ponto final destino. À medida que a mensagem é roteada, um caminho é alocado, de modo que quando a mensagem chega ao destino, uma rota completa estará estabelecida.

Na fase de transferência de dados, os dados são transmitidos e recebidos pelos pontos finais envolvidos, utilizando a rota determinada na fase de estabelecimento de conexão. Essa rota permanecerá alocada durante toda a fase de transferência de dados.

A comutação de circuitos é indicada para aplicações que apresentem características de tráfego contínuo a taxas constantes, em que a capacidade dos recursos alocados é completamente utilizada.

Ao fim da fase de transferência de dados, um dos pontos finais requer o término da conexão e o caminho dedicado é liberado.

A comutação de circuitos rejeita novas chamadas em caso de congestionamento da rede.

A inter-rede não provê mecanismos de detecção e correção de erros, sendo estas responsabilidades dos sistemas finais.

A3.2. COMUTAÇÃO DE MENSAGENS

Na comutação de mensagens, a transferência de informação não é precedida por uma fase de estabelecimento de conexão. Os dados a ser transmitidos são agrupados em unidades lógicas de informação denominadas *mensagens*. Uma mensagem é transmitida de nó em nó, até chegar ao destino.

Em cada um dos nós o endereço do destino é analisado, e com base nesse endereço e em informações relativas ao estado da rede a mensagem é encaminhada para o próximo nó.

Como não há alocação prévia de recursos, existe um maior aproveitamento do meio físico que na comutação de circuitos.

A3.3. COMUTAÇÃO DE PACOTES

A comutação de pacotes assemelha-se à comutação de mensagens com relação a roteamento, ou seja, não existe um caminho permanentemente alocado para uma determinada conexão. A diferença básica é que pacotes apresentam tamanho limitado, fixo ou variável. As mensagens são segmentadas em unidades menores denominadas pacotes. Pacotes pertencentes a uma mesma mensagem podem ser transmitidos simultaneamente através de enlaces distintos, reduzindo assim atrasos de transmissão.

Quanto ao encaminhamento de pacotes, a inter-rede pode operar de duas formas: orientada à conexão e não orientada à conexão. Quando a inter-rede trabalha no modo orientado à conexão, todos os pacotes componentes de uma mesma mensagem seguem o mesmo caminho lógico. Existem mecanismos para controle e recuperação de erros e seqüenciação, garantindo que os pacotes cheguem a seu destino na mesma seqüência em que foram enviados. No modo não orientado à conexão, cada pacote é encaminhado de forma independente dos demais. Assim, pacotes pertencentes a uma mesma mensagem podem seguir caminhos distintos e conseqüentemente chegar ao destino em uma ordem diferente da de envio. Nesse caso, controle de erros e seqüenciação cabem aos protocolos de nível mais alto.

SIGLAS

AAL	ATM Adaptation Layer
ABR	Available Bit Rate
ARP	Address Resolution Protocol
ATM	Asynchronous Transfer Mode
Bps	Bits per second
BUS	Broadcast and Unknown Server
CAC	Connection Admission Control
CBR	Constant Bit Rate
CDVT	Cell Delay Variation Tolerance
CLP	Cell Loss Priority
CLR	Cell Loss Ratio
COST	European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research
cps	cells per second
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
CRC	Cyclic Redundancy Check
DFD	Diagrama de Fluxo de Dados
GFC	Generic Flow Control
HEC	Header Error Check
IP	Internet Protocol
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ILMI	Interim Local Management Interface
ISO	International Organization for Standardization
ITU-T	International Telecommunications Union-Telecommunications
LAN	Local Area Network
LE-ARP	LAN Emulation Address Resolution Protocol
LEC	LAN Emulation Client
LECS	LAN Emulation Configuration Server
LES	LAN Emulation Server
LGN	Logical Group Node
LNNI	LAN Emulation Network Node Interface
LUNI	LAN Emulation User to Network
max-CTD	Maximum Cell Transfer Delay
MAC	Medium Access Control
MBS	Maximum Burst Size
MCR	Minimum Cell Rate
MPOA	Multiprotocol Over ATM
NIC	Network Interface Card
NIU	Network Interface Unit
NNI	Network Node Interface
nrt-VBR	Non real time Variable Bit Rate
OA&M	Operation, Administration and Maintenance
OSI	Open Systems Interconnection
PCR	Peak Cell Rate
PDU	Protocol Data Unit
P-NNI	Private Network-to-Network/Node-to-Node Interface
PT	Payload Type

PtP-CDV	Peak-to-Peak Cell Delay Variation
PVC	Permanente Virtual Connection
QoS	Quality of Service
RDSI	Rede Digital de Serviços Integrados
rt-VBR	Real Time Variable Bit Rate
SCR	Sustainable Cell Rate
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SDU	Service Data Unit
STM-1	Synchronous Transport Module level 1
SVC	Switched Virtual Connections
TCP/IP	Transmission Control Protocolo/Internet Protocol
UBR	Unspecified Bit Rate
UCP	Usage Control Parameters
UNI	User Network Interface
VC	Virtual Channel
VCI	Virtual Channel Identifier
VCC	VirtualChannel Connection
VCL	Virtual Channel Link
VLAN	Virtual LAN
VP	Virtual Path
VPC	Virtual Path Connection
VPI	VirtualPath Identifier
WAN	Wide Area Network

DEFINIÇÕES

Comutador é um dispositivo destinado à interconexão de sub-redes e equipamentos. Os segmentos de rede e equipamentos são conectados às portas do comutador. Opera a nível de camada 2.

Driver é um elemento que efetua a interação entre a placa de rede e os equipamentos da rede ATM.

Gateway é um dispositivo capaz de interconectar redes com protocolos de comunicação incompatíveis. O *gateway* realiza a conversão entre protocolos distintos de camada de aplicação (por exemplo, de TCP/IP para SNA ou de TCP/IP para X.25).

Hub é um equipamento que tem por função interligar dois ou mais segmentos de rede, não havendo interpretação do conteúdo da informação, funcionando assim como um meio de expansão.

NIU (Network Interface Unit) é um dispositivo micro-processado que permite a transferência de dados de e para um dispositivo conectado à rede.

Ponte (Bridge) é um dispositivo destinado à interconexão de duas ou mais redes locais ou remotas independentemente dos protocolos de níveis mais altos envolvidos. As pontes devem saber o endereço de todos os dispositivos conectados nas redes para poder determinar quais dos pacotes devem ser retransmitidos para quais portas. As pontes operam na segunda camada do modelo de referência OSI (Open Systems Interconnection).

Roteador (Router) é um dispositivo dependente de protocolo destinado à conexão de sub-redes. Geralmente é utilizado para interligar sub-redes provenientes da divisão de uma rede maior, e selecionam o melhor caminho para a transmissão da informação. Opera a nível de camada 3.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **[Alles 95]** A. Alles - Cisco Systems - *ATM Internetworking*
March 1995
- **[Barone 96]** S. B. Barone Jr. Projeto de uma rede banda larga, baseada na tecnologia de comutação Ethernet e ATM.
1996
- **[Dutton 95]** H. Dutton; P. Lenhard - *Asynchronous Transfer Mode (ATM) - Technical Overview*
Prentice Hall
1995
- **[Harris 74]** D. Gross and C. M. Harris - *Fundamentals of Queuing Theory*. John Wiley & Sons, Toronto, Canada, 1974.
- **[Lieberman 91]** G. Lieberman; F. Hiller
Introduction to Mathematical Programming
McGrawHill
1991
- **[Minoli 96]** D. Minoli; A. Alles
LAN, ATM and LAN Emulation Technologies
Artech House
1996
- **[Newman 94]** P. Newman. ATM Local Area Networks. IEEE Comm. Magazine -
March 1994.

- **[Prycker 95]** M. Pricker - Asynchronous Transfer Mode - Solution for Broadband ISDN
Prentice Hall
1995
- **[Ritter 94]** M. Ritter and P. Tran-Gia. Multi-rate models for dimensioning and performance evaluation of ATM networks - COST242. Technical report, University of Wurzburg, June 1994.
- **[Schulz 97]** K. Schulz; M. Incollingo; H. Uhrig - *Talking Advantage of ATM Services and Tariffs: The importance of Transport Layer Dynamic Rate Adaptation*
IEEE Network
March/April 1997
- **[Soares 95]** F. Soares; G. Lemos; S. Colcher - *Das LANs, MANs e WANs às Redes ATM*
Editora Campus