

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



UMA PROPOSTA DE APLICAÇÃO DO PROTOCOLO
“CELLS-IN-FRAMES” PARA A INTERCONEXÃO
DE REDES ATM E IEEE 802.3/ETHERNET

DIRBI/UFU



1000187002

TACIANA TIRADENTES BOAVENTURA

FEVEREIRO

1998

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**UMA PROPOSTA DE APLICAÇÃO DO PROTOCOLO
“CELLS-IN-FRAMES” PARA A INTERCONEXÃO
DE REDES ATM E IEEE 802.3/ETHERNET**

Dissertação apresentada por Taciana Tiradentes Boaventura à
Universidade Federal de Uberlândia para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Elétrica aprovada em 16/02/98 pela
Banca Examinadora:

Professor Paulo Roberto Guardieiro, Dr. (UFU) - Orientador

Professor Luis Carlos Trevelin, Dr. (UFSCar)

Professor Gilberto Arantes Carrijo, Dr. (UFU)

**UMA PROPOSTA DE APLICAÇÃO DO PROTOCOLO
“CELLS-IN-FRAMES” PARA A INTERCONEXÃO
DE REDES ATM E IEEE 802.3/ETHERNET**

TACIANA TIRADENTES BOAVENTURA

Dissertação apresentada por Taciana Tiradentes Boaventura à
Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos
para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Prof. Dr. Paulo Roberto Guardieiro
Orientador

Prof. Dr. Darizon Alves de Andrade
Coordenador do Curso de Pós-Graduação

DEDICATÓRIA

**Aos meus queridos pais,
Hélio e Regina, por todo
amor e incentivo que
sempre demonstraram.**

*“Se um dia, já homem feito e realizado,
sentires que a terra cede a teus pés e
que não há ninguém à tua volta para te
estender a mão, esquece a tua
maturidade, passa pela tua mocidade,
volta à tua infância e pense nas últimas
palavras que sempre te restarão na tua
alma: Meu pai, minha mãe.”*

AGRADECIMENTOS

Aos meus irmãos, Helinho e Cristiana, pelo carinho e apoio.

Ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia pelos recursos oferecidos para a execução deste trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Roberto Guardieiro por sua orientação e dedicação na realização deste trabalho.

À CAPES Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela ajuda financeira recebida no decurso do meu trabalho de pós-graduação.

À secretária Viviane pela ajuda que sempre ofereceu.

À Bibika, Lú e todas as pessoas que indiretamente me deram força e apoio.

Aos colegas do Laboratório de Pesquisa em Redes e em especial à Paula e Wilmar, o meu muito obrigada.

RESUMO

Uma Proposta de Aplicação do Protocolo “Cells-In-Frames” para a Interconexão de Redes ATM e IEEE 802.3/Ethernet

A busca de soluções para a interoperabilidade entre LANs tradicionais e redes ATM vem sendo objeto de estudos constantes. Devido ao grande número e a complexidade das aplicações em uso nas LANs tradicionais, na maioria dos casos, não é viável transportar totalmente essas aplicações para as redes ATM. Por essa razão, diversas alternativas vêm sendo definidas para promover a conectividade entre essas redes. O grande desafio é, portanto, assegurar a continuidade dos serviços e interfaces hoje existentes, porém buscando a integração total e eficiente de todos os tipos de aplicações e serviços de comunicação.

O protocolo “Cells-In-Frames” viabiliza esta interoperabilidade por meio do transporte de células ATM como carga útil dos quadros de LANs tradicionais, promovendo, assim, o suporte para serviços ATM nas mesmas. Dessa forma, cria-se a possibilidade da LAN convencional oferecer vantagens que somente as redes ATM apresentariam, como exemplo, o suporte à QoS. Para isso, permite-se que protocolos de camadas superiores operem exatamente como se houvesse uma única rede ATM e, assim, tira-se proveito das características de melhor desempenho do ATM.

Neste trabalho realiza-se um estudo do comportamento e desempenho do protocolo “Cells-In-Frames” aplicado a um sistema para a interconexão de redes ATM e IEEE 802.3/Ethernet. Este estudo foi realizado com base em técnicas de modelagem e simulação.

Palavras chave: ATM, Cells-In-Frames, Interconexão de LANs.

ABSTRACT

A Proposal of Cells-In-Frames Protocol Application to the Interconnection of IEEE 802.3/Ethernet and ATM Networks

Searching for solutions to existing legacy LANs and ATM networks interoperability problem has been the purpose of many current studies. Due to the great number and complexity of applications being used in non-ATM networks, in most cases, it is not feasible to carry all of them to ATM networks. For that reason, several alternatives have been defined to enable the connection between legacy LANs and ATM technology. The greatest challenge has been, therefore, to assure the continuation of services and interfaces that already exist nowadays, though aiming at the total and effective integration of all kinds of applications and communication services.

The “Cells-In-Frames” protocol makes this interoperability feasible by means of carrying ATM cells as payload in the frames of legacy LANs; thus providing support for ATM services in them. This way it becomes possible for the legacy LAN to offer advantages that would only be found in ATM networks, such as QoS support. Thus upper layer protocols are allowed to operate exactly as if there were a single ATM network, hence taking advantage of the characteristics of ATM best performance.

In this work, a study of the behavior and performance of the “Cells-In-Frames” mechanism applied to a system aimed at the interconnection of ATM networks and IEEE 802.3/Ethernet has been carried out. This study was based on modelling and simulation.

Keywords: ATM, Cells-In-Frames, LAN's Interconnection.

UMA PROPOSTA DE APLICAÇÃO DO PROTOCOLO “CELLS-IN-FRAMES” PARA A INTERCONEXÃO DE REDES ATM E IEEE 802.3/ETHERNET

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	01
2. REDES ATM	06
2.1. INTRODUÇÃO	06
2.2. EVOLUÇÃO DAS REDES DE TELECOMUNICAÇÕES	06
2.3. REDES DIGITAIS DE SERVIÇOS INTEGRADOS DE FAIXA LARGA (RDSI-FL)	08
2.3.1. Os Serviços RDSI-FL	11
2.4. O MODO DE TRANSFERÊNCIA ASSÍNCRONO (ATM)	13
2.4.1. O Cenário da Tecnologia ATM	13
2.4.2. Benefício do ATM	13
2.4.3. Características do ATM	15
2.5. MODELO DE REFERÊNCIA DE PROTOCOLOS RDSI-FL	21
2.5.1. Camada Física	23
2.5.2. Camada ATM	24
2.5.3. Camada AAL	24
2.6. CAMADA DE ADAPTAÇÃO ATM (AAL)	25
2.6.1. Estrutura da Camada AAL	25
2.6.2. AAL tipo1 - Serviço de taxa de bit constante	27
2.6.3. AAL tipo2 - Serviço de taxa de bit variável	28
2.6.4. AAL 3 /4	28
2.6.5. AAL 5	29
2.7. CONTROLES DE TRÁFEGO E DE CONGESTIONAMENTO	32
2.8. SINALIZAÇÃO	32
2.9. CONCLUSÕES	33
3. INTERCONEXÃO DE REDES LOCAIS POR MEIO DE REDES ATM	35
3.1. INTRODUÇÃO	35
3.2. REDES LOCAIS	36

3.2.1. A Família de Padrões IEEE 802	38
3.3. INTERCONEXÃO DE REDES LOCAIS POR MEIO DE REDES ATM	39
3.3.1. Serviço sem conexão por uma Abordagem Indireta	42
3.3.2. Multiprotocolo sobre ATM	47
3.3.3. Cenários para utilização do ATM em WANs	48
3.3.4. Serviço Sem Conexão Através da Abordagem Direta	56
3.4. CONCLUSÕES	58
4. O PROTOCOLO “CELLS-IN-FRAMES”	61
4.1. INTRODUÇÃO	61
4.2. PROTOCOLO “CELLS-IN-FRAMES” (CIF)	62
4.3. FORMATOS DE QUADRO E DE CABEÇALHO CIF	63
4.3.1. Formato do Quadro CIF	63
4.3.2. Formato do Cabeçalho CIF	64
4.4. OPERAÇÃO DO PROTOCOLO “CELLS-IN-FRAMES”	67
4.4.1. Transmissão de Quadros	67
4.4.2. Procedimentos de Geração do CRC AAL5	68
4.4.3. O Campo Número de Sequência da PDU	70
4.4.4. Suporte à ABR (“Available Bit Rate”)	71
4.4.5. Procedimentos da Camada CIF	72
4.5. FUNÇÕES DE SINALIZAÇÃO	74
4.6. FUNÇÃO DE GERENCIAMENTO	75
4.6.1. Suporte ILMI	75
4.6.2. Suporte OAM (“Operations, Administration and Maintenance”)	75
4.7. CONCLUSÕES	76
5. INTERCONEXÃO DE REDES ATM E IEEE 802.3/ETHERNET UTILIZANDO O PROTOCOLO “CELLS-IN-FRAMES”	78
5.1. INTRODUÇÃO	78
5.2. EVOLUÇÃO DA INTERCONEXÃO DE REDES LOCAIS	79
5.3. MOTIVAÇÃO PARA A UTILIZAÇÃO DO CIF	81
5.3.1. Os Benefícios do ATM e o Efeito do CIF	85
5.3.2. A Qualidade de Serviço (QoS) fim-a-fim	86
5.3.3. A Necessidade do Controle de Fluxo de Taxa Explícita (“Explicit Rate Flow Control”) Fim-a-Fim	87
5.3.4. “Overhead”	89
5.4. A INTERCONEXÃO DE REDES LOCAIS UTILIZANDO O PROTOCOLO “CELLS-IN-FRAMES”	91
5.4.1. Interoperação de Redes com “Cells-In-Frames”	93
5.4.2. Remontagem de Quadros para o “Cells-In-Frames”	103
5.5. CONCLUSÕES	104
6. UMA PROPOSTA DE APLICAÇÃO DO PROTOCOLO “CELLS-IN-FRAMES”	106
6.1. INTRODUÇÃO	106

6.2. ESTUDO COMPARATIVO DOS ESQUEMAS DE 28 CÉLULAS E 31 CÉLULAS	107
6.3. UMA PROPOSTA DE APLICAÇÃO DO PROTOCOLO “CELLS-IN-FRAMES” NUM SISTEMA PARA INTERCONEXÃO DE REDES LOCAIS	112
6.4. CONCLUSÕES	116
7. ANÁLISE DE DESEMPENHO DA PROPOSTA DE APLICAÇÃO DO PROTOCOLO “CELLS-IN-FRAMES”	118
7.1. INTRODUÇÃO	118
7.2. A ARQUITETURA DO SISTEMA DE INTERCONEXÃO DE REDES POR MEIO DE UMA REDE “BACKBONE” ATM UTILIZANDO O PROTOCOLO CIF E SUA OPERAÇÃO	118
7.3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS	122
7.4. CONCLUSÕES	127
8. CONCLUSÕES GERAIS	129
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	133
10. APÊNDICE A: MODELO SIMPLIFICADO DO SISTEMA DE INTERCONEXÃO DE REDES ATM E IEEE 802.3/ETHERNET UTILIZANDO O PROTOCOLO “CELLS-IN-FRAMES”	139
11. APÊNDICE B: PROGRAMA GERADO PARA O MODELO DO SISTEMA DE INTERCONEXÃO DE REDES ATM E IEEE 802.3/ETHERNET UTILIZANDO O PROTOCOLO “CELLS-IN-FRAMES”	143

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Ambiente CIF.	03
Figura 2.1	Redes de comunicações com a RDSI-FE.	07
Figura 2.2	Redes de comunicações com a RDSI-FL.	08
Figura 2.3	Configuração da UNI para RDSI-FL.	11
Figura 2.4	Formatos de células para a UNI e NNI.	16
Figura 2.5	Caminhos Virtuais (VPs) e Canais Virtuais (VCs).	18
Figura 2.6	Modelo de Referência dos Protocolos da RDSI-FL.	22
Figura 2.7	Processamento de dados da camada ATM.	24
Figura 2.8	Processamento de dados da camada AAL.	25
Figura 2.9	Processamento da camada AAL.	26
Figura 2.10	Estrutura da AAL.	27
Figura 2.11	Fluxo de informações da AAL5.	30
Figura 2.12	Formato de um CPCS-PDU da AAL5.	31
Figura 3.1	Critérios de seleção para uma rede local.	37

Figura 3.2	Arquitetura IEEE 802 comparada com o modelo OSI.	38
Figura 3.3	Sistema de inter-rede.	40
Figura 3.4	Abordagem Indireta.	42
Figura 3.5	Subcamada ATM MAC.	43
Figura 3.6	Interconexão de LANs e MANs.	46
Figura 3.7	Tunelamento sobre ATM.	48
Figura 3.8	Mapeamento de protocolos.	49
Figura 3.9	Protocolos ATM DXI e ATM FUNI.	50
Figura 3.10	Ambientes de utilização ATM DXI e ATM FUNI.	55
Figura 3.11	Cenário da Abordagem Direta.	57
Figura 3.12	Estrutura geral dos protocolos para serviços sem conexão.	58
Figura 4.1	Rede “Cells-In-Frames”.	62
Figura 4.2	Formato de um Quadro CIF IEEE 802.3.	63
Figura 4.3	Formato de um Cabeçalho SNAP.	64
Figura 4.4	Formato do Cabeçalho CIF.	64
Figura 4.5	Formato do Cabeçalho CIF Tipo 0 e 1.	65
Figura 4.6	Formato do Cabeçalho CIF Tipo 2.	66
Figura 4.7	Transmissão de Quadros AAL5 CIF.	68

Figura 5.1	Evolução das redes.	80
Figura 5.2	Instalações CIF usando a Ethernet.	82
Figura 5.3	Organização interna de uma estação CIF	83
Figura 5.4	Estrutura de protocolos de uma estação CIF.	83
Figura 5.5	Tráfego transmitido pelo comutador CIF	84
Figura 5.6	Tratamento CIF de células RM para Controle de Fluxo ABR.	88
Figura 5.7	Overhead para ATM, IP e CIF.	90
Figura 5.8	Interconexão de redes locais via “backbone” ATM.	92
Figura 5.9	Modelo de Referência “Cells-In-Frames”.	93
Figura 5.10	Mapeamento do protocolo “Cells-In-Frames”.	94
Figura 5.11	LANs virtuais.	96
Figura 5.12	Transmissão de quadros AAL1	102
Figura 6.1	Esquema de 28 células.	107
Figura 6.2	Esquema de 31 células.	108
Figura 6.3	Estações IEEE 802.3 interconectadas por meio de um rede “backbone” ATM.	109
Figura 6.4	Pilha de protocolos.	109

Figura 6.5	Comparação entre os esquemas de 28 e 31 células em termos da TTC versus Comprimento da AAL-SDU.	111
Figura 6.6	LANs IEEE 802.3 interconectadas por meio de uma rede backbone ATM utilizando o mecanismo “Cells-In-Frames”.	113
Figura 6.7	Mapeamento de AAL5-PDU em quadros CIF.	114
Figura 7.1	Arquitetura do sistema de interconexão de redes baseado no protocolo “Cells-In-Frames”.	119
Figura 7.2	Vazão para diferentes tamanhos de AAL-SDUs.	123
Figura 7.3	Vazão para diferentes tamanhos de AAL-SDUs.	124
Figura 7.4	Comparação dos dois esquemas.	125
Figura 7.5	Número de células transportadas em um quadro por segundo.	125
Figura 7.6	Porcentagem de “overhead”.	126
Figura 7.7	Banda passante disponível.	127
Figura A.1	Módulo de entrada	139
Figura A.2	Módulo Transmissão Host-Comutador	140
Figura A.3	Módulo Transmissão Comutador-Host	140
Figura A.4	Módulo Função CIF	140
Figura A.5	Módulo 5	141

Figura A.6	Módulo 6	141
Figura A.7	Módulo 7	141
Figura A.8	Módulo de saída	142

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Conjunto de Recomendações para a RDSI-FL.	10
Tabela 2.2	Classes de serviços da AAL.	12
Tabela 6.1	Resultados obtidos do teste ATM/CIF para a taxa de transmissão de 10 Mbps.	112

LISTA DE ABREVIATURA E SÍMBOLOS

ACR	Available Cell Rate
AAL	ATM Adaptation Layer
AAL-SDU	AAL Service Data Unit
ABR	Available Bit Rate
ANSI	American National Standards Institute
API	Application Program Interface
ARP	Address Resolution Protocol
ARP-ATM	Address Resolution Protocol-ATM
ARPA	Advanced Research Project Agency
ATM	Asynchronous Transfer Mode
ATM DXI	Data Exchange Interface
ATM FUNI	Frame-based UNI
BBTG	Broad-Band Task Group
BUS	Broadcast and Unknown Server
CAC	Connection Admission Control

CBDS	Connectionless Broadband Data Service
CBR	Constant Bit Rate
CCITT	International Telegraph and Telephone Consultative Committee
CIF	Cells-In-Frames
CLNAP	Connectionless Network Access Protocol
CLNIP	Connectionless Network Interface Protocol
CLP	Cell Loss Priority
CLR	Cell Loss Ratio
CLS	Connectionless Server
CPCS	Common Part Convergence Sublayer
CRC	Cyclic Reservation Checks
CS	Converge Sublayer
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
CSU/DSU	Channel Service Unit/Data Service Unit
DARPA	Defense Advanced Research Project Agency
DLCI	Data Link Connection Identifier
DQDB	Distributed Queue Dual Bus
FDDI	Fiber Distributed Data Interface

GFC	Generic Flow Control
HDLC	High-Level Data Link Control
HEC	Header Error Control
ICMP	Internet Control Message Protocol
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IHL	Internet Header Length
ILMI	Interim Local Management Interface
InARP	Inverse Address Resolution Protocol
InATMARP	Inverse ATM Address Resolution Protocol
IP	Internet Protocol
IPX	Internetwork Packet Exchange
ITU-T	International Telecommunications Union
IWU	InterWorking Unit
LAN	Local Area Network
LE	LAN Emulation
LEC	LAN Emulation Client
LES	LAN Emulation Server

LIS	Logical IP Subnetworks
LLC	Logical Link Control
LLC/SNAP	Logical Link Control/SubNetwork Access Protocol
MAC	Medium Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
MIB	Management Information Base
MID	Multiplexing Identification
MPOA	Multiprotocol over ATM
NDIS	Network Driver Interface Specification
NetBIOS	Network Input/Output System
NIC	Network Interface Cards
NHRP	Next Hop Resolution Protocol
NLPID	Network Layer Protocol ID
NNI	Network - Network Interface
OAM	Operation And Maintenance
ODI	Open Data Link Interface
OSI	Open Systems Interconnection
PCI	Protocol Control Information

PCR	Peak Cell Rate
PDU	Protocol Data Unit
PID	Protocol Identifier
PM	Physical Medium
PNNI 1.0	Private Network-to-Network Interface 1.0
PT	Payload Type
PVC	Permanent Virtual Connections
QoS	Quality of Service
RARP	Reverse Address Resolution Protocol
RARP-ATM	Reverse Address Resolution Protocol-ATM
RDSI	Rede Digital de Serviços Integrados
RDSI-FE	Rede Digital de Serviços Integrados - Faixa Estreita
RDSI-FL	Rede Digital de Serviços Integrados - Faixa Larga
RFC	Request For Comments
RM	Resource Management cell
SAR	Segmentation and Reassemble Sublayer
SDU	Service Data Unit
SLAM	Simulation Language for Alternative Modeling

SMDS	Switched Multimegabit Data Service
SN	Sequence Number
SNAP	SubNetwork Access Protocol
SNMP	Simple Network Management Protocol Local
SNP	Sequence Number Protection
SSAP	Source Service Access Point
SSCS	Service Specific Convergence Sublayer
SVC	Switched Virtual Circuit
TC	Transmission Convergence
TCP	Transmission Control Protocol
UBR	Unspecified Bit Rate
UDP	User Datagram Protocol
UNI	User Network Interface
VBR	Variable Bit Rate
VCC	Virtual Channel Connection
VCI	Virtual Channel Identifier
VCL	Virtual Channel Link
VD	Virtual destination

VP	Virtual Path
VPC	Virtual Path Connection
VPI	Virtual Path Identifier
VPL	Virtual Path Link
VS	Virtual source
WAN	Wide Area Network

UMA PROPOSTA DE APLICAÇÃO DO PROTOCOLO “CELLS-IN-FRAMES” PARA A INTERCONEXÃO DE REDES ATM E IEEE 802.3/ETHERNET

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

O surgimento da telefonia proporcionou a origem de uma rede de comunicação de âmbito mundial. Até a década de 60, a telefonia era baseada em tecnologia analógica. A partir de então iniciou-se a digitalização da transmissão e, posteriormente, da comutação telefônica.

A evolução da tecnologia digital deu origem aos sistemas multimídia, onde os diversos tipos de informação passaram a ser processados de forma integrada.

A necessidade do desenvolvimento de redes integradas de altas velocidades se deu pelo fato de que os sistemas de comunicações existentes foram desenvolvidos para cada tipo de informação.

A Rede Digital de Serviços Integrados de Faixa Estreita (RDSI-FE) foi a primeira infra-estrutura a permitir a integração de serviços vocálicos e de dados textuais. Porém, a necessidade de ampliar esta infra-estrutura e torná-la capaz de transportar uma variedade de fontes de tráfego como vídeo, voz e dados em integração com altas velocidades, levou, em meados da década de 80, à definição de padronização para a Rede Digital de Serviços Integrados de Faixa Larga - RDSI-FL.

Em 1988, a primeira recomendação aprovada incluía o modo de transferência assíncrona - ATM (“Asynchronous Transfer Mode”) como solução do modo de transferência para implementar a RDSI-FL. Em 1990, o CCITT regulamentou uma série de treze normas, definindo todos os princípios básicos do ATM.

O ATM foi concebido como uma técnica que engloba aspectos relacionados com a transmissão, multiplexação e comutação de alta velocidade. A substituição das redes já existentes, tais como as redes locais Ethernet/IEEE 802.3 pela tecnologia ATM, torna-se inviável pela existência da enorme quantidade de redes instaladas mundialmente, bem como pelas aplicações em uso.

Uma solução encontrada para que os usuários, com grandes investimentos em redes tradicionais, possam desfrutar dos benefícios da tecnologia ATM baseia-se na idéia da interconexão destas redes por meio de redes ATM.

O “Cells-In-Frames” (CIF) foi desenvolvido pela Universidade de Cornell com o intuito de permitir o benefício das vantagens oferecidas pelo ATM sem que se perca todo investimento já realizado em tecnologia Ethernet. Conforme mostra a Figura 1.1, uma característica significativa do CIF é permitir a implementação de aplicações ATM nas estações

de trabalho IEEE 802.3/Ethernet sem a mudança de interfaces de rede (NIC - “Network Interface Cards”).

O CIF oferece a funcionalidade integral do controle de fluxo e a qualidade de serviços ATM criando um ambiente ATM em instalações LANs, de maneira que camadas superiores operem como se existisse a própria instalação de uma rede ATM. Além disso, o CIF também promove a interoperabilidade de redes locais, o que permite as redes locais tirarem proveito das características de melhor desempenho da infra-estrutura ATM, além de permitir que as aplicações existentes continuem a ser utilizadas.

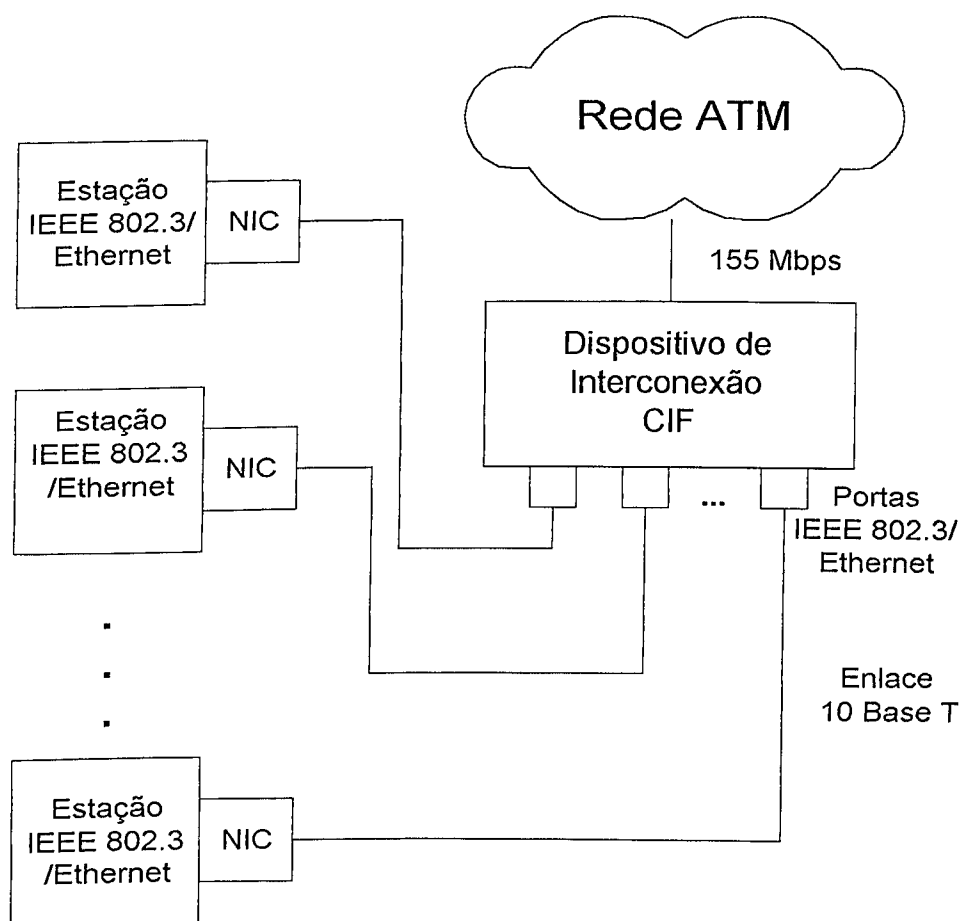


Figura 1.1 - Ambiente CIF.

Este trabalho propõe a realização de um estudo do comportamento e desempenho da interconexão de redes ATM e IEEE 802.3/Ethernet utilizando o protocolo “Cells-In-Frames” (CIF), tendo em vista a escassez de informações a este respeito na literatura pesquisada.

O Capítulo II apresenta uma visão geral da evolução das redes de comunicações, introduzindo a padronização e o modelo de referência da RDSI-FL, bem como os conceitos de uma rede ATM e a descrição de suas camadas e protocolos.

No Capítulo III são abordadas as técnicas para suporte à serviços sem conexão em redes ATM. Três métodos são apresentados. A emulação de LAN e o mapeamento direto do IP sobre o ATM caracterizam a forma indireta para a obtenção de serviços sem conexão utilizando o ATM. O terceiro método implementa o serviço não orientado à conexão internamente à rede, conhecido com abordagem direta.

A padronização e as especificações referentes ao protocolo “Cells-in-Frames” são descritas no Capítulo IV.

O Capítulo V refere-se às motivações, estrutura e principalmente aos benefícios de uma interconexão de redes ATM e IEEE 802.3 quando emprega-se o CIF.

No Capítulo VI descreve-se o funcionamento da arquitetura proposta, bem como um estudo analítico do emprego do protocolo CIF.

No Capítulo VII são descritos os aspectos relevantes à simulação da rede, a apresentação de resultados e suas análises.

As conclusões gerais sobre o trabalho e as sugestões para sua continuidade são apresentados no Capítulo VIII.

As seções Apêndice A e B apresentam o modelo reduzido do sistema de interconexão e, exemplos do modelo de simulação e do programa simulador desenvolvidos com a linguagem de simulação Awesim, respectivamente.

CAPÍTULO II

REDES ATM

2.1 - INTRODUÇÃO

A evolução das redes de telecomunicações sofreu um grande salto com o desenvolvimento da tecnologia digital integrada. As Redes Digitais de Serviços Integrados de Faixa Larga (RDSI-FL) possibilitam acomodar serviços de naturezas diversas (voz, vídeo, dados, etc.) sem a necessidade de criar uma rede dedicada para cada tipo de serviço. O Modo de Transferência Assíncrono (ATM - “Asynchronous Transfer Mode”) foi escolhido de modo a dar suporte à implementação das RDSI-FL por se adaptar facilmente às exigências de diferentes tráfegos em altas velocidades.

Este capítulo aborda, inicialmente, o cenário da evolução das redes de telecomunicações, introduz as RDSI-FL e destaca os principais conceitos e elementos de uma Rede ATM.

2.2 - EVOLUÇÃO DAS REDES DE TELECOMUNICAÇÕES

Os sistemas de comunicação foram desenvolvidos para o transporte de tipos específicos de informação. Para cada tipo de serviço (telefonia, telex, comunicação de dados)

havia uma rede especializada. Somente para transmissão a longa distância algum tipo de compartilhamento era utilizado.

O desejo de uma rede única capaz de atender a todos os tipos de serviços e o desenvolvimento da tecnologia digital impulsionou o surgimento das redes de serviços integrados.

O primeiro passo rumo à integração das tecnologias de comutação e transmissão surgiu no final da década de 50, sendo que o termo RDSI surgiu na reunião realizada em junho de 1971 de um grupo do CCITT, atual ITU-T, encarregado de estudar este assunto.

De acordo com o ITU-T uma RDSI é “a rede, em geral evoluída da rede digital integrada (RDI) de telefonia, que proporciona conectividade digital fim-a-fim, para suportar uma variedade de serviços vocais e não vocais, aos quais os usuários têm acesso através de um conjunto limitado de interfaces usuário-rede padronizadas.”

A fase inicial da RDSI veio com a RDSI-FE (Rede Digital de Serviços Integrados de Faixa Estreita) permitindo que os sinais passassem a ser digitais de um extremo ao outro e consistia na integração dos serviços de voz e dados, mostrado pela Figura 2.1.

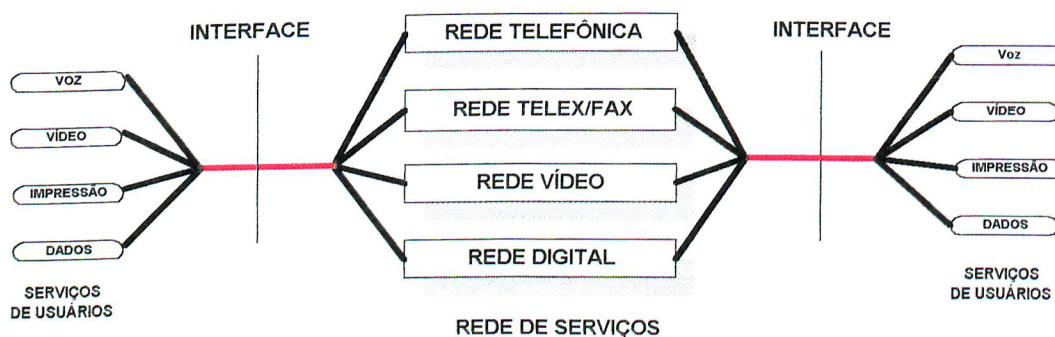


Figura 2.1- Redes de comunicações com a RDSI-FE.

Entretanto, a necessidade de ampliar a infra-estrutura da RDSI-FE para atender a definição de novos serviços revelou a última geração de redes, a RDSI-FL (Rede Digital de Serviços Integrados de Faixa Larga), com capacidade para transportar uma diversidade de tráfegos, como vídeo, voz e dados em integração com altas velocidades, como ilustrado na Figura 2.2.

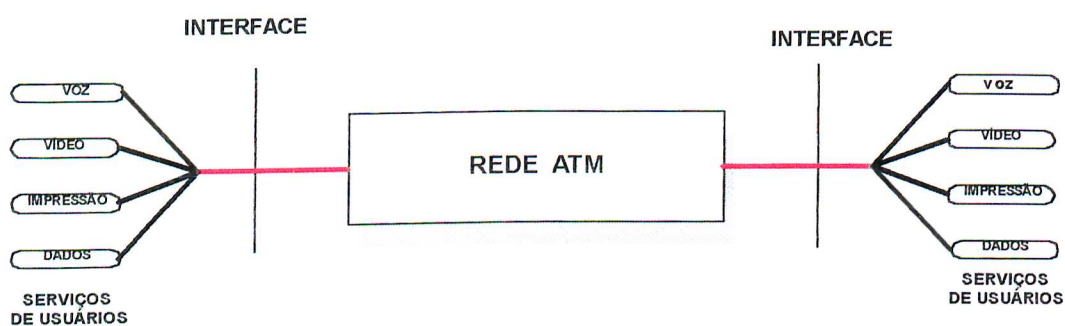


Figura 2.2- Redes de comunicações com a RDSI-FL.

A utilização do Modo de Transferência Assíncrono (ATM) proporciona a otimização da rede, o uso eficiente da banda, a independência da taxa de transmissão, a flexibilidade e a aplicabilidade a qualquer tipo de tráfego. Desta forma foi escolhido e padronizado para suportar as exigências da RDSI-FL. Além disso, o ATM despertou a atenção como solução para a interconexão de redes em alta velocidade em ambientes locais.

2.3 - REDES DIGITAIS DE SERVIÇOS INTEGRADOS DE FAIXA LARGA (RDSI-FL)

A principal característica do conceito de RDSI-FL é o suporte a uma grande variedade de aplicações de voz, vídeo e dados em uma mesma estrutura de rede.

No desenvolvimento das recomendações da RDSI-FL levou-se em conta fatores como: a demanda emergente para serviços faixa-larga, a disponibilidade e tecnologia de transmissão em alta velocidade, a disponibilidade aos usuários de capacitação para processamento avançado de dados e imagem, a necessidade de integração de serviços e o oferecimento de flexibilidade para satisfazer os requisitos de usuários e operadoras.

A BBTG (*Broad-Band Task Group*) do ITU-T iniciou os trabalhos de padronização e a primeira recomendação foi aprovada em 1988 (I.121). Nela já estava incluído o modo de transferência adotado para implementação da RDSI-FL, o ATM. Outras recomendações vêm sendo definidas ao longo do período de estudos. A Tabela 2.1 apresenta o conjunto de recomendações em vigor e mais diretamente ligadas ao ATM.

O ATM na RDSI-FL oferece vantagens como:

- Grande flexibilidade de acesso à rede devido ao conceito de transporte de células e aos princípios de transferência de células;
- Alocação dinâmica da banda por demanda;
- Alocação flexível de capacitação de suporte e facilidade de provisão de conexões semi-permanentes, devido ao conceito de caminho virtual;
- Independência dos meios de transporte na camada física.

Tabela 2.1 - Conjunto de Recomendações para a RDSI-FL.

Recomendação	Especificações
I.113	Vocabulário de termos para RDSI-FL.
I.121	Aspectos de Faixa Larga da RDSI.
I.211	Aspecto de serviço na RDSI-FL.
I.327	Arquitetura funcional da RDSI-FL.
I.413	UNI da RDSI-FL
I.321	Modelo de referência de protocolos e suas aplicações.
I.432	UNI da RDSI-FL: especificação do nível físico.
I.150	Características funcionais do ATM.
I.361	Especificação da camada ATM.
I.362	Descrição funcional da camada de adaptação (AAL).
I.363	Especificação da AAL (ATM Adaptation Layer).
I.365.1	Subcamada de convergência específica do serviço de Frame Relay.
I.364	Suporte para serviços sem conexão na RDSI-FL.
I.374	Características para uma rede com suporte a serviços multimídia.
I.311	Aspectos gerais de rede na RDSI-FL.
I.610	Princípios de operação e manutenção na RDSI-FL.

A conexão da instalação do usuário à rede é feita através da interface usuário-rede, a UNI (“User to Network Interface”). O ATM Forum, levando em consideração a utilização do ATM em redes privadas, definiu: a UNI pública, correspondente à interface entre o usuário e o comutador ATM, e a UNI privada que corresponde à interface entre um usuário e um comutador ATM gerenciado como parte de sua rede corporativa. A Figura 2.3 apresenta a configuração de referência da UNI para RDSI-FL, onde TR1 e TR2 são terminadores de rede 1 e 2, respectivamente, ET1 e ET2 são equipamentos terminais 1 e 2, respectivamente e AT é um adaptador de terminais.

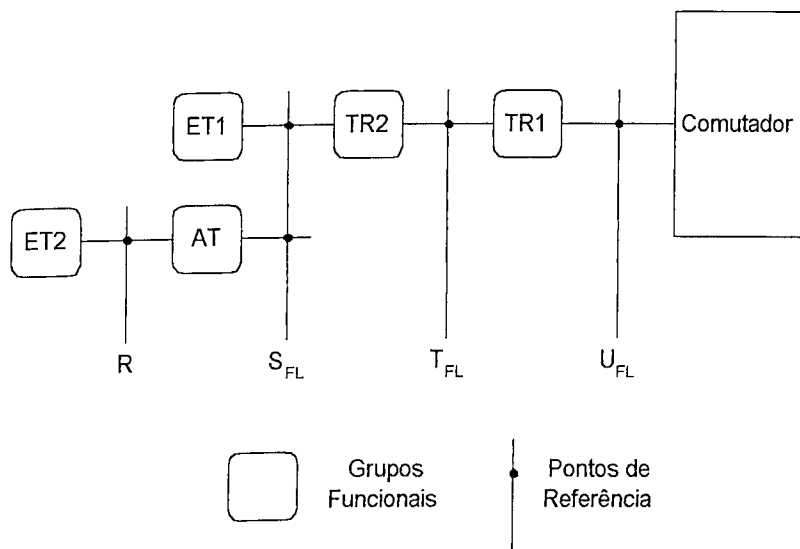


Figura 2.3 - Configuração da UNI para RDSI-FL.

2.3.1 - Os Serviços RDSI-FL

As quatro classes de serviço AAL estão definidas pelo ITU-T na recomendação I.362 [28] e são mostradas na Tabela 2.2. Estas permitem todas as possíveis combinações do tráfego digital que a RDSI-FL pode solicitar para suportar as classes A (CBR), B (VBR), C (VBR e ABR) e D (UBR).

Tabela 2.2 - Classe de serviços da AAL.

	<i>Classe A</i>	<i>Classe B</i>	<i>Classe C</i>	<i>Classe D</i>
<i>Sincronismo entre origem e destino</i>	Necessário		Não necessário	
<i>Taxa de transmissão</i>	Constante	Variável		
<i>Modo de conexão</i>	Orientado a conexão			Não orientado a conexão

A classe A é mais utilizada na emulação de circuitos, suportando a geração de aplicações de taxa de bit constante. A classe B suporta enlaces de vídeo e voz, usando a taxa de bits variável, onde o enlace lógico entre a fonte e o destino ainda é requerido para a duração das conexões de usuários. A classe C é usada para serviços de transferência de dados empacotados. Por último, na classe D envolve serviços de pacote que desejam determinar roteamento e estabelecimento de conexões na RDSI-FL.

2.4 - O MODO DE TRANSFERÊNCIA ASSÍNCRONO (ATM)

2.4.1 - O Cenário da Tecnologia ATM

Devido à crescente necessidade de comunicação cada vez mais rápida, tanto em redes públicas como privadas, e da possibilidade de se ter uma única rede capaz de suportar todos os serviços tanto de faixa estreita como faixa larga, interativo e distribuído, estão sendo desenvolvidos novos modos de transferência que atendam a essas exigências.

Dentre essas técnicas, a que melhor se adaptou para satisfazer às especificações e aplicações de alta velocidade em redes públicas foi o ATM; além de despertar o interesse dos meios de telecomunicações por atender às aplicações em redes locais (LAN - “Local Area Network”) e redes de grande alcance (WAN - “Wide Area Network”).

O ATM é um tecnologia flexível de multiplexação e comutação que combina os benefícios da comutação de circuitos (assegurando um atraso de transmissão mínimo e garantindo a banda passante) com as vantagens da comutação de pacotes (provendo flexibilidade e eficiência na utilização do tráfego).

A combinação das características de vários serviços de comunicação no ATM contribuem para estabelecê-lo como o grande suporte aos múltiplos tipos de tráfego e a capacidade de participar dos ambiente de redes locais.

2.4.2 - Benefícios do ATM

A tecnologia ATM tem revolucionado o panorama dos meios de comunicação. O ATM oferece vantagens devido, principalmente, à sua grande flexibilidade e também à sua capacidade de suportar o tráfego multimídia.

São benefícios oferecidos da tecnologia ATM:

- A eficiência da banda passante - o ATM eficientemente suporta a alocação de banda passante sob demanda, baseado nas reais necessidades de cada usuário,
- A escalabilidade - o ATM é altamente flexível, acomodando uma variedade de tipos de tráfego, taxas de tráfego e aplicações de comunicação,
- A transparências de aplicações - O tamanho fixo de uma célula ATM é um compromisso efetivo entre o comprimento típico dos pacotes das aplicações de comunicação de dados e os quadros curtos e repetitivos das aplicações de telecomunicações (voz),
- Padrões internacionais - O ATM Forum e o ITU-T têm trabalhado para o desenvolvimento de normatizações dessa tecnologia, devido ao grande interesse de organizações e usuários.

E mais, os usuários ganham como vantagens o garantido acesso à rede para aplicações de voz e vídeo, a capacidade de requerer a qualidade de serviço (QoS), o suporte a novas aplicações de comunicação de dados e telecomunicações, e o suporte de tráfego de mensagens de comprimento variado .

Em outras palavras, o ATM permite a rede ser talhada para as necessidades do usuário, sem forçá-lo a se adaptar às características da rede.

2.4.3 - Características do ATM

ATM é um modo de transferência, modo pacote, que utiliza a técnica de multiplexação por divisão de tempo assíncrona. O fluxo de informações multiplexada é organizado em blocos de tamanho fixo denominado célula. A célula consiste de um campo de informações e um cabeçalho. A principal função do cabeçalho é identificar células pertencentes ao mesmo canal virtual dentro do multiplex por divisão de tempo assíncrono. A capacidade de transferência é reservada por negociação e é baseada na fonte de requisitos e da capacidade disponível. A integridade da sequência de células numa conexão de canal virtual é preservada pela camada ATM.

Na Recomendação I.150 do ITU-T, o ATM é descrito como uma técnica orientada à conexão. Os identificadores de conexão são designados para cada enlace da conexão quando requeridos e liberados quando não mais necessários. A sinalização e as informações de usuários são transportadas em conexões separadas na camada ATM.

2.4.3.1 - A Célula

A transmissão de informação no ATM é baseada em pequenos pacotes de tamanho fixo chamados células.

Uma célula ATM tem comprimento fixo de 53 bytes, os primeiros 5 bytes são destinados ao cabeçalho, dividido em campos que contêm informações de identificação, controle, prioridades e roteamento de células. O restante dos 48 bytes constituem a carga útil da célula - a informação do usuário. As células ATM são transmitidas serialmente através da rede.

O carregamento dos dados dentro de células de tamanho fixo faz uso efetivo do meio de transmissão de alta velocidade, porque as células podem ser processadas pelo hardware de alta velocidade, porém causando um mínimo de “overhead” de software.

Uma grande vantagem de células de comprimento fixo é que este formato capacita a rede em acomodar não somente mudanças rápidas na quantidade do tráfego de rede, mas também na natureza do tráfego.

A estrutura de um célula ATM é a mesma em toda parte da rede, exceto com uma pequena variação no cabeçalho que diferencia uma célula na interface usuário rede (UNI - “User Network Interface”) de uma célula na interface rede-rede (NNI - “Network Network Interface”). A Figura 2.4 apresenta a estrutura de uma célula na UNI e na NNI.

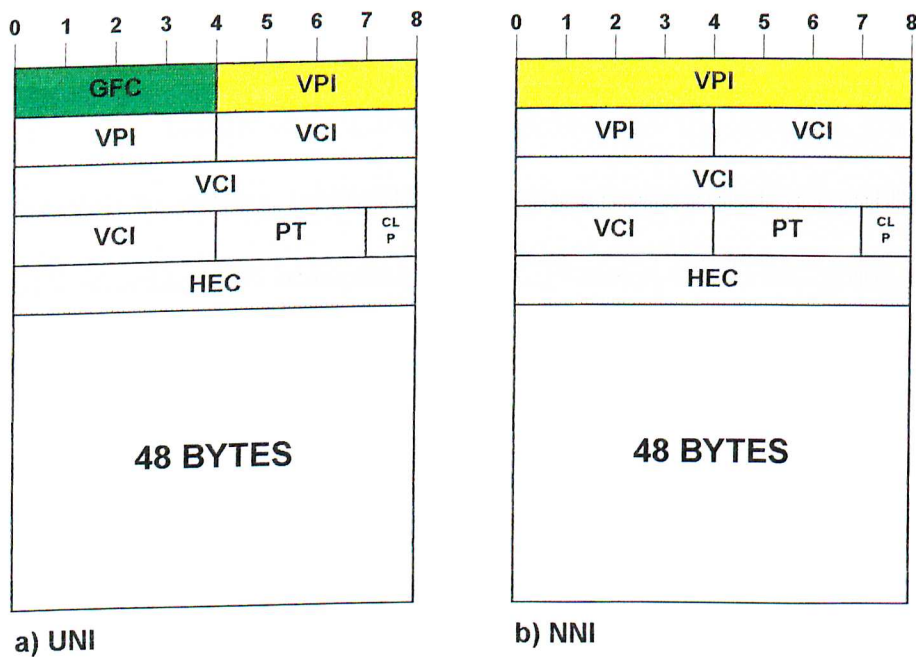


Figura 2.4 - Formatos de células para a UNI e NNI.

O campo GFC (“Generic Flow Control”) é usado pelo mecanismo de controle de fluxo genérico para regular o fluxo de tráfego na rede.

Os campos VPI (“Virtual Path Identifier”) e VCI (“Virtual Channel Identifier”) formam o rótulo de endereçamento da conexão utilizado pelos comutadores para o roteamento das células desde a origem até o seu destino final.

O campo PT (“Payload Type”) é usado para indicar se o conteúdo do campo de informações contém informações do usuário ou de manutenção.

O campo CLP (“Cell Loss Priority”) indica a prioridade para o caso de necessidade de descarte de células.

O campo HEC (“Head Error Control”) é utilizado para a detecção de erros de cabeçalho, possível correção de erro em um único bit e delimitamento de células.

No Campo de Informações estão mapeados os bits de serviços do usuário, incluindo as interfaces usuário-rede (UNI) e rede-rede (NNI), além de informações que permitem ao terminal de destino reconstituir a informação enviada. Cada célula comporta-se portanto, como uma unidade de transporte (PDU - “Protocol Data Unit”), que pode transitar na rede de forma independente. Desse modo, um determinado serviço irá utilizar tantas células quanto necessário para o transporte da informação desejada.

2.4.3.2 - Conexões virtuais - Canal virtual e Caminho virtual

O ATM é por definição uma tecnologia orientada à conexão. As células são transmitidas através de conexões com circuitos virtuais, onde uma rota é estabelecida no momento da conexão. Os identificadores de conexão são assumidos para cada enlace de uma

conexão quando requerida e liberada quando não mais necessária. Cada célula carrega um identificador de conexão, o qual é dividido em dois campos - o Identificador de Caminho Virtual (VPI) e o Identificador de Canal Virtual (VCI). Como mostra a Figura 2.5, cada enlace físico pode conter vários Caminhos Virtuais (VPs) que por sua vez podem carregar vários Canais Virtuais (VCs).

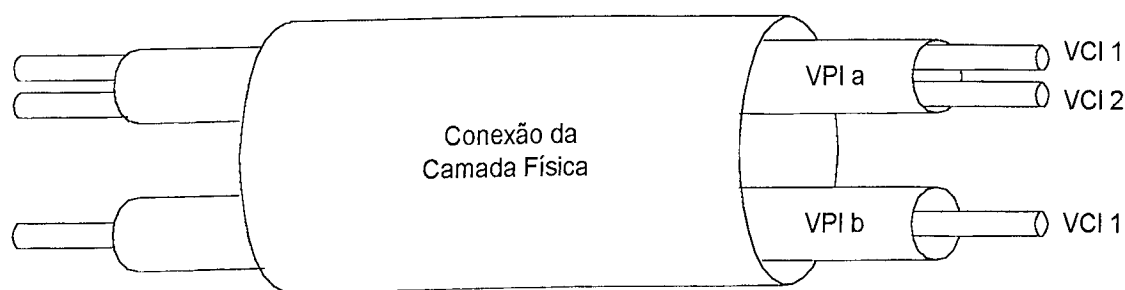


Figura 2.5 - Caminhos Virtuais (VPs) e Canais Virtuais (VCs).

O par VPI/VCI identifica um único circuito virtual (VC) em uma rede ATM. Cada VC constitui uma conexão privada para um nó da rede ATM e é tratado como um mecanismo para suportar tráfego bidirecional. Na verdade, cada VC é considerado um enlace separado e completo para um nó de destino.

Uma conexão fim-a-fim em redes ATM é denominada uma conexão com canal virtual (VCC - "Virtual Channel Connection"). Uma VCC é formada pela concatenação de conexões virtuais estabelecidas nos vários enlaces da rede, da origem ao destino, formando um caminho único através do qual as células serão encaminhadas. Cada conexão virtual em um enlace é denominada de enlace de canal virtual (VCL - "Virtual Channel Link").

Denomina-se uma conexão de caminho virtual (VPC - “Virtual Path Connection”) um conjunto de VCCs que são comutadas conjuntamente. A concatenação de enlaces de caminho virtual (VPL - “Virtual Path Link”) formam o VPC.

O meio físico é responsável em oferecer enlaces físicos - o carregamento das células ATM entre os nós físicos. Um nó pode prover VPI ou VPI/VCI baseado em comutação de células, ou ele pode terminar as conexões virtuais para uma AAL.

2.4.3.3 - Comutação ATM

O mais importante componente de uma conexão virtual é o nó de comutação. A função de comutação em um nó corresponde à recepção de células que chegam pelas portas de entrada à sua retransmissão através de portas de saída, mantendo a ordem das células em cada conexão. Para que haja a comutação, cada nó necessita de informações sobre as rotas das células.

O comutador é responsável pelo roteamento das células entre as interfaces físicas (portas). Para que as células sejam encaminhadas pela rede até o destino, é necessário que cada comutador saiba encaminhar corretamente as células de cada VCC estabelecida. Quando uma célula chega a um comutador ATM, o rótulo identifica o VCL utilizado pelo comutador anterior do caminho estabelecido pelo VCC. De posse destas informações e da porta de entrada, o comutador consulta uma tabela que relaciona cada VCL e porta de entrada ao próximo VCL e porta de saída a ser utilizada no caminho estabelecido pela VCC.

2.4.3.4 - Qualidade de Serviço (QoS)

Qualidade de serviço é caracterizada pela combinação dos aspectos de suporte e habilidade de prover o serviço, facilidade de utilização do serviço, capacidade de obtenção e integridade de serviço. Um aspecto fundamental na avaliação de um serviço é determinado pelo grau de satisfação de um usuário dos serviços.

Cada conexão ATM terá um grupo de parâmetros, definindo a Qualidade de Serviço (QoS) sob o ponto de vista do usuário. O QoS envolve características como:

- taxas de células médias e de pico,
- probabilidade de perdas de células,
- atraso de células fim-a-fim,
- variação de atraso de células (CDV),
- explosividade.

A relativa importância destas características depende do tipo de tráfego que uma conexão virtual está suportando. Desde o estabelecimento de uma conexão, pode-se exigir uma QoS específico da rede.

2.4.3.5 - Classes de Tráfego

As classes de serviços definidas pelo ATM Forum para a UNI são:

1. As Taxas de Bit Constante (CBR) para serviços sob demanda, devem ser negociadas durante a fase de estabelecimento das chamadas, sendo os recursos de rede

alocados nessa fase para todo o período de duração da chamada. Esta classe é usada por emulação de comutação de circuitos e a taxa de células é constante.

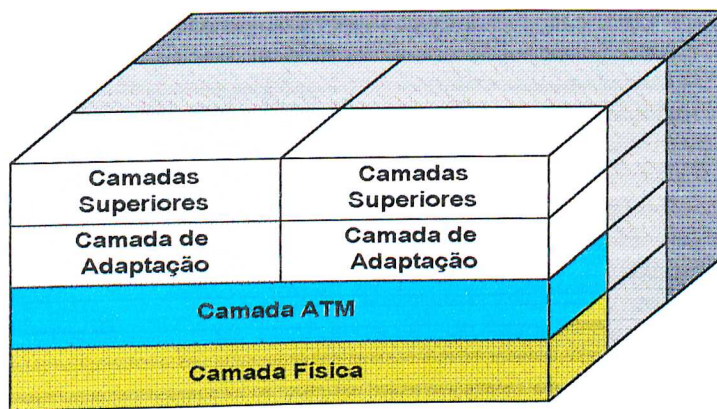
2. As Taxas de Bit Variável (VBR) permitem aos usuários transmitirem com uma taxa variável. A qualidade de serviço pode ser descrita em termos da probabilidade máxima permitida de perda de células e alguma função de retardo.

3. A Taxa de Bit Disponível (ABR) é designada para tráfego de dados normais, como a transferência de arquivos e correio eletrônico, e suporta transmissão de dados de taxa variável. Os serviços ABR não provêm qualquer banda passante garantida para o usuário. A rede oferece um serviço de “melhor esforço”, no qual um feedback (mecanismo de controle de fluxo) é usado para aumentar a disponibilidade de banda passante para o usuário se a rede não está congestionada e reduzir a banda passante quando há o congestionamento.

4. A Taxa de Bit Não Especificada (UBR) é designada para aquelas aplicações de dados que não necessitam usar qualquer das outras classes e não são sensíveis a perdas ou atrasos de células.

2.5 - MODELO DE REFERÊNCIA DE PROTOCOLOS DA RDSI-FL

O modelo de referência de protocolo do ATM utiliza a arquitetura lógica do modelo OSI. Ele consiste de três planos: usuário, controle e gerenciamento. O plano de usuário é dividido nas camadas física, ATM e adaptação, conforme a Figura 2.6.



- Plano de Gerenciamento dos Planos
- Plano de Gerenciamento das Camadas
- Plano de Controle
- Plano do Usuário

Figura 2.6 - Modelo de Referência dos Protocolos da RDSI-FL.

Plano de Controle: Responsável pelas funções de controle, como a sinalização necessária para ativar, manter e desativar as chamadas e conexões.

Plano de Gerenciamento: Responsável por dois tipos de funções: o gerenciamento de planos que é utilizado para gerenciar os planos de usuário, de controle e do próprio plano de gerenciamento e o gerenciamento de camadas que trata dos fluxos de informações de operação e manutenção relativos a cada camada.

Plano do Usuário: Fornece ao usuário a possibilidade de transferência de fluxos de informações através da rede. As camadas inferiores do plano de controle são a camada física, a camada ATM e a camada de Adaptação. As camadas superiores não são definidas pelas recomendações da RDSI-FL, porém é sabido que as camadas acima da AAL relatam as

aplicações de comunicação específicas que o usuário escolhe para empregar no ambiente de rede ATM, como, por exemplo, o TCP/IP.

2.5.1 - Camada Física

Esta camada envia as células recebidas da camada ATM para o meio de transmissão físico e vice-versa, dependendo da direção do fluxo de células entre o transmissor e o receptor. Este processo ocorre em duas subcamadas da camada física: a subcamada de Convergência de Transmissão (TC) e a subcamada do Meio Físico (PM).

- **A subcamada TC** - Esta subcamada desempenha a função de transmissão do fluxo de bits pelo meio físico. As funções da TC são comuns para todas as camadas físicas em uma rede ATM, são elas:

- Desacoplamento da taxa de transmissão em relação à taxa de geração de células,
- Adaptação dos quadros de transmissão,
- Geração de sequência de controle de erro de cabeçalho e verificação do cabeçalho da célula,
- Funções de Manutenção, Administração e Operação (OAM),
- Delineamento de células.

- **A subcamada PM** - Responsável pela real transmissão de dados na comunicação de uma rede ATM, incluindo o alinhamento de bits, sinalização na linha e conversão eletro-ótica. Na verdade, a PM depende do meio físico usado no transporte de dados.

2.5.2 - Camada ATM

A camada ATM participa do funcionamento de todos elementos da rede, incluindo os comutadores; além de ser independente do meio físico.

Funções como multiplexação e demultiplexação de células, adição e remoção do cabeçalho das células, comutação e encaminhamento de células baseado na informação do cabeçalho (realizado pelos nós de comutação) e o controle genérico de fluxo (GFC) na UNI são realizadas pela camada ATM.

A Figura 2.7 ilustra o processo desempenhado pela camada ATM na entrega das células para a rede. A camada ATM recebe os 48 bytes SAR-PDU da subcamada de remontagem e segmentação (SAR) da AAL, constrói um cabeçalho de 5 bytes para cada SAR-PDU, produzindo, então, as células ATM para depois liberá-las para a camada física.

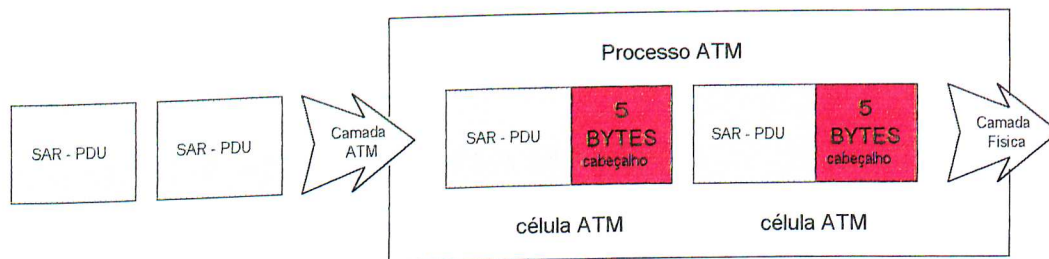


Figura 2.7 - Processamento de dados da camada ATM.

2.5.3 - Camada AAL

Esta camada é responsável pelo mapeamento dos serviços oferecidos pelo ATM para serviços esperados pelas camadas superiores. A camada de adaptação ATM (AAL - “ATM Adaptation Layer”) é subdividida em: Subcamada de Convergência (CS) e Subcamada

de Segmentação e Remontagem (SAR). A Figura 2.8 ilustra, genericamente, o processo das duas camadas da AAL.

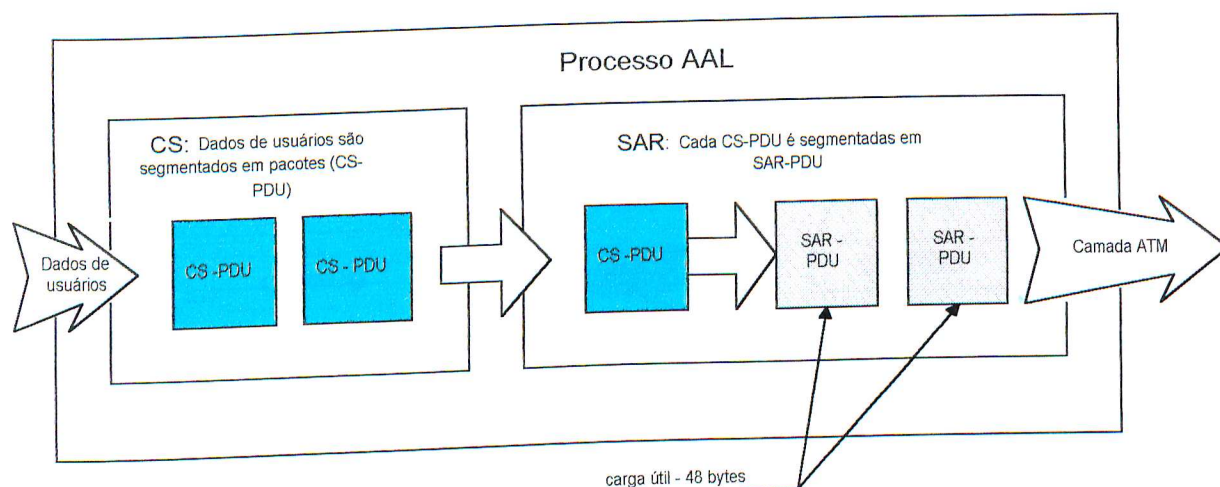


Figura 2.8 - Processamento de dados da camada AAL.

Na seção seguinte, esta camada será apresentada mais detalhadamente.

2.6 - CAMADA DE ADAPTAÇÃO ATM (AAL)

Essencial para os serviços oferecidos pela rede ATM é a Camada de Adaptação ATM (AAL). A AAL acrescenta os seus serviços aos fornecidos pela camada ATM para suportar as funções exigidas pelas camadas superiores.

2.6.1 - Estrutura da Camada AAL

A AAL consiste de duas subcamadas internas, a Subcamada de Segmentação e Remontagem (SAR) e a Subcamada de Convergência (CS). A Figura 2.9, de forma genérica, mostra o processamento de dados de um AAL.

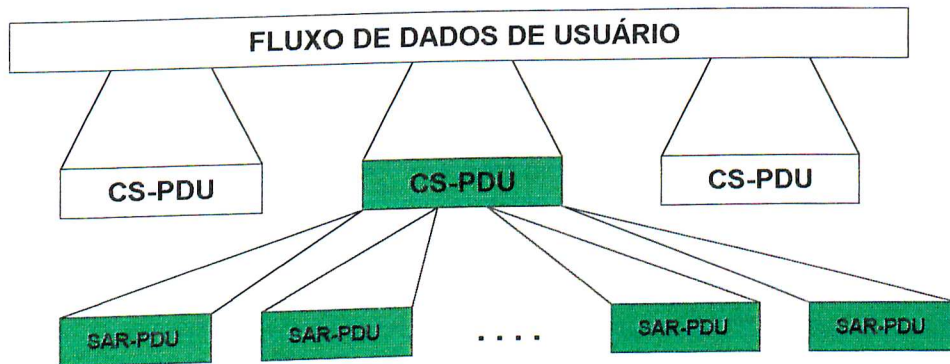


Figura 2.9 - Processamento da Camada AAL.

Para as AALs 3/4 e 5, a subcamada CS é dividida nas Subcamadas de Convergência Específica do Serviço (SSCS) que fornece funções adicionais conforme a necessidade de serviços específicos e a Parte comum da Subcamada de Convergência (CPCS) responsável pela adição de cabeçalhos aos quadros do usuário e também, assegura integridade no nível de quadros. As funções da CS são a multiplexação, detecção de perdas de células e recuperação da relação temporal da informação original no destino.

A SAR é responsável pela quebra do fluxo de informações em fragmentos que podem ser acomodados no campo de informações das células, e pela remontagem deste fluxo de células recebido. A Figura 2.10 representa a estrutura da camada de adaptação ATM.

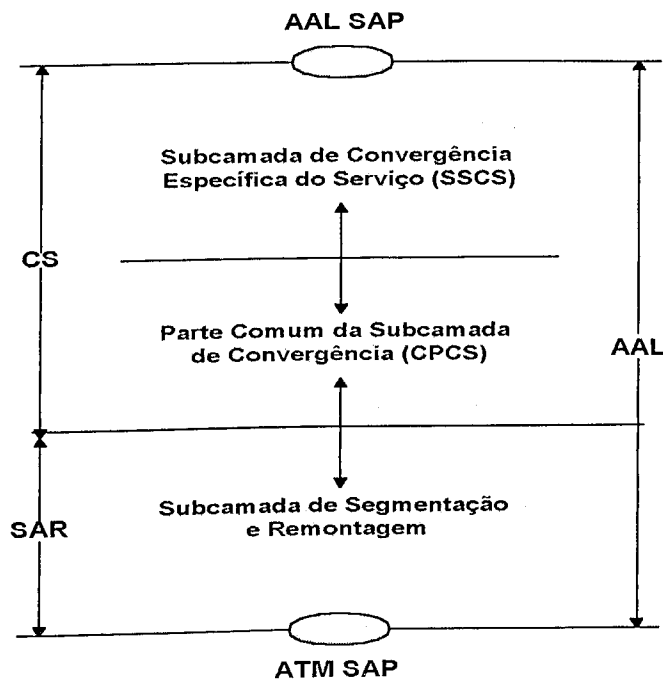


Figura 2.10 - Estrutura da AAL.

2.6.2 - AAL 1 - Serviço de taxa de bit constante

Depois do estabelecimento de uma conexão virtual, os serviços de taxa de bit constante (CBR) exigem que as informações a serem transmitidas, entre a fonte e o destino, utilizem taxa de bit constante. A finalidade do protocolo AAL1 é satisfazer os requisitos da classe de serviço A.

Os serviços fornecidos pela AAL tipo 1 às camadas superiores são:

- transferência de unidades de dados de serviço com uma taxa constante de geração e a sua entrega ao destino na mesma taxa;
- transferência de informações de sincronização entre origem e destino;
- transferência de informações sobre a estrutura de dados entre origem e destino;

- indicação de informações perdidas ou com erros não recuperáveis pelo AAL1.

A Recomendação I.363 descreve as especificações requeridas pelo protocolo AAL tipo 1 [28].

2.6.3 - AAL 2 - Serviços de taxa de bit variável

A proposta do protocolo AAL2 é satisfazer os requisitos da classe de serviços tipo B. A Recomendação I.363 apresenta todos os termos, regras e funcionalidade da AAL tipo 2 [28].

2.6.4 - AAL 3/4

A AAL 3/4 oferece um modo de transmissão orientado à conexão com detecção de erro de transmissão, perda e inserção errônea de segmentos, suportando também a comunicação de dados não orientadas à conexão.

De um modo simplificado, no processo de transmissão da AAL 3/4 ocorre o seguinte: uma AAL-SDU é encapsulada para gerar uma CPCS-PDU. Esta é então segmentada dentro de uma série de carga útil de 44 bytes de SAR-PDU, empacotada com um cabeçalho de 2 bytes e o trailer, criando uma SAR-PDU de 48 bytes e inseridas no campo das cargas úteis de células para transmissão.

Os serviços oferecidos pelo protocolo AAL3/4 podem ser:

- **Modo Mensagem** onde uma unidade de dados de serviço (AAL-SDU) é passada através da interface AAL em exatamente uma unidade de dados da interface AAL, de tamanho fixo ou variável.

- **Modo Fluxo**, uma AAL-SDU é passada através da interface AAL em uma ou mais unidades de dados da interface AAL, permitido apenas as de comprimento variável.

Ambos os modos podem realizar os procedimentos operacionais, seguro e inseguro. A operação segura permite a entrega correta das AAL-SDU através da retransmissão de SSCS-PDU recebidas com erro ou perdas, sendo obrigado o controle de fluxo. Na operação insegura, não são feitas retransmissões quando as AAL-SDU são perdidas ou corrompidas.

2.6.5 - AAL 5

O protocolo AAL5 fornece serviços similares ao do AAL3/4, mas com um serviço de transporte de dados com redução de “overhead”, e dispõe de melhores recursos para detecção de erros e capacidade de correção. Uma grande diferença entre os dois protocolos é a função de multiplexação de conexões, que o protocolo AAL5 não oferece.

A AAL tipo 5 se aplica a serviços de dados orientado à conexão, associados a tráfego de taxa de bit variável (VBR), de classe C e ao emergente tráfego com taxa de bit disponível (ABR).

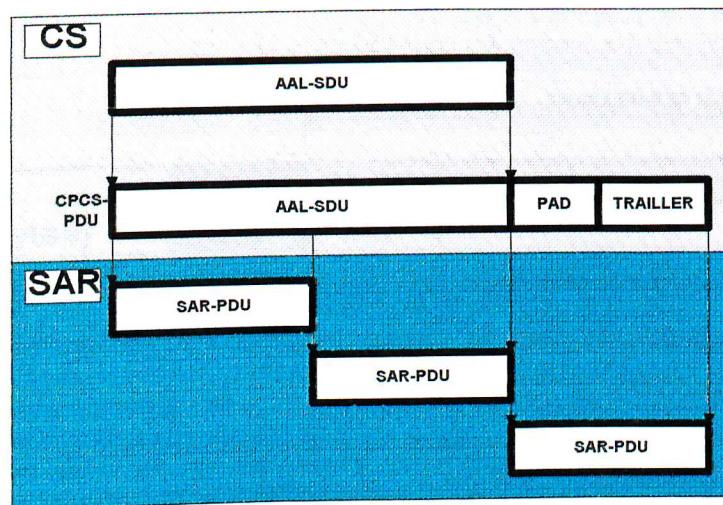


Figura 2.11 - Fluxo de informações da AAL5.

Em uma operação sem funções específicas de serviço, o mapeamento das AAL-SDUs é feito em uma CPCS-PDU e a operação é sem segurança em relação a descartes de quadros. A operação de transmissão AAL5 de uma AAL-SDU é ilustrada pela Figura 2.11 e descrita a seguir.

Uma AAL-SDU é recebida no AAL-SAP e passada para a CPCS tornando-se uma CPCS-SDU. A subcamada CPCS adiciona um padding e um trailer ao CPCS-SDU, neste instante a informação passa-se a chamar CPCS-PDU. A CPCS-PDU é então entregue à SAR tornando-se uma SAR-SDU. A subcamada SAR segmenta as SAR-SDUs em SAR-PDUs de 48 bytes cada, repassa-os para a camada ATM e indica através do parâmetro indicação usuário a usuário, a última do grupo originado pela mesma SAR-SDU.

O formato de uma CPCS-PDU é mostrado na Figura 2.12.

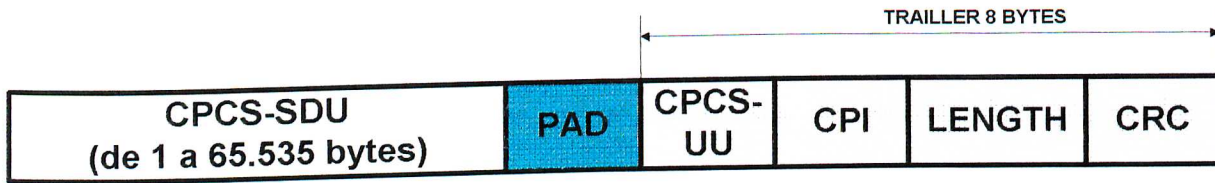


Figura 2.12 - Formato de um CPCS-PDU da AAL5.

O campo **Pad** é inserido de forma a tornar a CPCS-PDU um múltiplo inteiro de 48 bytes, portanto variando de 0 a 47 bytes.

O Trailer é de 8 bytes e possui os seguintes campos:

- CPCS-UU: tem um comprimento de 1 byte, é utilizado para trocar informações entre CPCSs. Este parâmetro está associado com o campo PT do cabeçalho das células;

- CPI: indicador de parte comum, tem tamanho de 1 byte.

- LENGTH: informa o comprimento total da parte de informação, mostrando quanto do CPCS-PDU é informação e o quanto é padding e possui um tamanho de 2 bytes. Na ausência da SSCS, o CPCS-SDU é a própria AAL-SDU.

- CRC: o código de redundância cíclica é utilizado para detectar erros no CPCS-PDU. Carrega o resultado do cálculo do CRC baseado no polinômio gerador

$G_{32} = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$ e possui um tamanho de 4 bytes.

2.7 - CONTROLES DE TRÁFEGO E DE CONGESTIONAMENTO

A Recomendação I.371 define o congestionamento como um estado em que a rede não será mais capaz de cumprir com os compromissos de desempenhos negociados no estabelecimento da conexão ou dos novos pedidos, permitindo a degradação da qualidade de serviço (QoS).

A tentativa de controlar a ocorrência do congestionamento pode ser feita de forma preventiva, denominada de controle de tráfego ou de forma reativa, o controle de congestionamento. Várias técnicas de controle de tráfego e de congestionamento podem ser associadas para garantir a qualidade de serviço da rede, entre elas tem-se: o gerenciamento dos recursos da rede, controle de admissão de conexões (CAC), controles baseado em feedback, policiamento e o controle de prioridades (ou descartes de células).

2.8 - SINALIZAÇÃO

O processo de sinalização garante o estabelecimento, supervisão e rompimento de conexões ATM (VPC e VCC) de forma dinâmica através da função de metassinalização.

A Recomendação I.311 do ITU-T especifica as características de sinalização da RDSI-FL na UNI. A função de sinalização deve permitir:

- Estabelecimento, manutenção e liberação de conexões, que podem ser sob demanda, semi-permanente ou permanente, e que devem ser administrada de forma a manter as características solicitadas e descritas pelos parâmetros de qualidade de serviço;
- Suporte a configurações ponto-a-ponto, multiponto e difusão;

- Renegociação das características do tráfego de uma conexão já estabelecida;
- Suporte a várias conexões, possibilitando a adição e remoção de conexões de uma chamada.

A Recomendação Q.93B do ATM Fórum define um conjunto de procedimentos baseados num subconjunto da recomendação Q.2931 do ITU-T, para garantir a compatibilidade mais rápida entre os equipamentos.

2.9 - CONCLUSÕES

Hoje as redes de telecomunicações são caracterizadas pela especialização. Cada rede é especialmente designada a um serviço em particular, o que acarreta inúmeras desvantagens como a dependência do serviço, a inflexibilidade e conseqüentemente a ineficiência.

Em contrapartida, a procura do compartilhamento total de recursos disponíveis e a crescente demanda por serviços integrados intensificou os trabalhos de padronização da Rede Digital de Serviços Integrados de Faixa Larga, por sua eficiência no uso compartilhado de seus recursos disponíveis e a capacidade de transportar todos tipos de serviços.

A técnica ATM por sua capacidade de suportar uma diversidade de serviços, o uso eficaz da banda passante e a independência da taxa de transmissão foi definida como a tecnologia de rede capaz de atender às exigências da RDSI-FL. A primeira recomendação foi aprovada em 1988. Dois anos depois, o ITU-T regulamentou uma série de treze recomendações para definir os princípios básicos sobre o ATM.

A ampla utilização do ATM ainda dependerá de muitos estudos e padronizações. Por isso, organizações como o ATM Forum e o ITU-T têm trabalhado para a regulamentação e aceitação cada vez maior da tecnologia ATM.

Portanto, a crescente necessidade das organizações e de usuários ao acesso a redes cada vez mais rápidas tem contribuído para o rápido desenvolvimento do ATM, o que permitirá futuramente o uso do ATM não só como infra-estrutura de backbone, mas a migração total para essa tecnologia.

CAPÍTULO III

INTERCONEXÃO DE REDES LOCAIS POR MEIO DE REDES ATM

3.1 - INTRODUÇÃO

Com a evolução dos meios de comunicação surgiram novos tipos de rede, cada uma com protocolos e características próprias, proporcionando uma heterogeneidade nas redes de comunicações. Existem disponíveis no mercado diversas tecnologias de redes locais (LANs - “Local Area Networks”), conforme a natureza topológica, os meios de acesso e meios de transmissão .

A necessidade de interoperabilidade entre redes locais dispersas e a heterogeneidade das mesmas, impulsionou o surgimento de arquiteturas capazes de interconectar tanto redes em ambientes distintos como redes de diferentes tecnologias. Além disso, usuários de redes locais exigiam condições de acesso às aplicações de outras redes.

Uma mudança ainda mais significativa no ambiente de redes foi o aparecimento da tecnologia ATM. No entanto, o ATM dividirá espaço com a enorme base instalada de LANs e WANs atualmente espalhadas no panorama das comunicações, isso implica que a capacidade

de interoperação com as tecnologias atuais de LANs e WANs será determinante para o sucesso do ATM.

As organizações, fabricantes e usuários perceberam que o ATM no “backbone” é uma solução eficiente e suporta a interoperação com as LANs e WANs já existentes, proporcionando serviços cada vez mais rápidos e baixos atrasos em longas distâncias, o que permite que a mudança no cenário das comunicações seja gradativa e sem muitas perdas.

Neste capítulo, aborda-se a interconexão de redes locais por meio de uma rede “backbone” ATM e, de forma geral, o conceito de redes locais e o padrão IEEE 802.

3.2 - REDES LOCAIS

As Redes Locais surgiram para viabilizar a troca e o compartilhamento de informações e dispositivos periféricos (recursos de hardware e software), preservando a independência das várias estações de processamento e permitindo a integração em ambientes de trabalho cooperativo.

As mudanças no enfoque dos sistemas de computação que ocorreram durante a década de 1970 levaram em direção à distribuição do poder computacional. O desenvolvimento de minis e microcomputadores de bons desempenhos permitiu a instalação de considerável poder computacional em várias unidades de uma organização ao invés da anterior concentração em uma determinada área.

A década de 80 caracterizou-se pelo grande desenvolvimento das redes locais, com várias topologias, protocolos e padronizações sendo ofertadas, tanto para indústrias como para universidades e ambientes de pequenas empresas.

A heterogeneidade das redes locais instalou no mercado uma situação de crise, por falta de compatibilidade entre as várias tecnologias. Porém, por iniciativa do IEEE (“Institute of Electrical and Electronics”), através do Projeto 802, promoveu-se a padronização de protocolos, topologias, métodos de acesso e meios físicos de transmissão para as redes locais, de acordo com o modelo OSI e integrados com protocolos elaborados por outras entidades de padronização. A Figura 3.1 apresenta os vários critérios de seleção à utilização de uma rede local.

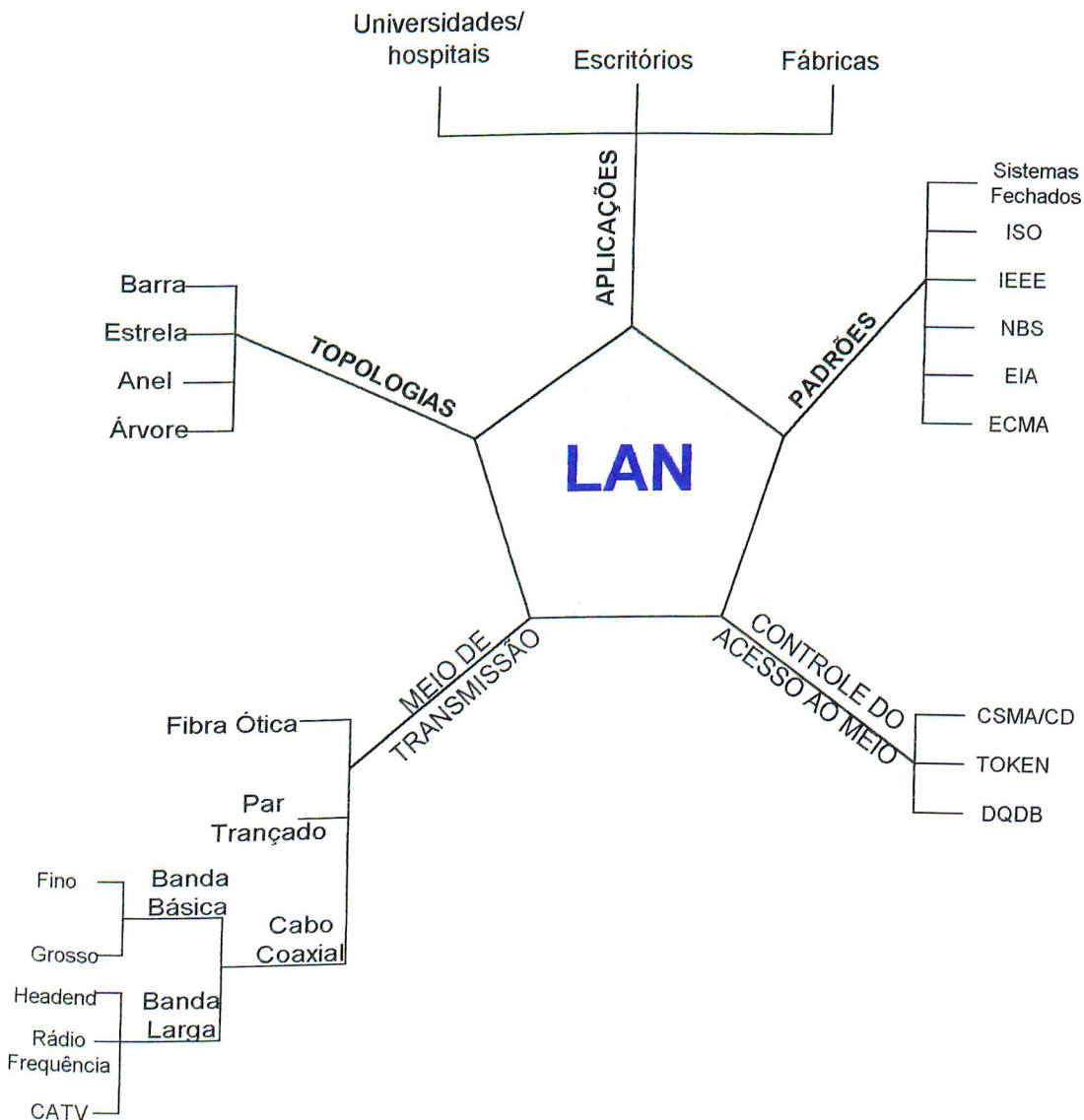


Figura 3.1 - Critérios de seleção para uma rede local.

Pela diversidade dos vários critérios oferecidos em uma rede local, refletindo no uso de variedades de aplicações, as rede locais ganharam popularidade.

3.2.1 - A Família de Padrões IEEE 802

O IEEE Computer Society instituiu um comitê para elaborar padrões para redes locais, em fevereiro de 1980. O IEEE desenvolveu padrões equivalentes aos níveis 1 e 2 do modelo OSI (“Open Systems Interconnection”).

O modelo de referências do IEEE 802 contém a Camada Física, a Camada de Controle de Acesso ao Meio (MAC - “Medium Access Control”) e a Camada de Controle de Enlace Lógico (LLC - “Logical Link Control”). A Figura 3.2 mostra a correspondência entre as camadas do modelo OSI e o padrão IEEE 802.

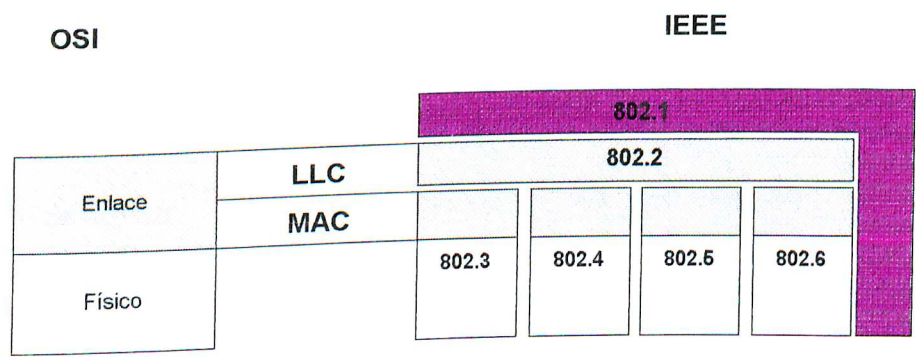


Figura 3.2 - Arquitetura IEEE 802 comparada com o modelo OSI.

Em ambos os modelos, a camada física define as características mecânicas e elétricas do meio (técnicas de modulação, frequências em que a rede opera, etc.).

O padrão IEEE 802.1 faz uma introdução ao conjunto de padrões de gerenciamento de redes, informações para a ligação inter-redes e define as primitivas de serviços.

As subcamadas LLC e a MAC combinam os serviços da camada de enlace de dados OSI. A subcamada LLC (padrão IEEE 802.2) é comum aos vários métodos de acesso do padrão IEEE 802, tendo como funções a multiplexação, o controle de erro e de fluxo no enlace, e a definição de classes de serviços. A subcamada MAC é responsável pelas funções de montagem e desmontagem de dados em quadros, com inserção e reconhecimento de endereços e detecção de erros. Para cada padrão há especificado diferentes opções de nível físico e protocolos da subcamada MAC para diferentes redes locais, sendo eles:

- Padrão IEEE 802.3: rede em barramento que utiliza o CSMA/CD (“Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection”) como método de acesso;
- Padrão IEEE 802.4: rede em barramento que utiliza passagem de permissão (token) como método de acesso;
- Padrão IEEE 802.5: rede em anel que utiliza passagem de permissão (token) como método de acesso;
- Padrão IEEE 802.6: rede em barramento que utiliza o DQDB (“Distributed Queue Dual Bus”) como método de acesso.

3.3 - INTERCONEXÃO DE REDES LOCAIS POR MEIO DE REDES ATM

A existência de vários tipos de redes espalhadas pelo mundo e a necessidade de comunicação entre elas deu origem ao conceito de inter-rede, levando-se em consideração a independência das redes e a diferença de interesses das redes conectadas. A Figura 3.3 ilustra o conceito de inter-rede.

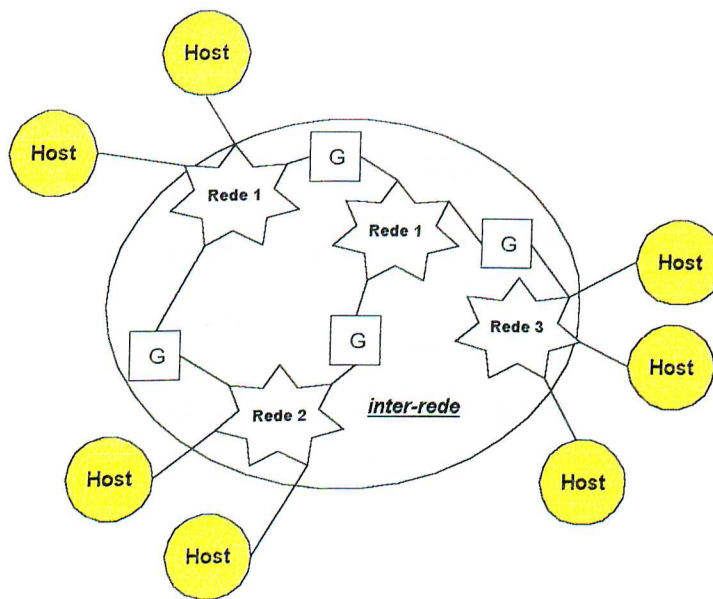


Figura 3.3 - Sistema de inter-rede.

O projeto de inter-rede considera cada rede como um meio de comunicação por onde deverão transitar as mensagens até as estações intermediárias especiais ou a estação final na rede de destino. As estações intermediárias possuem a função de interligação física e lógica entre duas ou mais redes, sendo conhecidas como gateways. O gateway é denominado de acordo com o maior nível de conversão, sendo assim, ao nível de rede, gateway de rede, nível de transporte, gateway de transporte e assim por diante.

A possibilidade da interconexão entre redes e o crescente número de usuários que necessitam de acesso às LANs com largas bandas passantes e baixos atrasos em longas distâncias credibilizou o desenvolvimento de técnicas de redes de altas velocidades, para oferecerem taxas de dados a milhares de Mb/s. Exemplos típicos são FDDI (“Fiber Distributed Data Interface”), Frame Relay, Fast Ethernet e mais recentemente o ATM.

As redes ATM são internamente baseadas em conexões e desejam ser capazes de oferecer os serviços sem conexão para usufruir dos benefícios das redes sem conexão. Para isso, diversos cenários alternativos de utilização vêm sendo definidos, com o objetivo de promover a conectividade e a interoperabilidade entre o ATM e as tecnologias empregadas nas LANs e WANs (“Wide Area Networks”).

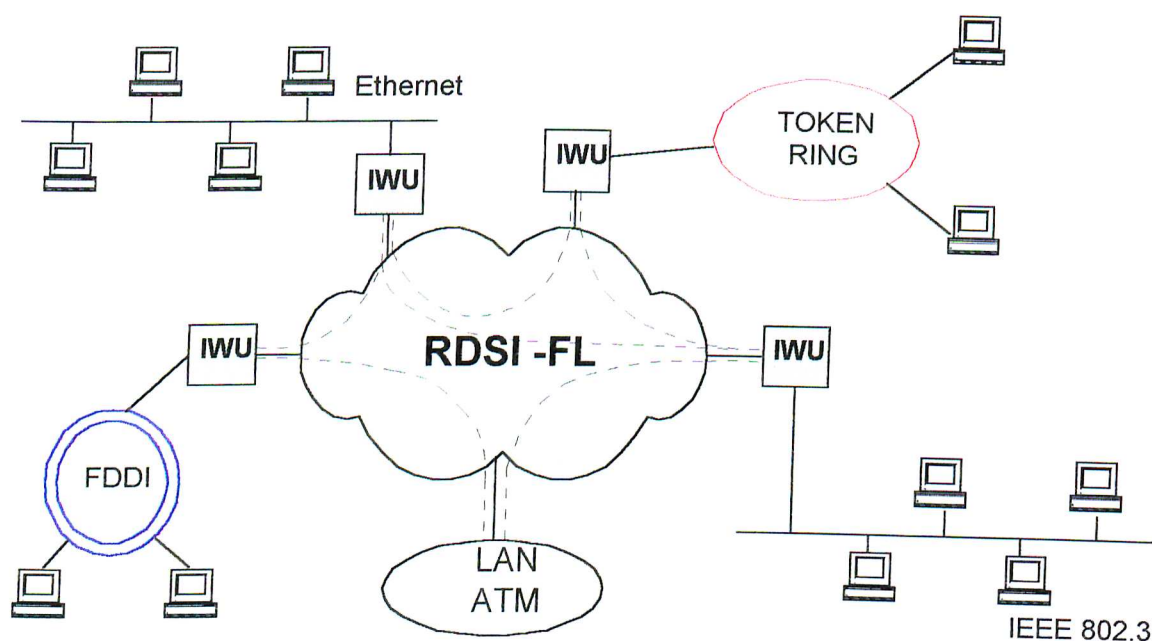
Atualmente, várias atividades nos fóruns e padrões internacionais procuram especificar caminhos para prover serviços de comunicação de dados sobre a rede ATM.

As soluções encontradas para os ambientes de redes locais são conceitualmente diferentes daquelas encontradas para as redes de longa distâncias. O IP (“Protocol Internet”) sobre o ATM, a Emulação de LAN, e o MPOA (“Multiprotocol over ATM”) são exemplos de métodos propostos para a operação das tecnologias atuais de LANs sobre uma infra-estrutura ATM. Já o Tunelamento sobre ATM, o Mapeamento de protocolos e a interoperação com a rede ATM através de um acesso já existente, de baixa velocidade e de menor custo são cenários de utilização da tecnologia ATM nos ambientes atuais de redes de longa distâncias.

Uma forma direta de transferência de dados não-orientados à conexão é através do protocolo CLNAP (“Connectionless Network Access Protocol”).

3.3.1 - Serviço sem conexão por uma Abordagem Indireta

Na forma indireta, a RDSI-FL oferece apenas a infra-estrutura de conexões ATM semi-permanente, transparente ao serviço demandado, para o transporte das unidades de dados do usuário. Ou seja, o serviço sem conexão é oferecido indiretamente, através de seu mapeamento em conexões ATM existentes ou estabelecidas na rede. A Figura 3.4 ilustra a abordagem indireta para serviços sem conexão.



IWU - Interworking Unit

Figura 3.4 - Abordagem Indireta

3.3.1.1 - Emulação de LAN

O objetivo da emulação de LAN é permitir aplicações de várias pilhas de protocolos como o IP, SNA/APPN, IPX, NetBios, e AppleTalk sobre uma rede ATM sem quaisquer modificações. É oferecer à camada de rede os mesmos serviços e interfaces oferecidos atualmente pelos protocolos existentes da subcamada MAC, escondendo, desta maneira, a infra-estrutura ATM subjacente. Essa virtude da Emulação de LAN é, também, sua grande limitação. Ao esconder deliberadamente dos protocolos das camadas superiores as propriedades típicas da infra-estrutura ATM, a Emulação de LAN impede que os benefícios do ATM, como a garantia da QoS, sejam exploradas pelos protocolos e pelas aplicações que os utilizam.

Uma camada MAC é desenvolvida para LAN's ATM, proporcionando o mesmo serviço sem conexão oferecido pela subcamada MAC IEEE 802. A camada MAC permite às aplicações existentes para LANs migrarem para o ambiente ATM sem maiores problemas e a rede ATM é encarada como um meio físico virtual compartilhado [14, 23].

Para oferecer o serviço sem conexão MAC, uma camada de protocolo emulando o serviço sem conexão de uma LAN, deve ser implementada sobre a camada de adaptação ATM, denominada de ATM MAC. A Figura 3.5 mostra a subcamada ATM MAC.

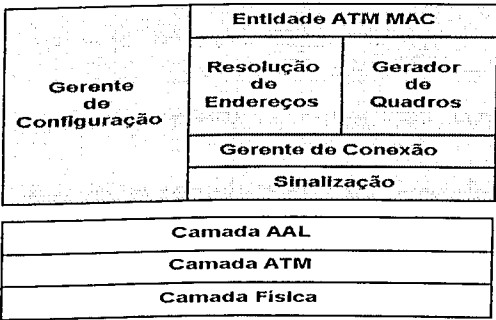


Figura 3.5 - Subcamada ATM MAC.

A operação de resolução de endereço liga o endereço MAC da estação terminal ao endereço físico da porta ATM no qual ela está correntemente conectada. Uma vez que o endereço do destino é descoberto, uma conexão virtual pode ser estabelecida usando o protocolo de sinalização. O resultado da resolução de endereços, bem como o VCI da conexão estabelecida são então armazenados em uma tabela.

As estações, pontes, roteadores e gateways podem ser interconectadas de forma transparente da mesma forma que em uma rede local IEEE 802, quando os serviços de emulação de LAN são oferecidos.

Em uma LAN, os membros de um segmento são definidos pela conexão física ao meio compartilhado, enquanto que os membros de um segmento ATM LAN são definidos pela conexão lógica levando-se a definição de rede local virtual ou LAN Virtual. As LANs virtuais podem ser dinamicamente criadas e reconfiguradas para refletir, por exemplo, arranjos organizacionais, sem que sejam necessárias alterações físicas na rede.

Uma rede virtual formada através de emulação de LAN tem dois componentes: os Clientes de emulação de LAN (LEC - "LAN Emulation Clients") e o Servidor de serviços de emulação de LAN.

Os LEC's são implementados nas estações terminais (na subcamada ATM MAC), tendo como principal função o mapeamento de endereços MAC em endereços e conexões ATM. Os LEC's se comunicam com os servidores de serviços de emulação de LAN através de dois tipos de conexões ATM: conexões de controle, utilizadas para tráfego auxiliar e as conexões de dados, para transporte de informações.

O servidor de serviços de emulação de LAN é composto de três servidores lógicos: o servidor de configuração, o servidor de emulação de LAN (LES - “LAN Emulation Server”) e o servidor de difusão e desconhecimento (BUS). Em conjunto, permitem que três funções básicas sejam efetuadas: transferência de informações entre pares de estações, transferência de informação de uma estação para várias estações, e resolução de endereços de enlace em endereços ATM.

O LES é o responsável por registrar e resolver endereços de enlace em endereços ATM. O BUS controla todas as mensagens de “broadcast” e “multicast” submetidas à rede. E o servidor de configuração fornece informações sobre a rede ATM, como as conexões estabelecidas e o seu mapeamento às topologias virtuais.

Para o funcionamento de uma rede virtual, basicamente as atividades envolvidas são: a iniciação, configuração, entrada, registro e iniciação do BUS, e transferência de informação.

3.3.1.2 - Sub-Redes Lógicas IP

O protocolo IP é usado em um grande número de computadores e de diferentes tipos. Como as redes locais ATM começam a se tornar realidade, seria de se esperar o ajuste das mesmas ao suporte do tráfego IP. O IP sobre o ATM é uma solução para suportar os serviços sem conexão utilizando o mapeamento direto do protocolo de rede na camada AAL. A principal diferença entre a emulação de LAN e o IP sobre o ATM recai no mecanismo de resolução e no encapsulamento LLC/SNAP.

A implementação do IP diretamente sobre o ATM requer a tradução de endereços IP para endereços ATM. Para resolver este problema o IP possui dois protocolos específicos para resolução de endereços, o ARP-ATM (“Address Resolution Protocol-ATM”) e o RARP-ATM (“Reverse Address Resolution Protocol-ATM”). Estes dois protocolos são idênticos aos clássicos protocolos ARP e RARP utilizados pelo IP.

O encapsulamento LLC/SNAP (LLC/SNAP - “Logical Link Control/SubNetwork Access Protocol”) é um método que permite a multiplexação de múltiplos protocolos sobre a única conexão de circuito virtual ATM. O ITU-T adotou recentemente o encapsulamento LLC/SNAP como padrão para o mapeamento do IP sobre o ATM.

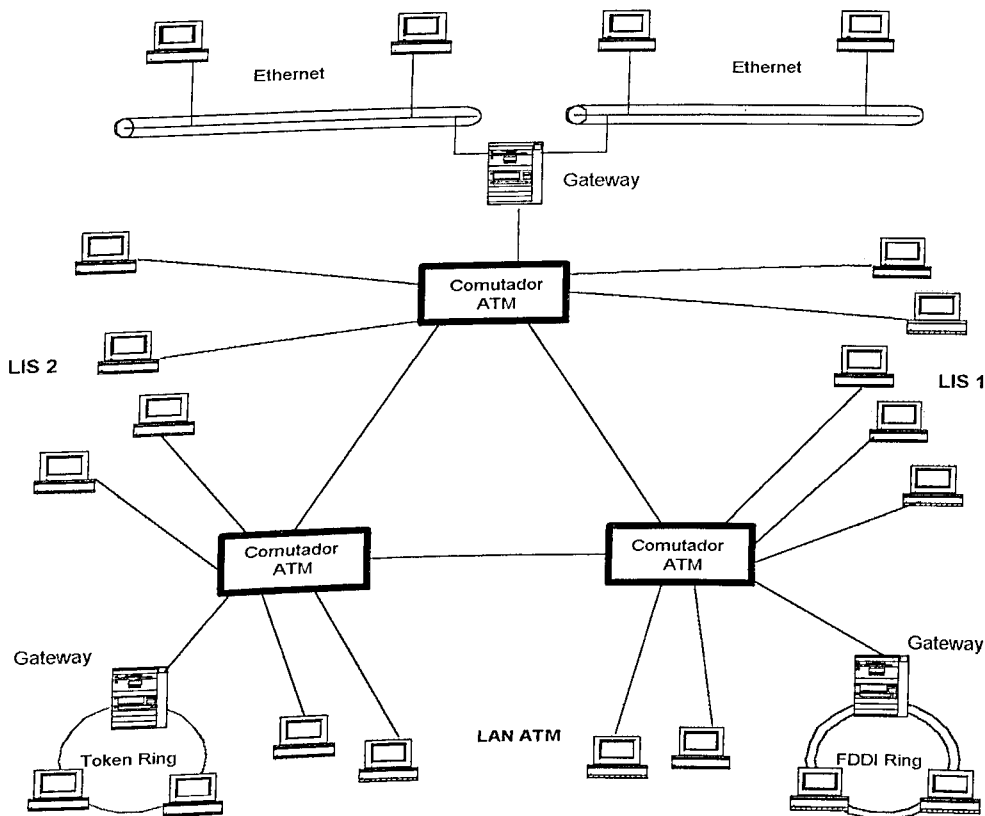


Figura 3.6 - Interconexão de LANs e MANs.

A Figura 3.6 apresenta a interconexão de LANs e MANs que utilizam o protocolo IP e sub-redes lógicas IP.

A rede pública, nesta configuração, fornece a ilusão da existência de sub-redes lógicas IP (LIS - “Logical IP Subnetworks”), isto é, as estações estão dispersas na rede porém têm o mesmo endereço de sub-rede IP.

De acordo com a RFC 1577, cada LIS opera e comunica independentemente de outras LISs na mesma rede ATM. Hosts de uma LIS se comunicam diretamente com outros hosts na mesma LIS. A comunicação entre hosts de LIS's diferentes é realizada através de um roteador IP, que são equipamentos ligados a mais de uma LIS. Essa característica justifica o objetivo “clássico aplicado ao modelo, uma vez que reproduz o comportamento das *internetworks* TCP/IP tradicionais [5, 14, 55].

A uma LIS são atribuídas características como: todos os componentes têm o mesmo endereço de sub-rede IP, todos os componentes de uma LIS estão diretamente conectados à rede ATM, toda a troca de informações com componentes externos a uma LIS é feita através de gateways, todos os componentes de uma LIS têm um mecanismo que permite a resolução de endereços IP em endereços ATM via ATMARP e o inverso, usando o InATMARP e devem ser capazes de se comunicar entre si via rede ATM.

3.3.2 - Multiprotocolo sobre ATM

A especificação conhecida como MPOA (Multiprotocol over ATM) foi desenvolvida por um grupo de trabalho do ATM Forum. O intuito do MPOA é ampliar a

abrangência das especificações que tratam da operação de protocolos em modo nativo e eliminar algumas de suas limitações [14].

Os protocolos MPOA possibilitam o estabelecimento das chamadas “rotas de atalho”, que são conexões ATM diretas entre dois equipamentos ligados à rede, mesmo que eles pertençam a diferentes sub-redes lógicas; permitem a exploração dos benefícios próprios da tecnologia ATM através da operação em modo nativo e viabilizam a construção das redes escaláveis e mais facilmente administráveis.

3.3.3 - Cenários para utilização do ATM em WANs

No cenário conhecido como tunelamento sobre o ATM, a rede ATM é utilizada apenas como um elo entre dois (ou mais) extremos que adotam uma mesma tecnologia de WAN, ilustrado pela Figura 3.7. O tráfego proveniente de um particular ambiente de WAN é encapsulado e transportado através da rede ATM até o outro extremo, onde, em um ambiente idêntico ao da origem, emerge recuperando sua forma original.

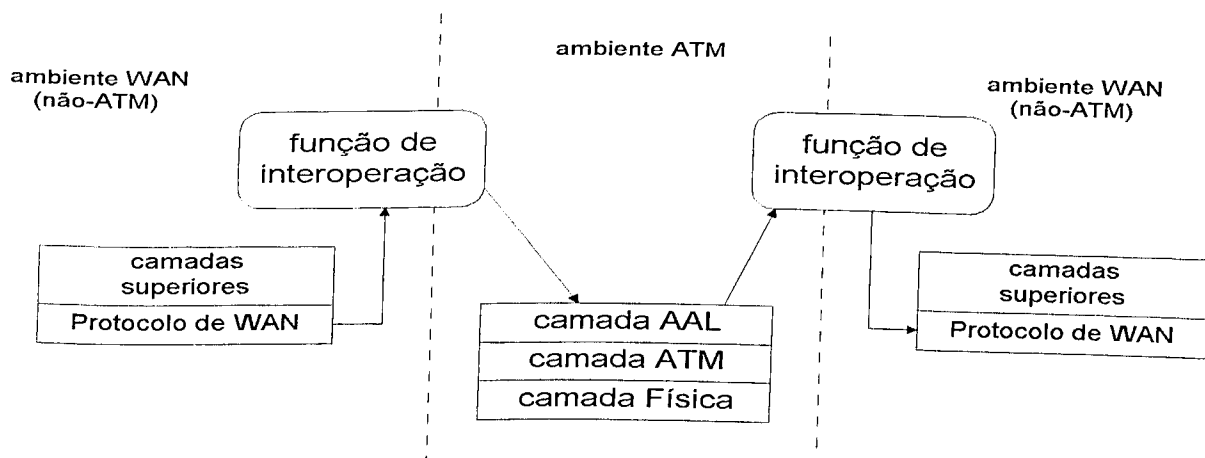


Figura 3.7 - Tunelamento sobre ATM.

Para viabilizar a interoperação entre a rede ATM e as tecnologias atuais de WANs, faz-se necessária a intervenção de unidades funcionais específicas, dedicadas às tarefas relacionadas com o encapsulamento e desencapsulamento. Estas entidades abrigam as chamadas funções de interoperação, que realizam adaptações de formatos e transposições de endereços e parâmetros de controle, além da conversão de protocolos de camadas inferiores.

No tunelamento, um equipamento de usuário pode ser identificado por um único endereço, que corresponde ao do protocolo de WAN sendo utilizado. Às unidades de interoperação cabe realizar algum tipo de transposição deste endereço para um identificador intermediário de conexão ATM (e vice-versa).

No segundo cenário de utilização de ATM no universo das WANs atuais, permite-se que um equipamento de usuário que utilize uma particular tecnologia de WAN (não-ATM) converse com outro equipamento de usuário que utilize tecnologia ATM, como mostra a Figura 3.8.

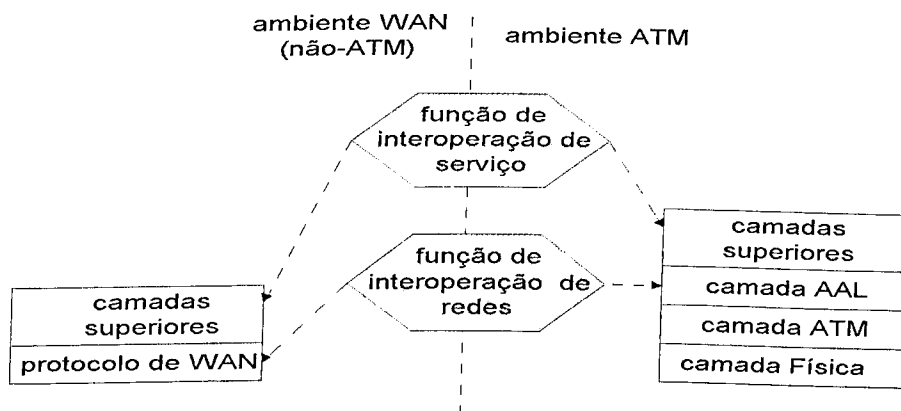


Figura 3.8 - Mapeamento de protocolos.

Este novo cenário é tratado como mapeamento de protocolos. Ele requer duas variantes, a interoperação de redes que caracteriza-se por não ser visível ao usuário do ambiente WAN e a interoperação de serviços que não é visível a qualquer dos equipamentos de usuários envolvidos, nenhum deles realiza funções específicas que estejam associadas ao ambiente do outro extremo.

As especificações mais importantes disponíveis atualmente sobre a interoperação de ATM com protocolos de WAN referem-se às redes Frame Relay e o serviço SMDS (“Switched Multimegabit Data Service”). Estas especificações tratam dos cenários de tunelamento e da interoperação de redes e interoperação de serviços em ambientes de mapeamento de protocolos.

Finalmente, o terceiro cenário é aquele que permite ao usuário interoperar com a rede ATM através de um acesso já existente, de baixa velocidade e de menor custo. A intenção é disponibilizar esse tipo de acesso a equipamentos que suportam protocolos do tipo HDLC (“High-Level Data Link Control”), bastando para isto pequenas alterações no software desses equipamentos e, na maioria dos casos, nenhuma modificação no seu hardware. Neste cenário, recorre-se a um protocolo intermediário, baseado em frames que é utilizado entre o equipamento do usuário e a função de interoperação com a rede ATM, como mostra a Figura 3.9.

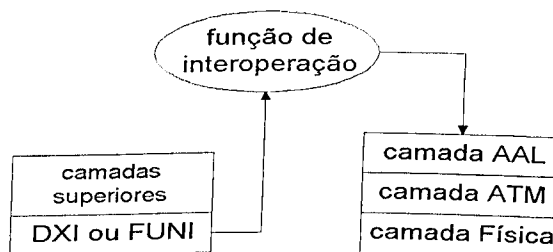


Figura 3.9 - Protocolos ATM DXI e ATM FUNI.

Existem duas alternativas para a implementação desse protocolo intermediário, conhecidas como ATM DXI (“Data Exchange Interface”) e ATM FUNI (“Frame-based UNI”), ambas especificadas pelo ATM Forum.

A operação dos protocolos ATM DXI e ATM FUNI é transparente para as camadas superiores. A diferença básica entre eles está relacionada com a forma de implementação da função de interoperação. No ATM DXI, esta função é implementada através de uma unidade externa denominada CSU/DSU (“Channel Service Unit/Data Service Unit”), tipicamente localizada nas dependências do usuário, enquanto no ATM FUNI a função de interoperação é implementada como parte integrante da rede ATM.

3.3.3.1 - Frame Relay e ATM

As especificações relativas à interoperação entre Frame Relay e o ATM são a “Frame Relay/ATM PVC Network Interworking Implementation Agreement” que trata dos cenários de tunelamento e de mapeamento de protocolos, na sua variante de interoperação de redes; e a “Frame Relay/ATM PVC Service Interworking Implementation Agreement” que define a interoperação de serviços.

3.3.3.1.1 - “Frame Relay/ATM PVC Network Interworking Implementation Agreement”

Os aspectos mais importantes desta especificação são citados a seguir:

- É definida uma subcamada de convergência específica para a interoperação com o Frame Relay. Essa subcamada deve estar presente nas unidades que implementam as funções

de interoperação e também nos equipamentos terminais ATM que fazem parte do cenário de mapeamento de protocolos.

- O pacote AAL5 gerado pela subcamada de convergência contém, no seu campo de dados, um “frame” Frame Relay com cabeçalho e “payload”, mas com seus flags delimitadores e campo de CRC removidos.
- As funções de interoperação são idênticas para ambos os cenários cobertos pela especificação: tunelamento ou interoperação de redes com mapeamento de protocolos.
- Não é imposta uma localização física específica para as unidades que implementam as funções de interoperação.
- Além de serem encapsulados no pacote AAL5, alguns campos de cabeçalho Frame Relay são mapeados em campos do cabeçalho das células ATM com funcionalidade semelhantes.
- São definidos dois métodos para a multiplexação de conexões Frame Relay sobre ATM: o primeiro - chamado um-para-um - mapeia cada conexão Frame Relay em uma única conexão ATM; o segundo método - chamado muitos-para-um - mapeia múltiplas conexões Frame Relay em uma única conexão ATM.
- São definidas orientações para conversões de parâmetros de tráfego Frame Relay em parâmetros de tráfego ATM.

3.3.3.1.2 - “Frame Relay/ATM PVC Service Interworking Implementation Agreement”

No que se refere à especificação “Frame Relay/ATM PVC Network Interworking Implementation Agreement”, seus aspectos mais importantes são:

- Nenhum usuário realiza funções que sejam específicas da tecnologia com a qual interopera no outro extremo.
- Todas as tarefas de interoperação ficam concentradas na unidade que implementa a função de interoperação.
- Não é imposta uma localização física específica para a unidade que implementa a função de interoperação.
- A função de interoperação pode, opcionalmente, realizar traduções de protocolos de camada superiores.
- O pacote AAL5 gerado pela subcamada de convergência contém, no seu campo de dados, apenas o “payload” de um “frame” Frame Relay: são removidos o cabeçalho, os flags delimitadores e o campo de CRC.
- Alguns campos do cabeçalho Frame Relay são mapeados em campos do cabeçalho das células ATM com funcionalidade semelhante, e vice-versa.
- O mapeamento entre os identificadores de conexão Frame Relay e os identificadores de conexão ATM é feito segundo o método um-para-um, isto é, cada DLCI (“Data Link Connection Identifier”) Frame Relay é associado a um único par VPI/VCI. A associação é feita quando são estabelecidas os PVCs.

- São definidas orientações para conversões de parâmetros de tráfego Frame Relay em parâmetros de tráfego ATM (como Taxa Máxima de células, Taxa Sustentada de células, etc.).

3.3.3.2 - SMDS e ATM

A especificação relativa ao SMDS, “Protocol Interface Specification for Implementation of SMDS over an ATM-based Public UNI”, foi gerada conjuntamente pelo ATM Forum e os SMDS Interest Group dos Estados Unidos e da Europa. Essa especificação abrange os cenários de tunelamento e de interoperação de redes com mapeamento de protocolos. Seu objetivo é definir o acesso a um serviço SMDS através de uma UNI pública ATM [14, 55].

Os aspectos mais importantes são:

- É adotado o protocolo AAL3/4 na camada de adaptação ao ATM, nos equipamentos que implementam essa camada.
- É definida uma camada específica para a interoperação com SMDS, localizada imediatamente acima da camada de adaptação, denominada de SIP_CLS (“SIP Connectionless Service”).
- O pacote AAL3/4 gerado pela subcamada de convergência encapsula, no seu campo de dados, um pacote SIP L3 do qual são removidos os primeiros quatro octetos e os últimos quatro octetos.

- Não se impõe uma localização física específica para a unidade que implementa a função de interoperação.

- As conexões ATM que suportam o acesso SMDS são configuradas previamente.

Assim, são conhecidos os valores de VPI/VCI que as identificam.

- São definidos procedimentos para o mapeamento entre as Classes de Acesso SMDS e os parâmetros de tráfego ATM.

3.3.3.3 - ATM DXI e ATM FUNI

São dois protocolos independentes. O objetivo desses protocolos é permitir aos equipamentos de usuários existentes a conexão com redes ATM, com muito pouca ou nenhuma alteração de “hardware”.

Os protocolos ATM DXI e ATM FUNI estão especificados, respectivamente, nos documentos “ATM Data Exchange Interface Specification” e “Frame based User-to-Network Interface Specification”, ambos do ATM Forum. A Figura 3.10 apresenta os ambientes de utilização ATM DXI e ATM FUNI.

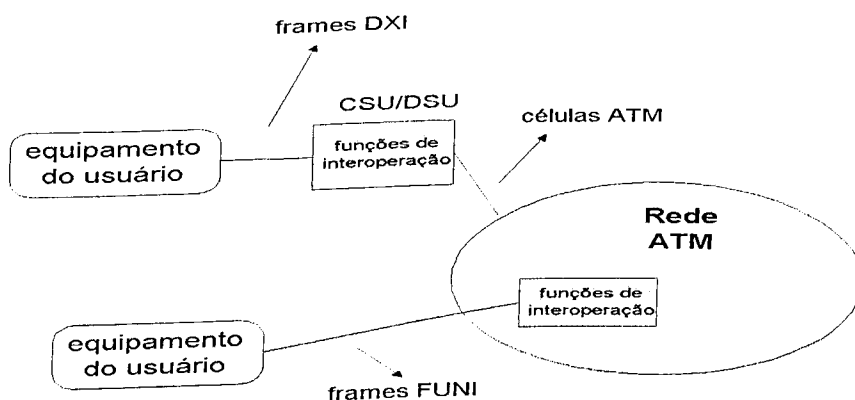


Figura 3.10 - Ambientes de utilização ATM DXI e ATM FUNI.

Os principais aspectos comuns aos protocolos ATM DXI e ATM FUNI são que ambos são protocolos baseados em “frames”, isto é, ambos permitem ao equipamento do usuário enviar ou receber tráfego na forma de “frames” de tamanho variável. Por essa razão, requerem a presença de um outro equipamento para realizar as funções de interoperação com a rede ATM. No caso do DXI, o equipamento que implementa essas funções é o ATM CSU/DSU; no caso do FUNI, essas funções estão incorporadas ao comutador ATM. Um outro aspecto são os formatos dos “frames” de ambos os protocolos que são bastante semelhantes e têm a mesma estrutura de um “frame” Frame relay. Os cabeçalhos dos “frames” DXI e FUNI contêm um campo de endereço, cujo conteúdo é mapeado - pela função de interoperação - em identificadores VPI/VCI ATM, segundo um procedimento definido.

3.3.4. - Serviço Sem Conexão Através da Abordagem Direta

A função de serviço não-orientado à conexão é implementada internamente à rede. Os elementos servidores (CLS - “Connectionless Server”) são capazes de rotear quadros através de conexões ATM até outros CLS e até o destino. Estes servidores operam, geralmente, sobre o serviço fornecido pela AAL 3/4 e implementam um nível adicional de comutação [10, 55].

A Figura 3.11 representa o cenário da abordagem direta, onde os elementos servidores são implementados adicionando-se as funcionalidades das camadas do protocolo de acesso não-orientado à conexão (CLNAP - “Connectionless Network Access Protocol”) e AAL 3/4 ao nó ATM.

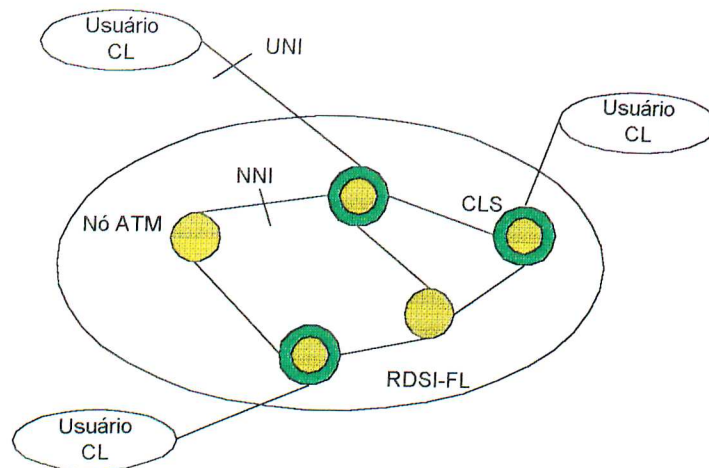


Figura 3.11 - Cenário da Abordagem Direta.

O CLNAP é responsável pelas funções necessárias para fornecer o serviço da camada não orientada à conexão à camada usuária do serviço. As funções implementadas pela camada CLNAP estão distribuídas nos usuários CL e CLS, de acordo com a atuação destes na rede, como: o roteamento, validação de endereço, filtro de endereço, detecção de erro, e a inserção e extração de bytes de preenchimento. A camada da CLNAP utiliza o serviço sem segurança da AAL 3 / 4. O campo MID (“Multiplexing Identification”) da SAR-PDU da AAL 3/4, utilizado na multiplexação de conexões é de essencial importância para esse funcionamento.

O protocolo CLNIP (“Connectionless Network Interface Protocol”), definido pela recomendação I.364, especifica o protocolo utilizado para a transferência de dados não orientados à conexão, internamente à rede, isto é, entre CLSs. A estrutura geral dos protocolos para o fornecimento do serviço não orientado à conexão na interface usuário-rede está representada pela Figura 3.12.

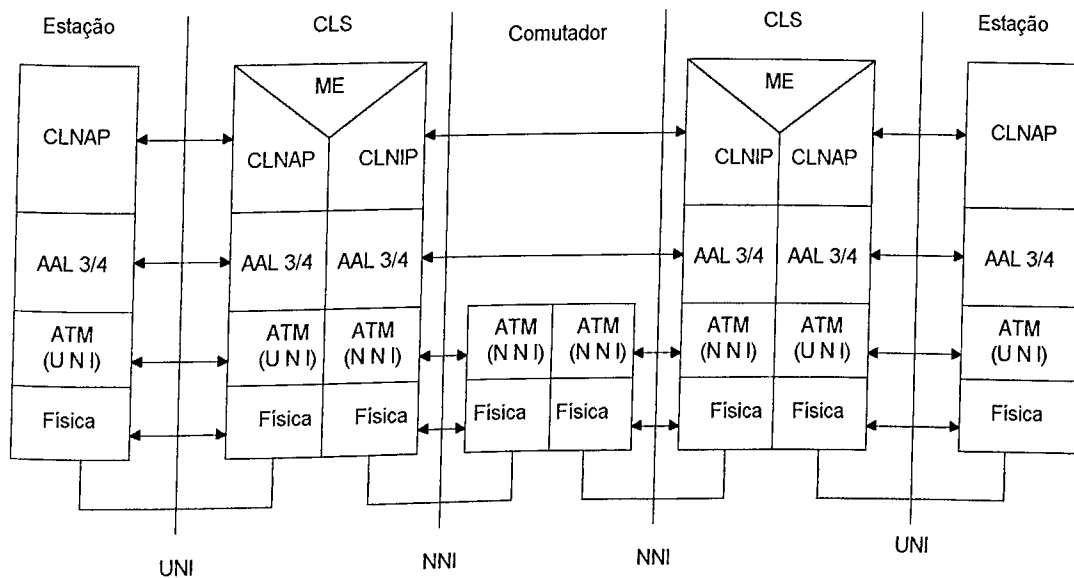


Figura 3.12 - Estrutura geral dos protocolos para serviços sem conexão.

3.4 - CONCLUSÕES

As tecnologias atuais de redes LANs e WANs estabelecidas, adequadas à presente realidade, tornam-se gradativamente obsoletas, mas continuam a ser utilizadas. Os grandes investimentos já realizados em relação à essas redes justificam a sua utilização.

Entretanto, a grande expectativa recai na total modificação do cenário das comunicações, quando as redes ATM substituirão completa e irrestritamente as tecnologias atuais. Enquanto esse domínio não acontece, a tecnologia ATM terá de conviver com a enorme base instalada de LANs e WANs atualmente existentes. Por essa razão, diversos métodos vêm sendo definidos, com o objetivo de promover a conectividade e a interoperabilidade entre a tecnologia ATM e as tecnologias empregadas nas LANs e WANs. O ITU-T definiu as recomendações I.211 e I.364 que viabilizam o fornecimento de serviços sem

conexão em redes ATM, capacitando o ATM como tecnologia de interconexão em ambientes de redes.

Os métodos IP clássico sobre o ATM e Emulação de LAN permitem a aplicação das tecnologias empregadas nas LANs, as quais continuam a ser utilizadas sem quaisquer alterações, porém, tirando proveito das características da infra-estrutura ATM. Em ambos, são preservados, no mínimo, os protocolos originais que correspondem à camada de rede do modelo OSI. O que faz a diferença entre esses métodos é o tipo das camadas da pilha original de protocolos da LAN que são mantidas sobre a infra-estrutura ATM.

Uma desvantagem do uso do método IP clássico sobre o ATM é a necessidade de modificação dos drivers que implementam as interfaces da camada de rede existente; o que não ocorre na emulação de LAN pois, como seus drivers enxergam interfaces idênticas às dos protocolos MAC já existentes, eles não precisam ser modificados.

Uma outra abordagem proposta para a operação das tecnologias atuais de LAN sobre o ATM é a direta, onde os serviços são oferecidos internamente à rede. A abordagem direta apresenta vantagens como: cada estação terminal requer apenas uma conexão a fim de enviar todos os seu dados. E ainda, são colocados servidores de serviço sem conexão com grandes buffers junto aos nós de comutação melhorando a eficiência da multiplexação estatística em redes ATM.

Os diversos cenários propostos para a utilização da tecnologia ATM nos ambientes atuais de redes de longa distância guardam entre si poucas semelhanças.

Uma característica comum a todos os cenários é a preservação de alguns dos protocolos originais sobre os quais foram desenvolvidas as aplicações, o que garante a elas a independência necessária em relação ao novo ambiente ATM.

Assim, utilizar o ATM, paulatinamente, onde ele oferece benefícios, não é apenas possível, mas também viável permitindo controlar o impacto das alterações.

CAPÍTULO IV

O PROTOCOLO “CELLS-IN-FRAMES”

4.1 - INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, a maioria das redes corporativas utiliza sub-redes Ethernet ou Token-Ring interconectadas por meio de uma rede “backbone” de alta velocidade. A tecnologia ATM possibilita oferecer a essas redes “backbone” uma grande banda passante, a qual permite a capacidade de suportar além do tráfego de dados, também o de voz, vídeo, etc.

A busca de soluções para a interação entre redes LAN's e ATM, impulsionou o desenvolvimento de técnicas capazes de possibilitar a interconexão destas redes, tais como a emulação de LAN e o IP clássico sobre o ATM.

Uma nova perspectiva para a integração de tráfego surgiu, recentemente, com o protocolo “Cells-In-Frames”, implicando na capacidade de criação de um ambiente ATM em instalações de LAN's existentes. Adicionalmente, esta técnica permite a interconexão transparente entre redes locais.

O processo da técnica “Cells-In-Frames” viabiliza o transporte de células ATM como carga útil dos quadros MAC; promovendo, assim, o suporte para serviços ATM sobre a rede local. Os protocolos de camadas superiores operam exatamente como se existisse as instalações do ATM, exceto que a transferência de dados será limitada pela capacidade do meio mais lento.

Neste capítulo são descritas as operações e funções realizadas pelo CIF.

4.2 - PROTOCOLO “CELLS-IN-FRAMES” (CIF)

O “Cells-In-Frames” é um protocolo que possibilita ao tráfego ATM ser transportado para estações de trabalho com hardware Ethernet sem que haja um alto custo na atualização destas estações de trabalho para o suporte aos serviços ATM.

Como o próprio nome indica, no CIF as células ATM são transportadas em quadros da subcamada MAC, onde cada quadro Ethernet suporta até 31 células ATM-SDU. O tráfego ATM passa a fluir sobre a rede de tecnologia LAN quando incorporado um software, que representará uma interface usuário-ATM dentro de cada estação de trabalho. A Figura 4.1 ilustra, de forma genérica, a topologia de uma rede baseada no protocolo “Cells-In-Frames”.

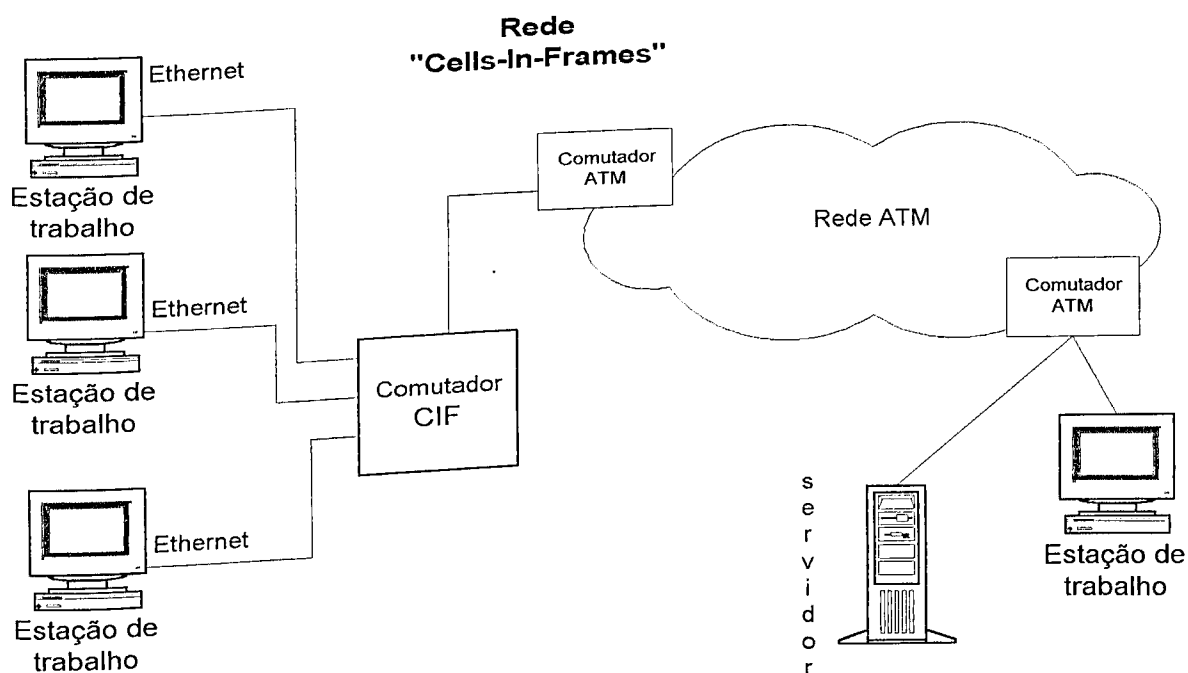


Figura 4.1 - Rede “Cells-In-Frames”.

O CIF tem capacidade de gerenciamento, controle, especificação dos quadros para transporte da carga útil da célula ATM na LAN tipo Ethernet e Token Ring, geração e interpretação de quadros e o encaminhamento da informação de acordo com o cabeçalho. Além disso, um comutador CIF é empregado para interconectar a rede tipo Ethernet com o backbone ATM permitindo ao tráfego de uma estação de trabalho ser enviado tanto a uma outra estação tipo Ethernet quanto a uma estação de trabalho ATM.

Um dos benefícios do uso do CIF é o oferecimento da funcionalidade total do controle de fluxo e a qualidade de serviço ATM sobre as instalações de redes locais, ou seja, os serviços ATM são oferecidos de maneira que protocolos das camadas superiores operem como se existisse a própria instalação de uma rede ATM.

4.3 - FORMATOS DE QUADRO E DE CABEÇALHO CIF

4.3.1 - Formato do Quadro CIF

Um quadro CIF pode ter configuração de acordo com a especificação da rede utilizada, como: tipo Ethernet Versão 2, Token-Ring, e padrão IEEE 802.3; este último sendo considerado no desenvolvimento deste trabalho. A Figura 4.2 ilustra o formato de um quadro CIF IEEE 802.3.



Figura 4.2 - Formato de um Quadro CIF IEEE 802.3.

O quadro CIF pode ser encapsulado no quadro IEEE 802.3 (LLC - Classe 1) pelo uso do cabeçalho SNAP, o qual é mostrado na Figura 4.3.

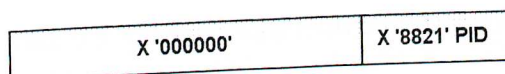


Figura 4.3 - Formato de um Cabeçalho SNAP.

O cabeçalho SNAP pode ser também identificado no protocolo 802.2 pelo prefixo X'AAAA03' seguido pelos cinco bytes do cabeçalho SNAP.

4.3.2 - Formato do Cabeçalho CIF

O cabeçalho CIF carrega a informação que é passada como parâmetro da camada AAL para a camada ATM, bem como as informações específicas do CIF. Os primeiros oito octetos da carga útil do quadro contêm o cabeçalho CIF.

Os três primeiros octetos do cabeçalho CIF são: o Identificador do Formato CIF, o Flag Independente do formato CIF e o Flag Dependente do formato CIF. Os cinco octetos restantes são a estrutura e semântica do cabeçalho ATM, conforme ilustrado na Figura 4.4.

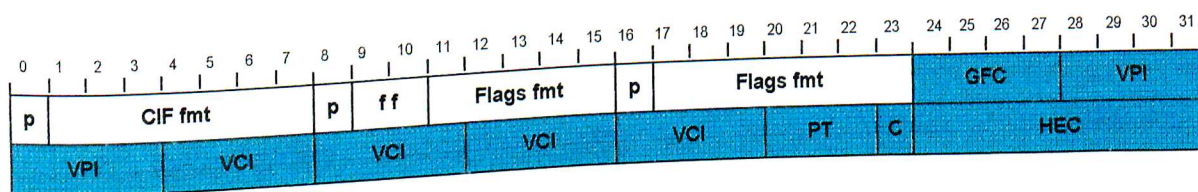


Figura 4.4 - Formato do Cabeçalho CIF.

- Identificador de formato CIF (CIF fmt): Somente três tipos de formato são definidos. Os formatos 0 e 1 são usados para a sinalização CIF, o formato 2 é o default do formato para carregar o tráfego de usuário.

- Flag Independente do formato CIF (ff): É independente de qualquer tipo de formato CIF. Este flag é reservado.
 - Flag Dependente do formato CIF (fmt): Difere dependendo do tipo de formato CIF.
 - Gabarito do cabeçalho de células: Esta estrutura é formada pelos 5 octetos restantes no cabeçalho CIF com a mesma estrutura do cabeçalho da célula UNI ATM.
- O restante do conteúdo de um quadro LAN CIF depende do tipo de formado CIF e será discutidos a seguir.

4.3.2.1 - Formatos Tipo 0 e 1

O formato 0 é usado para enviar mensagens do sistema CIF para o comutador CIF e o formato 1 é usado para enviar mensagens, do comutador CIF para o sistema CIF. Os formatos 0 e 1 são os mesmo, exceto pelo campo identificador de formato (CIF fmt), o qual se diferencia para permitir maior flexibilidade. A Figura 4.5 apresenta o formato de cabeçalho CIF para os tipos 0 e 1.

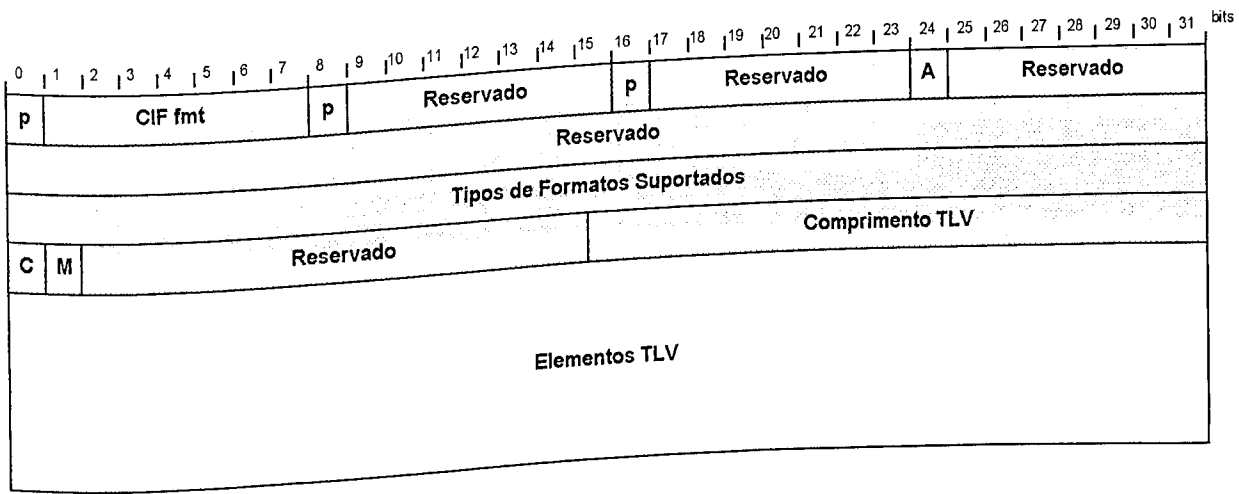


Figura 4.5 - Formato do Cabeçalho CIF Tipo 0 e 1.

O campo C é para validação e geração do CRC AAL5, o campo M gerencia múltiplos cabeçalhos CIF e o comprimento TLV é o comprimento total dos elementos: tipo, comprimento e valor.

4.3.2.2- Formato Tipo 2

No quadro CIF de formato 2, em cada grupo de carga útil pode ser incluído um cabeçalho CIF, seguido por uma ou mais cargas úteis de células de 48 octetos (SAR-PDU, ATM-SDU).

As cargas úteis de célula ATM são empacotadas em quadros CIF com o cabeçalho CIF, o qual contém parâmetros que descrevem o cabeçalho ATM. O quadro CIF é enviado do sistema CIF para o comutador CIF, onde o cabeçalho CIF é usado para especificar parâmetros para o cabeçalho das células que serão construídas a partir das cargas úteis, no dispositivo de interconexão CIF e todas as cargas úteis de um quadro são destinados a um mesmo VC.

O tamanho máximo do quadro CIF de formato 2 contém um único cabeçalho e carrega 31 células úteis ATM-SDU ou 1488 octetos. Um quadro CIF de formato 2 é mostrado na Figura 4.6.

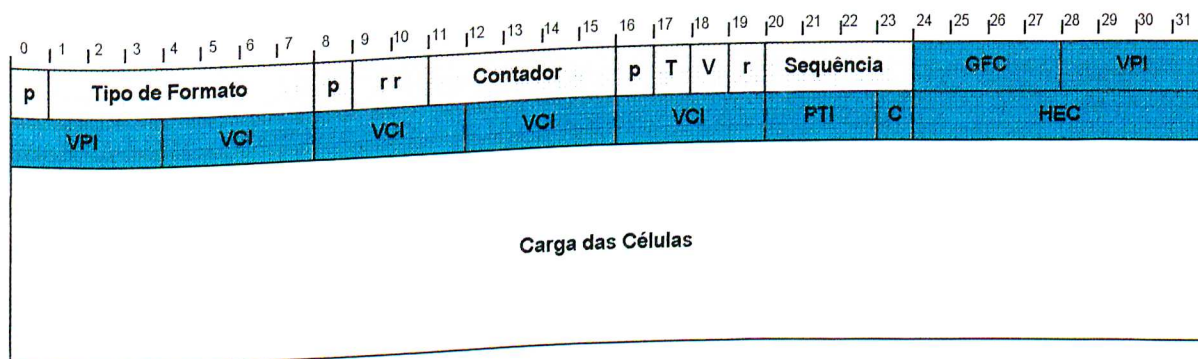


Figura 4.6 - Formato do Cabeçalho CIF Tipo 2.

r: reservado

p: bits de paridade

Contador: contador de carga útil de células para o cabeçalho CIF

T: indicação do tipo de carga útil

V: indicação de validade de CRC AAL5

Sequência: número de sequência da PDU.

4.4 - OPERAÇÃO DO PROTOCOLO “CELLS-IN-FRAMES”

4.4.1 - Transmissão de Quadros

Para o tráfego enviado do sistema CIF para a rede, o processamento da AAL5-SDU começa no sistema CIF sendo completada no comutador, onde as células são criadas, conforme mostrado na Figura 4.7.

A carga útil da CPCS-PDU é a própria AAL5-SDU, com o máximo de 65.535 octetos. Anexado à carga está o trailer e o PAD, inserido de forma a tornar o tamanho da PDU um múltiplo de 48 octetos. A CPCS-PDU resultante é segmentada em quadros pela camada CIF que contém até 31 células ATM-SDU; e um cabeçalho CIF é acrescentado a cada um destes quadros. Ainda, a estes quadros são acrescentados um cabeçalho e trailer IEEE 802.3/Ethernet.

O quadro resultante é então enviado para o comutador CIF. Este processo é repetido quantas vezes for necessário, até que a CPCS-PDU inteira seja transmitida.

No comutador, o cabeçalho Ethernet e o trailer são descartados; e para cada grupo de cabeçalho CIF e ATM-SDU, o cabeçalho CIF é usado para construir o cabeçalho de cada célula ATM-SDU dentro do grupo.

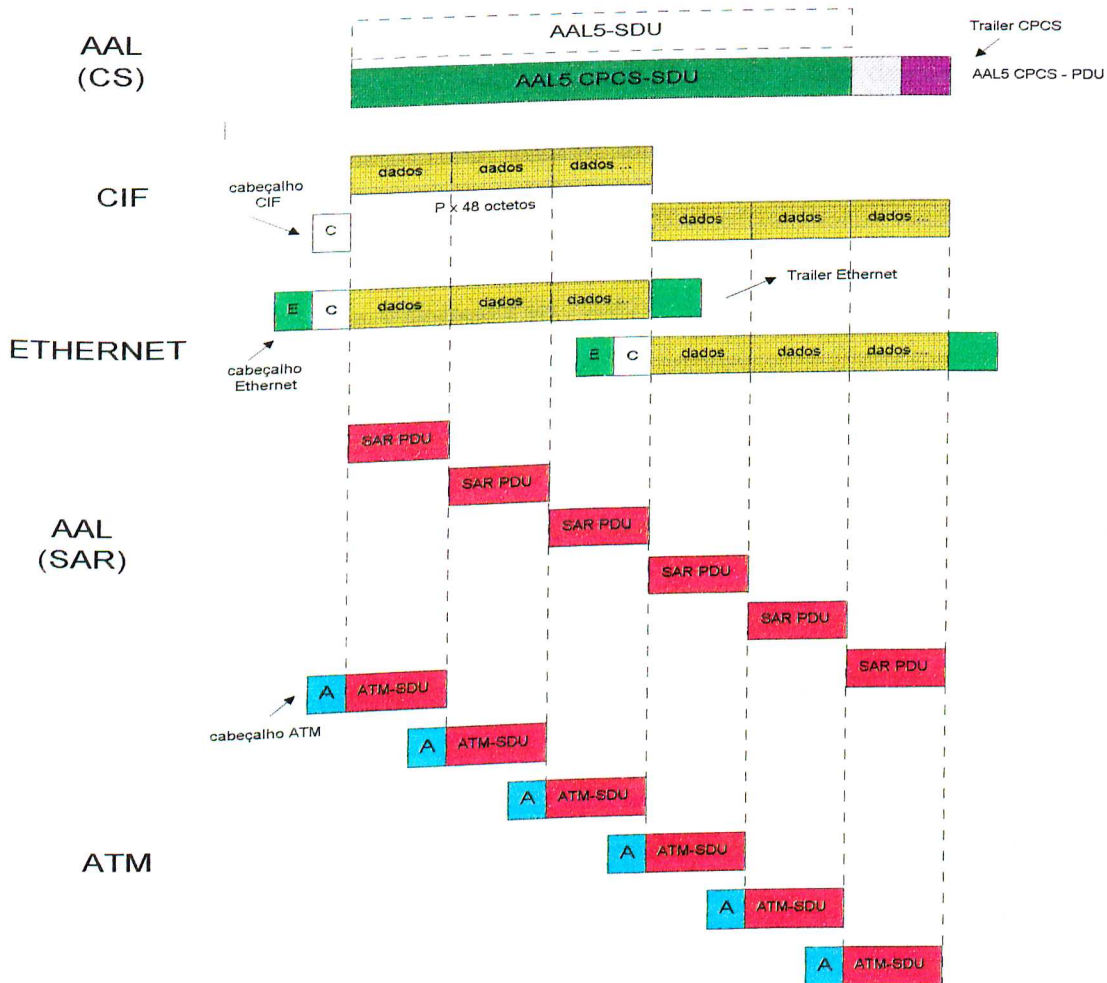


Figura 4.7 - Transmissão de Quadros AAL5 CIF.

As estações da rede local ou estações CIF devem fornecer uma completa CPCS-PDU para o comutador, em um ou mais quadros CIF.

4.4.2 - Procedimentos de Geração do CRC AAL5

Os quadros de formato 0 e 1 que contêm o Flag de Validação e Geração CRC AAL5, juntamente com o Flag Indicação de Validade CRC AAL5 do quadro de formato 2, determinam como o campo CRC da CPCS-PDU AAL5 é gerenciado.

Se o sistema CIF for o responsável pelo CRC-AAL5, o comutador não dispensa nenhum tratamento especial ao CRC-AAL5 e o Flag Indicação de Validade CRC AAL5 do quadro de formato 2 não é usado. No entanto, se o comutador assumir a responsabilidade pelo CRC-AAL5, então segue-se que :

- O Flag Indicação de Validade CRC AAL5 do formato 2 pode ser setado pelo sistema CIF no cabeçalho CIF, o qual está associado com a carga útil da célula contendo o final de uma CPCS-PDU AAL5. O Flag Indicação de Validade CRC AAL5 do formato 2 é usado quando o sistema CIF não provê um campo CRC-32 válido e o comutador calcula-o para seu interesse.

- Na recepção da última carga útil de célula de uma CPCS-PDU AAL5, o comutador pode:

- Ocupar o campo CRC AAL5 antes de enviar a última célula da PDU para a rede.
- Checar o número de sequência da PDU e o comprimento AAL5. Se este teste falhar, o comutador pode modificar a última célula da PDU para indicar um aborto AAL5.

Similarmente, se o comutador não se responsabilizar pelo gerenciamento CRC AAL5, tanto o comutador como o sistema CIF não oferecem células especiais AAL5 negociadas com respeito ao CRC. Entretanto, se o comutador assumir a responsabilidade, segue-se o seguinte:

- Em cada quadro CIF enviado para o sistema CIF, o comutador setará o número de sequência da PDU.

- O comutador pode avaliar o CRC de uma CPCS-PDU AAL5 que chega da rede. No cabeçalho CIF associado com a última carga útil de célula de uma CPCS-PDU AAL5 que é enviada do comutador para o sistema CIF, o comutador pode setar o Flag Indicação de Validade CRC AAL5 do formato 2 para 1, indicando que o campo CRC AAL5 contém uma melhor indicação de validade.

- Se um CRC válido foi recebido da rede, o comutador seta o campo CRC AAL5 para 1. Se a validação CRC falhar, o comutador pode modificar o campo comprimento AAL5 para indicar um aborto.

- Depois do sistema CIF ter recebido a CPCS-PDU AAL5 inteira, ele checa : o número de sequência da PDU no último cabeçalho CIF, a indicação de validade CRC, e o campo de comprimento AAL5.

4.4.3 - O Campo Número de Sequência da PDU

O campo número de sequência da PDU, no cabeçalho CIF de formato 2, é usado para detecção de erro. Os transmissores podem inserir um número de sequência da PDU válido, específico para cada canal virtual, para o qual eles são relevantes. O número de sequência da PDU pode ser usado no cabeçalho CIF, aplicados para células de dados de usuários e AAL's, onde uma CPCS-PDU AAL pode ter comprimento maior que um quadro CIF LAN.

Quando um canal virtual (VC) está ativo, cada fonte pode setar para 1 o número de sequência da PDU da CPCS-PDU enviada naquele VC e manter o número de sequência para 1 através do último cabeçalho CIF associado com a carga útil de célula, para aquela PDU. O número de sequência da PDU pode ser incrementado de 1 para o primeiro cabeçalho CIF da

próxima PDU, e permanecer o mesmo para todo cabeçalho CIF, associado com as cargas úteis de célula contidas naquela PDU.

Na recepção de quadros via um VC AAL5, o número de sequência da PDU no último cabeçalho CIF de cada CPCS-PDU AAL5 recebida é verificada. Desta forma, o número de sequência PDU em cada quadro evita o descarte de alguns quadros desnecessariamente.

O sistema CIF pode checar o número de sequência da PDU em cada cabeçalho CIF. Se o sistema CIF recebe um cabeçalho CIF no qual o número de sequência da PDU difere daquele cabeçalho CIF anteriormente recebido pelo VC e, se o cabeçalho CIF anterior não estava associado com uma carga útil de célula contido no final de uma CPCS-PDU AAL5, a PDU anteriormente acumulada é tratada como se fosse abortada, e o cabeçalho CIF e a carga útil de célula associada são consideradas o começo de uma nova PDU. Este procedimento evita descartes desnecessários de PDUs.

Para o tráfego enviado do sistema CIF para o comutador, o comportamento é o mesmo, porém com uma exceção. Se o comutador receber um cabeçalho CIF, no qual o número de sequência da PDU não igualar àquele do cabeçalho CIF anterior, mas a carga útil de células do cabeçalho anterior não contém o final de uma PDU, a PDU recebida será abortada. Entretanto, desde que o comutador esteja transmitindo células para a rede, pode-se, neste caso, gerar uma nova célula e, nestas próprias, conter o fim de uma PDU AAL5 com o campo comprimento setado apropriadamente, para um aborto AAL5.

4.4.4 - Suporte à ABR (“Available Bit Rate”)

O comutador CIF pode, opcionalmente, atuar como uma origem virtual e destino virtual (VS/VD) ABR para VCs usando o gerenciamento de tráfego ABR, enviando e

recebendo células RM (“Resource Management Cell”) no lado do sistema CIF. Se o comutador CIF responde ao sistema CIF com uma resposta positiva, ele pode comunicar com o sistema CIF. Se o comutador CIF não suporta o comportamento VS/VD, então ele passa as células RM transparentemente, ou opcionalmente, estabelece a indicação de congestionamento e não acrescenta bits.

Se o comutador CIF suportar o comportamento VS/VD, ele poderá manter um valor para sua taxa ACR (“Available Cell Rate”), indicar ao sistema a taxa pela qual o sistema CIF pode gerar as células criando uma resposta de células RM e codificar sua taxa ACR dentro do campo de taxa explícita das células RM.

4.4.5 - Procedimentos da camada CIF

4.4.5.1 - Ativação de enlace CIF

Basicamente, toda a atividade da construção de um enlace ativo segue três passos. Primeiro, a estação CIF pesquisa por um comutador CIF para a comunicação entre eles, o comutador CIF responde pelo desejo desta comunicação e finalmente, o sistema CIF confirma que serão aceitos os serviços do comutador. Assim, o processo é declarado ativo para ambas as partes.

As estações CIF que controlam o processo de ativação do enlace CIF e o comutador apenas responde às mensagens deste sistema. A estação CIF inicializa o enlace, enviando um quadro multicast CIF de formato 0, com o Flag de Ativação de Enlace setado para zero, indicando que o enlace CIF está inativo e ainda envia seu endereço MAC. Esta mensagem é enviada para um endereço multicast MAC, periodicamente, até que um

comutador CIF responda. Quando o comutador recebe o quadro, ele verifica se há a possibilidade de suportar as exigências do sistema CIF. Então, o comutador CIF envia um quadro CIF unicast de formato 1 para a estação CIF, usando o endereço MAC da estação CIF como endereço de destino, reconhecendo que o enlace está inativo e ainda envia quais exigências pode suportar e seu próprio endereço MAC. A estação CIF recebendo esta mensagem, lê o endereço MAC do comutador CIF em questão e declara o enlace ativo enviando uma mensagem de controle unicast para o comutador CIF. Quando o comutador CIF recebe esta mensagem, também declara o enlace ativo. Deste ponto, ambos os lados do enlace CIF considera ativado o enlace e somente quadros unicast são trocados entre as entidades.

O sistema CIF recebe somente quadros de formato 1 “unicast”, enquanto o comutador recebe tanto quadros de formato 0 “unicast” quanto “multicast”, mas envia somente quadros de formato 1 “unicast”.

4.4.5.2 - Manutenção do enlace CIF

O CIF provê a manutenção e a detecção de conectividade entre o sistema CIF e o comutador, usando quadros CIF de formato 0 e 1.

Quando um enlace está no estado ativo, o sistema CIF envia um quadro de formato 0 com o Flag de Ativação de Enlace setado para 1 a cada 5 segundos e o comutador responde com um quadro de formato 1, sempre com o Flag Ativação de Enlace setado para 1. Já no estado inativo, o sistema CIF envia quadros de formato 0 “multicast” a cada 1 segundo, com o Flag Ativação de Enlace setado para zero.

Quando no estado ativo, o par sistema CIF e comutador monitora o enlace na atividade e, se por 15 segundos é observado um nível de atividade não aceitável, o enlace

retorna ao estado inativo. Mais tarde, se o sistema CIF receber um quadro de formato 1 do comutador, ele pode reinicializar seu temporizador ou, ainda, caso o comutador receba uma mensagem de formato 0 do sistema CIF.

Ambos os lados podem tornar o enlace inativo, mas somente o sistema CIF pode construir um enlace ativo.

4.5 - FUNÇÕES DE SINALIZAÇÃO

O comutador CIF será visto pelo comutador ATM ao qual se conecta, como um dispositivo com múltiplos endereços ATM, cada um correspondendo a uma estação de trabalho IEEE 802.3/Ethernet a ele conectada.

O comutador CIF contém um código de sinalização e realiza três importantes funções [1]:

- Construção de uma tabela de roteamento para cada circuito virtual, com o objetivo de encaminhar células ATM.
- Modificação e envio das mensagens de sinalização das estações de trabalho para o comutador ATM da rede “backbone”.
- Envio das mensagens de sinalização do “backbone” ATM para a porta IEEE 802.3/Ethernet apropriada.

Para a realização dessas funções, o comutador CIF estabelece uma conexão de sinalização para cada estação de trabalho e uma conexão separada para comutador ATM.

As informações de sinalização provenientes das portas das estações de trabalho não podem ser diretamente multiplexadas na porta ATM. Por isso, o comutador CIF deve armazenar cada carga útil de uma dada estação de trabalho até que uma PDU de sinalização

inteira seja recebida. Assim, após realizar as modificações necessárias na PDU, o comutador CIF pode enviá-la para a porta ATM. Em outras palavras, a multiplexação ocorre em termos de PDU e não em termos de células, para o canal de sinalização.

Cada PDU de sinalização contém um valor de referência de chamada, que é usado unicamente para identificar conexões separadas no VP/VC de sinalização da UNI. Para evitar o uso de valores duplicados, o comutador CIF deve atribuir valores únicos de referência de chamada a cada PDU na rede ATM, quando a conexão tenha se originado a partir de uma estação de trabalho conectada a um comutador CIF.

4.6 - FUNÇÃO DE GERENCIAMENTO

4.6.1 - Suporte ILMI

O encaminhamento de informações, a partir da porta ATM para uma das portas IEEE 802.3 é obtida através de uma tabela de mapeamento mantida pelo comutador CIF. Esta tabela contém uma lista de endereços ATM e as portas IEEE 802.3/Ethernet associadas. Esta tabela existente é baseada em informações transportadas no processo de registros de endereços usando o protocolo da ILMI (“Interim Local Management Interface”). Neste processo, a estação de trabalho e o comutador ATM trocam informações de endereços. O comutador CIF interceptará, examinará e encaminhará estas mensagens ILMI, bem como construirá a tabela usando a informação nas mensagens ILMI e o número da porta, da qual a mensagem se originou.

4.6.2 - Suporte OAM (“Operations, Administration and Maintenance”)

As mensagens de OAM são transportadas em conexões virtuais por células ATM com os bits PTI do cabeçalho recebendo codificação adequada para indicar que a carga útil não faz parte do fluxo normal de dados. Os mecanismos de OAM são definidos na Recomendação I.610 do ITU-T e incluem a capacidade de reportar falhas nas direções de ida e retorno, monitoração de continuidade e performance, bem como gerenciamento fim-a-fim do sistema (ainda não padronizado). Estas células de OAM são transportadas transparentemente através do comutador CIF.

4.7 - CONCLUSÕES

Para se incorporar um grupo de estações de trabalho a uma rede ATM é necessário: uma placa adaptadora ATM (NIC) nas estações de trabalho, um concentrador que interconecta múltiplas estações de trabalho a um “backbone” ATM e, ainda uma porta de alta velocidade num comutador ATM. Nos dias de hoje, tudo isso implica em significativo dispêndio econômico.

O “Cells-In-Frames” (CIF) permite o processamento de aplicações ATM em estações de trabalho sem requerer uma placa adaptadora ATM atualizada, com a reutilização das placas de adaptadoras Ethernet já existentes e o baixo custo por porta oferecido pela tecnologia de LANs. Dessa forma, qualquer um que tenha feito considerável investimento em instalações LANs pode atualizá-la para suportar aplicações ATM sem ter que se submeter ao custo de um novo hardware de rede em cada estação de trabalho.

Se o tráfego ATM pode ser suportado sobre instalações de tecnologias LANs tradicionais, e se as estações de trabalho podem fornecer uma interface de aplicação ATM, os usuários podem agora evoluir para um ambiente ATM sobre as LANs de maneira transparente

e sem maiores problemas. As novas aplicações ATM que exigirem banda passante superior ao limite oferecido pela rede IEEE 802.3/Ethernet, poderão ser transportadas para estações conectadas diretamente no comutador ATM.

Assim, com a aplicação do CIF no enlace final das estações de trabalho espera-se explorar em toda a extensão os benefícios oferecidos pela tecnologia ATM, como as garantias do QoS suportadas pelo o ATM e o controle de fluxo fim-a-fim, de forma econômica e eficiente, nesta fase introdutória desta importante tecnologia de comunicação.

CAPÍTULO V

INTERCONEXÃO DE REDES ATM E IEEE 802.3/ETHERNET UTILIZANDO O PROTOCOLO “CELLS-IN-FRAMES”

5.1 - INTRODUÇÃO

Reconhecidamente, opções de ordem econômica e de qualidade não são mais exigências, são direitos já conquistados. Isto acarretou uma concorrência produtiva e dinâmica, buscando unir o novo ao velho.

O ATM, uma tecnologia muito recente, porém respeitada por sua capacidade de integração de serviços e altas velocidades, juntamente com as já maduras LANs IEEE 802.3/Ethernet permitiram-se uma convivência harmoniosa. De um lado, a tecnologia LAN oferecendo uma grande área de ocupação e uma tecnologia mais barata; e do outro, o ATM oferecendo sua funcionalidade.

Porém, unir-se o útil ao agradável requer a interconexão entre essas duas tecnologias. Um elo nessa corrente foi o aparecimento da tecnologia CIF, que permitiu as vantagens do ATM serem estendidas fim-a-fim até as estações de trabalho.

Executando o CIF, a estação de trabalho estará usufruindo da sinalização ATM e do controle de fluxo ABR sobre quadros de redes tradicionais, como as do tipo Ethernet. As células ATM são empacotadas dentro dos quadros o que permite à LAN operar eficientemente como se fosse uma rede ATM.

Este capítulo aborda a evolução da interconexão de redes locais, a motivação para a utilização do protocolo CIF, bem como a interconexão de redes ATM e IEEE 802.3/Ethernet por meio do protocolo "Cells-In-Frames".

5.2 - EVOLUÇÃO DA INTERCONEXÃO DE REDES LOCAIS

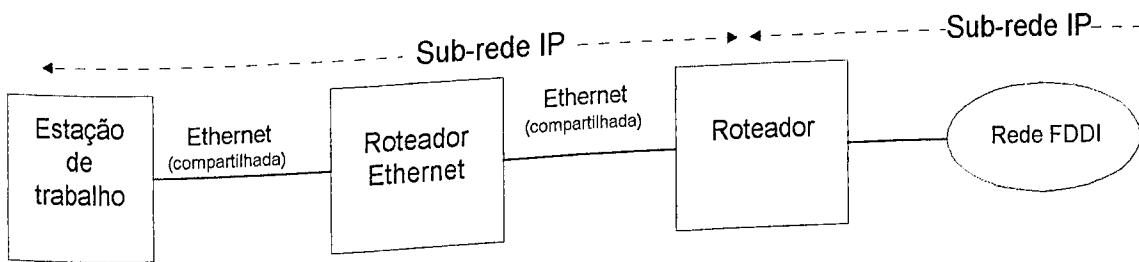
As redes "campus" consistem de sub-redes IEEE 802.3/Ethernet ou IEEE 802.5/Token-Ring interconectadas por meio de uma LAN de alta velocidade (em geral, FDDI) através de roteadores. O surgimento da tecnologia ATM trouxe a possibilidade de prover as redes "campus" com o suporte não somente ao tráfego de dados, mas também ao de voz conversacional, vídeo, etc.

As LANs estão evoluindo gradativamente de acessos compartilhados para acessos comutados, tendo como resultado um significativo acréscimo na banda passante disponível e melhor gerenciamento individual das estações de trabalho [22]. Além disso, as redes "backbone" estão se desenvolvendo de uma tecnologia baseada em LANs tradicionais para a atual tecnologia de LANs ATM.

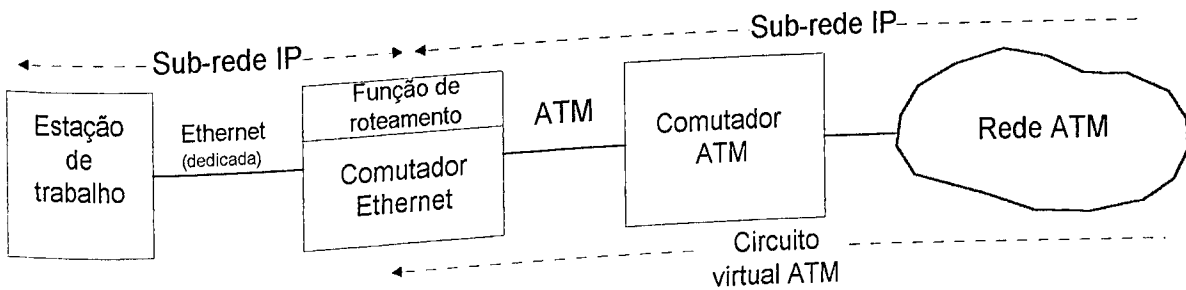
De forma ilustrativa, a Figura 5.1 apresenta um possível panorama de uma evolução das redes "backbone" desde os dias de hoje até a utilização dos benefícios do CIF. Em um primeiro momento, tem-se redes do tipo IEEE 802.3/Ethernet interconectadas através

de roteadores e por meio de uma rede “backbone” FDDI. A evolução para uma rede “backbone” ATM começa do centro para as extremidades do sistema de interconexão, quando as estações de trabalho são removidas de instalações Ethernet compartilhadas para enlaces Ethernet dedicados.

A - Redes com roteadores



B - Redes com roteadores distribuídos



C - Rede Cells-In-Frames

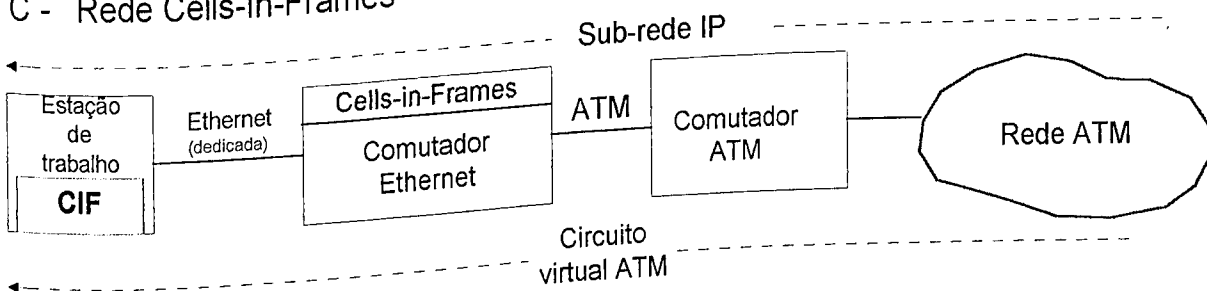


Figura 5.1 - Evolução das redes.

Conforme mostrado na Figura 5.1 (B), ao comutador Ethernet acrescenta-se nesta fase, também as funções de roteamento. Na verdade, o tráfego IP nos enlaces Ethernet passa a ser roteado dos enlaces Ethernet para o “backbone” ATM usando o protocolo definido pela RFC 1577, o IP clássico sobre o ATM; ou ainda podendo usar a Emulação de LAN do ATM Forum [5], [23].

Na Figura 5.1 (C) chega-se ao estágio do envolvimento do protocolo CIF, implicando no fornecimento dos serviços ATM sobre os enlaces Ethernet em cada estação de trabalho. Os circuitos virtuais ATM são terminados nas estações de trabalho CIF, as quais são capazes de se comunicar simultaneamente com o tráfego Ethernet e o tráfego CIF [1]. De modo criativo e eficaz, o CIF torna-se uma alternativa para levar as aplicações ATM até às estações de trabalho Ethernet/IEEE 802.3.

5.3 - MOTIVAÇÃO PARA A UTILIZAÇÃO DO CIF

Apesar do grande espaço conquistado pelo ATM nos meios de comunicação e sua vantagem de oferecer a garantia de QoS e o controle de fluxo ABR fim a fim nas estações de trabalho com o apoio de um poderoso e importante conjunto de protocolos: o TM 4.0, o PNNI 1.0 e o SIG 4.0, ainda é preciso achar um caminho para reduzir o custo de implementação das estações de trabalho da rede ATM.

O CIF é uma forma simples e econômica para permitir o uso dos protocolos ATM pelas estações das LANs tradicionais. O resultado é o QoS e o controle de fluxo poderem ser suportados sobre a rede local tradicional, sem requerer a troca de hardware. Dessa forma, o processo de atualização que começa com uma possível substituição das estações de trabalho, o

que inclui treinamento de usuários e a aquisição de interfaces de rede ATM, não será mais necessária nesta fase. Além disso, à medida que a demanda por aplicações ATM que excedam a capacidade do enlace Ethernet ao “backbone” ATM se eleve, a estação de trabalho em questão pode ser convertida ao ATM nativo e conectada diretamente ao referido “backbone”. A Figura 5.2 ilustra como cada estação de trabalho é conectada ao comutador CIF.

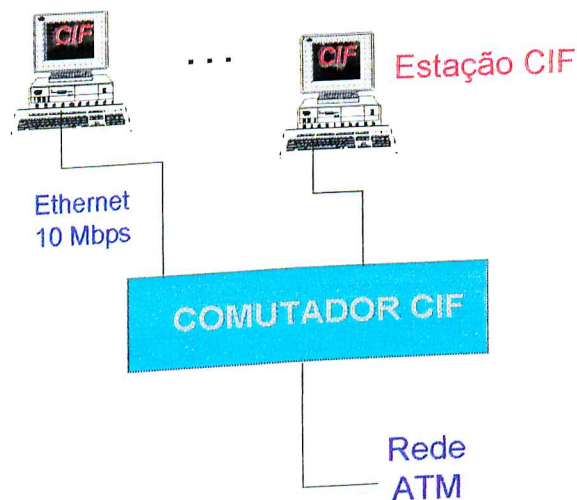


Figura 5.2 - Instalações CIF usando a Ethernet.

Para a atualização das estações LANs é preciso apenas a inserção de um software CIF. Este software é incorporado a cada estação de trabalho como forma de apresentar uma interface de usuário ATM.

Dentro da estação CIF, a placa adaptadora LAN existente e os softwares das camadas superiores permanecem intactos, implicando que, como em qualquer outra implementação ATM, as aplicações tradicionais usem as interfaces e protocolos específicos para o acesso à serviços ATM como o IP clássico sobre o ATM, a Emulação de LAN ou o MPOA, representados na Figura 5.3 como a interface.

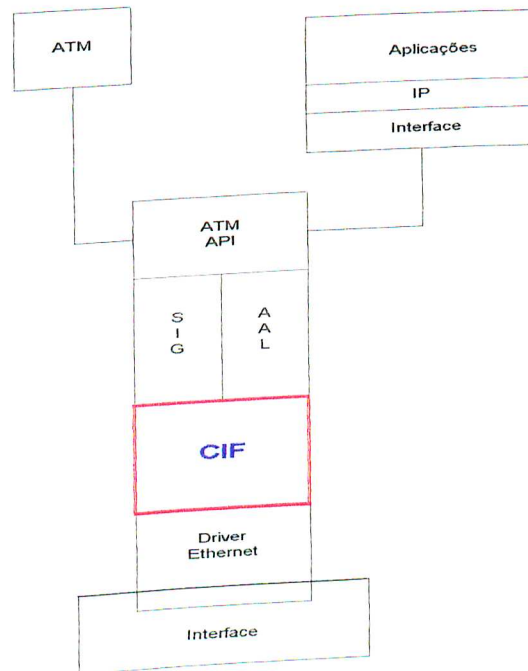


Figura 5.3 - Organização interna de uma estação CIF.

Similar à ilustração anterior, a Figura 5.4 representa a estrutura de uma estação, porém demonstrando a coexistência de pilhas de protocolos utilizada em cada estação Ethernet/CIF, a qual esquematiza a capacidade de utilização das aplicações clássicas como às do ATM/CIF.

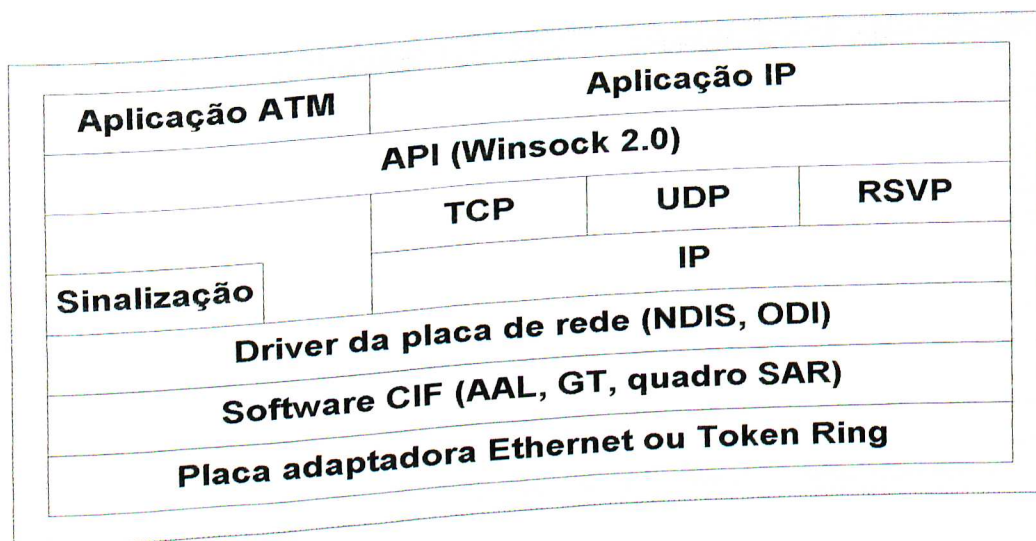


Figura 5.4 - Estrutura de protocolos de uma estação CIF.

A coexistência de pilhas de protocolo nas estações de trabalho também se aplica ao comutador CIF. Como ilustrado na Figura 5.5, o comutador é capaz de transmitir:

- tráfego tradicional entre estações de trabalho locais (podendo ser estações CIF ou não CIF).
- tráfego tradicional de uma estação na LAN convencional para a infra-estrutura ATM via LANE.
- tráfego CIF de uma LAN tradicional para a infra-estrutura ATM (transmissão para uma estação ATM ou para um comutador CIF).
- tráfego CIF entre estações CIF locais.

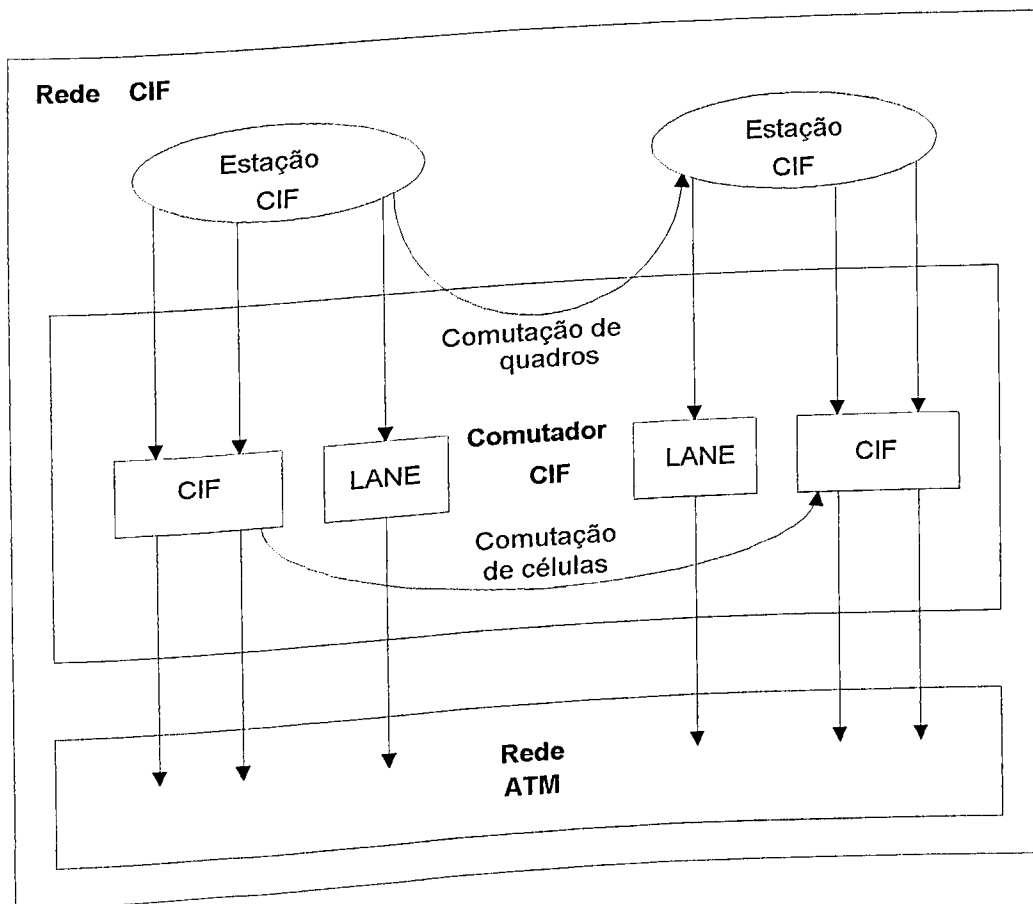


Figura 5.5 - Tráfego transmitido pelo Comutador CIF.

5.3.1 - Os Benefícios do ATM e o Efeito do CIF

O CIF pode ser entendido como um ATM com pacotes de comprimento variável. De maneira mais explícita, no CIF as células ATM são empacotadas dentro de quadros definidos para LANs tradicionais.

O uso de pacotes de comprimento variável (quadros CIF) traz consigo importantes benefícios em relação ao uso de células de comprimento fixo, como os descritos a seguir:

- Menor “overhead”: Para dados típicos Internet, o “overhead” básico ATM é de 25% a 30%, com pacotes CIF de comprimento variável pode-se reduzir o “overhead” para 5% [6, 7].

- Eliminação da necessidade de uma nova interface de rede (NIC) para as estações de trabalho e servidores: O CIF, basicamente, reduz pela metade os gastos com o hardware das estações de trabalho.

- Eliminação da necessidade de hardware para segmentação e remontagem (SAR): O tempo consumido nesta função pode ser evitado usando os pacotes de comprimento variável. As NICs das LANs tradicionais são mais baratas que as interfaces de rede ATM onde a operação SAR é implementada.

- O protocolo de sinalização permite a integração de voz, dados e vídeo: As estações de trabalho CIF mantêm os benefícios disponíveis do QoS do ATM por terem a capacidade de utilizar o protocolo SIG 4.0.

- Células de tamanho fixo: permitem comutação de alta velocidade em hardware.

Contudo, hoje, os comutadores Ethernet estão provando que com o avanço da tecnologia o tamanho fixo das células é desnecessário para uma comutação rápida e barata.

- Células de tamanho fixo e reduzido: são importantes na redução do atraso de transferência de tráfego. O CIF limita o tamanho dos quadros.

5.3.2 - A Qualidade de Serviço (QoS) Fim-a-Fim

A QoS é necessária para atender ao requisito de garantia de banda passante, à parâmetros como atraso, variação de atraso, etc., procurando assim garantir ao usuário que objetivos predefinidos de desempenho da rede sejam honrados. Essa garantia é particularmente importante nas redes que suportam aplicações de tempo real.

Tanto para voz, dados e vídeo, a QoS ATM pode ser sinalizada fim-a-fim, mas para que isso aconteça as estações e o comutador devem incorporar a sinalização QoS. Se um segmento do caminho não oferecer esta facilidade, a QoS pode não ser oferecida. O CIF faz uso da pilha de protocolos do ATM, versão 4.0, mas com pacotes de tamanho variável, traduzindo em funcionalidade os benefícios do ATM sobre as LANs. São eles:

- UNI "Signaling" 4.0 - Permite a sinalização dos requisitos de banda passante e de atraso para a QoS.
- PNNI 1.0 - Especifica a QoS com base no roteamento entre comutadores.
- TM 4.0 - Especifica as funções da QoS e controle de taxa explícita.

5.3.3 - A Necessidade do Controle de Fluxo de Taxa Explícita (“Explicit Rate Flow Control”) Fim-a-Fim

Ao controle de fluxo atribui-se a função de controlar as fontes de tráfego, evitando que as mesmas enviem uma sobrecarga de informações para a rede num mesmo momento.

A diferença crítica entre as técnicas de controle de fluxo é o tempo que elas levam para informar à fonte sobre o congestionamento e obter o controle sobre o mesmo.

Recentemente, o ATM Forum especificou uma nova geração de técnica de controle de fluxo, o controle de fluxo de taxa explícita (“Explicit Rate Flow Control”), o qual opera 200 vezes mais rápido que o algoritmo taxa binária de controle de fluxo implementado pelo TCP entre duas estações terminais [7], [24]. O controle de fluxo de taxa explícita foi definido no ATM Forum como Protocolo TM 4.0, o qual especifica suas funções.

O controle de fluxo de taxa explícita opera com pequenas mensagens de controle chamadas células de gerenciamento de recursos (RM), as quais são enviadas na rede para transportar a informação de controle de fluxo de volta para a origem. Dessa maneira, um caminho de maior prioridade pode ser usado pelas células RM para que elas não necessitem ser atrasadas pelos dados. Quando o comutador encontra uma célula RM, ele a marca com a maior taxa de dados que ele pode suportar para a fonte associada. Dessa forma, quando ocorre congestionamento, o comutador pode rapidamente marcar as células RM com uma nova taxa, a qual eliminará o congestionamento e essas células RM poderão mover-se de volta para a fonte informando que os dados podem ser rapidamente enviados [24], [25], [27].

5.3.3.1 - Controle de fluxo ABR CIF

O serviço ABR, definido pelo ATM Forum, requer que estações de trabalho ATM continuamente troquem células de gerenciamento de recursos (RM) em cada circuito virtual para ajustar apropriadamente a taxa de células. Este protocolo requer um considerável recurso computacional e um tempo mínimo de resposta para qualquer célula RM recebida. Para evitar uma grande quantidade de “overhead” adicional no software CIF em uma estação de trabalho IEEE 802.3/Ethernet, o comutador CIF atua como uma origem virtual/destino virtual (VS/VD) em nome de cada estação de trabalho, reduzindo assim o número de células RM que fluem para a estação de trabalho.

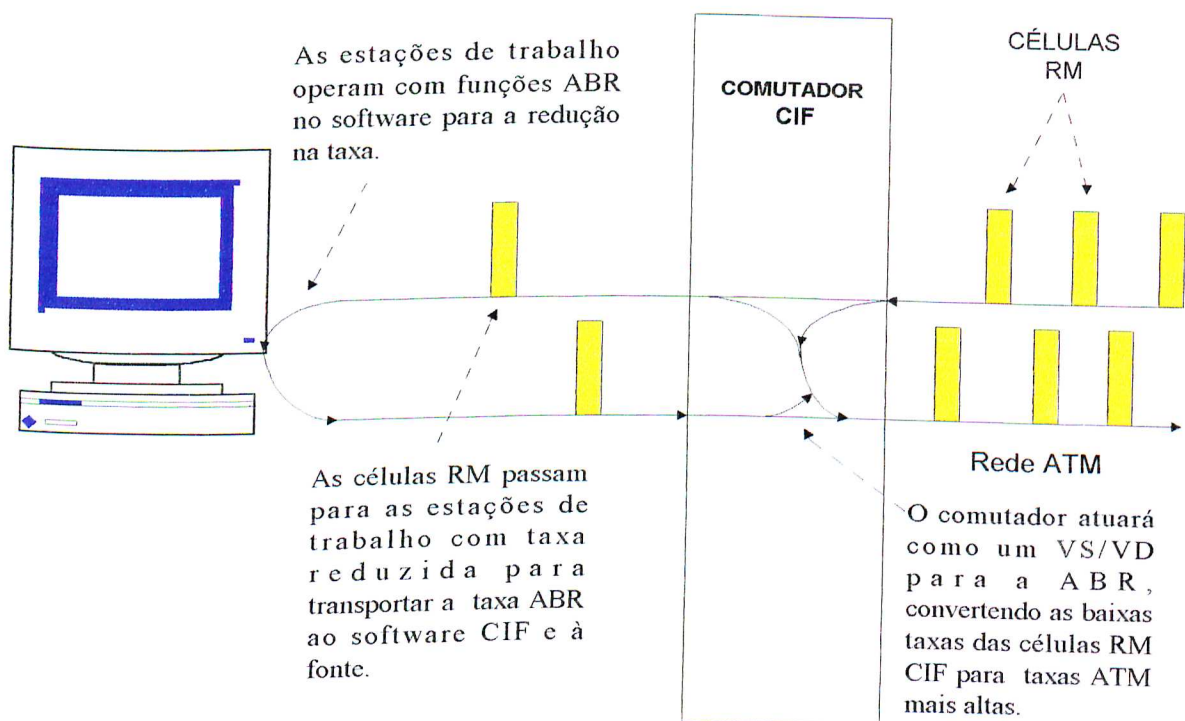


Figura 5.6 - Tratamento CIF de células RM para Controle de Fluxo ABR.

Conforme mostrado na Figura 5.6, as células RM de um segmento ABR não são diretamente encaminhadas ao segmento ABR adjacente, mas retornadas pelo comutador CIF, que desempenha funções próprias de acoplamento entre dois segmentos ABR.

O comutador CIF deve ainda prover buffers adicionais para cada circuito virtual que suporta a operação ABR. Da mesma forma que a lógica usada para a determinação do HEC e CRC da AAL5, a lógica de controle das células RM é frequentemente integrada numa porta ATM. Dessa forma, torna-se viável liberar o software CIF numa estação de trabalho IEEE 802.3/Ethernet.

Pela incorporação desta função VS/VD no comutador CIF, cada enlace IEEE 802.3/Ethernet será um segmento ABR controlado separadamente, não sendo limitado pelos requisitos de protocolo impostos pelas especificações do ATM Forum.

A estação de trabalho CIF e o comutador CIF necessitam gerar células RM, e ambas as entidades CIF necessitam retorná-las, porém a taxa de células RM na rede local pode ser significativamente menor do que a requerida pelo “backbone” ATM. Para controlar a taxa real de transferência de células sobre um segmento IEEE 802.3/Ethernet, as células RM somente necessitam ser geradas quando os valores dos parâmetros RM usados na modelagem do tráfego excederem os valores pré-determinados.

5.3.4 - “Overhead”

Há três funções ATM que acarretam um alto “overhead”: segmentação e remontagem, o CRC-32 da AAL5 e o gerenciamento de tráfego ABR. Com o uso do

protocolo CIF, funções dessa natureza se tornam responsabilidade do comutador CIF reduzindo consideravelmente a quantidade de “overhead”.

Na transmissão das cargas úteis de células ATM, se cada quadro Ethernet transportasse apenas uma célula por quadro ou se a segmentação e remontagem dos quadros ficasse a cargo da estação CIF, o “overhead” seria intolerável. Para que isso não ocorra, a segmentação e remontagem ocorre no comutador CIF.

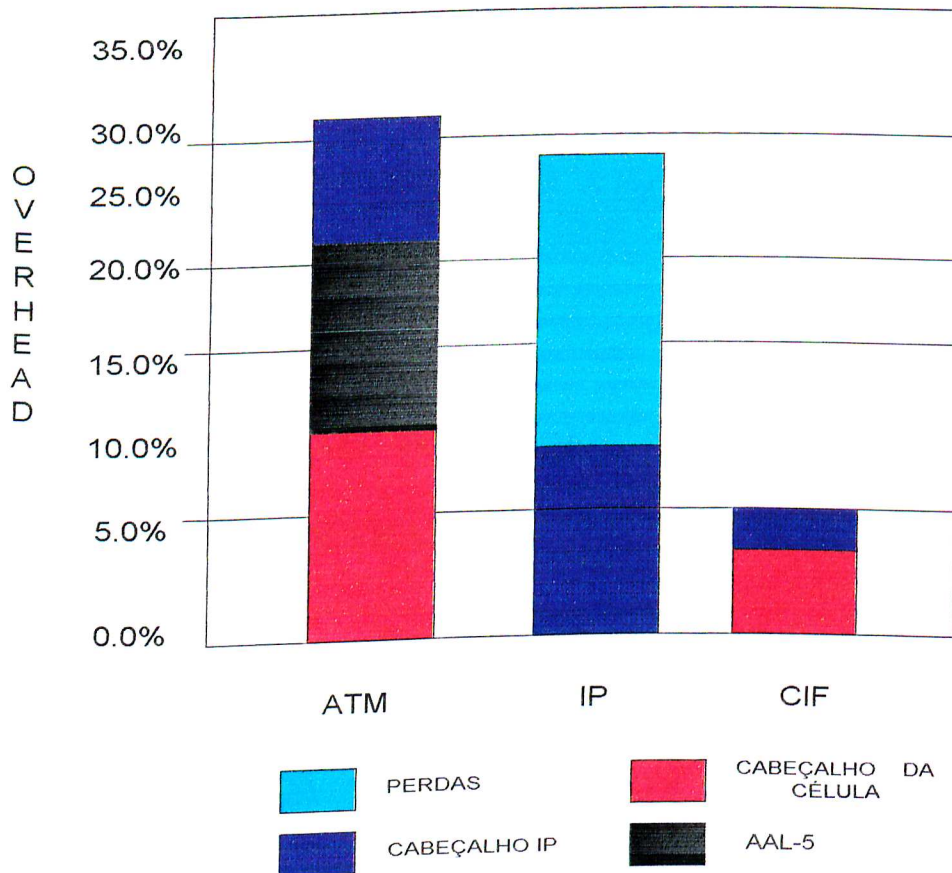


Figura 5.6 - Overhead para ATM, IP e CIF.

O CRC-32 do protocolo AAL5 também pode trazer como consequência um alto “overhead”, porém desde que o tráfego Ethernet seja protegido pelo CRC Ethernet, os dados enviados através da Ethernet não necessitam ser protegidos pela camada AAL, considera-se assim que o CRC da AAL5 será realizado no comutador CIF.

Por último, um fator que poderia acrescentar considerável “overhead” é o gerenciamento ABR. Porém, se o comutador CIF atuar como uma origem virtual/destino virtual ABR em nome do sistema CIF, tanto o processamento neste sistema como a sua interação com o comutador CIF podem ser simplificados.

A transferência das funções citadas acima para o comutador CIF traz uma redução de overhead para 5%, quando comparada ao IP clássico sobre o ATM que adiciona 9% de overhead de cabeçalho em cada pacote AAL5 [6]. A Figura 5.7 ilustra essa comparação de quantidade de overhead no ATM, IP e CIF.

5.4 - A INTERCONEXÃO DE REDES LOCAIS UTILIZANDO O PROTOCOLO “CELLS-IN-FRAMES”

Com o uso do CIF, o tráfego de uma estação de trabalho IEEE 802.3/Ethernet pode ser enviado tanto a uma outra estação IEEE 802.3/Ethernet quanto a uma estação ATM. Se o tráfego ATM pode ser transmitido sobre a LAN IEEE 802.3/Ethernet e se as estações podem fornecer interfaces para as aplicações ATM, o usuário terá facilmente um ambiente ATM a custo reduzido. Dessa forma, o CIF realiza funções de interoperabilidade entre redes locais como também entre instalações de rede puramente ATM, ou seja, qualquer aplicação

ATM nas estações CIF será capaz de comunicar-se com qualquer aplicação nas estações ATM ou com qualquer outra aplicação da estação CIF, conforme mostra a Figura 5.8.

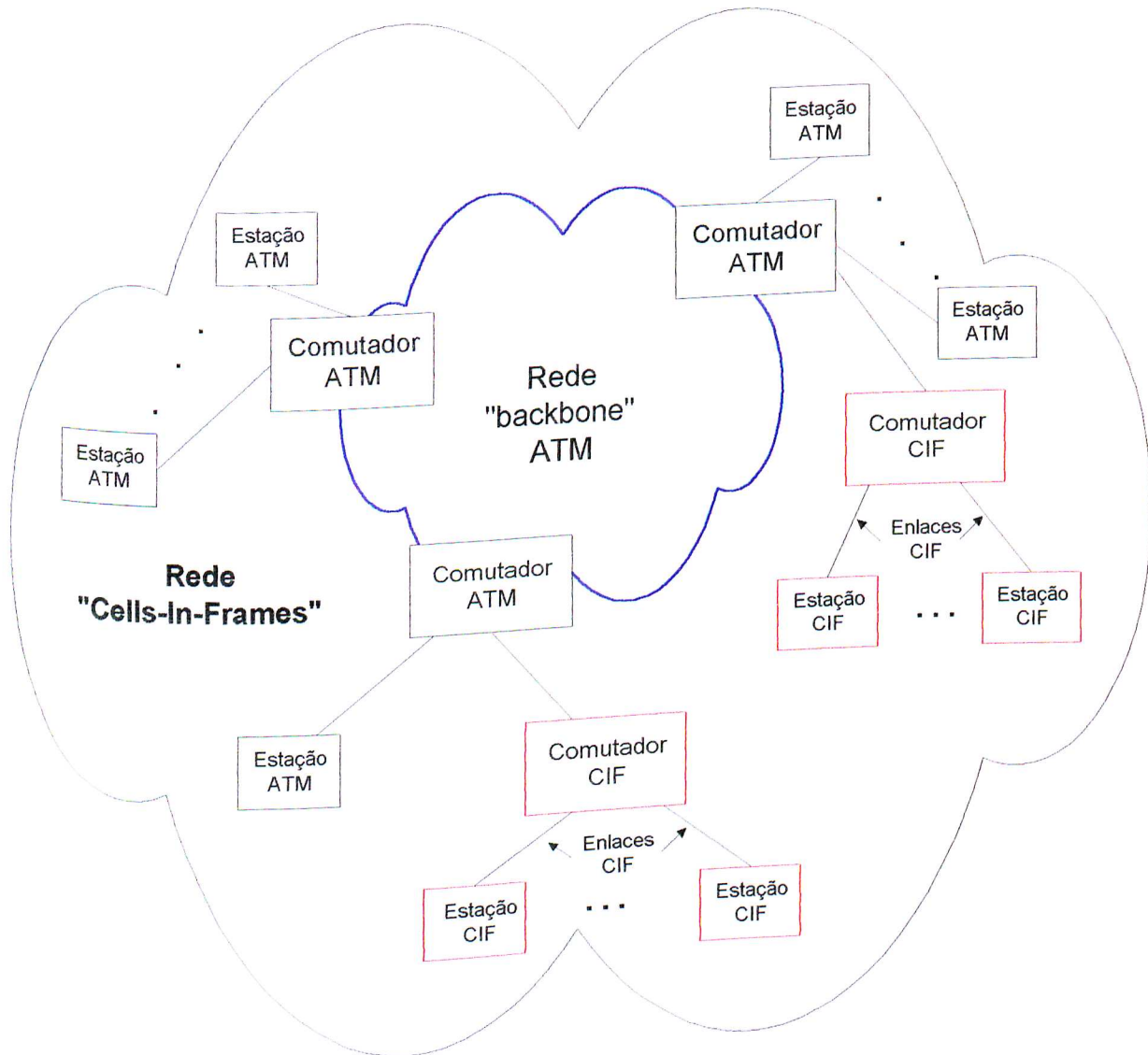


Figura 5.8 - Interconexão de redes locais via "backbone" ATM.

A funcionalidade ATM oferecida nas estações de trabalho de tecnologia LAN é promovida pela adição de um software em cada estação de trabalho. Essa pequena transformação, utilizando o protocolo CIF, modifica as estações LANs de maneira que

camadas superiores operem como se existisse a própria instalação ATM. Além disso, a interconexão de redes locais com o uso do protocolo CIF mostra-se vantajoso por não ser preciso qualquer mapeamento das diferentes camadas MAC, ao passo que métodos como a Emulação de LAN não permitem a interoperabilidade de redes locais se o lado oposto da rede não utilizar o mesmo protocolo MAC.

5.4.1 - Interoperação de Redes com "Cells-In-Frames"

Para as operações CIF, considera-se que duas das subcamadas AAL, a SSCS e a CPCS, são adicionadas na estação CIF acima da camada CIF e a outra subcamada da AAL, a SAR, reside no topo da camada ATM dentro do comutador CIF, conforme ilustra a Figura 5.9.

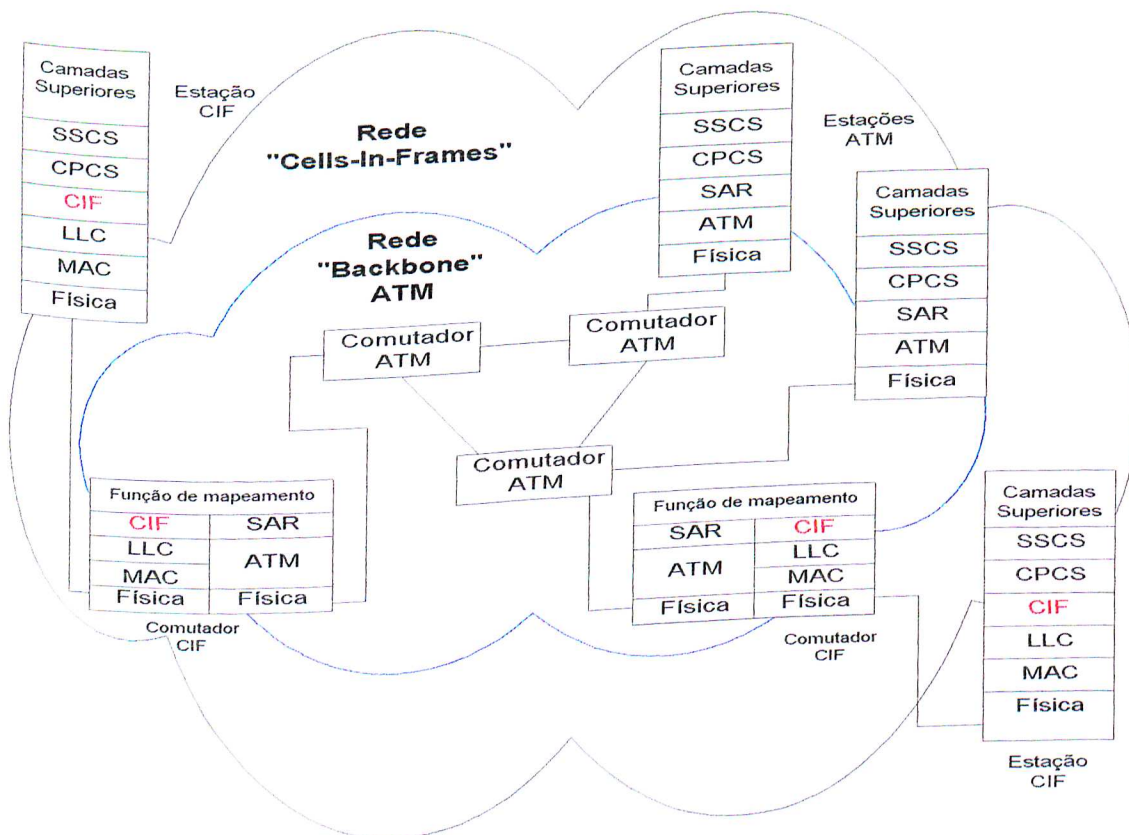


Figura 5.9 - Modelo de Referência "Cells-In-Frames".

O cabeçalho do quadro IEEE 802.3/Ethernet carrega o endereço MAC da origem e do destino associado com a estação CIF e o comutador CIF. Os primeiros 5 octetos do campo de informação inclui o cabeçalho ATM associado com o circuito virtual. A porção restante do campo de informação conterá uma ou mais cargas úteis da célula ATM, com o máximo de 31 cargas úteis CIF. A Figura 5.10 ilustra o mapeamento do protocolo CIF.

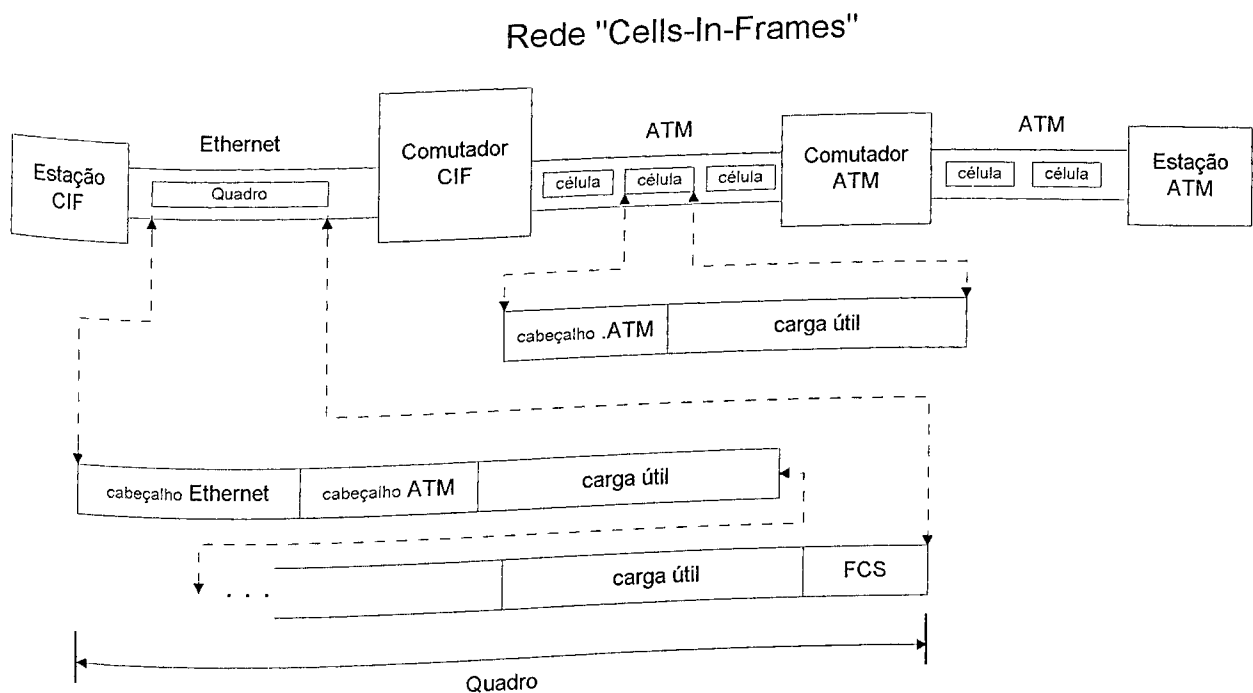


Figura 5.10 - Mapeamento do protocolo "Cells-In-Frames".

É no comutador CIF que há a interpretação do cabeçalho CIF e do VPI/VCI ATM [6]. O comutador CIF proverá somente um mapeamento dos quadros IEEE 802.3/Ethernet para as células ATM. Qualquer comutação das células ATM será realizada pelo comutador ATM. A interface entre o comutador CIF e o comutador ATM seguirá as especificações UNI do ATM Forum. O comutador CIF será visto pelo comutador ATM ao qual se conecta, como

um dispositivo com múltiplos endereços ATM, cada um correspondendo a uma estação de trabalho IEEE 802.3/Ethernet a ele conectada. O comutador contém um código de sinalização que realiza a construção de uma tabela de roteamento para cada circuito virtual para o encaminhamento das células ATM. A transmissão de informações de uma porta ATM para uma porta Ethernet é obtida através de uma tabela de mapeamento mantida pelo comutador CIF. A construção desta tabela baseia-se no transporte de informações do processo de registro de endereço utilizado no protocolo da ILMI. Neste processo a estação e o comutador trocam informações de endereço.

Relembrando, o CIF oferece os serviços ATM sobre estações Ethernet, onde os circuitos virtuais ATM são finalizados nas estações de trabalho Ethernet /CIF. Paralelamente, a pilha de protocolos tradicionais permanece intacta na estação CIF criando a possibilidade de explorar o uso da RFC 1577 para a implementação de sub-redes lógicas sobre o ATM, conforme ilustra a Figura 5.11.

Com a ajuda de protocolos de resolução de endereços (ATMARP e InATMARP), definidos pela RFC 1577, permite-se estabelecer os endereços necessários à comunicação entre as estações.

O protocolo ATMARP permite que se obtenha o endereço ATM de um equipamento terminal, a partir de seu endereço IP e o InATMARP realiza a resolução de endereços ATM em endereços IP. Através de um servidor ATMARP, mantém-se uma tabela que mapeia o endereço IP com o correspondente endereço ATM.

É exigido que cada LIS contenha um único servidor ATMARP. O endereço ATM do servidor é configurado em cada estação da LIS que opera como cliente ATMARP, o que

permite às estações estabelecerem uma conexão com o servidor para passar seus endereços IP e ATM. Neste caso específico, os servidores de resolução de endereço estão representados dentro da rede ATM oferecendo as funções para o acesso às estações de trabalho participantes das LANs virtuais.

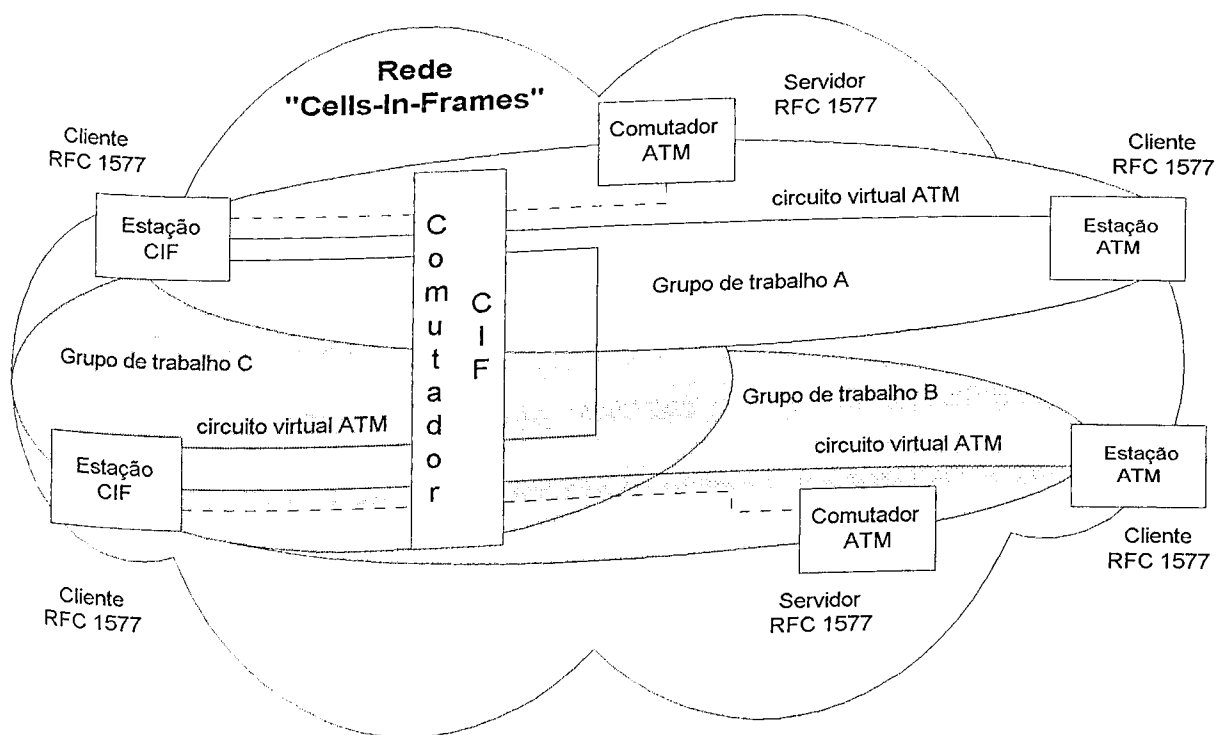


Figura 5.11 - LANs virtuais.

O servidor não toma a iniciativa de estabelecer conexões. É responsabilidade do cliente estabelecer esta conexão, com o objetivo de registrar seus endereços no servidor. Um cliente conecta ao servidor ATMARP estabelecendo uma conexão ponto-a-ponto, para isso utiliza-se o endereço configurado.

Quando uma nova estação é adicionada em uma LIS, essa estação envia uma mensagem (ADD Host) para o servidor especificando seus endereços IP e ATM que são

armazenados pelo servidor na tabela de mapeamento de endereços, a tabela ATMARP. O servidor responde com uma mensagem (CONFIRM), na qual inclui um VCI reservado que será usado para enviar mensagens de controle para a estação. Assim, o servidor tem o endereço IP e o endereço ATM de todas as estações registradas na LIS.

Quando uma estação CIF necessita transmitir para uma estação ATM, primeiramente, em relação à camada IP, a estação CIF procura no seu cache de endereços para saber se tem o endereço ATM correspondente ao endereço destinatário IP. Se o endereço ATM correspondente ao endereço destinatário IP não for conhecido, a estação CIF envia uma mensagem (ARP-QUERY) ao servidor ATMARP. Desde que o servidor tenha a associação do endereço IP recebido com o endereço ATM correspondente, o servidor envia uma mensagem de volta (ARP-REPLY) pela conexão reservada a este fim especificando os endereços destinatário IP e ATM. Caso o servidor não reconheça o endereço ATM correspondente ao endereço destinatário IP, ele envia uma resposta negativa de reconhecimento.

O cliente deve utilizar as respostas ARP-REPLAY para construir e manter sua própria tabela ATMARP.

Todas as tabelas de mapeamento, tanto a do servidor quanto as dos clientes, têm mecanismos próprios que invalidam as informações armazenadas após um período de tempo determinado, caso não sejam tomadas medidas no sentido de revalidar essas informações. Se não se mantiver uma conexão estabelecida com o servidor, cabe ao cliente revalidar seus registros com o servidor periodicamente, repetindo o procedimento inicial de registro. As revalidações relativas à tabela interna do cliente são feitas através do envio de solicitações ATMARP.

A comunicação entre estações localizadas em LISs diferentes é oferecida através de um roteador IP. Este roteador interconecta as redes envolvidas, sendo configurado como membro de duas ou mais LISs.

No passo seguinte, conforme ilustrado pelas Figuras 5.3 e 5.4, a estação CIF faz uso da sinalização ATM, a qual reúne funções que controlam dinamicamente as conexões virtuais e são implementadas por um protocolo de sinalização. Porém, no decorrer do estabelecimento da conexão é preciso se ter conhecimento do endereço MAC do comutador. Neste caso, o endereço MAC é conseguido na fase de enlace da estação CIF com o comutador CIF, a qual será descrita na sequência. Além disso, quando o processo de estabelecimento estiver chegando no lado de entrada da rede, uma entidade existente no comutador CIF com capacidade de transferência de dados, resolução de endereços e outras funções de controle [1], executará a resolução de endereço, associando o endereço MAC ao endereço ATM correspondente; dando sequência ao estabelecimento da conexão.

Antes da transferência de dados é preciso que haja o estabelecimento da conexão. Definiu-se portanto, a utilização de um canal específico e fixo identificado pelos valores $VPI=0$ / $VCI=5$ para o tráfego de todas as mensagens de sinalização.

A fase de estabelecimento da conexão caracterizada pela mensagem SETUP indica o desejo da estação CIF (emissora) estabelecer uma conexão (ponto-a-ponto) e, é somente na fase SETUP que os endereços ATM são usados pelo fato do ATM ser uma tecnologia orientada à conexão. Estabelecida a conexão, não é necessário que o endereço destino continue a trafegar pela rede, uma vez que os identificadores da conexão passam a ser utilizados. É nesta fase, também, que usuário e rede especificam as características do tráfego da conexão. Então, a mensagem de SETUP conterá os endereços de origem (o próprio

endereço da estação) e de destino, e a qualidade de serviço desejada. Os valores VPI/VCI que serão empregados na conexão a ser estabelecida não fazem parte da mensagem de SETUP inicial. Estes valores serão alocado pelo lado da rede após a aceitação da conexão pela execução da função de Controle de Admissão de Conexão. Essa atribuição dos identificadores VPI/VCI para a conexão a ser estabelecida resulta em valores usados mais tarde na construção do cabeçalho CIF.

Duas ações são executadas pelo lado de entrada da rede . Primeiro, uma mensagem CALL PROCEEDING, contendo um par VPI/VCI para a conexão, é enviada à estação CIF emissora para indicar o prosseguimento de sua requisição. Segundo, o pedido da conexão é passado adiante (em direção a UNI de saída), através de uma outra mensagem SETUP. Além dos parâmetros de tráfego e QoS fornecidos pelo emissor, são incluídos nesta mensagem os valores VPI/VCI selecionados (pelo lado da rede) para identificar a conexão nesta UNI.

Caso a conexão seja aceita é enviado pelo receptor uma mensagem CONNECT. O recebimento dessa mensagem pela rede, no caso de aceitação da conexão, faz com que a rede envie uma mensagem de reconhecimento CONNECT ACK e finalize a aceitação da conexão.

O protocolo CIF é um protocolo “peer-to-peer” que mantém um enlace virtual entre a estação CIF e o comutador CIF. A estação CIF é que controla o processo da ativação do enlace CIF. O comutador CIF não inicia qualquer mudança, somente responde às mensagens da estação. Na inicialização do processo de ativação do enlace CIF, a estação CIF envia uma mensagem periodicamente até obter resposta do comutador CIF.

Para que unidades de dados sejam adequadamente transmitidas e recebidas, cada estação e dispositivo conectado à rede deve possuir um endereço que o identifique de modo

único. A princípio, a estação CIF e o comutador CIF não têm conhecimento do endereço MAC um do outro. No momento da ativação do enlace, um comutador CIF espera até receber uma mensagem da estação CIF. Quando o comutador a recebe, ele toma conhecimento do endereço MAC individual desta estação CIF, bem como as opções CIF que a estação CIF está requerendo e está disposta a suportar. O comutador CIF então começa a enviar mensagens para esta estação, usando o endereço MAC desta estação como o endereço de destino e declara o enlace CIF para aquela estação ativado.

Durante a recepção das mensagens, a estação CIF toma conhecimento do endereço MAC do comutador CIF, além das opções CIF que o comutador CIF necessita e espera suportar. Naquele momento, a estação também declara o enlace ativo e começa a enviar somente quadros *unicast* ponto-a-ponto destinados ao endereço MAC individual do comutador CIF. Periodicamente, a estação CIF e o comutador trocam mensagens de controle para que seu enlace virtual mantenha-se ativo, podendo então, considerar essa conexão como uma conexão semi-permanente.

O protocolo usado pela camada MAC segue a semântica do protocolo CSMA/CD, porém o comutador CIF utiliza a idéia de segmentação, fornecendo a cada uma de suas portas, que podem estar ligadas a uma ou mais estações, uma taxa de transmissão na rede igual à do seu enlace de entrada/saída; funcionando com base em barramentos internos de alta velocidade, usados para transmissão dos quadros entre suas portas. Se considerar que não haverá disputa pelo meio consequentemente não existirá colisões, implicando em uma conexão dedicada.

5.4.1.1 - Transmissão de quadros para o tráfego AAL5

A tecnologia CIF divide a camada AAL de modo que as funções da CPCS resida nas estações de trabalho enquanto as funções da SAR são oferecidas no comutador CIF, conforme foi mostrado na Figura 5.9. Dessa forma, o tráfego CIF que será encaminhado para a rede começa o processamento das ATM-SDUs na estação CIF e finaliza a criação das ATM-PDUs no comutador CIF.

Para o tráfego AAL5 CIF, um quadro contém dados apenas de uma AAL-PDU. Cada quadro pode ter um número máximo de 31 cargas úteis de célula e um único cabeçalho CIF. O cabeçalho CIF (8 bytes) inclui um gabarito de cabeçalho de célula ATM, o qual mais tarde será usado para a construção dos cabeçalhos de cada carga útil de 48 bytes do quadro CIF. A Figura 4.7 ilustra esse processo.

Um bit dentro do campo PTI desse cabeçalho ATM é usado para indicar a última célula de uma AAL5-PDU. Este campo pode também ser usado para indicar o quadro IEEE 802.3/Ethernet que contém a última carga útil de uma AAL5-PDU. Se a AAL5-PDU pode adaptar-se dentro de um quadro IEEE 802.3/Ethernet, o cabeçalho ATM no referido quadro tem o campo PTI setado para 1. Caso contrário, a AAL5-PDU é segmentada dentro de múltiplos quadros IEEE 802.3/Ethernet, mas o último desses quadros carrega um campo PTI com valor zero. Quando o último quadro IEEE 802.3/Ethernet é segmentado em unidades de protocolos SAR-PDU de 48 bytes, somente a última PDU será transmitida com um cabeçalho ATM carregando o PTI de valor 1.

5.4.1.2 - Transmissão de quadros para o tráfego AAL1

Em uma estação de trabalho CIF podem existir múltiplas fontes de tráfego de taxa de bit constante (CBR), as quais requerem a utilização do protocolo AAL1.

As funções AAL1 são agrupadas dentro de duas subcamadas, a CS e a SAR, ilustradas pela Figura 5.12.

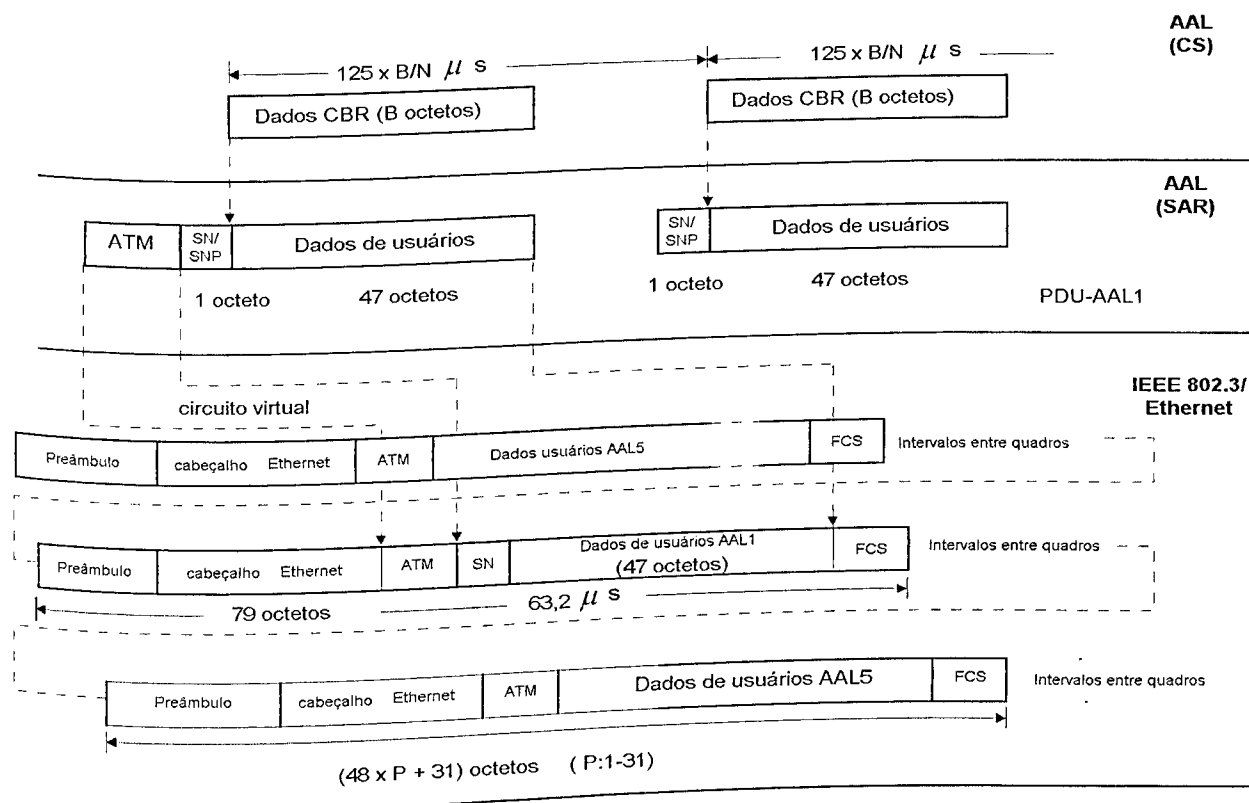


Figura 5.12 - Transmissão de quadros AAL1.

A Camada de Adaptação ATM (AAL) recebe um fluxo de bits constante e contínuo da camada superior, os quais são estruturados na camada CS como CS-PDUs. Cada um destes dados CBR é transmitido à SAR, tornando-se SAR-SDU. Às SAR-SDUs são adicionados os campos SN e SNP, cada um com 4 bytes, para formar as SAR-PDUs de 48 bytes. Em geral, os dados CBR ocupam somente 47 octetos disponíveis para dados dentro da

PDU. Como consequência, o atraso na estação na montagem da AAL1-PDU é relativamente pequeno.

O tamanho dos buffers de dados CBR é conhecido tanto na transmissão quanto na recepção pelas estações de trabalho, através de informações de prioridade ou de protocolo de sinalização ATM. Se uma AAL5-PDU é suficientemente grande para ser dividida em múltiplos quadros IEEE 802.3/Ethernet, uma estação pode ser capaz de interromper esta transmissão de AAL5-PDU's para transmitir um quadro contendo carga útil AAL1. Esse quadro IEEE 802.3/Ethernet contendo AAL1-PDU será transmitido com um pequeno atraso adicional.

5.4.2 - Remontagem de Quadros para o "Cells-In-Frames"

Uma das funções do CIF nas estações é a de gerenciar a prioridade de tráfego AAL1 em relação ao tráfego AAL5, além da montagem de AAL-PDU's em quadros IEEE 802.3/Ethernet. No comutador CIF tem-se a função de montagem de células ATM recebidas da rede "backbone" ATM em quadros IEEE 802.3/Ethernet e também o tráfego AAL1 necessita receber prioridade sobre o tráfego AAL5.

Como mencionado anteriormente, múltiplas cargas úteis ATM podem ser incluídas como parte do campo de dados de um quadro IEEE 802.3/Ethernet, porém com a restrição de cada um desses quadros ser associado com um único circuito virtual ATM. Consequentemente, assume-se que cada quadro IEEE 802.3/Ethernet carregará uma única carga útil AAL1 ou múltiplas cargas úteis AAL5 associadas ao mesmo circuito virtual.

O mecanismo usado pelo comutador CIF na remontagem de quadros IEEE 802.3/Ethernet contendo tráfego ATM difere consideravelmente do mecanismo das estações.

Para prevenir atrasos na transmissão de um quadro IEEE 802.3/Ethernet contendo tráfego AAL1, este é enfileirado para a transmissão quando a célula AAL1 é recebida do “backbone” ATM. Para tráfego AAL5, não há urgência na transmissão das células. De fato, o comutador CIF pode atrasar a transmissão de múltiplas cargas úteis associadas com o mesmo circuito virtual até que a última carga útil seja recebida, como indicado no campo PTI ou quando o número de cargas úteis alcançar um valor pré-determinado. O número máximo de cargas úteis de células será o permitido pelo padrão IEEE 802.3/Ethernet (31 células). Entretanto, para minimizar a quantidade de quadros armazenados dentro do comutador CIF, um quadro acumulado por um circuito virtual AAL5 é transmitido se uma célula recebida do “backbone” ATM for associada a um circuito virtual AAL5 diferente.

Consequentemente, um novo quadro IEEE 802.3/Ethernet será transmitido pelo comutador CIF sempre que as condições citadas a seguir forem atendidas:

- Quando uma célula AAL1 ATM for recebida.
- Quando uma célula AAL5 ATM for recebida para um circuito virtual diferente.
- Quando uma célula AAL5 ATM indicar a última célula da AAL5-PDU através do campo PTI do cabeçalho ATM.
- Quando o número de células AAL5 ATM para um mesmo circuito virtual alcançar o valor permitido pelo padrão IEEE 802.3/Ethernet.

5.5 - CONCLUSÕES

Existe, hoje, grande expectativa de que as redes ATM futuramente dominem completamente o cenário das comunicações. Ao lado dessa expectativa tem-se a enorme base instalada de redes tradicionais existentes.

Por essa razão, surgiram tecnologias com capacidade de interoperação entre redes locais e redes ATM, como o caso da Emulação de LAN. A Emulação de LAN oferece à camada de rede os mesmos serviços e interfaces oferecidos atualmente pelos protocolos existentes da subcamada MAC, escondendo, dessa maneira, a infra-estrutura ATM, o que do ponto de vista das aplicações, a rede ATM terá um comportamento semelhante ao da LAN original impedindo que os benefícios do ATM sejam explorados pelos protocolos e pelas aplicações que os utilizam, porém com velocidades maiores.

O protocolo CIF também tem capacidade de interconexão utilizando uma rede "backbone" ATM, mas com a vantagem, do ponto de vista das aplicações, que a LAN terá comportamento semelhante ao de uma rede ATM, embora com limitações de velocidade. Dessa forma, o uso do protocolo CIF permite a total exploração dos benefícios da tecnologia ATM, como por exemplo, as garantias de QoS, essenciais para a implementação de aplicações multimídia na rede LAN. Um outro fator determinante no sucesso do protocolo CIF é a sua habilidade de interconectar diferentes tecnologias de redes locais, isso porque não é exigido nas diferentes camadas MAC qualquer tipo de mapeamento, contrário à Emulação de LAN, que exige o mesmo protocolo MAC na LAN tradicional e na LAN emulada.

Um outro aspecto relevante é a capacidade do protocolo CIF de oferecer o controle fim-a-fim e a QoS nas estações CIF. E somado a isso, o "overhead" terá considerável diminuição e o CIF se torna mais barato que o ATM ao acesso às estações por não requerer uma nova interface de rede ATM.

CAPÍTULO VI

UMA PROPOSTA DE APLICAÇÃO DO PROTOCOLO “CELLS-IN-FRAMES”

6.1 - INTRODUÇÃO

Uma das metas do transporte de células em quadros é realizar a integração de tráfego de voz, vídeo e dados em uma rede que suporta as tecnologias atuais de LANs, além de eliminar a necessidade de mudança de placas de interfaces de rede (NIC- “Network Interface Cards”) e provocar uma redução de “overhead”. Existem, basicamente, dois esquemas que concretizam essa idéia: os esquemas de 31 células e de 28 células. Estes esquemas são descritos neste capítulo e, ainda, é realizada uma análise comparativa do comportamento do esquema de 31 células, desenvolvido pela Universidade Cornell, em relação ao esquema de 28 células idealizado pelo pós-graduado G. J. Armitage da Universidade de Melbourne - Austrália [3]. Mediante esta análise, aquele de melhor desempenho será escolhido como proposta de aplicação num sistema para interconexão de redes locais IEEE 802.3/Ethernet por meio de uma rede “backbone” ATM.

6.2 - ESTUDO COMPARATIVO DOS ESQUEMAS DE 28 CÉLULAS E 31 CÉLULAS

O conceito de transporte de células em quadros de LANs não é inédito [3], [12]. Em 1990, G. J. Armitage e K. M. Adams, já pesquisavam sobre este tipo de “empacotamento” de células, com o objetivo de verificar a possibilidade do fluxo de células ATM ser transportado para um ambiente baseado em tecnologias de LANs tradicionais, permitindo a integração de tráfego de voz, vídeo e dados.

Em sua tese de doutorado pela Universidade de Melbourne - Austrália [3], G. J. Armitage desenvolveu um estudo onde as células ATM são integralmente encapsuladas dentro da carga útil do quadro IEEE 802.3/Ethernet. Como esta carga útil é limitada em 1500 bytes, no máximo 28 células poderiam ser carregadas. A Figura 6.1 ilustra este esquema.

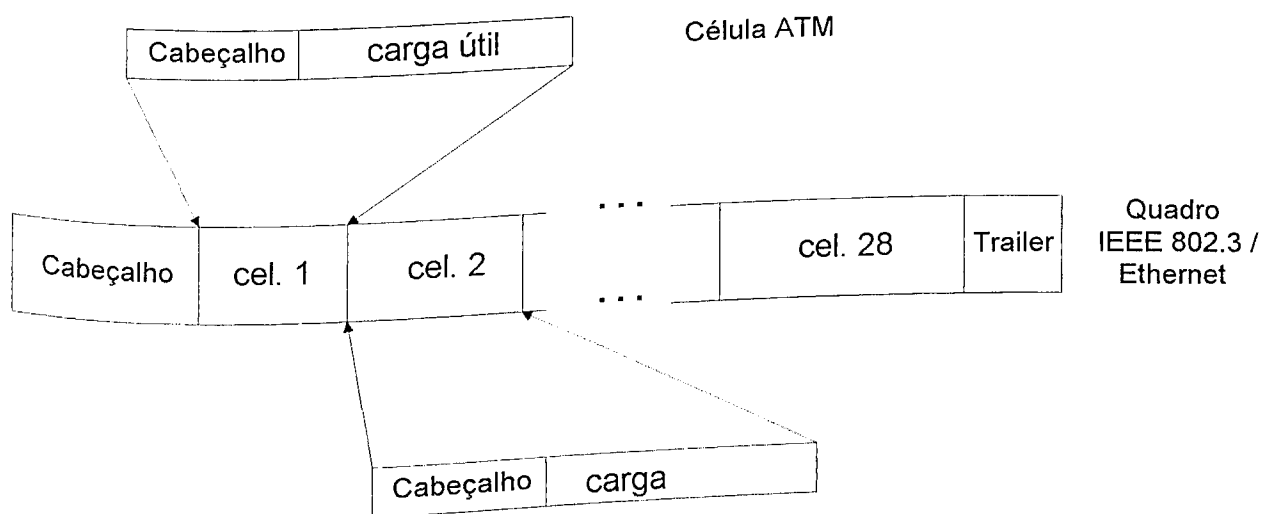


Figura 6.1 - Esquema de 28 células.

Mais tarde, tendo como base os estudos realizados na Universidade de Melbourne, pesquisadores da Universidade Cornell [1], como já citado em capítulos anteriores, desenvolveram um método diferente de transporte de células, que consiste em mapear no máximo 31 cargas úteis (“payload”) de 48 bytes em um quadro e apenas um cabeçalho em cada quadro representando a cópia de um cabeçalho de célula ATM que mais tarde será usado na recuperação de cada uma das 31 células ATM recebidas na estação CIF. Por isso, essas cargas úteis de um quadro devem ser de uma mesma AAL-PDU, pertencendo, portanto, a um mesmo VC. A Figura 6.2 ilustra o esquema de 31 células, também conhecido como “Cells-In-Frames”.

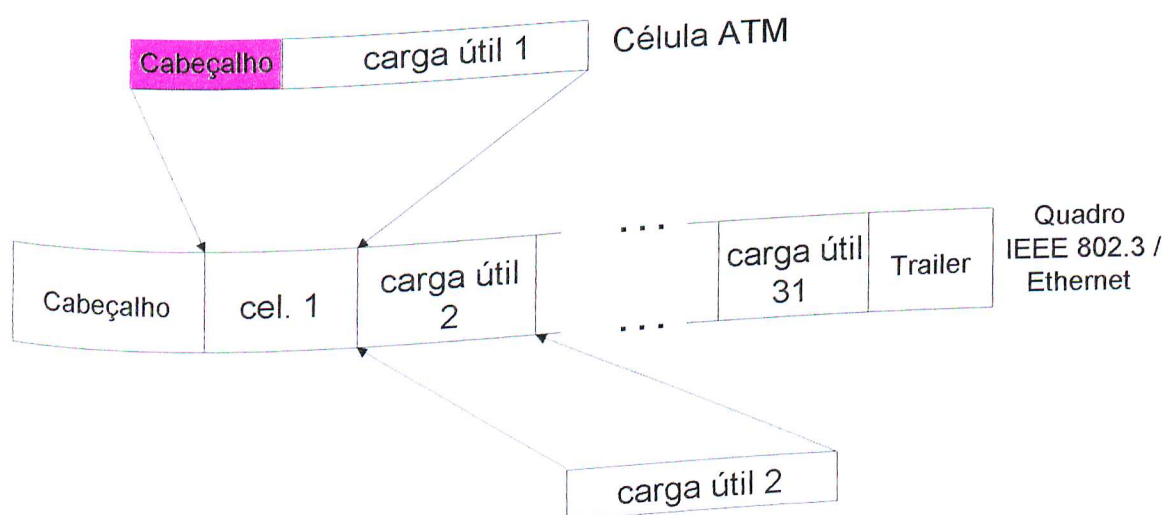


Figura 6.2 - Esquema de 31 células.

Tendo em vista a ausência de estudo semelhante, conforme revelou a pesquisa bibliográfica realizada no presente trabalho, apresenta-se a seguir uma comparação de desempenho dos esquemas de 31 células e de 28 células acima descritos. No desenvolvimento deste estudo comparativo levou-se em consideração as seguintes observações:

- Uma célula ATM é formada de 424 bits.
- O “overhead” das unidades de dados é constituído pelos cabeçalhos de cada camada, trailer e preâmbulos.
- Para a taxa de 10 Mbps, um bit é transmitido a cada 0,1 µs.

Considera-se, ainda, que a transmissão é unidirecional, isto é, de uma estação de trabalho A para uma estação B, situada em outra rede conforme esquematizado na Figura 6.3. O comprimento da AAL-SDU é de acordo com o número de células especificado.

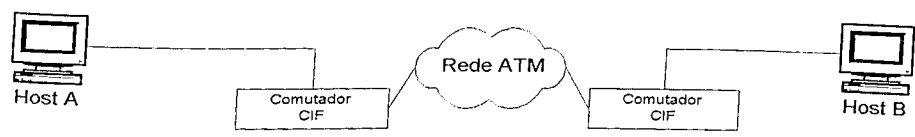


Figura 6.3 - Estações IEEE 802.3 interconectadas por meio de um rede “backbone” ATM.

A pilha de protocolos utilizada nas estações para o esquema de 31 células é representada da seguinte maneira:

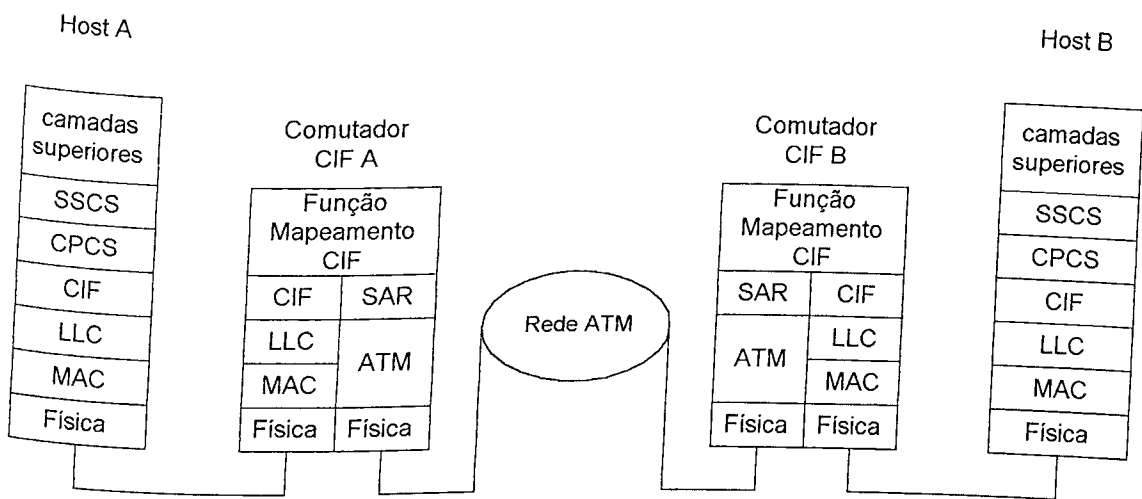


Figura 6.4 - Pilha de protocolos.

De acordo com as observações citadas anteriormente, a taxa de transferência de células (TTC) do esquema de 28 células é representada pela expressão (6.1), quando na transmissão de um quadro tem-se a quantidade máxima de células permitida para este esquema (28 células).

$$TTC_{28} = \frac{28}{(1522 \times 8 \times 0,1)} \left(\frac{\text{celulas}}{\text{bits}} \times \frac{\text{bits}}{\mu s} \right) = 22.996 \text{ células/seg.} \quad (6.1)$$

Portanto, quando se tem o transporte de 28 células por quadro obtém-se uma taxa de células correspondente a 22.996 células/seg. Em outro extremo, considerando o transporte de apenas uma célula por quadro, resulta em uma taxa de aproximadamente 13.736 células/segundo.

A expressão (6.2) representa os cálculos realizados para a taxa de transferência de células (TTC) do esquema de 31 células, quando se faz a transmissão de 31 células por quadro.

$$TTC_{31} = \frac{31}{(1538 \times 8 \times 0,1)} \left(\frac{\text{celulas}}{\text{bits}} \times \frac{\text{bits}}{\mu s} \right) = 25.195 \text{ células/seg.} \quad (6.2)$$

No transporte total de 31 células em cada quadro obtém-se uma taxa de transferência de células de aproximadamente 25.195 células/segundo.

Os cálculos da taxa de transferência de células foram realizados para cada tamanho de AAL-SDU, expresso em termos de quantidade de células em cada esquema. Os resultados obtidos estão representados na Figura 6.5.

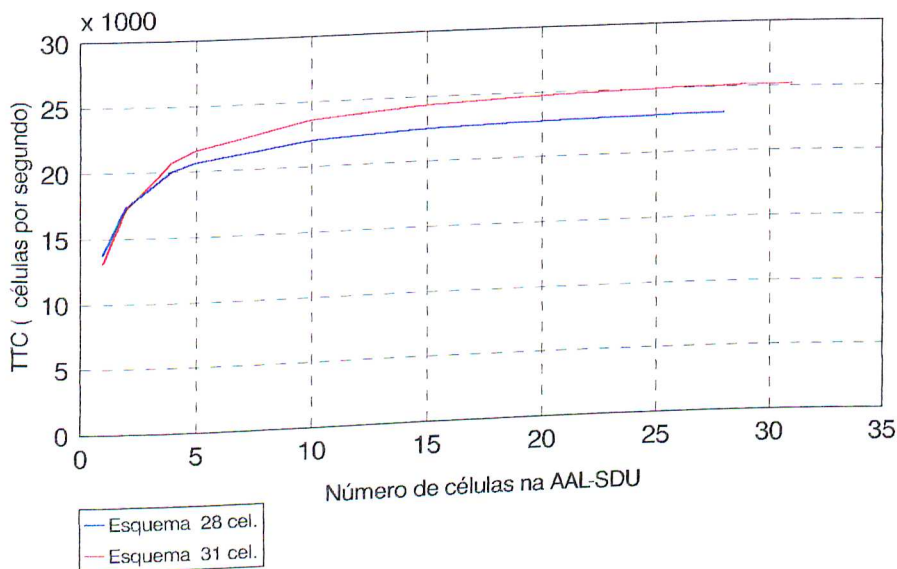


Figura 6.5 - Comparação entre os esquemas de 28 e 31 células em termos da TTC versus Comprimento da AAL-SDU.

A Figura 6.5 mostra um ganho na taxa de transferência de células quando há um aumento do número de células por pacote, o que leva a perceber um melhor aproveitamento do esquema 31 células e, como conclusão lógica o transporte de mais células por pacote reduz o efeito do overhead.

Um outro fator que influenciou na escolha do esquema adotado para o desenvolvimento deste trabalho foi a avaliação de desempenho do protocolo CIF realizada na Universidade Cornell, cujos resultados em relação ao “throughput” estão mostrados na Tabela 6.1 [34]. Para isto, considerou-se transmissão unidirecional, permitindo ao computador A

enviar continuamente mensagens de um dado tamanho para o computador B no tempo determinado para a operação, enquanto o computador B registrava a quantidade de dados recebidos.

Tabela 6.1 - Resultados obtidos do teste ATM/CIF para a taxa de transmissão de 10Mbps.

Tamanho da Mensagem (byte)	"Throughput" (Mbps)	Células/segundo
40	4,26	13.298
1480	9,65	25.261

Em vista dos resultados apresentados na análise comparativa dos esquemas e dos resultados obtidos no teste realizado pela Universidade Cornell [34], o esquema "Cells-In-Frames" foi considerado o de melhor desempenho e escolhido para o desenvolvimento deste trabalho.

6.3 - UMA PROPOSTA DE APLICAÇÃO DO PROTOCOLO "CELLS-IN-FRAMES" NUM SISTEMA PARA INTERCONEXÃO DE REDES LOCAIS

Neste trabalho propõe-se a realização de um estudo de desempenho do protocolo "Cells-In-Frames" (CIF). Para isso, considerou-se uma aplicação deste protocolo na interconexão de redes locais do padrão IEEE 802.3/Ethernet por meio de uma rede "backbone" ATM.

A arquitetura adotada para o desenvolvimento deste trabalho é representada pela Figura 6.6. A peculiaridade da arquitetura apresentada revela-se na divisão da camada AAL5 entre as estações de trabalho e o comutador. Ou seja, a CPCS da camada AAL5 reside na estação de trabalho enquanto que as funções da subcamada SAR são incluídas no comutador CIF.

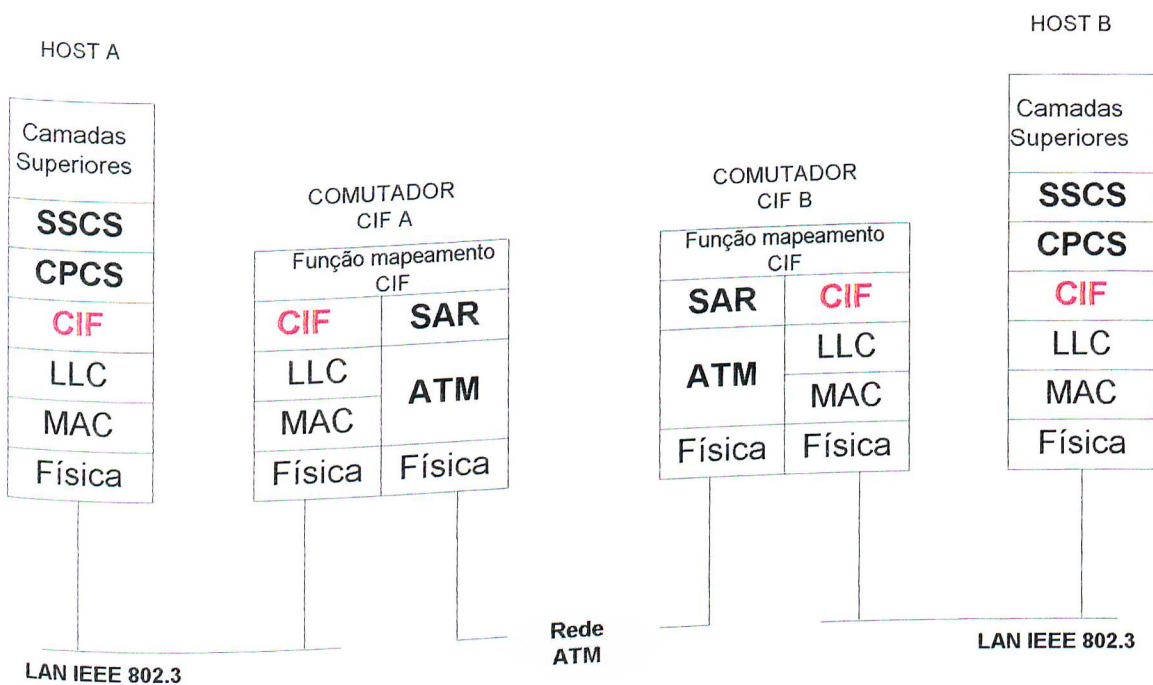


Figura 6.6 - LANs IEEE 802.3 interconectadas por meio de uma rede backbone ATM utilizando o protocolo "Cells-In-Frames".

A transmissão entre o host A e o comutador A, e o host B e o comutador B realiza-se segundo a taxa da rede local IEEE 802.3 de 10 Mbps. Entre os comutadores A e B, a taxa dependerá da escolha da interface, podendo ser de 100; 140; 155,52 ou 622,08 Mbps.

A subcamada CPCS, no host A, ao receber uma CPCS-SDU de até 65.535 bytes acrescenta um “padding” e um “trailer”, a qual passa a ser chamada de CPCS-PDU e seu comprimento torna-se múltiplo de 48 bytes. Pode-se dizer, então, que neste momento a CPCS-PDU está carregando as cargas úteis das células ATM que serão formadas mais tarde no comutador CIF. A Figura 6.7 ilustra o mapeamento da AAL5-SDU em quadros CIF.

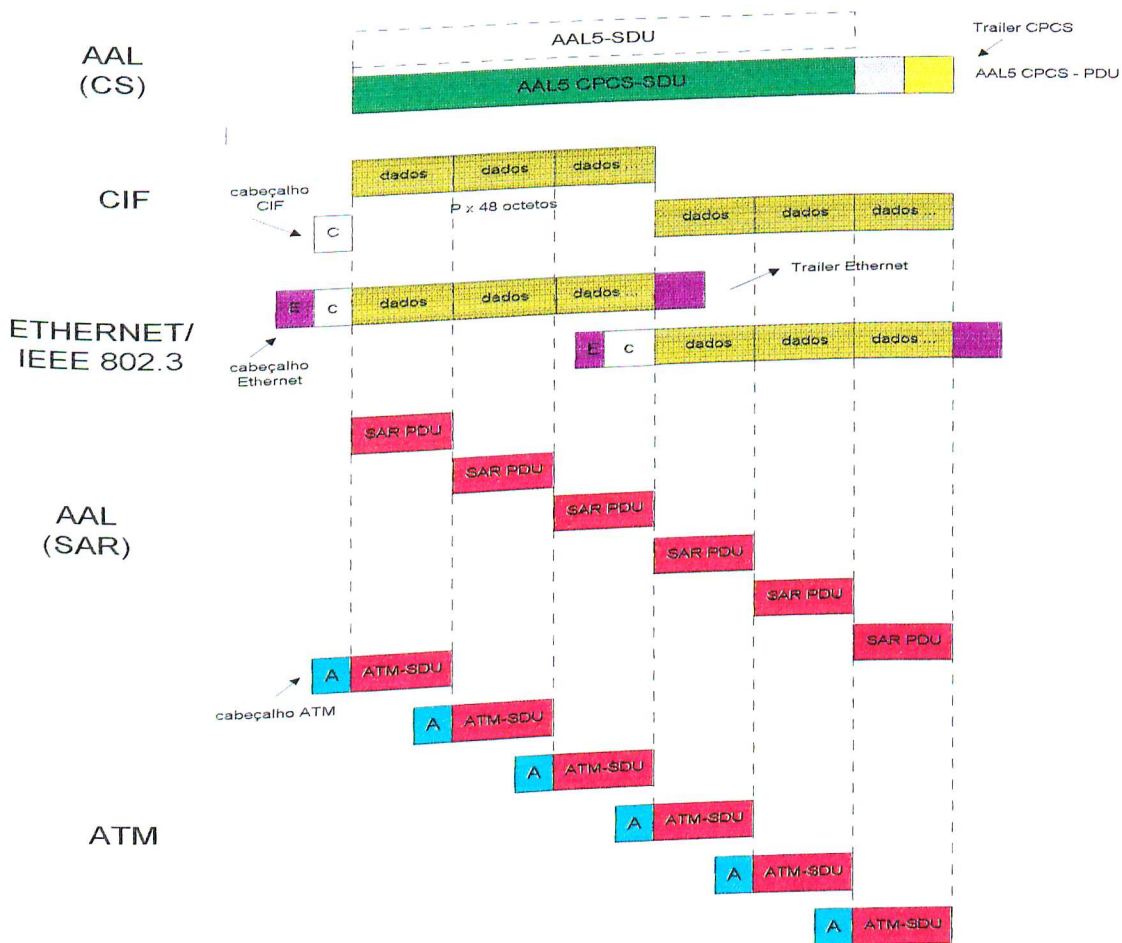


Figura 6.7 - Mapeamento de AAL5-PDU em quadros CIF.

O campo de informação do quadro Ethernet/IEEE 802.3 é limitado em 1500 bytes o que permite no máximo 31 células no quadro, ou seja, 48 bytes x 31 ATM-SDU. As cargas úteis do quadro devem pertencer à mesma PDU, pois a cada quadro é adicionado um único cabeçalho CIF de 8 bytes sendo que 5 bytes representam uma cópia fiel de um cabeçalho ATM, o qual será usado para construir o cabeçalho de cada célula transportada neste quadro associando-as ao mesmo circuito virtual.

A subcamada LLC adotada é do tipo 1, sem reconhecimento e sem conexão. Dessa forma, o protocolo LLC acrescenta seu cabeçalho, criando uma LLC-PDU. A seguir transfere-se esta unidade de dados para a subcamada MAC.

A subcamada MAC acrescenta seu cabeçalho à LLC-PDU contendo os endereços MAC de destino e da fonte, os quais estão associados com a estação de trabalho e o comutador CIF.

A camada física recebe os quadros da subcamada MAC inserindo os campos de preâmbulo e do delimitador de início de quadro e os transmite bit a bit para o comutador A, à taxa de 10 Mbps. No comutador A, a camada física recebe os bits transmitidos e quando passados para a subcamada MAC são transformados em quadros. Esta retira seu cabeçalho e os envia para a subcamada LLC.

A subcamada LLC também retira seu cabeçalho do quadro e o envia para a camada CIF. Nesta camada, retira-se o cabeçalho CIF e, o comutador realizando a função de mapeamento dos quadros para células ATM, interpreta o cabeçalho CIF e o VPI/VCI ATM.

A CIF-PDU com uma carga útil múltipla de 48 bytes é entregue à camada SAR, que a segmenta em SAR-PDUs de 48 bytes. A camada ATM recebe as SAR-PDUs e

acrescenta a cada uma seu cabeçalho gerando assim células ATM. Estas células são repassadas para a camada física, que dependendo do tipo de interface utilizada, acrescenta um cabeçalho ou ordena as células para a transmissão à taxa de 100, 140, 155 Mbps ou superior.

Para os dados que chegam no comutador B e host B, os procedimentos descritos ocorrem de modo inverso, até que todos os dados sejam transmitidos na origem.

As conexões virtuais oferecidas pela rede “backbone” ATM são do tipo comutadas (SVC - “Switched Virtual Connections”) e são estabelecidas através do protocolo de sinalização. Como as estações de trabalho usam interfaces de rede com padrão Ethernet/IEEE 802.3 ou Token Ring é necessário um software de sinalização ATM [8] para que as aplicações ATM sejam executadas, como ilustrado nas Figuras 5.3 e 5.4.

6.4 - CONCLUSÕES

Foi apresentado neste capítulo, uma análise comparativa do comportamento dos esquemas de 28 células e 31 células. No esquema de 28 células, as células ATM são integralmente encapsuladas dentro da carga útil do quadro IEEE 802.3/ Ethernet. Já o esquema de 31 células ou CIF, as cargas úteis das células ATM são transportadas em quadros IEEE 802.3/ Ethernet, onde cada quadro suporta até 31 células ATM-SDU e um único cabeçalho é inserido em cada quadro.

Como resultado desta análise, o protocolo “Cells-In-Frames” mostrou uma eficiência superior em transportar células ATM por quadro/segundo em relação ao esquema de 28 células. Espera-se com essa capacidade trazer benefícios como o aumento da vazão na rede

local pelo aumento da capacidade de transporte de células em quadros e uma redução na quantidade de “overhead” que otimiza a utilização do meio.

CAPÍTULO VII

ANÁLISE DE DESEMPENHO DA PROPOSTA DE APLICAÇÃO DO PROTOCOLO “CELLS-IN-FRAMES”

7.1 - INTRODUÇÃO

A implementação de protocolos e sua integração com ambientes de redes são fatores decisivos no desempenho destes protocolos. Neste capítulo, far-se-á uma análise do comportamento do protocolo CIF quando utilizado em redes de arquitetura IEEE 802.3/Ethernet sendo interconectadas por meio de uma rede backbone ATM, através de modelagem e simulação.

7.2 - A ARQUITETURA DO SISTEMA DE INTERCONEXÃO DE REDES POR MEIO DE UMA REDE “BACKBONE” ATM UTILIZANDO O PROTOCOLO CIF E SUA OPERAÇÃO

Usuários de redes tradicionais esperam um aumento considerável no desempenho quando uma rede “backbone” ATM está interconectando suas redes. A utilização do protocolo CIF define um caminho para enviar o ATM sobre redes Ethernet ou Token-Ring, transmitindo

predefinição de atrasos, perdas e a integração de tráfego multimídia, para junto das estações de trabalho.

A Figura 7.1 ilustra a arquitetura do sistema de interconexão de redes com a utilização do protocolo CIF.

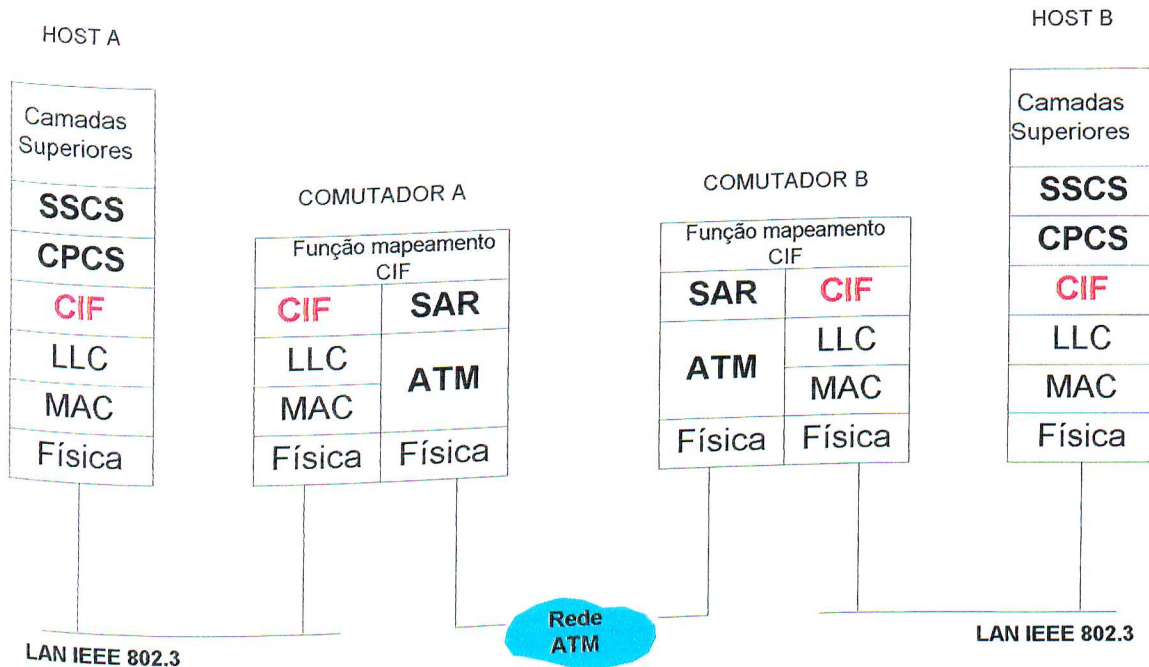


Figura 7.1 - Arquitetura do sistema de interconexão de redes baseado no protocolo "Cells-In-Frames".

O objetivo deste Capítulo é a realização de uma análise de desempenho quando utilizado o protocolo CIF nas redes locais IEEE 802.3/Ethernet interconectadas por meio de redes ATM, considerando a simulação como ferramenta para o desenvolvimento dessa análise.

Para efeito de simulação, vários aspectos foram considerados e estão relacionados abaixo:

- Uma única estação de trabalho em cada rede IEEE 802.3.

- A taxa entre as estações e os comutadores CIF é de 10 Mbps e entre os comutadores CIF é de 155,52 Mbps.

- A funcionalidade das camadas foi observada a nível de inserção e remoção de cabeçalhos.

- O meio de transmissão é livre de ruídos.

- O tempo de cada simulação foi considerado como sendo igual a 1 segundo.

- A unidade de tempo de simulação utilizada foi o micro-segundo (μs).

- As mensagens são de tamanho fixo.

A linguagem de simulação utilizada foi o Awesim. Com esta linguagem, desenvolveu-se um cenário que associando os elementos disponíveis do software tem-se a representação da arquitetura proposta de forma aceitável para um sistema de computação. Este cenário é composto da representação da rede, do controle para o estabelecimento dos parâmetros e dos relatórios de saída, cujos dados foram utilizados na construção dos gráficos.

O tamanho das mensagens geradas é a primeira consideração a ser levada em conta na simulação. Para cada execução do cenário é determinado o tamanho das mensagens de acordo com a quantidade de células requeridas em cada situação. Ou seja, o tamanho das AAL-SDUs é fixado em valores de 480 até 1488 bytes, ou seja, de 10 células até 31 células, quando considera-se o esquema de 31 células e de 530 bytes até 1484 bytes para o esquema de 28 células.

Em linhas gerais, apresenta-se a seguir uma exemplificação do esquema de 31 células. Neste caso, quando as camadas superiores da estação de trabalho A enviam mensagens fixas e as entregam à camada CS como uma AAL-SDU de 400 bytes, estas seguem agora como uma CPCS-SDU sofrendo o preenchimento ("padding"), se necessário, até torná-las múltiplas de 48 bytes incluindo o acréscimo do "trailer", o que resulta em mensagens de 480 bytes ou 10 cargas úteis de células ATM.

Cada mensagem assim gerada é entregue à camada CIF como uma CPCS-PDU, que recebe o cabeçalho dessa nova camada. Note que a proposta de empacotamento de células em quadros está sendo considerada além da inserção de um único cabeçalho CIF para cada quadro, onde 5 bytes da estrutura do cabeçalho da camada CIF carregam a cópia de um cabeçalho ATM.

A subcamada LLC recebe o quadro e a ele insere seu cabeçalho que é entregue à subcamada MAC. Esta, por sua vez, acrescenta seu cabeçalho, sem a necessidade de adicionar os bits de enchimento (PAD) devido aos quadros já serem de tamanhos exigidos pelo quadro MAC.

No passo seguinte, os quadros são enviados para o comutador CIF A. Neste, os cabeçalhos começam a ser retirados conforme o quadro vai passando pela pilha de protocolos do comutador. O comutador CIF tem como função a interpretação do VPI/VCI compostos no cabeçalho CIF e que são utilizados para criação do cabeçalho ATM. Na subcamada SAR, o quadro é segmentado em SAR-PDUs de 48 bytes e este cabeçalho será inserido a cada 48 bytes permitindo a formação das células ATM. As células são, então, enviadas para a camada física para serem transmitidas ao comutador CIF B. Começa então o caminho inverso até aqui percorrido.

Esse processo é repetido para todos os tamanhos de mensagens, de 10 células até 31 células, que é o número máximo de células que o quadro pode transportar.

Na simulação executada para o esquema de 28 células, a diferença se fez no tamanho das mensagens que já eram enviadas múltiplas de 53 bytes, ou seja, os cabeçalhos ATM já estavam incluídos. Fez-se o mesmo caminho das entidades múltiplas de 48 bytes. Porém, na camada ATM seu tempo de inserção de cabeçalho foi desprezado.

Como as AAL-SDUs foram representadas com tamanhos fixos em cada situação simulada, elas sempre caberiam em um quadro Ethernet de 1500 bytes. Por isso, nenhum tipo de sequenciação foi utilizado, isto é, não houve segmentação das AAL-SDUs geradas.

A simulação do sistema foi unidirecional e apenas o tráfego CIF foi executado.

7.3 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

O comportamento da aplicação do protocolo CIF foi observado por meio do programa simulador, tendo em vista a obtenção de medidas de desempenho, tais como a vazão ("throughput"), a quantidade de células transferidas em quadros por segundo, a percentagem de "overhead" e a banda passante disponível. A seguir, apresenta-se os resultados obtidos para diferentes tamanhos de mensagens (AAL-SDU).

A Figura 7.2 mostra o comportamento da rede referente à vazão ("throughput") para uma variação de comprimento da AAL-SDUs entre 400 bytes até 1488 bytes no esquema de 31 células por quadro.

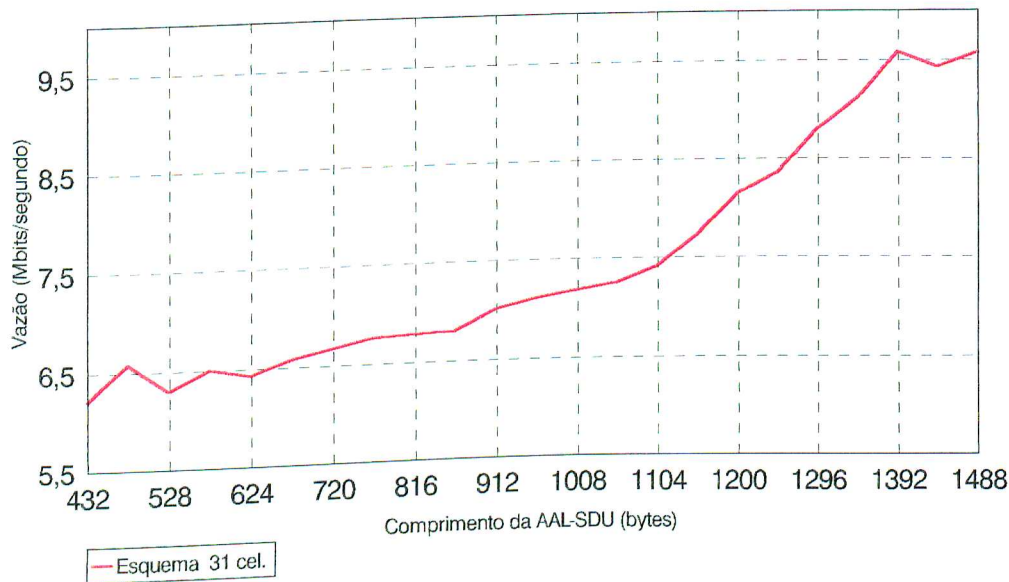


Figura 7.2 - Vazão para diferentes tamanhos de AAL-SDUs.

Observa-se que à medida que se aumenta a quantidade de células na rede, a vazão também aumenta e, quando chegou-se ao transporte de um quadro totalmente preenchido, ou seja, 31 células, houve uma pequena redução de vazão e uma tendência de estabilização.

Uma outra característica observada foi o tipo de curva mostrada no gráfico, a qual atribui-se à fragmentação do quadro realizada em várias SAR-PDUs. Na verdade, deveria existir um “serrilhamento” no gráfico a cada 48 bytes, representando um enchimento de byte a byte de cada PDU. Contudo os tempos considerados para a soma de um byte na simulação são insignificantes, o que torna impossível perceber a mudança. Então apresentou-se pontos que foram capazes de captar esse efeito.

Os resultados obtidos com o esquema de 28 células estão representados na Figura 7.3. De forma similar ao esquema de 31 células, houve um acréscimo da vazão ("throughput").

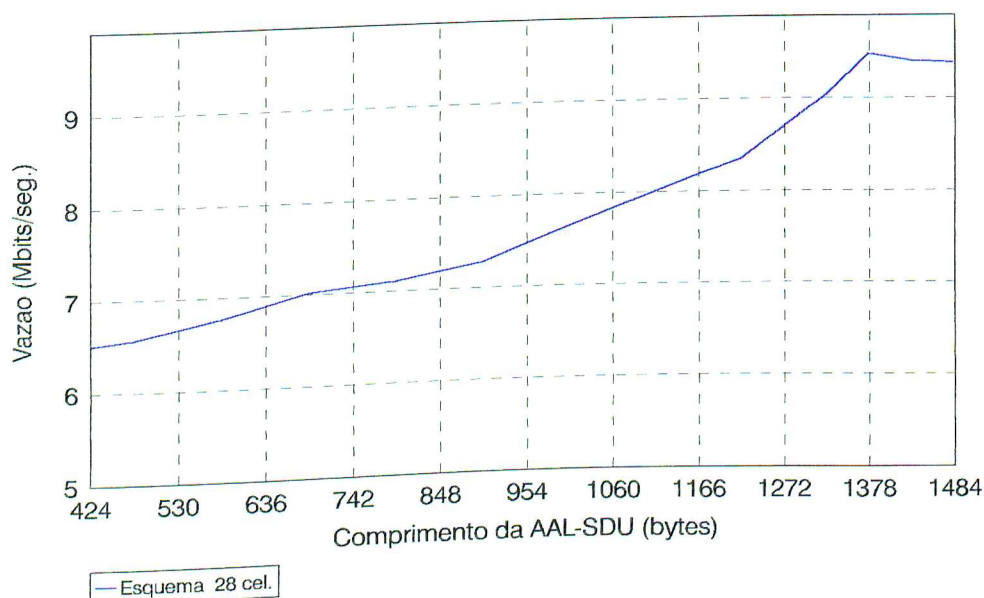


Figura 7.3 - Vazão para diferentes tamanhos de AAL-SDUs.

A Figura 7.4 permite comparar os resultados obtidos com ambos os esquemas. Conforme sugere esta figura, à medida que o número de células em um quadro aumenta há um pequeno acréscimo na vazão, o que significa um melhor desempenho para a rede.

O início da curva plotada para o esquema de 28 células, mostrou-se ter um maior aproveitamento do transporte de células em quadros. Porém, o esquema de 31 células demonstra que a quantidade de células transportada por um quadro traz consigo uma melhoria de desempenho da rede em questão.

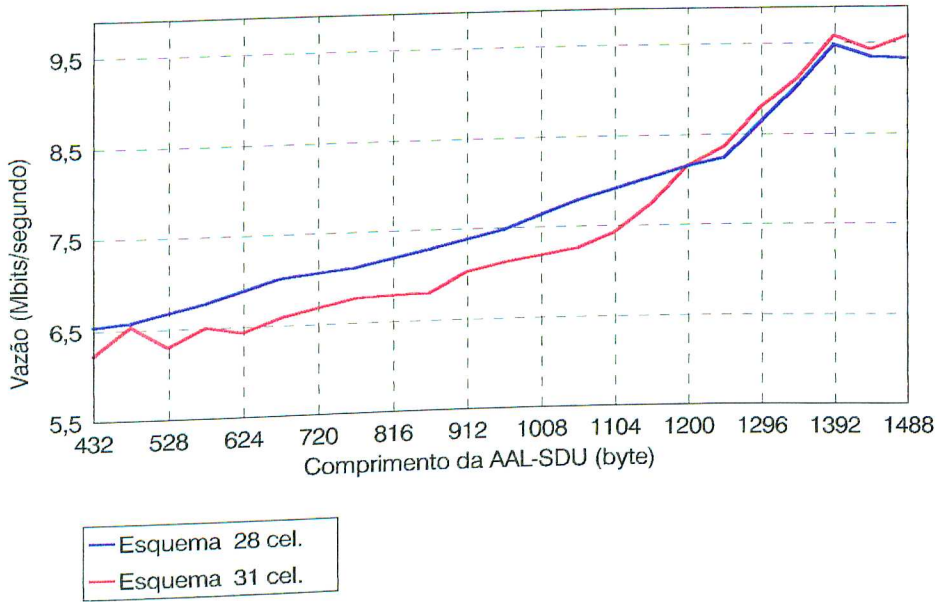
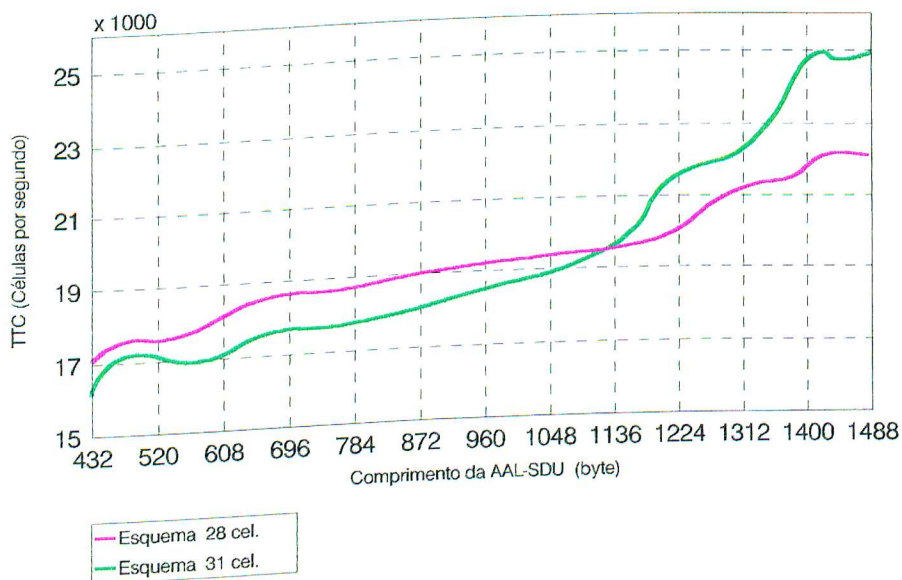


Figura 7.4 - Comparação dos dois esquemas.

No Capítulo VI foi apresentado um estudo analítico dos dois processos. Aqui, através da simulação, os resultados desse estudo foram comprovados, pois com a otimização da quantidade de células/quadro, o desempenho da rede será aumentado, o que se permite concluir que o esquema de 31 células (CIF) é melhor que o esquema de 28 células. A Figura 7.5 ilustra a maior capacidade de transporte de células por segundo do esquema de 31 células.



7.5 - Número de células transportadas em um quadro por segundo.

A implementação do CIF, como mencionado anteriormente, reduz o “overhead” pela própria condição da transferência de cargas úteis com apenas um cabeçalho para cada quadro, pode-se observar que o “overhead” diminui substancialmente com o aumento da mensagem enviada.

No esquema de 28 células, à medida que se aumenta o número de células por quadro o “overhead” também diminui, mas numa proporção bem menor. Para um melhor entendimento de como se comporta o “overhead” de protocolo, a Figura 7.6 ilustra tal situação, considerando a topologia da rede local da arquitetura proposta.

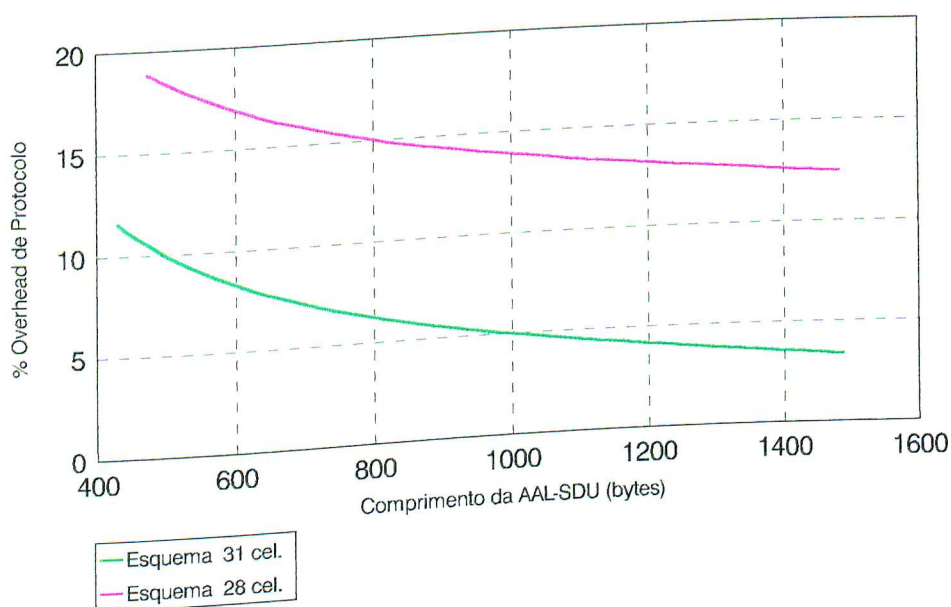


Figura 7.6 - Percentagem de “overhead”.

Para realizar a transferência de dados através da rede, cada protocolo necessita enviar informações para fins de controle, ou seja, o “overhead”. Isso implica em uma não utilização total da banda passante oferecida pelo meio de comunicação. Dessa forma, a

eficiência da utilização do meio depende da quantidade de “overhead”. A Figura 7.7 mostra a banda passante disponível à camada de aplicação para uma taxa de linha de 10 Mbps.

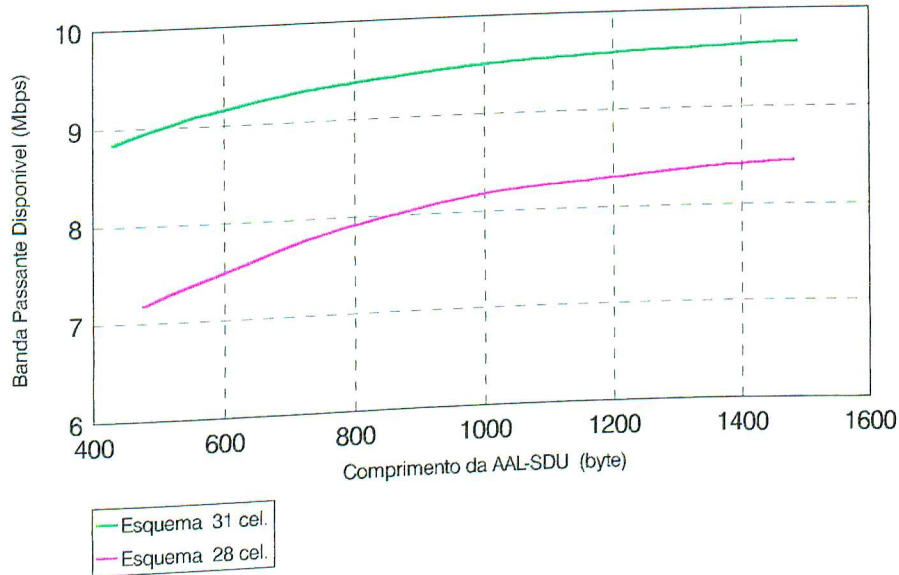


Figura 7.7 - Banda passante disponível.

7.4 - CONCLUSÕES

Pela análise realizada neste capítulo, validou-se, por meio de simulação, os resultados analíticos obtidos no Capítulo anterior, os quais permitiram verificar que o protocolo de 31 células possibilita a otimização do transporte de células em quadros IEEE 802.3. Além disso, concluí-se, conforme esperado, que quanto maior o número de células/quadro maior será a utilização do meio físico de transmissão.

Uma outra observação é a redução do “overhead” quando utilizado o esquema de 31 célula ou CIF. Apesar de uma diminuição de “overhead” também ter sido constatada no esquema de 28 células, a percentagem de “overhead” é significativamente menor no esquema

de 31 células, à medida que há um aumento no tamanho das mensagens transferidas; o que reflete na eficiência da utilização da capacidade de transmissão do meio de comunicação.

Sabe-se que a utilização de células traz consigo algumas vantagens importantes e úteis num ambiente multimídia onde convivem vários tipos diferentes de informação. Com o emprego de unidades de dados de tamanho fixo torna-se fácil a acomodação de uma variedade de tipos diferentes de tráfego e de taxas de transmissão. O protocolo CIF aponta um caminho para a exploração dos recursos de integração de serviços oferecidos pelo ATM e ainda suportando o tráfego de mensagens de comprimento variado.

Uma outra característica importante do CIF é a de permitir o suporte ao QoS ATM, necessário para realizar o requerimento da banda passante, e garantir os limites de retardo, variação de retardo, taxa de perda de células, etc. Ao contrário de métodos como “LAN Emulation” do ATM Forum, a grande maioria dos benefícios que o ATM pode oferecer, podem ser mantidos pelo CIF, com destaque para a garantia de QoS.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSÕES GERAIS

A disseminação das redes locais de computadores deu origem a uma nova necessidade: a interconexão de redes. Além disso, a grande variedade de tipos de redes, com protocolos e características próprias impulsionou a busca de interoperabilidade entre diferentes tecnologias.

Por outro lado, tecnologias de rede já estabelecidas, adequadas à presente realidade, tornam-se gradativamente obsoletas. Porém, elas necessitam continuar a serem utilizadas, uma vez que um nível elevado de investimento já foi realizado tanto em hardware quanto em software. Contudo, diante das exigências dos usuários por redes de altas velocidades, baixos atrasos e serviços de qualidade, acreditou-se na viabilização de uma união entre as técnicas que oferecem a possibilidade de transmissão em altas velocidades, a integração de serviços e a flexibilidade para satisfazer a requisitos de tráfego sob demanda de usuários e operadoras nas suas já existentes redes locais.

A tecnologia ATM é capaz de suportar diferentes tipos de tráfego em altas velocidades e, logo percebeu-se, também, que como estratégia de rede “backbone” entre redes locais, o ATM criaria vínculos entre as tecnologias e daria maior capacidade às mesmas.

O protocolo “Cells-In-Frames” está sendo desenvolvido como um protocolo que possibilita o transporte de células e sinalização ATM através de uma rede IEEE 802.3/Ethernet. Isto permite a extensão fim-a-fim do protocolo ATM, o que é alcançado através da alteração de parte do software que implementa as funções de comunicação do sistema operacional de redes na estação de trabalho.

O transporte de células em quadros de LANs pode trazer importantes benefícios, tais como:

- Menor “overhead”: A quantidade de “overhead” influencia diretamente na eficiência da rede e, conseqüentemente, na vazão, uma vez que a banda passante disponível para os dados de usuários diminui, as células são empacotadas dentro de um quadro IEEE 802.3/Ethernet com apenas um cabeçalho para um conjunto de 31 células que pertencem a um mesmo VC. O protocolo CIF também evita que funções como segmentação e remontagem, cálculo de AAL5-CRC e gerenciamento de tráfego sejam tratados pelas estações de trabalho. Dessa forma, o CIF pode reduzir o “overhead” para aproximadamente 5%.

- Elimina a necessidade de aquisição de novas interfaces de rede, exclusivas para redes ATM (têm custo elevado no momento), pois o processamento é realizado com um software e o acesso às estações de trabalho é de baixo custo por permitir o uso das atuais interfaces instaladas.

- O protocolo CIF permite que as funções de QoS ATM sejam implementadas e o controle de fluxo seja suportado sobre a rede IEEE 802.3/Ethernet. O controle de fluxo ABR é mantido fim-a-fim eliminando-se a sub-utilização da rede e as altas perdas de células.

- A utilização do protocolo CIF em uma estação de trabalho provê funcionalidade total do ATM, porém sem perder a identidade com outras tecnologias existentes.

Nos estudos de avaliação de desempenho realizado neste trabalho verificou-se que o sistema de interconexão de redes baseado no protocolo CIF proposto apresenta vazão similar aos testes realizados pela Universidade de Cornell, apresentados na referência [34].

Uma característica observada foi que com o aumento do número de células por quadro a vazão também é acrescida, ou seja, há um ganho maximizando a quantidade de células por quadro. E em consequência do carregamento de mais células transportadas em um quadro com o uso de um único cabeçalho representando a semântica do cabeçalho ATM, implica-se em redução de “overhead”, contrariando a desvantagem inerente ao ATM que é o “overhead” introduzido pela presença obrigatória do cabeçalho em cada célula.

Adicionalmente conclui-se que o protocolo CIF provê um caminho para obter a funcionalidade do controle de fluxo ATM e da QoS sobre tecnologias baseadas em quadros. Na verdade, ele é um protocolo eficiente para a integração de voz e dados suportado por hardware de LANs tradicionais.

Para a continuidade deste trabalho sugere-se um estudo de avaliação de desempenho que considere o tráfego CIF juntamente com o tráfego IEEE 802.3/Ethernet em uma rede com mais estações. Dessa forma, verificar-se-ia, além do comportamento do CIF, o desempenho de tecnologias de LANs trabalhando juntamente com o protocolo CIF.

Trabalhos recentes demostram que a adoção de um modelo para as chegadas de quadros e células ao comutador CIF baseado no processo de Poisson não é muito realista. Portanto, propõe-se como trabalho futuro, o desenvolvimento de um estudo analítico e/ou de

simulação que considere uma modelagem baseada em processos auto-semelhantes (“self-similarity”) [55, 56].

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DIXON, R.C., Cells-In-Frames : A System Overview, IEEE Network, July/August 1996.
- [2] BRIM, S.W., Cells-In-Frames 1.0 : specification, Analyses, and Discussion, Cornell University, October 1996, (available at <http://cif.cornell.edu>).
- [3] ARMITAGE, G. J., The Application of Asynchronous Transfer Mode to Multimedia and Local Area Networks, Ph. D. thesis, University of Melbourne, Australia, June 1994.
- [4] ROBERTS, L. G., Cells-In-Frames - A New Approach to ATM, May 1996, (available at <http://www.ziplink.net/~lroberts>).
- [5] LAUBACH, M., Classical IP and ARP over ATM, IETF RFC 1577, Jan 1994.
- [6] ROBERTS, L. G., Cells-In-Frames - ATM with Variable Length Packets, March 1997, (available at <http://www.ziplink.net/~lroberts>).
- [7] ROBERTS, L. G., Request for Coordination of Cells-In-Frames Specification, Baltimore, August 1996, (available at <http://www.ziplink.net/~lroberts>).
- [8] ROBERTS, L.G., CIF: Affordable ATM, At Last, April 1997, (available at <http://www.data.com/tutorials/cif>).
- [9] KAVAK, N., Data Communication in ATM Network, IEEE Network, vol. 9, no3, May/June 1995.

- [10] MONTEIRO, J.A.S., Rede Digital de Serviços Integrados de Faixa Larga (RDSI-FL)
Recife : UFPE-DI, 1994.
- [11] HEINANEN, J., Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaptation Layer 5, RFC
1483, July 1993.
- [12] ADAMS, K. M. et al., Architecture of a Multimedia Desktop Workstation, Proc.
Australian Vide Communications Workshop, Melbourne, pp. 76-85, July 1990.
- [13] COGGER, R., IEEE 802.1 Looking for Guidance - Cells-In-Frames, Rem - Conf.
Internet mailing list (rem-conf@isi.edu), July 1994.
- [14] CEREDA, R. L. D. et al., ATM - O Futuro da Redes, São Paulo: Makron Books: Brisa,
1997.
- [15] FISCHER, W. et al., Data Communication Using ATM: Architectures, Protocols, and
Resource Management, IEEE Network Magazine, August 1994.
- [16] BRIM, S. W. et al., Unified Communication over ATM at Cornell University, (available
at <http://cif.cornell.edu>).
- [17] CHRISTENSEN, K et al., Local Area Network- Evolving from Shared Access to
Switched Access, IBM Sys. J., vol.34, no3, 1995.
- [18] ALLES, A., "ATM Internetworking", Cisco Systems, Las Vegas. March, 1995.
- [19] The ATM Forum Technical Committee af-tm-56.000, ATM Forum Traffic Management
Specification Version 4.0.
- [20] The ATM Forum Technical Committee af-sig-0061.000, ATM Forum User-Network
Interfaces (UNI) Signalling Specification Version 4.0.

- [21] TANENBAUM, A. S., Computer Networks - Third Edition, Prentice Hall, 1996.
- [22] CARVALHO, T. C.M. B. et al., Arquitetura de Redes de Computadores OSI e TCP/IP, EMBRATEL, Editora Makron Books, 1994.
- [23] TRUONG, H. L. et al., LAN Emulation on an ATM Network, IEEE Communication Magazine, May 1995.
- [24] ROBERTS, L.G., ATM with Explicit Rate Flow Control, March 22/1997, (available at <http://www.ziplink.net/~lroberts>).
- [25] CHARNY, A., Congestion Control with Explicit Rate Indication, July 94, (available at <ftp://netlab.ohio-state/pub/jain>).
- [26] JAIN, R. et al., Source Behavior for ATM ABR Traffic Management: An Explanation, October 96.
- [27] ITU-T. Recommendation I.363: B-ISDN ATM Adaptation Layer (AAL) Specification, 03/93.
- [28] ITU-T. Recommendation I.362: B-ISDN ATM Adaptation Layer (AAL) Functional Description, 03/93.
- [29] MOURA, J.A.B. et al., Redes Locais de Computadores: Protocolos de Alto Nível e Avaliação de Desempenho, EMBRATEL, Editora McGraw-Hill, 1986.
- [30] KEISER, G.E., Local Area Network, Editora McGraw-Hill, 1989.
- [31] DE PRYCKER, M., Asynchronous Transfer Mode - Solution for Broadband ISDN, 2nd Edition, Ellis Horwood, 1993.

- [32] PRYTSKER, A.A.B., Simulation with Visual SLAM and Awesim, John Wiley & Sons, 1996.
- [33] PRITSKER, A. A. B., Awesim - Total Simulation Project Support - User's Guide Version 1.4, Pritsker Corporation, July 1996.
- [34] Cornell University, CIF Preliminary Net Analysis Results, 1997, (available at <http://cif.cornell.edu>).
- [35] BRIM, S. W. et al., Unified Communication over ATM at Cornell University Version 2.0, January 199, (available at <http://cif.cornell.edu>).
- [36] MACLEAN, M. R., Ethernet Twist May Spark ATM Work, LAN Times, 1996.
- [37] CBTT-13 - Comissão Brasileira de Telegrafia e Telefonia N. 13, Fixação de Conceitos em RDSI-FL, Primeira Edição, 1992.
- [38] CAVANAUGH, J. D. et al., Internetworking with ATM WANs, Minnesota Supercomputer Center, December 1992.
- [39] BISDIKIAN, C. et al., The Use of Priorities on Token-Ring Networks for Multimedia Traffic, IEEE Network, November/December 1995.
- [40] STAALHAGEN, L. et al., A Comparison Between the OSI Reference Model and the B-ISDN Protocol Reference Model, IEEE Network, January/February 1996.
- [41] ITU-T. Recommendation I.411: ISDN User Network Interface - Reference Configuration, Geneva, March 1993.
- [42] ITU-T. Recommendation I.413: B-ISDN User Network Interface, Geneva, March 1993.
- [43] ITU-T. Recommendation I.150: B-ISDN ATM Functional Characteristics, 03/93.

- [44] ITU-T. Recommendation I.361: B-ISDN ATM Layer Specification, 03/93.
- [45] ITU-T. Recommendation I.321: B-ISDN Protocol Reference Model and Its Application
1991.
- [46] SOARES, L. F. G., Modelagem e Simulação Discreta de Sistemas. Editora Campos,
1992.
- [47] VETTER, R. J., ATM Concepts, Architectures, and Protocols, Communications of the
ACM, Vol. 38, No 2, pp 30-38, February 1995.
- [48] NEWMAN, P., ATM Local Area Networks, IEEE Communications Magazine, March
1994.
- [49] CHAO, H. J. et al., IP on ATM Local Area Networks, IEEE Communications Magazine,
August 1994.
- [50] JAIN, R., Congestion Control and Traffic Management in ATM Networks: Recent
Advances and A Survey, Department of Computer and Information Science, The
Ohio State University, January, 1995.
- [51] TABOR, D. Z., Hardware Protocol Layers - Lesson 4, New Jersey Institute of
Technology, September, 1995.
- [52] BONOMI, F. et al., The Available Bit Rate Service, (available at
<http://www.ZEITNET.COM/atm>).
- [53] DASILVA, L. A. et al., ATM WAN Performance Tools, Experiments, and Results,
IEEE Communication Magazine, August 1997.

- [54] SOARES, LUIZ F. G. et al., Redes de Computadores - Das LANs, MANs e WANs às Redes ATM, EMBRATEL, Editora Campus, 1995.
- [55] LELAND, W. E., et al., On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic. ACM SIGComm 93, San Francisco, CA, USA, September 1993.
- [56] WILLINGER, W., et al., Self-Similar Through High-Variability: Statistical Analysis of Ethernet LAN Traffic at the Source Level. IEEE ACM Transactions on Networking. Vol 5, N 1, February 1997.

Publicações:

- [57] BOAVENTURA, T. T. & GUARDIEIRO, P. R., Uma Proposta de Aplicação do Protocolo "Cells-In-Frames" para a Interconexão de Redes ATM e IEEE 802.3/Ethernet Anais do II Seminário de Estudo em Engenharia Elétrica II - SEEE, Universidade Federal de Uberlândia, 9 a 13 de março de 1998, pp. 25-33.
- [58] BOAVENTURA, T. T. & GUARDIEIRO, P. R., An Internetworking Architecture Based on Cells-In-Frames Mechanism accepted for publication in ENCOM-98, Atlanta, Georgia - USA, June 07 -11, 1998.
- [59] BOAVENTURA, T. T. & GUARDIEIRO, P. R., ATM over the Desktop and Legacy LAN Interconnection via ATM Backbone - A Cells-In-Frames Protocol Based System accepted for publication in INDC'98, Aveiro, Portugal, June 15 - 17, 1998.

APÊNDICE A

MODELO REDUZIDO DO SISTEMA DE INTERCONEXÃO DE REDES ATM E IEEE 802.3/ETHERNET UTILIZANDO O PROTOCOLO “CELLS-IN-FRAMES”

A.1 - DESCRIÇÃO

O modelo do sistema de interconexão de redes ATM e IEEE 802.3/Ethernet utilizando o protocolo “Cells-In-Frames” foi dividido em módulos básicos, interligados numa sequência lógica.

O módulo de entrada possui as funções de geração e liberação das entidades de acordo com a determinação do sistema. A seleção e liberação das entidades é feita conforme o tamanho das mensagens a serem transmitidas. A representação deste módulo é ilustrada pela Figura A.1.

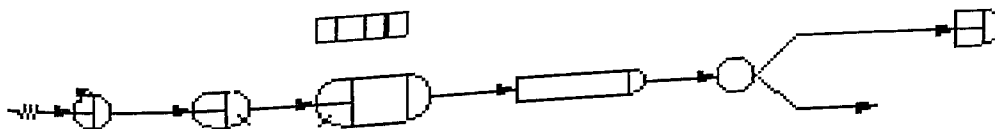


Figura A.1 - Módulo de entrada.

O módulo de inserção e remoção de cabeçalhos de cada camada, além da função de transmissão do Host A para o Host B é representado pelas Figuras A.2 e A.3.

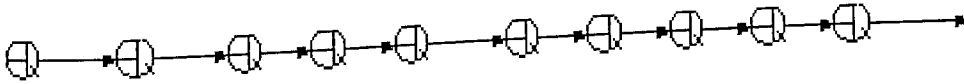


Figura A.2 - Módulo Transmissão Host - Comutador

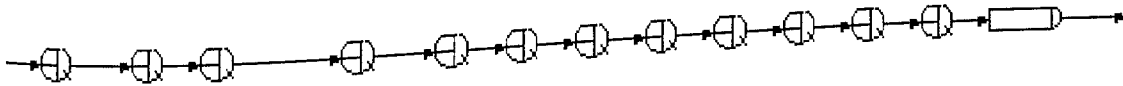


Figura A.3 - Módulo Transmissão Comutador - Host.

A Figura A.4 representa o módulo onde as condições utilizadas pelo protocolo “Cells-In-Frames” devem se respeitadas.

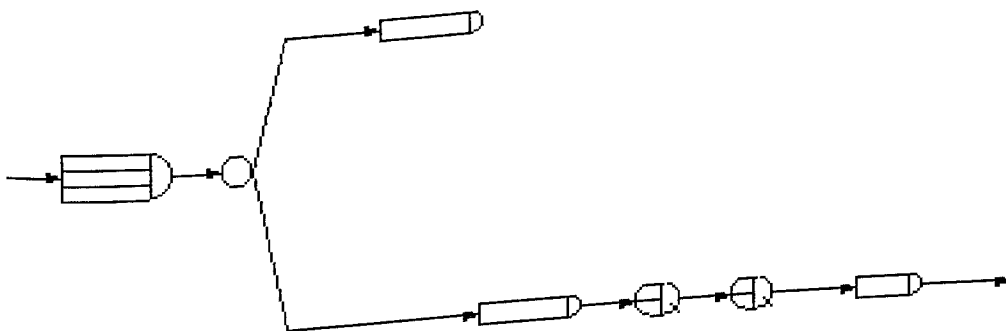


Figura A.4 - Módulo Função CIF

As Figuras A.5, A.6 e A.7 representam as decisões a serem tomadas de acordo com o comportamento exigido pela rede, respeitando principalmente as exigências do protocolo CIF.

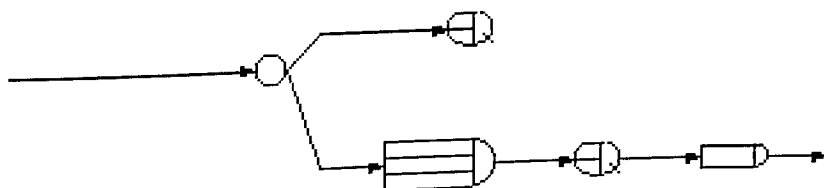


Figura A.5 - Módulo 5.

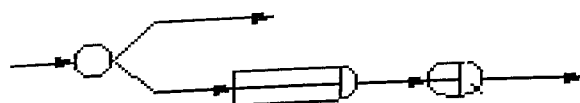


Figura A.6 - Módulo 6.

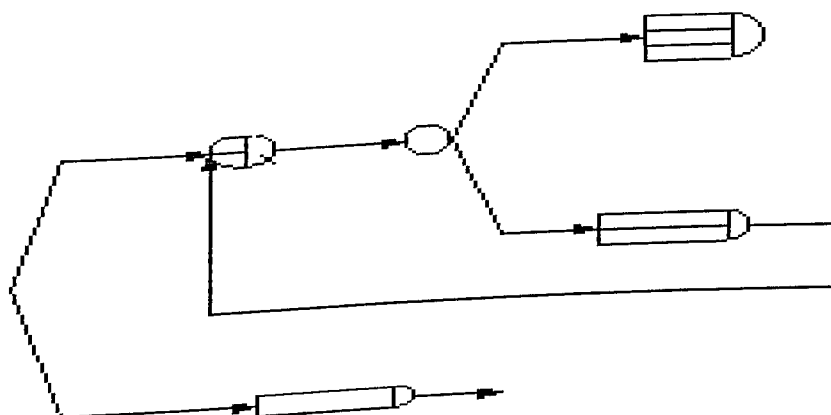


Figura A.7 - Módulo 7.

O módulo de saída é representado pela Figura A.8, que tem como função o recebimento dos segmentos transmitidos.

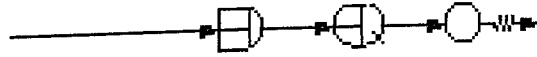


Figura A.8 - Módulo de saída.

APÊNDICE B

PROGRAMA GERADO PARA O MODELO DO SISTEMA DE INTERCONEXÃO DE REDES ATM E IEEE 802.3/ ETHERNET UTILIZANDO O PROTOCOLO “CELLS-IN-FRAMES”

B.1 - PROGRAMA

Um exemplo do programa principal gerado para a simulação é apresentado a seguir. Selecionou-se para este exemplo, o programa referente ao tamanho de quadro de 1488 bytes. Para as demais condições de simulação, as variáveis e o tamanho do quadro são alterados.

```
GEN, "CIF, Ether/ATM" ,,, YES, YES;  
LIMITS, 105, , , 5;  
INITIALIZE, , 1000, YES;  
INTLC, { {XX[1], 0.03648}, {XX[2], 0.006080}, {XX[3], 0.001520}, {XX[4],  
0.01368}, {XX[5], 0.006080},  
{XX[6], 0.465120}, {XX[7], 0.000240}, {XX[8], 0.004320},  
{XX[9], 0.116640}, {XX[10], 0.000240}, {XX[40], 0},  
{XX[41], 0}, {XX[42], 32}, {XX[50], 12}, {XX[51], 13},  
{XX[70], 0}, {XX[71], 0}, {XX[72], 0}, {XX[100], 20} };  
NET;  
FIN;  
CIF3.NET  
RESOURCE, 1, CIF, 1, {2};
```

```

CIF3.NET
CREATE,EXPON(XX[1]),0.0,,1;
ACTIVITY,1;
Q16: QUEUE,16,0,INF,NONE;
ACTIVITY,17;
AWAIT,2,{{CIF,1}},ALL,INF,NONE,INF;
ACTIVITY,18;
ASSIGN,{{XX[40],XX[40]+1}},1;
ACTIVITY,19;
GOON,1;
ACTIVITY,20,,XX[40]<=XX[50];
ACTIVITY,21,,,"Q16";
FREE,{{CIF,1}},1;
ACTIVITY,22;
ASSIGN,{{XX[41],XX[41]+1},{XX[51],XX[51]-1},
{ATRIB[2],XX[51]}},1;
ACTIVITY,23;
G1: GOON,1;
ACTIVITY,24,,ATRIB[2]==1;
ACTIVITY,25,,,"CIF_ASSIGN_2";
ASSIGN,{{XX[70],XX[70]+1}},1;
ACTIVITY,27;
GOON,1;
ACTIVITY,30,,XX[41]>=XX[42];
ACTIVITY,31,,,"CIF_ASSIGN_1";
Q21: QUEUE,21,0,INF,NONE;
ACTIVITY,86;
GOON,1;
ACTIVITY,84,,XX[72]==0,"Q1";
ACTIVITY,85;
ASSIGN,{{XX[72],XX[72]-1},{stopa,2}},1;
ACTIVITY,89;
QUEUE,22,0,INF,NONE;
ACTIVITY,87,stopa(3),,"Q21";
CIF_ASSIGN_1: ASSIGN,{{XX[40],0},{XX[51],XX[50]+1},
{XX[72],XX[72]+1}},1;
ACTIVITY,33;
QUEUE,20,0,INF,NONE;
ACTIVITY,83,stopa(2);
ASSIGN,{{stopa,3}},1;

```

```

ACTIVITY,88,,,"Q1";
CIF_ASSIGN_2: ASSIGN,{{XX[13],XX[13]+1}},1;
ACTIVITY,40;
Q18: QUEUE,18,0,INF,NONE;
ACTIVITY,26,stopa(4);
QUEUE,25,0,INF,NONE;
ACTIVITY,46;
ASSIGN,{{stopa,5}},1;
ACTIVITY,47,,,"cont";
Q1: QUEUE,1,0,INF,NONE;
ACTIVITY,2,XX[2];
QUEUE,17,0,INF,NONE;
ACTIVITY,3,XX[3];
QUEUE,3,0,INF,NONE;
ACTIVITY,4,XX[4];
QUEUE,4,0,INF,NONE;
ACTIVITY,5,XX[5];
QUEUE,5,0,INF,NONE;
ACTIVITY,6,2*XX[6];
QUEUE,6,0,INF,NONE;
ACTIVITY,7,XX[5];
QUEUE,7,0,INF,NONE;
ACTIVITY,8,XX[4];
QUEUE,8,0,INF,NONE;
ACTIVITY,9,XX[3];
QUEUE,9,0,INF,NONE;
ACTIVITY,10,XX[2];
QUEUE,10,0,INF,NONE;
ACTIVITY,11,XX[50]*XX[7];
QUEUE,11,0,INF,NONE;
ACTIVITY,12,XX[8];
QUEUE,12,0,INF,NONE;
ACTIVITY,13,2*XX[9];
QUEUE,13,0,INF,NONE;
ACTIVITY,14,XX[8];
QUEUE,14,0,INF,NONE;
ACTIVITY,15,XX[50]*XX[10];
QUEUE,15,0,INF,NONE;
ACTIVITY,16,XX[2];
QUEUE,26,0,INF,NONE;

```

```

ACTIVITY,54,XX[3];
QUEUE,27,0,INF,NONE;
ACTIVITY,55,XX[4];
QUEUE,28,0,INF,NONE;
ACTIVITY,56,XX[5];
QUEUE,29,0,INF,NONE;
ACTIVITY,57,2*XX[6];
QUEUE,30,0,INF,NONE;
ACTIVITY,58,XX[5];
QUEUE,31,0,INF,NONE;
ACTIVITY,59,XX[4];
QUEUE,32,0,INF,NONE;
ACTIVITY,60,XX[3];
QUEUE,33,0,INF,NONE;
ACTIVITY,61,XX[2];
ASSIGN,{{XX[70],XX[70]-1}},1;
ACTIVITY,35,,,"G2";
G2: GOON,1;
ACTIVITY,36,,XX[70]==0;
ACTIVITY,37,,,"CIF_ASSIGN_4";
q24: QUEUE,24,0,INF,NONE;
ACTIVITY,42;
GOON,1;
ACTIVITY,38,XX[100],XX[13]==0;
ACTIVITY,43,,,"CIF_ASSIGN_3";
ASSIGN,{{XX[40],0},{XX[70],0},{XX[41],0},
{XX[51],XX[50]+1}},1
ACTIVITY,45;
FREE,{{CIF,1}},1;
ACTIVITY,81;
QUEUE,19,0,INF,NONE;
ACTIVITY,82;
TERMINATE,INF;
CIF_ASSIGN_3: ASSIGN,{{stopa,4},{XX[13],XX[13]-1}};
ACTIVITY,44,stopa(5),,"q24";
CIF_ASSIGN_4: ASSIGN,{{XX[13],XX[13]+1}};
ACTIVITY,41,,,"Q18";
END;

```