
Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências e Tecnologia
Coordenação de Pós-graduação em Informática

Dissertação de Mestrado

**Simulação e Análise de Mecanismos de Controle de
Fluxo para Serviço ABR em Redes ATM**

por

Paulo Sérgio Sausen

Campina Grande, Paraíba, Brasil

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências e Tecnologia
Coordenação de Pós-graduação em Informática

Paulo Sérgio Sausen

**Simulação e Análise de Mecanismos de Controle de
Fluxo para Serviço ABR em Redes ATM**

*Dissertação submetida ao curso de
Pós-Graduação em Informática do
Centro de Ciências e Tecnologia da
Universidade Federal da Paraíba,
em cumprimento às exigências parciais
para obtenção do grau de Mestre
em informática.*

Área de Concentração: Ciência da Computação

Sub-área: Redes de Computadores

Orientadores: Maria Izabel Cavalcanti Cabral

William Ferreira Giozza

Campina Grande, Agosto de 1998.



S259s Sausen, Paulo Sérgio.
Simulação e análise de mecanismos de controle de fluxo para serviço ABR em redes ATM / Paulo Sérgio Sausen. - Campina Grande, 1998.
69 f.

Dissertação (Mestrado em Informática) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1998.
"Orientação : Profa. Dra. Maria Izabel Cavalcante Cabral, Prof. Dr. William Ferreira Giozza".
Referências.

1. Redes de Computadores. 2. Redes ATM. 3. Controle de Fluxo - Simulação e Análise. 4. Dissertação - Informática. I. Cabral, Maria Izabel Cavalcanti. II. Giozza, William Ferreira. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título

CDU 004.7(043)

SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE MECANISMOS DE CONTROLE DE
FLUXO PARA SERVIÇO ABR EM REDES ATM

PAULO SÉRGIO SAUSEN

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 10.08.1998

PROF. WILLIAM FERREIRA GIOZZA, Dr.
Orientador

PROF. MARIA IZABEL CAVALCANTI CABRAL, D.Sc
Orientadora

PROF. JOBERTO SÉRGIO BARBOSA MARTINS, Dr.
Examinador

PROF. GUIDO LEMOS DE SOUZA FILHO, Dr.
Examinador

CAMPINA GRANDE - PB

Aos meus pais Alfonso Bruno e
Maria Hedy Sausen, pela ajuda,
confiança e amor que sempre
depositaram em mim.

Agradecimentos

- Agradeço a meus pais, irmãos e minha namorada que mesmo nas horas mais difíceis sempre me deram força, amor e compreensão.
- Agradeço ao Professor Giozza e a Professora Maria Izabel pelo apoio e confiança.
- Agradeço aos meus amigos Artur Kronbauer, Paulo Martins, Milena Pessoa e em especial a Fabiano Salvadori, que tantas vezes participaram de momentos alegres e tristes ao meu lado.
- Agradeço a Sergio Dill e Dirceu Teixeira e demais colegas de trabalho da Unijui, que contribuem para o bom andamento de minhas atividades profissionais.
- Agradeço a Unijui e ao CNPq que financiaram a realização deste trabalho.
- Finalmente agradeço aos muitos amigos que fiz por todos os lugares que passei e que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho.

Resumo

Este trabalho analisa os mecanismos de controle de fluxo para serviço ABR em redes ATM. O objetivo do serviço ABR é regular a taxa de transmissão das células diretamente na fonte de dados, em virtude do estado de carga da rede.

No serviço ABR, o comutador ATM pode adotar dois mecanismos: binário e o ER (*Explicit Rate*). No mecanismo binário, o comutador simplesmente, após constatar o congestionamento, marca todas as células que passam por ele como congestionadas, cabendo à fonte realizar o procedimento de redução de sua taxa de transmissão. No mecanismo ER, que apresenta diversas variações, o comutador ATM pode monitorar o tráfego da rede e calcular a taxa de transmissão que a rede pode suportar e, posteriormente, informar essa taxa a fonte por intermédio das células RM (*Resource Management*).

Neste trabalho, são abordados o mecanismo de controle de fluxo binário *EFCI* (*Explicit Forward Congestion Indication*) e dois mecanismos ER: o *EPRCA* (*Enhanced Proportional Rate Control Algorithm*) e o NIST ER. Estes mecanismos foram simulados e seus resultados, analisados e comparados. Como ferramenta de simulação utilizou-se uma versão *shareware* do simulador NIST ATM. As seguintes medidas de desempenho são apresentadas em função do tempo: ACR (*Allowed Cell Rate*), ocupação de *buffer* e utilização de enlace. Outras medidas como valor médio de ACR, vazão e equidade também são apresentadas. Essa última medida, permite verificar o quanto os mecanismos simulados são justos na alocação de banda.

Abstract

This present work analyses the mechanisms of flow control for ABR services on ATM networks. The aim of ABR service is to adjust the transmission rate of the cells, directly onto the data source, owing to the charge condition of the network.

On ABR service, the ATM switch may adopt two different mechanisms - the binary mechanism and the ER (Explicit Rate) one. Under the binary mechanism soon after detecting the congestion, the switch will mark every cell which passes by, as congested one, having the source to accomplish the procedure of transmission rate reduction. On the ER mechanism, which shows several variations, the ATM switch is able to broadcast the network traffic and calculate the transmission rate which can be tolerated by the network and, subsequently, inform this rate to the source through the RM cells (Resource Management).

In this work the binary flow control mechanism EFCI (Explicit Forward Congestion Indication) and two ER mechanisms - the EPRCA (Enhanced Proportional Rate Control Algorithm) and NIST ER, are discussed. These mechanisms were simulated and their results were analysed and compared. A shareware version of the NIST ATM was used as a simulation tool. The following performance measurements are shown on regards to time: ACR (Allowed Cell Rate), buffer occupation and link utilization. Other measurements such as average value of ACR, throughput and fairness, are also shown. The fairness measurement allows to verify how fair the simulated mechanisms are in bandwidth allocation.

Sumário

Lista de Figuras.....	vii
Lista de Tabelas.....	viii
Capítulo 1 – Introdução.....	1
1.1 Objetivos.....	3
1.2 Relevância.....	3
1.3 Estrutura da Dissertação.....	4
Capítulo 2 – O Serviço ABR.....	6
2.1 Redes ATM.....	6
2.2 Controle de Fluxo em Redes ATM.....	8
2.2.1 Mecanismo de Controle de Fluxo Baseado em Crédito.....	10
2.2.2 Mecanismo de Controle de Fluxo Baseado em Taxa de Transmissão	11
2.3 Parâmetros de Qualidade de Serviço.....	12
2.4 Categorias de Serviço segundo o Fórum ATM.....	13
2.4.1 <i>Constant Bit Rate (CBR)</i>	13
2.4.2 <i>real-time Variable Bit Rate (rtVBR)</i>	14
2.4.3 <i>nonreal-time Variable Bit Rate (nrtVBR)</i>	14
2.4.4 <i>Unspecified Bit Rate (UBR)</i>	15
2.4.5 <i>Available Bit Rate (ABR)</i>	15
2.5 Definição das Capacidades de Transferência Segundo o ITU-T.....	18
2.6 Modelo de Controle de Fluxo ABR.....	19
2.6.1 Estrutura da Célula RM	21
2.6.2 Descrição dos Campos da Célula RM.....	22
2.6.3 Descrição dos Parâmetros do Serviço ABR.....	24

2.6.4 Procedimentos da Fonte.....	25
2.6.5 Procedimentos do Destino.....	27
2.6.6 Procedimentos do Comutador.....	28
Capítulo 3 – Mecanismos de Controle de Fluxo para Serviço ABR.....	30
3.1 Mecanismo de Controle EFCL.....	30
3.2 Mecanismo de Controle NIST ER.....	33
3.3 Mecanismo de Controle EPRCA.....	34
Capítulo 4 – Simulação dos Mecanismos de Controle de Fluxo ABR.....	37
4.1 Introdução.....	37
4.2 Descrição dos Componentes do Simulador.....	38
4.2.1 Comutador ATM.....	39
4.2.2 Equipamento Terminal de Banda Larga (BTE).....	39
4.2.3 Aplicação ATM.....	39
4.2.4 Enlace Físico.....	39
4.3 Funcionalidades do Simulador NIST ATM.....	39
4.4 Topologia da Rede.....	40
4.5 Fontes de Tráfego.....	42
4.6 Medidas de Desempenho.....	42
4.6.1 Vazão	42
4.6.2 ACR	42
4.6.3 Equidade (<i>Fairness</i>).....	43
4.6.4 Ocupação de <i>Buffer</i>	43
4.6.5 Utilização de Enlace.....	43
Capítulo 5 – Apresentação dos Resultados.....	44
5.1 Introdução.....	44
5.2 Parâmetros de Simulação.....	44

5.3 Vazão	45
5.4 ACR vs Tempo.....	47
5.5 Equidade (<i>Fairness</i>).....	49
5.6 Ocupação de <i>Buffer</i> vs Tempo.....	51
5.7 Utilização de Enlace vs Tempo.....	53
Capítulo 6 – Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros.....	56
Referências Bibliográficas	59
Apêndice.....	63
Glossário.....	67

Lista de Figuras

Figura 2.1	Múltiplas Redes Combinadas em uma Só.....	7
Figura 2.2	Formato da Célula ATM.....	7
Figura 2.3	Estrutura do Cabeçalho da Célula ATM na UNI e NNI	7
Figura 2.4	Conceito do Modo de Transferência Assíncrono.....	8
Figura 2.5	Controle de Fluxo Baseado em Crédito	10
Figura 2.6	Controle de Fluxo Baseado em Taxa Fim-a-Fim.....	11
Figura 2.7	<i>Constant Bit Rate</i>	14
Figura 2.8	rtVBR e nrtVBR.....	14
Figura 2.9	ABR e UBR	15
Figura 2.10	Categorias de Serviço ATM e suas Aplicações	16
Figura 2.11	Definição de Fontes/Destinos Virtuais.....	20
Figura 3.1	Procedimentos do Comutador - EFCI.....	31
Figura 3.2	Procedimentos do Destino - EFCI	31
Figura 3.3	Procedimentos da Fonte - EFCI.....	32
Figura 3.4	Mecanismo NIST ER.....	33
Figura 3.5	Mecanismo EPRCA	35
Figura 4.1	Configuração do Modelo de Rede.....	41
Figura 5.1	ACR (EPRCA).....	48
Figura 5.2	ACR (EFCI)	48
Figura 5.3	ACR (NIST).....	49
Figura 5.4	Ocupação de <i>Buffer</i> vs Tempo - NIST.....	52
Figura 5.5	Ocupação de <i>Buffer</i> vs Tempo- EFCI.....	53
Figura 5.6	Ocupação de <i>Buffer</i> vs Tempo- EPRCA.....	54
Figura 5.7	Utilização de Enlace - NIST	54
Figura 5.8	Utilização de Enlace - EFCI.....	54
Figura 5.9	Utilização de Enlace - EPRCA	55

Lista de Tabelas

Tabela 2.1	Parâmetros e Atributos das Categorias de Serviço ATM.....	17
Tabela 2.2	Capacidade de Transferência (ITU-T) e Categorias de Serviço (Fórum ATM).....	19
Tabela 2.3	Campos e Posições da Célula RM.....	21
Tabela 2.4	Valores Iniciais dos Campos da Célula RM.....	23
Tabela 2.5	Descrição dos Parâmetros do Serviço ABR.....	24
Tabela 5.1	Lista dos Parâmetros de Controle ABR.....	45
Tabela 5.2	Vazão em Relação a Taxa Ideal (Percentual).....	47
Tabela 5.3	Valor Médio de ACR (Mbps).....	48
Tabela 5.4	Valores Médios de ACR (Mbps) para as Fontes.....	50
Tabela 5.5	Índice de Equidade (FS).....	51
Tabela 5.6	Utilização de Buffer (Células).....	52
Tabela 5.7	Utilização de Enlace (Mbps).....	53

Capítulo 1

Introdução

Com o desenvolvimento da tecnologia digital, diferentes tipos de informações (dados, imagens, sons) passaram a ser transmitidos de forma integrada, surgindo assim os chamados sistemas multimídias que exigem redes de alta velocidade [CHEN 96].

Tradicionalmente, os sistemas de comunicação foram desenvolvidos para atender a uma única mídia. Por exemplo, o sistema telefônico para voz; as redes de pacotes para dados textuais; vídeo e televisão em redes de radiodifusão ou a cabo [SOARES 95]. A Rede Digital de Serviços Integrados Faixa Larga (RDSI-FL) [MONT 94] surgiu para fornecer uma infra-estrutura de transporte única para diversas mídias, numa única rede.

O modo de transferência da informação utilizado na implementação da RDSI-FL é o Modo de Transferência Assíncrono (ATM). O ATM é uma tecnologia baseada na transmissão de pequenas unidades de informação de tamanho fixo e formato padronizado, denominadas células.

A arquitetura orientada à células do ATM, possibilita integrar todos os serviços citados anteriormente num mesmo enlace, e também provê um grau distinto de QoS (Qualidade de Serviço) para cada um, tudo isso aliado a uma alta velocidade de transmissão [JAIN 92a].

Com a introdução do ATM, surgiu um grande número de desafios para os projetistas de rede, destacando-se entre eles, o controle de fluxo, visto que o ATM integra uma grande variedade de serviços em um mesmo enlace.

Com o objetivo de otimizar ao máximo a utilização do enlace com integração de serviços, foi desenvolvido o serviço ABR (*Available Bit Rate*). O ABR proporciona uma alta utilização do enlace por justamente usar a banda não utilizada pelos demais serviços (em especial o VBR – *Variable Bit Rate*).

O serviço ABR foi projetado para suportar o fluxo de dados, que hoje conhecemos como tráfego de dados, ou seja, um tráfego que requer um variado grau de integridade e tolerância a atrasos [LARRY 94].

O objetivo do serviço ABR é regular a taxa de transmissão de células diretamente na fonte, em virtude do estado de carga da rede. Esse ajuste é realizado de forma arbitrária, existindo um compromisso de que a banda disponível seja compartilhada de forma igual em todas as conexões.

No serviço ABR, existem dois mecanismos de controle de fluxo que o comutador ATM pode adotar: EFCI (*Explicit Forward Congestion Indication*), também conhecido como mecanismo binário, e o ER (*Explicit Rate*). No mecanismo EFCI, o comutador simplesmente, após constatar congestionamento, marca todas as células de dados que passam por ele como congestionadas, cabendo à fonte realizar o procedimento de redução da taxa de transmissão. Já no mecanismo ER, o comutador é mais inteligente quando comparado com o EFCI, pois pode monitorar o tráfego e calcular qual taxa de transmissão o VC (*Virtual Connection*) pode suportar [NEW 94].

Em [CHANG 95b] são apresentados variações de algoritmos para o mecanismo ER. Neste trabalho abordamos o mecanismo EPRCA (*Enhanced Proportional Rate Control*

Algorithm), padrão Fórum ATM na especificação *Traffic Management Version 4.0* (TM 4.0) e o mecanismo de controle NIST ER [GOLMIE 95b].

Os mecanismos EFCI e EPRCA foram adotados neste trabalho por serem padrão Fórum ATM. O Fórum ATM é uma organização internacional, sem fins lucrativos, formada por mais de 900 membros (companhias, indústrias, universidades) com o objetivo de acelerar o uso dos produtos e serviços da tecnologia ATM. O mecanismo NIST ER foi adotado para proporcionar imparcialidade neste estudo, já que o mesmo foi sugerido/construído pelo NIST (*National Institute of Standards and Technology*) que é um órgão de pesquisa independente do Fórum ATM.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo sobre os mecanismos de controle de fluxo ABR em redes ATM, mais especificamente, o mecanismo de controle de fluxo binário EFCI (*Explicit Forward Congestion Indication*) e dois mecanismos ER: o EPRCA (*Enhanced Proportional Rate Control Algorithm*) e o NIST ER *Switch Mechanism*.

Estes três mecanismos foram simulados e seus resultados analisados e comparados. Como ferramenta de simulação utilizou-se uma versão *shareware* do simulador NIST ATM. As medidas de desempenho de interesse analisadas são apresentadas em função do tempo. São elas: ACR (*Allowed Cell Rate*), ocupação de *buffer* e utilização de enlace. Outras medidas como valor médio de ACR, vazão e equidade também são apresentadas. Essa última medida, permite verificar o quanto os mecanismos simulados são justos na alocação de banda.

1.2 Relevância

Com a adoção do ATM como modo de transferência na RDSI-FL (Redes Digital de Serviços Integrados - Faixa Larga), permitindo a integração de uma variedade de serviços em um mesmo enlace físico, os mecanismos de controle de fluxo passam a ter papel relevante nos projetos dessas redes, procurando garantir melhor desempenho e a qualidade de serviço requerida por seus usuários. Em particular, o mecanismo de controle de fluxo ABR

se destaca por trabalhar com a banda excedente dos demais serviços, em especial, a do serviço VBR (*Variable Bit Rate*).

Estudos sobre os mecanismos de controle de fluxo em serviço ABR ainda são escassos. Entre eles, podemos destacar: [DUCAN 97] que estuda a integração do controle de fluxo baseado em taxa e o controle de fluxo baseado em crédito numa mesma rede; [CHANG 95a] que analisa a interoperabilidade dos mecanismos EFCI e ER numa mesma rede e, [LLOR 96], que compara os mecanismos ER e o mecanismo EFCI em termos de equidade.

Esta dissertação vem contribuir com a apresentação de novos estudos e análises de mecanismos de controle de fluxo sob tráfego ABR, em um ambiente que simula uma WAN (*Wide Area Network*). As análises apresentadas, baseadas em resultados obtidos através da técnica da simulação, permitem comparar medidas de desempenho do mecanismo EFCI e de dois mecanismos ER: o EPRCA e o NIST.

Ressaltamos que esse trabalho enriquece os estudos sobre controle de fluxo ABR, pois agrupa em um mesmo estudo, um conjunto de medidas de desempenho relevantes, que são: ACR (*Allowed Cell Rate*), valor médio de ACR, utilização de *buffer*, ocupação de enlace, vazão e equidade.

1.3 Estrutura da Dissertação

O restante dessa dissertação está organizada em 5 (cinco) capítulos:

No Capítulo 2, é apresentada uma breve visão sobre a tecnologia ATM e suas classes de serviço, em especial, o serviço ABR.

No Capítulo 3, é abordado o Controle de Fluxo ABR em redes ATM onde são apresentados os modelos dos mecanismos de controle de fluxo EFCI e ER, com as variantes EPRCA e NIST.

No Capítulo 4, é apresentado o ambiente de simulação juntamente com as medidas de desempenho obtidas nas simulações dos modelos.

No Capítulo 5, são apresentados os parâmetros utilizados nos modelos simulados, os resultados obtidos e uma análise comparativa dos desempenhos dos mecanismos simulados.

Finalmente, no Capítulo 6, são apresentadas as conclusões e as sugestões de continuidade desse trabalho.

Capítulo 2

O SERVIÇO ABR

2.1 Redes ATM

A Rede Digital de Serviços Integrados de Faixa Estreita (RDSI-FE) é uma rede de comunicação projetada para suportar diversos tipos de serviços, oferecendo um meio comum para transferência de dados, voz e imagens, com enlace de baixa velocidade.

A Rede Digital de Serviços Integrados Faixa Larga (RDSI-FL), é uma evolução da RDSI-FE, fornece uma infra-estrutura de transporte para aplicações que geram dados a altas taxas de transmissão bits [MONT 94].

A RDSI-FL suporta conexões comutadas, permanentes e semi-permanentes. Elas podem ser ponto-a-ponto, ponto-a-multiponto ou multiponto-a-multiponto. Além do mais, os serviços podem ser fornecidos sob demanda, reservados ou permanentes. Suporta serviços modo circuito ou modo pacote, do tipo mono ou multimídia, orientado ou não a conexões, e configurações unidirecionais e bidirecionais.

O modo de transferência de informação utilizado na implementação da RDSI-FL é o Modo de Transferência Assíncrono (ATM – *Asynchronous Transfer Mode*).



Figura 2.1 – Múltiplas Redes Combinadas em uma só .

O ATM é um modo de transmissão, orientado à conexão, que integra diversos serviços, tais como dados, voz e vídeo, otimizando o uso efetivo da banda devido à multiplexação estatística de pequenas unidades de tamanho fixo, chamadas de células. As células ATM são transportadas assincronamente através da rede, da fonte até o destino. O padrão ATM define que todas as células devem possuir tamanho fixo de 53 octetos, sendo os 5 primeiros, o cabeçalho, e os 47 restantes, a carga, como mostra a Figura 2.2.

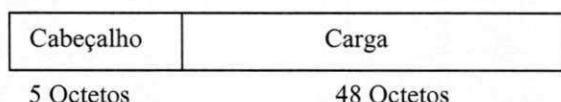


Figura 2.2 – Formato da Célula ATM.

A recomendação I.361 [ITU-T 93] especifica o formato das células ATM e de que forma o encaminhamento das células é feito na rede baseando-se na informação contida nos campos do cabeçalho [SOARES 95]. O formato do cabeçalho da célula ATM difere na NNI (*Network to Network Interface*) e UNI (*User Network Interface*), como mostra a Figura 2.3.

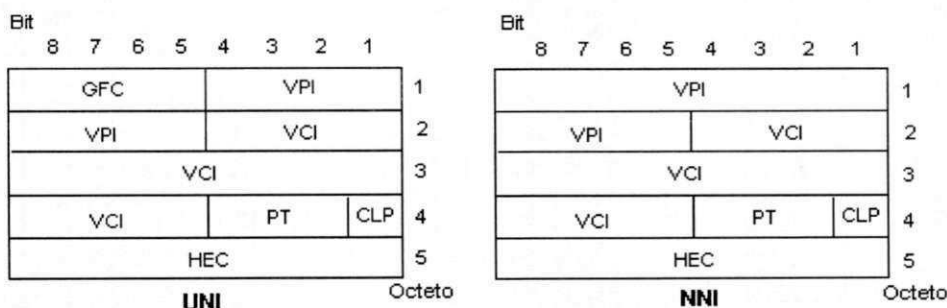


Figura 2.3 – Estrutura do Cabeçalho da Célula ATM na UNI e NNI.

O campo GFC (*Generic Flow Control*) foi introduzido com a finalidade de regular o fluxo de tráfego numa rede ATM. O campo VPI (*Virtual Path Identifier*) em conjunto com o VCI (*Virtual Channel Identifier*) formam o rótulo da conexão utilizado pelos comutadores para encaminhar as células ao destino.

O campo PT (*Payload Type*) é usado com o propósito de indicar o tipo de informação contida na célula. O campo CLP (*Cell Loss Priority*) indica a prioridade em caso de necessidade de descarte de células (células com CLP=1 são descartadas primeiro). O campo HEC é utilizado para detecção de erros no cabeçalho.

As células ATM são multiplexadas estatisticamente na rede, e são identificadas por informações contidas no seu cabeçalho. No destino, a informação do usuário é remontada e passada à camada superior como ilustrado na Figura 2.4.

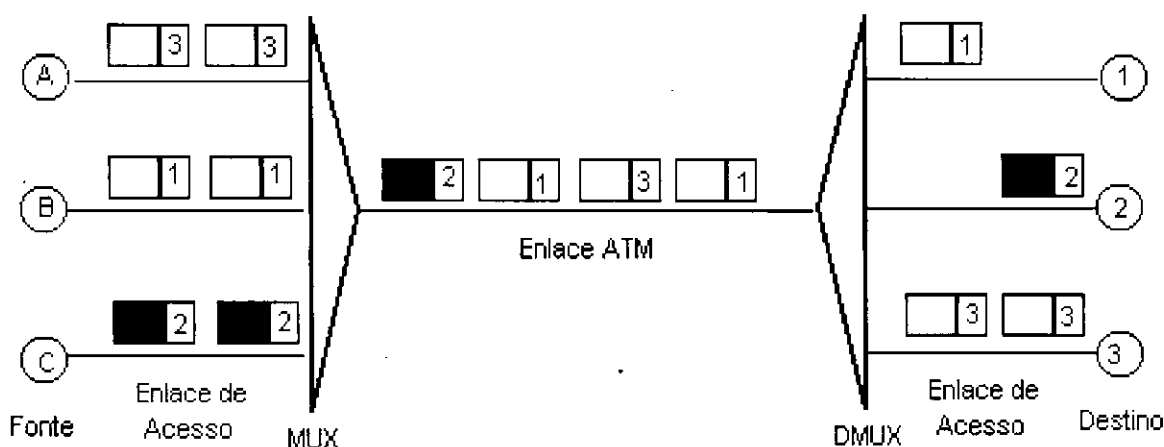


Figura 2.4 – Conceito do Modo de Transferência Assíncrono.

2.2 Controle de Fluxo em Redes ATM

A integração de vários serviços em um mesmo enlace é sem dúvida uma das principais vantagens da tecnologia ATM. Entretanto, quanto maior a variedade de serviço em um mesmo enlace, mais complexo e difícil será o mecanismo de controle de fluxo, agravando assim o problema do controle daquilo que deve ser evitado em todas as redes, o congestionamento.

Congestionamento ocorre quando a demanda de recursos excede a disponibilidade dos mesmos, em um determinado intervalo de tempo. Quando ocorre a situação de congestionamento, a primeira consequência é a perda da Qualidade de Serviço (pelo usuário) e do eficiente uso dos recursos da rede (pelo provedor do serviço).

O controle de fluxo é uma tarefa extremamente difícil pelo grande número de combinações de características das aplicações, da rede e dos níveis de detecção e reação aos congestionamentos. Um bom controle de fluxo deve possuir uma boa relação entre complexidade e eficiência.

Conforme [MCDY 94], para obtenção da eficiência de um controle de fluxo, vários itens são considerados, entre eles:

- a) Estabilidade;
- b) Utilização de Enlace;
- c) Ocupação de *Buffer*;
- d) Complexidade;
- e) Equidade;
- f) Atraso.

Intuitivamente podemos observar que alta vazão e utilização de enlace, bem como baixa ocupação de *buffer* e complexidade são desejáveis em qualquer mecanismo de controle de fluxo. Todos esses itens estão intimamente relacionados com a medida de equidade, pois é ela que define o quanto um mecanismo de controle de fluxo distribui de forma justa, a banda disponível de enlace.

Na próxima seção são descritas as propostas para controle de fluxo, o mecanismo de controle baseado em crédito e o mecanismo baseado em taxa. Esse último mecanismo é padrão adotado atualmente pelo Fórum ATM.

2.2.1 Mecanismo de Controle de Fluxo Baseado em Crédito

Originalmente, este mecanismo ilustrado na Figura 2.5, foi proposto por H.T Kung [KUNG 93]. O mecanismo de controle de fluxo baseado em crédito consiste em um controle baseado em janelas, por VC (*Virtual Connection*). Cada enlace consiste de um nó remetente (pode ser uma fonte ou um comutador) e de um nó receptor (pode ser um comutador ou um nó de destino). Cada nó gerencia separadamente a fila para cada VC. O tamanho máximo da fila para cada VC é relacionado ao número máximo de células que o nó remetente pode transmitir. Este número é chamado de crédito. O remetente transmite apenas o número de células definido pelo seu crédito.

Caso exista apenas um VC ativo no enlace, o crédito deve ser suficientemente grande para utilizar toda banda disponível. Em outras palavras, a taxa de células do enlace pode ser computada dividindo a disponibilidade em Mbps pelo tamanho das células em bits [DUCAN 97].

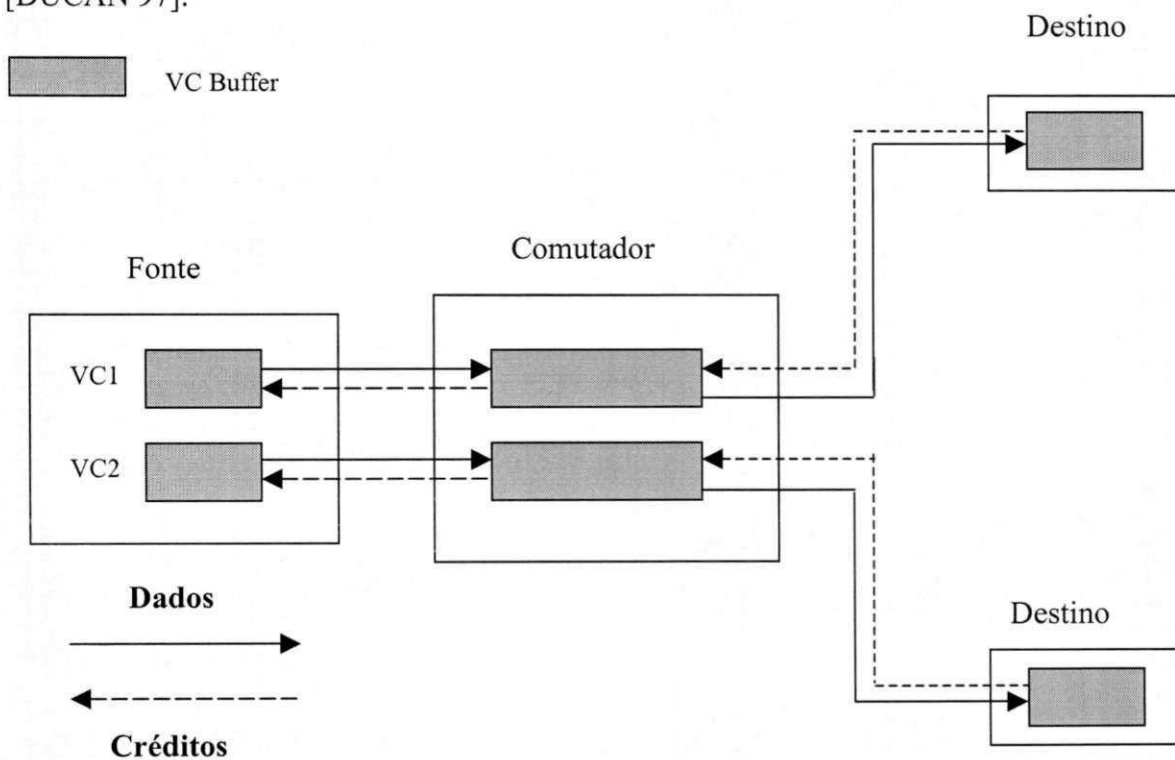


Figura 2.5 – Controle de Fluxo baseado em Crédito.

2.3 Parâmetros de Qualidade de Serviço

Para medir a Qualidade de Serviço (QoS – *Quality of Service*), foi definido um conjunto de parâmetros que é negociado no estabelecimento de uma conexão ATM. Uma vez negociada a QoS, a rede deve garantir esse conjunto de parâmetros durante todo tempo que a conexão estiver ativa. A rede deve garantir a QoS com base nos seguintes parâmetros:

- a) *Cell Transfer Delay* (CTD): é o atraso que corresponde ao intervalo de tempo entre o primeiro bit da célula transmitida pela fonte e o último bit da célula recebida pelo destino. Podem ser especificados ainda o valor máximo do CTD (*Maximum Cell Transfer Delay* (Max CTD)) e o valor médio para o CTD (*Mean Cell Transfer Delay* (Mean CTD)).
- b) *Cell Delay Variation* (CDV): algumas vezes também chamado de *jitter* do atraso, determina a variação do atraso das células numa mesma conexão.
- c) *Cell Loss Ratio* (CLR): é a taxa de perda de células. As células podem ser perdidas por mau funcionamento do comutador, ou mesmo, podem ser descartadas em decorrência de um congestionamento no mesmo.

Durante o estabelecimento de uma conexão ATM, também são negociados parâmetros que visam disciplinar o usuário para que este não utilize recursos acima do contratado, prejudicando a sua QoS e as dos demais usuários da rede. A rede somente provê QoS para as células que não violarem os parâmetros pré-estabelecidos na conexão. São eles:

- a) *Peak Cell Rate* (PCR): é a taxa máxima que o usuário pode transmitir;
- b) *Sustained Cell Rate* (SCR): é a taxa média suportada pela conexão. Ver definição [FÓRUM 96];
- c) *Burst Tolerance* (BT): é o tamanho máximo de “burst” admitido na conexão;
- d) *Maximum Burst Size* (MBS): é o número máximo de células que podem ser transmitidas na taxa de pico;
- e) *Minimum Cell Rate* (MCR): é a taxa mínima requerida pelo usuário.

2.4 Categorias de Serviço segundo o Fórum ATM

As categorias de serviço ATM permitem ao usuário flexibilidade ao acesso dos recursos de redes, bem como possibilita optar pela escolha de uma delas, levando em conta, o desempenho e o custo. O Fórum ATM na especificação *Traffic Management 4.0* (TM4.0) definiu 5 (cinco) categorias de serviços baseadas nos parâmetros de QoS apresentados na Seção 2.3. São elas:

- a) *Constant Bit Rate* (CBR);
- b) *real-time Variable Bit Rate* (rtVBR);
- c) *nonreal-time Variable Bit Rate* (nrtVBR);
- d) *Unspecified Bit Rate* (UBR);
- e) *Available Bit Rate* (ABR).

Essas categorias de serviço relatam as características de tráfego e os requisitos de QoS para os procedimentos de rede. Funções tais como roteamento, controle de admissão de conexão e alocação de recursos são, em geral, estruturadas diferentemente para cada categoria de serviço.

2.4.1 *Constant Bit Rate* (CBR)

A categoria de serviço CBR, é semelhante ao serviço de linha dedicada, pois aloca uma taxa constante durante toda a duração de uma conexão, como é mostrado na Figura 2.6. A taxa sempre é alocada pelo PCR (*Peak Cell Rate*), ou seja, pela taxa de pico do serviço. Como exemplo de aplicações que utilizam a categoria de serviço CBR temos vídeo conferência e sistemas de vídeo *pay-per-view*, com fluxos de áudio e vídeo transmitidos sem compressão.

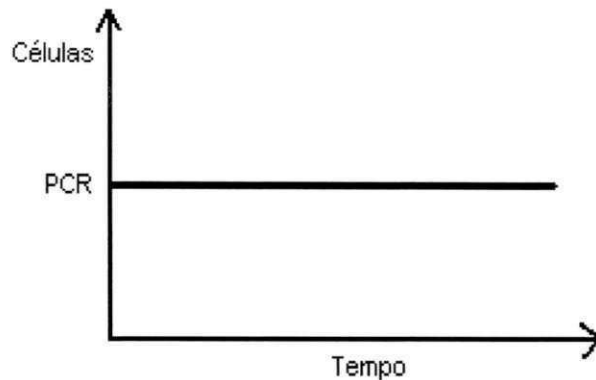


Figura 2.7 – *Constant Bit Rate*

2.4.2 *real-time Variable Bit Rate (rtVBR)*

A categoria de serviço rtVBR é planejada para aplicações em tempo real, que são extremamente exigentes no tocante ao atraso e às variações de atraso, onde no entanto, não é necessário fixar a taxa de transmissão. Uma conexão rtVBR é caracterizada pelos parâmetros PCR, SCR (*Sustained Cell Rate*) e MBS (*Maximum Burst Size*). Como exemplo, podemos citar as aplicações de vídeo interativo compactado.

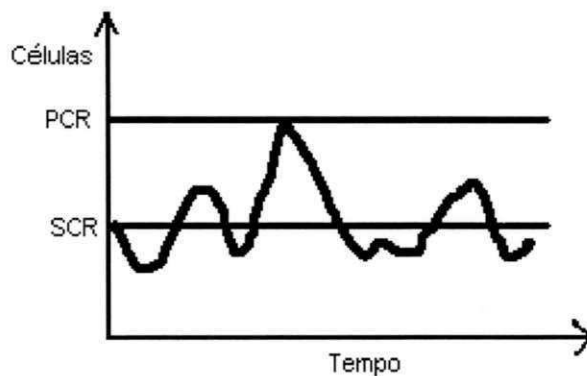


Figura 2.8 – *rtVBR e nrtVBR*

2.4.3 *nonreal-time Variable Bit Rate (nrtVBR)*

A categoria de serviço nrtVBR é planejada para aplicações que não requeiram processamento em tempo real, mas que possuem características de tráfego “*bursty*” as quais, como o serviço rtVBR, são caracterizadas pelos parâmetros PCR, SCR (*Sustained Cell*

ATRIBUTOS	CATEGORIAS DE SERVIÇO				
	CBR	rt-VBR	nrt-VBR	UBR	ABR
PARÂMETROS DE TRÁFEGO					
PCR e CDVT _(4,5)	Sim			Sim ₂	Sim ₃
SCR, MBS, CDVT _(4,5)	n/a	Sim		n/a	
MCR ₄	n/a			n/a	Sim
PARÂMETROS DE QOS					
<i>Peak-to-Peak</i> CDV	Sim		Não		
Max CTD	Sim		Não		
CLR ₄	Sim			Não	Veja 1
OUTROS ATRIBUTOS					
Realimentação	Não				Sim

Notas:

1 – O valor CLR é pequeno para fontes que ajustam a taxa com mecanismo de realimentação. No entanto, o valor quantitativo para CLR é especificado dependendo da rede.

2 – Pode não estar sujeito ao CAC (*Connection Admission Control*) e UPC (*Usage Parameter Control*).

3 – Representa a taxa máxima que a fonte ABR pode transmitir.

4 – Estes parâmetros são, explicitamente ou implicitamente, especificados para PVCs (*Permanent Virtual Connections*) ou SVCs (*Switched Virtual Connections*).

5 – CDVT (*CDV (Cell Delay Variation) Tolerance*), em geral, não apresenta apenas um valor, pode possuir vários valores ao longo do caminho da conexão.

6 – n/a: não se aplica.

Tabela 2.1 – Parâmetros e Atributos das Categorias de Serviço ATM.

2.5 Definição das Capacidades de Transferência segundo o ITU-T

O ITU-T (*International Telecommunications Union – Telecommunications*) na recomendação I.371 [ITU-T 93], especifica o tráfego e o controle de congestionamento em RDSI-FL, com a finalidade de estabelecer parâmetros negociados de QoS e as ações utilizadas pela rede para controlar o tráfego e especificar a conexão. Uma conexão ATM deve escolher uma capacidade de transferência para o *setup* da conexão. Não existe uma correspondência entre as capacidades de transferência ATM com as classes de serviço. A escolha pode ser influenciada pela disponibilidade da capacidade de alcançar a QoS, capacidade da aplicação em suportar a capacidade de transferência ou mesmo pela tarifaço [ITU-T 93].

A seguir são relacionadas as Capacidades de Transferência segundo o ITU-T:

- a) *Deterministic Bit Rate (DBR)*: para conexão com vazão conhecida e fixa; como exemplos, temos as aplicações em tempo real;
- b) *Statistical Bit Rate (SBR)*: adequadas para aplicações com taxas variadas que possuem noção de alguns parâmetros de tráfego;
- c) *ATM Block Transfer (ABT)*: baseada na proposta da *France Telecom*, trata múltiplas fontes com tráfego *bursty*;
- d) *Available Bit Rate (ABR)*: baseada na classe de serviço ABR do Fórum ATM, é indicada para fontes de tráfego que podem adaptar-se ao estado de congestionamento da rede. A Capacidade de Transferência ABR não é projetada para suportar aplicações em tempo real.

A Tabela 2.2 apresenta as equivalências entre as Capacidades de Transferência adotadas pelo ITU-T e as Categorias de Serviço do Fórum ATM.

ITUT-T	Fórum ATM
<i>Deterministic Bit Rate (DBR)</i>	<i>Constant Bit Rate (CBR)</i>
<i>Statistical Bit Rate (SBR)</i>	<i>Variable Bit Rate (VBR)</i>
<i>ATM Block Transfer (ABT)</i>	Não Definido
<i>Available Bit Rate (ABR)</i>	<i>Available Bit Rate (ABR)</i>
Não Definido	<i>Unspecified Bit Rate (UBR)</i>

Tabela 2.2 - Capacidade de Transferência (ITU-T) e Categorias de Serviço (Fórum ATM).

2.6 Modelo de Controle de Fluxo ABR

No mecanismo de controle de fluxo ABR, a taxa de transmissão de cada conexão é controlada por meio da célula RM (*Resource Management*). As células RM são transmitidas juntamente com as células de dados da fonte para o destino, levando informações sobre o estado de carga da rede.

Dependendo da informação de congestionamento recebida, a fonte pode incrementar ou decrementar sua taxa de transmissão, adequando-se ao estado de carga da rede. Todas as conexões ABR são bidirecionais e os seus nós terminais devem implementar os procedimentos SES (*Source End-System*) e DES (*Destination End-System*). Os procedimentos da fonte e do destino são detalhados na Seção 2.6.4 e Seção 2.6.5, respectivamente.

Para uma conexão ABR bidirecional, cada uma das terminações é considerada tanto fonte como destino. Por questões de simplicidade, somente o controle de informações da fonte para o destino será considerado. A direção *Forward* refere-se ao fluxo de células da fonte para o destino, e a direção *Backward* desse fluxo, do destino para a fonte.

As conexões ABR podem ser segmentadas com a finalidade de auxiliar o gerenciamento de fluxo. Segundo o Fórum ATM podem ser criados Destinos e Fontes Virtuais, conforme mostrado na Figura 2.11.

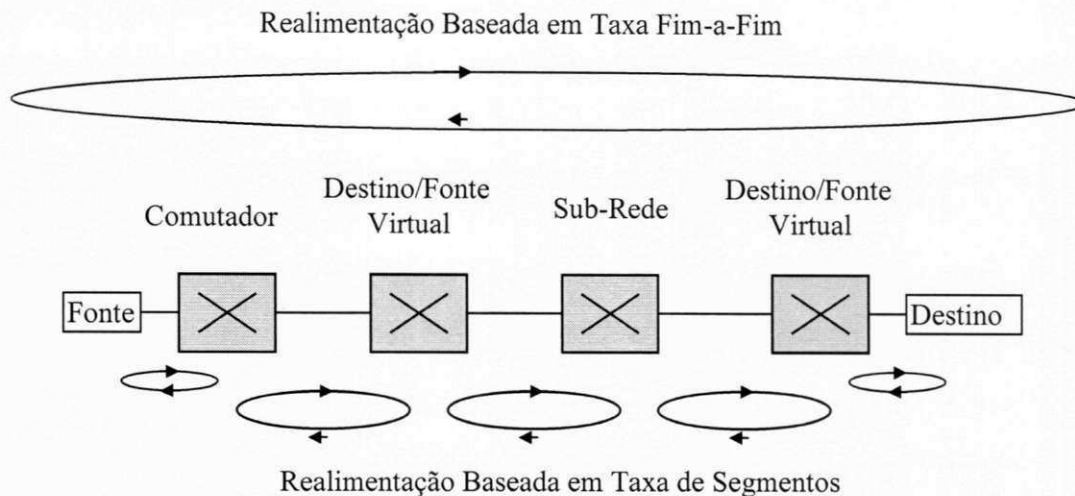


Figura 2.11 – Definição de Fontes/Destinos Virtuais.

Como já mencionado anteriormente, a categoria de serviço ABR foi projetada com o intuito de prestar um serviço econômico às aplicações com vagos requisitos de vazão e de atraso. A definição de categoria de serviço ABR, segundo [FÓRUM 96] é a seguinte:

“ O ABR é uma categoria de serviço ATM que pode alterar suas características de transferência mesmo após a conexão ser estabelecida. O mecanismo de controle de fluxo especifica suporte para uma série de mecanismos de realimentação, os quais são especificados em (Seção 5.10 em [FÓRUM 96]). Esta realimentação é conduzida até a fonte através das células RM (*Resource Management*), i.e., espera-se que o sistema-final adapte o tráfego de acordo com a banda disponível. O serviço ABR não requer limite de atraso e também não foi projetado para suportar aplicações em tempo real. No estabelecimento da conexão ABR, o sistema-final especifica os valores máximo e mínimo de banda que necessita, os quais são chamados de PCR (*Peak Cell Rate*) e MCR (*Minimum Cell Rate*), respectivamente. O MCR pode ser especificado como zero, a taxa de transmissão pode variar, mas nunca pode ser inferior ao MCR nem superior ao PCR.”

2.6.1 Estrutura da Célula RM

No serviço ABR, a fonte adapta sua taxa de transmissão de acordo com as condições da rede. O serviço ABR utiliza a célula RM para transportar as informações de controle. A fonte gera uma célula RM para cada “n” células de dados, para cada VC (*Virtual Connection*). No caminho para o destino, a célula RM passa através de todos os comutadores intermediários. Nos comutadores, o campo ER (*Explicit Rate*) da célula RM, que indica a taxa explícita de transmissão, conforme pode ser observado na Tabela 2.3, é substituído por um novo valor calculado pelo próprio comutador. Após o destino receber a célula RM (RM *Forward*), ele a reenvia para a fonte (RM *Backward*). A fonte, usando as informações da célula RM que foram atualizadas, tanto no caminho de ida (*Forward*), como no retorno (*Backward*), ajusta a sua taxa de transmissão.

CAMPO	OCTETO	BIT	DESCRIÇÃO
<i>Header</i>	1-5	<i>all</i>	<i>Header ATM</i>
ID	6	<i>all</i>	<i>Protocol Identifier</i>
DIR	7	8	<i>Direction</i>
BN	7	7	<i>BECN - Backward Explicit Congestion Notification</i>
CI	7	6	<i>Congestion Indication</i>
NI	7	5	<i>No Increase</i>
RA	7	4	<i>Request/Acknowledge</i>
<i>Reserved</i>	7	3-1	<i>Reserved</i>
ER	8-9	<i>all</i>	<i>Explicit Cell Rate</i>
CCR	10-11	<i>all</i>	<i>Current Cell Rate</i>
MCR	12-13	<i>all</i>	<i>Minimum Cell Rate</i>
QL	14-17	<i>all</i>	<i>Queue Length (Não Utilizado pelo Serviço ABR)</i>
SN	18-21	<i>all</i>	<i>Sequence Number (Não Utilizado pelo Serviço ABR)</i>
<i>Reserved</i>	22-51	<i>all</i>	<i>Reserved</i>
<i>Reserved</i>	52	8-3	<i>Reserved</i>
CRC-10	52 53	2-1 <i>all</i>	CRC-10

Tabela 2.3 – Campos e posições da Célula RM.

2.6.2 Descrição dos Campos da Célula RM

A célula RM é uma célula de gerenciamento que é utilizada pela fonte, na categoria de serviço ABR, para ajustar a taxa de transmissão de acordo com a carga da rede. Os campos da célula RM têm as seguintes funcionalidades:

Header - Os primeiros 5 octetos da célula RM, identificam o padrão do cabeçalho ATM com *Payload Type Indicator* PTI=110 para VCC (*Virtual Channel Connection*), e adicionalmente, *Virtual Channel Identifier* VCI=6 para VPC (*Virtual Path Connection*);

ID - Nome do protocolo, o ITU-T atribuiu o valor 1 para identificar os serviços ABR;

Bits Flags

8	7	6	5	4	3	2	1
DIR	BN	CI	NI	RA	Res.	Res.	Res.

DIR = Indica a direção da célula RM. DIR = 0 (Forward) e DIR = 1 (Backward);

BN - O *Backward Explicit Congestion Notification* (BECN) pode ser gerado pela rede ou pelo destino. BN = 1 indica que a célula não foi gerada pela fonte. A fonte deve sempre atribuir zero ao campo BN;

CI - O *Congestion Indication* com valor igual a 1 é utilizado para causar um decremento na taxa de transmissão permitida (ACR). A fonte sempre atribui zero ao CI. Apenas o destino pode atribuir 1 ao CI, o que indica que existe congestionamento na rede. Os comutadores da rede não podem alterar o valor do campo CI;

NI - O bit *No Increase* é usado para avisar a fonte para não incrementar o ACR. Em contraste ao CI = 1, NI = 1 não requer qualquer decremento. Este é tipicamente usado quando o comutador tenta impedir o congestionamento. O comutador não pode alterar o valor do campo NI de 1 para 0;

RA - Não é usado pelo Fórum ATM na categoria de serviço ABR;

ER - O *Explicit Rate* é usado para limitar a fonte. Inicialmente a fonte inicializa o ER com o valor PCR. Posteriormente, este valor pode ser reduzido por qualquer elemento da rede através do caminho, para um valor que este suporte;

CCR - O *Current Cell Rate* é atribuído pela fonte na geração da célula RM . O CCR é utilizado para auxiliar no cálculo do ER, e não pode ser alterado pelos elementos da rede;

MCR - O MCR é atribuído pela fonte para negociar valores para a conexão. Este campo pode ser utilizado pelos comutador para facilitar a alocação de banda;

QL - Não é usado pelo Fórum ATM na categoria de serviço ABR;

SN - Não é usado pelo Fórum ATM na categoria de serviço ABR.

A Tabela 2.4 mostra os valores de inicialização dos campos da célula RM. Nota-se que alguns campos possuem dois valores, isto porque a célula RM pode ser gerada pela fonte ou pelo destino, em cada caso, possui valores diferentes de inicialização .

CAMPO	VALOR INICIAL	
	Gerado pela Fonte	Gerado pelo Comutador ou pelo Destino
<i>Header</i>	RM-VPC: VCI = 6 e PTI = 10, RM-VCC:PTI = 110	
ID	1	
DIR	0	1
BN	0	1
CI	0	CI = 1 ou NI = 1, ou ambos
NI	0 ou 1	
RA	0 ou de acordo com I.371	
Reserved	0	
ER	Taxa \leq PCR	Qualquer Valor
CCR	Parâmetro ACR	0
MCR	Parâmetro MCR	0
QL	0 ou de acordo com I.371	
SN	0 ou de acordo com I.371	

Tabela 2.4 – Valores Iniciais dos Campos da Célula RM.

2.6.3 Descrição dos Parâmetros do Serviço ABR

A Tabela 2.5 mostra e define parâmetros do serviço ABR. Parâmetros como PCR, ICR, TBE, FRTT, RDF e RIF devem ser definidos e negociados durante o estabelecimento da conexão. Os parâmetros Nrm, Trm, CDF e ADTF podem ser opcionalmente especificados pela fonte durante o período de estabelecimento da conexão (*call setup*). Os parâmetros CRM e ICR devem ser definidos ou alterados, apenas após o período de *call setup*.

SIGLA	NOME	DESCRIÇÃO
PCR	<i>Peak Cell Rate</i>	É a taxa que a fonte nunca pode exceder
MCR	<i>Minimum Cell Rate</i>	É a taxa mínima a qual a fonte pode transmitir
ICR	<i>Initial Cell Rate</i>	É a taxa que a fonte inicia sua transmissão após um período <i>idle</i>
RIF	<i>Rate Increase Factor</i>	É a taxa que a fonte utiliza para calcular o aumento da taxa de transmissão
Nrm	<i>Number RM</i>	É o número máximo de células de dados que a fonte pode transmitir antes de enviar uma célula RM.
Mrm	<i>Minimum RM</i>	É o número mínimo de células de dados que a fonte pode transmitir antes de enviar uma célula RM.
RDF	<i>Rate Decrease Factor</i>	É o valor que controla o decremento na taxa .
ACR	<i>Allowed Cell Rate</i>	É a taxa que a fonte está apta a transmitir.
CRM	<i>Missing RM Cell</i>	É o limite de células RM <i>Forward</i> que podem ser enviadas sem o recebimento de uma célula RM <i>Backward</i>
ADTF	<i>ACR Decrease Time Factor</i>	É o tempo permitido entre o envio da célula RM e o decremento da taxa pelo ICR.
Trm	Trm	Tempo Limite de geração entre 2 células RM .
FRTT	<i>Fixed Round-Trip Time</i>	Tempo fixo de propagação da célula da fonte ao destino e seu retorno(RM).
TBE	<i>Transient Buffer Exposure</i>	É o número negociado de células que a fonte pode transmitir durante o período de <i>startup</i> , antes do recebimento da primeira célula RM.
CDF	<i>Cutoff Decrease Factor</i>	Controla o decréscimo no ACR associado com o CRM
TCR	<i>Tagged Cell Rate</i>	Limita a taxa na qual a fonte pode enviar células RM <i>forward out-of-rate</i> (fora de limite).

Tabela 2.5 – Descrição dos Parâmetros do Serviço ABR.

2.6.4 Procedimentos da Fonte

Por convenção, um *stream* de células com $CLP = 0$ é referenciado com *in-rate* e um *stream* de células com $CLP = 1$ é referenciado como *out-rate*. Células de dados não devem ser marcadas com $CLP = 1$. A seguir são especificados os procedimentos da fonte de dados no serviço ABR, para *stream* de células com $CLP=0$ e $CLP=1$, são eles:

1. O valor do ACR nunca deve exceder o PCR, e não deve ser menor que o MCR. A fonte nunca deve mandar células *in-rate* com taxa acima do ACR, mas pode mandar com taxa menor ou igual ao ACR;
2. Após a fonte mandar a primeira célula, esta deve fixar o ACR com o mesmo valor do ICR, a primeira célula enviada deve ser uma célula RM (*forward*).
3. Após a primeira célula RM *in-rate* (*forward*), deve-se enviar células *in-rate* da seguinte forma:

a-) A próxima célula *in-rate* deve ser uma célula RM(*forward*) se e somente se, desde a última célula *in-rate* RM ter sido enviada, qualquer das alternativas seja verdadeira:

i-) As células *in-rate* transmitidas não excederam o M_{rm} e se o T_{rm} já estiver expirado; ou

ii-) $N_{rm} - 1$ células *in-rate* haviam sido transmitidas.

b-) A próxima célula *in-rate* deve ser uma RM, se a condição (a) não for satisfeita, se existir célula RM aguardando para ser transmitida, e se:

i-) Nenhuma célula *in-rate* RM havia sido mandada desde a última célula *in-rate* RM, ou

ii-) Não há células de dados aguardando para serem transmitidas.

c-) A próxima célula *in-rate* a ser enviada, deve ser uma célula de dados, se nenhuma condição (a) ou (b) for satisfeita, e se existir células de dados a serem enviadas.

4. Células enviadas de acordo com o procedimento 1,2 e 3 devem ter $CLP = 0$.
5. Antes de enviar célula RM *forward*, se o $ACR > ICR$ e o tempo T decorrido, desde que a última célula RM *forward in-rate* foi enviada, é maior que ADTF, o ACR deve ser reduzido para o ICR.
6. Antes de enviar célula RM *forward in-rate*, e depois do procedimento 5, se o CRM ainda é menor que o número de células RM *forward* enviadas, desde que a última célula RM *backward* ter sido recebida, o ACR deve ser reduzido para $ACR * CDF$, a menos que isso resulte em uma taxa menor que o MCR, neste caso o ACR deve ser fixado para o MCR.
7. Se o ACR for reduzido de acordo com o procedimento 5 ou 6, o novo valor do ACR deve ser colocado no campo CCR da célula RM, mas somente células *in-rate* que forem transmitidas após a célula RM irão utilizar a nova taxa.
8. Quando a célula RM retorna com $CI = 1$, o ACR deve ser reduzido para $AC * RDF$, a menos que isso resulte em uma taxa menor que o MCR, neste caso o ACR deve ser fixado pelo valor MCR. Se a célula RM possuir $CI=0$ e $NI=0$, o ACR deve ser incrementado não mais que $RIF * ACR$, para a taxa não maior que o PCR. Se a célula RM *backward* tiver $NI=1$, o ACR não deve ser incrementado.
9. Quando a célula RM for recebida e após ACR ser ajustado de acordo com o procedimento, se o $ACR > ER$ da célula RM, o ACR deve ser reduzido para não mais que o valor do ER, a menos que o ER seja menor que o MCR, neste caso o ACR deve ser fixado para o valor MCR.
10. Quando envia a célula RM a fonte deve inicializar vários campos da célula RM conforme apresentado na Tabela 2.4.
11. A célula RM pode ser enviada como *out-rate* (ou seja com taxa diferente do ACR), só que não com uma taxa maior que TCR.
12. A fonte deve zerar o bit EFCI de todas as células de dados que irá enviar.

2.6.5 Procedimentos do Destino

Os procedimentos que devem ser implementados pelo destino no serviço ABR. São os seguintes:

1. Quando as células de dados são recebidas, o bit EFCI da célula de dados é salvo no vetor EFCI da conexão.
2. O destino deve mandar todas as células RM recebidas de volta para a fonte. Para tanto deve alterar o campo DIR de *forward* para *backward*, ou seja DIR=0 para DIR=1. O BN deve ser fixado para zero, e:
 - a-) Caso o vetor EFCI esteja indicando congestionamento, o destino deve fixar o CI = 1 e zerar o vetor EFCI da conexão;
 - b-) O destino, estando congestionado, pode reduzir o ER para uma taxa que ele possa suportar, ou pode fixar o CI =1 ou mesmo NI= 1.
3. Se a célula RM (*forward*) é recebida pelo destino, enquanto existe outra célula RM da mesma conexão enfileirada:
 - a -) é recomendado que o conteúdo da célula antiga seja substituído pelo conteúdo da célula nova;
 - b -) é recomendado que a célula antiga seja transmitida em *out-of-rate* ou mesmo descartada, e
 - c -) é exigido que a nova célula seja enfileirada para ser transmitida *in-rate*.
4. Caso aconteça alguma das alternativas citadas no procedimento 3, o conteúdo da célula antiga não deve ser transmitido depois do conteúdo da célula nova.
5. O destino pode gerar uma célula RM (*backward*) mesmo sem ter recebido uma célula RM (*forward*). A taxa de transmissão dessa célula RM (*Backward*) (tanto *in-rate* ou *out-of-rate*) deve ser limitada em 10 células por segundo, por conexão. Quando o destino gera uma célula RM este deve marcar o CI=1 ou NI=1, BN=1 e

DIR=1. Os demais campos da célula RM devem ser fixados, conforme mostra a Tabela 2.4.

6. Quando uma célula RM, recebida pelo destino, retorna a fonte, esta pode ser transmitida *in-rate* (CLP=0) ou *out-rate* (CLP=1).

2.6.6 Procedimentos do Comutador

Os procedimentos que devem ser implementados pelo comutador no serviço ABR. São os seguintes:

1. O comutador pode implementar qualquer um dos métodos de controle de congestionamento:

a-) EFCI : O comutador pode marcar o campo EFCI no cabeçalho das células de dados;

b-) Taxa Relativa : O comutador pode marcar o campo CI=1 ou NI=1 na célula RM *Backward* ou *Forward*;

c-) Taxa Explícita: O comutador pode reduzir o campo ER na célula RM *backward* ou *Forward*, e

d -) Controle VS/VD (*Virtual Source / Virtual Destination*) : O comutador pode segmentar o controle de *loop* usado fonte e destinos virtuais.

2. O comutador pode gerar célula RM (*backward*). A taxa de transmissão dessa célula RM (*backward*) deve ser limitada a 10 células/segundo, por conexão. Quando da geração da célula RM, o comutador deve marcar o campo CI=1 ou NI=1, BN=1 e marcar a direção como *backward* (DIR=1). O comutador também deve marcar vários campos da célula RM, conforme Tabela 2.4.

3. Uma célula RM pode ser transmitida fora de seqüência em relação às células de dados. A integridade da seqüência com as demais células deve ser preservada.

4. Para células RM que transitam pelo comutador, os valores de vários campos antes do CRC-10 devem permanecer inalterados:

a -) CI, NI e ER podem ser alterados observando o procedimento 1;

b -) Valores para RA, QL, e SN podem ser atribuídos conforme recomendação I.371, e

c -) O MCR pode ser ajustado, caso este esteja com valor incorreto.

O próximo capítulo apresenta com detalhes os mecanismos de controle de fluxo para serviço ABR: EFCI e ER (EPRCA e NIST ER).

Capítulo 3

Mecanismos de Controle de Fluxo para Serviço ABR

3.1 - Mecanismo de Controle EFCI

O mecanismo EFCI (*Explicit Forward Congestion Indication*) é padrão Fórum ATM na especificação TM 4.0 [FÓRUM 96]. É um mecanismo muito simples que controla o congestionamento no comutador através de um valor Limite, atribuído ao comprimento da fila de saída do comutador (*buffer*). Toda vez que esse limite é excedido, o comutador passa a marcar todas as células de dados que passam por ele como congestionadas. A fonte, assim que verifica a existência do congestionamento, através das informações contidas na célula RM, reduz o valor do ACR. As Figuras 3.1 , 3.2 e 3.3 mostram, respectivamente, os procedimentos do Comutador, do Destino e da Fonte, utilizando o mecanismo EFCI.

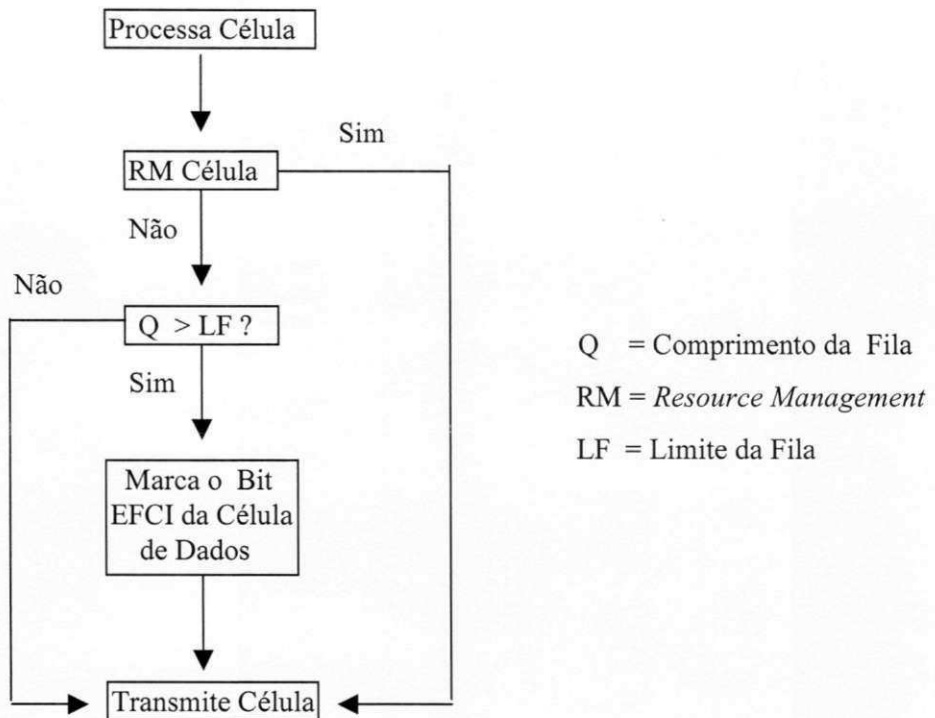


Figura 3.1 - Procedimentos do Comutador – EFCI.

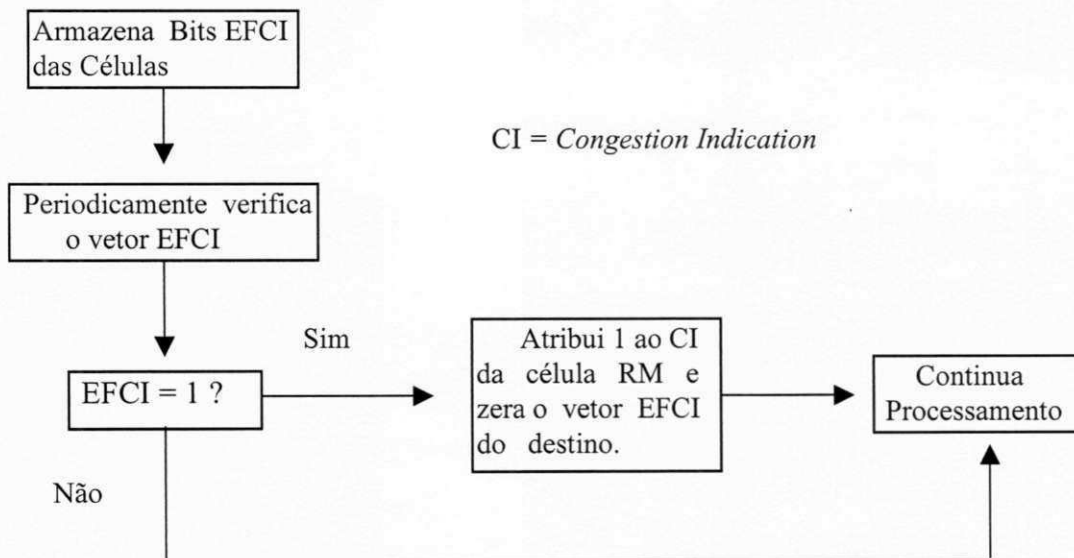
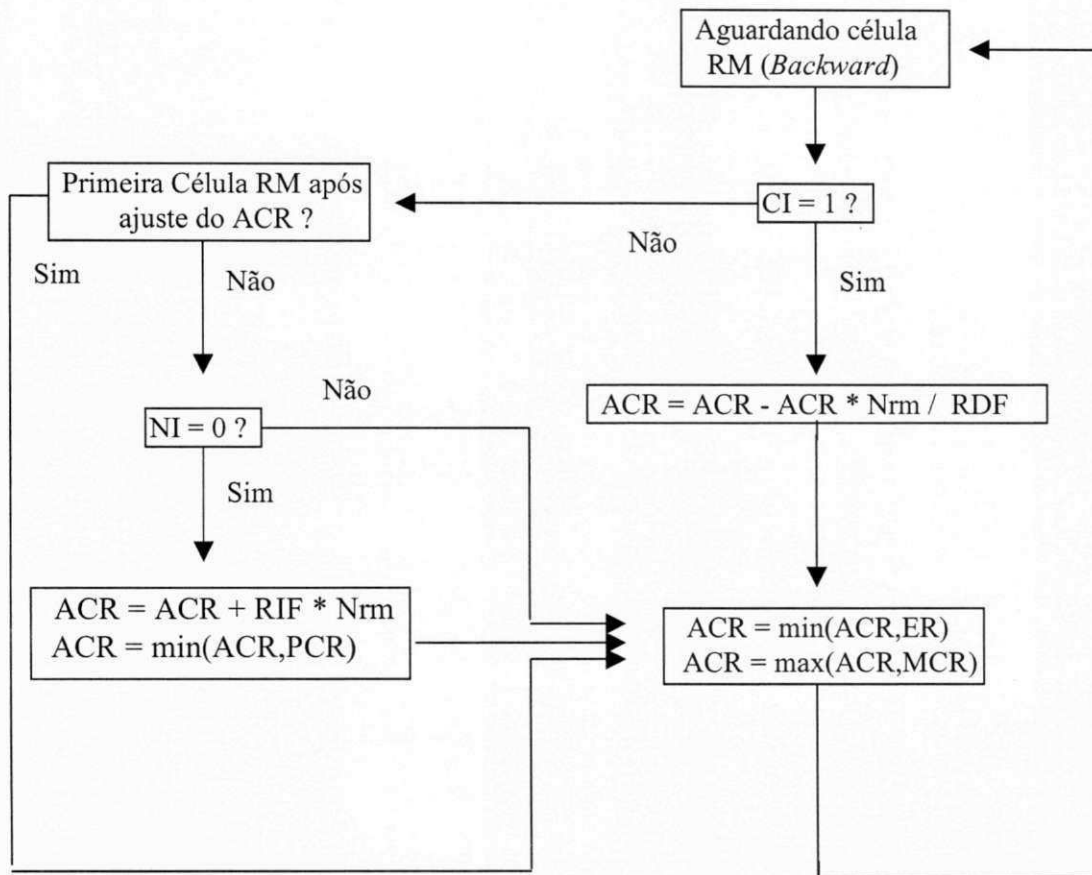


Figura 3.2 - Procedimentos do Destino – EFCI.



PCR = Peak Cell Rate

MCR = Minimum Cell Rate

RIF = Rate Increase Factor

RDF = Rate Decrease Factor

CI = Congestion Indication

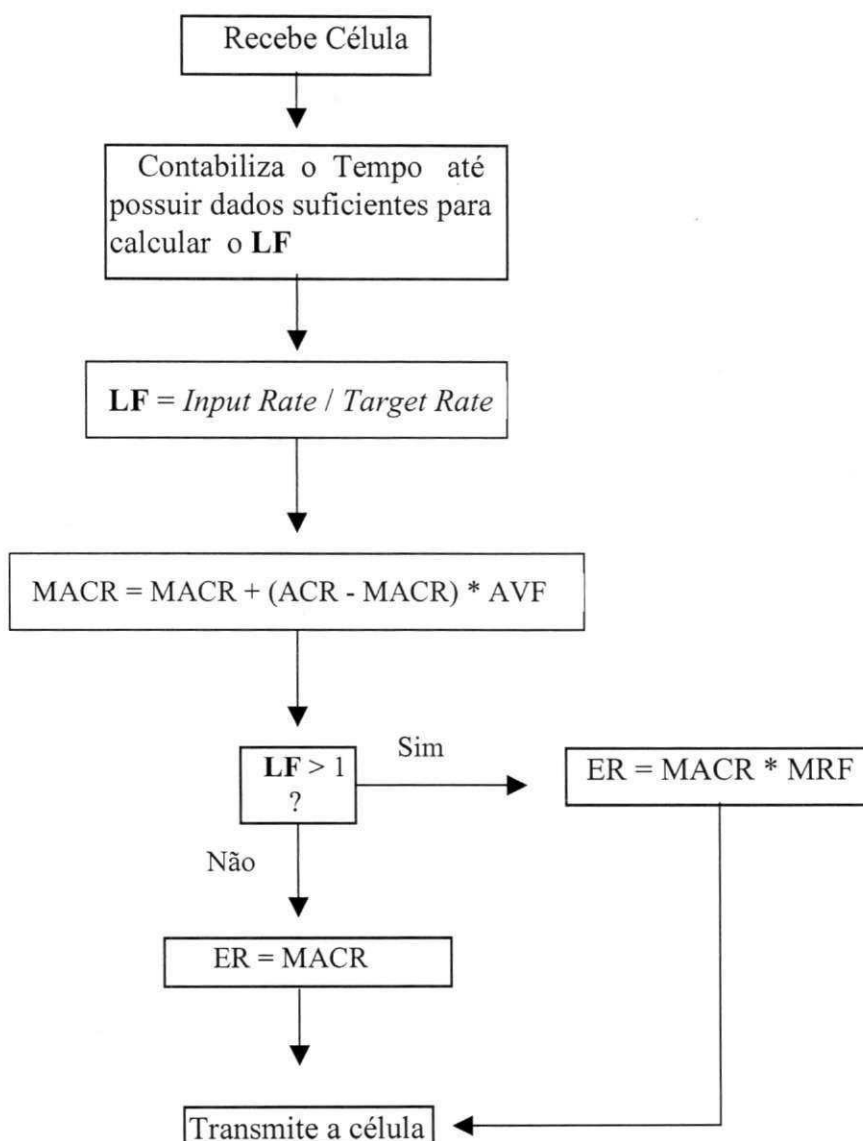
NI = No Increase

Nrm = Number Cells RM

Figura 3.3 - Procedimentos da Fonte – EFICI.

3.2 Mecanismo de Controle NIST ER

O mecanismo NIST ER, mostrado na Figura 3.4, utiliza a técnica baseada na demanda de banda, para controlar a taxa da fonte.



AVF = Average Factor

AVF = 1/16

MRF = MACR Reduction Factor

MRF = 0,95

LF = Load Factor

Figura 3.4 - Mecanismo NIST ER.

O MACR (*Mean Allowed Cell Rate*) inicialmente é fixado igual ao valor TR (*Target Rate*), que usualmente é igual a 95 % da capacidade do enlace [GOLMIE 95b]. O MACR é calculado pela fórmula:

$$\text{MACR} = \text{MACR} + (\text{ACR} - \text{MACR}) * \text{AVF}$$

onde:

$$\text{AVF (Average Factor)} = 1/16$$

O LF (*Load Factor*) é calculado pela fórmula:

$$\text{LF} = \text{Input Rate} / \text{Target Rate}$$

onde:

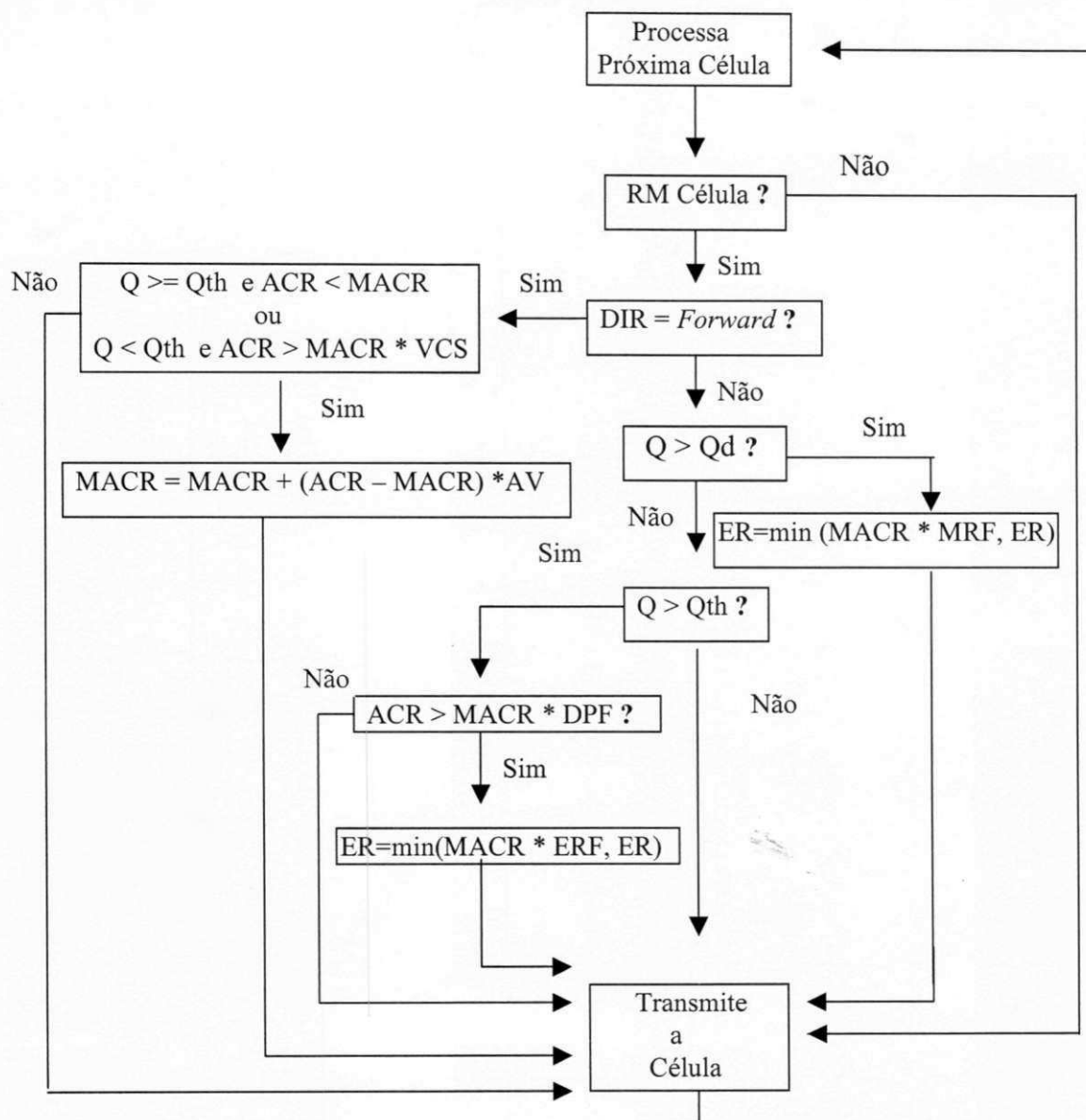
Input Rate é calculado pelo comutador, após um tempo T decorrido e terem sido enviadas (transmitidas) N células, ou seja N/T.

Target Rate é definido com 95% do valor disponível do enlace.

Como mostra a Figura 3.4, o mecanismo NIST reduz o ER quando o LF > 1 através da fórmula $ER = \text{MACR} * \text{MRF}$, onde MRF (*MACR Reduction Factor*) = 0,95, caso contrário, ER = MACR.

3.3 - Mecanismo de Controle EPRCA

O mecanismo EPRCA (*Enhancement Proportional Rate Control Algorithm*), ilustrado na Figura 3.5, também é padrão Fórum ATM na especificação TM4.0 [FÓRUM 96].



Q = Comprimento da Fila

Qth = Limite de **Q**

Qd = Limite de **Q** muito congestionado

MACR - Mean Allowed Cell Rate

DPF - Dow Pressure Factor

MRF - Major Reduction Factor

ERF - Explicit Reduction Factor

VCS - VC Separator

ACR - Allowed Cell Rate

AV - Average Factor

DPF = 7/8

ERF = 15/16

MRF = 1/4

AV = 1/16

VCS = 7/8

Figura 3.5 - Mecanismo EPRCA.

Neste mecanismo, o campo ER da célula RM pode ser alterado no retorno da célula RM (*Backward*) por qualquer comutador, no entanto, o campo ACR não pode ser alterado pela rede, sendo apenas utilizado como informação [LARRY 94]. É através do ACR que o comutador calcula o MACR, que é um valor que se aproxima do ACR. O MACR é obtido através da equação:

$$\text{MACR} = \text{MACR} + (\text{ACR} - \text{MACR}) * \text{AV}$$

onde

$$\text{AV (Average Factor)} = 1/16$$

O MACR é calculado pelo comutador durante um período em que o mesmo não esteja congestionado. O MACR é inicializado pelo valor do PCR/100 (PCR dividido por 100). Como vemos na Figura 3.7, o ER é reduzido em dois casos: quando o comutador está congestionado e quando este está “muito” congestionado. Mais detalhes sobre o mecanismo EPRCA ou sobre o mecanismo NIST ER podem ser obtidos em [LARRY 94] e [GOLMIE 95b].

Capítulo 4

Simulação dos Mecanismos de Controle de Fluxo ABR.

4.1- Introdução

Ambientes de simulação são bastante utilizados por pesquisadores e projetistas para analisar o comportamento de um sistema de redes de computadores, sem a necessidade de dispor de uma estrutura física real.

Neste contexto, o Simulador NIST ATM [GOLMIE 95a] pode ser utilizado como uma ferramenta para o planejamento de redes de computadores. O simulador NIST ATM é capaz de simular várias topologias e cargas de tráfego, obter dados estatísticos sobre utilização de enlace, vazão, descarte de células e muitas outras medidas de desempenho.

Como ferramenta para a análise de protocolos de comunicação, um simulador pode estudar o efeito causado pela implantação de novos protocolos no sistema. Pode-se, através de um simulador como o NIST ATM, investigar e analisar os vários mecanismos de Controle de Fluxo para Redes ATM, obtendo medidas de desempenho relevantes que é o foco

central do nosso trabalho.

O simulador NIST ATM foi desenvolvido pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST). O simulador NIST ATM é uma ferramenta que propicia um ambiente de modelagem interativo através de uma interface gráfica. Com esta ferramenta, o usuário pode criar diferentes topologias de rede, e gravar os resultados das simulações em arquivos de *logs*, para posterior análise e utilização.

Mesmo em tempo de execução, pode-se acompanhar as medidas de desempenho de uma simulação, que são mostradas na tela com os resultados atualizados em tempo de execução [GOLMIE 95a].

Em termos práticos o simulador NIST ATM pode ser utilizado, por exemplo, para descobrir em uma determinada topologia de rede qual é o gargalo; o que acarretará de melhoria no desempenho da rede com alteração da velocidade de um determinado enlace; se a inclusão de uma nova aplicação irá decrementar o desempenho da rede como um todo, enfim, são várias as situações que podem ser analisadas com o auxílio desse simulador.

Neste trabalho utilizamos o Simulador NIST ATM para analisar os dois mecanismos de controle de congestionamento propostos e padronizados pelo Fórum ATM e um proposto pelo NIST.

4.2 Descrição dos Componentes do Simulador

O processo de simulação consiste de vários componentes, enviando mensagens entre si. Os componentes disponíveis no Simulador NIST ATM são os seguintes:

- a) Comutador ATM;
- b) Equipamento Terminal de Banda Larga – BTE;
- c) Aplicação ATM.

Os comutadores e os BTE's são interconectados através de Enlaces Físicos, os quais também são considerados componentes do simulador.

4.2.1 Comutador ATM

É o componente utilizado para rotear células sobre os enlaces de canais virtuais. Quando o comutador recebe uma célula, ele verifica na sua tabela para qual enlace ele deve enviar aquela célula e com qual valor VPI/VCI deve ser configurado. Caso o enlace esteja ocupado, o comutador enfileirará as células até que o enlace seja liberado.

4.2.2 Equipamento Terminal de Banda Larga (BTE)

Os BTE's simulam nós RDSI de Faixa Larga. Podem possuir uma ou mais aplicações. As células destas aplicações são transmitidas através do enlace físico. Caso este esteja ocupado, as células são enfileiradas para posterior transmissão.

4.2.3 Aplicação ATM

É o componente gerador de tráfego com taxa de transmissão de bits constante ou com taxa variável. Para todos os tipos de aplicações devem ser especificados o tempo inicial para geração de tráfego e o número de *megabytes* a serem transmitidos.

4.2.4 Enlace Físico

É usado para simular o meio físico de transmissão.

4.3 Funcionalidade do Simulador NIST ATM

O simulador NIST ATM possui Medidores de Desempenho, os quais mostram informações do estado da simulação em tempo de execução de forma gráfica ou que podem ser armazenadas em forma de *log*.

O simulador NIST ATM é orientado a eventos. Ele possui um gerente de eventos que escalona e dispara um evento, ou seja, pode-se disparar um evento para o tempo atual ou para qualquer tempo futuro.

O roteamento no simulador NIST ATM é realizado através das rotas, que são Conexões Virtuais Permanentes (PVCs). Uma Rota é uma lista de componentes adjacentes, que necessariamente inicia e termina em uma Aplicação ATM.

Antes de executar qualquer simulação, deve-se criar as rotas, que, uma vez criadas, não podem ser alteradas nem removidas.

Mais informações sobre o Simulador NIST ATM podem ser encontradas em [GOLMIE 95a].

4.4 Topologia da Rede

Como modelo para simular os Mecanismos de Controle de Fluxo ABR em redes ATM, utilizamos uma rede ATM, mostrada na Figura 4.1, composta por 3 comutadores e 3 grupos de fontes geradoras de tráfego. Os comutadores são interligados por enlaces de 1.000 Km (chamados BB1 e BB2) e os demais enlaces possuem distância de 200 metros (0.2 Km). Todos os enlaces deste modelo trabalham com velocidade de 150 Mbps.

No modelo apresentado na Figura 4.1, as fontes de tráfego pertencem a duas categorias: *Multi-Hop* (MH) e *Single-Hop* (SH1 e SH2), ambas descritas na Seção 4.5.

O modelo aqui apresentado utiliza dois limites de tamanho de fila: *THigh* (Limite Superior) e *TLow* (Limite Inferior) que são fixados em 25.000 e 20.000 células, respectivamente. Esses altos números justificam-se pela topologia utilizada, já que o ambiente simulado é o de uma WAN (*Wide Area Network*).

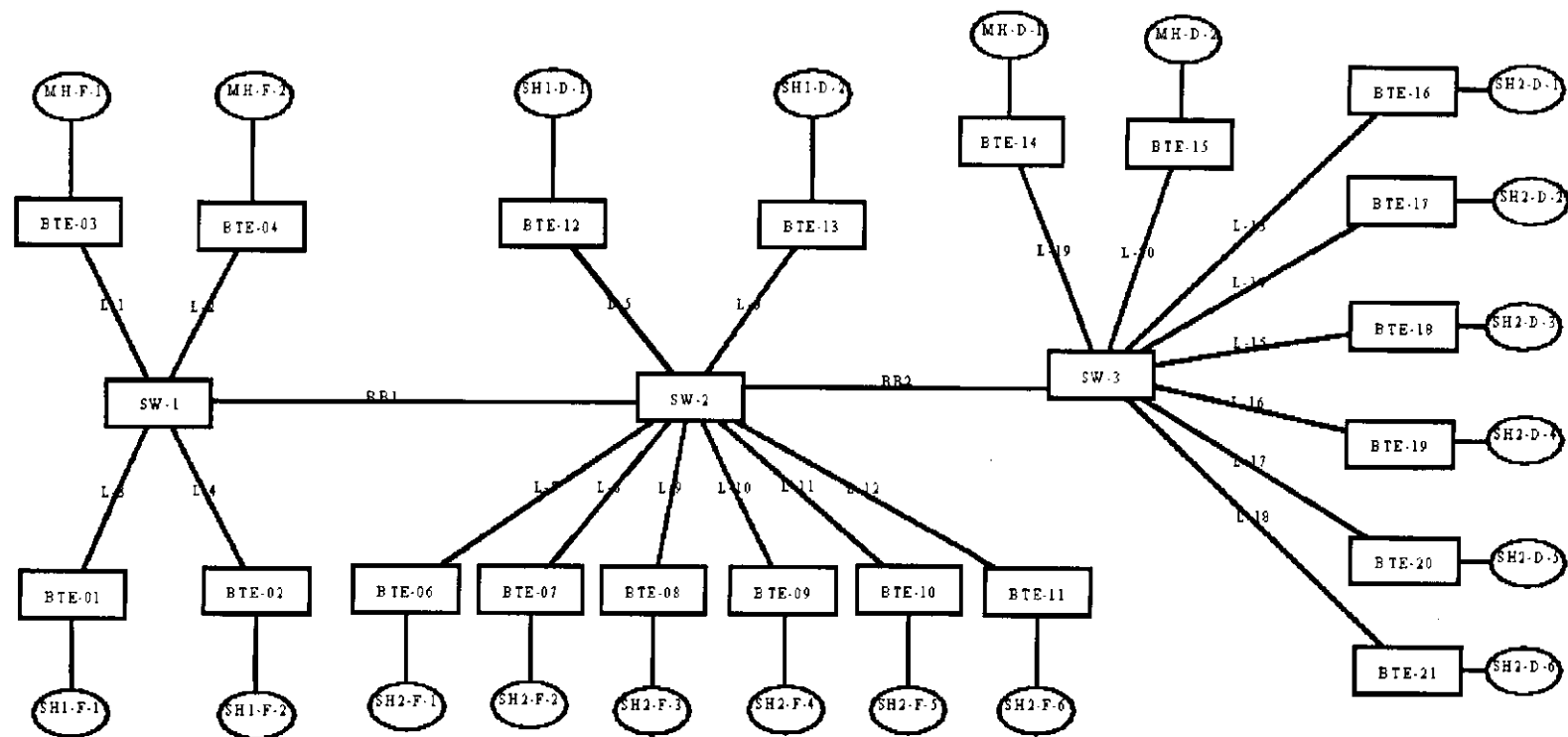


Figura 4.1 – Configuração do modelo de rede.

4.5 - Fontes de Tráfego

Todas as fontes, utilizadas nos modelos deste trabalho são do tipo *Greedy* (*Source Greedy*). Segundo o Fórum ATM, na especificação TM 4.0, *Greedy* são fontes de tráfego que sempre têm dados a transmitir, e transmitem dados a uma taxa máxima permitida pela rede. Segundo Chang, em simulações apresentadas em [CHANG 94d] a adoção de fontes de tráfego *bursty* exige menos recursos da rede que a utilização de fontes *greedy*. A escolha de fonte tipo *greedy* para o estudo em questão visa uma análise do congestionamento em condições mais adversas.

Como foi mencionado anteriormente, as fontes de dados utilizadas no modelo apresentado são divididas em duas categorias: *Multi-Hop* (MH) e *Single-Hop* (SH). MH são fontes de dados em que as células, na sua trajetória até o destino, passam por mais de um comutador. Já na rota das células de fontes SH, encontramos apenas um comutador. As fontes SH ainda são divididas em SH1 (formada por 2 fontes) e SH2 (formada por 6 fontes).

4.6 – Medidas de Desempenho

Várias simulações foram realizadas para comparar os mecanismos de controle de fluxo descritos no Capítulo 3. As medidas de desempenho estudadas neste trabalho são descritas resumidamente a seguir:

4.6.1 – Vazão

Essa medida é dada em função do total de células transmitidas com sucesso, ou seja, as células que chegam ao destino divididas pelo tempo simulado.

4.6.2 ACR

O ACR (*Allowed Cell Rate*) é a taxa permitida a fonte para transmitir dados. O ACR é computado sobre o total de células transmitidas pela fonte em um determinado intervalo de tempo. O Valor Médio de ACR é a média dos ACR's obtidos em intervalos de tempo de 1 milissegundo.

4.6.3 Eqüidade (*Fairness*)

Eqüidade é a medida que mostra o quanto o mecanismo de Controle de Fluxo distribui, de forma eqüitativa ou justa, a banda excedente para as fontes de tráfego ABR. Em [FÓRUM 96] são apresentados vários métodos para medição de Eqüidade. O método de alocação de max-min é o mais utilizado e sugerido pelo Fórum ATM nos trabalhos com modelos simulados. Mais detalhes sobre esse método podem ser obtidos em [BERT 92].

4.6.4 – Ocupação de *Buffer*

Essa medida é dada em células, e mostra a quantidade de células que ficam temporariamente armazenadas no comutador antes de serem transmitidas.

4.6.5 – Utilização de Enlace

Como já mencionado, o serviço ABR tem como principal função controlar a taxa de transferência de células diretamente na fonte para obter um melhor aproveitamento do enlace físico. A utilização de um enlace é fornecida em Mbps e corresponde à quantidade de banda utilizada para a transmissão das células por unidade de tempo.

No próximo capítulo, as medidas, ACR, ocupação de *buffer* e utilização do enlace são apresentadas em função do tempo de simulação.

Capítulo 5

Apresentação dos Resultados

5.1 Introdução

Neste capítulo são comparados e analisados os resultados das simulações com os mecanismos de Controle de Fluxo ABR: EFCI e ER (EPRCA e NIST ER).

As estatísticas aqui apresentadas foram coletadas entre 100 e 600 milisegundos, sendo considerados, no cálculo das medidas de desempenho, apenas os 500 milisegundos finais, isto é, os resultados apresentados nos 100 primeiros milisegundos foram descartados. Esses resultados iniciais representam o regime transitório, no qual tanto as fontes quanto os comutadores estão iniciando suas atividades.

5.2 – Parâmetros de Simulação

Os valores dos parâmetros usados no modelo de rede, mostrado na Figura 4.1, são todos sugeridos pelo Fórum ATM. Eles são apresentados de forma resumida na Tabela 5.1.

Os demais parâmetros referente ao modelo e ao simulador NIST podem ser encontrados no Apêndice A. Os parâmetros listados na Tabela 5.1 foram os mesmos utilizados por Chang em [CHANG 95c].

Contexto	Parâmetro	Definição	Valor
BTE (Sistema Final)	NRM	<i>Number of RM Cells</i>	32
	LCR	<i>Line Cell Rate</i>	150 Mbps
	ACR	<i>Allowed Cell Rate</i>	Dinamicamente Atualizado
	ICR	<i>Initial Cell Rate</i>	7,49 Mbps
	PCR	<i>Peak Cell Rate</i>	149 Mbps
	MCR	<i>Minimum Cell Rate</i>	1,49 Mbps
	AIR	<i>Additive Increase Rate</i>	0,015
	RDF	<i>Rate Decrease Factor</i>	256
	TOF	<i>Time Out Factor</i>	2
Comutador EFCI	THigh	<i>High Threshold</i>	25.000 Células
	Tlow	<i>Low Threshold</i>	20.000 Células
Comutador ER	AVF	<i>Average Factor</i>	0,0625
	TR	<i>Target Rate</i>	142 Mbps

Tabela 5.1 - Lista dos Parâmetros de Controle ABR.

5.3 – Vazão

Essa medida é função do total de células transmitidas com sucesso, ou seja, células que chegam ao destino. Não são contabilizadas, nesta medida, as células descartadas. A vazão é calculada pela fórmula:

$$T = \text{NCR} * 424 \text{ (bits/cell)} / \text{TS}$$

Onde

T = Vazão (bits/seg)

NCR = Número de Células Recebidas

TS = Tempo de Simulação (segundos)

O valor de T (Vazão) é comparado em percentual ao valor ideal de vazão da respectiva fonte. São valores ideais de Vazão para o modelo escolhido:

Fontes MH e SH2 = 18,72 Mbps

Fontes SH1 = 56,16 Mbps

Esses valores são os mesmos utilizados em simulações realizadas por Chang em [CHANG 95a]. Nessas simulações são utilizadas fontes SH e MH para estudo da interoperabilidade entre mecanismos de Controle de Fluxo ER e mecanismos de Controle Binário. Os valores ideais de Vazão são calculados baseados no método de alocação de max-min. Mais detalhes sobre esse método podem ser obtidos em [BERT 92]

Os valores apresentados na Tabela 5.2 representam o percentual atingido por cada mecanismo na tentativa de verificar até quanto os mecanismo se aproximam ou mesmo superam o valor ideal de Vazão.

Na Tabela 5.2, por exemplo, o mecanismo EFCI obteve 48 % do valor ideal de Vazão para fonte MH. Ou seja, o mecanismo EFCI após 500 milisegundos (TS = 0,5) de simulação conseguiu transmitir com sucesso para a fonte MH um total de 10.717 células (NCR). Aplicando-se a fórmula de Vazão (T) para esses valores de TS e NCR, obtem-se um valor de 9,08 Mbps que comparado a taxa ideal de vazão para essa fonte (18,72 Mbps), representa um percentual de 48 % sobre o mesmo.

Verificamos que os algoritmos ER, em especial o NIST ER, obtiveram um melhor desempenho geral no tocante à Vazão. Ambos calculam o ER no próprio comutador, propi-

ciando assim uma latência muito inferior ao mecanismo EFCI, onde o comutador apenas indica a ocorrência do congestionamento, deixando que a fonte realize a redução da taxa de transmissão. Esta diferença torna-se visível em fontes MH, onde o mecanismo EFCI leva desvantagem uma vez que, quanto maior o número de comutadores no caminho, maior a probabilidade de ocorrer congestionamento e maior será o retardo para este tipo de mecanismo.

VC	MH	SH1	SH2
Esperado	100	100	100
EFCI	48	118	117
EPRCA	77	99	107
NIST	97	91	98

Tabela 5.2 – Vazão em Relação à Taxa Ideal (percentual).

5.4 ACR vs Tempo

Na Tabela 5.3 são apresentados os resultados do valor médio de ACR (*Allowed Cell Rate*) obtido pela fonte no transcorrer do tempo de simulação. Como já mencionado no capítulo anterior, o valor médio do ACR corresponde à média dos ACR's obtidos a cada intervalo de 1 milissegundo.

O mecanismo EFCI que apresentou anteriormente o pior rendimento na medida vazão, obteve um valor médio de ACR superior aos mecanismos ER (NIST e EPRCA). Cabe ressaltar que o valor médio de ACR não indica quantidade de células transmitidas com sucesso, indica apenas a velocidade média de transmissão na fonte de dados.

O mecanismo EFCI além de ser superior na média geral, atinge um valor médio de ACR de 100 Mbps, contra 76,25 Mbps do melhor colocado entre os mecanismos ER, que é o EPRCA. O mecanismo EFCI só é inferior em termos de ACR em fontes de MH, pelo mesmo motivo que foi exposto na Seção 5.3.

Como mencionado anteriormente a média de ACR é obtida sobre o total de células transmitidas pela fonte, incluindo as células que são descartadas por congestionamento, evidenciando assim que um ACR alto não repercute necessariamente em um alto valor de vazão fim-a-fim.

VC	MH	SH1	SH2
EFCI	13,52	100	33,95
EPRCA	21,42	76,15	25,23
NIST	18,20	50,99	18,31

Tabela 5.3 – Valor médio de ACR (Mbps).

As Figuras 5.1, 5.2 e 5.3 apresentam, respectivamente, a medida ACR durante o tempo da simulação realizada (TS=600 msec), para os mecanismos EPRCA, EFCI e NIST ER.

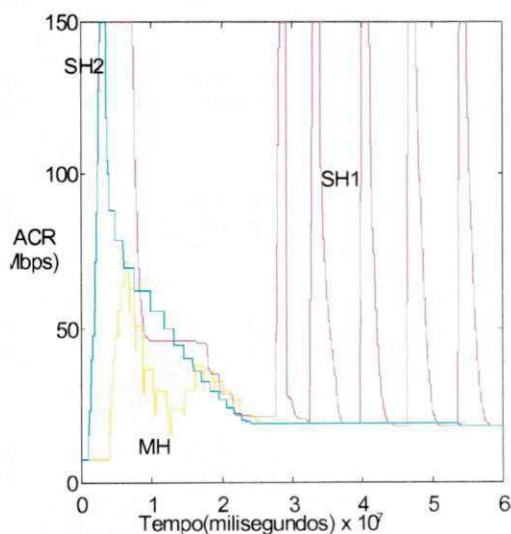


Figura 5.1 – ACR (EPRCA)

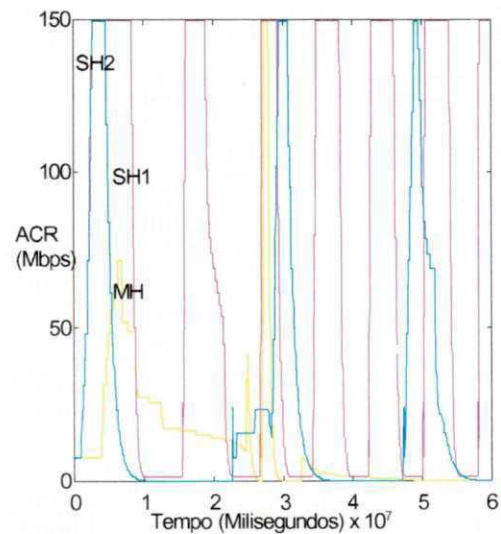


Figura 5.2 – ACR (EFCI)

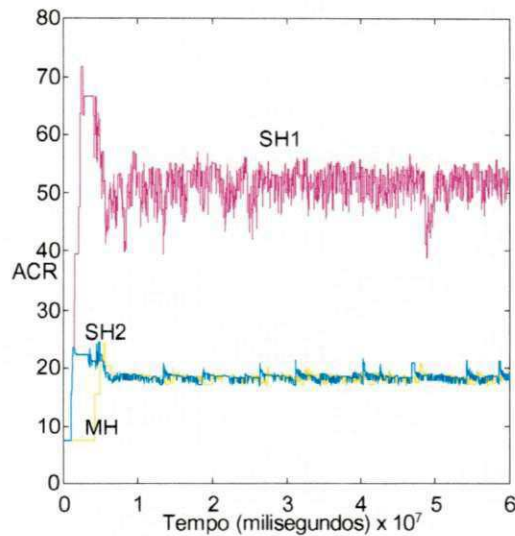


Figura 5.3 – ACR (NIST)

Na Figura 5.1 e na Figura 5.2, observamos que os mecanismos EPRCA e EFCI apresentam uma grande oscilação no valor do ACR no transcorrer do tempo de simulação.

O mecanismo NIST ER apresenta uma menor variação, como é mostrado na Figura 5.3, devido ao cálculo do LF (*Load Factor*) no seu algoritmo, que decrementa a taxa de transmissão da fonte baseado na carga da rede, como pode ser verificado no Capítulo 3 onde o mecanismo é descrito.

O mesmo não ocorre no mecanismo EFCI que, como já mencionado, apenas marca todas as células que passam pelo comutador quando ocorre o congestionamento, deixando que a fonte diminua de forma arbitrária a taxa de transferência. Isso ocasiona as variações bruscas no valor do ACR, de 1,49 Mbps até 149 Mbps (taxas mínima e máxima especificadas para essa simulação), como mostrado na Figura 5.2.

5.5 – Equidade (*Fairness*)

Um dos principais objetivos do Serviço ABR é distribuir de forma justa e igualitária a banda disponível entre as fontes de dados.

Equidade é o valor que mostra o quanto o mecanismo de Controle de Fluxo distribui de forma equitativa ou justa a banda excedente para as fontes de tráfego ABR. A medida de Equidade (FS) definida em [JAIN 95c] é calculada pela seguinte fórmula:

$$FS = \frac{\left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{y_i} \right) \right)^2}{n \left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{y_i} \right)^2 \right)}$$

Onde:

n = Número de Fontes

x_i = ACR médio da Fonte i

y_i = Valor ideal de Vazão da Fonte i

Para o modelo apresentado na Figura 4.1, consideramos $n=10$. Os valores atribuídos a x_i e y_i ($i=1, \dots, 10$) são aqueles apresentados na Tabela 5.4 e na Seção 5.3, respectivamente.

Fonte	EFCI	EPRCA	NIST
MH_F_1	13,51	21,41	18,24
MH_F_2	13,54	21,43	18,16
SH1_F_1	100,02	76,25	50,99
SH1_F_2	99,94	76,03	50,98
SH2_F_1	34,01	25,24	18,31
SH2_F_2	33,97	25,24	18,31
SH2_F_3	33,87	25,18	18,31
SH2_F_4	33,88	25,28	18,32
SH2_F_5	33,99	25,19	18,30
SH2_F_6	33,99	25,27	18,35

Tabela 5.4 - Valores Médios de ACR (Mbps) para as Fontes.

A Tabela 5.5 apresenta os valores de Equidade dos mecanismos de Controle de Fluxo

VC	SW1		SW2	
	Média	Máximo	Média	Máximo
EFCI	16.550	30.194	19.505	37.693
EPRCA	18.189	27.335	34.899	47.752
NIST ER	1	4	4	37

Tabela 5.6 - Ocupação de *Buffe* (Células).

Os altos valores apresentados na Tabela 5.6, no tocante à ocupação de *buffe*, devem-se ao ambiente de rede que simula uma WAN (enlaces de 1.000 Km), acarretando assim um crescimento na ocupação do *buffe*, devido às grandes distâncias e aos atrasos impostos por elas.

A Figura 5.4 mostra o desempenho do mecanismo NIST ER, no tocante a ocupação de *Buffe*, no transcorrer do tempo de simulação. Nota-se que além de alcançar o menor valor dentre os mecanismos aqui simulados para nosso modelo, o mecanismo NIST ER possui a menor variação, mantendo a média de apenas 4 células de ocupação de *buffe*, com pequenas variações, se comparado com os demais mecanismos. A maior dessas variações atinge 37 células e, como é mostrado na Figura 5.4, ocorre apenas num pequeno intervalo de tempo.

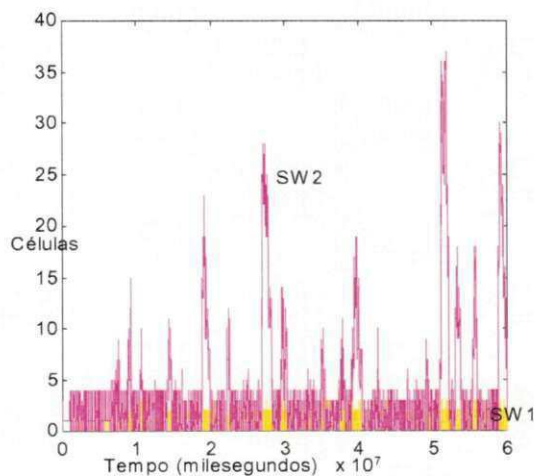


Figura 5.4 – Ocupação de *Buffe* vs Tempo (NIST).

Os mecanismos EPRCA e EFCI apresentam valores superiores em termo de ocupa-

ção de *bufe*, como podemos observar pelas Figuras 5.5 e 5.6, que mostram o desempenho do mecanismo EFCI e EPRCA, respectivamente, conforme tempo de simulação.

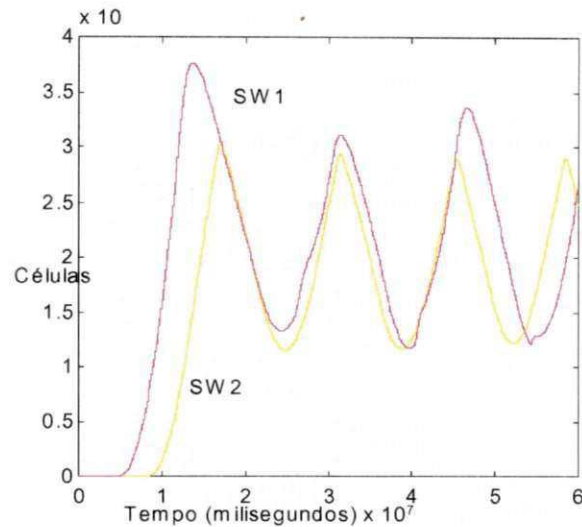


Figura 5.5 – Ocupação de *Bufe* vs Tempo (EFCI).

5.7 – Utilização de Enlace vs Tempo

Nos valores de utilização de enlace (valores médios e máximos), mostrados na Tabela 5.4, os mecanismos simulados apresentam resultados semelhantes, em especial, no valor máximo alcançado, que é igual para todos os mecanismos simulados. O mecanismo NIST ER, apresenta a pior utilização de enlace em relação aos demais, pois trabalha no sentido de evitar ao máximo a situação de congestionamento, acarretando uma redução no aproveitamento total da capacidade de enlace, como podemos observar nos valores apresentados na Tabela 5.7.

VC	BB1		BB2	
	Média	Máximo	Média	Máximo
EFCI	146,73	149	148,53	149
EPRCA	146,73	149	148,53	149
NIST ER	135,15	149	143,97	149

Tabela 5.7 - Utilização de Enlace (Mbps).

Observando os gráficos das Figuras 5.7, 5.8 e 5.9, que apresentam a utilização de enlace dos mecanismos NIST ER, EFCI e EPRCA, respectivamente, em função do tempo de simulação, constatamos que os mecanismos EPRCA e EFCI apresentam uma pequena variação na utilização do enlace nos primeiros milissegundos de simulação e após, trabalham com carga máxima. Já o mecanismo NIST ER, devido o seu algoritmo trabalhar constantemente para evitar o congestionamento, varia a carga entre 125 a 149 Mbps, como é mostrado no gráfico da Figura 5.7.

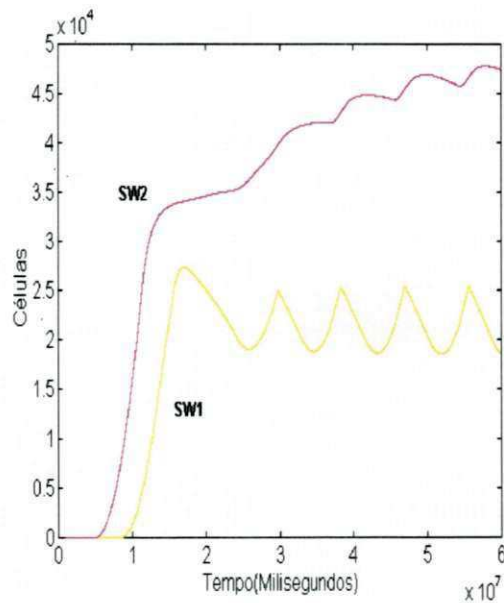


Figura 5.6 – Ocupação de *Buffer* vs Tempo (EPRCA).

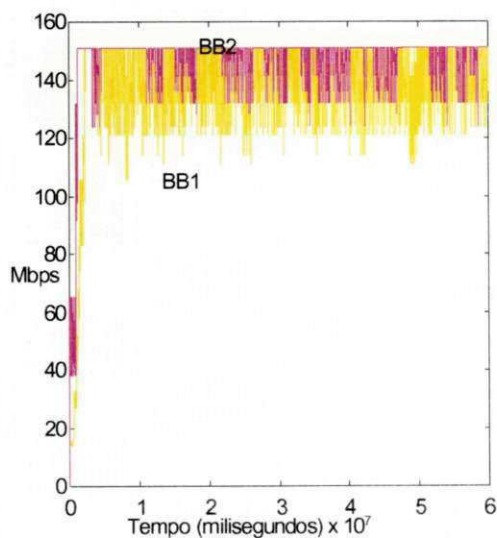


Figura 5.7 – Utilização de Enlace vs Tempo (NIST ER).

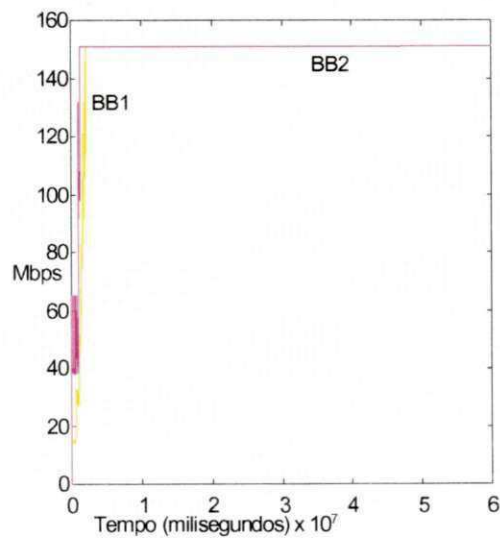


Figura 5.8 – Utilização de Enlace vs Tempo (EFCI).

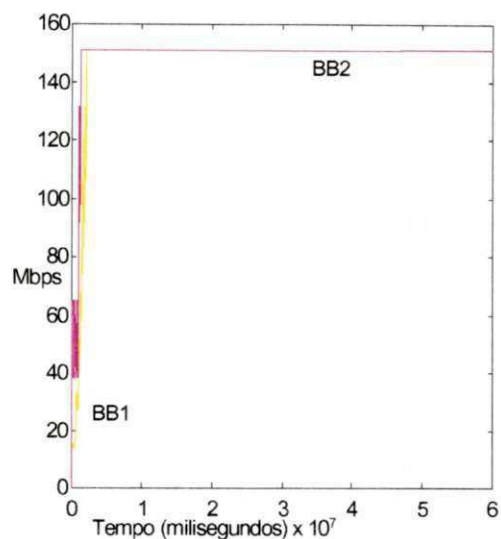


Figura 5.9 – Utilização de Enlace vs Tempo (EPRCA).

Os resultados das simulações para os mecanismos EFCI e NIST ER para a medida de Vazão podem ser validados através de [SU 95] e [CHANG 95b]. Nestes trabalhos referenciados foram realizadas simulações com a finalidade de mostrar a interoperabilidade destes dois mecanismos de Controle de Fluxo em uma mesma rede.

Os resultados do nosso trabalho apresentados neste capítulo, ampliam os estudos dos mecanismos de Controle de Fluxo aqui abordados, uma vez que apresentam comparações e análises dos mecanismos sobre um conjunto relevante de medidas de desempenho.

Os resultados preliminares deste trabalho foram apresentados em [SAUSEN 98a] e [SAUSEN 98b].

Capítulo 6

Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

Neste trabalho foram estudados os seguintes mecanismos de controle de fluxo para serviço ABR em redes ATM: EFCI e EPRCA, ambos padrão Fórum ATM na especificação TM 4.0, e o mecanismo NIST ER desenvolvido por pesquisadores do NIST (*National Institute of Standards and Technology*).

Os estudos que englobam análise e comparação entre os mecanismos de controle de fluxo referenciados, baseiam-se em resultados obtidos através de simulações, para as quais utilizou-se o simulador NIST ATM do *National Institute of Standards and Technology*.

As medidas de interesse, apresentadas em função do tempo de simulação foram as seguintes: ACR (*Allowed Cell Rate*), ocupação de *buffer* e utilização de enlace. Análises de vazão e de equidade também são apresentadas. Esta última medida permite verificar o quanto os mecanismos simulados são justos quanto ao critério de alocação de banda.

Os estudos realizados neste trabalho levam às seguintes conclusões.

O mecanismo EFCI é extremamente simples requerendo um mínimo de trabalho por parte do comutador. Ele obteve o maior valor de ACR dentre os mecanismos aqui simula-

dos, o que como já comentado, não repercute em uma maior vazão. Também foi observado que o mecanismo EFCI beneficia claramente as fontes de tráfego *Single-Hop* (SH1 e SH2), ou seja, quanto maior o número de comutadores na rota, maior será a probabilidade do comutador ficar congestionado e, por conseqüência, diminuir o percentual de células transmitidas com sucesso. Outro ponto negativo nesse mecanismo é o comprimento do *buffer* (Tabela 5.6).

O mecanismo EFCI também apresentou o pior índice de Equidade, isto ocorre devido todos os VC serem enfileirados em uma mesma fila do comutador. Um VC que não está congestionado, pode ter que diminuir a sua taxa devido aos demais. Uma saída para esse problema, seria realizar o controle por VC, marcando apenas as células dos VC's congestionados, mas com isso estaríamos aumentando a complexidade do comutador e, fugindo do princípio básico do mecanismo EFCI, que é simplicidade de implementação.

Com o objetivo de melhorar o desempenho, o mecanismo EPRCA calcula o MACR (*Mean Allowed Cell Rate*) e modifica o ER das células RM (*backward*). Com isso introduz-se mais complexidade no comutador (se comparado com EFCI). Contudo, obtém-se um ganho no valor médio do ACR em fontes MH. No entanto, neste cenário de fontes MH, não se justifica a complexidade imposta ao comutador, até porque o mecanismo necessitou um *buffer* maior, se comparado com o mecanismo EFCI.

O mecanismo NIST ER, por sua vez, consegue uma baixa utilização de *buffer* na topologia simulada. Também apresentou-se mais estável (menor variação) em termos de percentuais de células transmitidas (Tabela 5.2) e valor médio de ACR (Tabela 5.3) quando comparado com os outros mecanismos. O mecanismo NIST ER também foi o que apresentou um maior valor de equidade, quase atingindo a taxa máxima permitida por essa medida.

Neste trabalho, como mencionado anteriormente, foram utilizadas apenas fontes *greedy* simulando tráfego ABR, como forma de avaliar os mecanismos de Controle de Fluxo aqui estudados.

Acreditamos que os resultados de nosso trabalho vêm contribuir para os estudos e análises de mecanismos de controle de fluxo sob tráfego ABR. As análises aqui apresenta-

das, baseadas em resultados obtidos através da técnica da simulação, permitem comparar medidas de desempenho relevantes dos mecanismos aqui estudados.

Este trabalho não tem a pretensão de esgotar assunto tão amplo como é o controle de fluxo em redes ATM. Entretanto, espera-se que o mesmo possa servir de referência para trabalhos que necessitem simular tráfego em modelos de redes ATM.

Como continuação desse trabalho, sugerimos que sejam incluídas aos modelos aqui simulados outras fontes de tráfego além das fontes do tipo ABR. Vários estudos têm apontado para aplicações de transferência de vídeo (MPEG), simulando tráfego VBR. Também sugerimos analisar os mecanismos aqui simulados em relação ao descarte de células, e o que isso repercute no nível de aplicação.

Referências Bibliográficas

- [BERT 92] BERTSEKAS, D., and R. Gallager, "Data Networks", Prentice Hall, 1992.
- [BONO 95] BONOMI, F. and K. Fendick, "The Rate-Based Flow Control Framework for the Available Bit-Rate ATM Service", IEEE Network, Vol 9, Mar/Apr. 1995.
- [CHANG 95a] CHANG, Y., N. Golmie and D. Su, "Study of Interoperability between EFCI and different ER Switch Mechanisms" ATM Forum / 95-0166, February 1995.
- [CHANG 95b] CHANG, Y., N. Golmie, and D. Su. "Study of Interoperability Between Various Rate-Based Flow Control Mechanisms for Available Bit Rate Traffic In ATM Networks". In *Proceedings of the Fourth International Conference on Computer Communications and Networks*, September 1995.
- [CHANG 95c] CHANG, Y., N. Golmie and D. Su, "Study of Interoperability between EFCI and ER Switch Mechanisms for ABR Traffic in a ATM Network" Relatório Técnico do High Speed Network Group, National Institute of Standards and Technology. 1995.
- [CHANG 94d] CHANG, Y., N. Golmie, L. Benmohamed and D. Su, " Effects of Bursty Traffic on the Performance of EPRCA Mechanism" ATM Forum/94-1083, November 1994.

- [CHEN 96] CHEN, Thomas M., Steve S. Liu, and Vijay Samalam, "The Available Bit Rate Service For Data in ATM Networks", IEEE Communications Magazine, May 1996.
- [DUCAN 97] DUCAN, Charles, "Simulation and Analysis of Credit and Rate based switch interoperability in na ATM Network" M.A.S.c Thesis, Department of Computer Science, the Brigham Young University 1997.
- [FÓRUM 96] FÓRUM ATM, Shirish S. Sathaye (Editor), "Traffic Management Specification Version 4.0" ATM Forum/af-tm-0056.000 , April 1996.
- [GOLMIE 95a] GOLMIE, N., A . Koenig, D.Su. The NIST ATM Network Simulator. Technical Report NISTIR 5703, NIST, August 1995.
- [GOLMIE 95b] GOLMIE, N., Y Chang and D.Su. " NIST ER Switch Mechanism (An Example)". ATM Forum/95-0695, August 1995.
- [ITU-T 93] ITU-T Recommendation I.371 "Traffic Control and Congestion Control In B-ISDN", May 1993.
- [JAIN 92a] JAIN, R. "Congestion Control and Traffic Management in ATM Network". Relatório Técnico University of California, Irvine 1992.
- [JAIN 95b] JAIN, R., S. Kalyanaraman, and S. Viswanathan. The OSU Scheme for Congestion Avoidance in ATM Network Using Explicit Rate Indication. In *Proceedings WATM'95 First Workshop on ATM Traffic Management*, December 1995.
- [JAIN 95c] JAIN, Raj ; "Congestion Control and Traffic Management in ATM Networks: Recent Advances and a Survey" invited submission to Computer Networks and ISDN Systems, 1995. Disponível por <http://www.cic.ohio-state.edu/~jain>.

- [KUNG 93] KUNG, H.T., "The FCVC (Flow-Controlled Virtual Channels) Proposal for ATM Networks" In Proc. Of 1993 international Conf. On Network Protocols, pp.116-127, October 1993.
- [LARRY 94] LARRY, Robert. "Enhanced PRCA (Proportional Rate Control Algorithm)", ATM Forum 94-0735R1, August 1994.
- [LLOR 96] LLORENÇ, C. and Olga Casals, "A Simulation Study of Switching Mechanisms for ABR service in ATM Networks", Technical Report ACTS 094, Polytechnic University of Catalonia, Barcelona, Spain, March 1996.
- [MCDY 94] MCDYSAN, David E. and Darren L. Spohn, "ATM: Theory and Application", McGraw-Hill Inc, 1994.
- [MONT 94] MONTEIRO, J. A. S. , "Rede Digital de Serviço Integrado de Faixa Larga (RDSI-FL)", IX Escola de Computação, Recife, 1994.
- [NEW 94] NEWMAN, P., "Traffic Management for ATM Local Area Networks", IEEE Communications Magazine, Vol 32, August 1994.
- [RFC 81] POSTEL ,J., RFC793; " Transmission Control Protocol" , IETF, September 1981.
- [SAUSEN 98a] SAUSEN P. ,W. Giozza e M. I. Cabral, "Simulação e Análise de Mecanismos de Controle de Fluxo ABR em Redes ATM" Anais do 16 SBRC, Rio de Janeiro, Maio de 1998.
- [SAUSEN 98b] SAUSEN P. ,W. Giozza e M. I. Cabral, "Estudo do Controle de Tráfego para Serviço ABR em Redes ATM" , Anais da VII Seminfo, Salvador – BA, Maio de 1998.

[SOARES 95] SOARES, Luiz F. G., Guido. Lemos, Sergio Colcher, “ Redes de Computadores - Das LANs, MANs e WANs às Redes ATM”, Editora Campus, Rio de Janeiro, 1995.

[SU 95] SU D., N. Golmie, and Y. Chang “ Interoperability Analysis between EFCI and ER Switch Mechanisms for the New End System Behavior “ ATM Forum 95-0396R1, 1995.

Apêndice A : Parâmetros do Modelo e do Simulador NIST

```
# Seed 880660292
# Time of snapshot (ticks) 60000012
component 'SW-1' SWITCH 69 353
param 'SW-1' 32 0 # SW-1
param 0 12 0 # Delay to process a cell (uSec): 0
param 155 12 0 # Slot time (Mbit/s): 155
param -1 12 0 # Output q_size (cells, -1=inf): -1
param 25000 12 0 # High Threshold (Cells): 25000
param 20000 12 0 # Low Threshold (Cells): 20000
param 1000 12 0 # Logging every (ticks) (e.g. 1, 100): 1000
param 2 12 0 # 1(EFCI), 2(NIST), 3(735R1): 2
param 0.5 12 0 # MACR Additive Increase Rate (Mbits/s): 0.5
param 139 12 0 # Target Rate (Mbits/s): 139
param 0.9375 12 0 # Explicit Reduction Factor (ERF): 0.9375
param 100 12 0 # Measurement Interval in cells (N): 100
param 0 12 0 # Congestion Tolerance in cells (tau): 0
param 1.49 12 0 # Initial MACR rate (Mbits/s): 1.49
param 0.875 12 0 # VC Separator: 0.875
param 0.0625 12 0 # Average Factor (AV): 0.0625
param 2000 12 0 # DQT (Cells): 2000
param 0.95 12 0 # Major Reduction Factor (MRF): 0.95
param 0.875 12 0 # Down Pressure Factor (DPF): 0.875
pflags 2e 1 #Congestion (True/False): 1
pflags 2e 4 #% cell drop: 0
pflags 2e 4 #Cells in VBR Q to L-1: 0
pflags 2e 4 #Cells dropped in VBR Q toL-1: 0
pflags 2e 4 #Cells in ABR Q toL-1: 0
pflags 2e 4 #Cells Dropped in ABR Q toL-1: 0
pflags 2e 4 #ERS for Q toL-1: 123.351
```

pflags 2e 4 #Count for Q toL-1: 0
pflags 2e 4 #MACR rate for Q toL-1: 123.851
pflags 2e 4 #Cells in VBR Q to L-2: 0
pflags 2e 4 #Cells dropped in VBR Q toL-2: 0
pflags 2e 4 #Cells in ABR Q toL-2: 0
pflags 2e 4 #Cells Dropped in ABR Q toL-2: 0
pflags 2e 4 #ERS for Q toL-2: 123.351
pflags 2e 4 #Count for Q toL-2: 0
pflags 2e 4 #MACR rate for Q toL-2: 123.851
pflags 2e 4 #Cells in VBR Q to L-3: 0
pflags 2e 4 #Cells dropped in VBR Q toL-3: 0
pflags 2e 4 #Cells in ABR Q toL-3: 0
pflags 2e 4 #Cells Dropped in ABR Q toL-3: 0
pflags 2e 4 #ERS for Q toL-3: 139
pflags 2e 4 #Count for Q toL-3: 0
pflags 2e 4 #MACR rate for Q toL-3: 139
pflags 2e 4 #Cells in VBR Q to L-4: 0
pflags 2e 4 #Cells dropped in VBR Q toL-4: 0
pflags 2e 4 #Cells in ABR Q toL-4: 0
pflags 2e 4 #Cells Dropped in ABR Q toL-4: 0
pflags 2e 4 #ERS for Q toL-4: 139
pflags 2e 4 #Count for Q toL-4: 0
pflags 2e 4 #MACR rate for Q toL-4: 139
pflags 2e 4 #Cells in VBR Q to BB1: 0
pflags 2e 4 #Cells dropped in VBR Q toBB1: 0
pflags 6e 4 #Cells in ABR Q toBB1: 0
pflags 2e 4 #Cells Dropped in ABR Q toBB1: 0
pflags 2e 4 #ERS for Q toBB1: 51.1053
pflags 2e 4 #Count for Q toBB1: 0
pflags 2e 4 #MACR rate for Q toBB1: 51.582

component 'BTE-03' BTE 9 256

param 'BTE-03' 32 0 # BTE-03
param 50 12 0 # Max Output Queue Size(-1=inf): 50
param 50 12 0 # Max Input Queue Size(-1=inf): 50
pflags 2e 4 #Cells Received: 707
param 1000 12 0 # Logging every (ticks) (e.g. 1, 100): 1000
param -1 12 0 # Stop sending at (usecs): -1
param 149.76 12 0 # Peak Cell Rate of MH-F-1: 149.76
param 32 12 0 # Nrm MH-F-1: 32
param 7.49 12 0 # ICR of MH-F-1: 7.49
param 0.149 12 0 # LowCr of MH-F-1: 0.149
param 0.015 12 0 # AIR of MH-F-1: 0.015
param 512 12 0 # RDF of MH-F-1: 512
param 2 12 0 # TOF of MH-F-1: 2
param 32 12 0 # Xrm (Cells) of MH-F-1: 32
param 0.0625 12 0 # XDF of MH-F-1: 0.0625
param 2 12 0 # MRM of MH-F-1: 2
param 100000 12 0 # TRM (in us) of MH-F-1: 100000
param 5000 12 0 # CIF of MH-F-1: 5000
param 256 12 0 # TDF of MH-F-1: 256
param 0.00424 12 0 # TCR (in Mbit/s) of MH-F-1: 0.00424
param 0 12 0 # PNI of MH-F-1: 0
pflags 2e 4 #ACR (in Mbit/s) for ABR MH-F-1: 18.0851
pflags 2e 4 #Cells in VBR Q to L-1: 0
pflags 2e 4 #Cells dropped in VBR Q to L-1: 0
pflags 2e 4 #Cells in ABR Q to L-1: 1
pflags 2e 4 #Cells Dropped in ABR Q to L-1: 0

component 'MH-F-1' ABRCONNECTION1 11 188

param 'MH-F-1' 32 0 # MH-F-1

param 155 12 0 # Bit Rate 1 (Mbits/s): 155

param 0 12 0 # Intial Start time (usecs): 0

param 155 12 0 # Bit Rate 2 (Mbits/s): 155

param 0 12 0 # Start time of Bit Rate 2 (usecs): 0

param 10000 12 0 # Number of MBits to be sent: 10000

pflags 22 0

Glossário

- AAL – *ATM Adaptation Layer*
- ATM - *Asynchronous Transfer Mode*
- ABR – *Available Bit Rate*
- ABT – *ATM Block Transfer*
- ACR – *Allowed Cell Rate*
- ADTF – *ACR Decrease Time Factor*
- BECN – *Backward Explicit Congestion Notification*
- BT – *Burst Tolerance*
- BTE – *Broadband Terminal Equipment*
- CAC – *Connection Admission Control*
- CLR – *Cell Loss Rate*
- CLP – *Cell Loss Priority*
- CTD – *Cell Transfer Delay*
- CBR - *Constant Bit Rate*
- CCR – *Current Cell Rate*
- CCITT - *International Telegraph and Telephone Consultative Commite*
- CDV – *Cell Delay Variation*
- CDF – *Cell Delay Factor*
- CDVT – *CDV Tolerance*
- CI – *Congestion Indication*
- CLP – *Cell Loss Priority*
- CLR – *Cell Loss Ratio*
- CRC – *Cyclic Redundancy Check*
- CRM – *Count RM-cell*
- CTD - *Cell Transfer Delay*

- DIR – *Direction*
- DBR – *Deterministic Bit Rate*
- EFCI – *Explicit Forward Congestion Indication*
- EPRCA – *Enhanced Proportional Rate Control Algorithm*
- ER – *Explicit Rate*
- ECR – *Explicit Cell Rate*
- FRTT – *Fixed Round-Trip Time*
- ICR – *Initial Cell Rate*
- ID – *Protocol Identifier*
- ITU-T – *International Telecommunications Union - Telecommunications*
- MACR – *Mean Allowed Cell Rate*
- maxCTD – *Maximum Cell Transfer Delay*
- meanCTD – *Mean Cell Transfer Delay*
- MBS – *Maximum Burst Size*
- Mrm – *Minimum Number of Cells*
- MCR – *Minimum Cell Rate*
- MH – *Multi- Hop*
- MPEG – *Motion Picture Encoding Group*
- MRF – *Maximum Rate Factor*
- NI – *No Increase*
- NIST – *National Institute of Standards and Technology*
- Nrm – *Maximum Number of cell*
- NNI (*Network to Network Interface*)
- nrt-VBR – *Non-Real-Time VBR*
- PCR – *Peak Cell Rate*
- PTI – *Payload Type Indicator*
- PVC – *Permanent Virtual Connection*
- QL – *Queue Length*
- QoS – *Quality of Service*
- RA – *Request/Acknowledge*

- RDF – *Rate Decrease Factor*
- RDFF – *RDF Factor*
- rtVBR – *real time Variable Bit Rate*
- RM-Cell – *Resource Management Cell*
- RDSI-FE – *Rede Digital de Serviço Integrado – Faixa Estreita*
- RDSI-FL – *Rede Digital de Serviço Integrado – Faixa Larga*
- RTT – *Route Trip Time*
- rt-VBR – *Real-Time VBR*
- SH – *Single-Hop*
- SBR – *Statical Bit Rate*
- SN – *Sequence Number*
- SVC – *Switched Virtual Connection*
- SCR – *Sustained Cell Rate*
- TBE – *Transient Buffer Exposure*
- TCR – *Tagged Cell Rate*
- TM – *Traffic Management*
- TCP/IP – *Transport Control Protocol Internet Protocol*
- TR – *Target Rate*
- UBR – *Unspecified Bit Rate*
- UNI (*User Network Interface*)
- VBR – *Variable Bit Rate*
- VC – *Virtual Connection*
- VCC – *Virtual Channel Connection*
- VCI – *Virtual Channel Identifier*
- VPC – *Virtual Path Connection*
- VS – *Virtual Source*
- VD – *Virtual Destination*
- VPI – *Virtual Path Identifier*
- WAN – *Wide Area Network*