

Método Relógio Adaptativo em Redes ATM - Uma Proposta

Milena Pessoa Micheli¹ Maria Izabel C. Cabral² William Ferreira Giozza³

¹Faculdade Ruy Barbosa – Salvador/BA
²Grupo de Redes de Computadores/ UFPB
³ITELCON/UNIFACS

Milena@svn.com.br, izabel@dsc.ufpb.br, giozza@nutecnet.com.br

Resumo

Uma das funções da Camada de Adaptação ATM (AAL) para o suporte de aplicações em tempo real relaciona-se com a recuperação da frequência do relógio da fonte na AAL receptora. Um dos mecanismos de recuperação é o método Relógio Adaptativo, que se baseia no nível de enchimento de *buffer* na AAL receptora. Esse artigo enfoca dois modelos para esse método: o primeiro, representa o método denominado CBCR (*Cell-Based Clock Recovery*). O segundo modelo, uma proposta nossa, representa uma variante do método CBCR, onde se considera um intervalo de tolerância para a variação do nível de enchimento do *buffer* na AAL receptora. Ambos os modelos foram simulados e seus resultados analisados considerando a variação da diferença entre as frequências dos relógios das AALs transmissora e receptora, como também da utilização de *buffer* na AAL receptora. Essas medidas de desempenho foram obtidas em função do tempo de simulação.

Palavras Chaves: Redes ATM, Camada de Adaptação ATM, Recuperação de Relógio, Relógio Adaptativo.

Abstract

One of the functions of the ATM Adaptation Layer (AAL) for support of real time applications is related with the clock recovery in the receiver AAL. One of the mechanisms of recovery is the Adaptative Clock method, which is based with buffer filling in receiver AAL. This paper focus two models for this method: the first, represents a method called CBCR (*Cell-Based Clock Recovery*). The second model, our proposal, represents a variation of the CBCR, where a tolerance time interval is considered for the variation of buffer filling level in the receiver AAL. Both models where simulated and its results analyzed considering the variation in the difference between clock frequencies of the AAL's receiver and sender, and also the use of the buffer in the receiver AAL. This performance measures where taken as a function of simulation time.

Key Words: ATM network, ATM Adaptation Layer, Clock Recovery, Adaptive Clock.

1. Introdução

O Modo de Transferência Assíncrono (ATM - *Asynchronous Transfer Mode*) é o modo de transmissão usado na implementação da Rede Digital de Serviços Integrados Faixa Larga (RDSI-FL) [PRYC95]. Redes ATM oferecem flexibilidade e eficiência para o transporte de vários tipos de tráfego (como voz, vídeo e dados) em um único ambiente.

No modelo de referência dos protocolos da RDSI-FL [SURU94][PRYC95], a Camada de Adaptação ATM (AAL - *ATM Adaptation Layer*) é responsável pelo atendimento das necessidades dos usuários, sendo dependente dos requisitos da camada superior. Ela deve suportar quaisquer funções que sejam necessárias para o fornecimento dos serviços oferecidos por ela.

Na transmissão de dados multimídia (de uma aplicação em tempo real), normalmente, é necessário que a taxa de entrega de informação no receptor esteja sincronizada com a taxa do serviço na origem. Para isso, as AALs que suportam serviços multimídia têm, dentre outras funções [SURU94][PRYC95], a de recuperar a frequência do relógio fonte no receptor.

A Recomendação I.363.1 [ITUT96] do ITU-T apresenta dois métodos de recuperação do relógio fonte para serviços CBR (*Constant Bit Rate*): o SRTS (*Synchronous Residual Time Stamp*) e o Relógio Adaptativo (*Adaptive Clock - AC*). O método SRTS baseia-se na existência de um relógio de referência comum, disponível em ambas AALs envolvidas numa mesma conexão. É o que acontece, tipicamente, se o emissor e o receptor estiverem se comunicando através de uma rede síncrona, i.e., uma rede baseada em SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) ou SONET, por exemplo [PRYC95]. Por outro lado, se um relógio de referência comum não é disponível, por exemplo, em uma rede baseada em PDH (*Plesiochronous Digital Hierarchy*), pode-se usar o método de Recuperação de Relógio Adaptativo que se baseia na monitoração de *buffers* no receptor. Nesse método, um relógio de referência comum não é necessário.

O método Relógio Adaptativo é implementado na AAL receptora e se baseia no fato de que a quantidade de dados transmitida é um indicador da frequência da fonte (nenhuma informação explícita do relógio fonte é transportado pela rede). Esse método é descrito na Recomendação I.363.1 do ITU-T, porém sua implementação ainda não foi definida e padronizada.

Esse artigo enfoca dois modelos para esse método: o primeiro, representando o método denominado CBCR (*Cell-Based Clock Recovery*) [COX94]. O segundo modelo, uma proposta nossa, representa uma variante do método CBCR, onde se considera um intervalo de tolerância para a variação do nível de enchimento do *buffer* na AAL receptora. Ambos os modelos foram simulados utilizando o *BONeS Designer (Block Oriented Network Simulator)* [BONES96], e seus resultados analisados considerando a variação da diferença entre as frequências dos relógios das AALs transmissora e receptora, como também, a utilização de *buffer* na AAL receptora. Essas medidas de desempenho foram obtidas em função do tempo de simulação.

As demais seções do presente artigo são as seguintes: a seção 2 descreve o modelo do método relógio adaptativo, o modelo do método CBCR e o modelo proposto, um modelo variante do método CBCR; a seção 3 apresenta os resultados e análises das simulações realizadas para os modelos descritos na seção 2. Finalmente, a seção 4 apresenta as conclusões desse artigo.

2. Método Relógio Adaptativo

Para construir um modelo para o método Relógio Adaptativo, na AAL receptora, considera-se que células que foram geradas para uma conexão de referência sofrem atrasos variados ao passarem pelos comutadores que compõem a rede, desde sua origem (AAL fonte) até o seu destino (AAL receptora).

A figura 1 mostra o modelo de uma conexão de referência onde a Rede ATM engloba os comutadores e os enlaces que servem a essa conexão. As variações de atraso, conhecidas como *jitter*, acontecem porque várias conexões podem estar utilizando os mesmos comutadores numa rede. Assim, em um comutador, células de diversas conexões podem chegar para serem comutadas, em quantidades diferentes a cada instante. Em caso de congestionamento na rede, as células são armazenadas em *buffers* nos comutadores [PRYC95] e podem sofrer atrasos distintos em cada um deles ao longo de uma conexão de referência. É preciso considerar também que, a depender do grau de congestionamento na rede, células podem ainda ser perdidas (descartadas nos comutadores) antes de chegarem ao seu destino.

Para modelar o método de Recuperação de Relógio Baseado em Célula (CBCR), é preciso modelar também o tráfego de chegada das células à AAL receptora (saída da rede), com tempos de inter-chegadas que variam em função de fatores como o *jitter* e a taxa de perda de células.

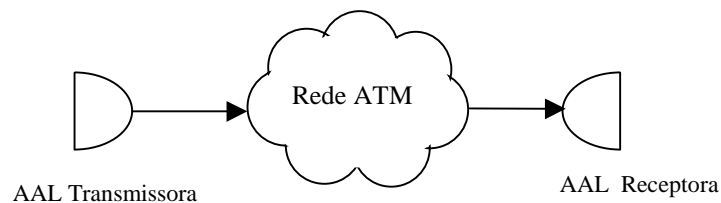


Figura 1: Modelo de uma Conexão de Referência.

2.1 Modelo Simplificado para o Tráfego de Chegada de Células na AAL Receptora

Uma alternativa para gerar o tráfego de uma conexão de referência que chega à AAL receptora é construir um modelo simplificado onde células são geradas em intervalos de tempo variados, que dependem de parâmetros de rede como atraso fim-a-fim das células (desde a AAL fonte até a AAL receptora), *jitter* e taxa de perda de células.

Nesse modelo, considera-se que as células chegam à AAL receptora com tempos de inter-chegadas gerados segundo uma distribuição uniforme dentro de um intervalo [Limite_Mínimo ; Limite_Máximo], definido a partir do valor da taxa de geração de células para a conexão de referência e do valor do *jitter* pico-a-pico. Supõe-se que não há perda de células nos comutadores da conexão de referência.

Considera-se também, que o *jitter* pico-a-pico é a diferença entre o maior e o menor atraso sofrido pelas células ao serem transportadas pela rede, da fonte até o destino ($J_{\text{pico-a-pico}} = D_{\text{max}} - D_{\text{min}}$). Essa consideração parte da própria definição de *jitter* [RASH96].

Para simplificar a análise da variação do intervalo de chegada de células no receptor, considera-se que o atraso mínimo sofrido por uma célula é zero ($D_{\text{min}} = 0$). O valor do *jitter* pico-a-pico é então igual ao atraso máximo ($J_{\text{pico-a-pico}} = D_{\text{max}}$). As células são geradas na AAL fonte com tempos de inter-chegadas constantes e iguais a T .

Cada célula (x) tem seu tempo de inter-chegada gerado uniformemente dentro de um intervalo [Limite_Mínimo_x ; Limite_Máximo_x]. Os valores para os limites são definidos com base nos valores dos tempos de inter-chegadas das células na fonte (T) e do *jitter* pico-a-pico ($J_{\text{pico-a-pico}}$), considerando o instante da chegada da célula anterior:

$$\begin{aligned} \text{Limite_Máximo}_x &= T_{\text{Geração}_x} + J_{\text{pico-a-pico}} - T_{\text{Chegada}_{x-1}}, \text{ e} \\ \text{Limite_Mínimo}_x &= T_{\text{Geração}_x} - T_{\text{Chegada}_{x-1}}, \end{aligned}$$

onde $T_{\text{Geração}_x}$ é igual ao instante em que a célula x foi gerada na fonte e, $T_{\text{Chegada}_{x-1}}$ é igual ao instante em que a célula x-1 chegou ao receptor.

Com esse modelo, pode-se ter um gerador de células com tempos de inter-chegadas variados, representado a chegada de células que foram originadas em intervalos de tempo constantes e sofreram variação no atraso (*jitter*) ao percorrerem uma rede ATM. Em média, os tempos de inter-chegadas das células na AAL receptora têm um valor igual a T. Mais detalhes desse modelo são apresentados em [MICH98].

2.2 Modelo do Método Relógio Adaptativo

O método Relógio Adaptativo (AC), foi desenvolvido para trabalhar com fluxo de informação com taxa constante [KAND93]. No destino, a AAL mantém um *buffer* que implementa uma fila de *bits* de informação do fluxo. O sistema tenta manter o nível de *bits* da fila quase constante. Teoricamente, todo o trabalho da AAL é acelerar o relógio de entrega de informação ao usuário, caso o *buffer* encha demais, e desacelerá-lo, caso o nível desça abaixo do desejado, evitando assim problemas de *underflow* e *overflow* do *buffer*.

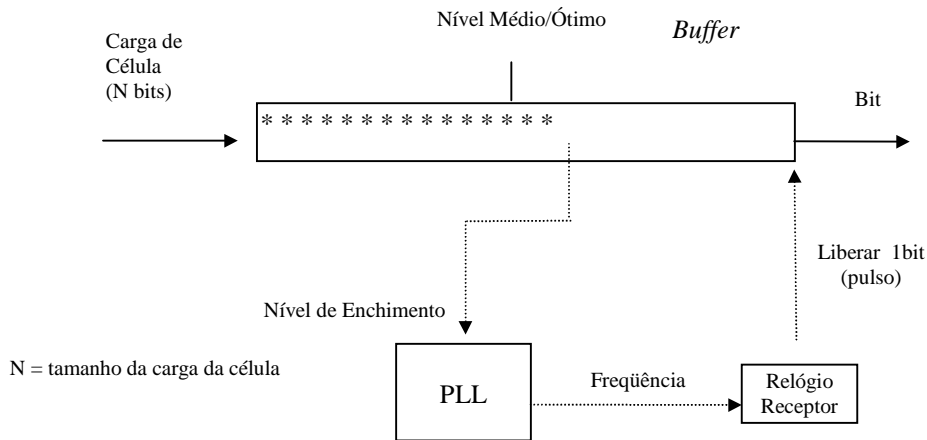


Figura 2: Modelo do Método Relógio Adaptativo.

A figura 2 apresenta o modelo geral desse método. Nesse modelo, a cada chegada de uma carga de célula, o número de *bits* equivalente ao tamanho da carga é colocado em um *buffer*. Quando o enchimento do *buffer* atinge o nível desejado (chamado de nível médio/ótimo) o relógio receptor (*read_clock*) é ativado, liberando a saída de *bits* do *buffer*. A cada pulso do relógio receptor um bit é retirado do *buffer*, seguindo a disciplina FIFO (*First In First Out*).

O relógio receptor é controlado por um mecanismo denominado PLL (*Phase Locked Loop*) que determina o tempo entre cada pulso que varia conforme o nível de enchimento do *buffer*. O valor de nível médio/ótimo deve ser estabelecidos de forma a atrasar o início da

reprodução do tráfego (tempo inicial para que o *buffer* atinja o nível desejado) e implementar a compensação da variação estatística do retardo.

- Modelo CBRC

Em [COX94] é apresentada uma proposta de modelo para o método Relógio Adaptativo, chamada de método de Recuperação de Relógio Baseado em Célula (CBCR - *Cell Based Clock Recovery*). Doravante esse modelo será denominado CBCR.

No modelo CBCR, o algoritmo que implementa o PLL consiste dos seguintes módulos: Estimador de máximo, Diferenciador e Ajustador Lógico de Freqüência, conforme mostra a figura 3.

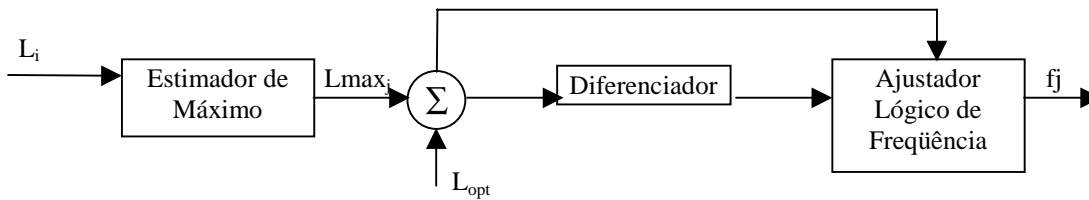
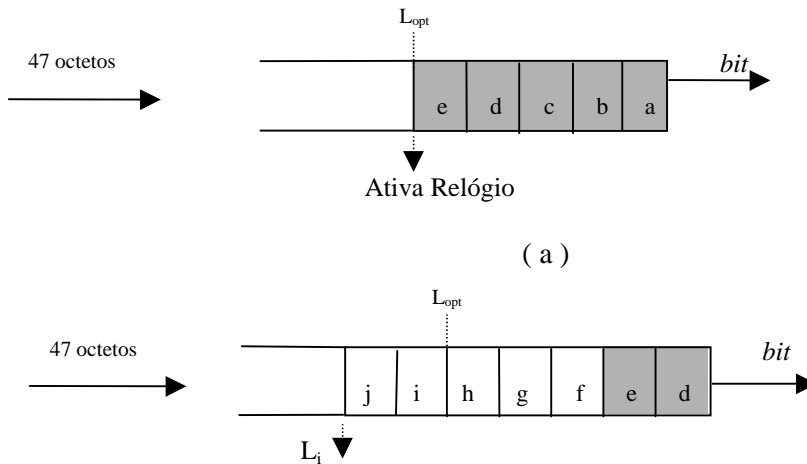


Figura 3: Modelo Geral do PLL para o Método de Recuperação de Relógio Baseado em Célula[FRAN96].

Seguindo o princípio básico da recuperação de *jitter*, as células que chegam no receptor são colocadas em um *buffer*, numa disciplina FIFO. Quando o nível de enchimento do *buffer* atinge um valor considerado como nível ótimo (L_{opt}), o método de recuperação de relógio é ativado e *bits* começam a ser liberados do *buffer*, conforme mostra a figura 4a.



L_i = Amostra do nível do *buffer*

Amostras : $\underbrace{L_1, L_2, \dots, L_M}_{\text{Bloco 1 } j=1}, \underbrace{L_{M+1}, L_{M+2}, \dots, L_{2M}}_{\text{Bloco 2 } j=2}, \underbrace{L_{2M+1}, L_{2M+2}, \dots, L_{3M}, \dots}_{\text{Bloco 3 } j=3}$

$L_{max_1} = \text{maior}(L_1, \dots, L_M),$
 $L_{max_2} = \text{maior}(L_{M+1}, \dots, L_{2M}), \dots$

(b)

Figura 4: Amostragem do Nível do *Buffer*.

A cada intervalo de tempo, aqui chamado de tempo entre amostras, o nível de enchimento do *buffer* é amostrado, e essa informação passada para o módulo Estimador de Máximo. Esse módulo recebe sucessivas amostras do nível do *buffer* (L_i) e, a cada M

amostras, seleciona a de maior valor (L_{max_j}). L_{max_j} é o maior valor amostrado em cada bloco de M amostras, conforme mostra a figura 4b, e é considerado o nível de enchimento máximo do *buffer* durante esse período (M multiplicado pelo intervalo de tempo entre amostras).

Depois que uma certa quantidade (J) de valores máximos das amostras são estimados ($L_{max_1}, \dots, L_{max_J}$ são obtidos através do “Estimador de máximo”), o módulo “Ajustador Lógico de Frequência” começa a fazer pequenos ajustes na frequência do relógio. A nova frequência do relógio receptor (f_j) é obtida com base na diferença entre determinados valores amostrados e na diferença entre uma amostra e o nível de enchimento ótimo. Essas informações são obtidas através do módulo “Diferenciador”, e usada pelo “Ajustador Lógico de Frequência” que faz o seguinte cálculo:

$$f_j = f_{j-1} + \alpha * HDLM_\alpha(L_{max_j} - L_{max_{j-J}}) + \beta * HDLM_\beta(L_{max_{j-J/2}} - L_{opt})$$

Onde: f_j = Frequência do relógio “recuperado” (Hz)
 L_{max_j} = O máximo de M sucessivas amostras de nível do *buffer* (bits)
 M = Comprimento do bloco do qual L_{max_j} é extraído (amostras)
 L_{opt} = Nível ótimo do “*buffer*” (bits)
 α e β = Fatores de adaptação (Hz/bit)
 J = Quantidade de amostras máximas sucessivas para o cálculo de f_j .
 $HDLM_{\alpha}$ e β = Funções limitadoras com limites THR_α e THR_β .

O objetivo do método de Recuperação de Relógio Baseado em Célula (CBCR), ao utilizar a fórmula acima, é recuperar o relógio da fonte mantendo o nível do *buffer* quase constante e muito próximo do nível ótimo. Para isso são usados parâmetros de adaptação (α e β) e funções limitadoras no cálculo para o ajuste da frequência.

O parâmetro α é utilizado para adaptar o relógio “recuperado” ao relógio fonte, tentando manter o nível do *buffer* constante.

O parâmetro β serve para adaptar o nível do *buffer* em direção ao nível ótimo. Se β é zero, o relógio deve ser incrementado na mesma proporção da diferença encontrada nos níveis do *buffer* entre J amostras máximas. Dessa forma, o algoritmo pode alcançar a estabilidade com o nível de enchimento do *buffer* diferente do nível ótimo. É importante manter o *buffer* no nível ótimo, já que este é o nível ideal para evitar *overflow* e *underflow* no *buffer*.

A função HDLM limita o efeito de grandes mudanças no nível de enchimento do *buffer*. Para isso são determinados valores limites para a saída do “diferenciador”, definido pelos valores do THR_α e THR_β . Como o ajuste da frequência do relógio é baseado em variações no nível do *buffer*, qualquer problema na rede que leve à mudanças inesperadas no enchimento do *buffer* pode causar grandes variações na frequência, dificultando a recuperação do relógio.

- Modelo Proposto

Segundo a proposta apresentada em [ITUT96], o PLL deve procurar manter o nível do enchimento do *buffer* entre um limite máximo e um limite mínimo. Caso o nível de enchimento do *buffer* ultrapasse o limite máximo, o PLL acelera o relógio receptor (aumenta a sua frequência), diminuindo o intervalo tempo entre cada pulso e, conseqüentemente, liberando mais rapidamente os *bits* do *buffer*. O inverso acontece caso o nível de enchimento atinja um valor menor que o limite mínimo, quando o relógio receptor é desacelerado,

aumentando o intervalo de tempo entre cada pulso, e, conseqüentemente, retardando a saída dos *bits* no *buffer*.

Propomos nesse trabalho um novo modelo, uma variante do método CBCR, onde se considera um intervalo de tolerância para a variação do nível de enchimento do *buffer*. Esse modelo adiciona maior flexibilidade ao método CBCR, permitindo que o relógio só seja ajustado quando o nível de enchimento do *buffer* ultrapassar limites definidos.

Os valores para os limites máximo e mínimo usados no controle do nível de enchimento do *buffer* podem ser definidos a partir da taxa de geração da AAL transmissora e do *jitter* de atraso máximo esperado para as cargas de células na Rede ATM. Nesse caso, os valores dos limites são especificados considerando as alterações no nível do *buffer*, causadas pelo *jitter* de atraso da rede. O intervalo definido entre o Limite Mínimo e o Limite Máximo corresponde à quantidade de células que são entregues pela AAL Receptora (considerando os relógios sincronizados) quando uma célula (x) sofre o atraso máximo da rede e a célula anterior (x-1) sofre um atraso mínimo. Nessa situação tem-se um tempo de inter-chegada máximo de célula na AAL Receptora.

Logo, $N = \text{Tempo de inter-chegada máximo} / T$, ou

$N = (J_{\text{pico-a-pico}} / T) + 1$, onde $T = \text{Tempo de inter-chegada da fonte CBR de referência}$.

Consideramos que, uma vez os relógios sincronizados (diferença de frequência entre relógio fonte e destino igual a zero):

- o nível de enchimento do *buffer* deve variar sempre entre os Limites Mínimo e Máximo, em torno do ponto médio desse intervalo;
- como o tempo de inter-chegada (variável) de células na AAL receptora é em média T e as células estão sendo retiradas do *buffer* em intervalos de tempo fixos também igual a T , o nível de enchimento do *buffer* deverá ter sua média no ponto que marca o meio do intervalo entre os limites.

Dessa forma, a diferença entre médias de um número de amostras consecutivas do *buffer* pode ser um indicador da diferença de frequência entre o relógio usado na geração de células na fonte e o relógio que define a taxa de entrega no receptor.

Será usado, portanto, no cálculo da frequência do relógio os valores L_{\max_j} (o valor máximo entre M amostras do nível do *buffer*, apresentada na descrição do modelo CBCR) e os valores L_{med_j} (a média dos valores de M amostras do nível de enchimento do *buffer*). O processo de amostragem é feito conforme mostra a figura abaixo.

Amostras : $\underbrace{L_1, L_2, \dots, L_M}_{\substack{\text{Bloco 1} \\ j=1}}, \underbrace{L_{M+1}, L_{M+2}, \dots, L_{2M}}_{\substack{\text{Bloco 2} \\ j=2}}, \underbrace{L_{2M+1}, L_{2M+2}, \dots, L_{3M}}_{\substack{\text{Bloco 3} \\ j=3}}, \dots$

L_i = amostra do nível do *buffer*

L_{med_1} = média(L_1, \dots, L_M),

L_{med_2} = média(L_{M+1}, \dots, L_{2M}), ...

Figura 5: Amostragem do Nível do *Buffer* com Cálculo da Média das Amostras.

Nesse caso, o cálculo da frequência é feito da seguinte forma:

$$f_j = f_{j-1} + \alpha * HDLM_{\alpha}(L_{\text{med}_j} - L_{\text{med}_{j-1}}) + \beta * HDLM_{\beta}(L_{\text{med}_{j-1/2}} - L_{\text{opt}})$$

Nesse modelo, o desempenho do método Relógio Adaptativo depende de parâmetros como:

- a) O intervalo de tempo entre cada observação do nível de enchimento do *buffer*. Esse intervalo de tempo deve estar diretamente relacionado com uma alteração do nível do *buffer*. Assim, o nível do enchimento do *buffer* pode ser observado a cada chegada de uma carga de célula ou a cada saída de bit do *buffer*, por exemplo.
- b) O comprimento do intervalo definido pelos Limites Mínimo e Máximo, que permite a variação do nível de enchimento do *buffer* sem que a frequência do relógio necessite ser alterada.
- c) A quantidade de amostras (M) usada na avaliação de L_{max_j} e no cálculo de L_{med_j} .

Em [MICH98] são apresentados com detalhes os modelos apresentados nesse artigo.

3. Simulação e Resultados

Para avaliar o desempenho do método de Relógio Adaptativo, os modelos enfocados nesse artigo (CBCR e aquele proposto) foram simulados utilizando a ferramenta de modelagem e simulação BONEs *Designer* [BONES96].

O BONEs *Designer* é um pacote de *software* desenvolvido para modelar e simular sistemas de transferência de dados. Ele permite a construção de modelos de sistemas de forma hierárquica e gráfica, usando blocos das bibliotecas do próprio simulador ou módulos construídos pelos usuários. A partir da definição do modelo, o BONEs executa sua simulação, apresenta medidas de desempenho e mostra graficamente essas medidas. Uma vez o modelo implementado, várias simulações com diferentes parâmetros, podem ser feitas.

Em nossos estudos de modelagem e simulação, consideramos uma fonte MPEG2 CBR gerando *Transport Streams* (TS, 188 octetos) a uma taxa de 4 Mbps e entregando-os a uma AAL UDT. Cada TS MPEG2 é segmentado e enviado ao seu destino em 4 células ATM, com a informação da aplicação ocupando todos os 47 octetos da carga da célula. Consideramos também que as células, ao passarem pela rede ATM, sofrem uma variação uniforme no atraso e com o *jitter* pico-a-pico igual a 0,1 ms. A taxa de perda de células na rede ATM não é considerada.

Consideramos que as primeiras cargas de células que chegam ao *buffer* na AAL receptora sofrem um atraso inicial antes de serem entregues ao usuário. Esse atraso é equivalente ao tempo de enchimento do *buffer* até o Nível Ótimo de 6 cargas de células (2256 *bits*). Doravante, as "cargas de células" serão chamadas simplesmente de "células", nesse trabalho.

Parâmetros	Valores
Diferença de frequência inicial	200 bps
M	100 amostras
J	8
α	0,05 Hz/bits
β	0,0004 Hz/bits
THR_{α}	250
THR_{β}	800

Tabela 1: Parâmetros de Simulação.

A tabela 1 mostra os valores dos demais parâmetros usados nas simulações realizadas.

- Resultados do Modelo CBCR

Nesse modelo, o intervalo de tempo entre amostras é fixo, sendo considerado o valor 0.0001 segundos.

A Figura 6 apresenta a diferença de frequência (bps) entre os relógios (origem e destino) em função do tempo (segundos). Como podemos observar, até cerca de 25 segundos da simulação, o relógio receptor passa por um período de instabilidade, quando a diferença de frequência entre os relógios apresenta uma grande e rápida variação (de -200 até cerca de 45 bps). Após esse período, o mecanismo oscila em torno do ponto de sincronismo (diferença de frequência = 0). Essa oscilação se apresenta no intervalo correspondente a +10 bps e -10 bps, aproximadamente.

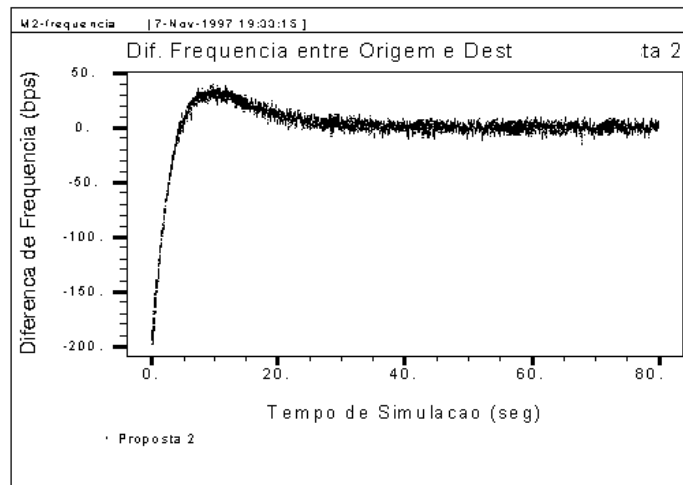


Figura 6: Diferença de Frequência entre os Relógios da Fonte e do Receptor vs Tempo, para o Modelo CBCR

A Figura 7 mostra o comportamento do *buffer*, visto através das amostras L_{max} , durante o ajuste da frequência.

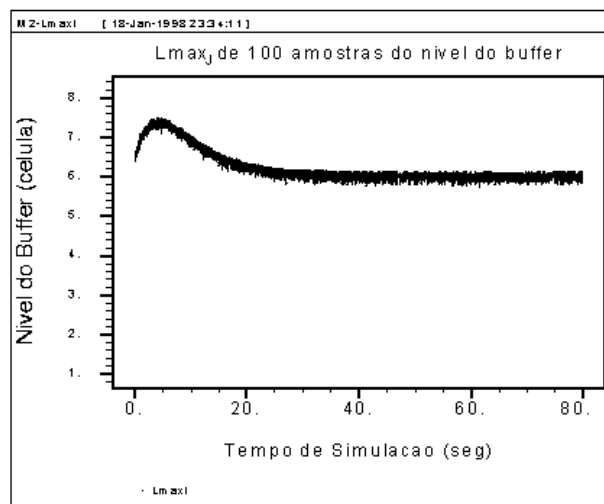


Figura 7: Variação do Nível do *Buffer* vs Tempo, para o Modelo CBCR

A diferença negativa encontrada na comparação das frequências dos relógios durante os primeiros 6 segundos de simulação (quando o relógio receptor é mais lento que o transmissor) eleva o enchimento do *buffer* até um nível equivalente a 7,5 células. Após esse período, o nível de enchimento do *buffer* passa a diminuir e, a partir de aproximadamente 30 segundos do tempo de simulação, ele se torna estável, tendo seu nível máximo muito próximo do parâmetro *Lopt*.

Os estudos apresentados nesse modelo foram validados através de [COX94].

- Resultados do Modelo Proposto

O tempo entre amostras do nível do *buffer*, para o modelo proposto, não é fixo. Ele equivale ao tempo de inter-chegada de cada célula no *buffer* da AAL Receptora, ou seja, o nível do *buffer* é amostrado a cada chegada de uma célula. O intervalo entre os Limites Mínimo e Máximo (N) considerado é de 2 células, e o início da retirada dos bits do *buffer* ocorre após o seu enchimento inicial equivalente a 6 células, que é o chamado Nível Médio (ponto médio do intervalo). O parâmetro *Lopt* assume esse valor.

As Figuras 8 e 9 mostram, respectivamente, a variação da diferença de frequência entre os relógios e a variação do nível de enchimento do *buffer* durante 80 segundos de simulação para o modelo apresentado, utilizando *Lmed* no cálculo da frequência.

Pode-se perceber que, de acordo com a definição deste modelo, ajustes na frequência do relógio de leitura do *buffer* na AAL Receptora (chamado de relógio receptor) são efetuados sempre que o nível de enchimento do *buffer* ultrapasse os Limites Mínimo e Máximo (5 e 7 células, respectivamente). Chamamos de “período de ajuste de frequência” o intervalo de tempo em que o *buffer* se mantém fora dos limites definidos e alterações são, necessariamente, feitas na frequência do relógio receptor. Os períodos de ajustes estão representados na Figura 8 pelos intervalos no tempo de simulação em que as diferenças de frequências assumem valores variados (de 1,4 a 4 segundos e de 17,3 a 21 segundos, por exemplo).

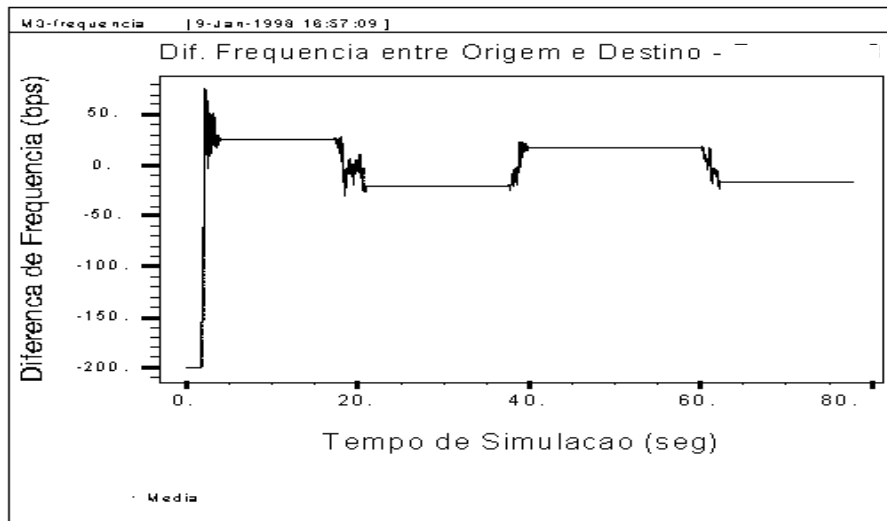


Figura 8: Diferença de Frequência entre os Relógios vs Tempo, para o Modelo Proposto (*Lmed*).

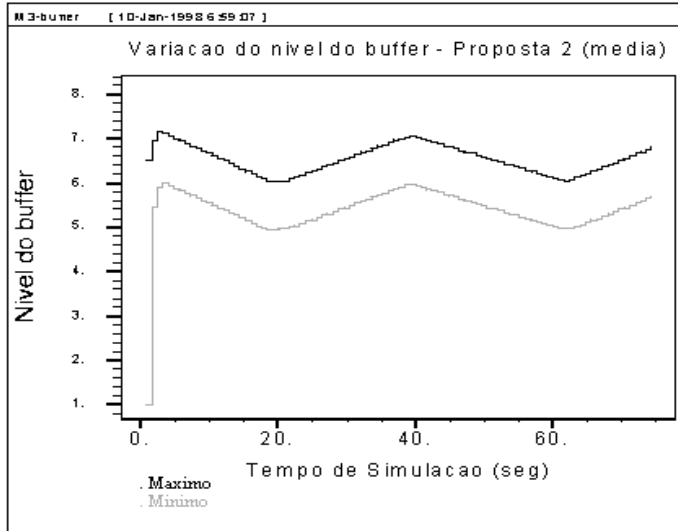


Figura 9: Nível de Enchimento *Buffer* vs Tempo, para o Modelo Proposto (Lmed).

Durante o período em que o nível de enchimento do *buffer* se mantém no intervalo definido pelos limites, os bits são retirados do *buffer* a uma taxa constante. Observamos que a frequência do relógio receptor assume valores cada vez mais próximos da frequência do relógio da fonte, após cada período de ajuste de frequência.

O novo modelo para o método Relógio Adaptativo foi simulado, também, utilizando L_{max} na fórmula de ajuste da frequência. As figuras a seguir apresentam os resultados dessa simulação.

A Figura 10 mostra a variação da diferença de frequência para os mesmos parâmetros da simulação anterior. Pode-se perceber que durante os 14 primeiros segundos de simulação, o modelo apresenta um comportamento aparentemente próximo do apresentado na Figura 8. Após esse período, a variação da diferença entre as frequências dos relógios permanece oscilando em torno do ponto de sincronismo (diferença de frequência igual a zero).

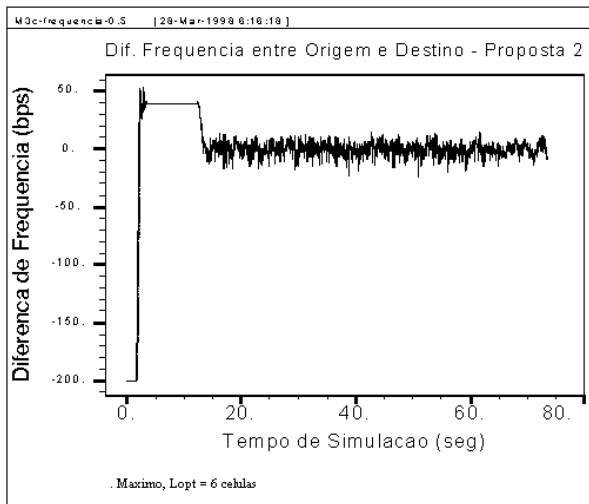


Figura 10: Diferença de Frequência entre os Relógios vs Tempo, para o Modelo Proposto (Lmax).

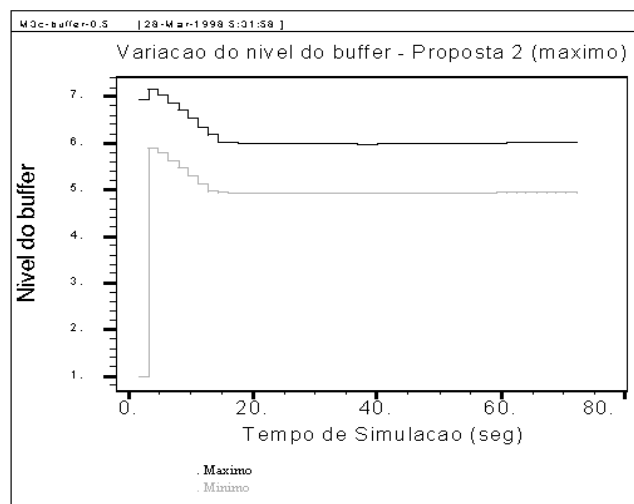


Figura 11: Nível de Enchimento *Buffer* vs Tempo, para o Modelo Proposto (Lmax).

Isso acontece porque, devido ao parâmetro β e ao uso do valor máximo das amostras no ajuste da frequência, o nível de enchimento máximo do *buffer* se mantém no ponto definido pelo parâmetro L_{opt} , que nesse caso é o ponto médio do intervalo entre o Limite Mínimo e o Máximo, conforme mostra a Figura 11. O nível de enchimento do *buffer* varia (devido ao tempo de inter-chegada variado de células, causado pelo *jitter* de atraso sofrido na rede) então, abaixo do nível médio, ultrapassando o limite mínimo de variação definido. Sempre que isso acontece, a frequência do relógio receptor é alterada, e a diferença de frequência entre os dois relógios (fonte e receptor) fica oscilando em torno do zero.

Dessa forma, com o uso de valores máximos de amostras para calcular a frequência, o parâmetro L_{opt} deve receber um valor mais próximo do Limite Máximo, do que o valor utilizado na simulação anterior (usando L_{med} , $L_{opt} = \text{Nível Médio}$). Isso permite que a variação do nível do *buffer* se limite ao intervalo definido (2 células), sempre que os relógios estiverem sincronizados. Para essa terceira simulação da nossa proposta para o método AC, foi atribuído a L_{opt} o valor igual a 6,5 células (Limite Máximo - $N/4$, onde N é o intervalo definido pelos limites). As Figura 12 e 13 apresentam os resultados dessa simulação.

Comparando com os resultados obtidos na simulação desse mesmo modelo usando L_{med} no cálculo da frequência (Figura 8), podemos observar que, durante 80 segundos de simulação, com o uso de L_{max} , o mecanismo conseguiu uma maior aproximação dos valores das frequências, conforme mostra a Tabela 2, com períodos menores de ajustes de frequência.

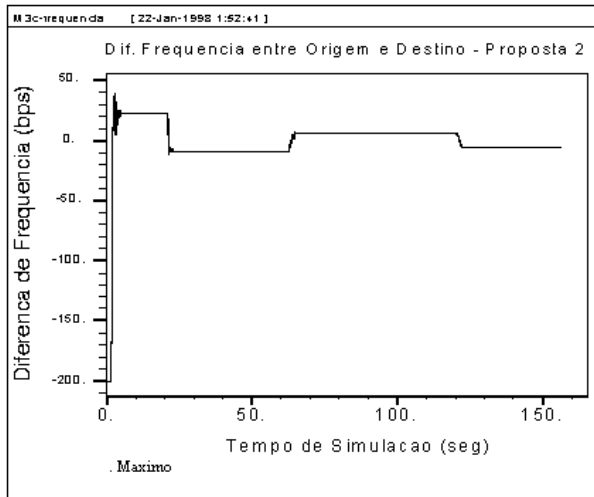


Figura 12: Diferença de Frequência entre o Relógio da Fonte e do Destino vs Tempo, para o Modelo Proposto (L_{max}) com L_{opt} igual a 6,5 células.

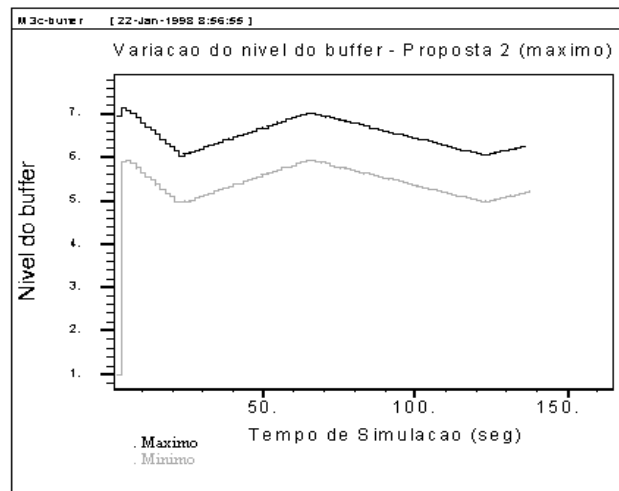


Figura 13: Nível de Enchimento *Buffer* vs. Tempo, para o Modelo Proposto (L_{max}).

Tempo de Simulação (seg)	Diferença entre Frequências dos Relógios (bps)	
	Média (L_{med})	Máximo (L_{max} e $L_{opt}=6,5$ células)
5	25	22
30	-20	-9
80	-12	7
160	-	-6

Tabela 2: Diferença de Frequência vs Tempo.

Podemos perceber também que quanto mais a diferença entre as frequências se aproxima de zero, maior é o intervalo de tempo para que o nível do *buffer* ultrapasse os limites considerados (conforme mostra a Figura 13), e conseqüentemente, maior é o intervalo de tempo entre períodos de ajuste de frequência. Por outro lado, quanto mais o relógio receptor se aproxima do ponto de sincronismo, menor é o valor da alteração na sua frequência.

O desempenho do modelo proposto, também pode ser analisado em função do número de amostras utilizado no cálculo de L_{max} (o parâmetro M).

As Figuras 14 e 15 mostram o comportamento do modelo na redução da diferença entre as frequências dos relógios, com outros valores para o M , iguais a 50 e 200, respectivamente. Os resultados da simulação do modelo com o valor do parâmetro M igual a 100, apresentado na Figura 12, é tido como referência tanto na Figura 14 como na Figura 13.

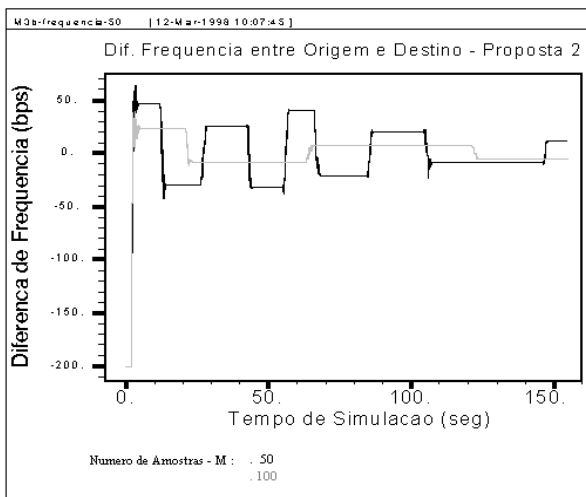


Figura 14: Diferença de Frequência entre os Relógios vs Tempo, para o Modelo Proposto (L_{max}), Com $M = 50$ e 100 amostras.

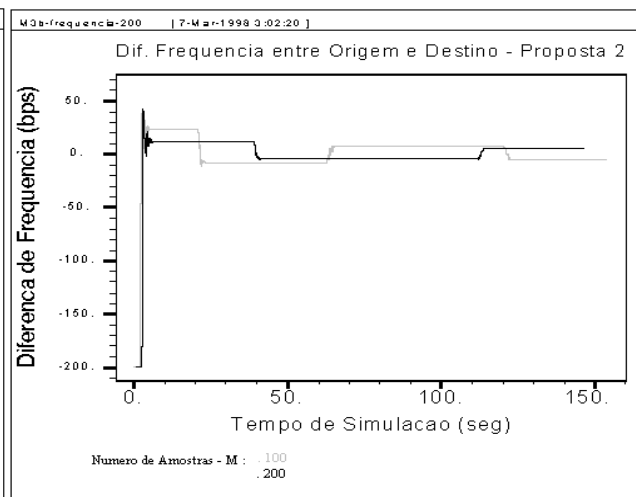


Figura 15: Diferença de Frequência entre os Relógios vs Tempo, para Modelo Proposto (L_{max}), com $M = 100$ e 200 amostras

Observa-se que, quanto menor o número de amostras usadas para se estimar L_{max} , maior é o número de períodos de ajustes na frequência do relógio receptor, e mais demorada é a redução da diferença entre as frequências dos relógios. Com maiores valores de M , o modelo proposto do método AC, utilizando L_{max} , consegue uma redução mais rápida da diferença entre as frequências (a diferença de frequência entre os relógios tende mais rapidamente a zero), com menos períodos de ajustes de frequência. Como conseqüência, o modelo consegue apresentar períodos de estabilidade maiores, quando os bits são retirados do *buffer* a uma taxa constante.

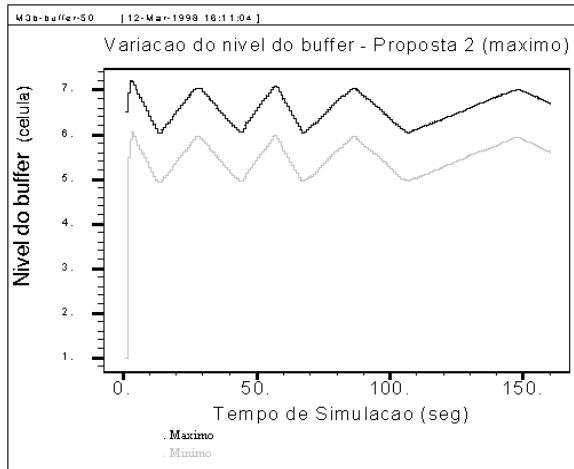


Figura 16: Variação do nível de enchimento máximo do *buffer*, para o Modelo (Lmax), Com M = 50 amostras.

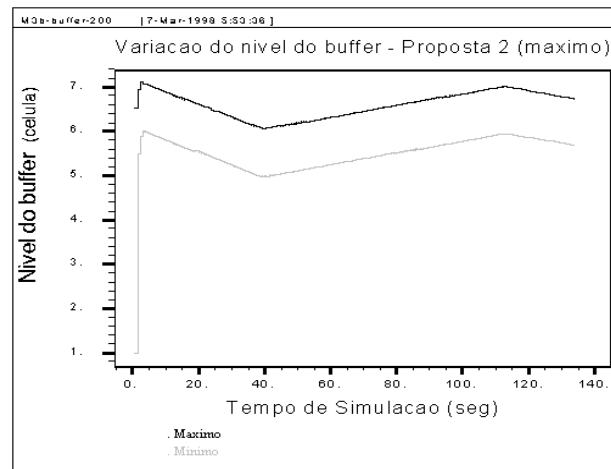


Figura 17: Variação do nível de enchimento máximo do *buffer*, para o modelo (Lmax), com M = 200 amostras.

As figuras 16 e 17 mostram o comportamento do *buffer* para o modelo (Lmax) simulado com o parâmetro M igual a 50 e 200, respectivamente. Comparando-as, também, com o resultado da simulação com o M igual a 100 (apresentado na Figura 12), como a redução da diferença entre as frequências é mais lenta com valores menores de M, o nível de enchimento do *buffer* apresenta uma variação maior (como no caso do M igual 50), ultrapassando com mais frequência os Limites Máximo e Mínimo definidos.

Para o modelo do Método Relógio Adaptativo proposto nesse trabalho, três simulações (com valores iguais para os parâmetros) utilizando sementes diferentes foram realizadas. Os valores médios das medidas de desempenho obtidas praticamente foram iguais e, assim, não nos detivemos com informações mais detalhadas sobre valores médios e intervalos de confiança.

4. Conclusões

Esse trabalho apresentou um estudo sobre a recuperação de relógio para as aplicações em tempo real transmitidas sobre redes ATM, usando o método Relógio Adaptativo.

Um nova proposta para o modelo do método AC, baseado no método CBCR e na proposta do ITU-T, é apresentada. Essa proposta adiciona flexibilidade ao modelo CBCR, permitindo que o relógio só seja ajustado quando o nível de enchimento do *buffer* na AAL receptora ultrapassar limites definidos. Os valores dos limites são conforme as alterações no nível do *buffer* causadas pela variação dos tempos de inter-chegadas de células, em decorrência do *jitter* da rede.

O modelo proposto nesse artigo, quando simulado, apresentou dois tipos diferentes de comportamentos: períodos curtos de ajustes da frequência (quando o nível de enchimento do *buffer* está fora dos limites definidos), e longos período em que o nível de enchimento do *buffer* se mantém dentro dos limites (intervalo em que variações são permitidas) e os bits de informação do usuário saem do *buffer* com uma taxa constante. Como foi observado, esse modelo, apresenta flexibilidade no ajuste do relógio, já que permite uma variação do nível de enchimento do *buffer*, e alterações são feitas na frequência do relógio receptor entre períodos

cada vez maiores. Foi possível observar, também, que a diferença de frequência entre os dois relógios, não só foi reduzida, como tende a zero.

5. Referências Bibliográficas

- [BONE96] BONES *Designer User's Guide*, Alta Group of Cadence Design Systems, Inc., 1996.
- [COX94] COX, Neil B., "*AALI Cell-Based Clock Recovery (CBCR): Description and Analysis*", MPR TELTECH LTD, Maio 1994.
- [FRAN96] FRANCIS, Alvin C., "*An Adaptive Clock Recovery Scheme for Constant Bit Rate Real-Time Services*", *M.A.Sc. Thesis*, Universidade de Toronto, 1996.
- [ITUT96] ITU-T Recommendation I.363.1, "*B-ISDN ATM Adaptation Layer (AAL) specification Types 1 and 2*", (Draft) 1996.
- [KAND93] KANDLUR, Dilip, "*Video Clock Recovery in an ATM Environment*", ATM Forum Technical Committee, 1993.
- [MICH98] MICHELI, Milena P., "*Modelagem e Análise de desempenho do Método Relógio Adaptativo em Redes ATM*", Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, 1998.
- [PRYC95] PRYCKER, Martin, "*Asynchronous Transfer Mode - Solution for Broadband ISDN*", Segunda Edição, ELLIS HORWOOD, 1995.
- [RASH96] RASHEED, Yasser M., "*ATM Adaptation Layers for Video Applications*", *M.A.Sc. Thesis*, Universidade de Toronto, 1996.
- [SURU94] SURUAGY, J.A.M., "*Rede Digital de Serviços Integrados de Faixa Larga (RDSI-FL)*", IX Escola de Computação, Recife, 1994.