

# Capítulo III - QoS em Redes ATM

Prof. José Marcos C. Brito

# Introdução

- O ATM é uma tecnologia para rede multiserviço.
- O ATM define classes de serviço que contemplam as aplicações atuais e aplicações futuras.
- O ATM utiliza o conceito de contrato de tráfego entre a aplicação e a rede

# Contrato de tráfego

- Um contrato de tráfego entre a aplicação e a rede é estabelecido para cada conexão
- Componentes do contrato de tráfego
  - Categoria de serviço
  - QoS requerida
  - Características do tráfego da conexão
  - Definição de como o tráfego deve se comportar (definição de conformidade)

# Categorias de Serviço

- Constant Bit Rate (CBR)
- Variable Bit Rate (VBR)
  - Real Time e Non-Real Time
- Available Bit Rate (ABR)
- Guaranteed Frame Rate (GFR)
- Unspecified Bit Rate (UBR)

# Constant Bit Rate - CBR

- Aplicações em tempo real.
- Características da conexão
  - Banda dedicada
  - Baixa probabilidade de perda de célula
  - Atraso reduzido e previsível

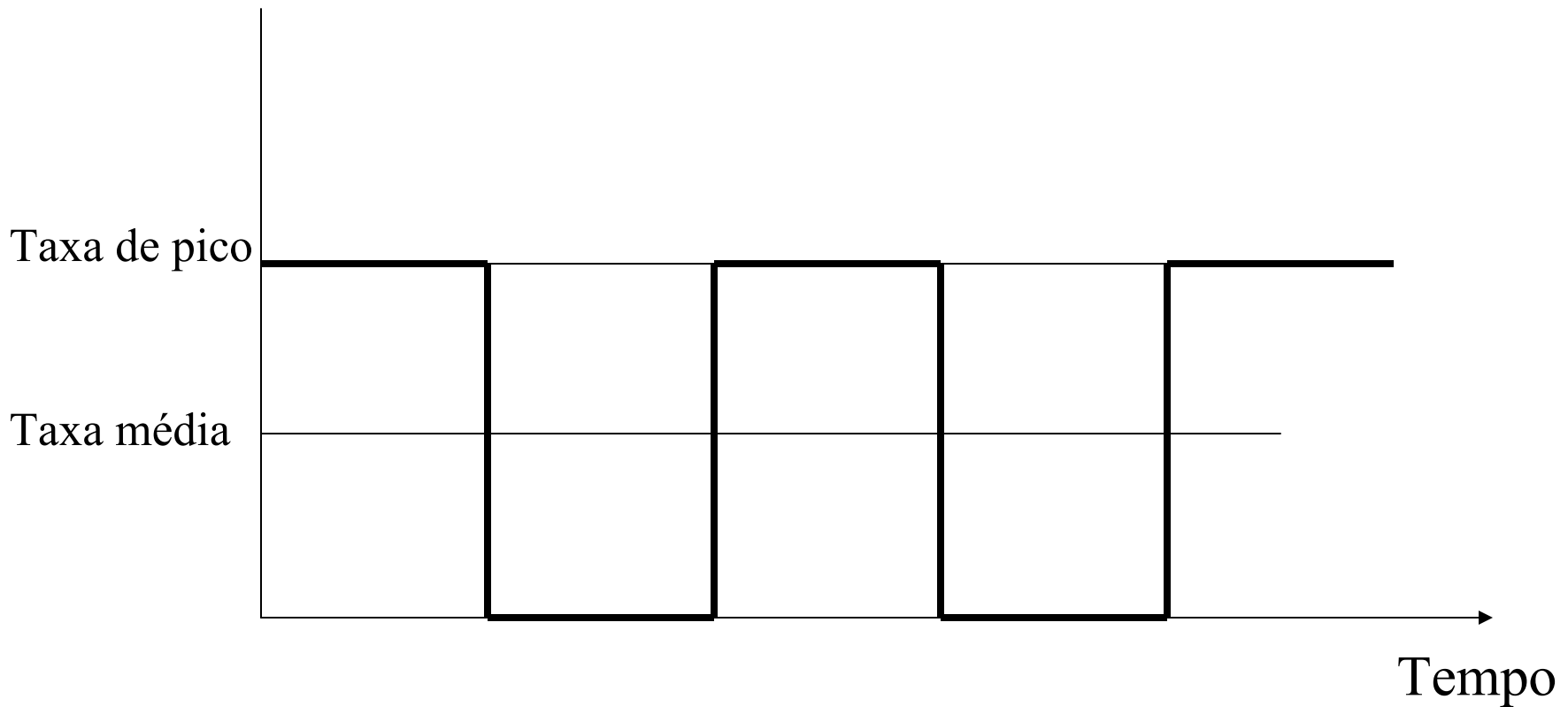
# Variable Bit Rate - VBR

- Aplicações:
  - Dados Frame-Relay
  - Áudio/Vídeo sem taxa constante
  - Outras com características de tráfego em burst conhecidas ou previsíveis
- Caracterização do tráfego:
  - Sustained Cell Rate (SCR)
  - Peak Cell Rate (PCR)

# Variable Bit Rate - VBR

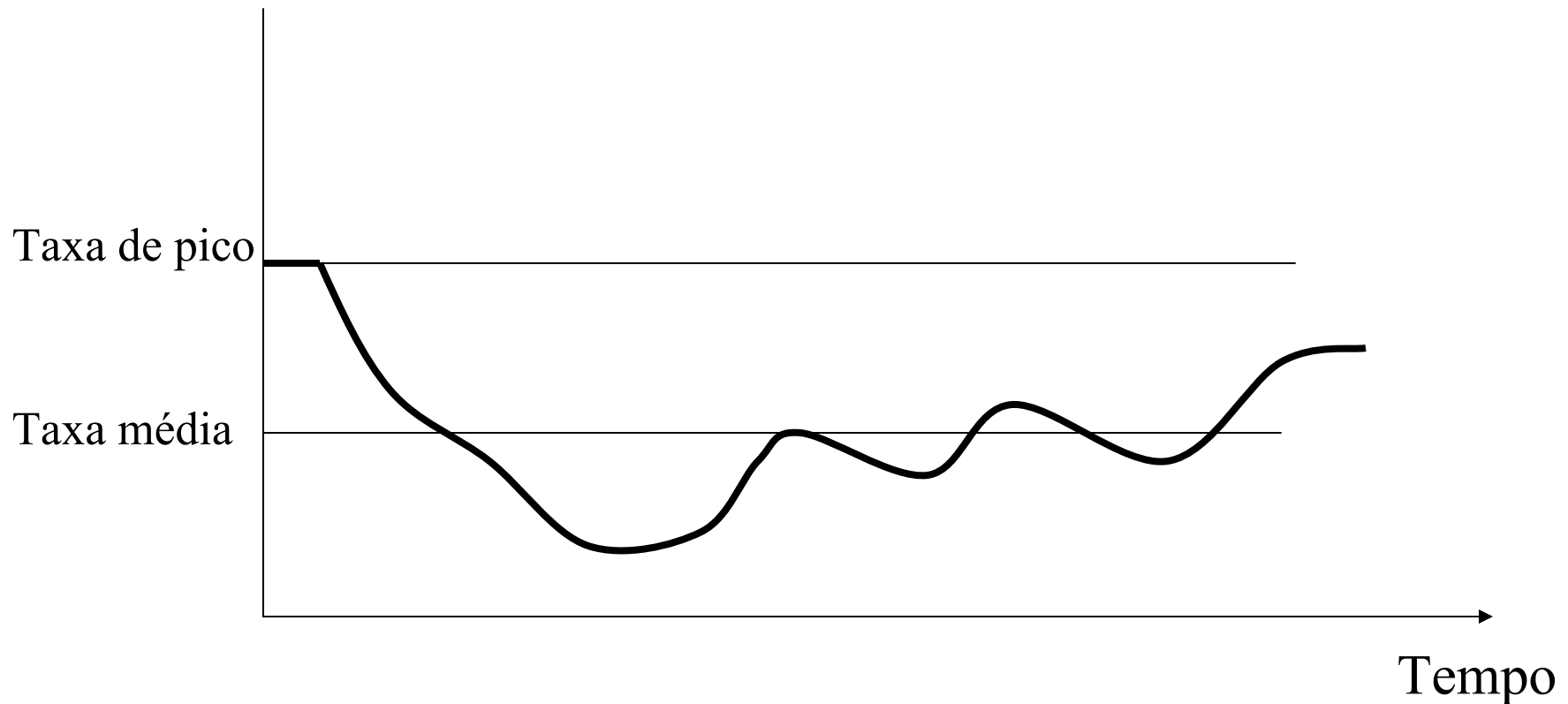
- Ganho estatístico
  - Alocação de recursos menor que a taxa de pico
  - Uso de buffer para manusear picos
- Real-Time VBR
  - Restritivo quanto aos requisitos de atraso
- Non-Real-Time VBR
  - Não garante limite para o atraso

# nrt-VBR - comportamento ON/OFF - Exemplo





# rt-VBR - comportamento com taxa dinâmica - exemplo



# Serviços de banda sob demanda

- Características das aplicações (dados):
  - características de tráfego não conhecidas a priori
  - sem requisitos de atraso em tempo real
  - moderadamente sensíveis a perda
- Tipos de serviços de banda sob demanda:
  - Serviço ABR
  - Serviço GFR
  - Serviço UBR

# Availabre Bit Rate - ABR

- Características:
  - quantidade mínima de banda garantida
  - taxa de emissão de pico limitada
  - ajuste de banda é feito através de um mecanismo de controle de fluxo baseado em taxa (fonte ABR utiliza este mecanismo para minimizar as perdas de células na rede)
  - congestionamento é deslocado da rede para a borda

# Guaranteed Frame Rate - GFR

- Características:
  - não requer um protocolo de controle de fluxo
  - banda mínima é garantida, mas não há contrato sob a quantidade de perda quando a fonte excede o mínimo
  - a rede busca descartar PDUs completas ao invés de descartar células aleatoriamente sob congestionamento

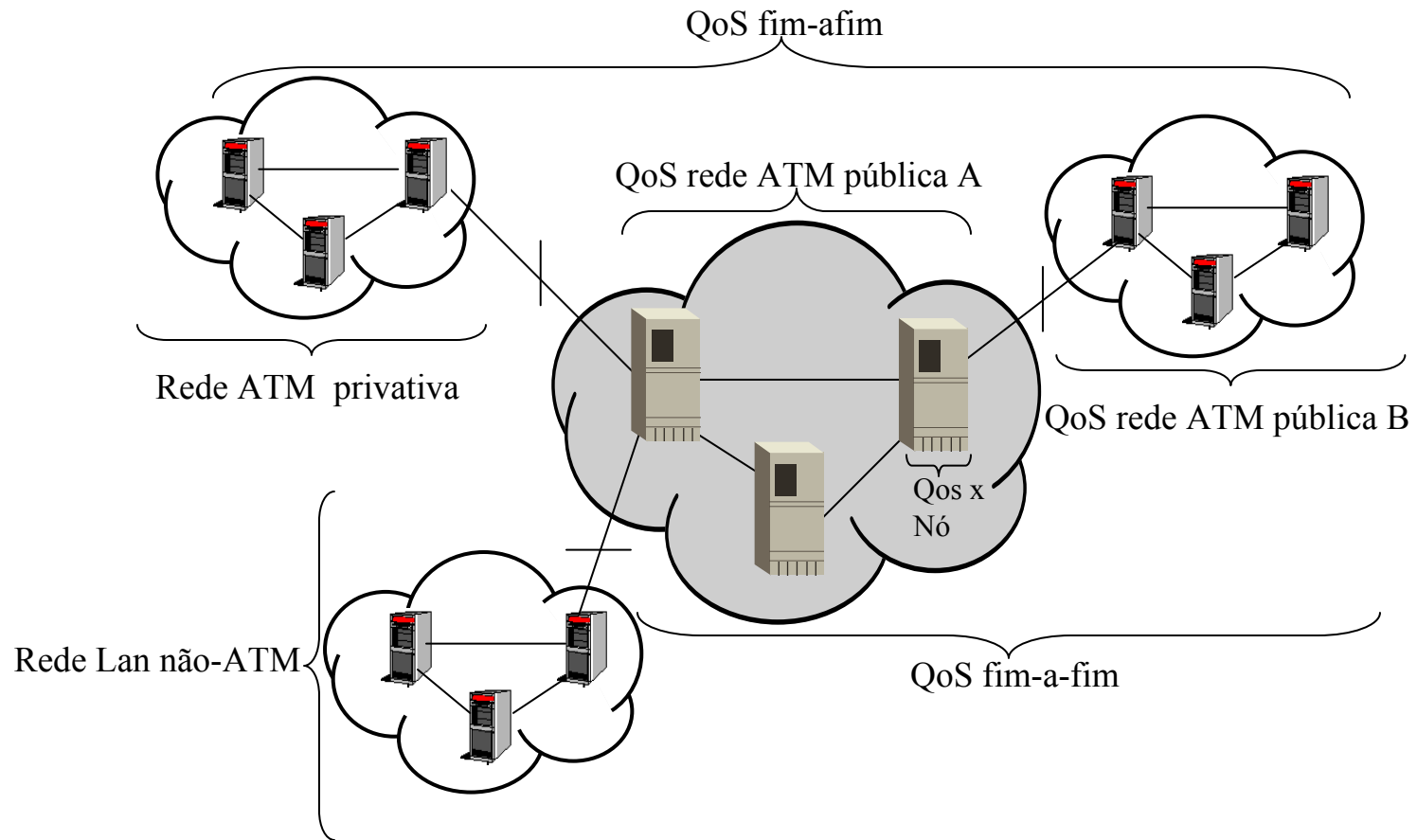
# Unspecified Bit Rate - UBR

- Características:
  - serviço tipo “melhor esforço”
  - conexões compartilham a banda restante sem qualquer mecanismo de realimentação
    - aplicações acessam a banda que a rede puder prover e estão dispostas a tolerar qualquer nível (não especificado) de perda de células
  - QoS pode ser gerenciada, por exemplo, limitando-se o número de conexões que podem compartilhar a banda restante

# Parâmetros de QoS

- Quantificam os requisitos de performance da rede na camada ATM.
- Os objetivos de QoS são fim-a-fim, isto é, entre os limites da rede ATM (excluindo-se apenas os sistemas terminais).

# Modelo de referência



# Parâmetros de QoS

- Negociáveis no contrato de tráfego
  - Cell Loss Ratio (CLR)
  - Maximum Cell Transfer Delay (Max-CTD)
  - Peak-to-peak Cell Delay Variation (P2P-CDV)
- Não negociáveis
  - Cell Error Ratio (CER)
  - Severely Errored Cell Block Ratio (SECBR)
  - Cell Misinsertion Rate (CMR)



# Cell Loss Ratio - CLR

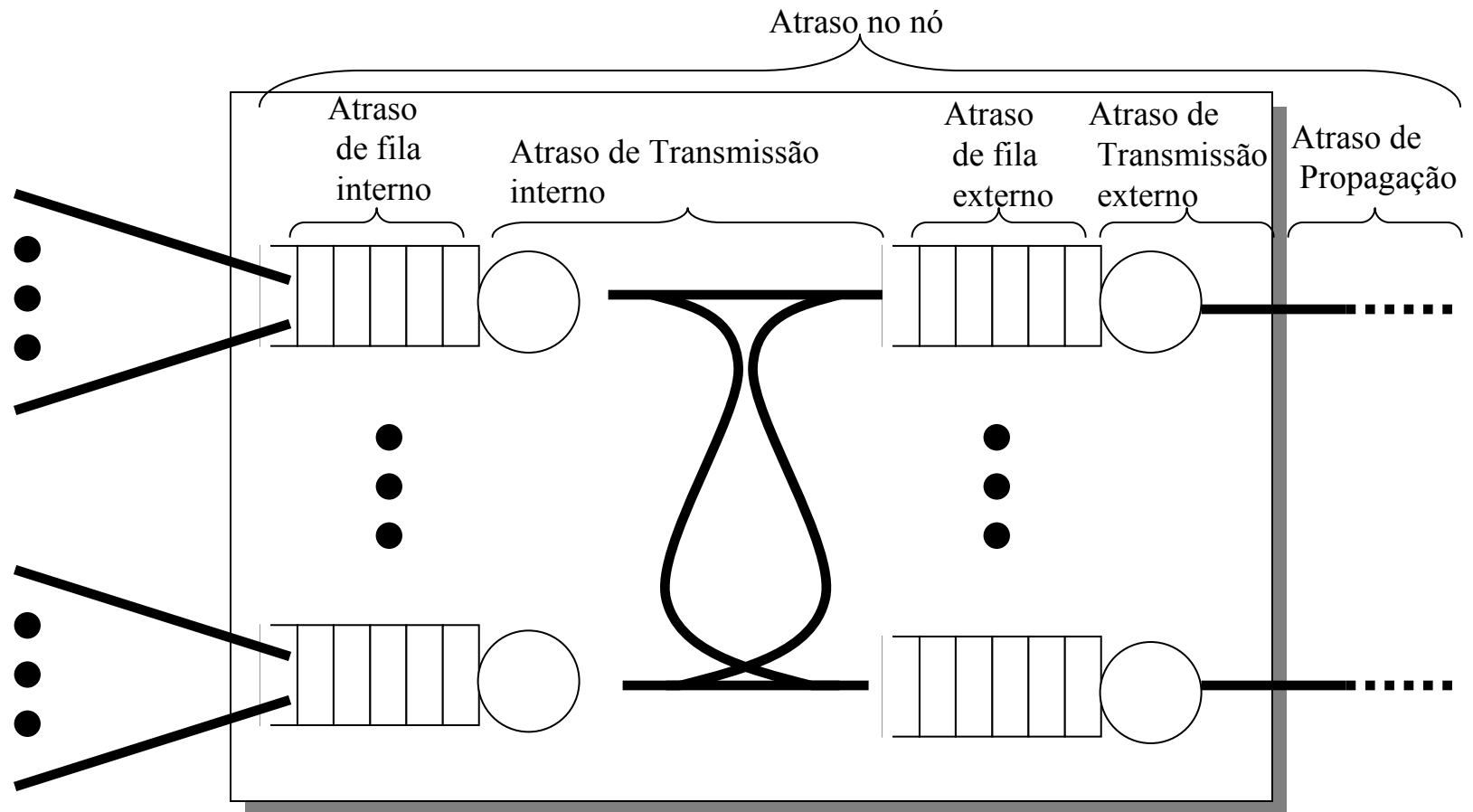
$$\text{CLR} = \frac{\text{Células perdidas}}{\text{Total de células transmitidas}}$$

- Fatores que causam perda de células
  - Estouro dos buffers
  - Falha de componentes e proteção de comutação
  - Erros de transmissão

# Cell Transfer Delay - CTD

- Tempo transcorrido entre a partida de uma célula do sistema final de origem e a chegada da mesma no destino.
- Componentes do CTD em cada nó:
  - Atraso de transmissão e enfileiramento internos
  - Atraso de transmissão e enfileiramento externos
  - Tempo de propagação
  - Tempo de processamento da célula

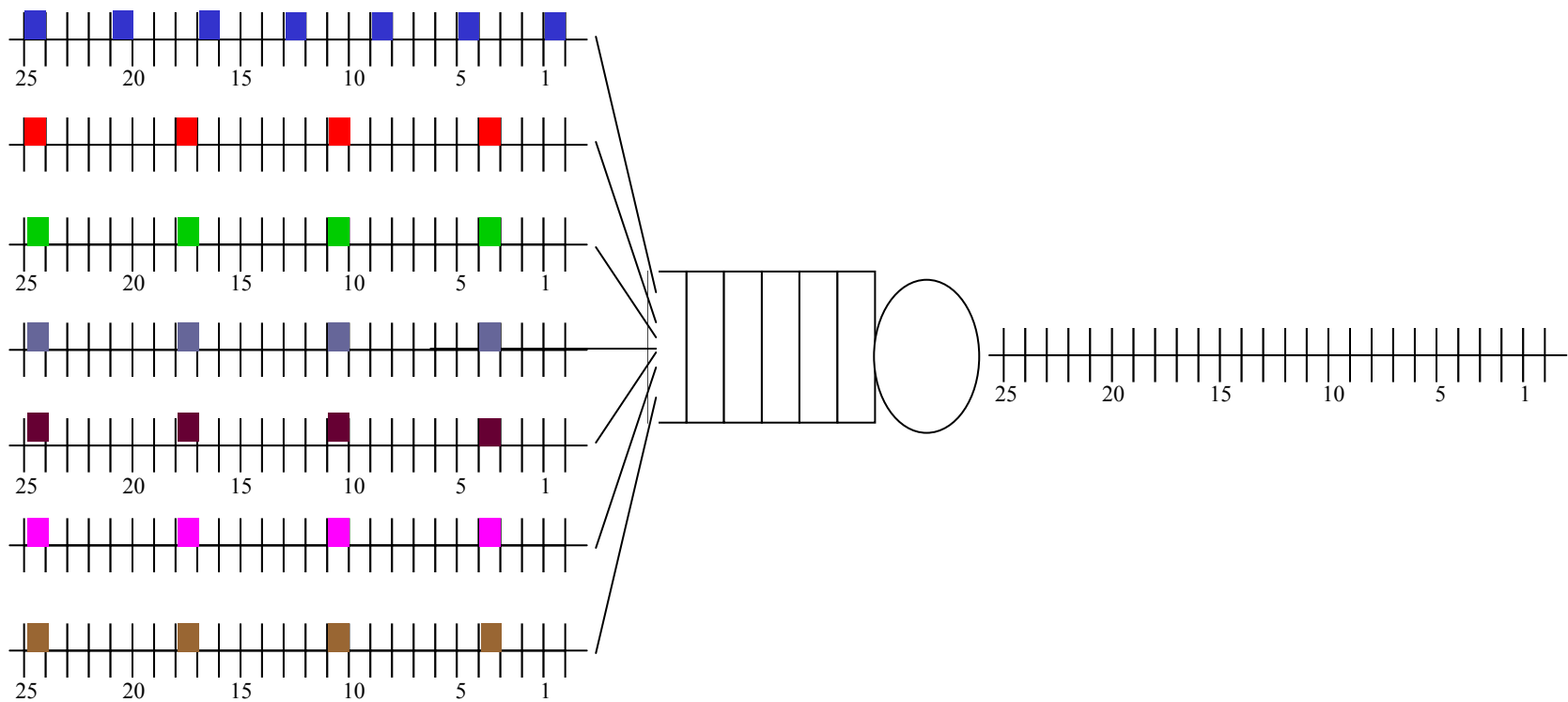
# Componentes de atraso



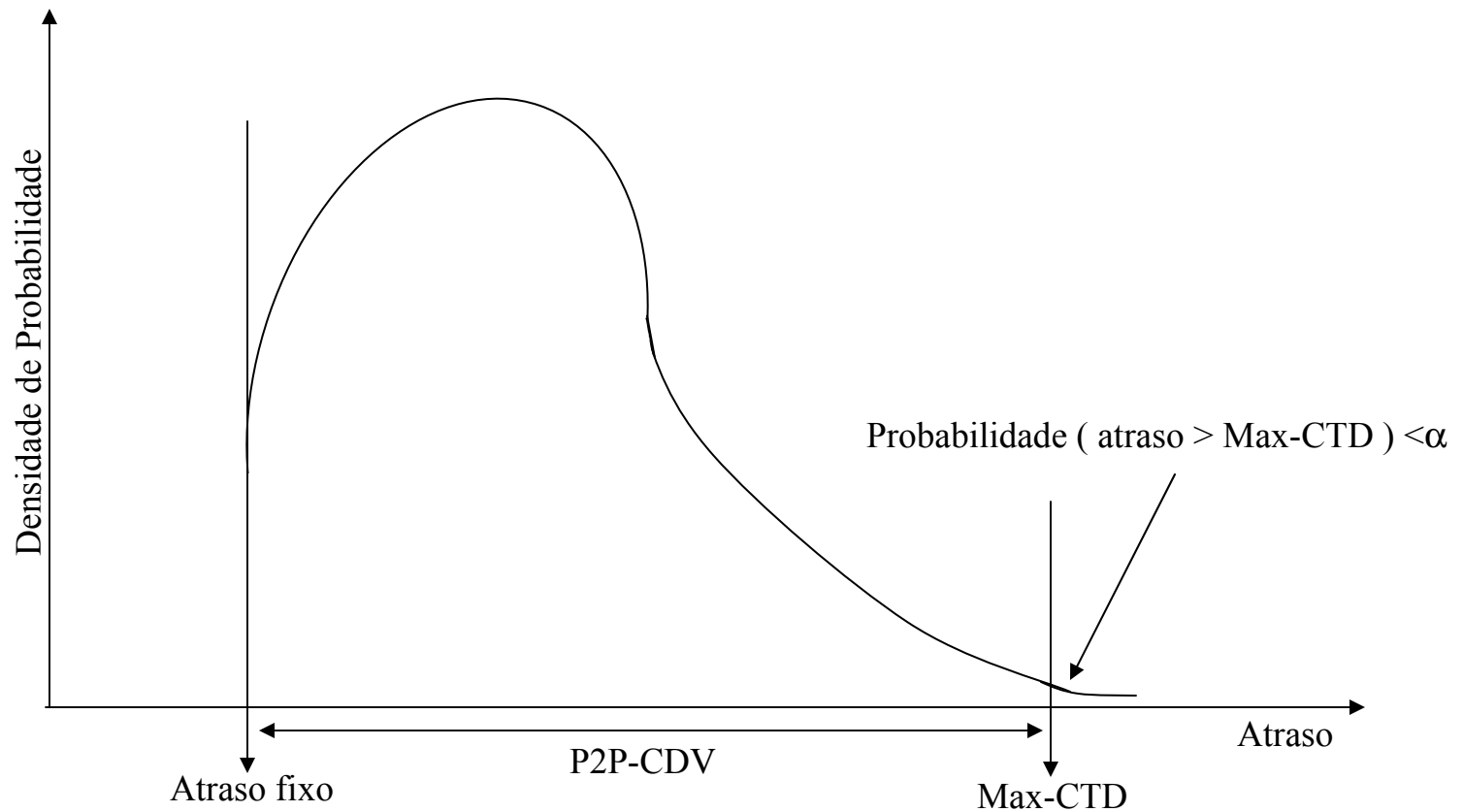
# Cell Transfer Delay - CTD

- Valor mínimo é composto pelos elementos não variáveis do CTD.
- Variação do atraso (CDV): surge devido à natureza estatística do ATM
- Valor máximo é associado ao tamanho máximo do buffer e à taxa de serviço da fila

# Ilustração do CDV em um nó



# Função densidade de probabilidade do CTD



# CTD - Parâmetros de QoS

- Maximum Cell Transfer Delay (Max-CTD)
  - Células que ultrapassam este atraso são consideradas perdidas ou inúteis.
  - A probabilidade de uma célula ultrapassar o Max-CTD não pode exceder o CLR
- Peak-to-peak Cell Delay Variation (P2P-CDV)
  - Representa a diferença entre o máximo e o mínimo CTD

# Severely Errored Cell Block Ratio (SECBR)

$$\text{SECBR} = \frac{\text{Blocos de células severamente errados}}{\text{Total de bloco de células transmitidos}}$$

- Um bloco de células é uma sequência de N células transmitidas consecutivamente em uma conexão
- Um bloco severamente errado ocorre quando mais de M células erradas, perdidas, ou inseridas indevidamente são observadas no bloco recebido



# Cell Misinsertion Rate - CMR

$$\text{CMR} = \frac{\text{Células inseridas indevidamente}}{\text{Intervalo de tempo}}$$

- Uma célula inserida indevidamente é aquela enviada a uma conexão à qual não pertence.
- A principal razão para inserção indevida de células é a ocorrência de erros não detectáveis e não corrigíveis no cabeçalho.

# Cell Error Ratio - CER

$$\text{CER} = \frac{\text{Células erradas}}{\text{Células transferidas com sucesso} + \text{células erradas}}$$

- Uma célula errada é aquela que tem o seu conteúdo (header ou payload) modificado e que não pode ser recuperado por técnicas de correção de erro.
- A CER é influenciada pelo tipo de meio e pelas características de erro do mesmo.

# Parâmetros descritores de tráfego

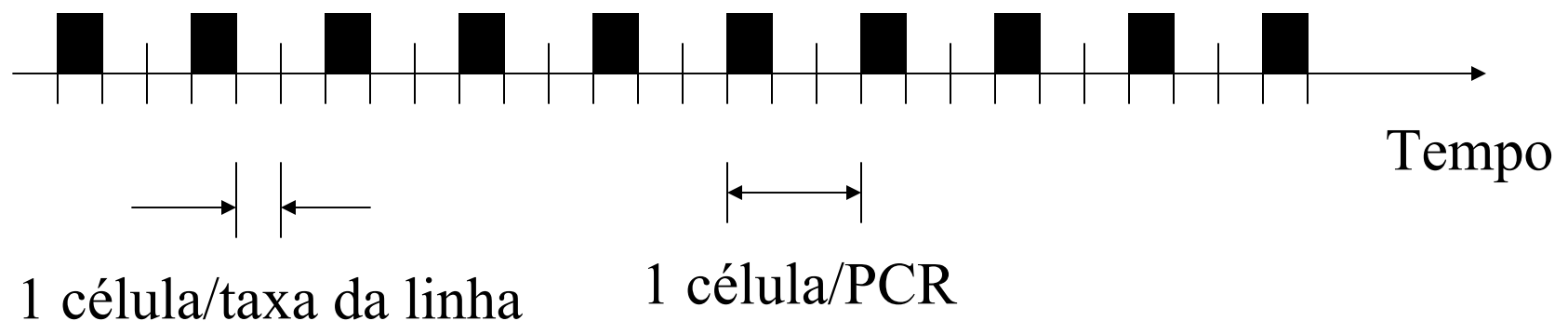
- Utilizados para caracterizar o tráfego (um conjunto para cada direção).
- A alocação de recursos é feita com base no comportamento do tráfego, descrito pelos parâmetros.
- O conjunto de parâmetros que descrevem o tráfego de uma conexão depende da categoria de serviço associada à conexão

# Parâmetros descritores de tráfego

- Descritores de tráfego da fonte
  - Peak Cell Rate (PCR)
  - Sustainable Cell Rate (SCR)
  - Maximum Burst Size (MBS)
  - Minimum Cell Rate (MCR)
  - Maximum Frame Size (MFS)
- Descritores de tráfego da conexão
  - Descritores da fonte + Cell Delay Variation Tolerance (CDVT)

# Peak Cell Rate - PCR

- Representa a taxa de emissão de pico da fonte.
- O inverso de PCR representa o intervalo mínimo teórico entre células de uma conexão.
- É expresso em células por segundo.

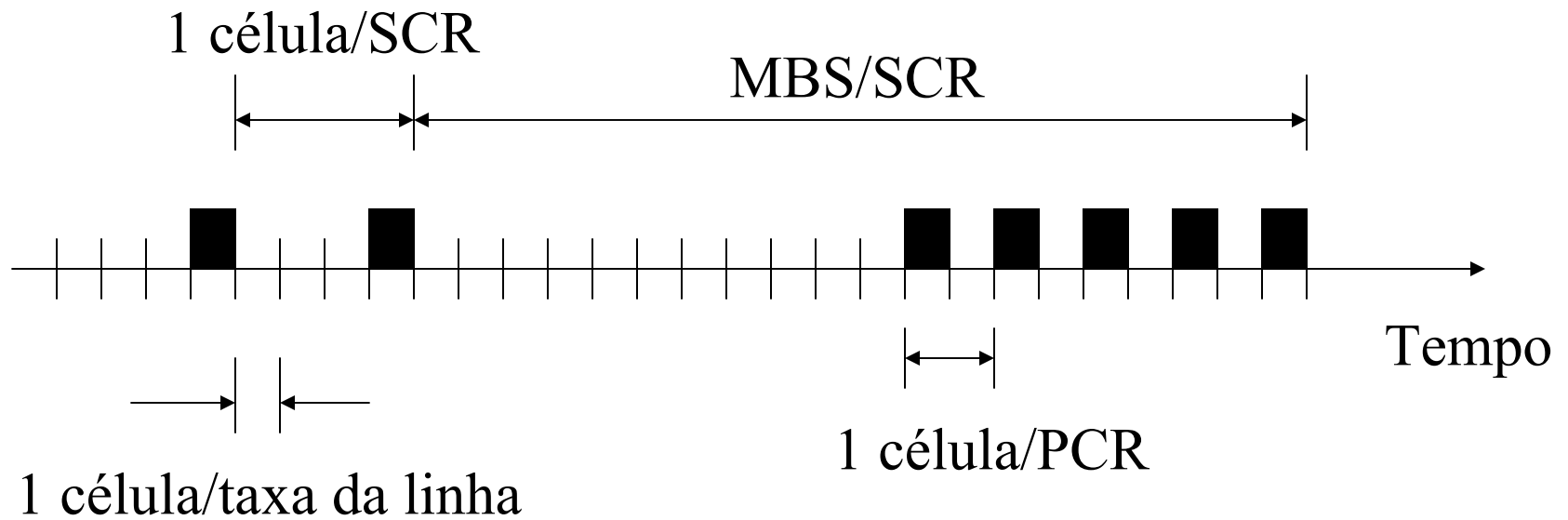


# Sustainable Bit Rate - SCR

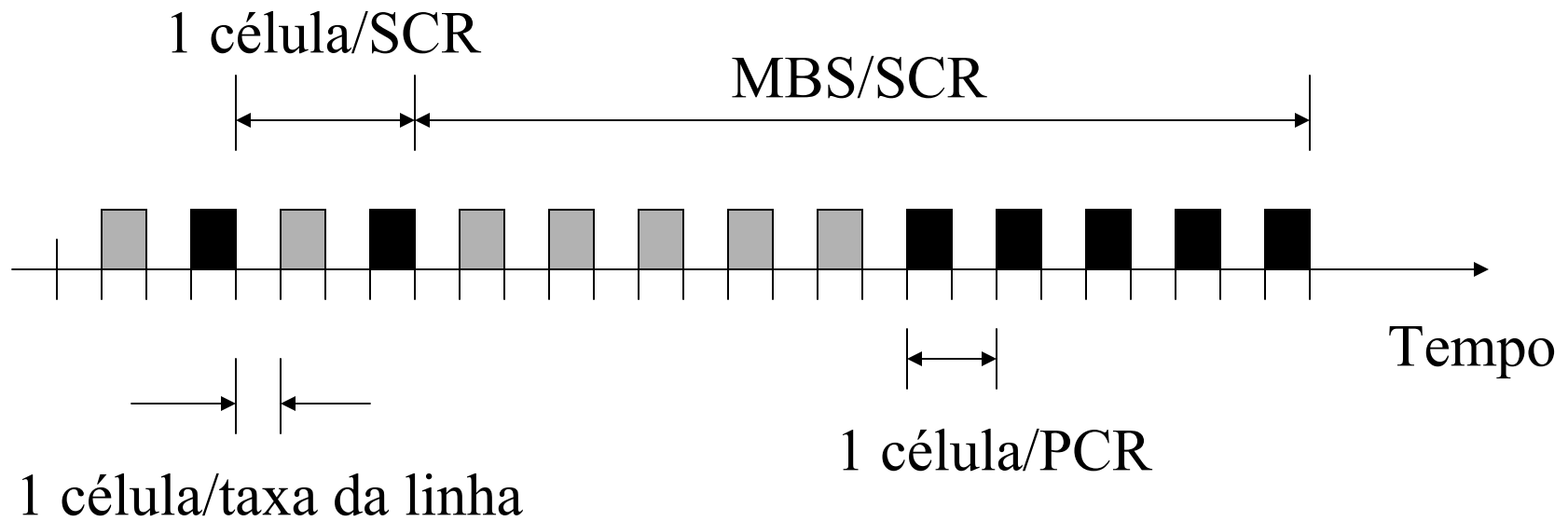
## Maximum Burst Size - MBS

- O SCR representa um limite superior na taxa de transmissão média de células conformes de uma conexão ATM.
- Junto com o SCR é especificado o MBS
  - O MBS representa o fator de burst do tráfego.
  - O MBS especifica o tamanho do burst de células que podem ser transmitidas à taxa PCR sem ferir o SCR negociado

# SCR e MBS - Exemplo



# SCR e MBS - exemplo



■ Células com CLP = 1

■ Células com CLP = 0



# Minimum Cell Rate - MCR

- Define a largura de faixa mínima alocada para a conexão.
- É utilizado pelos serviços de banda sob demanda (ABR e GFR)

# Maximum Frame Size - MFS

- Define o tamanho máximo de uma PDU-AAL que pode ser enviada por uma conexão GFR.
- PDUs que excedam este tamanho não são elegíveis para receber os objetivos de QoS GFR.

# Descritores de tráfego e QoS

Atributos	CBR	RT-VBR	NRT-VBR	ABR	GFR	UBR
PCR	Especif.	Especif.	Especif.	Especif.	Especif.	Especif.
SCR MBS	N/A	Especif.	Especif.	N/A	N/A	N/A
MCR	N/A	N/A	N/A	Opcional	N/A	N/A
MCR, MBS,MFS	N/A	N/A	N/A	N/A	Especif.	N/A
CLR	Contrat.	Contrat.	Contrat.	Sem alvo	Sem alvo	Sem alvo
Max- CTD	Contrat.	Contrat.	Sem alvo	Sem alvo	Sem alvo	Sem alvo
P2P- CDV	Contrat.	Contrat.	Sem alvo	Sem alvo	Sem alvo	Sem alvo

# Classes de Serviço

- Para uma dada categoria de serviço (CBR, VBR, ABR,...), a rede pode oferecer uma ou mais classes de serviço.
- Uma classe de serviço oferece um conjunto de alvos de QoS e pode limitar a faixa de alguns dos descritores de tráfego, por ex.:
  - Serviço CBR Premium :  $CLR = 10E-10$
  - Serviço CBR Normal:  $CLR = 10E-7$

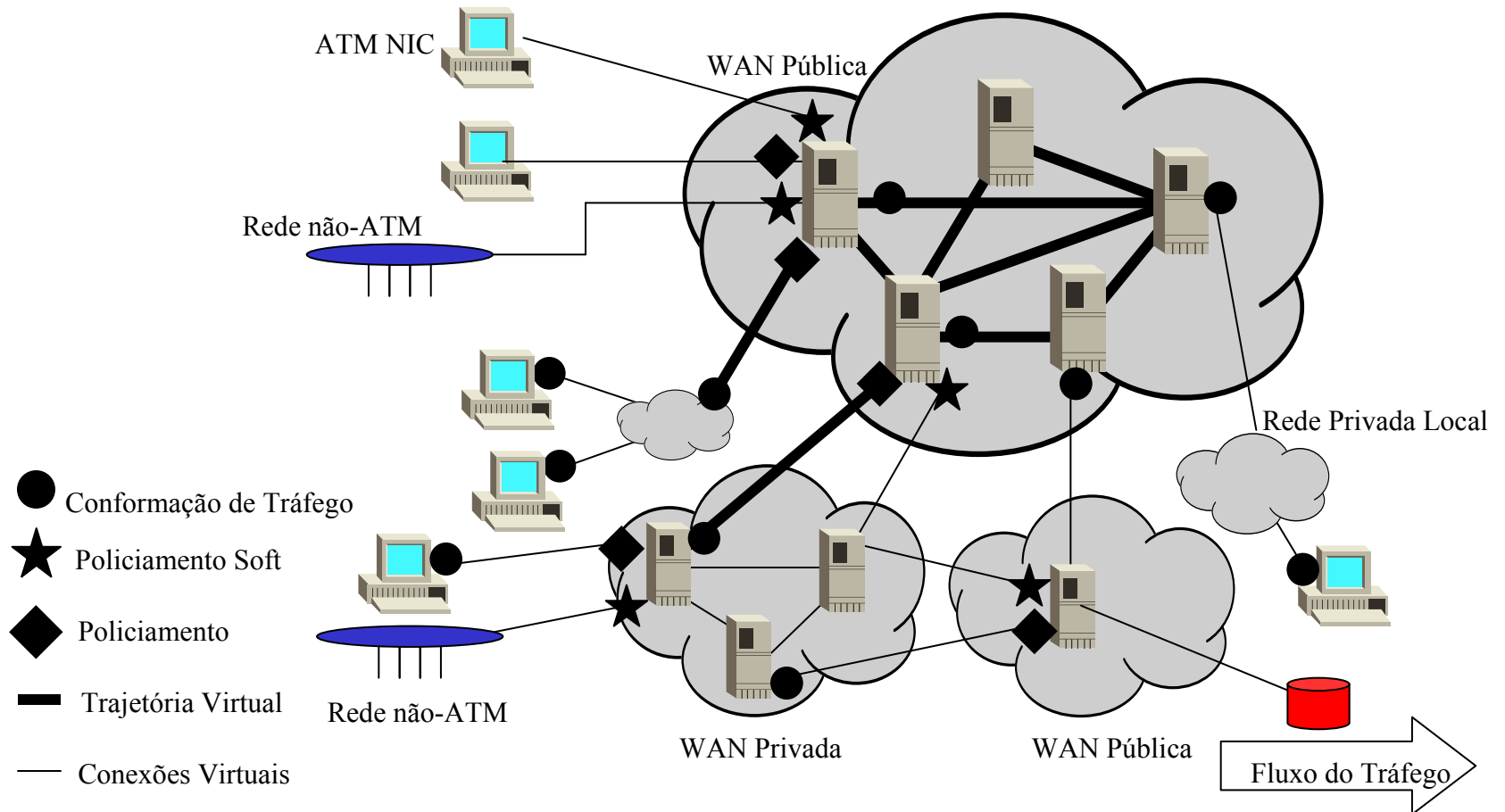
# Conformação e policiamento de tráfego

- A rede deve garantir que as conexões se comportem de acordo com os parâmetros de contrato de tráfego. Para tal são utilizados mecanismos de
  - Conformação de tráfego
  - Policiamento de tráfego

# Generic Cell Rate Algorithm - GCRA

- Utilizado para verificar se as células de uma conexão estão em conformidade com o contrato de tráfego.
- As células não-conformes podem ser:
  - Descartadas
  - Marcadas com CLP = 1 e transmitidas
  - Processadas (atrasadas) para ficar em conformidade com o contratado (Soft Policing).

# Conformação e Policiamento de tráfego



# Definição de conformidade

- Incluída como parte do contrato de tráfego.
- Determina os tipos de células (CLP = 0 ou CLP = 0+1) para as quais os descritores de tráfego e QoS são definidos e qual a ação da rede sobre as células não-conformes.



# Definição de conformidade

Nome	Categoria de serviço	Fluxo PCR	Fluxo SCR	Fluxo MCR	Células não-conformes	CLR	Max-CTD P2P-CDV
CBR.1	CBR	0+1	N/A	N/A	Descartadas	0+1	0+1
VBR.1	rt e nrt-VBR	0+1	0+1	N/A	Descartadas	0+1	0+1(rt)
VBR.2	rt e nrt-VBR	0+1	0	N/A	Descartadas	0	0(rt)
VBR.3	rt e nrt-VBR	0+1	0	N/A	Marcadas	0	0(rt)
ABR.1	ABR	0	N/A	0	Descartadas	0	N/A
GFR.1	GFR	0+1	N/A	0	Descartadas	0	N/A
GFR.2	GFR	0+1	N/A	0	Marcadas	0	N/A
UBR.1	UBR	0+1	N/A	N/A	Descartadas	N/A	N/A
UBR.2	UBR	0+1	N/A	N/A	Marcadas	N/A	N/A

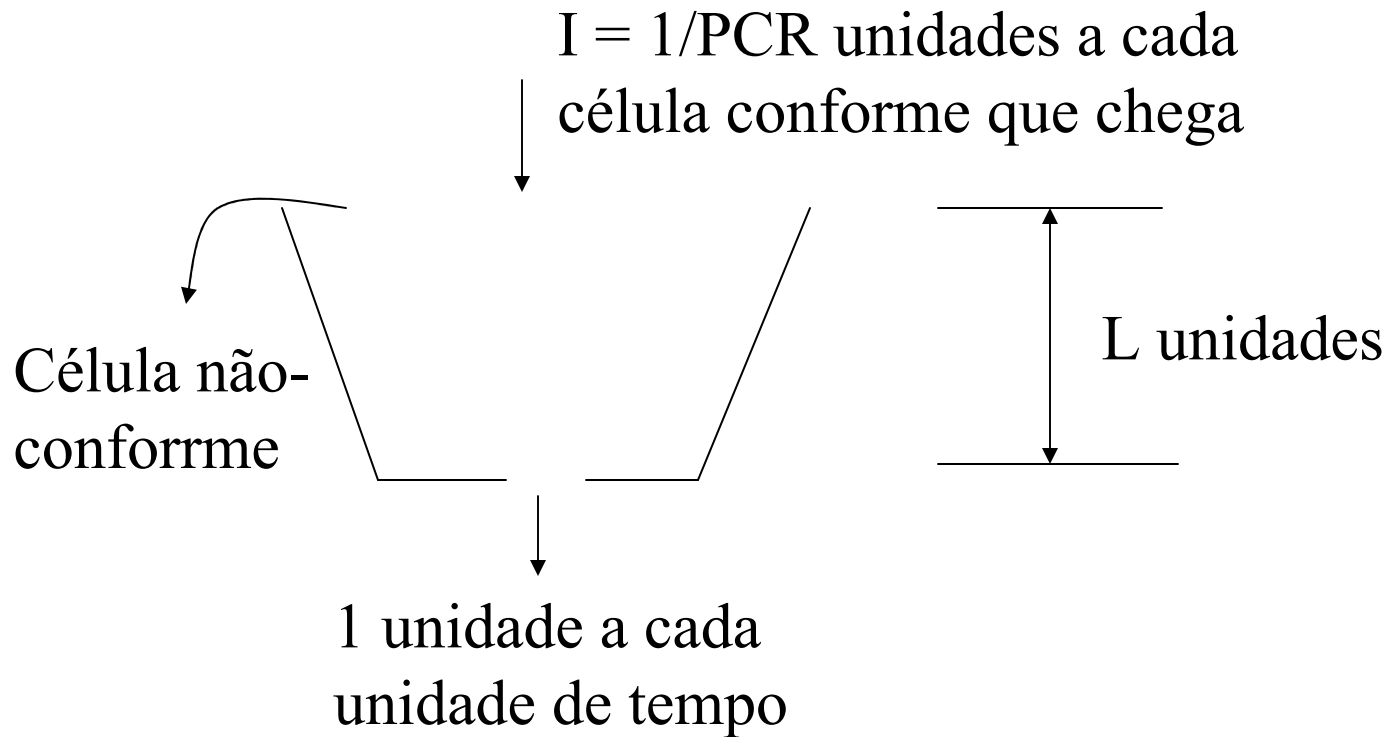
# Policciamento de tráfego

- Generic Cell Rate Algorithm (GCRA)
  - Monitoração do parâmetro PCR ou dos parâmetros SCR e PCR
  - Pode ser expresso como um algoritmo Leaky Bucket ou como um algoritmo Virtual-Scheduling [I.371 e TM4.0]
  - Ambos os algoritmos resultam no mesmo conjunto de células não conformes.

# GCRA - monitoração de PCR

- Aplica-se aos tráfegos CBR e UBR.
- Monitora apenas o parâmetro PCR
- Um fator de tolerância, devido ao jitter, é especificado: Cell Delay Variation Tolerance (CDVT)
- Define-se um incremento  $I = 1/PCR$  e um limite  $L = CDVT$ .

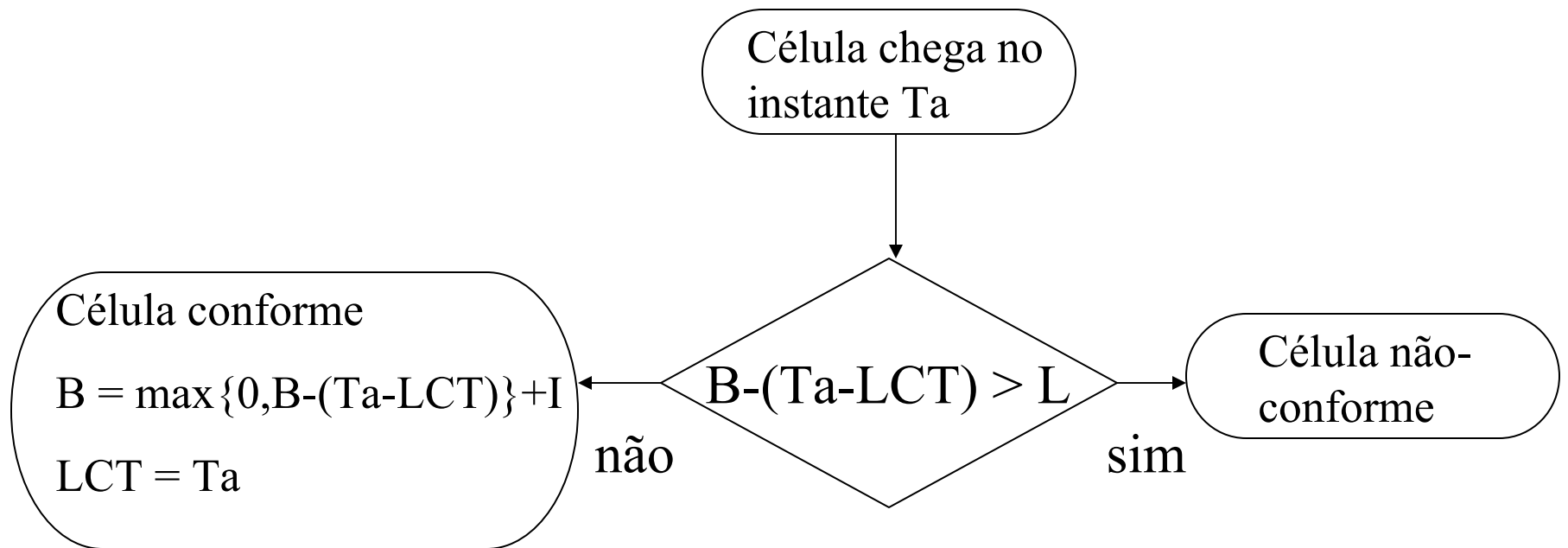
# Leaky Bucket



# Leaky Bucket

- LCT (Last Conformance Time): instante de chegada da última célula conforme
- $T_a$ : instante de chegada de uma célula
- Chegada da primeira célula no instante  $T_a$ 
  - $B = 0$
  - $LCT = T_a$
- Para as demais células aplica-se o algoritmo da próxima transparência.

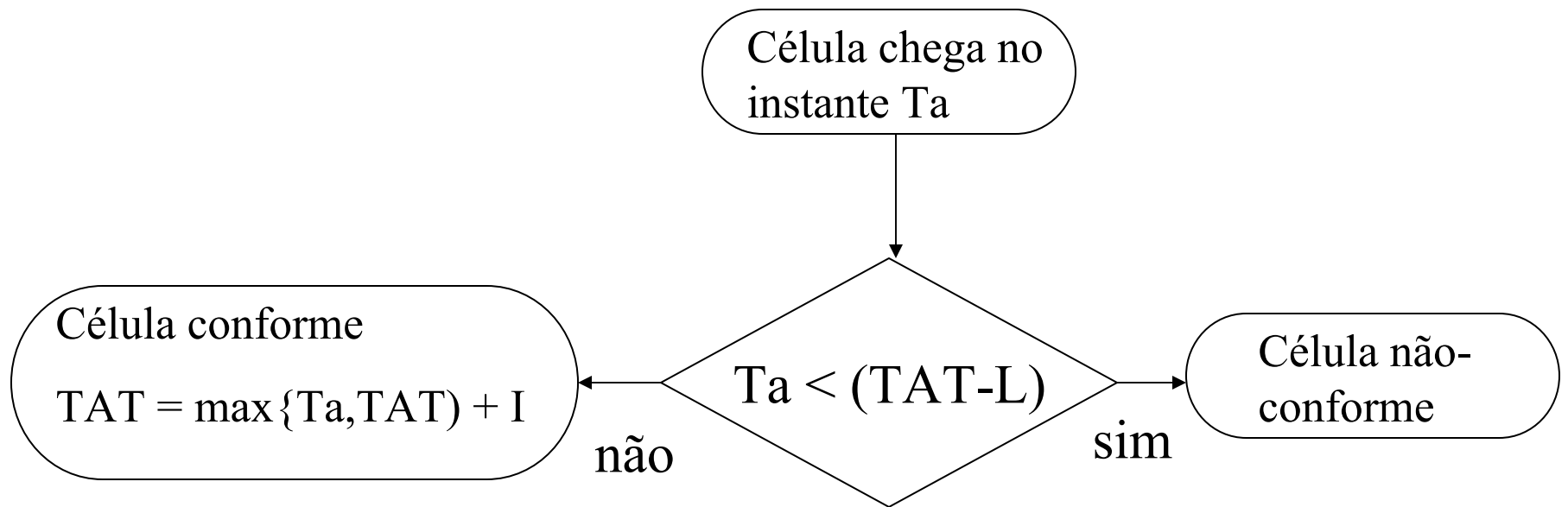
# Leaky Bucket



# Virtual Scheduling

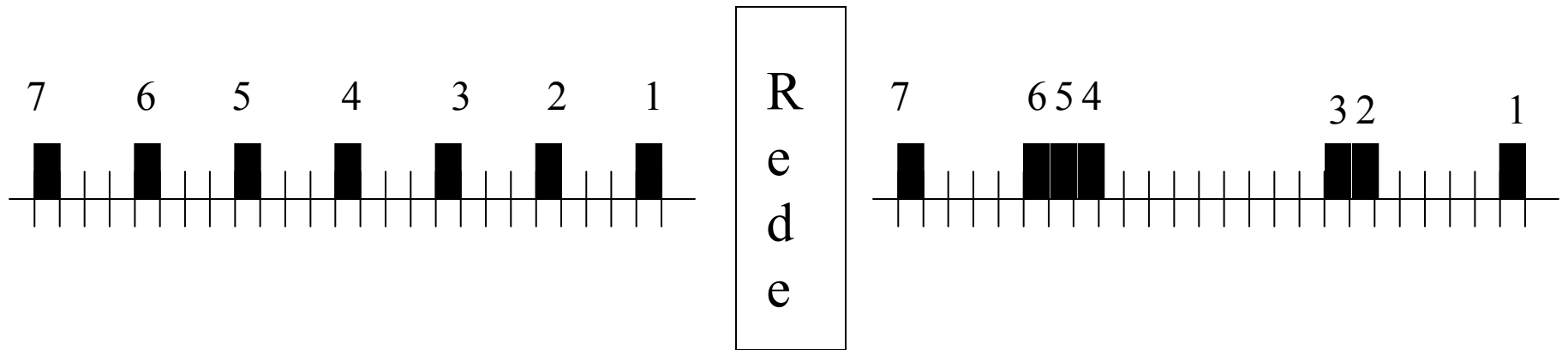
- TAT (Theoretical Arrival Time): Instante esperado de chegada de uma célula conforme
- $T_a$ : Instante real de chegada da célula
  - Se  $T_a \geq TAT - L$  a célula é conforme
- Primeira célula:  $TAT = T_a$
- Células subsequentes: vide próxima transp.

# Virtual Scheduling





# Exemplo



# Exemplo

CDVT = 2 unidades de tempo

Célula	ta	TAT	TAT-ta	B	LCT	B-(ta-LCT)	Conformidade
1	1	1	0	0	1	0	Sim
2	8	5	-3	4	1	-3	Sim
3	9	12	3	4	8	3	Não
4	19	12	-7	4	8	-7	Sim
5	20	23	3	4	19	3	Não
6	21	23	2	4	19	2	Sim

# Exemplo

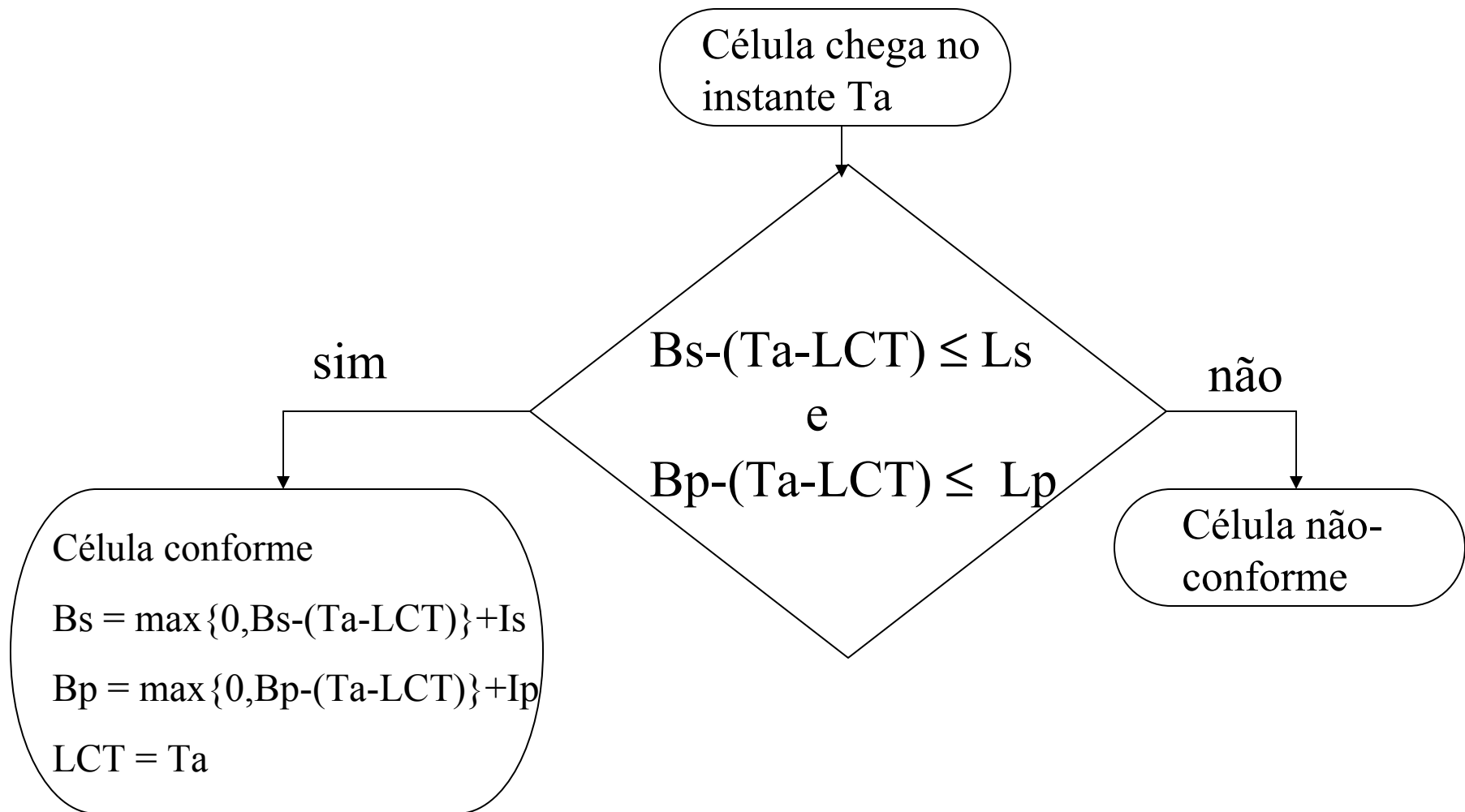
CDVT = 3 unidades de tempo

Célula	ta	TAT	TAT-ta	B	LCT	B-(ta-LCT)	Conformidade
1	1	1	0	0	1	0	Sim
2	8	5	-3	4	1	-3	Sim
3	9	12	3	4	8	3	Sim
4	19	16	-3	7	9	-3	Sim
5	20	23	3	4	19	3	Sim
6	21	27	6	7	20	6	Não

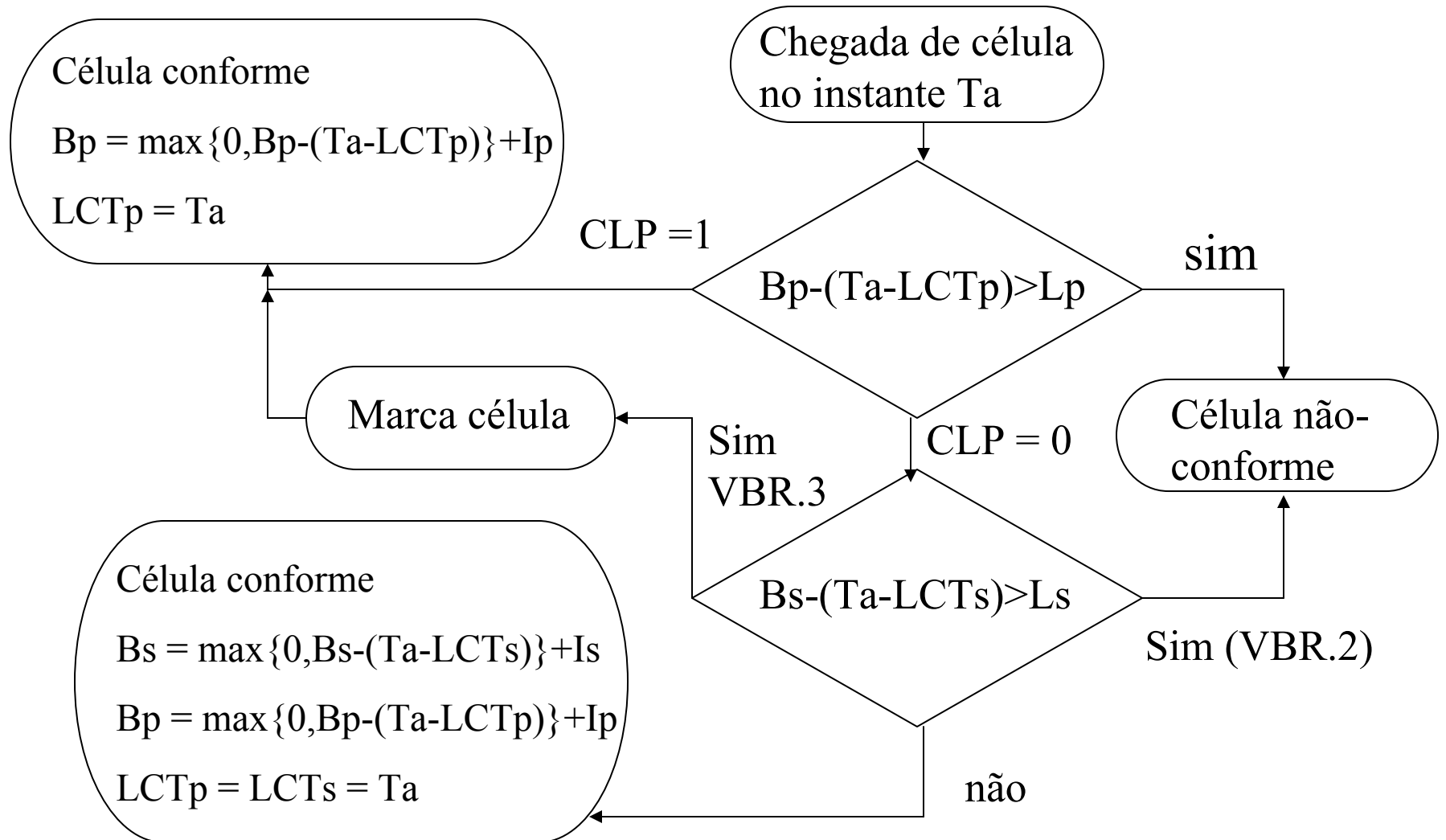
# GCRA - monitoração de SCR e PCR

- Aplica-se ao tráfego VBR.
- Monitora os parâmetros SCR e PCR
- Um fator de tolerância é definido: Burst Tolerance (BT)
  - $BT = (MBS - 1) \times (1/SCR - 1/PCR)$
- Para o SCR:  $I = 1/SCR$ ;  $L = BT + CDVT$
- 1ª célula:  $B_p = B_s = 0$  e  $LCT = T_a$

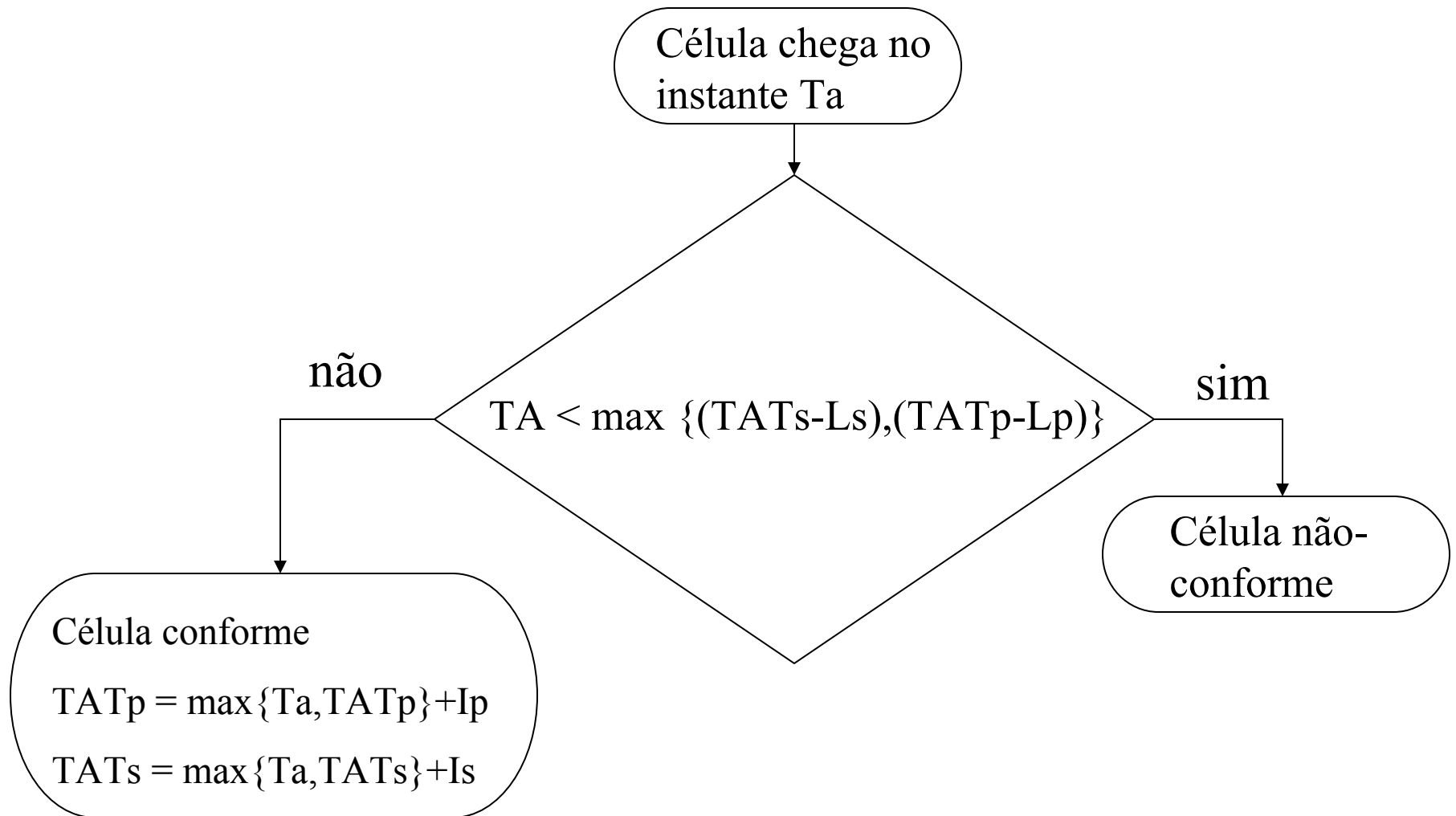
# Dual Leaky Bucket - VBR.1



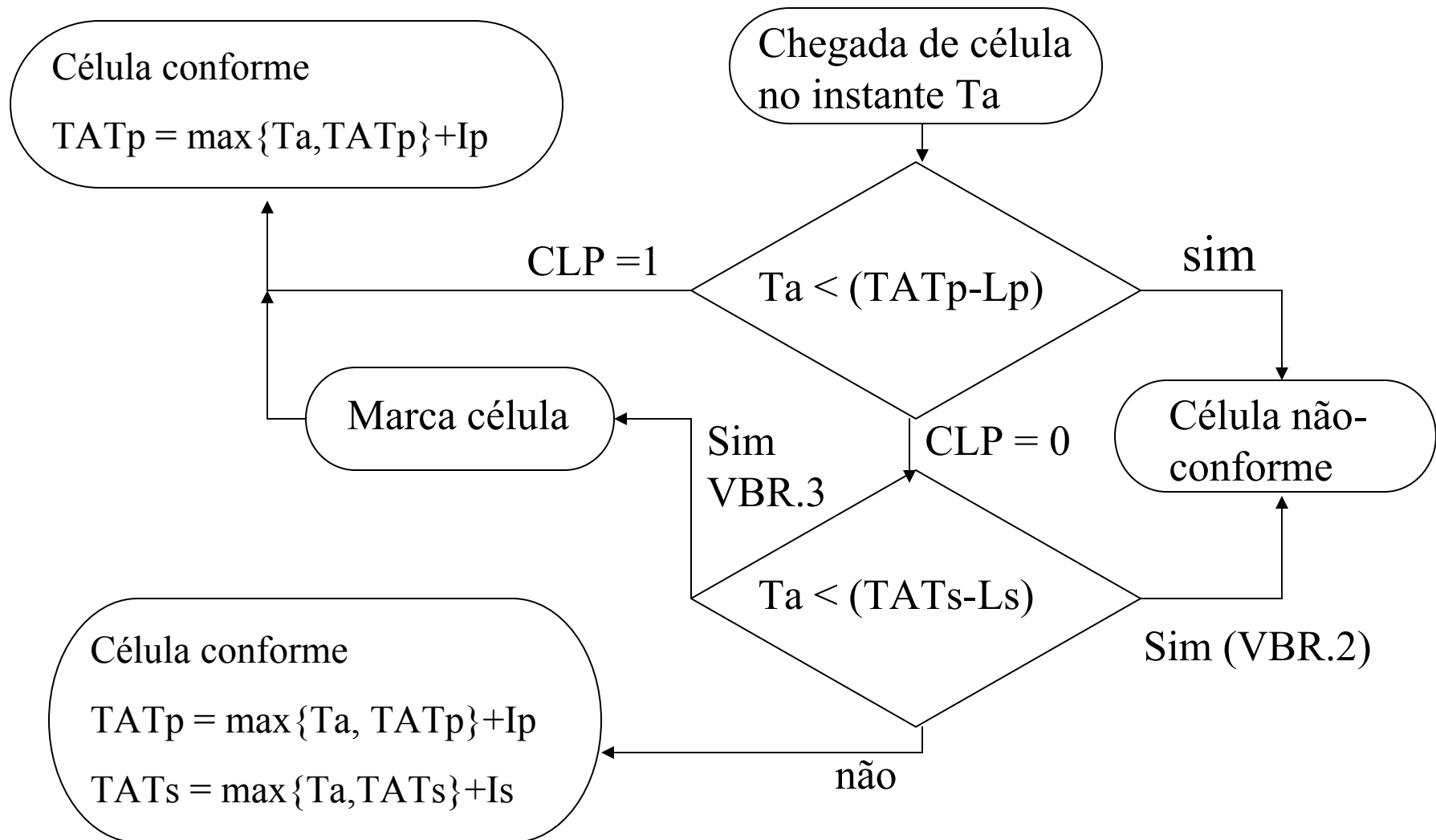
# Dual Leaky Bucket - VBR.2 e VBR.3



# Dual Virtual Scheduling - VBR.1



# Dual Virtual Scheduling - VBR.2 e VBR.3





# Exemplo

- Contrato de tráfego
  - PCR = 1/2 da taxa da linha e SCR = 1/4 da taxa da linha
  - MBS = 4 células e CDVT = 1 unidade de tempo
- Parâmetros
  - BT = 6 unidades de tempo
  - $I_s = 4$ ;  $I_p = 2$
  - $L_s = 7$ ;  $L_p = 1$

# Exemplo 1 - VBR.1 e VBR.2

Célula	Ta	TATs	TATp	Bs	Bp	LCT	$TATs - Ta = Bs - (Ta - LCT)$	$TATp - Ta = Bp - (Ta - LCT)$	Conforme
1	1	1	1	0	0	1	0	0	Sim
2	2	5	3	4	2	1	3	1	Sim
3	3	9	5	7	3	2	6	2	Não
4	4	9	5	7	3	2	5	1	Sim
5	5	13	7	9	3	4	8	2	Não
6	6	13	7	9	3	4	7	1	Sim
7	7	17	9	11	3	6	10	2	Não
8	8	17	9	11	3	6	9	1	Não
9	9	17	9	11	3	6	8	0	Não
10	10	17	9	11	3	6	7	-1	Sim

## Exemplo 2 - VBR.3

Célula CLP	Ta	TATs	TATp	Bs	Bp	LCTs	LCTp	TATs-Ta= Bs - (Ta - LCT)	TATp-Ta= Bp - (Ta - LCT)	Conf CLP
1/0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	Sim/0
2/0	2	5	3	4	2	1	1	3	1	Sim/0
3/0	3	9	5	7	3	2	2	6	2	Não/0
4/0	4	9	5	7	3	2	2	5	1	Sim/1
5/1	5		7		3		4		2	Não/1
6/0	6	9	7	7	3	2	4	3	1	Sim/0
7/1	7		9		3		6	5	2	Não/1
8/0	8	13	9	7	3	6	6	5	1	Sim/1
9/1	9		11		3		8	0	2	Não/1
10/0	10	13	11	7	3	6	8	3	2	Sim/0

# Controle de Admissão de Conexão - CAC

- Conjunto de regras ou procedimentos que determinam a admissibilidade de uma conexão em um comutador ATM.
- Com base nos descritores de tráfego e modelos de tráfego e de fila, o CAC verifica se há recursos suficientes para aceitar a conexão com os níveis de QoS desejados.

# CAC

- Algoritmo mais adequado depende da arquitetura do comutador, tipo de fila, algoritmo de scheduling, etc.
- Os algoritmos não são padronizados pelo ITU-T ou ATM-Fórum.
- Não é necessário ter o mesmo algoritmo de CAC em todos os comutadores para se alcançar o nível de QoS desejado.

# Ganho estatístico

$$\text{Ganho estatístico} = \frac{\text{No de conexões admitidas com multiplexagem estatística}}{\text{No de conexões admitidas com alocação pela taxa de pico}}$$

- É uma função que varia com o tamanho do buffer, características do tráfego e objetivos de QoS das conexões que estão sendo multiplexadas.

# CAC para tráfego CBR

- Alocação pela taxa de pico
- Método com CDV negligenciável
- Método com CDV não-negligenciável

# Alocação pela taxa de pico

$$\sum_i \text{PCR}_i \leq \textit{capacidade do enlace}$$

- A presença de jitter e a chegada simultânea de células nos fluxos multiplexados pode resultar em perda de célula, tipicamente se o buffer é pequeno.



# Métodos com CDV negligenciável

$$\sum_i PCR_i \leq \rho \times \textit{capacidade do enlace}$$

- Dados um buffer de comprimento B, a capacidade do enlace C, e taxa de pico de célula da conexão PCR, o método determina uma carga  $\rho$  tal que a probabilidade do comprimento da fila exceder B seja menor que  $\varepsilon$ , onde  $\varepsilon$  é um número pequeno (como  $10E-10$ ). A conexão será admitida se a condição acima for satisfeita.

# Probabilidade da fila exceder um dado valor

Modelo M/D/1

$$P(\text{comp. do buffer} > x) \cong -\frac{1-\rho}{\ln(\rho)} \cdot \exp[-x(1-\rho-\ln(\rho))]$$

Modelo nD/D/1

$$P(\text{comp. do buffer} > x) \cong -\frac{1-\rho}{\ln(\rho)} \cdot \exp[-x(\frac{2x}{n} + 1 - \rho - \ln(\rho))]$$

# Métodos com CDV não negligenciável

$$\sum_i \text{PCR}_i \leq \textit{capacidade do enlace}$$

$$\sum BS_i \leq B \equiv \textit{tamanho do buffer da fila}$$

$$BS = 1 + \left\lceil \frac{CDVT}{T - \delta} \right\rceil \quad T = 1 / \text{PCR} \quad \delta = 1 / R$$

# CAC para tráfego VBR

- Rate Envelope Multiplexing (REM)
  - Assume que não existe buffer ou que ele é muito pequeno
- Rate Sharing (RS)
  - Assume que o buffer é muito grande (infinito)
- Banda Efetiva
  - Assume a existência de buffer finito
  - Método mais importante

# Banda efetiva

- Os parâmetros de tráfego de cada conexão são mapeados para um número  $c$ , chamado de banda efetiva da conexão, onde  $SCR \leq c \leq PCR$ .
- A conexão é aceita se:

$$\sum_i c_i \leq \textit{capacidade do enlace}$$

# Banda efetiva - modelo de perdas (Kesidis)

$$c = \alpha + \sqrt{\alpha^2 + \beta} \quad \alpha = \frac{1}{2} \left( \lambda - \frac{1}{\delta T_{on}} - \frac{1}{\delta T_{off}} \right)$$

$$\exp(-b\delta) = CLR \quad \lambda = PCR \quad \beta = \frac{\lambda}{\delta T_{off}}$$

$$T_{on} = \frac{1}{3} \frac{MBS}{PCR} \quad T_{off} = \frac{1}{3} MBS \left( \frac{1}{SCR} - \frac{1}{PCR} \right)$$

## Banda efetiva - modelo de atraso

$$c = \max \left\{ SCR, \frac{MBS}{PCR^{-1} MBS + \Delta} \right\}$$

$$\Delta = \min \{ MaxCTD - t_{fixo}; P2PCDV \}$$

$t_{fixo}$  é o atraso fixo de propagação do enlace