

## A Precificação em Tempo Real no Controle de Congestionamento

Rosana C. de M. Grillo Gonçalves  
Álvaro Garcia Neto  
Sérgio Henrique Oliveira Pereira

Departamento de Física e Informática - IFSC  
Universidade de São Paulo - USP  
rosanagg@usp.br, alvaro@uspfc.ifqsc.sc.usp.br, sergio@www.ifqsc.sc.usp.br

### Resumo

O artigo apresenta um esquema para evitar-se o congestionamento através do controle da admissão na rede. Nos períodos de congestionamento são monitoradas as tentativas de estabelecimento de novas conexões, com um incentivo para que o envio do tráfego não prioritário seja abandonado. Este incentivo é concretizado através do estabelecimento de preços mais elevados para a comunicação. A implementação deste esquema é discutida considerando o protocolo TCP. Como motivação e antecedente para a definição deste esquema são discutidas: a necessidade de oferecimento de várias classes de serviço do tipo *best-effort*, e as exigências que as novas aplicações multimídia impõem aos algoritmos tradicionais de controle de congestionamento.

### Abstract

This paper presents a proposition to congestion avoidance through controlling new admissions in the network. At congestion periods, the system is triggered in and every new attempt of transmission is going to be monitored. In order to discourage the non-priority traffic an extra monetary fee is charged for new connections in these peak times. The implementation of such an approach is discussed taking into account the TCP protocol. The paper also discusses the background and reasons that justify the implementation: the need of differentiated best-effort service classes, and the fact that traditional congestion control algorithms are no longer efficient when handling multimedia traffic.

### 1 Introdução

O aumento das aplicações em que os computadores processam voz e vídeo além de exigir maior capacidade de transmissão, introduz na prevenção e controle de congestionamento exigências típicas de aplicações *real-time*, intolerantes a perdas de pacotes.

O congestionamento pode ser considerado intrínseco às redes de comutação de pacotes. Dentro de restrições econômicas, o dimensionamento dos recursos da rede sempre estará vinculado à demanda média; somando-se a este fato a natureza imprevisível e de rajadas (*bursty*) do tráfego de pacotes, dificilmente será possível controlar o nível de congestionamento ocasionado pelas demandas de pico.

As novas aplicações têm também incentivado considerações quanto à extensão do modelo de serviços das redes. A arquitetura atual da Internet oferece uma única classe de serviços do tipo máximo empenho (*best-effort*), neles não há controle de admissão e a rede não garante quando os pacotes serão entregues e nem mesmo se o serão.

As aplicações tradicionais da Internet (terminal remoto (*telnet*), transferências de arquivos (*FTP*, *http*), servidores de nomes (*DNS*) e correio eletrônico) são, por natureza, elásticas, por tolerarem atrasos e perdas de pacotes sem as graves conseqüências por eles introduzidas nas aplicações multimídia. No entanto, dificilmente uma única classe de serviços do tipo *best-effort* atenderá satisfatoriamente as aplicações multimídia que, em geral, não toleram perdas constantes de pacotes; e tipicamente não diminuem, nem desaceleram seu tráfego na ocorrência de congestionamento.

Neste novo cenário vários trabalhos vêm discutindo a necessidade de mudança do paradigma utilizado para o oferecimento de serviços e para o controle de congestionamento ([Lef 96] [Yang 95] [Skenker 95], etc.).

Dentre as diversas vertentes seguidas na proposição de novas arquiteturas, este artigo foca a necessidade de um modelo de serviço, no qual as aplicações possam explicitamente requerer diferentes classes de serviços, sendo utilizada a precificação em tempo real para este fim. O desenvolvimento da arquitetura

aqui proposta requer dois passos para sua consecução plena. O primeiro refere-se à interceptação das tentativas de conectar-se à rede na ocorrência de congestionamentos, cabendo às aplicações decidirem se estão dispostas a utilizar-se da rede pagando mais por isso. Este esquema apesar de não garantir a qualidade do serviço oferecido, trabalha para a evitação de congestionamentos com a concordância explícita das aplicações em questão. Num segundo passo, a rede efetivamente modificará seu atendimento aos serviços do paradigma "best-effort", para um paradigma onde prioridades possam ser consideradas, tornando possível a garantia na qualidade do serviço prestado.

No item 2 serão feitas considerações sobre os requisitos de um novo modelo de serviço e sobre as vantagens e desvantagens de diferentes abordagens. O item 3 discorre sobre o controle de congestionamento convencional e sobre suas fragilidades. O item 4 discorre sobre o modelo de precificação para o controle de congestionamento LTR, que vem sendo estudado e simulado no ambiente de rede do IFSC - USP.

## 2 A Extensão do Modelo de Serviço *Best-Effort* Atual da Internet

O modelo do serviço é uma definição abstrata do serviço que um cliente da rede receberá. É definida uma interface estável; onde preve-se que embora os detalhes possam ser alterados a semântica do serviço não o será.

Num esboço de um modelo de serviço para o tráfego *best-effort*, a primeira questão a ser considerada são as necessidades das aplicações que utilizarão tais serviços. As aplicações que se utilizam de serviços *best-effort* usam os dados assim que estes estiverem disponíveis, suas necessidades são do tipo "assim que possível" (ASAP - as soon as possible), e suas exigências quando a largura de banda são "o máximo possível" (AMAP - as much as possible).

Este modelo de serviço é provido na Internet através da política *FIFO* (*First-in First-out*) para atendimento dos pacotes, e do descarte do último pacote a chegar na fila (*last-in first-dropped*) nos roteadores, permitindo várias alterações em sua implementação sem seu comprometimento semântico.

Partindo-se da premissa de que o desempenho da rede não deve ser medido em termos de quantidades centradas na rede como número de pacotes descartados, e sim, pelo grau em que a rede atende às necessidades de serviço de cada uma das aplicações dos usuários, é fácil de ser verificado que o oferecimento de um conjunto ampliado de serviços fará com que a rede aumente sua eficácia [Shenker 95].

Como proposta à extensão do modelo *best-effort* atual da Internet serão discutidos os itens: (a) diferentes classes de serviço, (b) forma de escolha da classe de serviços, (c) a escolha explícita e a necessidade de incentivos, e (d) a precificação como incentivo.

### (a) diferentes classes de serviço

A rede deve oferecer um modelo de serviço que inclua mais do que uma única classe de serviços *best-effort*. Este modelo de serviço pode simplesmente implicar em dois níveis de prioridade, ou ser complicado a ponto de atingir as classes de múltiplos serviços com atraso limitado (*delay-bounded*) [Clark 92].

### (b) forma de escolha da classe de serviços

Existe uma questão fundamental quanto à variação dos serviços oferecidos: a escolha de determinado serviço será feita de forma explícita pela aplicação ou a rede classificará os pacotes recebidos, deliberando quais serviços para quais pacotes de forma implícita?

Se o tráfego for alocado aos serviços oferecidos pela rede de forma implícita admite-se que existirão algumas classes de serviços pré-definidas para aplicações de tráfego semelhante (*bulk* assíncrono, ou interativo, ou tempo real, etc.), às quais os pacotes serão alocados mediante a identificação do serviço que lhes é devido.

A abordagem implícita tem a vantagem de não requerer qualquer mudança na interface dos serviços: as aplicações continuam a mandar seus pacotes sem nenhuma negociação prévia. Por outro lado, as desvantagens (i) e (ii) são bastante significativas:

(i) o fato da rede precisar reconhecer o tipo de serviço necessário para cada aplicação, exige modificações na rede a cada nova classe de aplicações que surgir.

(ii) O encapsulamento de informações das aplicações nas informações da camada de rede viola os princípios essenciais da divisão da arquitetura de rede em camadas.

### (c) a escolha explícita e a necessidade de incentivos

É mais viável, portanto, que as aplicações explicitem os serviços requeridos.

Se os serviços de menor prioridade são os que recebem o pior atendimento, como garantir que os usuários optarão por menor prioridade? Infelizmente um conjunto de regras sociais é insuficiente para garantir tal comportamento, principalmente, frente a crescente diversidade de usuários da Internet. Portanto, a rede deve prover algum outro sistema de incentivos para encorajar os usuários a requererem as classes adequadas de serviços para suas aplicações.

#### (d) a precificação como incentivo

Dentre os sistemas de incentivos, a precificação é o sistema que melhor racionaliza as escolhas. Para alguns a escolha e obtenção de um serviço menos prioritário será compensada pelo menor desembolso para adquiri-lo, para outros o aumento no preço será compensado por um aumento na qualidade do serviço [Cocchi 93].

### 3 Controle de Congestionamento

#### 3.1 Conceitos/Premissas

Segundo [Yang 95], congestionamento é o estado no qual a performance da rede se degrada devido à saturação de seus recursos tais como linhas de comunicação, buffers para o armazenamento temporário de pacotes, ciclos de processamento, etc. Segundo [Davies 72] uma rede está congestionada quando obrigatoriamente tem de rejeitar tráfego.

O gráfico 1 estabelece a região tracejada como de congestionamento. Neste estado a vazão atinge seus valores máximos, não aumentando mais proporcionalmente ao aumento do

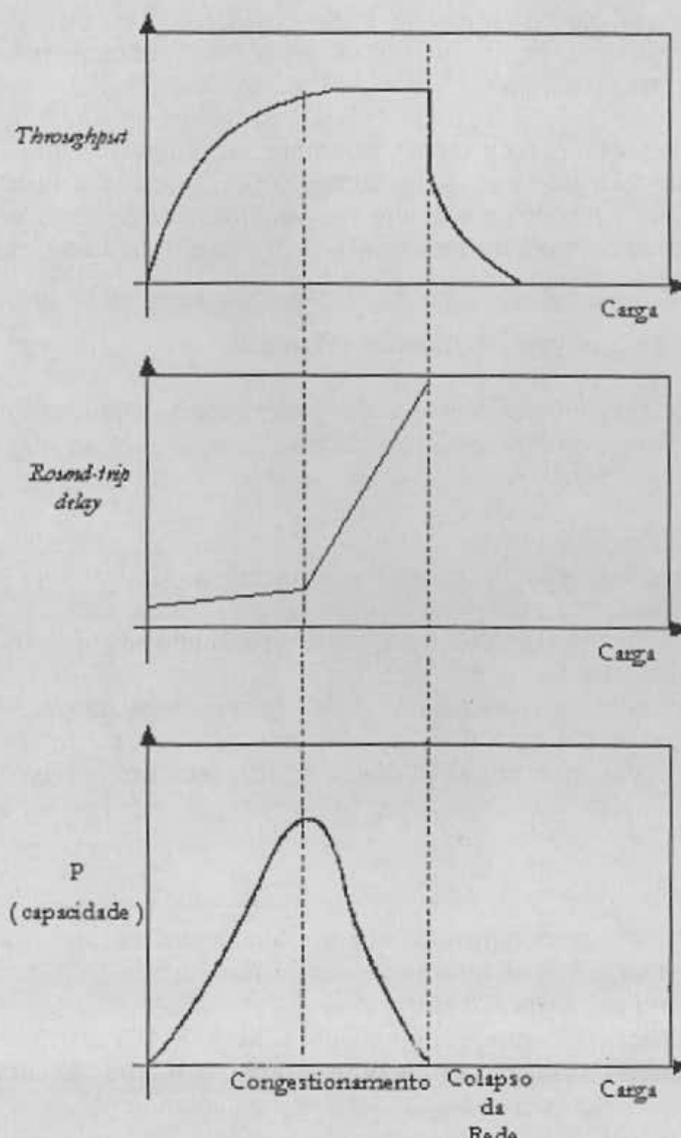


Gráfico 1: Definição de congestionamento a partir de carga, throughput, e round-time-delay

número de mensagens que entram no sistema, (intervalo tracejado no gráfico). Quando a vazão é constante e o número de mensagens que entram no sistema (a carga) continua a crescer, as filas nos roteadores irão crescer (aumentando os *round-trip delays*), até estourarem a capacidade dos *buffers*, com a perda de pacotes. Se no estado de congestionamento a carga continuar aumentando, é atingido o estado de colapso da rede.

Muito esforço tem sido gasto para evitar-se congestionamentos, pois controlando-se a taxa de transmissão ao longo de caminhos congestionados, a probabilidade de perda de pacotes diminui, diminuindo também a *bandwidth* desperdiçada com retransmissões. Como resultado disso, a vazão entre dois pontos é aumentada.

Apesar do sucesso dos algoritmos já implementados na Internet para o controle de congestionamento [Jac 88], a pesquisa deve avançar. A pesquisa relacionada ao controle e prevenção de congestionamento esteve focada na natureza dos sinais de congestionamento e nas respostas a estes sinais [Lef 96]. O paradigma que admitia respostas homogêneas aos sinais de congestionamento tem sido alterado, principalmente por duas razões: (i) Nada garante que a homogeneidade das respostas aos sinais de congestionamento continue a ser mantida. Na Internet, esta hegemonia se deve aos algoritmos de *slow-start* [Jac 88] que desde de meados da década de oitenta foram maciçamente adotados, principalmente devido a sua difusão com implementações de TCP-IP de domínio público. No entanto, dificilmente com a intensificação do uso comercial da Internet, essa hegemonia será salvaguardada.

(ii) A exigência de um comportamento homogêneo passa a não fazer sentido considerando-se a proliferação de aplicações de diversos perfis de tráfego: pacotes de voz e de vídeo (tais como *vat* e *vn*), transferência eletrônica, correio eletrônico, terminal remoto, etc.

O estudo do controle de congestionamento deve considerar que, uma rede global comercial, não pode mais depender da implementação homogênea nos usuários finais de um conjunto padrão de algoritmos de resposta aos sinais de congestionamento. A heterogeneidade nas respostas surgirá, não somente, porque os usuários tenderão a reagir diferentemente ao mesmo sinal de congestionamento, mas também porque diferentes aplicações têm diferentes sensibilidades a atrasos e perdas.

Por conseguinte, a interface do usuário final com a rede, na presença dos sinais de congestionamento, deve ser estudada. Esta interface pode ser estruturada de forma deliberada ou compulsória. A forma deliberada é aquela em que a resposta depende dos mecanismos existentes nos protocolos de comunicação do usuário, de sua livre escolha. Na forma compulsória existe um agente controlador que requer de forma "obrigatória" uma resposta do usuário dentro de padrões pré-estabelecidos.

### 3.2 Revisão Breve dos Algoritmos de Controle de Congestionamento existentes

A maioria dos algoritmos de controle de congestionamento já propostos podem ser divididos em dois grandes grupos: de controle em circuito aberto (*open loop*), e de controle em circuito fechado (*closed loop*).

#### (a) Controle Aberto (*Open-loop control*)

No controle aberto as decisões dos algoritmos não dependem de qualquer informação de *feedback* que provenha dos pontos congestionados da rede, e o estado da rede não é monitorado dinamicamente. O controle é feito baseando-se em premissas axiomáticas sobre a rede como um todo, e baseando-se somente no conhecimento do nó local.

Um exemplo de controle aberto é obtido quando um número finito de "carregadores de pacotes" chamados de permissão são atribuídos aos nós da rede; e portanto, o tráfego total em toda a rede é limitado. Uma permissão deverá ser capturada sempre que for desejado o envio de dados, se isto não for possível os dados serão descartados.

#### (b) Controle Fechado (*Closed-loop control*)

É nesta classe de algoritmos de controle de congestionamento que se enquadram os algoritmos clássicos. As decisões de controle são baseadas em alguma forma de informação de *feedback* que é passada aos nós originadores de tráfego. Existe três decisões importantes nesta abordagem:

(1) a detecção do congestionamento: da conceituação de congestionamento (item 3.1), deriva-se a dificuldade de sua detecção. Em geral, os sinais de congestionamento são obtidos através de diferenças entre o estado atual do sistema e alguns limites pré-definidos, como por exemplo limites no tamanho das filas de mensagens a ser servidas nos roteadores.

(2) passagem destes sinais para o usuário: a passagem de um sinal de volta ao usuário (*feedback*) indicando o congestionamento pode ser feita de forma explícita ou implícita. No *feedback* explícito é usado um indicador explícito para sinalizar o *status* da rede ( Exemplo: Decbit Protocol [Rama 88]).

No esquema de *feedback* implícito é necessário que o usuário monitore a *performance* de sua própria transmissão de dados para a obtenção de pistas do *status* atual da rede ( Exemplo: algoritmo de *slow-start* [Jac 88]).

(3) a reação do usuário frente a estes sinais: o usuário pode ter um comportamento padronizado através da adoção homogênea de um algoritmo de evitação de congestionamento, pode reagir segundo critérios próprios (causando heterogeneidade nas respostas).

### (b1) exemplos de algoritmos de controle fechado

#### (i) *slow start* [Jac 88]

O controle de congestionamento na Internet em TCP é feito através de um conjunto de algoritmos com destaque para o algoritmo de "*slow-start*" (início vagaroso). As fases de detecção do congestionamento e da passagem destes sinais para o usuário são unificadas. São usados dois sinais de *feedback* implícito: a perda de pacotes como indicativo de congestionamento e o atraso da ida-e-volta dos sinais de reconhecimento como sinal para a manutenção do princípio de conservação de pacotes.

A reação do usuário frente a estes sinais ocorre através do controle dinâmico de uma janela de transmissão. A janela de transmissão é configurada para que, após a transmissão inicial de  $n$  pacotes, seja aumentada somente mediante a chegada dos sinais de recebimento dos pacotes já enviados. A necessidade de retransmissão, ou seja, a perda de pacotes é interpretada como um sinal de congestionamento, após o qual a janela de transmissão é drasticamente reduzida, sendo lentamente aumentada a quantidade de mensagens em trânsito.

#### (ii) DECbit [Rama 88]

A detecção do congestionamento ocorre quando o tamanho médio da fila de pacotes nos roteadores ultrapassa um limite pré-estabelecido. Quando isso ocorre é usado um mecanismo de *feedback* explícito que consiste na passagem de um sinal binário indicando congestionamento.

Os roteadores medem o tamanho médio da fila, e sinalizam o *bit* de indicação de congestionamento nos pacotes que ao chegarem se deparam com fila cujo tamanho médio ultrapassa o limite.

O receptor envia o *bit* de indicação de congestionamento de volta ao transmissor juntamente com o sinal de confirmação de recebimento (*ACK*). O transmissor examina o *bit* de indicação de congestionamento dos últimos  $w$  pacotes recebidos. Se pelo menos 50% dos pacotes tiverem este *bit* ligado, reduz o tamanho da janela de controle de transmissão; caso contrário, o tamanho da janela é aumentado.

### (b2) fragilidades dos algoritmos de controle

Nos dois esquemas propostos (*slow start*, e DECbit), as respostas dos usuários frente ao congestionamento são padronizadas pelo uso dos mesmos algoritmos implementados nos protocolos de transporte. Sabe-se, no entanto, que no caso do protocolo TCP, não existe nenhuma dificuldade em modificar-se estes algoritmos delegando maior poder de transmissão a certos nós isolados.

Além disso, estes esquemas não permitem que seja levada em consideração a natureza da aplicação que está sendo executada na resposta aos sinais de congestionamento.

A utilização da precificação LTR no controle de congestionamento objetivou tratar com essas duas questões. Primeiramente, propondo uso de uma disciplina rígida de acesso a rede, e em segundo lugar, dando ao usuário, a opção de diferentes respostas aos sinais de congestionamento em conformidade com suas aplicações.

## 4 A Precificação LTR (Leilão em Tempo Real) no Controle de Congestionamento

O uso de precificação em redes de computadores tem seus efeitos econômicos discutidos em [MacKie 94] [Cocchi 93] [Mackie 95].

Neste trabalho, a ênfase está em seu uso para um controle de congestionamento que não esteja atrelado à obtenção de respostas homogêneas, e ao mesmo tempo possa propiciar eficiência econômica, o que tem sido pesquisado através de simulações do modelo LTR (Leilão em Tempo Real). O modelo LTR prevê que, na detecção de congestionamento, seja progressivamente proposto um leilão tarifário aos usuários, restringindo o acesso à rede somente àqueles que pagarem as taxas seletivas que garantem o fim do congestionamento. Sendo a decisão de transmitir ou não totalmente explícita ao usuário.

O modelo de congestionamento adotado é de controle fechado (*closed-loop*) e prevê o uso de sinais de congestionamento obtidos localmente, através de sinais de roteadores próximos ao roteador externo. Todo roteador externo (que interliga redes locais a inter-rede), e roteadores intermediários (que interligam roteadores) são monitorados pelos Controladores de Acesso, que neles são replicados.

A interface do usuário final com a rede na presença dos sinais de congestionamento é gerenciada pelo Controlador de Acesso. A idéia é que, na existência de congestionamento, o preço pelo serviço de comunicação aumente forçando as aplicações cujo o tráfego for protelável a liberarem os recursos da rede. Ao usuário final é requerida obrigatoriamente uma resposta ao novo valor piso por octeto transmitido.

A seguir é feita uma descrição dos princípios adotados na definição do LTR (item 4.1), é definida sua arquitetura (item 4.2), e no item 4.3 são feitas algumas considerações sobre sua implementação.

### 4.1 Princípios Adotados na definição do LTR

#### (a) obtenção local dos sinais de congestionamento

Os sinais de congestionamento são obtidos localmente de forma a adequarem-se aos domínios de contabilização existentes. Devido ao uso da precificação também para a recuperação de custos, e para cálculos do retorno do investimento, cada domínio de contabilização terá uma política tarifária distinta. O modelo LTR foi inicialmente concebido para ser usado em *intranets*, onde os domínios podem corresponder às redes locais de diferentes centros de resultado dentro de uma organização: projeto, produção, distribuição, etc.

Os domínios provêm meios pragmáticos e flexíveis de especificar-se limites de responsabilidade e autoridade de gerência. Um domínio é um objeto que representa uma coleção de objetos membros que foram agrupados explicitamente para a aplicação de uma política comum de gerenciamento [Sloman 89]. Toda política especificada em termos do domínio aplicar-se-á a todos os seus membros, que são os objetos referenciados por seu conjunto de política. O domínio é o pai de seus membros

Em relação à contabilização, os domínios são usados como um meio de descrever-se grupos de objetos que estão sujeitos a uma política única de contabilização, que será função do domínio administrativo e também das características tecnológicas passíveis de determinação de diferentes funções de produção. (Em geral, as funções e produção dos serviços de comunicação apresentam custos essencialmente fixos, exceções podem ocorrer em diferentes tecnologias utilizadas no meio físico de transmissão - fibras ópticas, microondas, satélites VSAT, etc. - e nas interfaces de conexão a rede.)

#### (b) considerações econômicas

A escolha de um modelo de precificação foi antecedida por várias considerações sobre eficiência econômica. Existiu a preocupação de tornar o modelo LTR semelhante à precificação derivada do custo marginal, com o custo da comunicação sendo zero fora das escalas de congestionamento. Em [Shenker 96] é elucidada a questão de que uma vez que a transmissão de pacotes é essencialmente gratuita, o custo do uso marginal é quase exclusivamente um custo de congestão. Os custos da congestão são as penalidades no desempenho que o tráfego referente a um usuário impõe ao tráfego de outros. Outra consideração importante foi a recuperação dos custos, e a captação da capacidade de pagar, ou da utilidade do recurso relacionada a cada usuário.

A precificação baseada em leilão em tempo real prevê o pagamento de uma taxa fixa, independente da utilização por todos os usuários. Quando a rede estiver dentro de determinada escala de congestionamento, o preço mínimo referente àquela escala de congestionamento é estabelecido, e passa a vigorar para todos os novos pedidos de conexão. Ao solicitar nova conexão, caberá ao usuário duas possíveis ações: o protelamento de seu uso da rede, ou a concordância com o preço mínimo e a informação de um valor de teto até o qual ele pagará para continuar utilizando-se da rede.

#### 4.2 A Arquitetura LTR

A definição da Arquitetura LTR de contabilização teve como premissas ser a plataforma para a implementação do modelo LTR e ser compatível com a arquitetura básica de contabilização da Internet [Mills 91 -RFC 1272], que prevê uma precificação proporcional ao uso e portanto, a contagem de todos os octetos transmitidos.

Esta arquitetura segue o modelo OSI de contabilização com a definição de três entidades básicas:

- 1) O Medidor, que faz medidas e agrega os resultados destas medidas;
- 2) O Coletor, que é responsável pela integridade e segurança do dado do Medidor quando de seu armazenamento temporário e tráfego, e
- 3) A Aplicação que processa/formata/armazena os dados do Medidor. As Aplicações implicitamente gerenciam os Medidores.

O RFC 1272 [Mills 91] traz adicionalmente rigorosas considerações sobre os níveis de sobrecarga que as informações relativas ao uso efetivo podem trazer ao sistema, e também considerações sobre a necessidade do uso de mecanismos de segurança para a preservação de tais informações. Considerando-se que a contabilização coleta informações detalhadas acerca do comportamento dos usuários da rede, e que estas contas podem representar um fluxo de dinheiro, são necessários mecanismos de segurança disponibilizados por ferramentas tais como o *Kerberos* [Steiner 88].

#### 4.3 Implementação do Mecanismo de Leilão em Tempo Real - LTR

Esta seção discutirá a implementação do modelo LTR frente às três fases típicas de um processo de controle de congestionamento: (i) sua detecção, (ii) a passagem dos sinais para os usuários finais, (iii) o mecanismo de resposta do usuário final.

(i) a detecção do congestionamento é feita por um processo controlador de acesso, replicado em cada segmento da rede. Este processo monitora a perda de pacotes no *gateway* de seu controle. (as perdas de pacotes são os indicadores de congestionamento utilizados, como em [Jac 88])

(ii) a passagem dos sinais de congestionamento ao longo da rede é feita através da comunicação entre os diversos processos de controle, responsáveis pela passagem dos sinais para os usuários finais de seu segmento. Na chegada de um sinal de congestionamento, a tarifa vigente é aumentada, mantendo-se fixa durante o intervalo de estabilização, após o qual passa a ser diminuída.

(iii) o mecanismo de resposta do usuário final foi concebido levando-se em conta um grau elevado de heterogeneidade nas respostas dos usuários que devem exercer seu direito de livre escolha, sem que este penalize os demais usuários. Baseado em incentivos, em precificação foi definido um agente controlador que requer e forma "obrigatória" uma resposta do usuário frente a diferentes tarifas.

A necessidade de interação em tempo real com o usuário final faz com que a reação ao congestionamento ocorra nos instantes de requisições de novas conexões, mecanismo já utilizado em [Edell 95], e tem sua implementação baseada nos protocolos orientados a conexão, particularmente no TCP [Commer 91].

Na existência de congestionamento, todas tentativas de conexão externas são interceptadas, sendo somente liberadas mediante a concordância do usuário com a nova tarifa de transmissão.

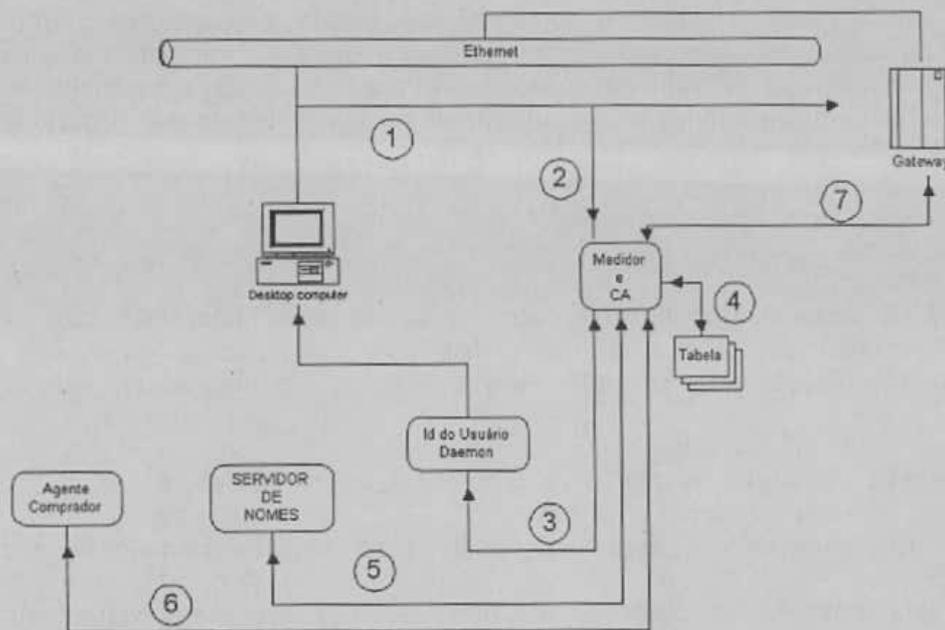
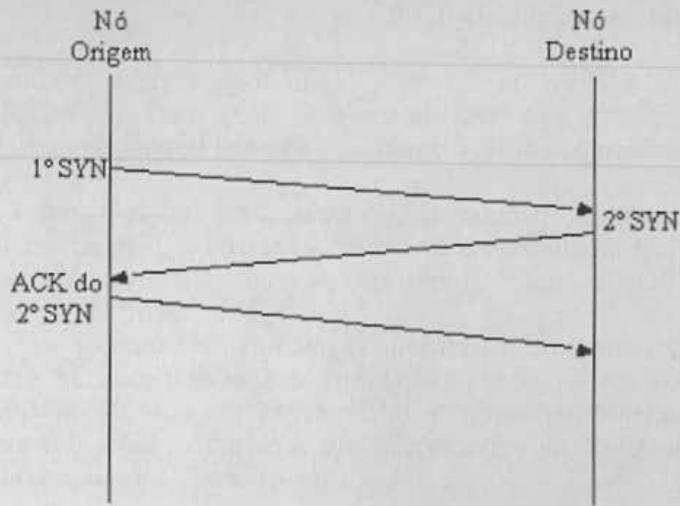


Figura 1: esquema de interface com o usuário final

A figura 1 descreve detalhadamente a interface com o usuário emissor (nó b), através da esquematização e numeração de cada fluxo de comunicação, que será seqüencialmente considerados:

- fluxo*
- (1) O nó b tenta iniciar uma conexão enviando uma mensagem de SYN (TCP)
  - (2) O Controlador de Acesso detecta a tentativa de conexão
  - (3) O Controlador de Acesso pede o *userid* para a identificação do usuário
  - (4) O CA consulta as tabelas para saber a tarifa vigente, e o valor de teto das tarifas autorizadas pelo nó B. Se tarifa vigente > valor de teto autorizado, então:
    - (5) O controlador de acesso consulta o servidor de nomes para localizar o Agente Comprador relativo a este usuário.
    - (6) O agente comprador interage com o usuário para saber se o mesmo pagará a nova tarifa, e retorna o novo valor de teto autorizado para o controlador de acesso.
    - (7) Se o usuário aceitou pagar a nova tarifa, o pedido de conexão é devidamente encaminhado.

A figura 2 (a) mostra a comunicação exigida para o estabelecimento de uma conexão TCP e a figura 2 (b) mostra o estabelecimento de uma conexão TCP com o uso do esquema LTR.



f

Figura 2(a): pedido de conexão TCP

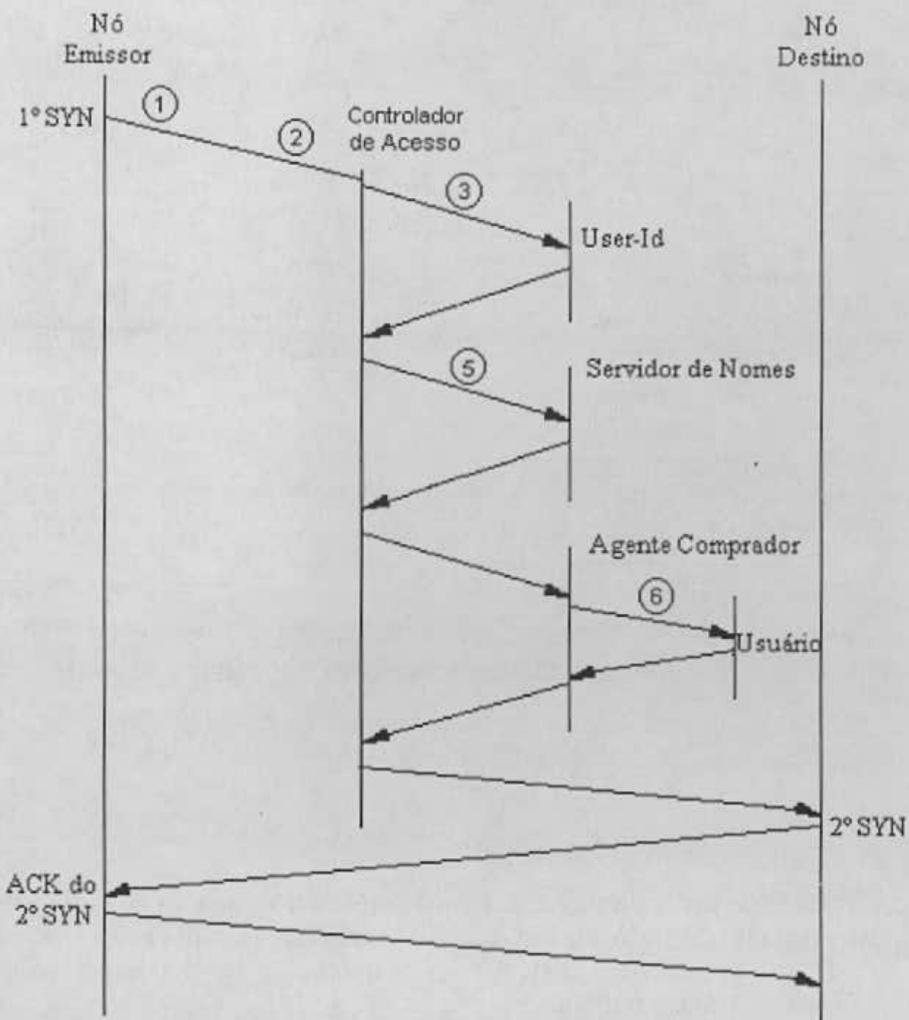


Figura 2(b): pedido de conexão TCP com esquema LTR

### 4.3.1 Estágio Atual da Implementação do LTR

A mensuração do uso efetivo da rede está sendo feita com o auxílio de uma implementação da arquitetura proposta no RFC 1272, instanciada em dois programas de domínio público: o Netramet e o Namac [Brownlee 94], desenvolvidos em linguagem C, e que se utilizam da biblioteca *libcap*.

O Netramet corresponde ao medidor, e encontra-se expandido com a inclusão das funções para a detecção de aberturas e encerramento de novas conexões TCP. O Namac tem as funções de coletor e está sendo ampliado com novas funções que prevêm o uso de amostragem estatística.

A rede do IFSC-USP tem no momento seus segmentos monitorados através de medidores atuando em modo promíscuo e instalados em estações DOS, Linux e SunOS (figura 3). Os cabeçalhos dos pacotes são observados com o armazenamento periódico de informações na base de informações de gerência (MIB). O coletor, instalado em estação Unix, periodicamente tem acesso aos dados dos medidores, usando o protocolo SNMP.

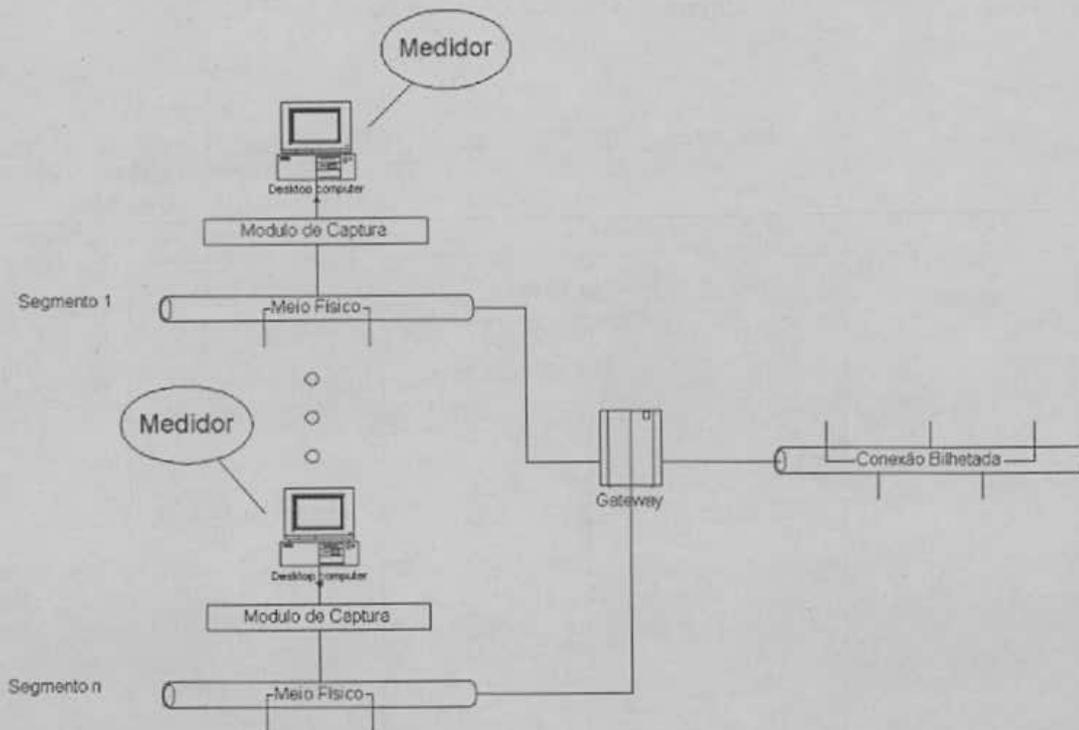


Figura 3: monitoração do tráfego nos segmentos da rede

## 5 Conclusão

Devido a diversidade de perfis de diferentes novas aplicações quanto ao tráfego gerado, a necessidade de atendimentos diferenciados é eminente. A escolha explícita das aplicações acerca da *bandwidth* que desejam utilizar, ou de que prioridade atribuem ao seu tráfego, é defendida em [Shenker 95], [Lef 96], [Cocchi 93], etc., e foi acatada neste trabalho.

A utilização de tarifas diferenciadas para auxiliarem na racionalização das escolhas, foi discutida em [Mackie 95] e [Gonç 95], tarifas estas que podem ser expressas em valores monetários ou em bônus de utilização. Cumpre notar que um atendimento prioritário somente se faz necessário quando o atendimento normal é dimensionado de forma a não atender satisfatoriamente a toda a sua demanda, especialmente a demanda de pico. Portanto, a premissa básica desta investigação é que, novas necessidades de diferentes aplicações suplantem os recursos tecnológicos disponíveis, num conjunto expressivo de inter-redes que opere com restrições econômicas.

Os resultados obtidos até o momento mostram que o modelo LTR é possível de ser implementado sem mudanças na estrutura de protocolos consagrada da Internet, não requerendo o uso de nenhum campo especial (opções IP e TCP), não requerendo também nenhuma mudança nas aplicações. As ferramentas de monitoração utilizadas [Brownlee 94] são bastante estáveis, vários conjuntos de medidas já foram feitos com a caracterização de alguns aspectos do tráfego do IFSC-USP. Extensões necessárias à ferramenta para identificação dos pedidos de conexão foram bem sucedidas.

Duas importantes questões têm sido tratadas no momento: simulações e testes da efetividade do método LTR para a evitação de congestionamentos; e estudo das implicações de seu uso no desempenho total do sistema.

## Referências Bibliográficas

- [Bötsch 91] Bötsch, E. N. - "A Hierarchical Domain Concept as a Main Part of an OSI Accounting Model". In *IFIP TC6/WG6.6 Symposium on Integrated Network Management*, 1991, pp 735-746.
- [Brownlee 94] Brownlee, N. - "New Zeland Experiences with Network Traffic Charging". In *ConneXions*, 8(11), 1994.
- [Cocchi 93] Cocchi, R. et alii. - "Pricing in computer networks: Motivation, formulation, and example". In *ACC/IEEE Transaction on Networking*, 1, 1993, pp. 614-627.
- [Clark 92] Clark, D.; Shenker, S.; Zhang, L. - "Supporting Real-Time Applications in an Integrated Services Packet Network: Architecture and Mechanism". In *Proc. SIGCOMM '92*, 1992, pp. 14-26
- [Comer 91] Comer, D. E. - *Internetworking with TCP/IP*. vol. 1, 2nd ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1991.
- [Davies 72] Davies, D. - "The Control of Congestion in Packet Switch Networks", *IEEE Trans. on Comm.*, COM 20 no. 3, June 1972.
- [Edell 95] Edell, R. J. - "Billing Users and Pricing for TCP". In *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 13(7), 1995, pp.1162-1175.
- [Gonç 95] Gonçalves, R.C.M.G. - "Custos em Redes de Computadores". In *Anais do IV Congresso Internacional de Custos*, Campinas, Brasil, 1995.
- [Jac 88] Jacobson, V. - "Congestion Avoidance and Control". In *Proc. SIGCOMM '88*, vol. 18, no.4, August 1988.
- [Lef 96] Lefelhocz, C. et alii. - "Congestion Control for Best-Effort Service: Why We Need a New Paradigm". In *IEEE Network*, Jan/Feb. 1996, pp. 10-18.
- [Mackie 94] Mackie-Mason, J. K. & Varian, H. R. - "Pricing the Internet". In *Public Access to the Internet*. B. Kahin and J. Keller Eds. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1994.
- [Mackie 95] Mackie-Mason, J. K. & Varian, H. R. - "Pricing Congestible Network Resources". In *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 13(7), 1995, pp.1141-1149.
- [Mills 91] Mills, C.; Hirsch, D. ; Ruth, G. - "Internet accounting: Background", *Internet Engineering Task Force, RFC 1272*, 1991
- [Rama 88] Ramakrishnan, K. K. & Jain, R. - "A Binary Feedback Scheme for Congestion Avoidance in Computer Networks with a Connectionless Network Layer". In *Proc. SIGCOMM '88*, 18(4), August 1988.
- [Shenker 95] Shenker, S. - "Fundamental Design Issues for the Future Internet". In *IEEE Journal on selected Areas in Communications*, 13(7), 1995, pp.1176-1188.

[Shenker 96] Shenker, S. et alii. - "Pricing in Computer Networks: Reshaping the Research Agenda". In *Computer Communication Review*, 26(2), April 1996, pp. 19-43.

[Sloman 89] Sloman, M. S. & Moffett, J. D. - "Domain Management for Distributed Systems". In *Integrated Network Management I* (Meandzija B. and Westcott, J. editors), North Holland, 1989, pp. 505-516.

[Sloman 93] Sloman, M. et alii. - "Domain Management and Accounting in an International Cellular Network". In *Integrated Network Management III* (Hegering, H. G. and Yemini, Y. editors), Elsevier Science Publishers, North Holland, 1993, pp. 193-206.

[Steiner 88] Steiner, J. ; Neuman, C. ; Schiller, J. - "Kerberos: an authentication service for open network systems". In Proc. USENIX Winter Conf., 1988, pp 191-202.

[Yang 95] Yang, C. & Reddy, A. V. S. - "A Taxonomy for Congestion Control Algorithms in Packet Switching Networks". In *IEEE Network*, July/August 1995, pp. 34-45.