

Camada de Transporte

Redes de Computadores

Profa. Kalinka Castelo Branco

Universidade de São Paulo

Maio de 2019

Camada de Transporte

Profa.
Kalinka
Branco

Serviços de
Transporte

Cenário

Serviço TCP

Controle de
Fluxo

Protocolo de
Janela
Deslizante

Controle de
Congestiona-
mento

- 1 Serviços de Transporte
- 2 Cenário
- 3 Serviço TCP
- 4 Controle de Fluxo
- 5 Protocolo de Janela Deslizante
- 6 Controle de Congestionamento

Camada de Transporte

Profa.
Kalinka
Branco

Serviços de Transporte

Cenário

Serviço TCP

Controle de Fluxo

Protocolo de Janela Deslizante

Controle de Congestionamento

- O serviço da Camada de Transporte orientado à conexão é semelhante ao serviço de rede orientado à conexão – existem semelhanças no que diz respeito ao processo de conexão (que acontece em 3 fases), endereçamento e controle de fluxo;
- Analogamente, o serviço de transporte sem conexão também é semelhante ao serviço da Camada de Rede sem conexão.

- Pergunta-se:
 - “Se o serviço da Camada de Transporte é tão semelhante ao serviço da Camada de Rede, por que há duas camadas distintas?”
- A resposta é sutil porém de grande importância:
 - A Camada de Rede faz parte da sub-rede de comunicação e, geralmente é controlada pelas concessionárias de telecomunicação (Embratel – hoje Claro Brasil, Telefônica Brasil, COPEL Telecom, Sercomtel, entre outros...). Em geral, os processos usuários não têm controle sobre esta camada.

Camada de Transporte

Profa.
Kalinka
Branco

Serviços de Transporte

Cenário

Serviço TCP

Controle de Fluxo

Protocolo de Janela Deslizante

Controle de Congestionamento

- Então, o que acontece se:
 - A Camada de Rede oferecer um serviço orientado à conexão, não confiável?
 - Se a Camada de Rede perder pacotes com frequência?
 - Os roteadores apresentarem falhas de vez em quando?

Camada de Transporte

Profa.
Kalinka
Branco

Serviços de Transporte

Cenário

Serviço TCP

Controle de Fluxo

Protocolo de Janela Deslizante

Controle de Congestionamento

- Os processos usuários não possuem controle sobre a sub-rede: não podem resolver o problema de um serviço ineficaz (não podem trocar os roteadores ou aumentar o controle de erro da Camada de Enlace);
- Única possibilidade é colocar sobre a Camada de Rede uma outra camada que melhore a qualidade dos serviços.

Camada de Transporte

Profa.
Kalinka
Branco

Serviços de Transporte

Cenário

Serviço TCP

Controle de Fluxo

Protocolo de Janela Deslizante

Controle de Congestionamento

- Em resumo:
 - A existência da Camada de Transporte torna o serviço de transporte entre processos muito mais confiável do que o serviço de rede adjacente;
 - A ocorrência de pacotes perdidos e/ou de dados corrompidos pode ser percebida e compensada pela Camada de Transporte.

Camada de Transporte

Profa.
Kalinka
Branco

Serviços de Transporte

Cenário

Serviço TCP

Controle de Fluxo

Protocolo de Janela Deslizante

Controle de Congestionamento

- Primitivas do serviço de transporte: podem ser projetadas para serem independentes das primitivas do serviço de rede, que podem variar muito de sub-rede (ou de rede) para sub-rede.;
- Por exemplo: um serviço LAN sem conexão, pode ser muito diferente de um serviço WAN orientado à conexão.

Camada de Transporte

Profa.
Kalinka
Branco

Serviços de Transporte

Cenário

Serviço TCP

Controle de Fluxo

Protocolo de Janela Deslizante

Controle de Congestionamento

- Graças à Camada de Transporte, os programas aplicativos podem ser desenvolvidos utilizando-se um conjunto de primitivas-padrão, podendo funcionar em uma ampla variedade de redes, sem a preocupação de lidar com diferentes interfaces de sub-redes e com uma eventual transmissão duvidosa;
- Se todas as redes reais fossem iguais e perfeitas não seria necessária a Camada de Transporte.

Camada de Transporte

Profa.
Kalinka
Branco

Serviços de
Transporte

Cenário

Serviço TCP

Controle de
Fluxo

Protocolo de
Janela
Deslizante

Controle de
Congestiona-
mento

- A Internet funciona baseada nos protocolos TCP e IP (por isso o nome TCP/IP);
- Quando um processo de aplicação (sessão) deseja estabelecer uma conexão com um processo de aplicação remoto, é preciso especificar a aplicação com quem se conectar;
- Se for sem conexão, é necessário especificar a quem cada mensagem deve ser enviada;
- Método: definir os endereços de transporte, os quais os processos podem ouvir, para receber solicitações de conexão.

Camada de Transporte

Profa.
Kalinka
Branco

Serviços de
Transporte

Cenário

Serviço TCP

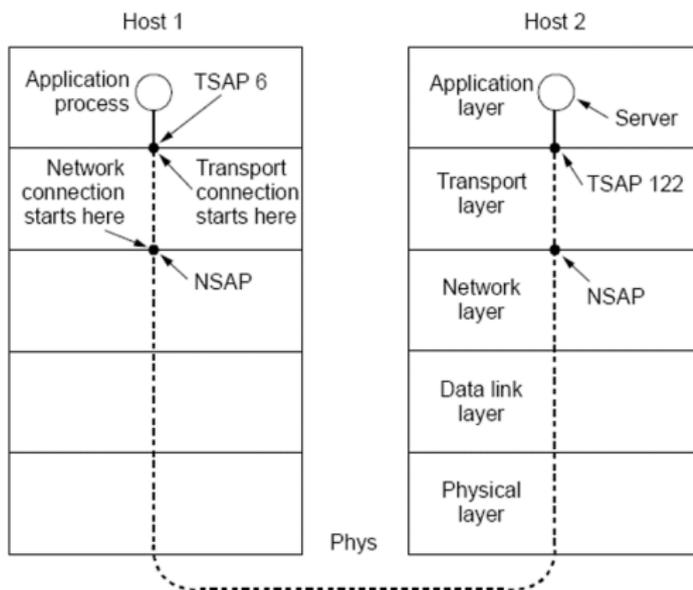
Controle de
Fluxo

Protocolo de
Janela
Deslizante

Controle de
Congestiona-
mento

- Na Internet, esses endereços formam pares (endereço IP, porta local). As portas locais são os **TSAPs** (*Transport Service Access Point*);
- Os pontos finais análogos na Camada de Rede, ou seja, os endereços da Camada de Rede são os **NSAPs** (*Network Service Access Point*);
- A entidade de transporte pode aceitar vários TSAPs;
- Em determinadas máquinas, podem existir vários NSAPs. No entanto, geralmente cada máquina tem um único NSAP. Por exemplo, um endereço IP.

- Relação entre o NSAP e TSAP:



Camada de Transporte

Profa.
Kalinka
Branco

Serviços de
Transporte

Cenário

Serviço TCP

Controle de
Fluxo

Protocolo de
Janela
Deslizante

Controle de
Congestiona-
mento

- Um processo servidor de resposta para hora do dia no *Host 2*, associa-se ao TSAP 122 e aguarda a chegada de uma chamada;
- Um processo de aplicação no *Host 1* deseja saber a hora do dia e transmite uma solicitação CONNECT, especificando o TSAP 6 como origem e o TSAP 122 como destino;
- A entidade de transporte do *Host 1* seleciona um endereço de rede (NSAP) em sua máquina (se houver mais de 1) e estabelece uma conexão de rede entre eles;
- Usando essa conexão de rede, a entidade de transporte do *Host 1* pode se comunicar com a entidade de transporte do *Host 2*.

Camada de Transporte

Profa.
Kalinka
Branco

Serviços de
Transporte

Cenário

Serviço TCP

Controle de
Fluxo

Protocolo de
Janela
Deslizante

Controle de
Congestiona-
mento

- Entidade de transporte no *Host* 1 diz a sua correspondente no *Host* 2:
 - Olá. Eu gostaria de estabelecer uma conexão de transporte entre o meu TSAP 6 e o seu TSAP 122. É possível?
- A entidade de transporte do *Host* 2 pergunta ao seu servidor de hora do dia no TSAP 122 se ele está disposto a aceitar uma nova conexão. Se ele concordar, a conexão de transporte é estabelecida, e os demais protocolos entram em ação para realizar a operação desejada.

- **Problema:** como o processo de usuário do *Host 1* sabe que o servidor de hora do dia está associado ao TSAP 122?
- **Possibilidade:** o endereço deste serviço é estável e tradicionalmente mantido neste TSAP. Não é uma boa opção;
- Fica restrito à administração dos recursos e de configurações decidir como fazer isso;
- Além disso, em geral os processos de usuário desejam se comunicar com outros processos de usuário que existam por um curto período de tempo e, assim, não possuam endereço TSAP previamente conhecido. Nesse caso, também é um desperdício deixar um processo que é raramente rodando para fornecer o serviço.

Camada de Transporte

Profa.
Kalinka
Branco

Serviços de
Transporte

Cenário

Serviço TCP

Controle de
Fluxo

Protocolo de
Janela
Deslizante

Controle de
Congestiona-
mento

- **Esquema melhor:** Protocolo de Conexão Inicial (*Initial Connection Protocol*);
- Ao invés de ter todos os servidores associados a um TSAP conhecido, cada máquina tem um servidor de processos (*process server*) que atende uma série de portas ao mesmo tempo, aguardando uma conexão TCP;
- Os usuários começam com uma solicitação CONNECT especificando o endereço TSAP (porta TCP) do serviço que necessitam. Se nenhum servidor estiver aguardando nesta porta, eles estabelecem uma conexão com o servidor de processos.

Camada de Transporte

Profa.
Kalinka
Branco

Serviços de
Transporte

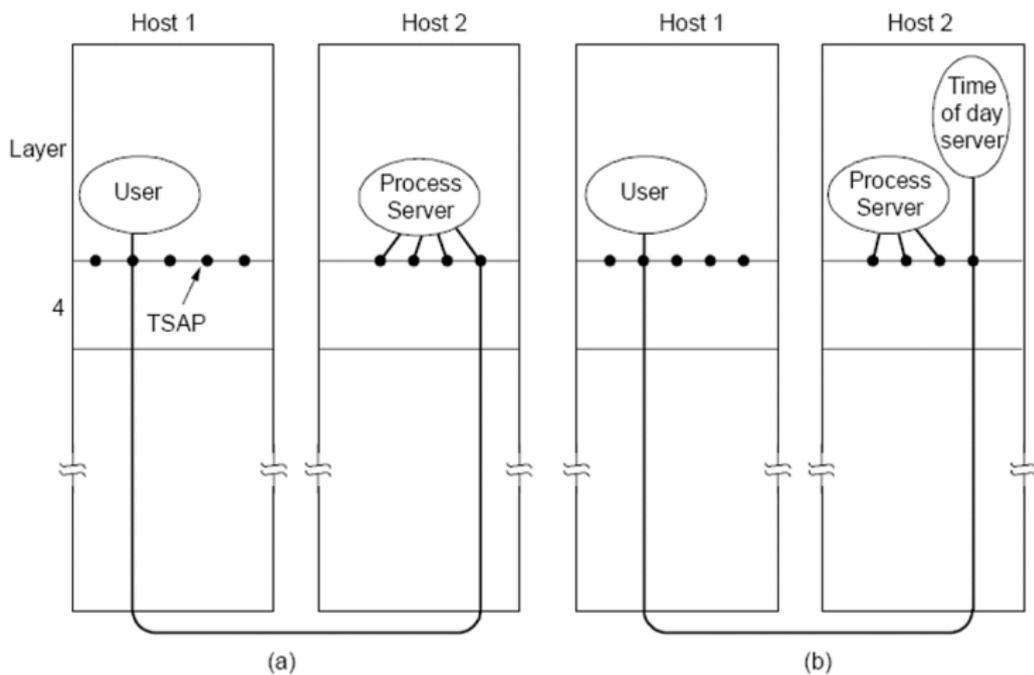
Cenário

Serviço TCP

Controle de
Fluxo

Protocolo de
Janela
Deslizante

Controle de
Congestiona-
mento



Camada de Transporte

Profa.
Kalinka
Branco

Serviços de
Transporte

Cenário

Serviço TCP

Controle de
Fluxo

Protocolo de
Janela
Deslizante

Controle de
Congestiona-
mento

- Depois de receber a solicitação, o servidor de processos “acorda” o serviço necessário, coloca o processo solicitante em contato com o TSAP do servidor e gera a conexão com o servidor solicitado, permitindo que ele “herde” a conexão já existente com o usuário.
- Mas isso não resolve o problema de como identificar o serviço, já que ainda é necessário conhecer seu TSAP.

Camada de Transporte

Profa.
Kalinka
Branco

Serviços de
Transporte

Cenário

Serviço TCP

Controle de
Fluxo

Protocolo de
Janela
Deslizante

Controle de
Congestiona-
mento

- Outro esquema alternativo é a utilização do servidor de nomes.
- Usuário se conecta ao servidor de nomes, envia uma requisição com o nome do serviço e o servidor de nomes responde com o endereço do TSAP.
- Depois disso, o usuário encerra sua conexão com o servidor de nomes e estabelece uma nova conexão com o serviço desejado.

Camada de Transporte

Profa.
Kalinka
Branco

Serviços de
Transporte

Cenário

Serviço TCP

Controle de
Fluxo

Protocolo de
Janela
Deslizante

Controle de
Congestiona-
mento

- **Serviço TCP:** é obtido quando tanto o receptor quanto o transmissor criam pontos terminais de interconexões chamados *sockets*;
- Cada *socket* tem um endereço, que consiste na associação do endereço IP do *host* e da porta;
- Para que um serviço TCP funcione é necessário que uma conexão seja explicitamente estabelecida entre um *socket* de uma máquina transmissora e um *socket* de uma máquina receptora.

Camada de Transporte

Profa.
Kalinka
Branco

Serviços de Transporte

Cenário

Serviço TCP

Controle de Fluxo

Protocolo de Janela Deslizante

Controle de Congestionamento

- Um *socket* pode ser usado por várias conexões ao mesmo tempo – isto é, duas ou mais conexões podem terminar no mesmo *socket*;
- Conexões são identificadas nas duas extremidades pelos identificadores de *sockets* (*socket1*, *socket2*).

Camada de Transporte

Profa.
Kalinka
Branco

Serviços de Transporte

Cenário

Serviço TCP

Controle de Fluxo

Protocolo de Janela Deslizante

Controle de Congestionamento

- Todas as conexões TCP são *full-duplex* e ponto-a-ponto:
 - *Full duplex* porque o tráfego pode ser feito em ambas as direções ao mesmo tempo;
 - Ponto-a-ponto porque cada conexão possui exatamente dois pontos terminais únicos.

- Uma conexão TCP é um fluxo de dados e não um fluxo de mensagens.
- As fronteiras das mensagens não são preservadas de uma extremidade a outra.
- Se, por exemplo, um processo executar quatro escritas de 512 bytes cada no fluxo TCP, estes dados poderão ser entregues ao processo receptor em quatro partes de 512, em duas partes de 1024 ou uma de 2048, ou em qualquer outra divisão – não há um meio de o receptor detectar as unidades em que os dados foram escritos.

Camada de Transporte

Profa.
Kalinka
Branco

Serviços de Transporte

Cenário

Serviço TCP

Controle de Fluxo

Protocolo de Janela Deslizante

Controle de Congestionamento

- O software TCP não tem ideia do significado dos bytes. Ele apenas cuida da entrega;
- Quando uma aplicação passa dados para a entidade TCP, o TCP pode enviá-los imediatamente ou armazená-los em um *buffer* (para aguardar outros dados e enviar um volume maior de uma só vez), de acordo com as necessidades e condições.

Camada de Transporte

Profa.
Kalinka
Branco

Serviços de
Transporte

Cenário

Serviço TCP

Controle de
Fluxo

Protocolo de
Janela
Deslizante

Controle de
Congestiona-
mento

- O software TCP decide qual deve ser o tamanho dos segmentos. Ele pode acumular dados de várias escritas em um único segmento, ou dividir os dados de uma única escrita em vários segmentos;
- Dois fatores restringem o tamanho do segmento:
 - Cada segmento, incluindo o cabeçalho TCP, deve caber na carga útil do IP, que é de 65.535 bytes;
 - Cada tipo de rede tem uma MTU (*Maximum Transfer Unit*) e cada segmento deve caber na MTU. Na prática, a MTU tem alguns milhares de bytes (aprox. 1500 bytes) e, portanto, define o limite superior em termos de tamanho de segmento.

Camada de Transporte

Profa.
Kalinka
Branco

Serviços de
Transporte

Cenário

Serviço TCP

Controle de
Fluxo

Protocolo de
Janela
Deslizante

Controle de
Congestiona-
mento

- Se um segmento atravessar uma sequência de redes sem ser fragmentado, e depois chegar em uma rede cuja MTU não o comporta, o roteador localizado na fronteira fragmentará o datagrama IP em dois ou mais datagramas menores;
- Cada novo datagrama receberá seu próprio cabeçalho IP. Portanto a fragmentação realizada pelos roteadores aumenta o *overhead* total – cada novo datagrama adiciona informação de cabeçalho.

Camada de Transporte

Profa.
Kalinka
Branco

Serviços de
Transporte

Cenário

Serviço TCP

Controle de
Fluxo

Protocolo de
Janela
Deslizante

Controle de
Congestiona-
mento

- Quando os bytes chegam ordenados e corretos, eles são colocados no *buffer* de recepção e passam a ser acessíveis para a aplicação.
- A aplicação pode demorar para ler os dados desse *buffer* e ele pode ficar cheio muito rapidamente.
- É necessário garantir um controle de fluxo para impedir que o *buffer* de recepção sature.

Camada de Transporte

Profa.
Kalinka
Branco

Serviços de
Transporte

Cenário

Serviço TCP

Controle de
Fluxo

Protocolo de
Janela
Deslizante

Controle de
Congestiona-
mento

- O TCP implementa o controle de fluxo utilizando os dados dos campos Número de Sequência, Número de Confirmação e Tamanho da Janela;
- O controle de fluxo no TCP é gerenciado por uma técnica denominada janela deslizante;
- O campo Tamanho da Janela indica, em tempo real, o número máximo de bytes sem confirmação que podem ser enviados. Com a utilização de janelas, um emissor só poderá enviar o número de bytes previsto na janela, antes de receber alguma confirmação.

Camada de Transporte

Profa.
Kalinka
Branco

Serviços de
Transporte

Cenário

Serviço TCP

Controle de
Fluxo

**Protocolo de
Janela
Deslizante**

Controle de
Congestiona-
mento

- Além do controle de fluxo, o protocolo de janela deslizante também garante a recuperação de erros por usar reconhecimento.
- Na recuperação de erros, o TCP utiliza o protocolo de janela deslizante ARQ Go-Back-N com retransmissão rápida:
 - Envio de reconhecimentos cumulativos, aguardando 500 ms pela chegada de um novo segmento antes de enviar o ACK;
 - Se 3 ACKS duplicados forem recebidos, reenvia o segmento sem aguardar pelo esgotamento da temporização.

Protocolo de Janela Deslizante

Camada de Transporte

Profa. Kalinka Branco

Serviços de Transporte

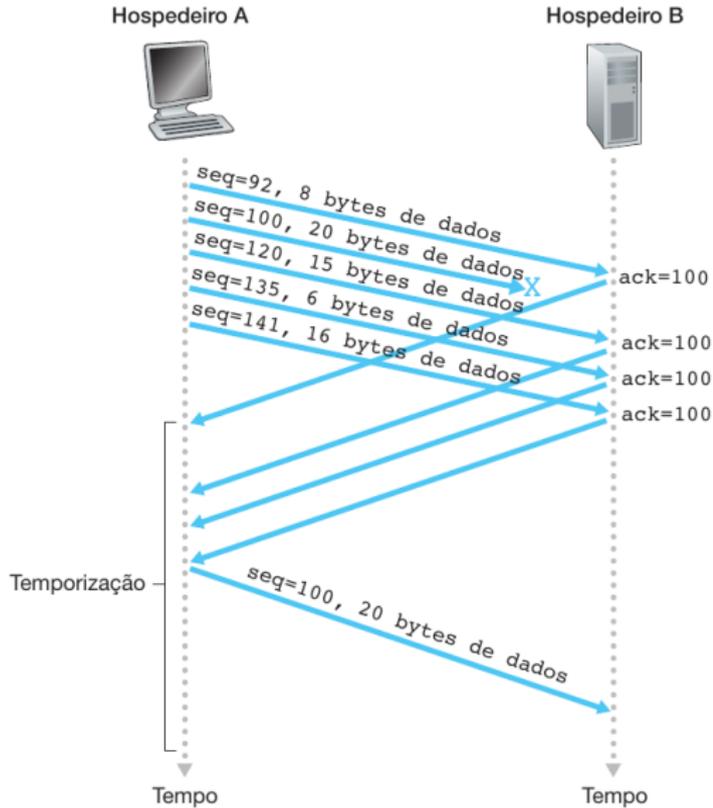
Cenário

Serviço TCP

Controle de Fluxo

Protocolo de Janela Deslizante

Controle de Congestionamento



- Congestionamento:
 - Definição informal: “muitas fontes enviando dados acima da capacidade da rede de tratá-los”;
 - Diferente de controle de fluxo.
- Sintomas:
 - Perda de pacotes (saturação de *buffers* nos roteadores);
 - Atrasos grandes (filas nos *buffers* dos roteadores).
- Um dos 10 problemas mais importantes na Internet!

- Existem duas abordagens gerais para o problema de controle de congestionamento:
 - **Controle de congestionamento fim-a-fim:**
 - Não usa realimentação explícita da rede;
 - Congestionamento é inferido a partir das perdas e dos atrasos observados nos sistemas finais;
 - Abordagem usada pelo TCP.
 - **Controle de congestionamento assistido pela rede:**
 - Roteadores enviam informações para os sistemas finais indicando o congestionamento.

Camada de Transporte

Profa.
Kalinka
Branco

Serviços de
Transporte

Cenário

Serviço TCP

Controle de
Fluxo

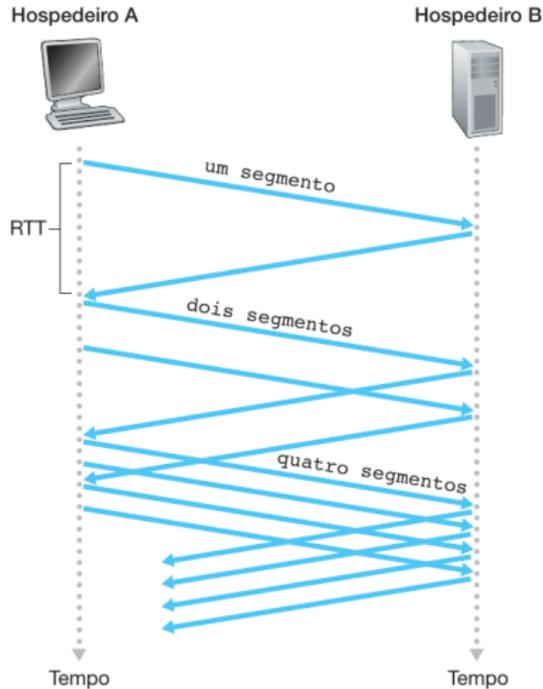
Protocolo de
Janela
Deslizante

Controle de
Congestiona-
mento

- No TCP, cada remetente limita sua taxa de transmissão de acordo com o tráfego até o destinatário. Se for notado congestionamento, a taxa é reduzida, caso contrário, é aumentada.
- Detecção do congestionamento:
 - Esgotamento de temporização (ACK não recebido);
 - Presença de 3 ACKS duplicados (pacotes foram perdidos);
- Janela de congestionamento:
 - Usada para regular a taxa de envio;
 - Utiliza ACKs para regular seu tamanho;
- TCP é considerado autorregulado.

- Algoritmo de controle de congestionamento:
 - Partida lenta;
 - Prevenção de congestionamento;
 - Recuperação rápida (apenas recomendada).

- Aumenta a janela de congestionamento no tamanho de 1 segmento a cada ACK recebido.



Camada de Transporte

Profa.
Kalinka
Branco

Serviços de
Transporte

Cenário

Serviço TCP

Controle de
Fluxo

Protocolo de
Janela
Deslizante

Controle de
Congestiona-
mento

- Gera uma taxa de envio que começa lenta mas cresce exponencialmente.
- Encerra-se o crescimento:
 - Esgotamento de temporização: reinicia a partida lenta com a janela de congestionamento com 1 segmento e estabelece a variável limiar de partida lenta para um valor igual à metade da janela de congestionamento no momento da detecção.
 - Valor da janela de congestionamento igual ao limiar de partida lenta: alteração para o modo de prevenção de congestionamento.
 - 3 ACKS duplicados: alteração para o modo de recuperação rápida.

- O congestionamento pode estar perto, já que a janela de congestionamento é metade do valor que era quando detectou-se o congestionamento anterior.
- Aumento da taxa de envio mais conservador: $1 \text{ MSS} / \text{ tamanho da janela}$. Logo, é preciso receber todos os ACKS para aumentar em 1 segmento.
- Encerra-se o crescimento:
 - Esgotamento de temporização: reinicia a partida lenta com a janela de congestionamento com 1 segmento e estabelece a variável limiar de partida lenta para um valor igual à metade da janela de congestionamento no momento da detecção.
 - 3 ACKS duplicados: alteração para o modo de recuperação rápida.

Camada de Transporte

Profa.
Kalinka
Branco

Serviços de
Transporte

Cenário

Serviço TCP

Controle de
Fluxo

Protocolo de
Janela
Deslizante

Controle de
Congestiona-
mento

- O limiar de partida lenta é um pouco maior, porque os 3 ACKS recebidos são contados para estipular o limiar. Logo, inicia-se a janela de congestionamento nesse novo valor do limiar.
- Aumenta a janela de congestionamento em 1 MSS para cada ACK duplicado recebido do segmento que foi perdido. Quando chega um novo ACK, volta para a prevenção de congestionamento.
- Encerra-se o crescimento:
 - Esgotamento de temporização: reinicia a partida lenta com a janela de congestionamento com 1 segmento e estabelece a variável limiar de partida lenta para um valor igual à metade da janela de congestionamento no momento da detecção.

Camada de Transporte

Profa.
Kalinka
Branco

Serviços de
Transporte

Cenário

Serviço TCP

Controle de
Fluxo

Protocolo de
Janela
Deslizante

Controle de
Congestiona-
mento

