

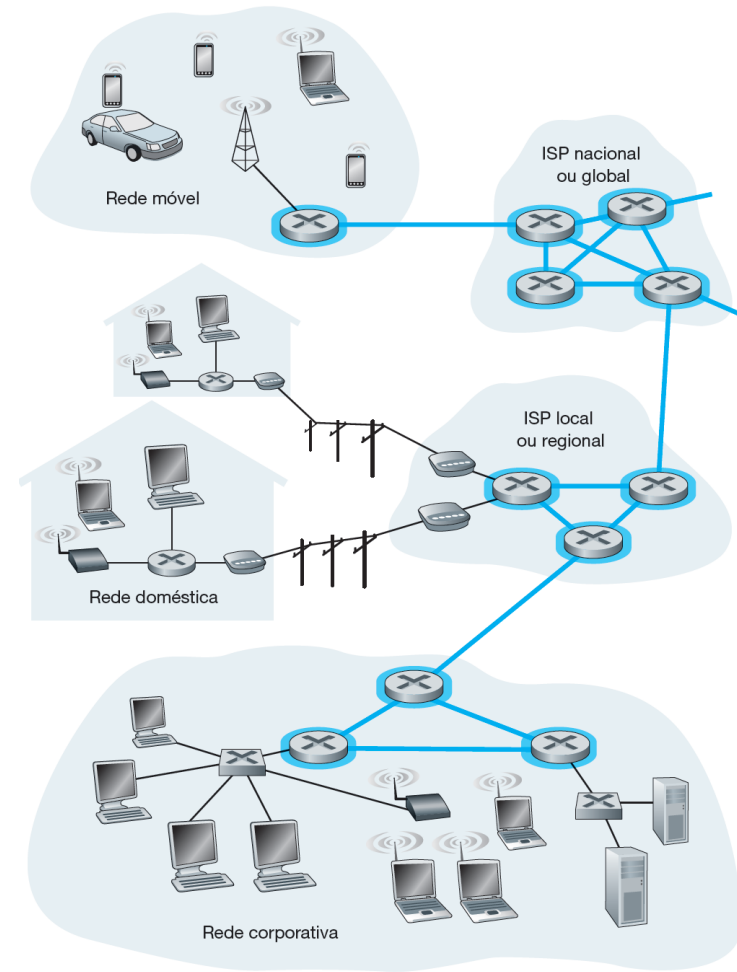


REDES DE COMPUTADORES

O Núcleo da Rede

O Núcleo da Rede

- ✓ O **núcleo da rede** é formado pelos **comutadores de pacotes** e pelos **enlaces** que os interligam.
- ✓ *Em redes de computadores entende-se por **comutação** o processo de troca de dados entre dois sistema finais (hosts) durante uma sessão de comunicação.*



O Núcleo da Rede

- ✓ Há duas abordagens fundamentais para locomoção de dados através de uma rede de enlaces e comutadores:
 - Comutação de **pacotes**
 - Comutação de **circuitos**

Comutação de pacotes

- ✓ Em uma aplicação de rede, sistemas finais trocam mensagens entre si.
- ✓ Para enviar uma mensagem de um sistema final de origem para um destino, o emissor **fragmenta** mensagens longas em porções de dados menores, denominadas **pacotes**.
- ✓ Entre origem e destino, cada um deles **pode** percorrer enlaces de comunicação e **comutadores de pacotes** distintos.



Comutação de pacotes

- ✓ Há dois tipos principais de comutadores de pacotes: **roteadores** e **comutadores de camada de enlace**.
- ✓ Os comutadores utilizam uma técnica de transmissão conhecida **armazena-e-reenvia** (***store-and-forward***) nas entradas dos enlaces.

Comutação de pacotes

Transmissão armazena-e-reenvia

- ✓ Significa que o comutador de pacotes deve receber o pacote inteiro antes de poder começar a transmitir o primeiro bit para o enlace de saída.



Comutação de pacotes

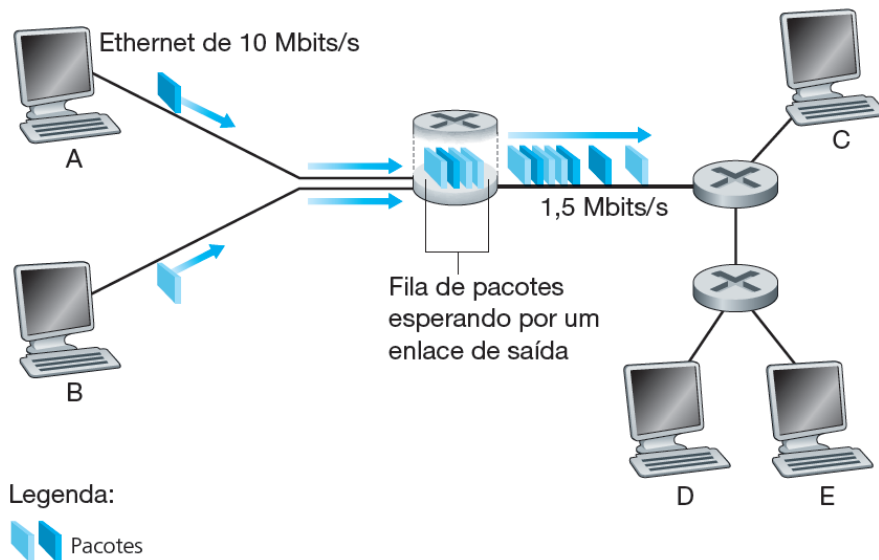
Transmissão armazena-e-reenvia

- ✓ Os comutadores devem ter um *buffer* que armazena o pacote temporariamente antes de enviar ao próximo comutador.
- ✓ Um comutador tem um ***buffer de saída (ou fila de saída)*** para cada enlace conectado a ele.
- ✓ Desta forma, numa rede comutada por pacotes além do atraso de **armazenagem e reenvio** os pacotes podem sofrer **atraso no *buffer de saída*** ou até serem descartados por causa de uma ***buffer cheio***.



Comutação de pacotes

Transmissão armazena-e-reenvia



Tabelas de repasse e protocolos de roteamento

- ✓ Na Internet, cada sistema final tem um endereço denominado endereço IP. Quando um host de origem quer enviar um pacote a um destino, a origem inclui o endereço IP do destino no cabeçalho do pacote.
- ✓ O roteador examina uma parte do endereço de destino e o conduz a um roteador adjacente.
- ✓ Cada roteador possui uma tabela de encaminhamento que mapeia os endereços de destino para enlaces de saída desse roteador.



Tabelas de repasse e protocolos de roteamento

- ✓ Quando um pacote chega a um roteador, este examina o endereço e pesquisa na sua tabela de encaminhamento, utilizando esse endereço de destino para encontrar o enlace de saída apropriado.
- ✓ O roteador, então, direciona o pacote a esse enlace de saída.
- ✓ Um protocolo de roteamento pode, por exemplo, determinar o caminho mais curto de cada roteador a cada destino e utilizar os resultados para configurar as tabelas de encaminhamento nos roteadores.



Comutação de circuitos

- ✓ Numa rede **comutada por circuitos** os recursos necessários (*bufferes* e taxa de transmissão) para prover uma sessão de comunicação são previamente reservados.
- ✓ Isto significa que o caminho por onde passam os dados será o mesmo durante toda a sessão.
- ✓ No jargão da telefonia diz-se que essa conexão estabelece um **circuito**.

- ✓ O circuito pode ser entendido como o caminho por onde trafegam os dados entre o remetente e o destinatário.
- ✓ As redes de telefonias são redes comutadas por circuitos.
- ✓ Em redes de **comutação de pacotes**, tais recursos não são reservados; as mensagens de uma sessão usam os recursos por demanda e, como consequência, poderão ter de esperar para conseguir acesso a um enlace de comunicação.



Multiplexação

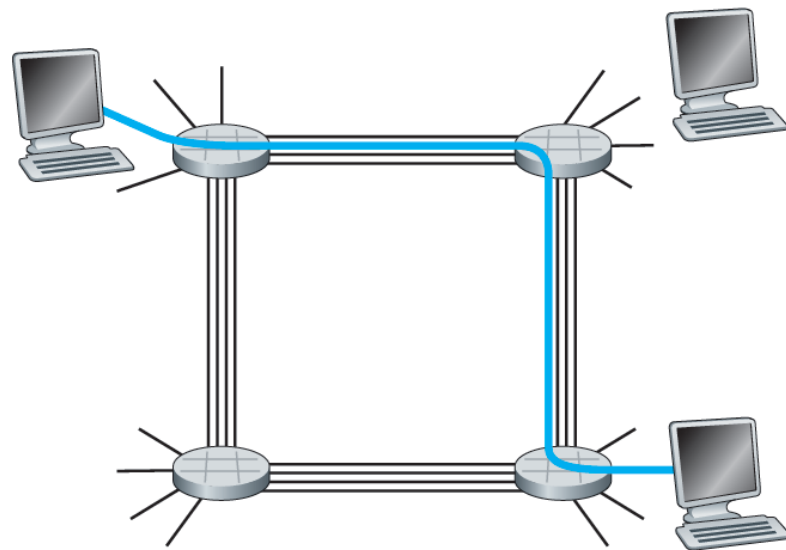
- ✓ Cada enlace pode ter vários circuitos e os circuitos podem ser implementados em um enlace por meio da:
 - **Multiplexação por divisão de frequência - FDM**
 - **Multiplexação por divisão de tempo - TDM.**

O Núcleo da Rede

14

Exemplo de Multiplexação

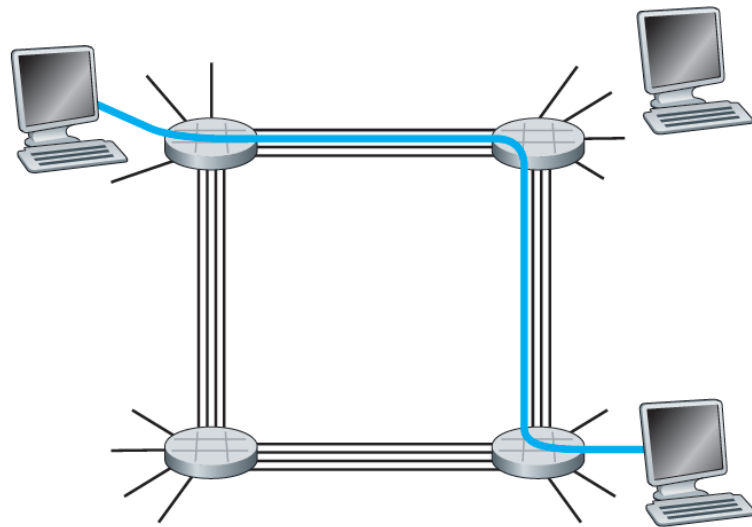
- ✓ Os quatro **comutadores de circuitos** estão interconectados por quatro enlaces.
- ✓ Cada enlace tem quatro circuitos (quatro conexões simultâneas).
- ✓ Quando dois hosts querem se comunicar, a rede estabelece uma conexão fim a fim dedicada entre os dois.



O Núcleo da Rede

Exemplo de Multiplexação

- ✓ Como cada enlace tem quatro circuitos, cada conexão fim a fim fica com um quarto da capacidade de transmissão total durante o período da conexão.
- ✓ Se cada enlace tiver uma taxa de transmissão de 1 Mbit/s, então cada conexão de comutação de circuitos fim a fim obtém 250 kbits/s de taxa de transmissão dedicada.



Multiplexação por divisão de frequência - FDM

- ✓ Na FDM o espectro de frequência do enlace é dividido entre as conexões estabelecidas naquele enlace.
- ✓ O enlace reservar uma banda de frequência para cada conexão.
- ✓ Uma banda de frequência é uma faixa que vai da frequência x até a frequência y e largura de banda é diferença de $y-x$,
- ✓ Na telefonia a largura de banda de cada circuito é de 4 KHz.



Multiplexação por divisão de tempo - TDM

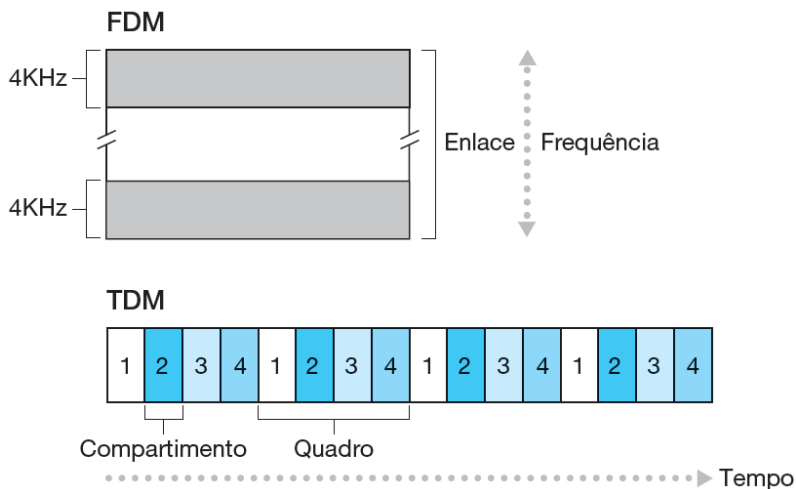
- ✓ No caso de TDM cada circuito utilizada o enlace por uma determinada quantidade de tempo.
- ✓ Em um enlace TDM, o tempo é dividido em **quadros** de duração fixa, e cada quadro é dividido em um número fixo de **compartimentos** (slots).
- ✓ A rede dedica à conexão um compartimento de tempo em cada quadro. Esses compartimentos são reservados para o uso exclusivo dessa conexão para transmitir os dados dela.



Comutação de circuitos

Multiplexação por divisão de tempo - TDM

- ✓ Com FDM, cada circuito dispõe continuamente de uma fração da largura de banda.
com TDM, cada circuito dispõe de toda a largura de banda periodicamente, durante breves intervalos de tempo (isto é, durante compartimentos de tempo)



Legenda:

- 2** Todos os compartimentos de número "2" são dedicados a um par transmissor/receptor específico.

Multiplexação por divisão de tempo - TDM

- ✓ Então, a questão é quantos bits cada circuito pode transmitir no espaço de tempo que lhe reservado?
- ✓ Para responder essa pergunta vamos a um **exemplo**:

Multiplexação por divisão de tempo - TDM

- ✓ **Considere os números:** um enlace tem taxa de transmissão de 1200 Kbps e implementa 4 circuitos, além disso tem um arquivo de 600 Kbits para ser transmitido.
- ✓ Cada circuito pode utilizar o enlace por x tempo, em que
 - **$x = 1000 \text{ milissegundos} / 4 (\text{quantidade de circuitos}) = 250 \text{ milissegundos}$.**
- ✓ Para saber quantos bits pode ser transmitidos nesse 250 ms basta fazer
 - **$1200 / 4 = 300 \text{ Kbps}$.**
- ✓ Se o arquivo é 600 Kbits então $600 \text{ Kbits} / 300 \text{ Kbps} = 2 \text{ segundos}$.



Comutação de pacotes versus comutação de circuitos

- ✓ Opositores da comutação de pacotes costumam argumentar que ela não é adequada para serviços de tempo real (por exemplo, ligações telefônicas e videoconferência) por causa de seus atrasos fim a fim.
- ✓ Defensores da comutação de pacotes argumentam que:
 - *Ela oferece melhor compartilhamento de banda do que comutação de circuitos e*
 - *Sua implementação é mais simples, mais eficiente e mais barata do que a de comutação de circuitos*

Comutação de pacotes versus comutação de circuitos

- ✓ *Embora tanto a comutação de pacotes quanto a de circuitos predominem nas redes de telecomunicação de hoje, a tendência é, sem dúvida, a comutação de pacotes.*

Atrasos em redes de comutação de pacote

- Um pacote começa em um sistema final (a origem), passa por uma série de roteadores e termina sua jornada em outro sistema final (o destino).
- Quando um pacote viaja de um nó ao nó, sofre, ao longo desse caminho, diversos tipos de **atraso** em cada nó.

Atrasos em redes de comutação de pacote

Esses atrasos são conhecidos como:

- o atraso de processamento nodal,
 - o atraso de fila,
 - o atraso de transmissão
 - e o atraso de propagação;
- ✓ Juntos, eles se acumulam para formar o **atraso nodal total**.

Atraso de processamento nodal

- ✓ *É o tempo necessário para examinar o cabeçalho do pacote e determinar para onde direcioná-lo.*
- ✓ Pode também incluir outros fatores, como o tempo necessário para verificar os erros em bits existentes no pacote que ocorreram durante a transmissão dos bits desde o nó anterior.
- ✓ Atrasos de processamento em roteadores de alta velocidade em geral são da ordem de microssegundos.



Atraso de fila

- ✓ *É o tempo que o pacote fica no buffer de saída esperando para ser transmitido.*
- ✓ O tamanho desse atraso dependerá da quantidade de outros pacotes que chegarem antes e que já estiverem na fila.
- ✓ Se a fila estiver vazia, então o tempo de fila de nosso pacote será zero. Se o tráfego estiver intenso e houver muitos pacotes também esperando para ser transmitidos, o atraso de fila será longo.



Atraso de transmissão

- ✓ É o tempo necessário para o roteador empurrar(transmitir) todo os bits do pacote para fora, isto é para o enlace.
- ✓ Esse atraso está diretamente relacionado com o tamanho do pacote e a taxa de transmissão do enlace.
- ✓ O **tempo de transmissão** é calculado por L/R , em que **L** é o tamanho do pacote e **R** é a taxa de transmissão do enlace.



Atraso de propagação

- ✓ É o tempo que leva para um bit se propagar de um roteador até o seguinte.
- ✓ Considera-se o tempo desde o primeiro bit do pacote começar a se propagar no enlace até o ultimo bit do pacote chegar ao roteador seguinte.
- ✓ Esta diretamente relacionado a **distância** entre dois roteadores e a **velocidade de propagação do enlace**, a qual depende do meio físico. Que pode ser de $2 \times 10^8 \text{ m/s}$ a $3 \times 10^8 \text{ m/s}$.



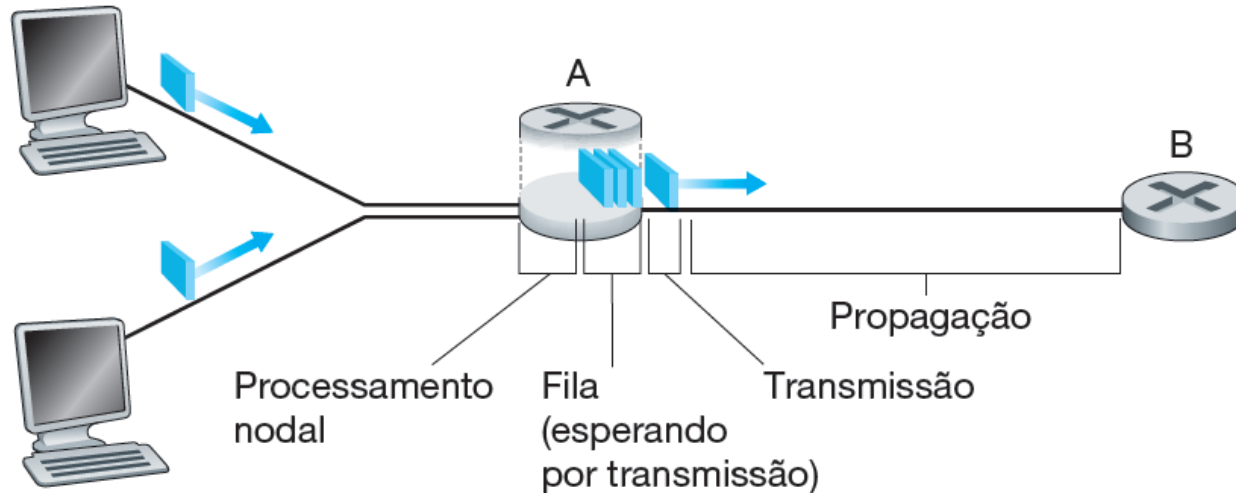
Atraso de propagação

- ✓ O atraso de propagação é a distância entre dois roteadores dividida pela velocidade de propagação.
- ✓ O atraso de propagação é d/s , sendo d a distância entre o roteador A e o roteador B, e s a velocidade de propagação do enlace.
- ✓ Assim que o último bit do pacote se propagar até o nó B, ele e todos os outros bits precedentes serão armazenados no roteador B.



Atrasos em redes de comutação de pacote

- ✓ A soma de todos os atrasos é chamada de **atraso nodal total** (isto é , em um único roteador).



Atrasos em redes de comutação de pacote

Atraso fim a fim

- ✓ O atraso **fim a fim** (da origem a destino) é a soma de todos os atrasos nodais.

Exemplo com Tracerouter

```
1 cs-gw (128.119.240.254) 1.009 ms 0.899 ms 0.993 ms
2 128.119.3.154 (128.119.3.154) 0.931 ms 0.441 ms 0.651 ms
3 border4-rt-gi-1-3.gw.umass.edu (128.119.2.194) 1.032 ms 0.484 ms 0.451 ms
4 acrl-ge-2-1-0.Boston.cw.net (208.172.51.129) 10.006 ms 8.150 ms 8.460 ms
5 agr4-loopback.NewYork.cw.net (206.24.194.104) 12.272 ms 14.344 ms 13.267 ms
6 acr2-loopback.NewYork.cw.net (206.24.194.62) 13.225 ms 12.292 ms 12.148 ms
7 pos10-2.core2.NewYork1.Level3.net (209.244.160.133) 12.218 ms 11.823 ms 11.793 ms
8 gige9-1-52.hsipaccess1.NewYork1.Level3.net (64.159.17.39) 13.081 ms 11.556 ms 13.297
  ms
9 p0-0.polyu.bbnplanet.net (4.25.109.122) 12.716 ms 13.052 ms 12.786 ms
10 cis.poly.edu (128.238.32.126) 14.080 ms 13.035 ms 12.802 ms
```



Vazão fim a fim

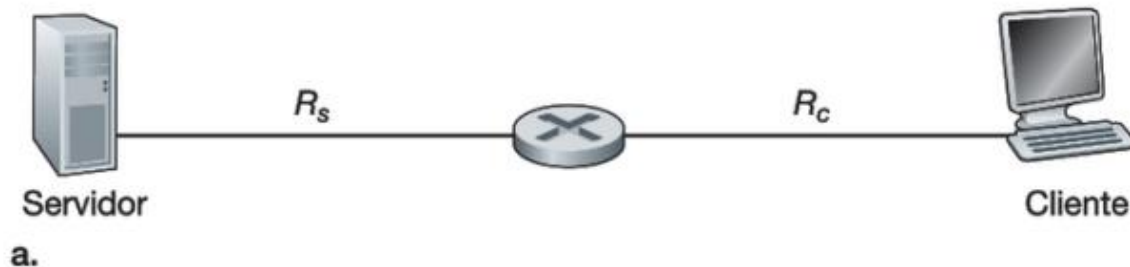
- ✓ Além do atraso e da perda de pacotes, outra medida de desempenho importante em redes de computadores é a **vazão fim a fim**.
- ✓ Para definir **vazão**, considere a transferência de um arquivo grande do host A para o host B por uma rede de computadores.
- ✓ A **vazão instantânea** a qualquer momento é a taxa (em bits/s) em que o host B está recebendo o arquivo.

Vazão fim a fim

- ✓ Se o arquivo consistir em **F** bits e a transferência levar **T** segundos para o host B receber todos os **F** bits, então a vazão **média da transferência** do arquivo é **F/T** bits/s.
- ✓ De modo geral, a vazão é taxa de transferência de um arquivo.

Cenário 1

- ✓ Um servidor e um cliente, conectados por dois enlaces de comunicação e um roteador.
- ✓ Imagine que os únicos bits enviados na rede sejam os do servidor para o cliente. Agora vem a pergunta: nesse cenário ideal, qual é a vazão servidor para cliente



Cenário 1

- ✓ Nesse caso, o servidor não pode enviar os bits a uma taxa mais rápida do que R_s bits/s; e o roteador não pode encaminhar os bits a uma taxa mais rápida do que R_c bits/s. Se $R_s < R_c$ então os bits enviados pelo servidor "fluirão" diretamente pelo roteador e chegarão ao cliente a uma taxa de R_s bits/s, gerando uma vazão de R_s bits/s.
- ✓ Se, por outro lado, $R_c < R_s$, então o roteador não poderá encaminhar os bits tão rápido quanto ele os recebe. Neste caso, os bits somente deixarão o roteador a uma taxa R_c dando uma vazão fim a fim de R_c .

Cenário 1

- ✓ Assim, para essa rede simples de dois enlaces, a vazão é $\min\{R_s, R_c\}$, ou seja, é a taxa de transmissão do **enlace de gargalo**.

Exemplo

Um arquivo de F bits do servidor ao cliente como $F / \min\{R_s, R_c\}$.

$F = 32$ milhões de bits,

$R_s = 2$ Mbits/s,

$R_c = 1$ Mbit/s.

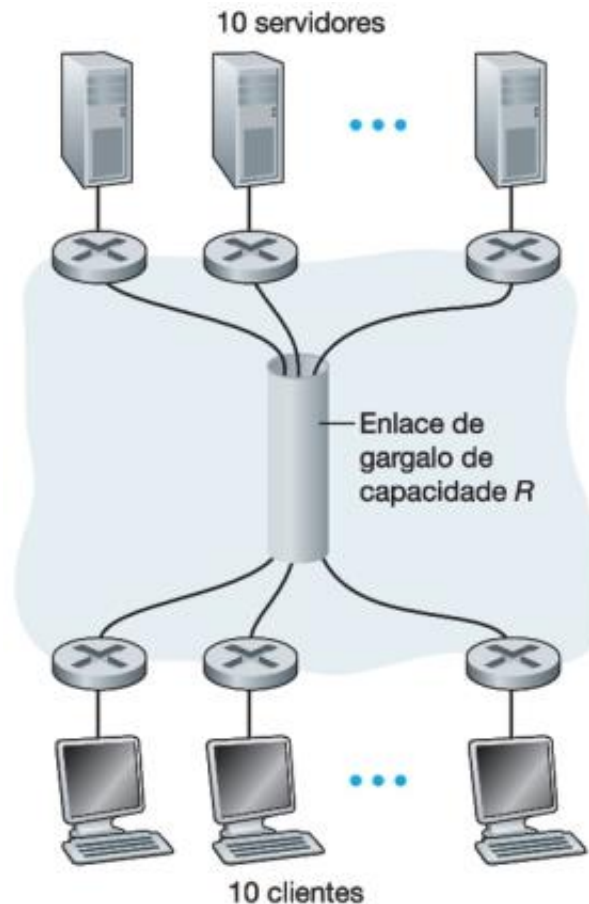
O tempo necessário para transferir o arquivo é ?



Vazão fim a fim

Cenário 2

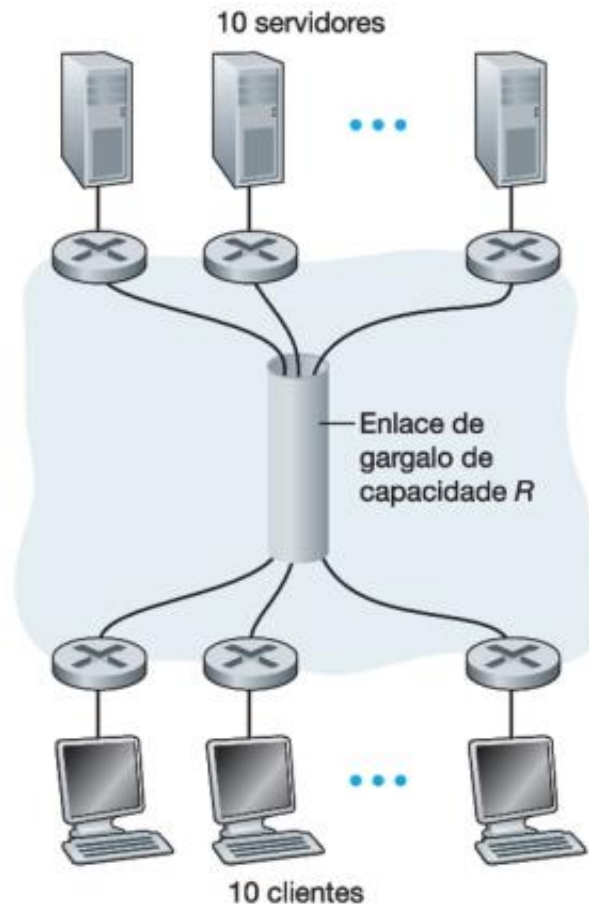
- ✓ Dez downloads simultâneos estão sendo realizados, envolvendo dez pares cliente-servidor. Suponha que esses downloads sejam o único tráfego na rede no momento.
- ✓ Há um enlace no núcleo que é atravessado por todos os dez downloads. Considere R a taxa de transmissão desse enlace.



Vazão fim a fim

Cenário 2

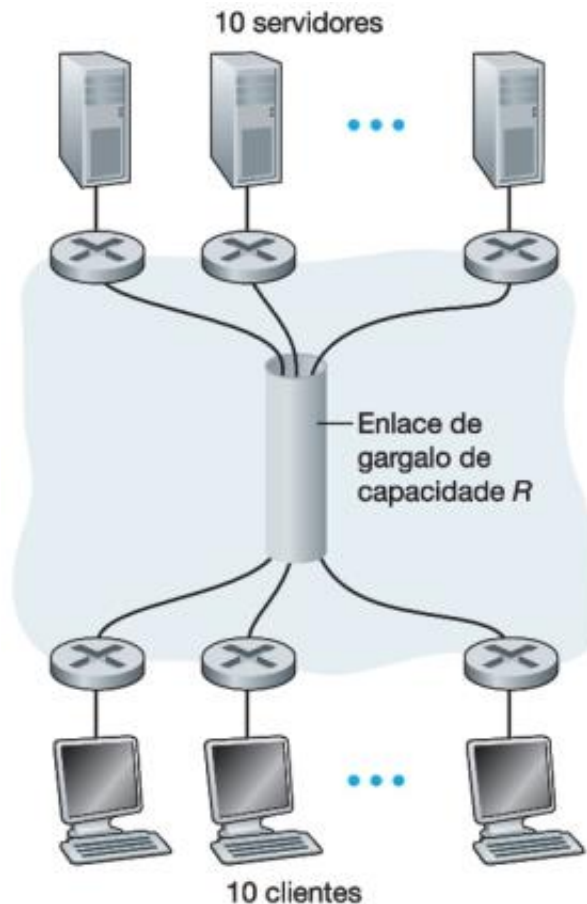
- ✓ Imagine que todos os enlaces de acesso do servidor possuem a mesma taxa R_s .
- ✓ Todos os enlaces de acesso do cliente possuem a mesma taxa R_c
- ✓ A taxa de transmissão de todos os enlaces no núcleo (com exceção de um enlace comum de taxa R) sejam muito maiores do que R_s e R_c e R .
- ✓ **Pergunta-se: Quais as vazões de downloads?**



Vazão fim a fim

Cenário 2

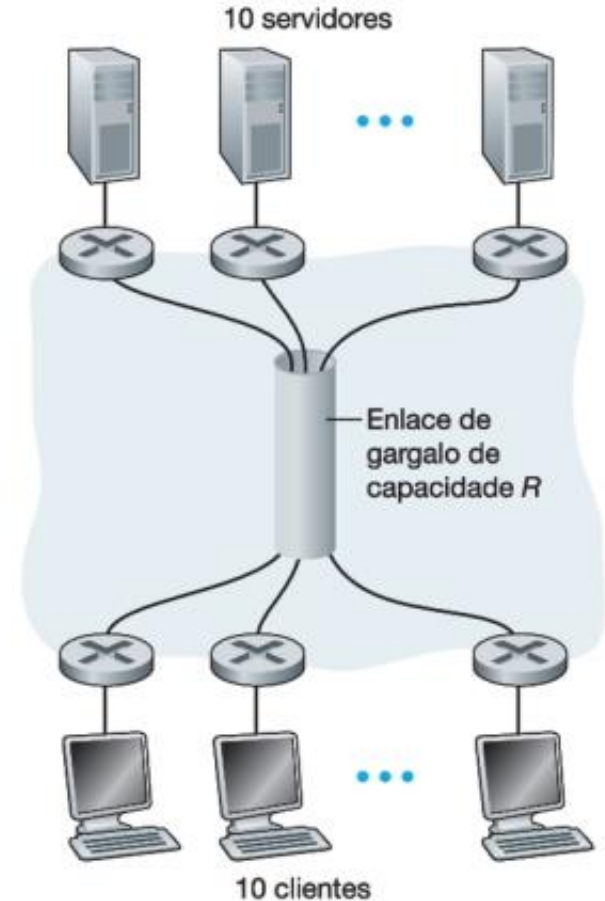
- ✓ Se a taxa do enlace comum, R , é superior a R_s e R_c , então a vazão para cada download será novamente $\min\{R_s, R_c\}$.
- ✓ Mas e se essa taxa for da mesma ordem que R_s e R_c , qual será a vazão nesse caso?
- ✓ Suponha que $R_s = 2$ Mbits/s, $R_c = 1$ Mbit/s e $R = 5$ Mbits/s, e o enlace comum divide sua taxa de transmissão por igual entre 10 downloads.



Vazão fim a fim

Cenário 2

- ✓ Então, o gargalo para cada download não se encontra mais na rede de acesso, mas é o enlace compartilhado no núcleo, que somente fornece para cada download 500 kbits/s de vazão.
- ✓ Desse modo, a vazão fim a fim é agora reduzida a 500 kbits/s por download.



- ✓ A vazão depende das taxas de transmissão dos enlaces sobre as quais os dados fluem.
- ✓ Quando não há tráfego interveniente, a vazão pode apenas ser aproximada como a taxa de transmissão mínima ao longo do caminho entre a origem e o local de destino.
- ✓ Em especial, um enlace com uma alta taxa de transmissão pode, apesar disso, ser o enlace de gargalo para uma transferência de arquivo caso muitos outros fluxos de dados estejam passando aquele enlace.

