

Aula 4 - Métricas de Desempenho, Modelos em Camadas

Diego Passos

Universidade Federal Fluminense

Redes de Computadores I

Material adaptado a partir dos slides
originais de J.F Kurose and K.W. Ross.

Revisão da Última Aula...

- **Comutação de pacotes.**

- Informação dividida em unidades chamadas pacotes.
- Cada pacote tratado isoladamente.
- Quando transmitido, pacote usa toda a capacidade do enlace.

- **Store-and-Forward.**

- Armazenar e encaminhar.
- Comutador só pode começar transmissão no próximo enlace, quando recepção estiver **completa**.
- Transmissões do pacote são sequenciais pela rota.

- **Comutação de circuitos.**

- Estabelecimento prévio de chamada.
- Recursos pré-alocados, não compartilhados.
- Possibilidade de **ociosidade**.

- **Multiplexação.**

- Dados de vários usuários “combinados” em um mesmo meio.
- FDM, TDM.

- Multiplexação estatística.

- Consequência da comutação de pacotes.
- Ordem intercalada, aleatória de pacotes.
- **Pode melhorar utilização dos recursos.**

- Enfileiramento.

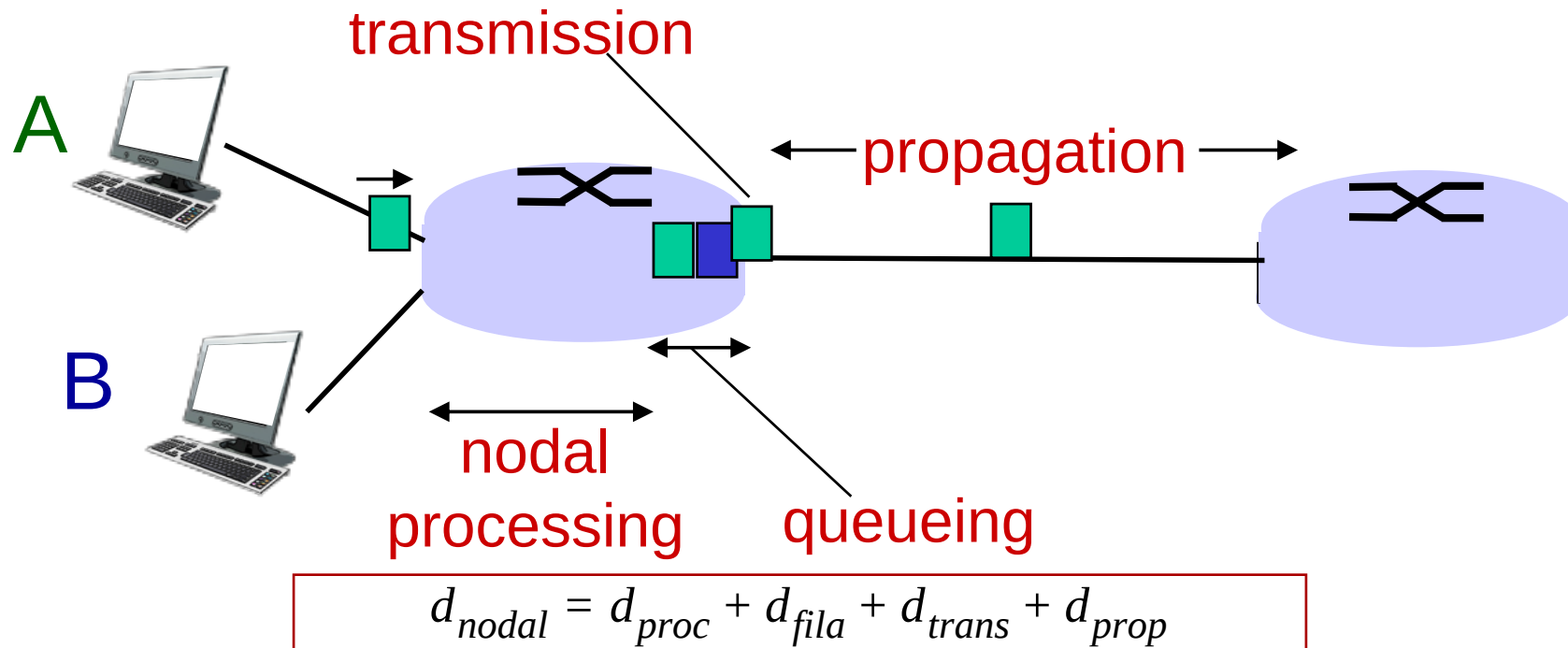
- Consequência do *store-and-forward*.
- Ocorre quando chegada supera a capacidade de saída.
- Descarte de pacotes, atrasos.

Métricas de Desempenho

Métricas de Desempenho em Redes

- Há **quatro** métricas clássicas de desempenho em redes:
 - Atraso: tempo que pacote leva para sair de um ponto do sistema até outro.
 - Perda de pacotes: fração dos pacotes transmitidos que são descartados.
 - Vazão: o quão rapidamente dados são transmitidos entre uma origem e um destino.
 - *Jitter*: variação do atraso (tópico de Redes II).
- Fim-a-fim vs. por salto:
 - Métricas podem ser definidas a cada salto/enlace.
 - Mas também podem ser calculadas considerando a comunicação fim-a-fim.
 - Desde o nó de origem até o nó de destino.

Quatro Fontes de Atraso (I)



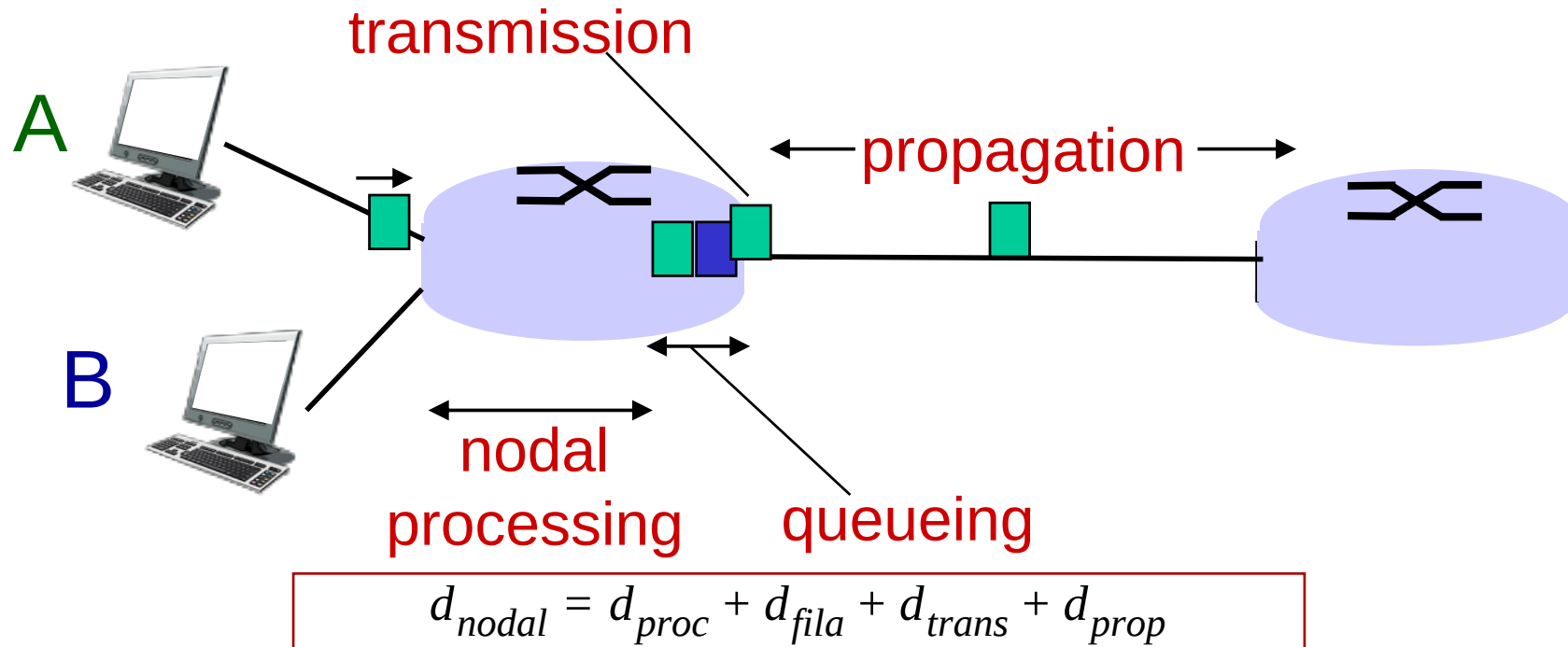
- **d_{proc} : atraso de processamento.**

- Verificar integridade.
- Determinar enlace de saída.
- ...
- Geralmente, < ms

- **d_{fila} : atraso de enfileiramento.**

- Tempo que pacote aguarda a fila para ser transmitido.
- Depende do nível de congestionamento do roteador.

Quatro Fontes de Atraso (II)



- **d_{trans} : atraso de transmissão.**

- L: comprimento do pacote (bits).
- R: capacidade do enlace (b/s).
- $d_{trans} = \frac{L}{R}$.

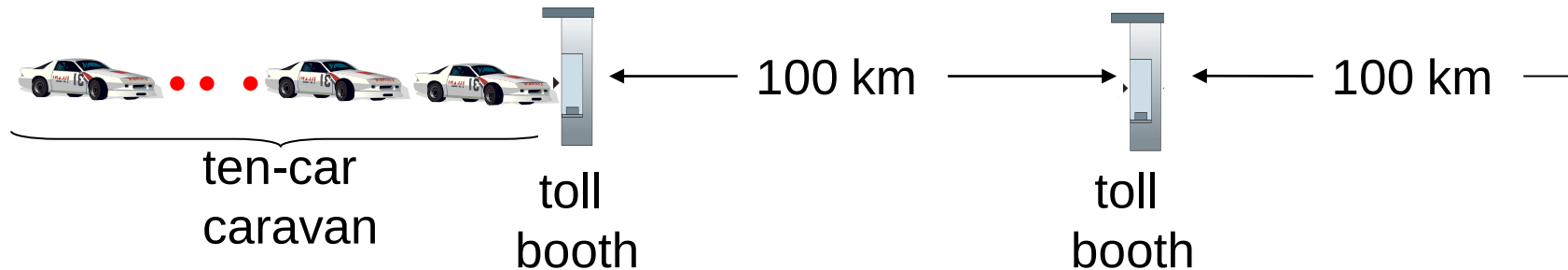
- **d_{prop} : atraso de propagação.**

- d: comprimento do meio físico.
- s: velocidade de propagação do sinal no meio.
- $d_{prop} = \frac{d}{s}$.

d_{trans} e d_{prop} são **muito diferentes!**

Atraso de Transmissão vs. Atraso de Propagação (I)

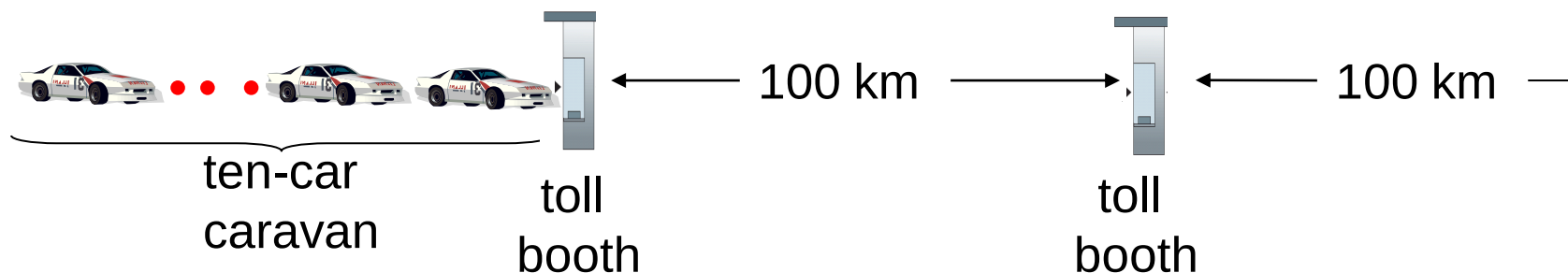
- Analogia de caravana:



- Carros “se propagam” a 100 Km/h.
- Cabine de pedágio leva 12 segundos para servir carro.
 - Tempo de “transmissão de um bit”.
 - “Taxa de transmissão”: $\frac{1}{12}$ carros/s.
- Carro ~ bit, caravana ~ pacote.
- **Pergunta: quanto tempo até a caravana estar toda enfileirada na segunda cabine?**
- Tempo para “colocar” toda a caravana na estrada = $12 \cdot 10 = 120$ segundos.
- Tempo para que o último carro se propague da primeira para a segunda cabine = $\frac{100 \text{ km}}{100 \text{ km/h}} = 1$ hora.
- **Ou 62 minutos.**

Atraso de Transmissão vs. Atraso de Propagação (II)

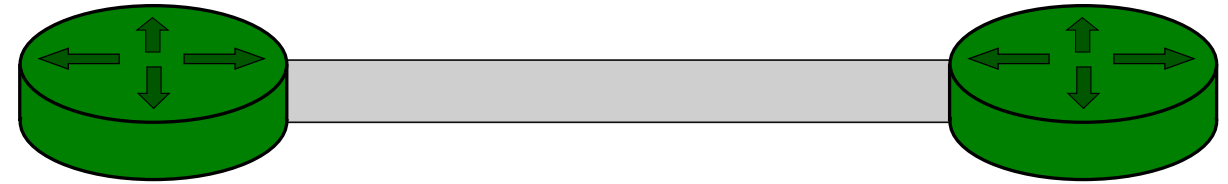
- Analogia de caravana:



- Suponha que agora carros propaguem a 1000 km/h.
- E cabines agora levam um minuto para servir cada carro.
- **Pergunta: um ou mais carros chegarão à segunda cabine antes que todos sejam servidos pela primeira?**
 - **Sim!** Depois de 7 minutos, primeiro carro chega à segunda cabine.
 - Mas três ainda serão servidos pela primeira.

Atraso de Transmissão vs. Atraso de Propagação (III)

Atraso de Propagação (ms)	<input type="text" value="200"/>
Taxa de Transmissão (kb/s)	<input type="text" value="120"/>
Tamanho do Pacote (B)	<input type="text" value="1000"/>
<input type="button" value="Transmitir"/>	

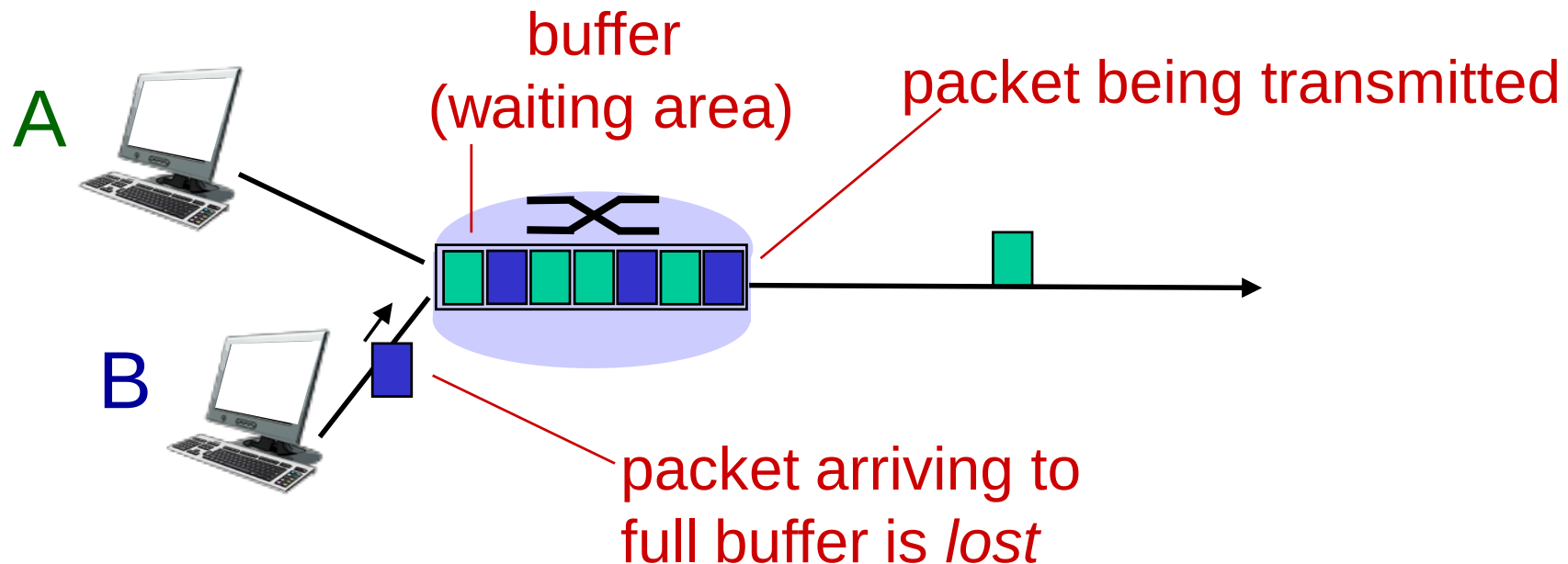


t = 0 ms

Último bit é colocado no canal em t =
Primeiro bit chega ao receptor em t =
Último bit chega ao receptor em t =

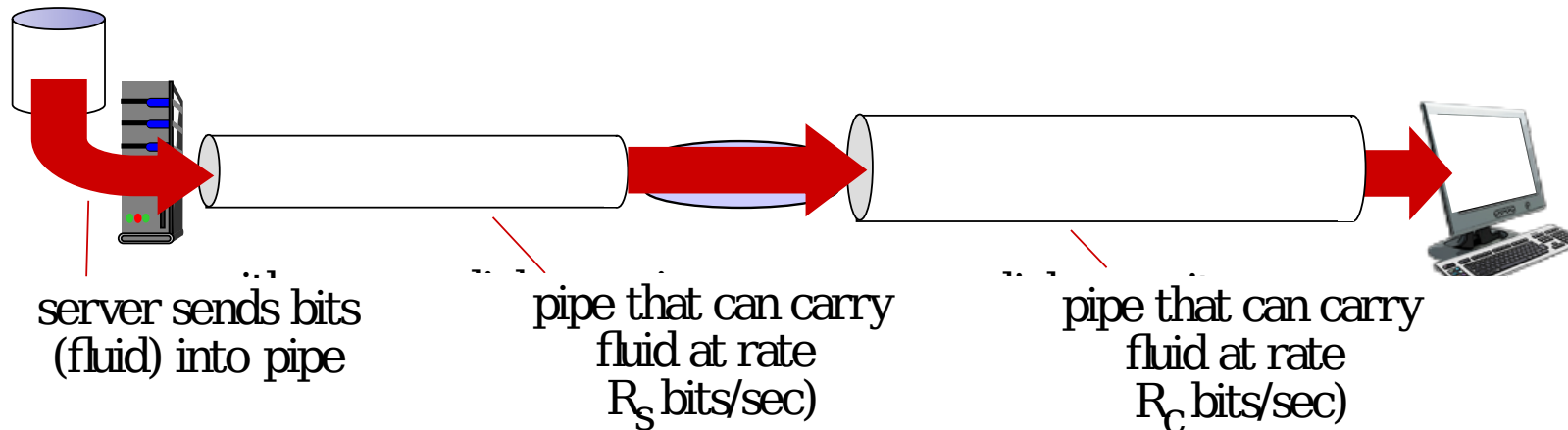
Perdas de Pacotes

- Filas (ou *buffers*) têm capacidade finita.
- Pacote que chega a um *buffer* causa descarte.
 - Do pacote recém chegado ou de outro.
 - Também conhecido como **perda**.
- Pacotes perdidos **podem** ser retransmitidos.
 - Pelo nó anterior (menos comum).
 - Pela origem (mais comum).



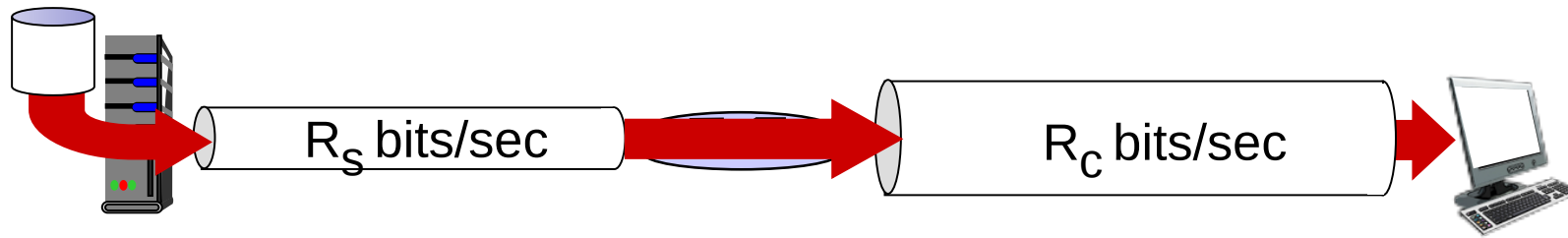
Vazão (I)

- **Vazão:** taxa (bits/unidade de tempo) na qual bits são transferidos entre origem e destino.
 - **Instantânea:** vazão em um ponto no tempo.
 - **Média:** taxa considerando um período mais longo.
- Vazão do fluxo vs. taxa de transmissão do fluxo.
 - Aplicação pode gerar pacotes a uma taxa alta e vazão ser limitada pela rede.
 - Rede pode ter capacidade alta, mas aplicação pode gerar fluxo com baixa taxa.

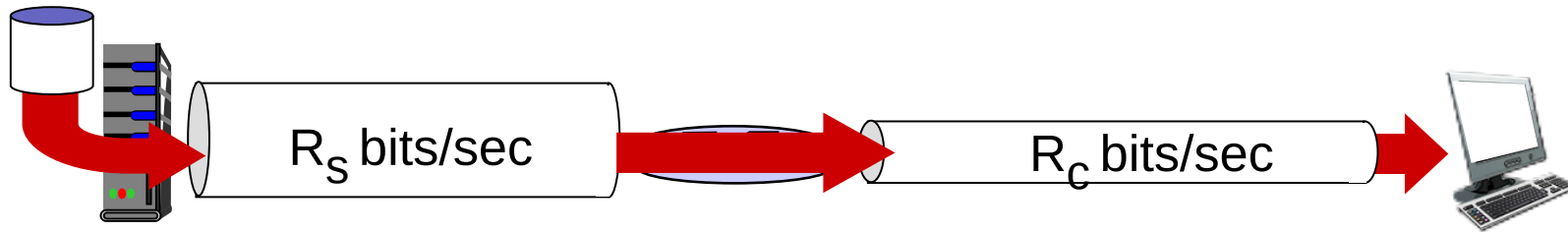


Vazão (II)

$R_s < R_c$ Qual é a vazão média fim-a-fim?



$R_s > R_c$ Qual é a vazão média fim-a-fim?



Enlace de Gargalo

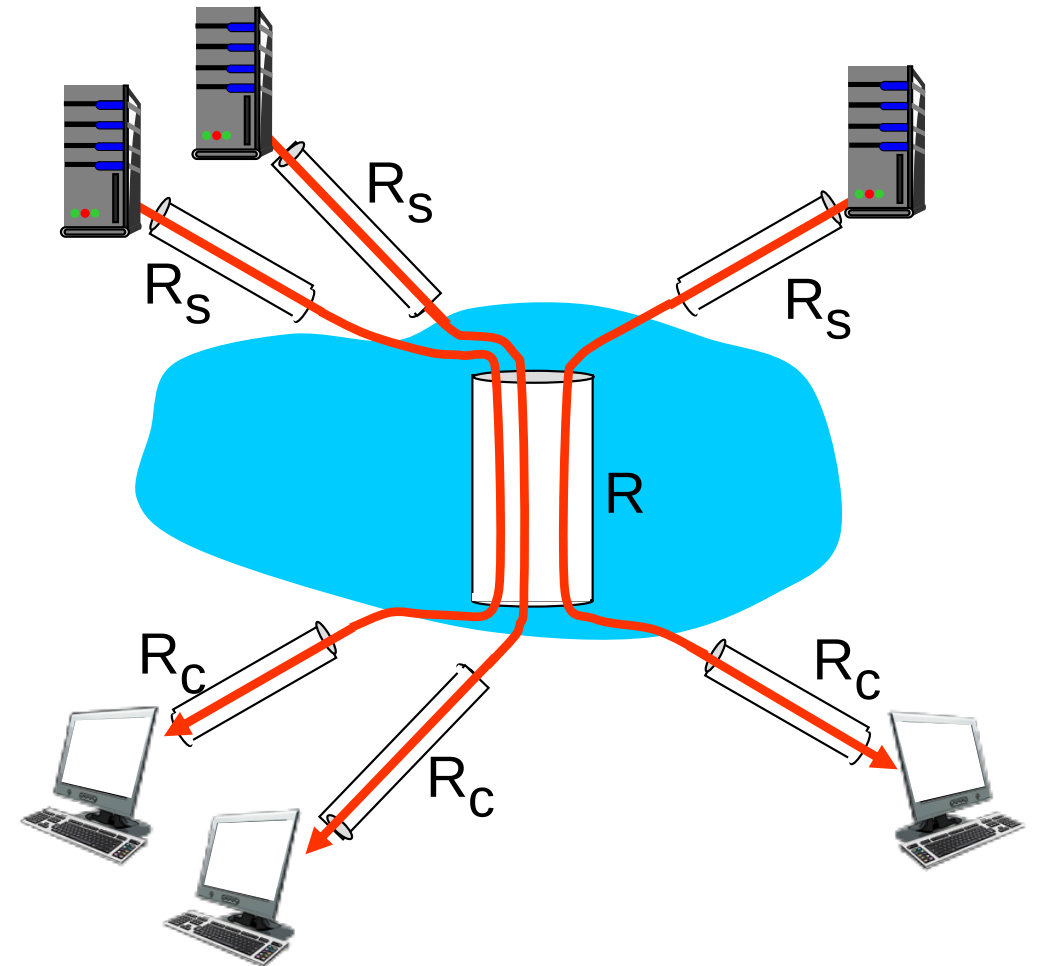
Enlace no caminho fim-a-fim que **restringe** vazão fim-a-fim.

Cenário de Vazão na Internet

- Vazão fim-a-fim por conexão:

$$\min \left(R_c, R_s, \frac{R}{10} \right)$$

- Na prática: R_c ou R_s são normalmente os gargalos.



10 conexões compartilham (de forma justa) o enlace de gargalo no backbone

Modelos em Camadas

“Camadas” de Protocolos

- **Redes são sistemas complexos, com várias “partes”.**

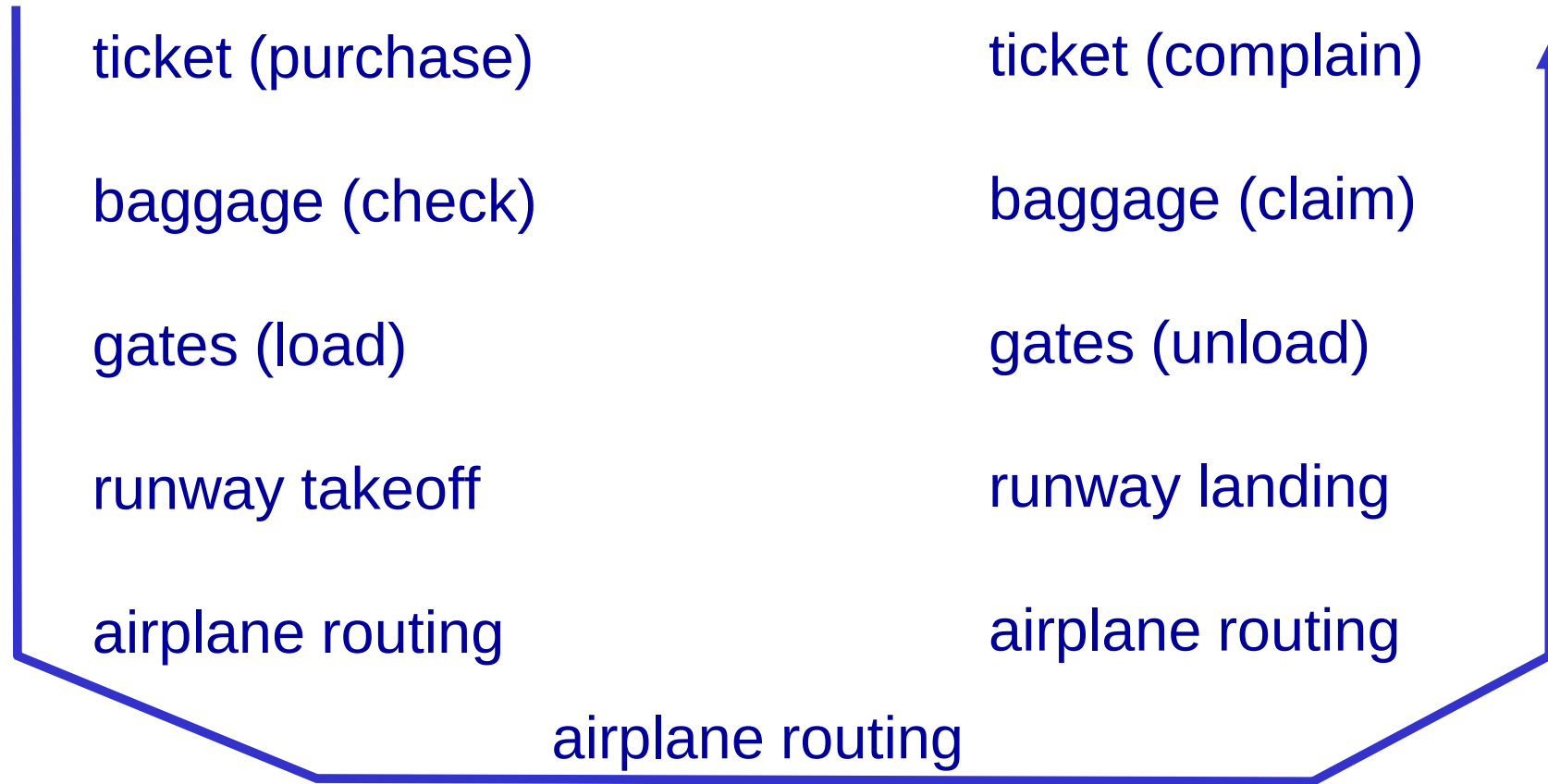
- Hosts.
- Roteadores.
- Enlaces (de vários tipos).
- Aplicações.
- Protocolos.
- *Hardware, software.*

Pergunta

Alguma chance de organizar a estrutura da rede?

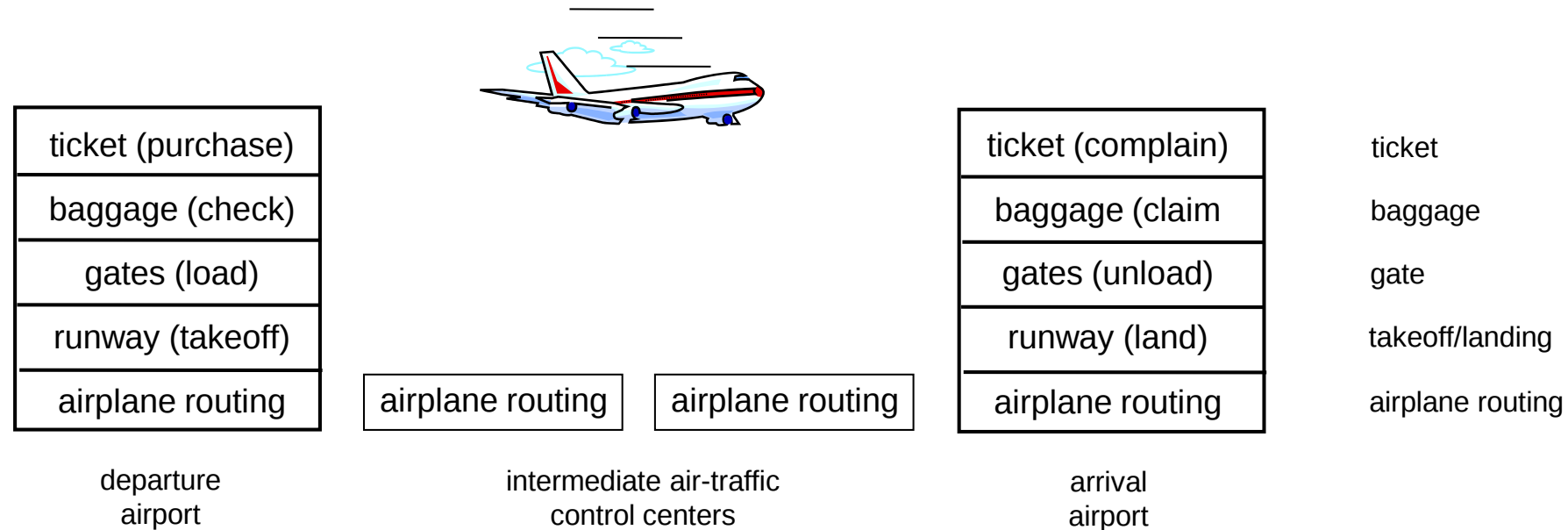
... ou ao menos nossa discussão sobre redes?

Analogia: Organização de uma Viagem Aérea (I)



- Uma série de passos envolvidos.

Organizando Funcionalidades da Cia. Aérea em Camadas



- **Camadas:** cada camada implementa um serviço.
 - Através de ações internas da própria camada.
 - Dependendo de serviços providos pela camada abaixo.

Por Que uma Organização em Camadas?

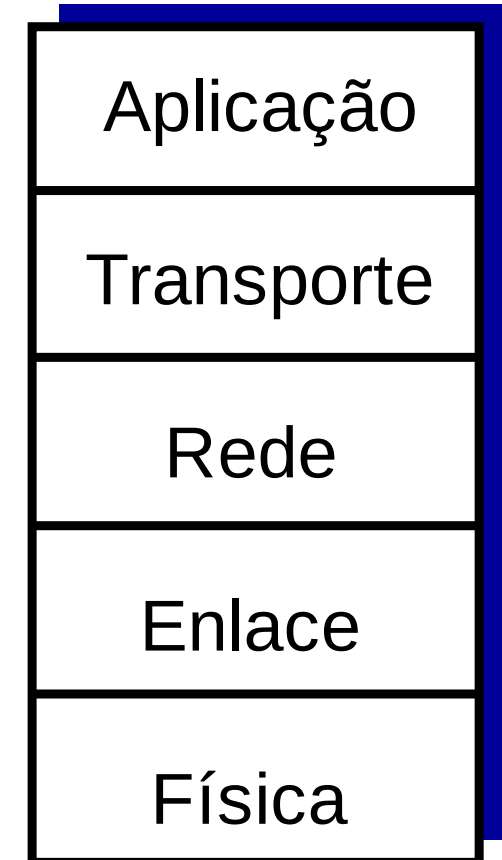
- Lidar com sistemas complexos:
 - Estrutura explícita permite identificar relações entre os pedaços do sistema.
 - **Modelo de referência** em camadas para discussão.
 - Modularização facilita a manutenção, atualização do sistema.
 - Alterar a implementação de uma camada é transparente para o resto do sistema.
 - *e.g.*, mudança no processo de embarque não afeta o resto do sistema da cia. aérea.
- “Layering considered harmful”?

Pilha de Protocolos da Internet (I)

- Ou suíte de protocolos da Internet.
- Ou modelo TCP/IP.
- Define organização dos vários protocolos usados na Internet em camadas.
- Define **responsabilidades, serviços** de cada camada.
- Dividida em 4 ou 5 camadas, dependendo do autor.
 - Nomes das camadas também podem variar.
 - Nesta disciplina, **seguiremos o modelo do livro-texto**.

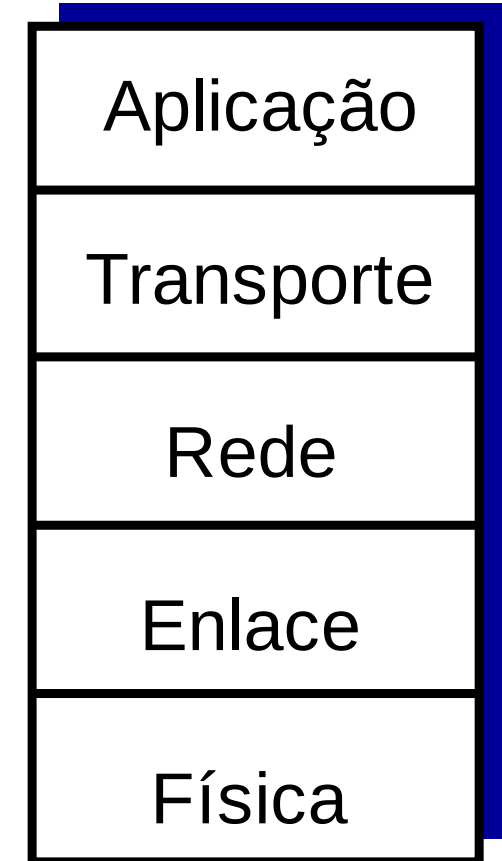
Pilha de Protocolos da Internet (II)

- **Aplicação:** suporte à aplicações de rede.
 - Definem formato, ordem, semântica das mensagens trocadas pelas aplicações.
 - Exemplo da web:
 - Cliente (*browser*) gera mensagem de requisição de conteúdo.
 - Servidor envia mensagem de resposta.
 - Cada mensagem tem seus campos específicos (próximo capítulo).
 - Exemplos de protocolos:
 - HTTP, FTP, SMTP, ...



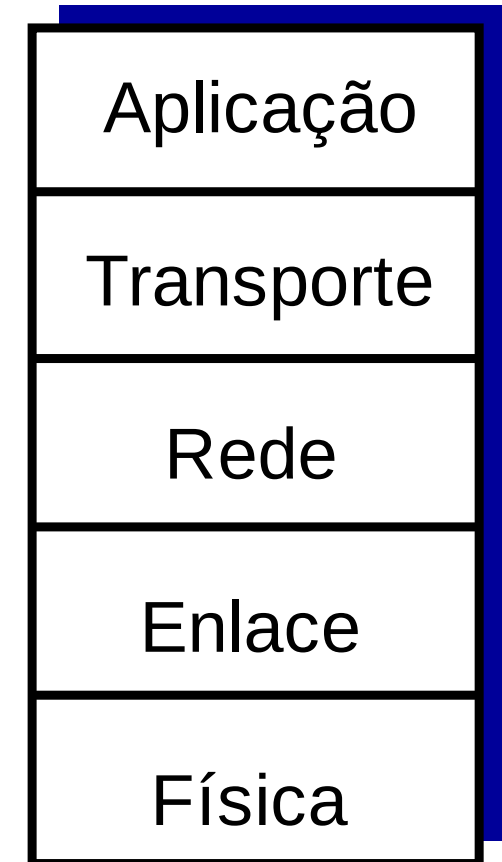
Pilha de Protocolos da Internet (III)

- **Transporte:** comunicação entre processos em computadores (potencialmente) diferentes.
 - Transfere dados de um processo para o outro.
 - Potencialmente, em computadores diferentes.
 - Dois exemplos clássicos de protocolos:
 - UDP e TCP.
 - Protocolos diferentes proveem **modelos de serviço diferentes**.
 - TCP provê garantias mais fortes.
 - **Responde a pergunta: para qual processo devemos enviar o conteúdo de um pacote que chegou a este host?**



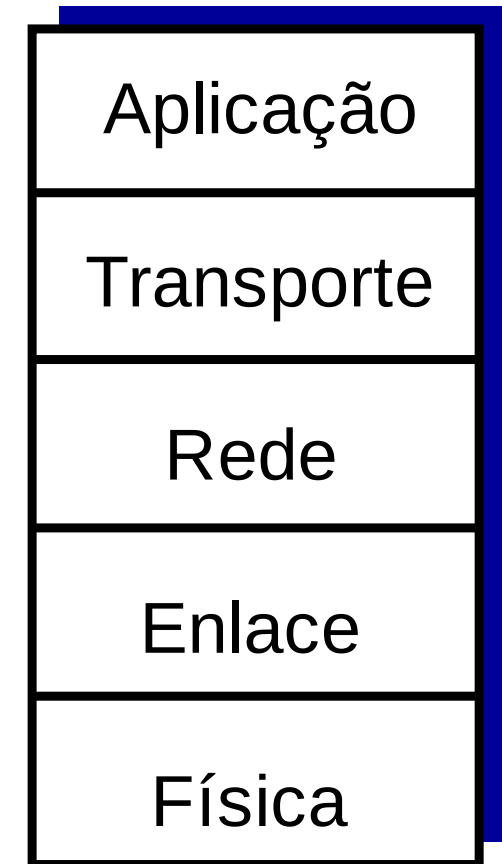
Pilha de Protocolos da Internet (IV)

- **Rede:** comunicação entre *hosts*.
 - Transfere dados de um *host* para outro.
 - Diferença (aparentemente) sutil em relação à camada de transporte.
 - Aquela comunicava processos específicos, diferenciando-os.
 - Esta comunica *hosts* indiscriminadamente.
 - Provê o serviço de roteamento dos pacotes.
 - Entre outros.
 - **Responde a pergunta: por qual caminho devemos enviar este pacote para que chegue ao *host* de destino?**



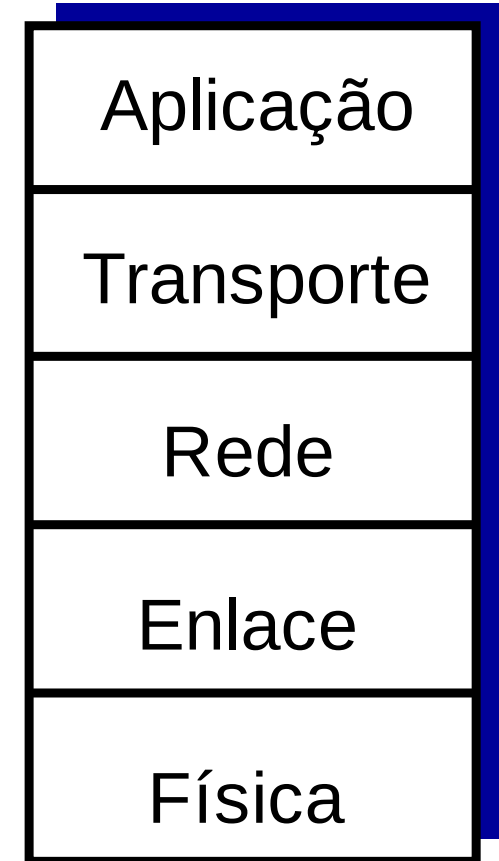
Pilha de Protocolos da Internet (V)

- **Enlace:** comunicação nós (hosts, comutadores) diretamente conectados por um enlace.
 - i.e., nós “vizinhos”.
 - Diferente da camada de rede, preocupação apenas com **próximo salto**.
 - Aspectos relacionados à transmissão do pacote pelo enlace.
 - Exemplo de serviço: integridade.
 - Em enlaces susceptíveis a falhas, verifica se houve bits errados na recepção pelo enlace.
 - **Responde a pergunta: como envio o pacote para o próximo dispositivo no caminho?**



Pilha de Protocolos da Internet (VI)

- **Física:** representação do pacote no meio físico de transmissão.
 - Traduz bits para sinais.
 - Pulsos elétricos, ondas acústicas, pulsos de luz, ...
 - Se preocupa com a forma mais eficiente de representação.
 - *e.g.*, como transmitir mais bits em menos tempo no canal?
 - *e.g.*, como minimizar os erros na transmissão?



Pilha de Protocolos: Uma Visão Bottom-Up

- Cada camada assume que camadas inferiores resolvem “uma parte do problema”.
 - Sobre a solução existente, são adicionadas novas funcionalidades.
- Exemplo (simplificado):
 - Camada de enlace assume que sabemos enviar bits por um enlace.
 - Preocupa-se em verificar se bits chegaram corretos.
 - Camada de rede assume que sabemos enviar pacote entre nós diretamente conectados.
 - Preocupa-se em encontrar e usar caminhos de múltiplos saltos entre origem e destino.
 - Camada de transporte assume que sabemos enviar pacote entre origem e destino.
 - Preocupa-se em separar pacotes que chegam entre os vários processos do *host*.
 - Camada de aplicação assume que sabemos enviar pacotes entre processos em computadores diferentes.
 - Preocupa-se em gerar mensagens que permitam o funcionamento da **aplicação distribuída**.

Pilha de Protocolos: Uma Visão Top-Down (I)

- Estratégia utilizada pelo livro-texto.
- Estudar as redes de computadores (Internet, em particular) percorrendo camadas de cima para baixo.
 - Aplicação — Capítulo 2.
 - Transporte — Capítulo 3.
 - Rede — Capítulo 4.
 - Enlace — Capítulo 5.
- No restante desta disciplina, estudaremos as várias camadas da pilha TCP/IP.

Pilha de Protocolos: Uma Visão Top-Down (II)

- Estratégia utilizada pelo livro-texto.
- Estudar as redes de computadores (Internet, em particular) percorrendo camadas de cima para baixo.
 - **Aplicação — Capítulo 2.**
 - **Transporte — Capítulo 3.**
 - **Rede — Capítulo 4.**
 - Enlace — Capítulo 5.
- No restante desta disciplina, estudaremos as várias camadas da pilha TCP/IP.
 - Aplicação, Rede e Transporte em Redes I (camadas 5, 4 e 3).
 - Camada de enlace (e outros tópicos) em Redes II.

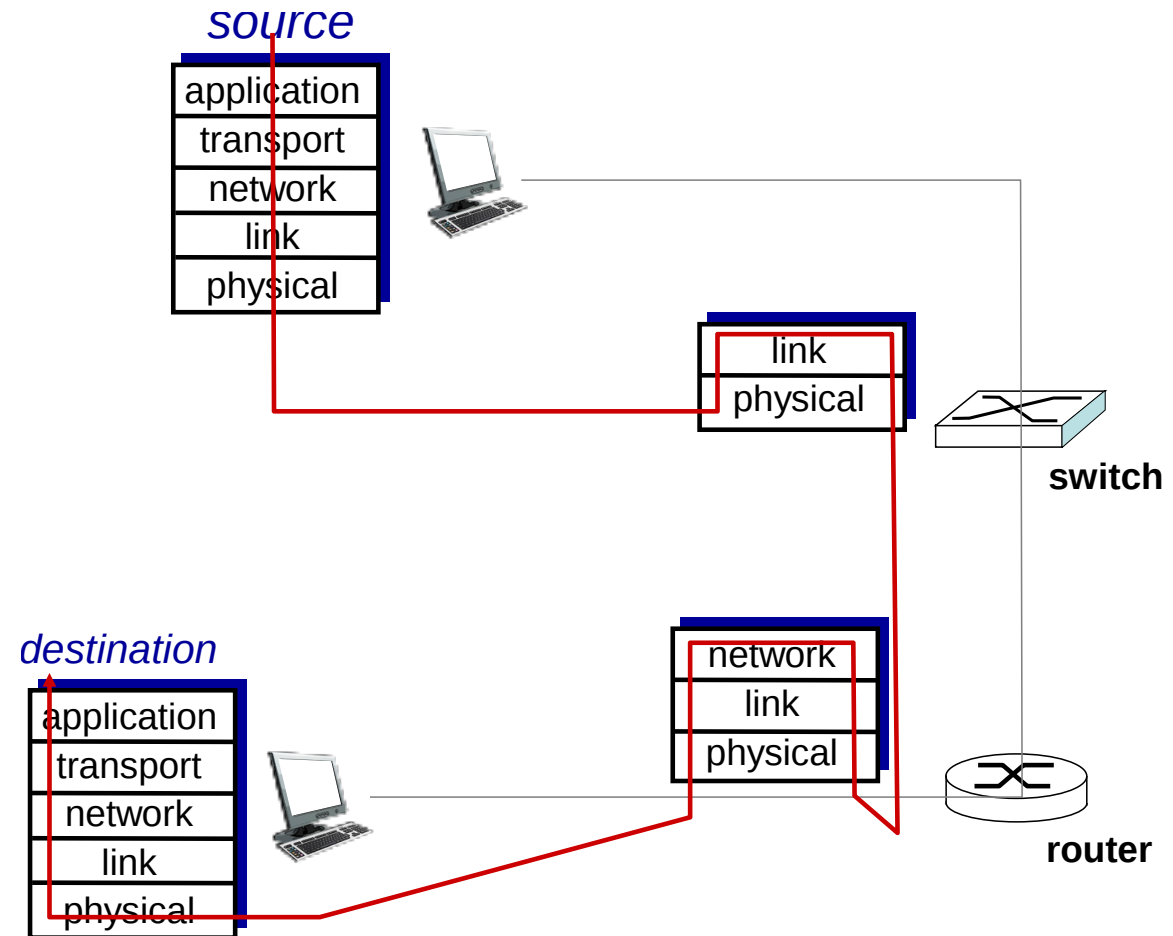
O Modelo de Referência ISO/OSI

- Modelo TCP/IP não é o único, absoluto.
- Uma alternativa: modelo OSI.
 - Sete camadas, ao invés de 5/4.
 - **Apresentação**: “traduz” formato dos dados entre a aplicação e a rede.
 - e.g., criptografia, compressão, *endianess*.
 - **Sessão**: provê funcionalidades como sincronização, *checkpoints*, recuperação de dados.
- Como a Internet lida com a ausência destas camadas?
 - Funcionalidades implementadas na aplicação, **se necessárias**.
 - São necessárias?



Inteligência nas Bordas e Camadas

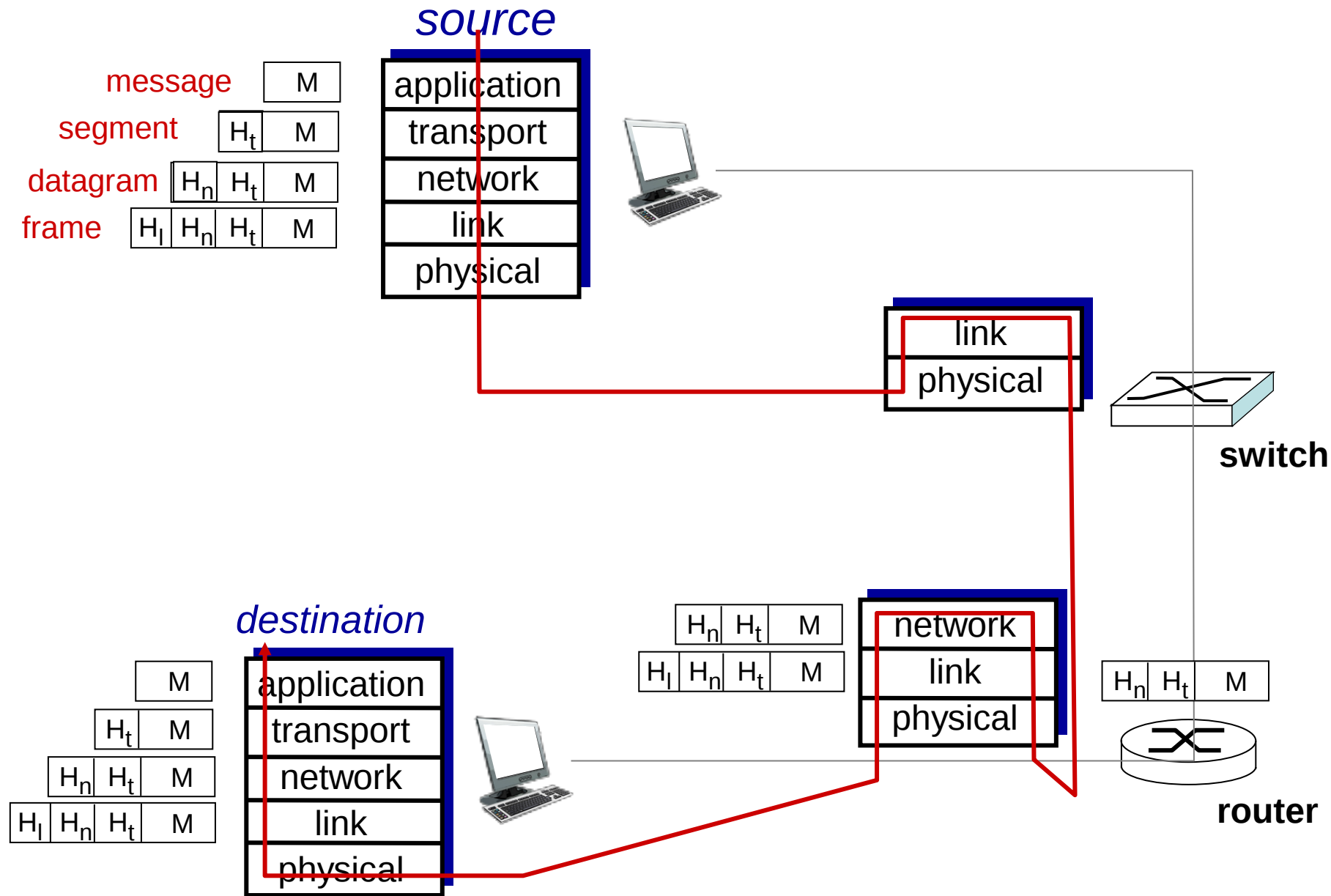
- Lembrando: na Internet, procura-se manter a inteligência nas bordas.
 - *i.e.*, na medida do possível, funcionalidades são mantidas nas bordas, e não no núcleo.
 - Argumento fim-a-fim.
- Isto se manifesta (idealmente) na organização em camadas.
 - Hosts implementam todas as camadas.
 - Comutadores implementam apenas as 2 ou 3 mais baixas.
 - Switches até a camada 2.
 - Roteadores até a camada 3.



Encapsulamento e Cabeçalhos (I)

- Pacotes são gerados (normalmente) na aplicação e descem pelas demais camadas.
- Cada nova camada pode precisar adicionar informações ao pacote para cumprir suas responsabilidades.
 - e.g., camada de transporte adiciona um identificador ao pacote para que receptor saiba para qual processo este é destinado.
- Informações adicionais são colocadas em posições bem definidas do pacote.
 - Em **cabeçalhos**.
- Cada camada pode adicionar (e geralmente adiciona) seu cabeçalho à mensagem.
 - Com suas informações relevantes.

Encapsulamento e Cabeçalhos (II)



Segurança

Segurança em Redes

- **Campo que estuda:**

- Como atacantes podem gerar problemas para a rede/computadores.
- Como podemos nos defender destes ataques.
- Como projetar a arquiteturas de redes imunes a ataques.

- Internet **não foi** originalmente pensada com (muita) segurança em mente.

- Visão original: “grupo de usuários que confiam uns nos outros conectados a uma rede transparente”.
- Projetistas de protocolos da Internet estão sempre “correndo atrás”.
- Considerações de segurança aparecem em todas as camadas!

Atacantes: Inserção de *malware* nos hosts via Internet

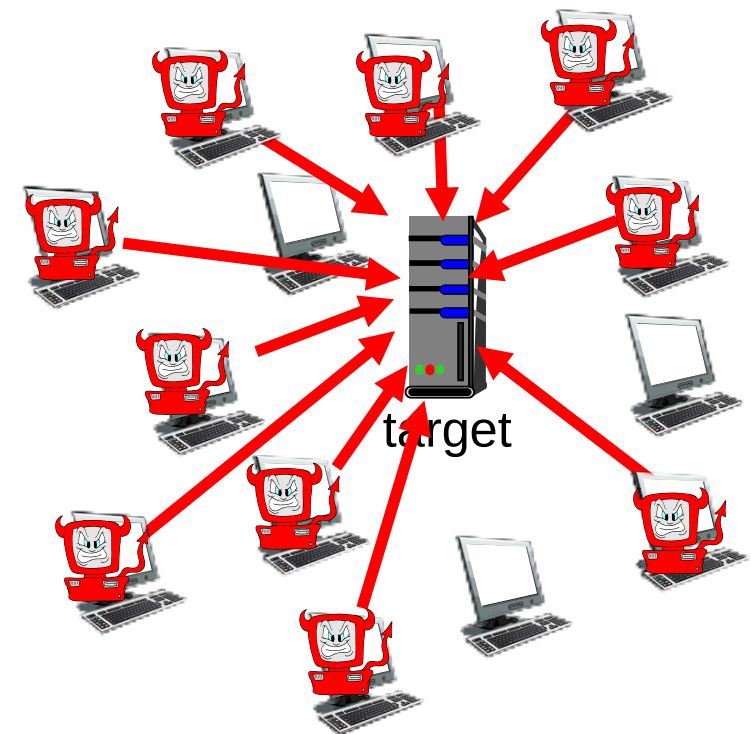
- *Malware* pode infectar um *host* de algumas formas.
 - **Vírus**: *software* que se auto-replica através da recepção/execução de objetos pela rede (e.g., anexo em e-mail).
 - **Worm**: *software* que se auto-replica através do recebimento/execução **passivos** (e.g., automáticos) de um objeto.
- Um *malware* do tipo **spyware** pode gravar ações do usuário (e.g., teclas pressionadas, páginas visitadas) e enviar para servidor do atacante.
- Host infectado pode ser controlado como parte de uma **botnet**.

Ataques a Servidores, Infraestrutura de Rede

- **Ataque de Negação de Serviço:**

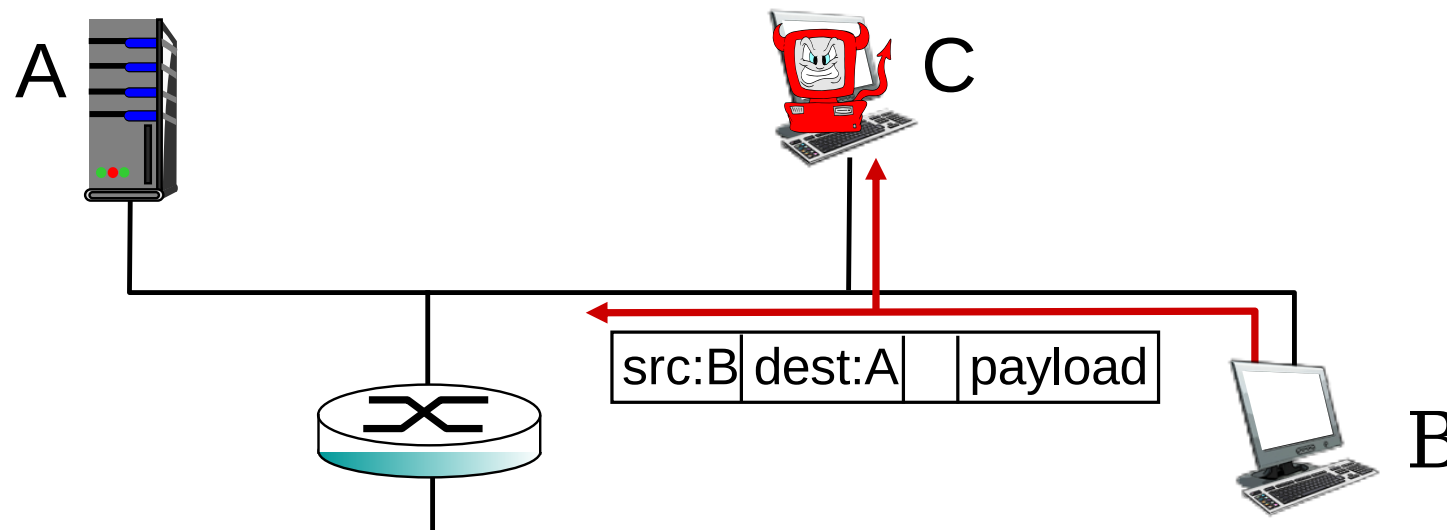
- Denial of Service (DoS).
- Atacante faz com que recurso (servidor, banda) fique indisponível para os usuários legítimos.
- Normalmente, se baseia na geração de tráfego artificial em grandes volumes, ocupando os recursos.

1. Selecionar o alvo.
2. Comprometer *hosts* pela rede (i.e., criar uma botnet).
3. Enviar pacotes para o alvo a partir dos *hosts* comprometidos.
 - Mais de um *host* → DDoS.



Sniffing de Pacotes

- Normalmente, interfaces só passam para as camadas superiores quadros destinados ao próprio dispositivo.
- Mas, fisicamente, interface muitas vezes recebe quadros para outros nós.
 - e.g., enlaces compartilhados.
- Softwares especiais podem capturar e exibir estes pacotes.
 - Sniffers de pacotes, como o Wireshark.



- Também utilizados para fins legítimos!

Histórico

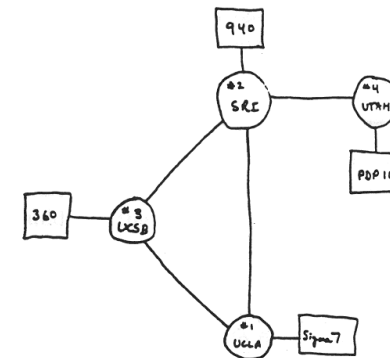
História da Internet (I)

1961 a 1972

Estabelecimento dos princípios da comutação de pacotes

- **1961:** Kleinrock mostra através de teoria das filas a efetividade da comutação de pacotes.
- **1964:** Comutação de pacotes é aplicada a redes militares.
- **1967:** Concepção da ARPAnet pela ARPA.
- **1969:** primeiro nó operacional da ARPAnet.

- **1972:**
 - Primeira demonstração pública da ARPAnet.
 - NCP (Network Control Protocol).
 - Primeiro programa de e-mail.
 - ARPAnet chega a 15 nós.



THE ARPA NETWORK

História da Internet (II)

1972 a 1980

Intercomunicação entre redes, redes novas e proprietárias

- **1970:** ALOHAnet no Havaii.
- **1974:** Cerf e Kahn definem arquitetura para intercomunicação de redes.
- **1976:** Ethernet é criado na Xerox PARC.
- **Final de 1970:** Arquiteturas proprietárias (DECnet, SNA, XNA).
- **Final de 1970:** Comutação de pacotes de comprimento fixo (precursor do ATM).
- **1979:** ARPAnet com 200 nós.

Princípios de intercomunicação de redes segundo Cerf e Kahn:

- Minimalismo, autonomia: evitar mudanças nas redes interconectadas.
- Modelo de serviço de **melhor esforço**.
- Roteadores **stateless**.
- Controle descentralizado.

Definem a arquitetura da Internet atual

História da Internet (III)

1980 a 1990

Novos protocolos, proliferação de redes

- **1983:** Implantação do TCP/IP.
- **1982:** Protocolo de e-mail SMTP definido.
- **1983:** Protocolo DNS é definido para tradução de nomes.
- **1985:** Protocolo FTP é definido.
- Novas redes nacionais surgem nos EUA: Csnet, BITnet, NSFnet, Minitel.
- 100000 hosts conectados a confederação de redes.

História da Internet (IV)

1990 a 2005

Comercialização, a web, novas aplicações

- **Início de 1990:** ARPAnet é desativada.
- **1991:** NSF retira restrições de uso comercial da NSFnet.
- **Início de 1990:** Surgimento da Web.
 - Hipertexto.
 - HTML e HTTP: Berners-Lee.
 - 1994: Mosaic, mais tarde Netscape.
 - Fim da década 1990: comercialização da web.
- **Fim de 1990 a meados de 2000:**
 - Mais aplicações populares: mensagens instantâneas, transferência de arquivos via P2P.
 - Foco maior em segurança.
 - Estimativas de 50 milhões de *hosts*, mais de 100 milhões de usuários.
 - *Links de backbone* a Gb/s.

História da Internet (V)

2005 – presente

Expansão, aumento de escala, multimídia, dispositivos móveis.

- Aproximadamente 900 milhões de *hosts* (2012).
 - *Tablets, smartphones, ...*
 - Implantação agressiva de acesso banda larga.
 - Acesso à Internet sem fio se tornando ubíquo.
 - Surgimento das redes sociais.
 - Facebook: 1,65 bilhões de usuários (2016).
 - Servidores de conteúdo criam suas próprias redes.
 - “Evitam” Internet pública, entregam conteúdo de forma “instantânea”: buscas, e-mail, vídeos.
 - Empresas, universidades, comércio eletrônico rodando seus serviços na “nuvem” (e.g., EC2 da Amazon).

Resumo da Aula...

- Medidas de desempenho em redes:
 - Perda de pacotes.
 - Atraso.
 - Vazão.
- Perda de pacotes ocorre por:
 - Erros na transmissão por enlaces (menos comum na Internet).
 - **Descartes por buffers cheios** (mais comum).
- Atraso é acumulado a cada salto:
 - Processamento.
 - Enfileiramento.
 - Transmissão.
 - Propagação.
- Vazão é diferente da taxa de transmissão do fluxo.
 - Depende da capacidade da rede.
 - Limitada pelo **enlace de gargalo**.
 - Também afetada por competição entre fluxos.
- Pilha de Protocolos TCP/IP.
 - Modelo em camadas.
 - Organiza protocolos na Internet.
 - Define **responsabilidades**.
 - Alternativa: modelo OSI.
 - **Encapsulamento**: camadas/protocolos adicionam cabeçalhos.
- Segurança:
 - Ataque de negação de serviço.
- Modelo de serviço de **melhor esforço**.

Conceitos Importantes do Capítulo 1

- Hosts, sistemas finais, comutadores, enlaces.
- ISPs.
- Núcleo vs. borda da rede.
- Protocolos.
- Taxa de transmissão/capacidade de um enlace.
- Descarte de pacotes.
- Atraso, perda, vazão.
- Inteligência nas bordas, argumento fim-a-fim, KISS.
- Comutação de pacotes vs. comutação de circuitos.
- *Store-and-forward*.
- Multiplexação estatística.
- Enfileiramento.
- Melhor esforço.
- Pilha de protocolos TCP/IP.
- Encapsulamento.
- Cabeçalhos.

Próxima Aula...

- Começamos um novo capítulo: Camada de Aplicação.
 - Conceitos básicos de aplicações distribuídas.
 - Arquiteturas (Cliente-Servidor *vs.* P2P).
 - Serviços da camada de aplicação.
 - Início da discussão sobre o protocolo HTTP.