

# Fundamentos de Redes de Computadores

Tiago Alves

Faculdade UnB Gama  
Universidade de Brasília

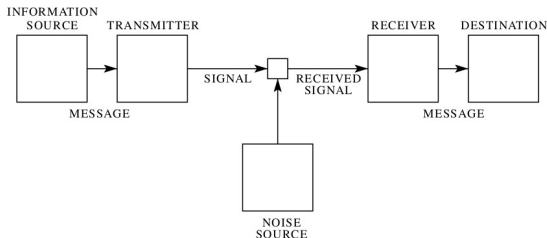


## Problema Fundamental da Comunicação

- Reproduzir em um ponto **exatamente** ou **aproximadamente** uma mensagem “selecionada” em outro ponto.
- Em geral, espera-se que mensagens possuam **um significado**. **Porém**, os aspectos semânticos da comunicação não serão estudados nessa disciplina.

## Premissas

- Uma mensagem é selecionada a partir de um **conjunto** de mensagens possíveis.
- Sistema de comunicações deve ser projetado para operar independentemente da mensagem escolhida.



## O que é informação?

- Na comunicação, uma mensagem é selecionada de um conjunto de mensagens possíveis.
- O processo escolha de uma mensagem dentre as possíveis vincula “informação” à escolha. Mas, como medir a quantidade de informação?
  - Se o conjunto de mensagens possíveis é grande, adivinhar qual foi a mensagem escolhida é difícil. Muita informação.
  - Se o conjunto de mensagens possíveis é pequeno, o processo de tentativa e erro para adivinhar a mensagem escolhida é mais simples. Pouca informação.
  - A vida real é um pouco mais refinada: a escolha de algumas mensagens são mais prováveis que outras, por exemplo. Não seria conveniente derivar a informação de uma média? (Estatística)



## Definição matemática de informação

- Se o número de elementos do conjunto é finito, esse número (cardinalidade do conjunto) ou qualquer função monotônica desse número pode ser considerada como uma medida de **informação** quando da escolha de uma mensagem do conjunto
  - Considere que as mensagens sejam **equiprovavelmente** escolhidas.
- Uma função monotônica é muito conveniente para operar a cardinalidade. A escolha de vez: **logaritmo**.
- $1 \text{ bit} \iff 1 \text{ dígito binário} \iff \text{“desconhecimento” relativo a um estado dentre 2 estados possíveis} \iff \log_2$ .



## Internet: o que é?

- *Dada a complexidade da Internet, é possível entender como ela funciona?*
- Há algum conjunto de princípios e estruturas fundamentais que proporcionem subsídios para a compreensão de um sistema como a Internet?
- As respostas para as perguntas anteriores é: **SIM!**



# O que é a Internet?

## Definição

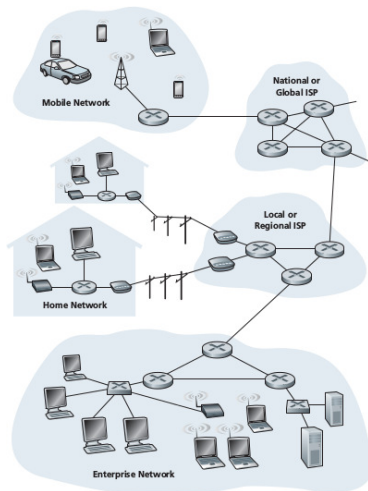
Rede de computadores que conecta centenas de milhões de dispositivos computacionais através do mundo:

- PC, servidores;
- laptops, smartphones, tablets, TVs, consoles, Web cams, automóveis, sensores, dispositivos de segurança doméstica.

Dizer que é Internet uma rede de computadores parece não ser mais adequado: é mais adequado se referir a *hosts* ou *end systems*.



# O que é Internet?



Key:



## Definição

Conjunto de enlaces de comunicações (links) e comutadores de pacotes (packet switches).

- Meios físicos: cabos coaxiais, fios de cobre, fibra óptica e “espectro eletromagnético”.
- Provêm diferentes capacidades: bits/segundos.

## Tratamento de pacote: rede comutada a pacotes

- 1 Emissor segmenta os dados e adiciona cabeçalhos a cada segmento.
- 2 Pacotes formados dessa forma são encaminhados pela rede ao destino.
- 3 Destino reagrupa os segmentos para remontar o dado originalmente enviado.





## Definição

Elemento que permite a interligação de diferentes enlaces.

Coleta um pacote que chega através de um de seus enlaces e encaminha para o enlace de destino.

Tipos:

- **roteadores:** compõem o núcleo da rede;
- **switches:** provêem redes de acesso.

Denomina-se o caminho percorrido por um pacote por **rota** ou **caminho**.



## Exemplo

Rede de pacotes como um sistema de movimentação de um grande volume de suprimentos entre uma fábrica e um depósito afastado.



## Definição

Provedor de Internet: provêem acesso de end systems à rede interconectada.

- Tipos: residenciais, corporativos, universidades, ISP/HotSpots etc.
- Cada ISP é, por sua vez, uma rede de comutação de pacotes e enlaces de comunicações.
- ISP provê acesso a provedores de conteúdo, conectando esses sites à Internet (sim, alguém tem de ligá-los à Internet).



## Interoperabilidade e pervasividade (ubiquidade)

- Protocolos para controle, envio e recepção de informação pela Internet: TCP e IP são os mais importantes.
- IP: especifica o formato em que os pacotes são enviados e recebidos entre roteadores e end systems.
- É costume se referir ao conjunto de protocolos que dão suporte à Internet de protocolos TCP/IP.

## Padrões de Internet

- IETF, RFCs: TCP, IP, HTTP, SMTP, SSH, ...
- IEEE: 802 LAN/MAN: Ethernet e WiFi, ...



## Visão pela perspectiva de Serviços

Internet como infraestrutura que provê serviços a aplicações

- Electronic mail, Web surfing, social networks, instant messaging, Voice-over-IP (VoIP), video streaming, distributed games, peer-to-peer (P2P) file sharing, television over the Internet, remote login, ...
- Aplicações distribuídas: muitos end systems e trocam dados entre si.
- A infraestrutura de rede comutada por pacotes viabiliza os serviços, mas não se preocupa com o que é feito com os dados.

## Aplicações

- Programadas nos end systems: Java, C, Python ...
- APIs: interface definida e cristalizada. Liberdade de implementação.
- Analogia do envio de uma carta: SEDEX

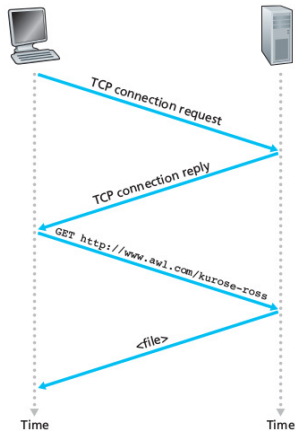
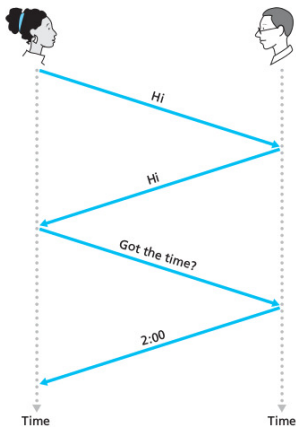


O que é um protocolo?

Analogia humana: que horas são?

As partes devem concordar em um **protocolo**: pilar da interoperabilidade!





- Entidades (hardwares/softwarewares) trocam mensagens e realizam ações (reagem!) decorrentes das mensagens trocadas.
- Todas as atividades na Internet que envolvem duas ou mais entidades (remotas) comunicantes são governadas por protocolos.
- Há padrões de sinalização de bits, controle de congestionamento, gerenciamento de rotas.
- **Exemplo: HTTP**



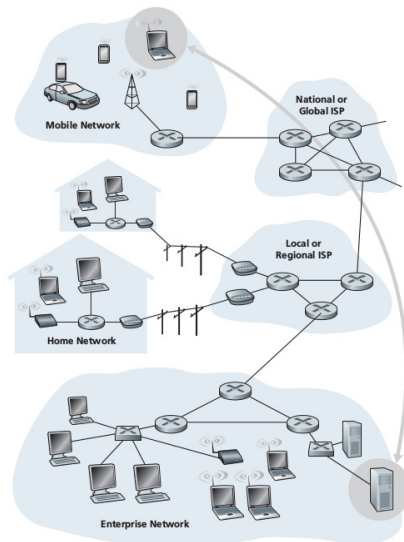


## Definição

Sistemática que define o formato e a ordem em que as mensagens são trocadas entre duas ou mais entidades comunicantes, bem como quais são as ações tomadas na transmissão ou recepção de uma mensagem ou ocorrência de outro evento.



# Bordas da Rede: folhas



## Bordas da Rede: folhas

- Equipamentos: servidores, estações de trabalho, computadores móveis/portáteis.
- End systems / hosts : “hospedam”/executam aplicações. Exemplos: browsers, cliente de e-mail, servidor de e-mail.
- **Hosts:** duas categorias.
  - **clientes:** estações de trabalho, dispositivos móveis.
  - **servidores:** máquinas mais poderosas. Servidores HTTP, servidores de streaming de vídeo, servidores de e-mail.... Localizados em Data Centers!

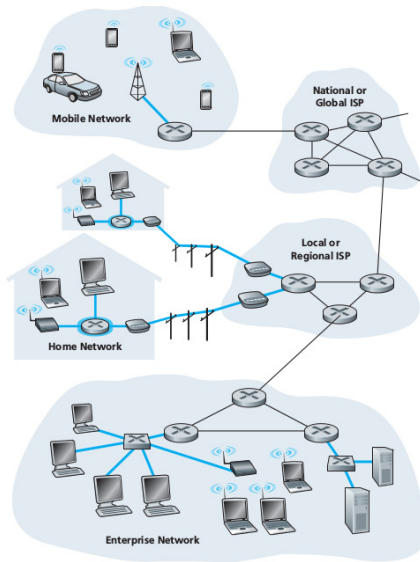


### Definição

Rede que conecta fisicamente um host ao primeiro roteador (roteador de borda) no caminho entre o host e qualquer outro sistema distante.



# Redes de Acesso: A última milha



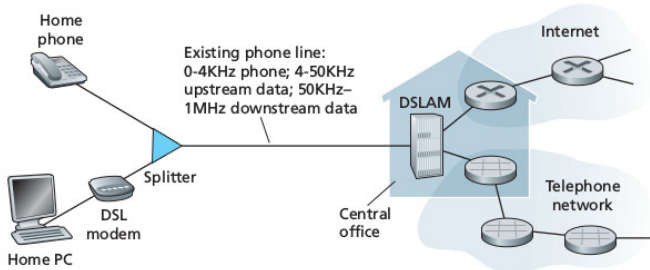
### DSL: 5 a 10 milhas

- Digital Subscriber Line
- Operadora de telefonia provê serviço no mesmo meio usado para prover chamadas de voz (telefone).
- A operadora agrega o papel de ISP.



## DSL: 5 a 10 milhas

- O modem (MODulador/DEModulador) do cliente usa a linha telefônica para fechar enlace de dados com o Digital Subscriber Line Access Multiplexer (DSLAM) da telefônica (operadora).
- Modem converte dados digitais em sinais analógicos.
- DSLAM converte novamente os sinais para digitais.



## DSL: 5 a 10 milhas

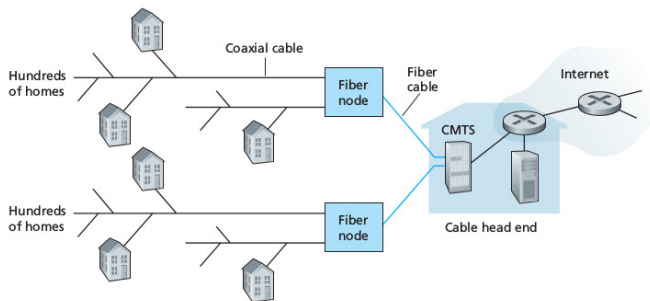
- Uso do par trançado de cobre para estabelecimento de enlace.
  - high-speed downstream: 50 kHz a 1 MHz
  - medium-speed upstream: 4 kHz a 50 kHz
  - canal telefônico: 0 a 4 kHz
  - Filtro de linha!
- Padrões de taxas de transmissão:
  - ITU 1999: 12 Mbps downstream e 1,8 Mbps upstream;
  - ITU 2003: 24 Mbps downstream e 2,5 Mbps upstream.
- ADSL: Asymmetric





## Cabo

- Aproveitamento da infraestrutura lógica de operadoras de TV a cabo
- Em geral, operadora de TV a cabo oferece serviço/pacote de internet.
- Sistema híbrido (HFC) Fibra e Coaxial são usados na rede de acesso.



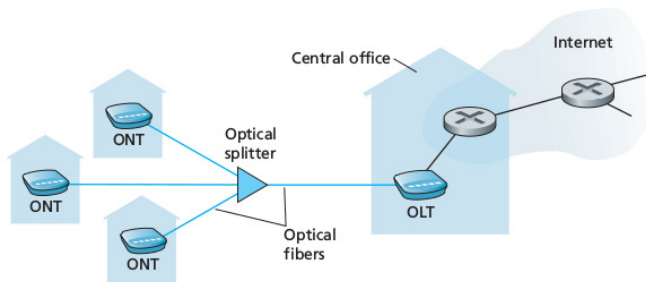
## Cabo

- Cable MODEM
  - CMTS: Cable Modem Termination System. Semelhante à operação do DSLAM.
  - Assimétricos: DOCSIS 2.0 42,8 Mbps (downstream) e 30,7 Mbps (upstream).
- Meio de difusão compartilhado:
  - todos os elementos se enxergam;
  - tráfego e congestionamento: protocolos específicos para esse enlace.



## FTTH: Fiber to the Home

- Direct Fiber: uma fibra por domicílio.
- Fibra compartilhada: mais comum.
- Arquiteturas:
  - Active Optical Networks: Ethernet sobre fibra ótica;
  - Passive Optical Networks: Provida pela Verizon: FIOS. (20 Mbps)



## Satélite

- Taxas de transmissão abaixo de 1 Mbps.
- Provedores: HughesNet e StarBand.

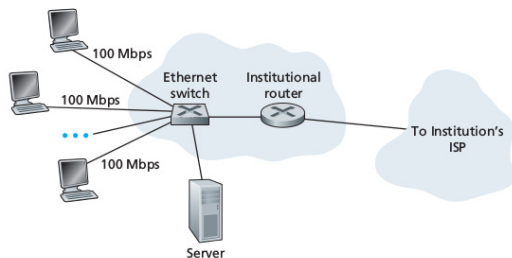
## Redes discadas

- 56 kbps



## LAN: Local Area Network

- Tecnologia predominante: Ethernet.
- Velocidades Ethernet: 100 Mbps, 1 Gbps ou 10 Gbps.



### WLAN: Wireless Local Area Network

- Dispositivos transmitem e recebem por rádio pacotes de pontos de acesso que, por sua vez, estão conectados à rede Internet.
- Poucas dezenas de metros do ponto de acesso (estação de rádio-base)
- Padrão IEEE 802.11: WiFi. Velocidades até 300 Mbps.



Para cada transmissor/receptor (transceptor), o bit de informação é conduzido por ondas eletromagnéticas através de um meio físico.

## Meios Físicos

- Par trançado, cabo coaxial, fibra óptica multimodo, espectro eletromagnético

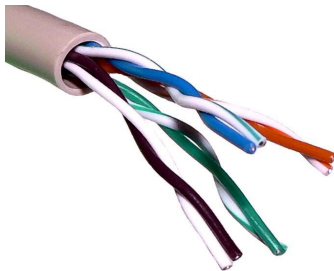
## Classificação

- **Meio guiado:** ondas são confinadas em meio sólido. Fibra óptica, par trançado, cabo coaxial
- **Meio não-guiado:** atmosfera, espaço sideral.



## Par trançado - UTP

- Meio mais barato e comum, guiado. Usado há mais de 100 anos.
- Um par de cabos isolados, de diâmetro de 1 mm, ajustados de acordo com um padrão espiral.
- Por que espiral? Redução da interferência eletromagnética de pares similares e colocalizados
- Em geral, pares trançados são encontrados em cabos, envoltos com uma camada protetora.





## Velocidades de transmissão

- 10 Mbps a 10 Gbps (Categoria 6)
- Valores dependem da qualidade dos cabos, espessura (diâmetro) e das distâncias consideradas.

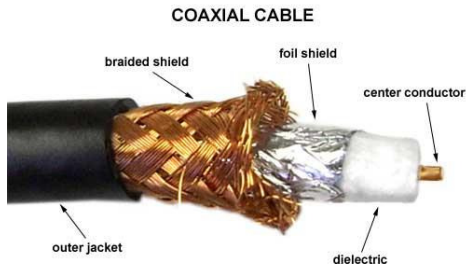
## Perenidade

- Pensou-se que fibras ópticas aposentariam pares trançados: isso não se verificou.
- Também usados em redes discadas e DSL.



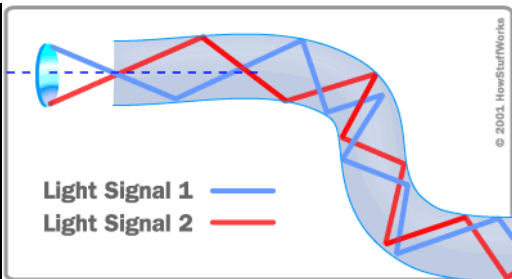
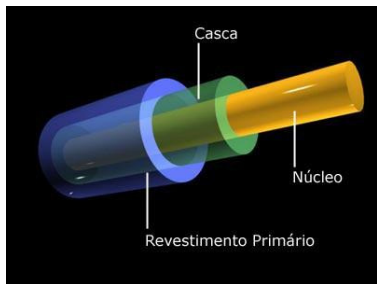
## Cabo Coaxial

- Dois condutores de cobre: malha e alma, concêntricos.
- Construção permite isolamento especial e altas taxas de transmissão.
- Muito comum para difusão de serviços de TV a cabo: aproveitamento de infraestruturas.
- Meio compartilhado. Deslocamento de frequência para aproveitamento do meio.



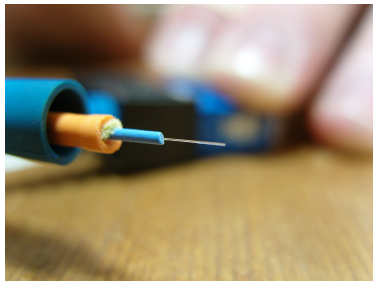
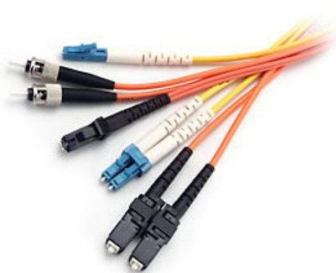
## Fibra Óptica

- Meio fino, flexível, capaz de conduzir pulsos de luz que transportam bits.
- Uma fibra óptica é capaz de prover altíssimas taxas, dezenas a centenas de Gbps.
- Muito conveniente para enlaces transoceânicos.
- *Backbone* (espinha dorsal) da Internet moderna.



## Vantagens

- Imunidade a interferências eletromagnéticas.
- Atenuação muito baixa em longas distâncias (100 km)
- “Difíceis” de serem “grampeadas”.



## Rádio

- Canais de rádio carregam sinais no espectro eletromagnético.
- Vantagens:
  - não é guiado: não requer lançamento de fios.
  - é permeável: atravessa paredes
  - pode permitir mobilidade de seus usuários
  - cobertura a distâncias convenientes
- Desvantagens: problemas de propagação  $\Rightarrow$  perda de sinal no enlace, sombras, interferências por múltiplos percursos, interferências com outros sistemas.

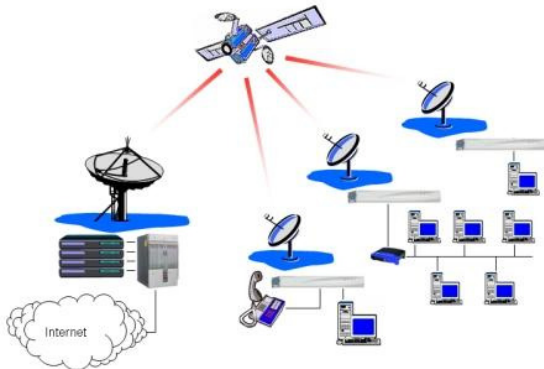
## Classificação

- Curto alcance (1 ou 2 m): bluetooth, NFC, RFID.
- Médio alcance ( $10\text{ m} < e < 1\text{km}$ ) : WiFi.
- Longo alcance ( $> 1\text{ km}$ ): celular.



## Canais por Satélites

- Conectam duas ou mais estações base que se comunicam com o satélite através de enlaces de microondas.



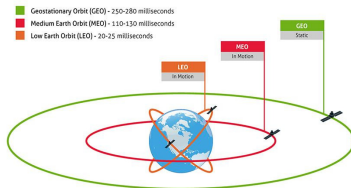
## Classificação

### Geoestacionários:

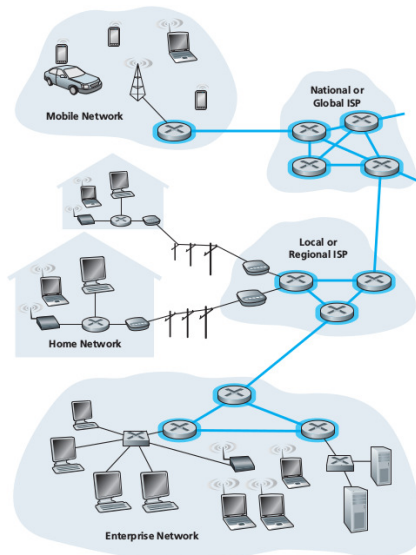
- Ficam parados sobre a mesma região do planeta;
- Orbitam a 36 000 km de altura;
- Atrasos de propagação: 280 ms;
- Taxas de transmissão compatíveis com de enlaces DSL (Mbps)

### Low Earth Orbiting Satellites (LEOS):

- Orbitam mais próximo do planeta e não ficam, permanentemente, sobre a mesma região;
- Podem se comunicar com outros satélites: rede de satélites.



Note: Not drawn to scale





## Comutação de Pacotes

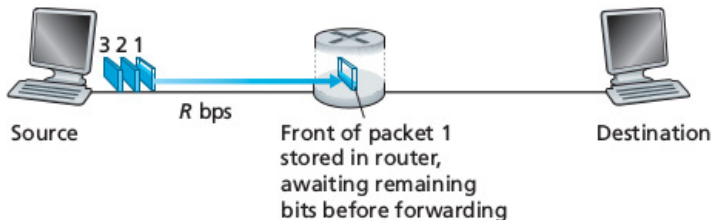
- Hosts trocam mensagens entre si
  - o conteúdo das mensagens é discricionário: podem ser mensagens de controle ou de dados.
  - É muito comum a necessidade de se quebrar uma mensagem longa em pedaços menores de dados chamados **pacotes**.
  - Entre a fonte e o destino, cada pacote viaja através de **enlaces** de comunicações e **comutadores** de pacotes (**roteadores** e *switches* de camada de enlace).
  - Pacotes são transmitidos através de cada enlace de comunicação a uma taxa igual à taxa máxima de transmissão do enlace.



## Comutação de Pacotes: Política Armazena e Encaminha

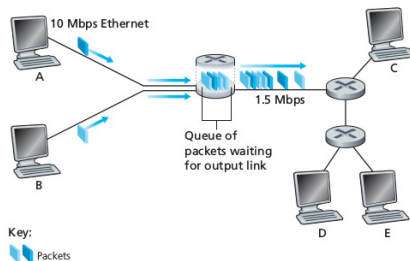
- Transmissão típica em rede comutada a pacote:
  - Comutador de pacotes deve receber um pacote inteiro antes de transmitir o primeiro bit do pacote no enlace de saída.
  - Sejam  $N$  (número de enlaces),  $L$  (comprimento da mensagem em bits) e  $R$  (taxa de transmissão). Define-se o atraso de ponto a ponto  $d_{\text{end-to-end}}$ :

$$d_{\text{end-to-end}} = \frac{N \times L}{R}.$$



## Atrasos de Enfileiramento e Perdas de Pacotes

- Cada comutador de pacotes interage com múltiplos enlaces.
- Para cada enlace, o comutador de pacotes possui um buffer de saída (também chamado de fila de saída) que armazena os pacotes que o roteador deve encaminhar pelo enlace.



## Atrasos de Enfileiramento e Perdas de Pacotes

- Processamento típico do pacote:
  - Se o pacote que chega precisa sair por um enlace que está ocupado com a transmissão de outro pacote, o pacote esperará (enfileirá) no buffer de saída.
  - Dessa forma, além do atraso devido à política armazena e encaminha, os pacotes sofrem por atrasos devido ao enfileiramento de pacotes.
  - Esses atrasos são variáveis e dependem do nível de congestionamento da rede.
  - Se o buffer de saída estiver completo, pode ocorrer o descarte/perda de pacote.



## Tabelas de Encaminhamento e Protocolos de Roteamento

Como um roteador determina por qual enlace deve ser encaminhado um pacote?

- Cada host possui um endereço de IP.
  - Quando um host precisa enviar um pacote a um host de destino, o host fonte precisa incluir o endereço IP do destino no cabeçalho do pacote.
  - Quando o pacote alcança um roteador na rede, o roteador examina a porção do endereço de destino do pacote e encaminha o pacote para o próximo roteador.
- Cada roteador possui uma tabela de encaminhamento que mapeia o endereço de destino (ou porções do endereço de destino) para os enlaces de saída o roteador.
- Quando o pacote alcança um roteador, o roteador examina o endereço e decide, a partir do endereço de destino e de sua tabela de encaminhamento, qual é o enlace apropriado de saída.



## Tabelas de Encaminhamento e Protocolos de Roteamento

**Q1.** Como são criadas as tabelas de encaminhamento?

**Q2.** São configuradas manualmente em cada um dos roteadores ou são configuradas de forma automatizada?

**A.** Protocolos de roteamento!

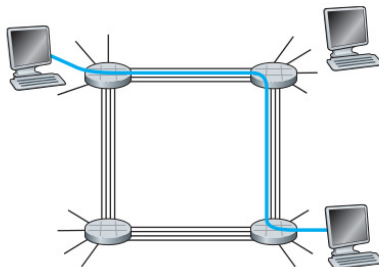
Como posso verificar a rota percorrida por um pacote de ponto-a-ponto? **tracert**



## Comutação de circuitos

Há duas abordagens básicas para prover fluxo de dados através de rede de enlaces e comutadores: comutação de circuitos e comutação de pacotes.

- **Comutação de circuitos:** recursos necessários para prover comunicações entre os hosts “reservados” pela duração da sessão de comunicação entre os hosts. Ex.: Chamada telefônica convencional.



## Comutação de pacotes

- **Comutação de pacotes:** recursos não reservados. As mensagens de sessão usam recursos sobre demanda  $\implies$  podem ser submetidas a atrasos (provenientes de enfileiramentos).
- Estratégia de **melhor esforço**. Analogia dos restaurantes.
- Em rede de comunicação de circuitos, há a reserva de uma taxa de transmissão constante nos enlaces da rede (uma fração da capacidade de transmissão de cada enlace): serviço com garantia taxa de transmissão.

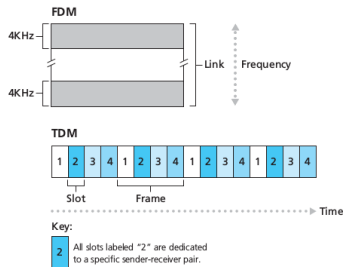




## Multiplexação em rede de comutação de circuitos

### FDM

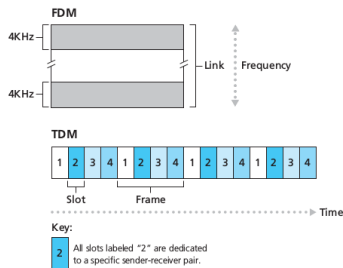
- O espectro de frequências de um enlace é dividido entre as conexões estabelecidas através do enlace.
- O enlace dedica uma faixa de frequência para cada conexão e pela duração de uma conexão.



## Multiplexação em rede de comutação de circuitos

### TDM

- O “tempo” é dividido em quadros de duração fixa e cada quadro é dividido em um número fixo de *time slots*.
- Quando a rede estabelece uma conexão através do enlace, a rede dedica um slot e cada quadro para essa conexão.
- O slot fica dedicado para o uso exclusivo da conexão, com a consequente reserva permanecendo ativa em cada um dos quadros seguintes enquanto durar a conexão.



## Dicotomia comutação de pacotes/comutação de circuitos

Capacidade ociosa: compartilhamento de recursos (teoria de filas) e equipamentos mais baratos.

Serviços em tempo real: atrasos variáveis e imprevisíveis.



## Redes de redes

**Objetivo primário:** interconectar os ISPs de tal forma que todos os host possam trocar pacotes entre si.

### Alternativas

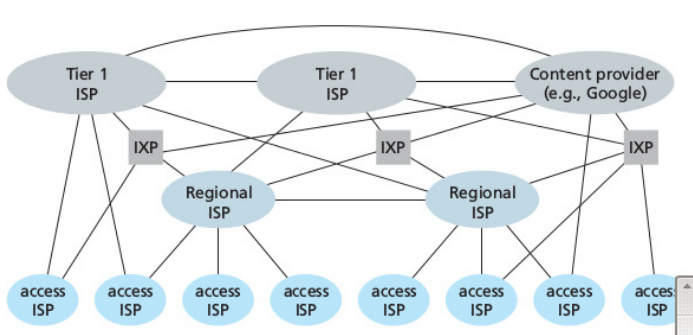
- Ingênua: malha interconectante  $\implies \frac{n \times (n-1)}{2}$
- Estrutura 1: conexão dos ISPs de acesso a um ISP de trânsito global.  $\implies$  Um roteador concentra as interligações entre os milhares de ISPs de acesso.
- Estrutura 2: mais de um ISP de trânsito global.
  - Competição entre nós globais.
  - Garantir mecanismos que permitam a troca de informações entre os nós globais.
  - duas camadas (tier): ISPs de trânsito global/continental (topo) e acesso (baixo).



## Redes de redes

### Alternativas

- Estrutura 3: multi-tier.
  - ISPs de acesso são clientes de ISPs regionais.
  - ISPs regionais são clientes de ISP tier-1: ISPs de trânsito global
  - Concorrência de mercado!
- Estrutura 4: multi-tier.
  - camadas de acesso, regional e tier-1
  - PoP: pontos de presença. Grupo de um ou mais roteadores na rede do provedor ao qual os ISPs (que atuam como clientes) podem se conectar aos ISPs provedores
  - multi-home: conexão a mais de um ISPs (exceto para tier-1): medida de contingência no caso de queda de um dos enlaces
  - peering: conexão direta de rede para reduzir a necessidade de trafegar em redes de camadas diferentes
  - redução de custos
  - IXP (Internet Exchange Point): ponto em que múltiplos ISPs agrupados regionalmente podem se interconectar diretamente.
- Estrutura 5: Adição de redes de provedores de conteúdos: Google.



## Rede Ideal

Capaz de interligar quaisquer dois hosts, permitindo transferência ilimitada de dados instantaneamente e sem perda alguma de dados

## Rede Real

Ajusta o modelo ideal com **restrições**: vazão (quantidade de dados por segundo que pode ser transmitida) entre hosts, atrasos entre sistemas comunicantes e perdas de pacotes, ...



## Atrasos em rede de comutação de pacotes

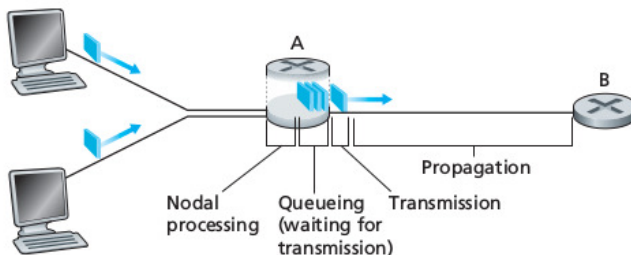
- Pacote começa no host origem, passa por uma série de roteadores e finaliza sua jornada no host destino.
- Pacote sofre de vários tipos de atraso a cada nó ao longo de seu caminho
- Desempenho de várias aplicações da Internet é intensamente afetado por atrasos na rede





## Classificação

- Atraso de processamento no nó
- Atraso por enfileiramento
- Atraso de transmissão
- Atraso de propagação
- Atraso total: o agregado dos atrasos supra.



## O que acontece com o pacote?

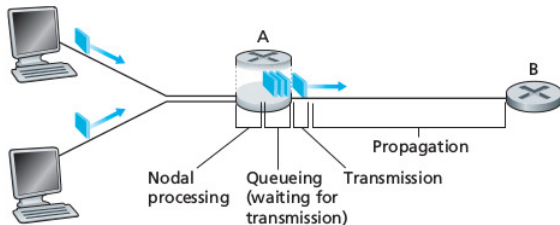
Pacote deixa computador e atravessa o enlace até o roteador A.

O roteador A examina o cabeçalho do pacote para e consulta tabela de encaminhamento para determinar o enlace de saída.

Decidido o enlace de saída, o pacote é encaminhado para a fila do enlace de saída.

Suponhamos que o pacote tenha que ser despachado para o roteador B.

- O pacote poderá ser transmitido pelo enlace se o enlace estiver livre (sem transmissão de pacotes no exato momento) e fila estiver vazia.
- Se o enlace estiver ocupado ou outros pacotes estiverem enfileirados para saída pelo enlace, o novo pacote será incluído na fila de despacho.



## Atraso de processamento no nó

- Tempo necessário para examinar o cabeçalho do pacote e determinar para onde direcionar o pacote.
- Pode considerar: tempo necessário para conferir/verificar erros em nível de bit que podem ter afetado o pacote em seu trânsito entre o host emissor e o roteador A.
- Atrasos de processamentos em roteadores de alta velocidade são da ordem de  $\mu s$  ou menos
- Depois desse processamento, o roteador direciona o pacote para a fila de saída do enlace que liga o roteador A ao roteador B.

## Atraso por enfileiramento

- Atraso sofrido pelo pacote enquanto aguarda sua transmissão pelo enlace.
- Depende do número de pacotes enfileirados e que aguardam por transmissão no enlace. Fila vazia, atraso 0.
- Podem ser da ordem de  $\mu s$  ou  $ms$ , na prática.

## Atraso de transmissão

- Intervalo de tempo que um pacote de  $L$  bits leva para ser conduzido através de um enlace de vazão/taxa de transmissão de  $R$  bits/s:  $L/R$
- Tipicamente,  $\mu\text{s}$  ou  $\text{ms}$ .

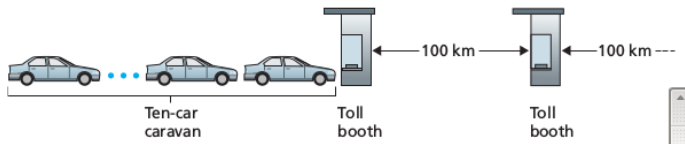
## Atraso de propagação

- Atraso decorrente do tempo de propagação dos sinais eletromagnéticos que conduzem o pacote pelo enlace entre os roteadores A e B
- Depende da velocidade de propagação do meio físico do enlace (fibra óptica, par trançado, etc): velocidade da luz
- Distância  $d$  entre os roteadores,  $s$  velocidade de propagação do sinal eletromagnético:  $d/s$
- Podem ser da ordem de  $\text{ms}$  em WANS



## Diferenças entre atraso de transmissão e atraso de propagação

- **atraso de transmissão:** tempo necessário ao roteador para despachar o pacote. Depende do tamanho do pacote, da taxa de transmissão do enlace e não possui correlação alguma com a distância entre os dois roteadores
- **atraso de propagação:** contempla o tempo que um bit gasta para se propagar entre um roteador e o próximo. É uma função da distância entre os dois roteadores mas não tem correlação alguma com o tamanho do pacote, muito menos que a taxa de transmissão do enlace
- Analogia: caravana.



Atraso total: o agregado dos atrasos supra.

$$d_{\text{nodal}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{fila}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$



## Atrasos de enfileiramento e perdas de pacotes

O atraso mais complexo de se modelar no cálculo do atraso nodal é o atraso de enfileiramento.

Diferentemente das outras parcelas componentes do atraso nodal, o atraso por enfileiramento pode variar pacote a pacote.

- Se 10 pacotes chegarem à uma fila vazia ao mesmo tempo, o primeiro pacote transmitido não sofrerá atraso algum enquanto o último pacote transmitido sofrerá o maior atraso, pois deverá esperar todos os precedentes serem despachados
- Estatística: atraso de enfileiramento médio, variância de enfileiramento, probabilidade de o atraso por enfileiramento exceder algum valor especificado, ...

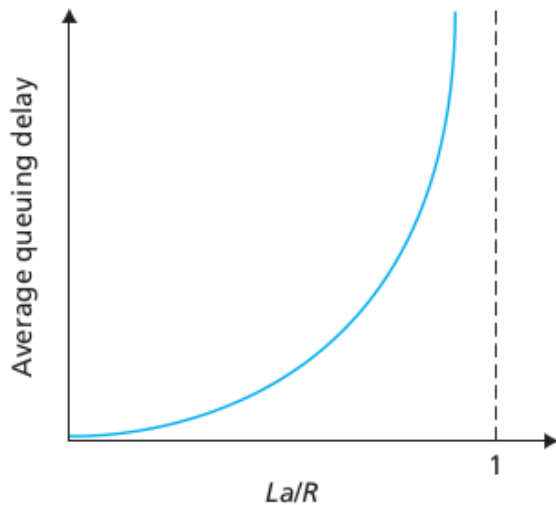


## Quando um atraso por enfileiramento é grande ou é insignificante?

- Para calcular, necessitamos de algumas informações: taxa com que o tráfego alcança a fila, taxa de transmissão do enlace, natureza do tráfego de entrada (periódico ou por rajadas) ...
- Modelo simples:
  - $a$  (pacotes/s),  $R$  (taxa de transmissão),  $L$  (tamanho do pacote)
  - taxa média de chegada de dados:  $La$
  - fila muito longa: capaz de conter uma quantidade infinita de bits
  - intensidade de tráfego:  $La/R$
  - $La/R > 1$ : acúmulo de pacotes na fila







## Processo de chegada é um processo aleatório

- se a intensidade de tráfego for próxima de zero: enfileiramento pouco provável
- intensidade de tráfego próxima a 1: capacidade de transmissão será excedida em alguns momentos: enfileiramento
- se a intensidade de tráfego for menor que a capacidade de transmissão, o comprimento da fila irá diminuir
- intensidade de tráfego se aproximando de 1  $\implies$  aumento no atraso por enfileiramento



## Perda de pacote

- Assumiu-se, até o momento, que uma fila era capaz de armazenar um número infinito de pacotes
  - filas reais são limitadas: pacotes descartados no caso em que um pacote alcança um roteado cujas filas estão cheias
  - pacote foi inserido no núcleo da rede pelo host emissor e jamais irá emergir do núcleo, pois foi descartado.
  - perdas de pacote aumentam quando a intensidade de tráfego aumenta
  - métricas de desempenho de um nó: atrasos e probabilidade de perdas de pacotes



## Atraso fim a fim

- Cenário: rede não congestionada  $\implies$  atrasos de enfileiramento negligíveis.
- Seja  $N - 1$  a quantidade de roteadores entre o host de origem e o host de destino.

$$d_{\text{fim\_fim}} = N \times (d_{\text{proc}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}})$$



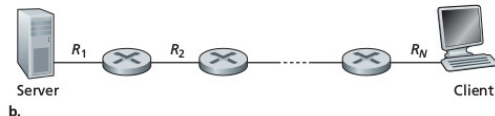
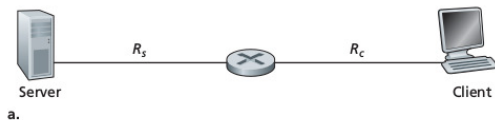
## Traceroute (hands-on / RFC 1393) & PingPlotter

- envia vários pacotes especiais para um host de destino.
- a cada nó de interligação da rede alcançado, os pacotes provocam reações e retornos de mensagens para o host emissor: quando um roteador recebe um desses pacotes especiais, o ativo envia como resposta uma mensagem que contém o nome e o endereço do roteador
- o host fonte registra o tempo entre o envio de um pacote e a correspondente mensagem de retorno. (registra, também, o nome e o endereço dos roteadores)
- cálculo do tempo de uma viagem de ida e volta: *round-trip*.
- Atraso devidos aos end systems e aplicações



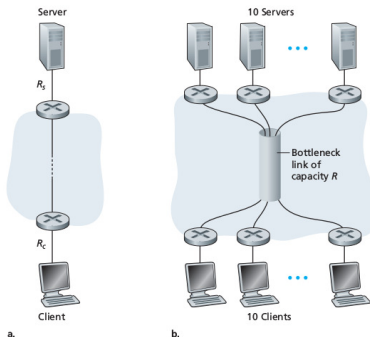
## Vazão de redes de computadores

- Outra medida de desempenho: vazão fim a fim.
- vazão:  $\min(R_c, R_s)$ ,  $R_c$  refere-se à taxa de transmissão do enlace cliente,  $R_s$ , do enlace servidor.
- tempo para transmissão de um arquivo grande de  $F$  bits:  $F/\min(R_c, R_s)$ .



## Vazão de redes de computadores

- Vazão: taxa de transmissão do enlace mais lento (gargalo) atravessado por um pacote de viaja entre um cliente e um servidor  $\Leftarrow$  desde que não haja congestionamento/tráfego interferente!
- O fator de restrição mais marcante na Internet atual é imposto pelas redes de acesso: a rede núcleo é de elevadíssima velocidade e sofre de pouca congestão.



## Arquitetura por camadas

Tratamento da complexidade  $\implies$  Analogia: sistema para uma companhia aérea.

Agregação de camadas: serviço.

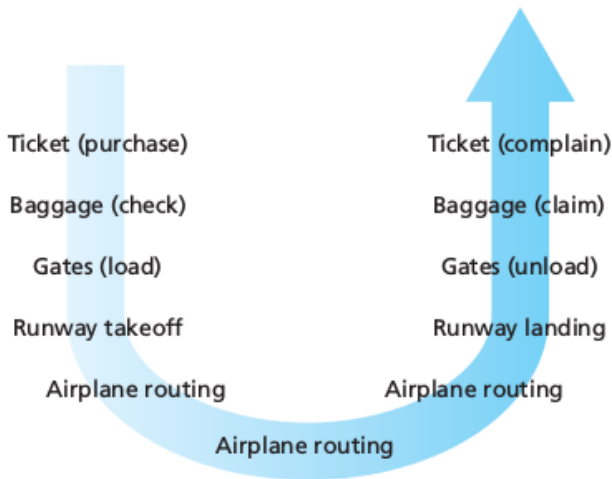
- Cada camada provê serviços
- Executa ações típicas da camada
- Usa serviços providos por camadas inferiores

Arquitetura por camadas nos permite discutir um seção bem definida de um sistema grande e complexo

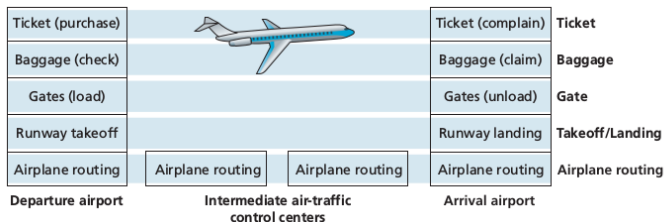
- Modularização: facilita a implementação do serviço provido pela camada.
- Desde que cada camada proveja o mesmo serviço para a camada superior e use os mesmos serviços providos pela camada inferior, o restante do sistema permanece inalterado quando a implementação de da camada é modificada.
- **Atenção: implementação de serviço é diferente de serviço.**







# Camadas de protocolos e modelos de serviços



## Separação de protocolos em camadas

Para prover uma estrutura para projeto de protocolos de redes, os projetistas de redes organizaram protocolos em camadas

- Cada protocolo pertence apenas a uma das camadas.
- O foco deve ser nos serviços: modelo de serviço de uma camada

Uma camada de protocolo pode ser implementada em software, hardware ou na combinação de ambos

- camada física e de enlace: tipicamente implementadas em placas de redes associadas a determinado enlace.
- camada de rede: implementação mista entre hardware e software.



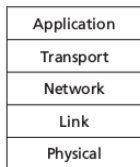
## Prós e contras separação em camada

- provê forma estruturada de se discutir componentes de sistema
- facilita a atualização de componentes de sistemas
- **risco de duplicação de funcionalidades de camadas inferiores da pilha**
- **uma camada pode demandar acesso a informações presentes apenas em outra camada: violação básica do objetivo de separação por camadas**



## Pilha de protocolos da Internet

- física
- enlace
- rede
- transporte
- aplicação



a. Five-layer  
Internet  
protocol stack



b. Seven-layer  
ISO OSI  
reference model



## Camada de aplicação

- Onde aplicações da rede e protocolos de camada de aplicação residem: HTTP, SMTP, FTP, DNS
- *pacote* de informação na camada de aplicação: mensagem
- aplicações em hosts diferentes comunicam entre si no mesmo nível de camada de aplicação.



## Camada de transporte

Transporta mensagens das camadas de aplicação entre os endpoints de aplicação.

### TCP

- orientado a provimento de conexões e aplicações: entrega mensagens de camada de aplicação e controla o fluxo de mensagens.
- casamento de velocidades entre emissor e receptor
- quebra mensagens longas (em segmentos) mais curtos e provê mecanismos de controle de congestionamento

### UDP

- serviço de troca de mensagens sem o estabelecimento de uma conexão
- não provê confiabilidade, controle de fluxo nem controle de congestionamento
- o pacote primitivo é o **\*datagrama**.



## Camada de rede

Responsável pela movimentação de pacotes da camada de rede (datagramas) entre hosts

- TCP ou UDP passam um segmento e um endereço de destino à camada de rede
- A camada de rede provê o serviço de entrega do segmento da camada de transporte para o host de destino.

### Protocolo **IP**

- define os campos no datagrama bem como a forma como os endsystems e roteadores deverão reagir a esses campos.

A camada de rede da Internet também contém vários protocolos de roteamento que determina as rotas que os datagramas seguem entre hosts de origem e de destino

É notável, porém, a importância do protocolo IP





## Camada de enlace

- Para mover um pacote de um nó (host ou roteador) ao próximo nó da rota, a camada de rede depende dos serviços providos pela camada de enlace.
- Em cada nó, a camada de rede passa o datagrama para a camada de enlace, que entrega o datagrama para o próximo nó da rota
- No próximo nó, a camada de enlace passa o datagrama para a camada de rede
- Os serviços providos para camada de enlace dependem do protocolo específico da camada de enlace que é utilizado naquele enlace: WiFi, Ethernet, DOCSIS
- Pacotes na camada de enlace: quadros (frames).



## Camada física

- São protocolos dependentes dos enlaces e dependem do meio de transmissão usado pelo enlace.
- Ethernet: usa protocolos para cada meio de transmissão disponível: protocolo para par trançado em cabo de cobre, protocolo para cabo coaxial, protocolo para fibra óptica, ...



## Modelo OSI

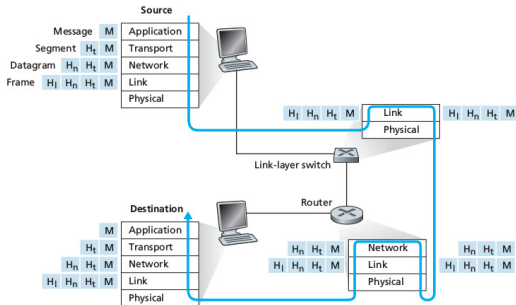
- Proposto pela ISO.
- 7 camadas: aplicação, apresentação, sessão, transporte, rede, enlace de dados e física
- Apresentação: provê serviços que permitam aplicações comunicantes interpretarem o significado do dado comunicado  $\implies$  compressão de dados, cifração, descrição.
- Sessão: delimitação e sincronização da troca de dados, incluindo meios para construir um checkpointing e um esquema de recuperação
- SSL/TLS é um exemplo de protocolo de comunicação onde é possível identificar diretamente as camadas OSI.



## Encapsulamento

Roteadores e switches de enlace são ambos comutadores de pacotes

- esses ativos organizam o seu hardware e software em camadas.
- porém não implementam todas as camadas da pilha de protocolos: apenas as camadas mais baixas
- switches de enlace implementam as camadas 1 e 2
- roteadores implementam as camadas 1 a 3.



## Encapsulamento

No host emissor, uma mensagem  $M$  da camada de aplicação é passada para a camada de transporte.

- a camada de transporte manipula a mensagem e adiciona informações, o cabeçalho da camada de transporte  $H_t$ .
- $H_t \parallel M$  constituem o segmento da camada de transporte: o segmento encapsula a mensagem da camada de aplicação
- a informação adicional pode incluir: informações adicionais para permitir a camada de transporte do host receptor entregar adequadamente a mensagem à aplicação destino, etiqueta de correção de erros.

A camada de transporte passa o segmento para a camada de rede, que adiciona as informações de cabeçalho típicas dessa camada ( $H_n$ ): endereços de hosts de origem e de destino.

- Cria-se um datagrama de camada de rede.



## Encapsulamento

- O datagrama é então passado para a camada de enlace que, claro, adiciona suas próprias informações típicas de cabeçalho para criar um quadro da camada de enlace.
- Dessa forma, em cada camada, um pacote pode ser dividido em duas seções: os campos de cabeçalho e os campos de payload (tipicamente, um pacote proveniente da camada superior).

Analogia de envio de uma mensagem por SEDEX: recorrendo de uma infração de trânsito supostamente cometida em outro estado.

