

Redes de Computadores

Princípios Básicos

Prof. Rodrigo de Souza Couto

ATENÇÃO

- Esta apresentação foi retirada e adaptada dos seguintes trabalhos:
 - Notas de aula do Prof. Miguel Campista da UFRJ
 - <http://www.gta.ufrj.br/~miguel/redes1.html>
 - Notas de aula do Prof. Igor Monteiro Moraes da UFF
 - <http://www2.ic.uff.br/~igor/cursos/redesI>
 - Notas de aula do livro Jim Kurose e Keith Ross, "Redes de Computadores e a Internet - Uma abordagem Top-Down", 6ª Edição, Editora Pearson, 2013

Tópicos

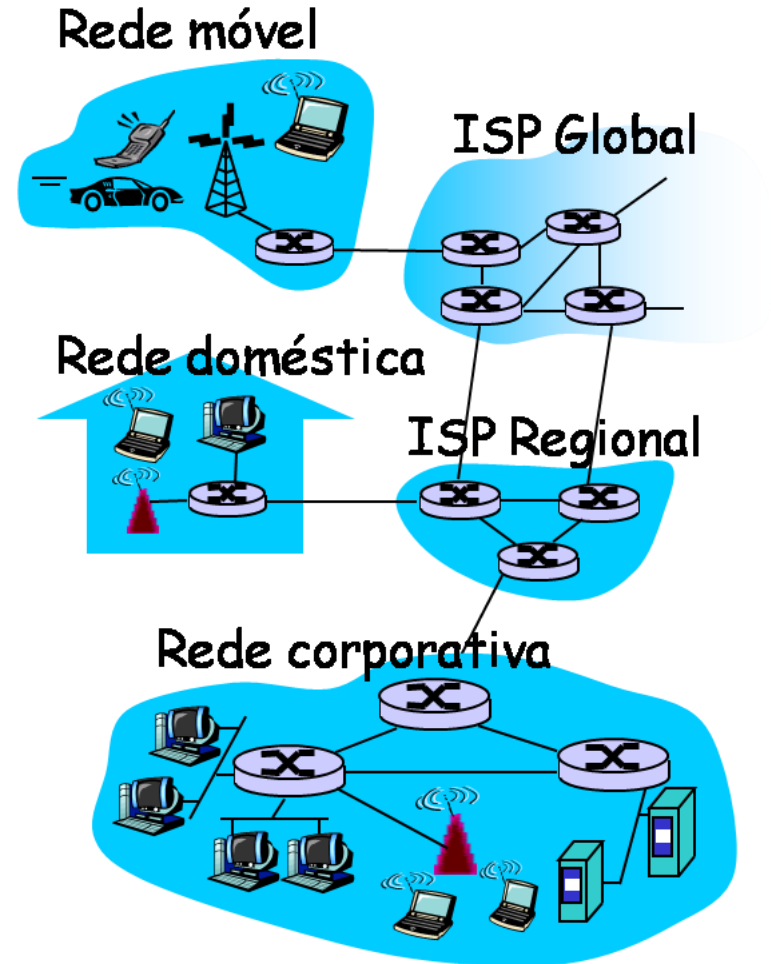
- Princípios básicos da Internet
- Princípios básicos de comunicação em redes
- Descrição das diferentes camadas de protocolos
 - Camada de aplicação e os seus protocolos
 - Camada de transporte e os seus protocolos
 - Camada de rede
 - Camada de enlace

Bibliografia

- Andrew S. Tanenbaum, David J. Wheterall, "Redes de Computadores", 5ª Edição, Editora Pearson, 2011
- Jim Kurose e Keith Ross, "Redes de Computadores e a Internet - Uma abordagem Top-Down", 6ª Edição, Editora Pearson, 2013

O que é a Internet?

- Milhões de dispositivos conectados
 - Sistemas finais (smartphones, laptops, etc.)
- Enlace de comunicação
 - Fibras ópticas, cobre, rádio, satélite
- Comutadores de pacotes
 - Encaminham pacotes pela rede
 - Pedacos de informação



Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem?



Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem?
 - Um canal de comunicação entre elas



Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem?
 - Um canal de comunicação entre elas



Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem e se entenderem?



Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem e se **entenderem**?
 - Uma **linguagem comum** entre as duas partes



Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem e se **entenderem**?
 - Uma **linguagem comum** entre as duas partes



Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem e se **entenderem**?
 - Uma **linguagem comum** entre as duas partes



Protocolos de Comunicação

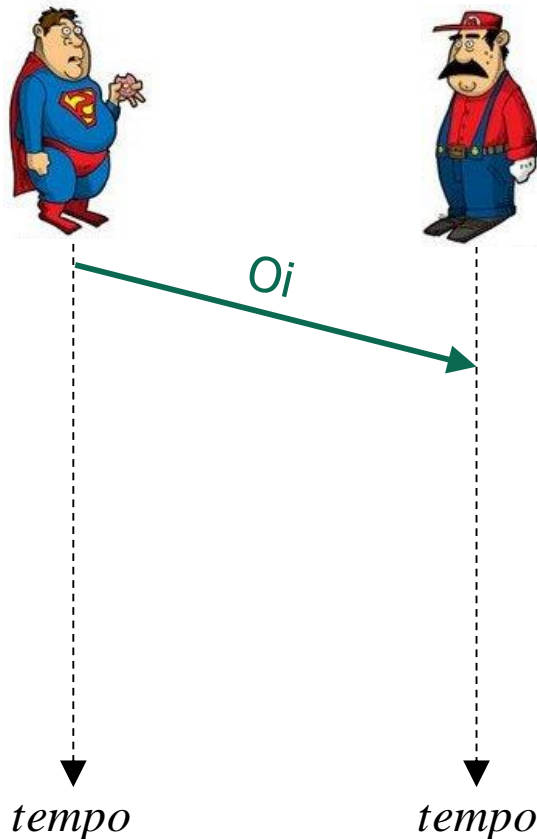
- Conjunto de regras e procedimentos que definem a comunicação entre duas ou mais entidades
- Definem
 - As ações tomadas durante a recepção e/ou transmissão de mensagens
 - As ações tomadas caso outros eventos ocorram
 - Ex.: Desaparecimento de um vizinho
 - O formato e a ordem das mensagens trocadas entre duas ou mais entidades

Protocolos de Comunicação

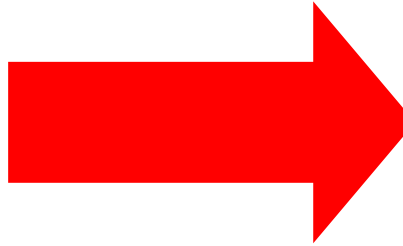
- Na Internet...
 - Todas as atividades que envolvem duas ou mais entidades comunicantes são governadas por um protocolo

Protocolos de Comunicação

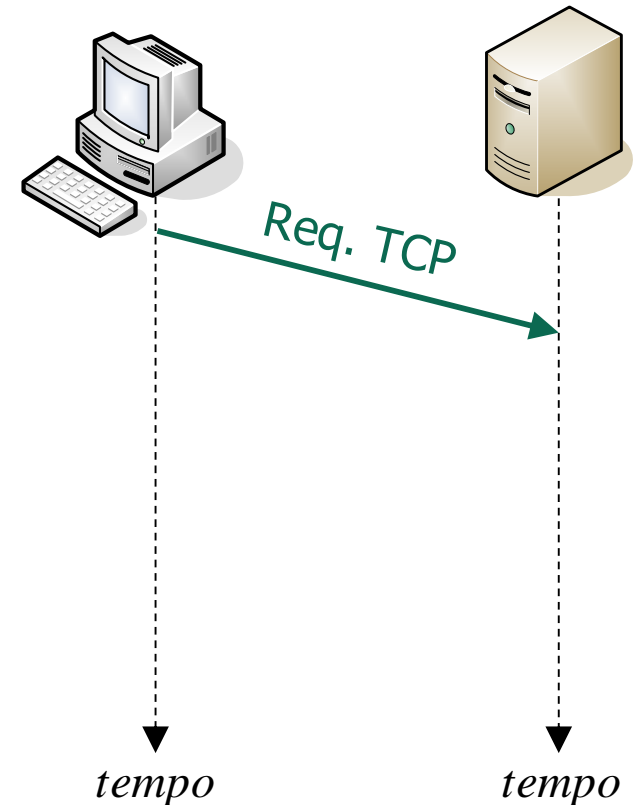
Protocolo humano



Analogia
utilizando
hardware e
software...

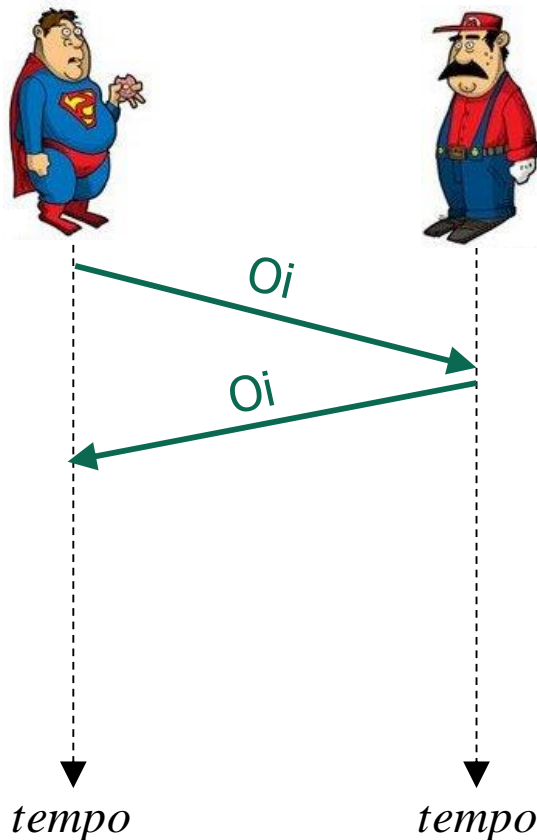


Protocolo de rede

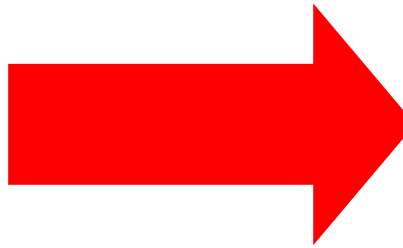


Protocolos de Comunicação

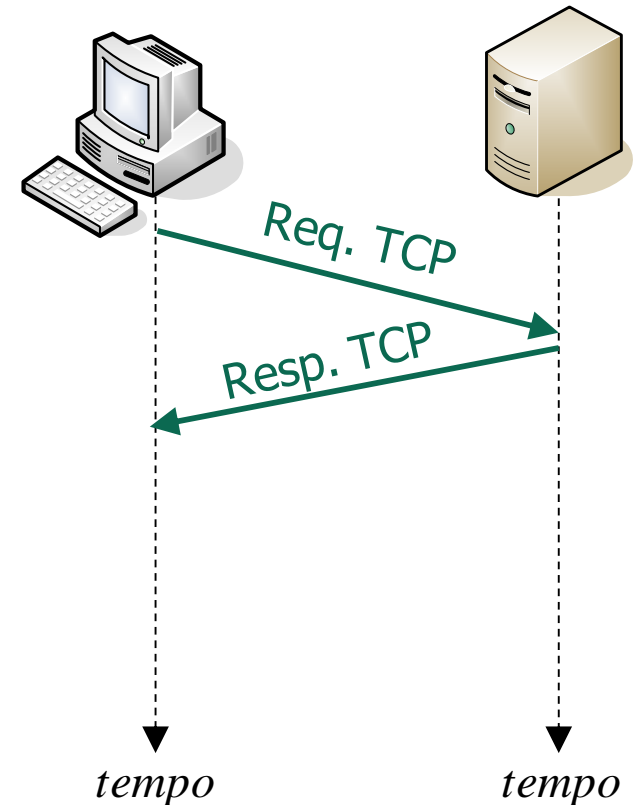
Protocolo humano



Analogia
utilizando
hardware e
software...

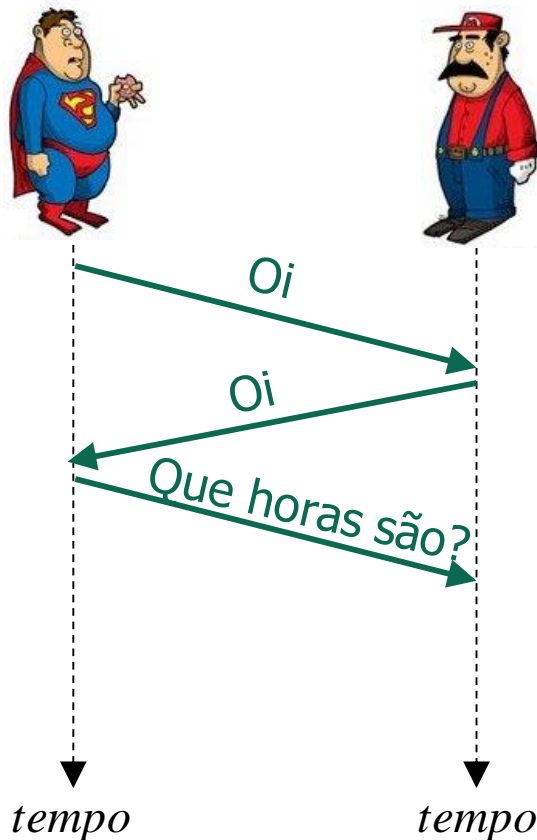


Protocolo de rede

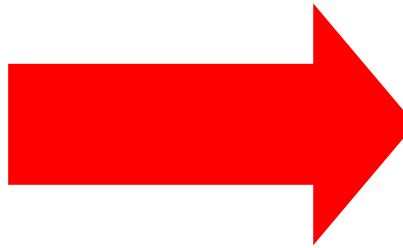


Protocolos de Comunicação

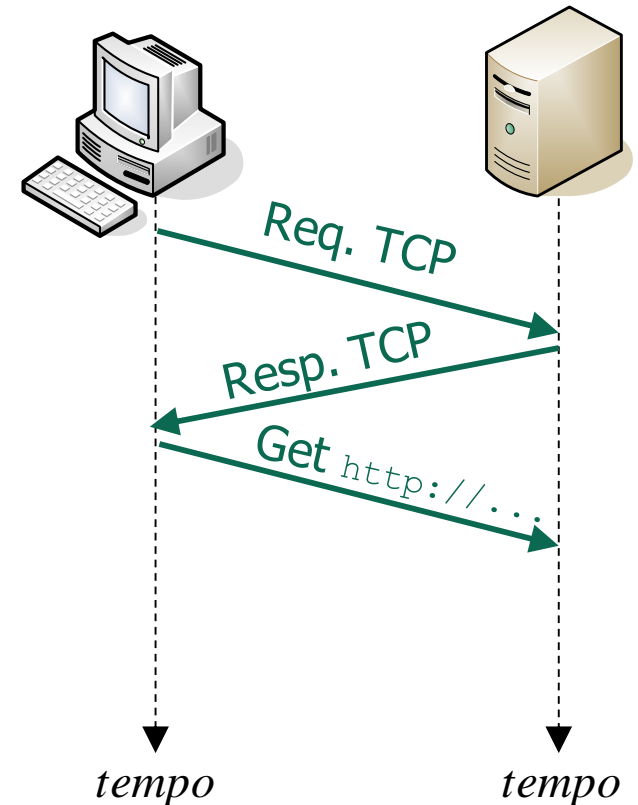
Protocolo humano



Analogia
utilizando
hardware e
software...

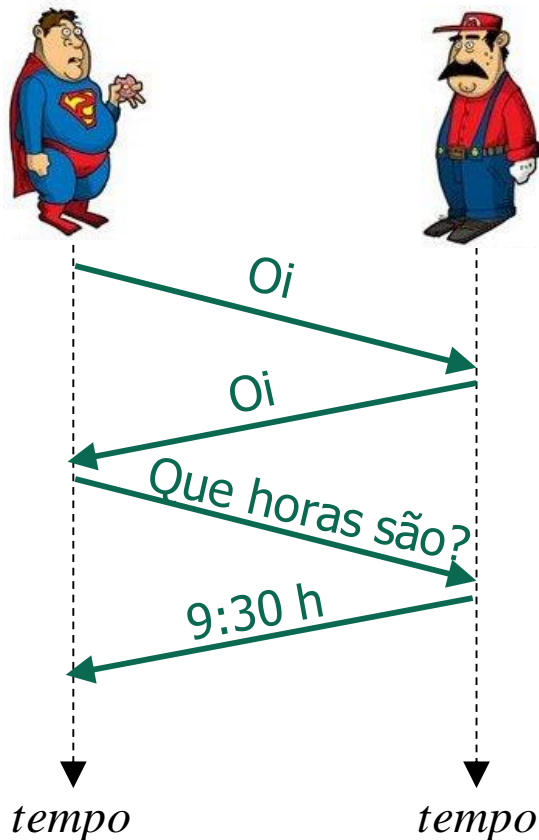


Protocolo de rede

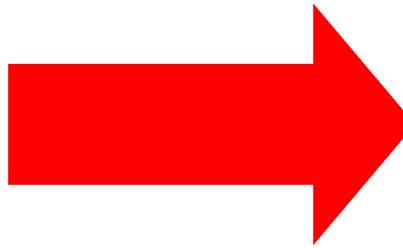


Protocolos de Comunicação

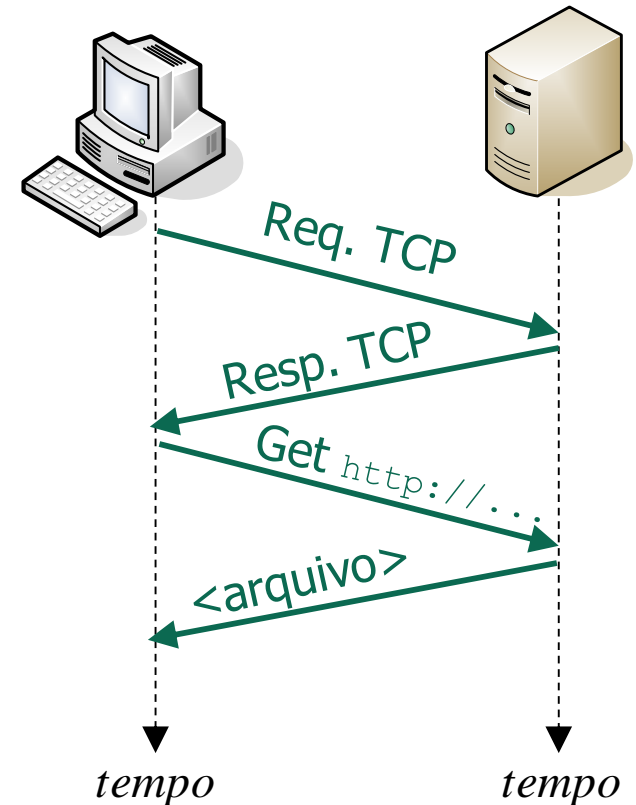
Protocolo humano



Analogia
utilizando
hardware e
software...



Protocolo de rede



Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem “apenas” se comunicar
 - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade, segura, em grupo, etc.

Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem “apenas” se comunicar
 - Comunicação confiável e sem falhas



Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicar
 - Comunicação confiável e sem falhas



Você falou
algo?



Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicar
 - Comunicação confiável e sem falhas



Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicar
 - Comunicação confiável e sem falhas



Ah...tá.



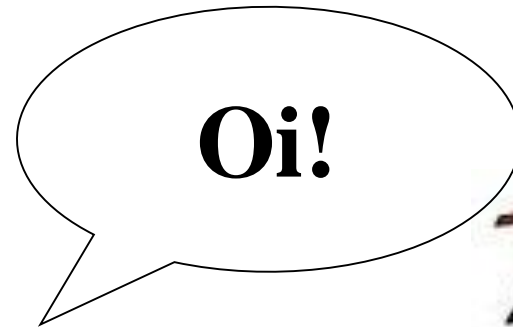
Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem “apenas” se comunicar
 - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade



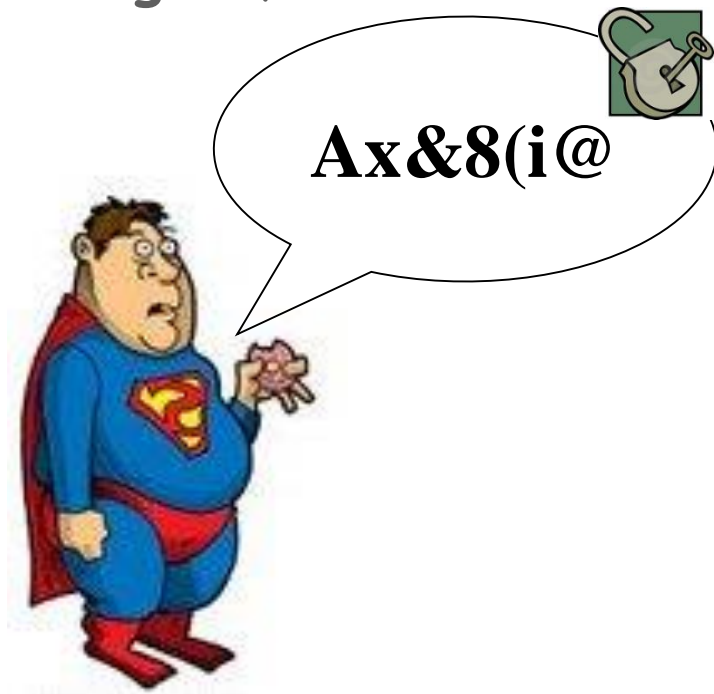
Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem “apenas” se comunicar
 - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade



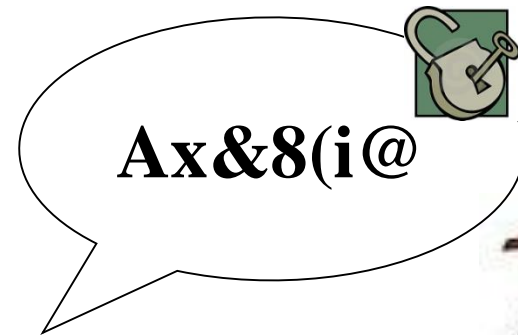
Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem “apenas” se comunicar
 - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade, segura,



Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem “apenas” se comunicar
 - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade, segura,



Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem “apenas” se comunicar
 - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade, segura, **em grupo**, etc.



Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem “apenas” se comunicar
 - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade, segura, **em grupo**, etc.



Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicar
 - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade, segura, em grupo, etc.

Ao aumentar os requisitos...



Maior é a complexidade do protocolo de comunicação
usado nas **redes de computadores**

O que são as Rede de Computadores?

- Definições
 - Conjunto de computadores autônomos interconectados por uma única tecnologia
 - **A Internet é uma "rede de redes"!**
 - Sistema de comunicação que visa a interconexão entre computadores, terminais e periféricos
- Usos de redes de computadores
 - Aplicações comerciais
 - **Compartilhamento de recursos físicos e informações**
 - **Comunicação entre usuários**
 - **Comércio eletrônico**

O que são as Redes de Computadores?

- Usos de redes de computadores (cont.)
 - Aplicações domésticas
 - Compartilhamento de recursos físicos e informações
 - Comunicação entre usuários
 - Comércio eletrônico
 - Entretenimento
 - Usuários móveis
 - Escritório portátil
 - Aplicações militares

Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Segundo a extensão geográfica...
 - Redes pessoais (*Personal Area Networks* - PANs)
 - Redes locais (*Local Area Networks* - LANs)
 - Redes metropolitanas (*Metropolitan Area Networks* - MANs)
 - Redes de longa distância (*Wide Area Networks* - WANs)

Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Redes Pessoais (PAN)
 - Cobrem distâncias muito pequenas
 - Destinadas a uma única pessoa
 - Ex.: Bluetooth, ZigBee, NFC, etc.



Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

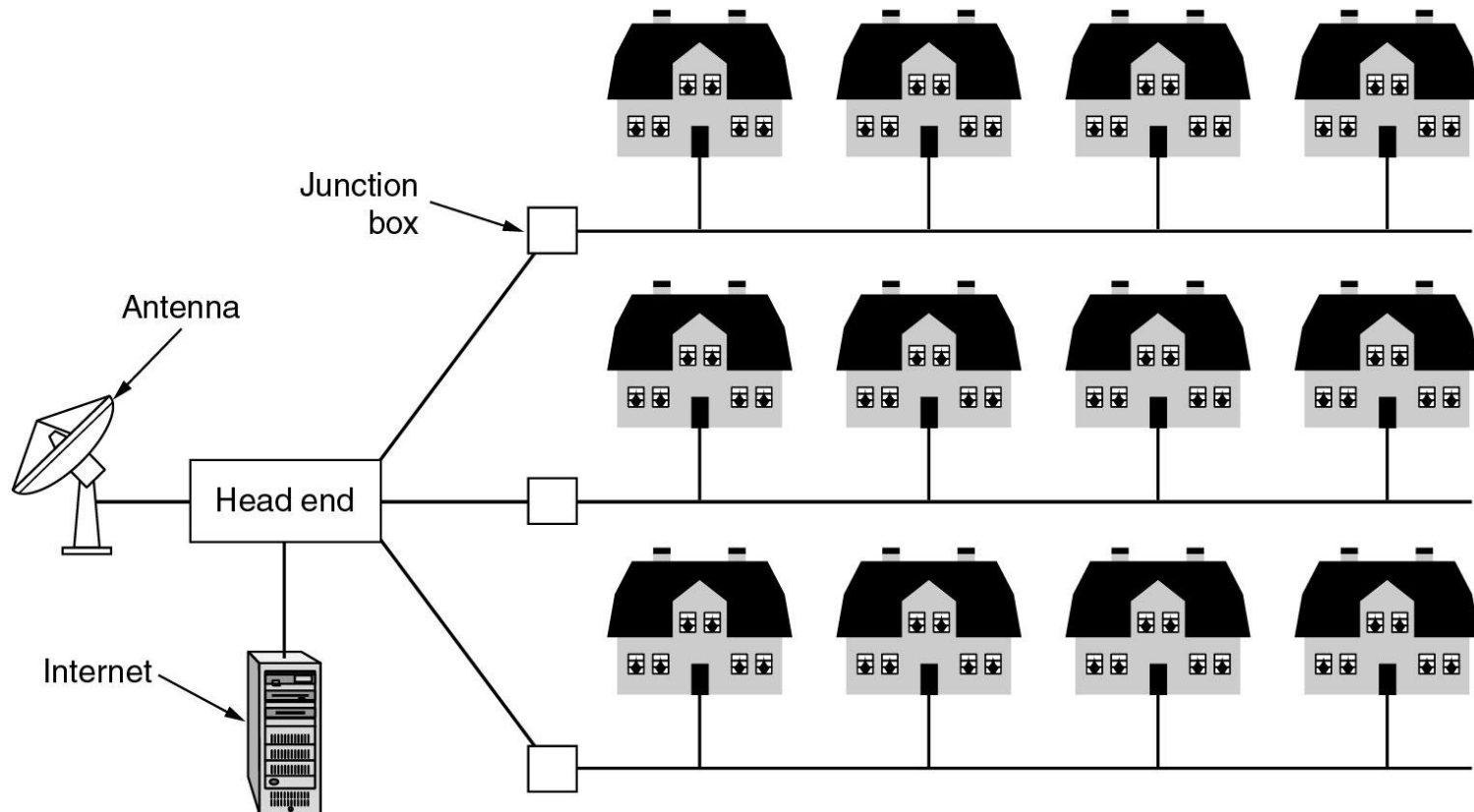
- Redes Locais (LAN)
 - Cobrem pequenas distâncias
 - Um prédio ou um conjunto de prédios
 - Geralmente pertencentes a uma mesma organização
 - Taxa de transmissão da ordem de Mb/s
 - Pequenos atrasos de propagação
 - Ex.: Ethernet, WiFi, etc.

Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Redes Metropolitanas (MAN)
 - Cobrem grandes distâncias
 - Uma cidade
 - Ex.: rede baseada na TV a cabo

Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

MAN baseada na TV a cabo (fonte: Tanenbaum)

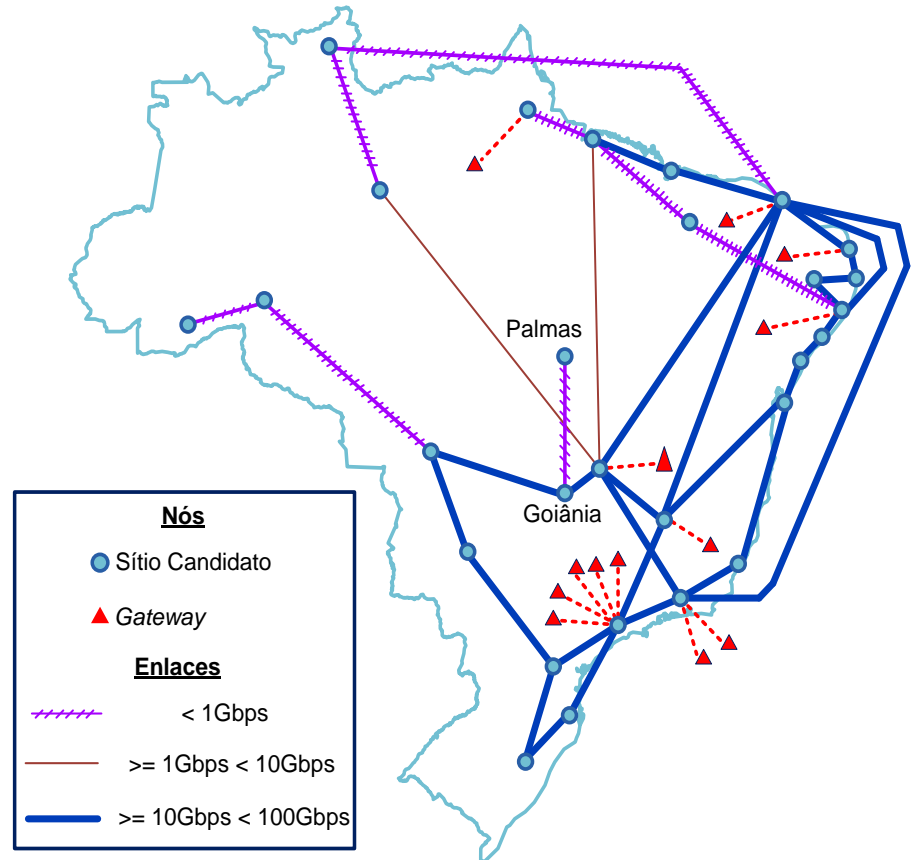


Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

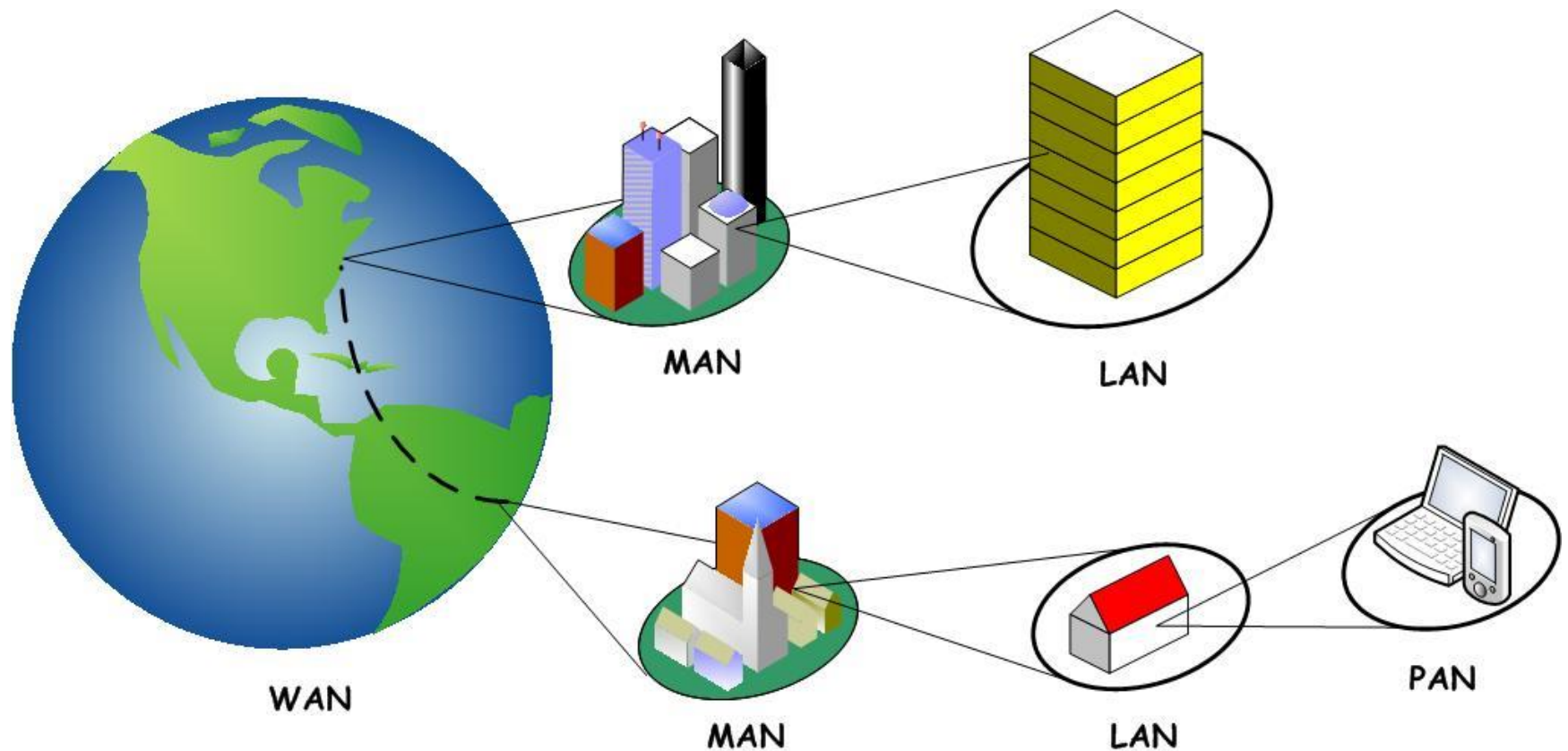
- Redes de Longa Distância (WAN)
 - Cobrem distâncias muito grandes
 - Um país, um continente
 - Transmissão através de comutadores de pacotes interligados por enlaces dedicados
 - De um modo geral possuem taxas de transmissão menores que as das LANs
 - Atraso de propagação maiores do que das LANs

Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

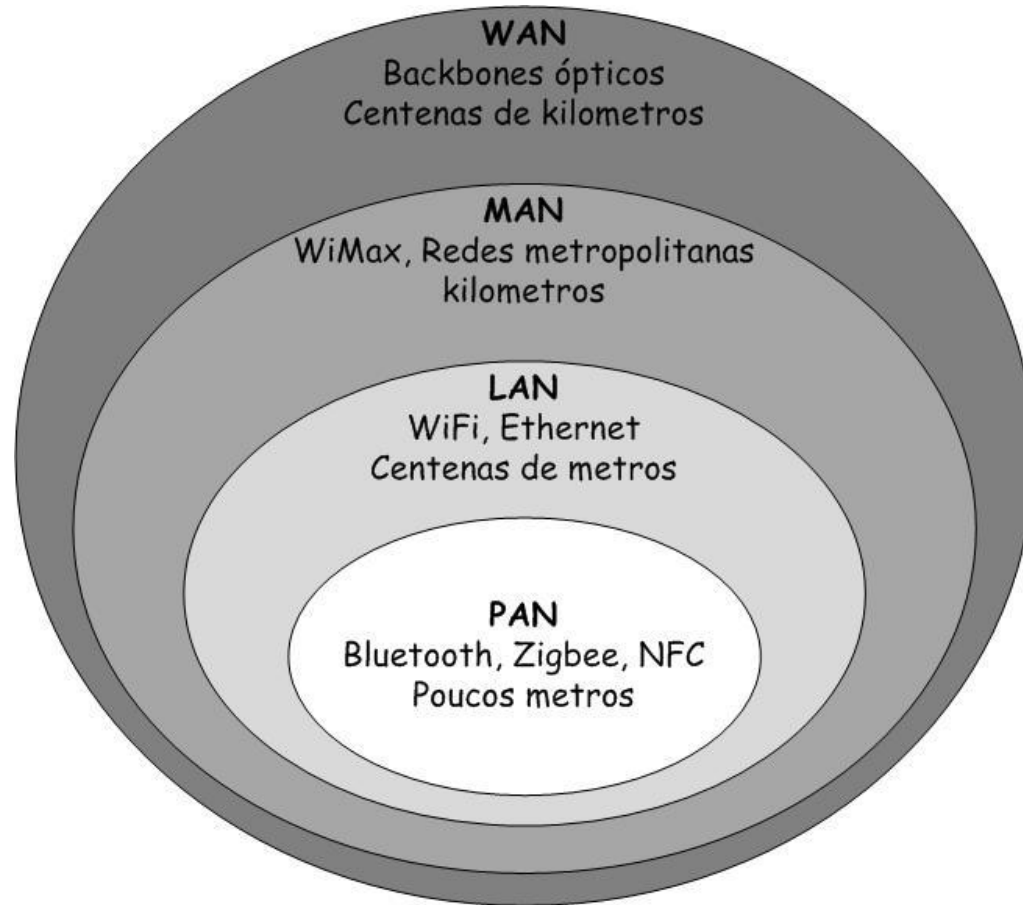
WAN que interconecta diversas instituições de ensino brasileiras



Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?



Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?



Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

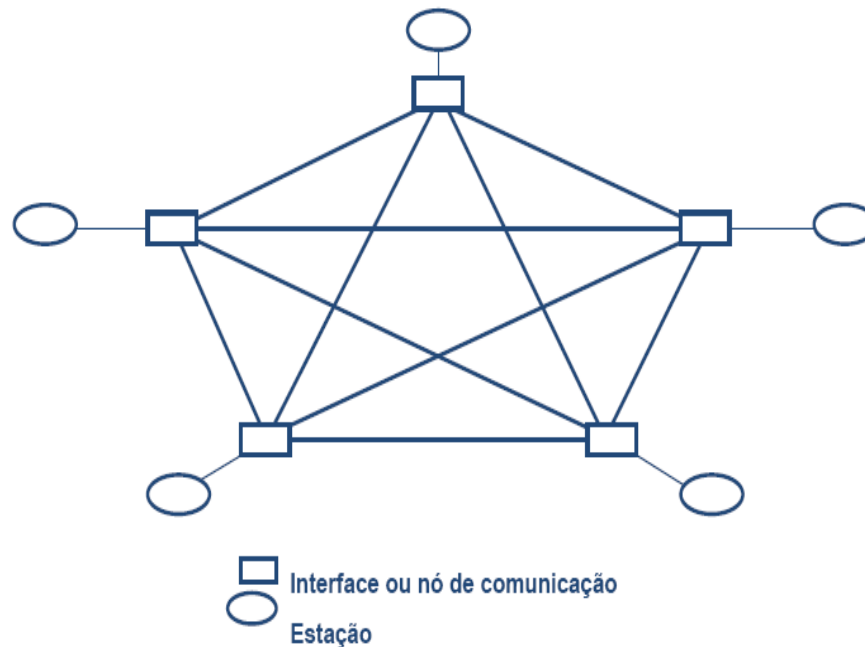
- Segundo a topologia...
 - Estruturas físicas de interligação dos equipamentos da rede
 - Cada uma apresenta características próprias, com diferentes implicações quanto a...
 - Custo, Confiabilidade, Alcance
 - Tipos mais comuns
 - Malha, Estrela, Anel, Barramento, Híbridas

Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Malha
 - Usada principalmente em redes de longa distância
 - Em geral as redes locais não usam a topologia em malha
 - Custo associado aos meios físicos é pequeno em redes locais
 - Complexidade da decisão de por onde enviar a mensagem aumenta o custo
 - Armazenamento e processamento de cada mensagem a cada nó intermediário aumenta o atraso e diminui a vazão
 - Pode ser completa ou irregular

Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Malha Completa
 - Cada estação é conectada a todas as outras estações da rede



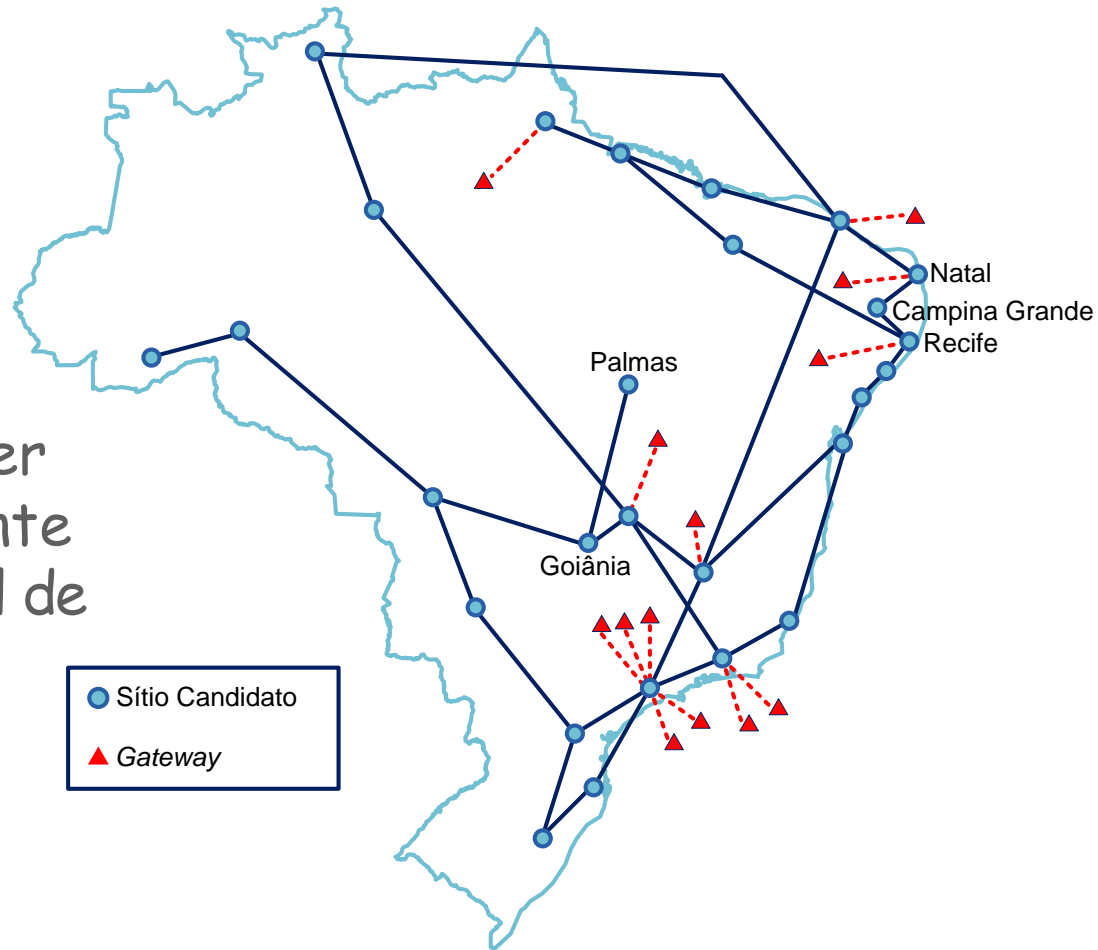
Exemplo de malha completa

Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Malha Completa
 - Vantagens
 - Não há compartilhamento do meio físico
 - Não há necessidade de decisões de por onde encaminhar a mensagem (roteamento)
 - Desvantagem
 - Grande quantidade de ligações
 - Custo

Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Malha Irregular
 - Topologia mais geral possível
 - Cada estação pode ser conectada diretamente a um número variável de estações

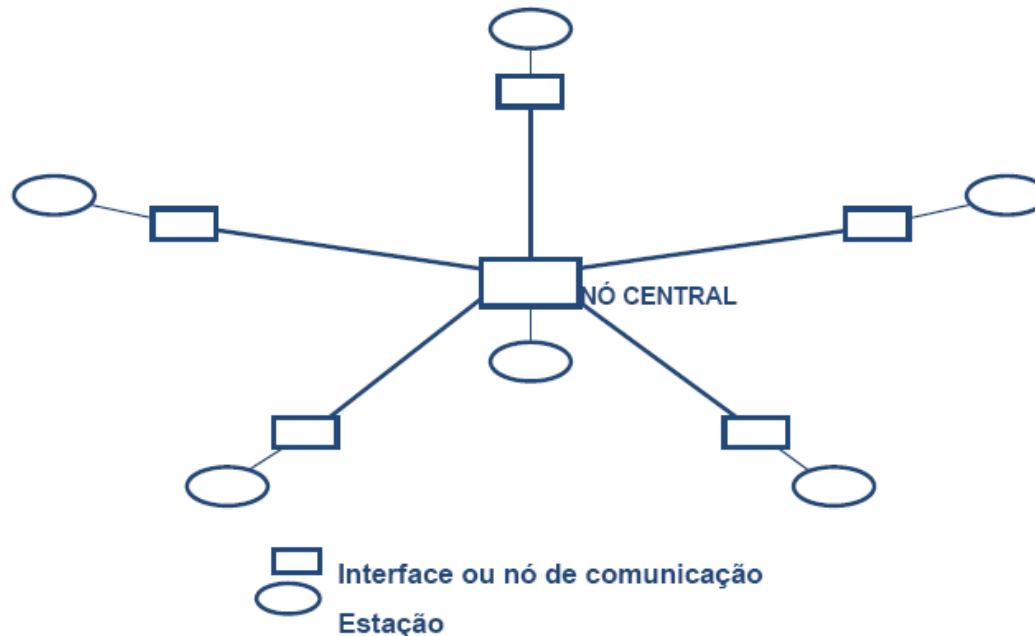


Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Malha Irregular
 - Vantagem
 - Arranjo de interconexões pode ser feito de acordo com o tráfego
 - Pode escolher por onde enviar a mensagem
 - Para evitar congestionamento
 - Desvantagem
 - Necessita de decisão de encaminhamento

Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Estrela
 - Decisões de encaminhamento centralizadas em um nó
 - Cada estação é conectada a esse nó central

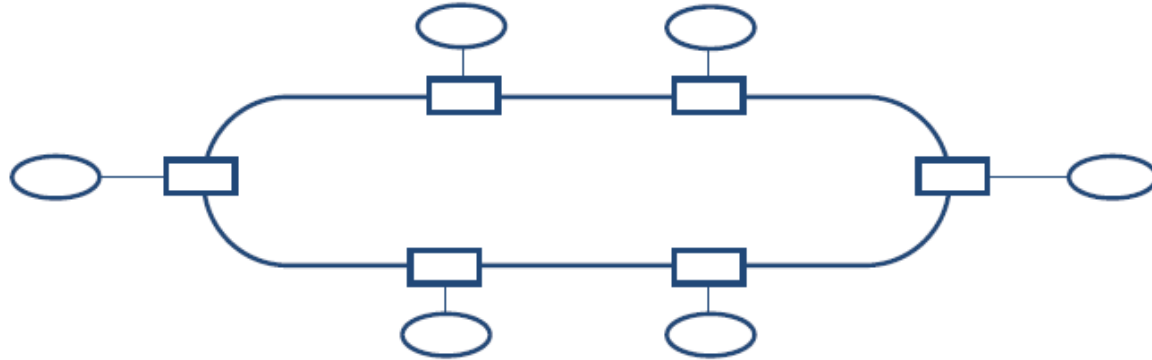



Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Estrela
 - Vantagem
 - Boa para situações onde o fluxo de informações é centralizado
 - Desvantagem
 - Dependência de um nó centralizado pode ser uma desvantagem quando o fluxo não é centralizado
 - Problema de confiabilidade no nó central
 - Usada principalmente em redes locais

Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Anel
 - Mensagens circulam nó-a-nó até o destino
 - Tem de reconhecer o próprio nome (endereço) nas mensagens e copiar as que lhe são destinadas



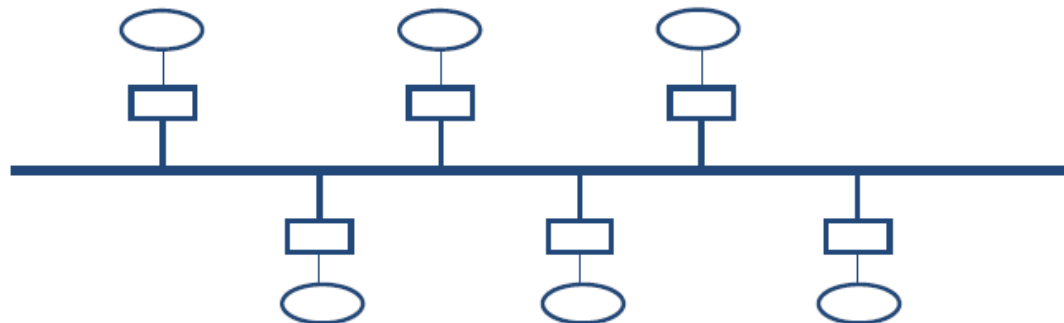
 Interface ou nó de comunicação
 Estação



Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Anel
 - Vantagens
 - Boa para situações onde o fluxo de informações não é centralizado
 - Não há necessidade de decisões de encaminhamento
 - Como o processamento é mais simples, pode-se obter um melhor desempenho de atraso e vazão
 - Desvantagens
 - Necessita de mecanismos de acesso ao meio compartilhado
 - Confiabilidade da rede depende da confiabilidade individual dos nós intermediários
 - Usada principalmente em redes metropolitanas

Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Barramento
 - Mensagens transferidas sem a participação dos nós intermediários
 - Todas as estações "escutam" as mensagens
 - Necessidade de reconhecer o próprio nome (endereço)



 Interface ou nó de comunicação
 Estação

Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Barramento
 - Vantagens
 - Não há necessidade de decisões de encaminhamento
 - Como não há armazenamento intermediário, pode-se obter um melhor desempenho em termos de atraso e vazão
 - Desvantagem
 - Necessita de mecanismos de acesso ao meio compartilhado
 - Usada principalmente em redes locais

Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Topologias híbridas
 - Existem ainda as configurações híbridas
 - Anel-estrela
 - Barramento-estrela
 - Estrela-anel
 - Árvore de barramentos

Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Topologias híbridas
 - Existem ainda as configurações híbridas
 - Anel-estrela
 - Barramento-estrela
 - Estrela-anel
 - Árvore de barramentos

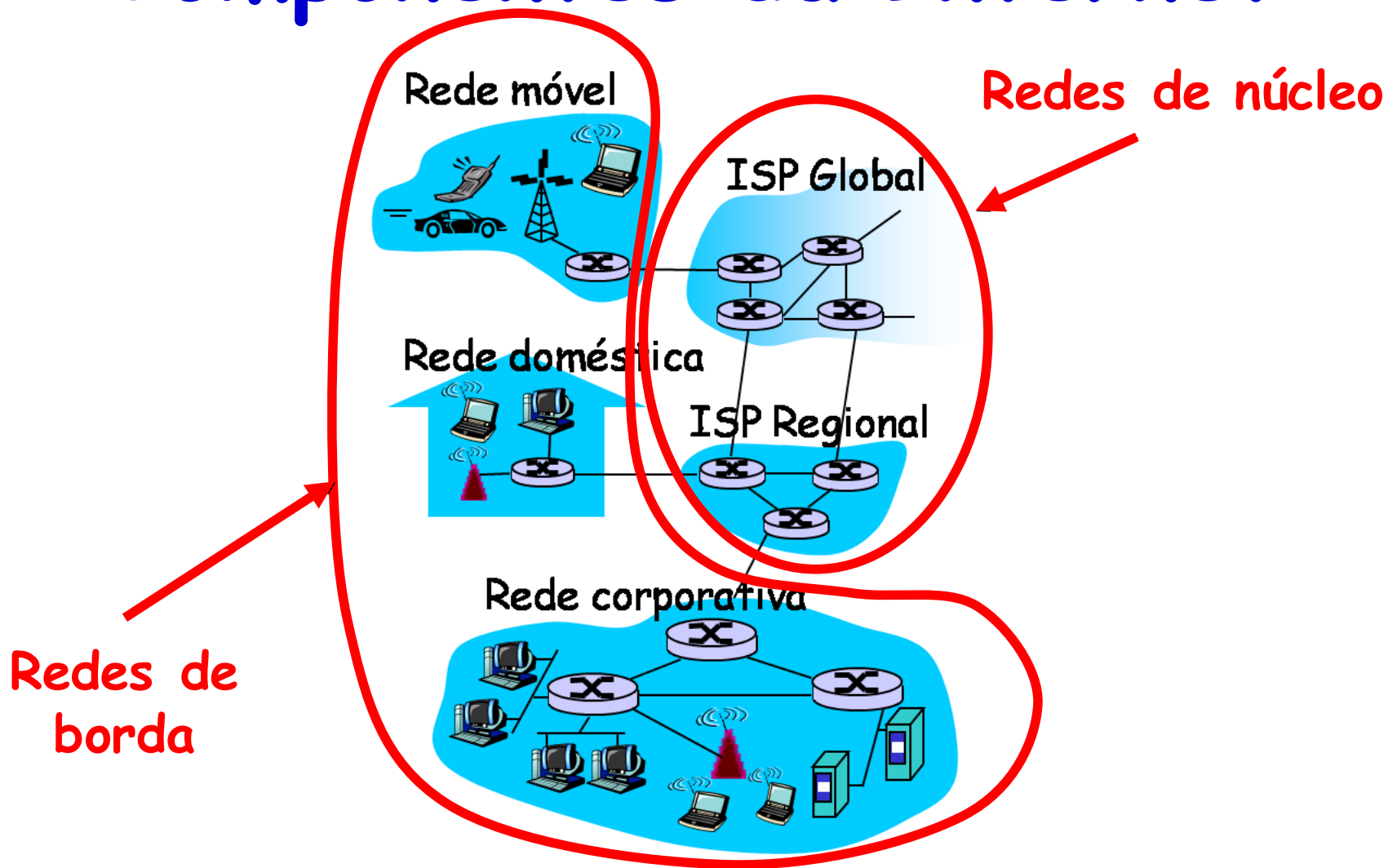


E a Internet, como poderia ser classificada?

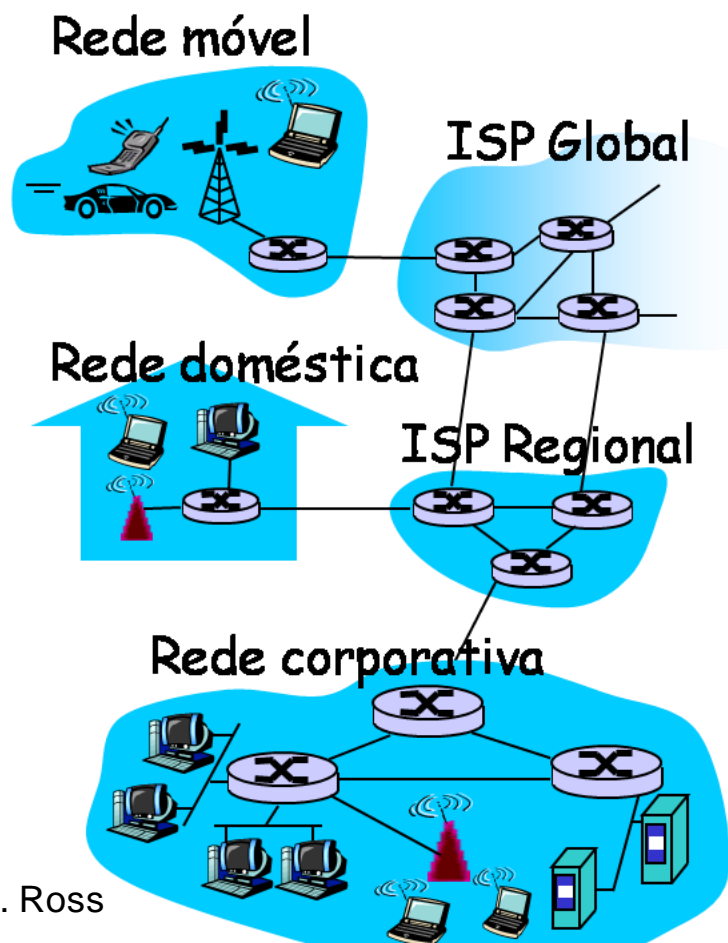
Como a Internet pode ser classificada?

- Rede complexa que combina outras redes:
 - Com diferentes extensões geográficas
 - Com diferentes topologias
- Muitas vezes, as redes são classificadas conforme o seu papel funcional
 - Redes de borda (ou redes periféricas)
 - **Sistemas finais e redes de acesso**
 - Redes de núcleo (ou redes de provedores de serviço)
 - **Roteadores e redes dorsais (backbones)**

Componentes da Internet



Componentes da Internet

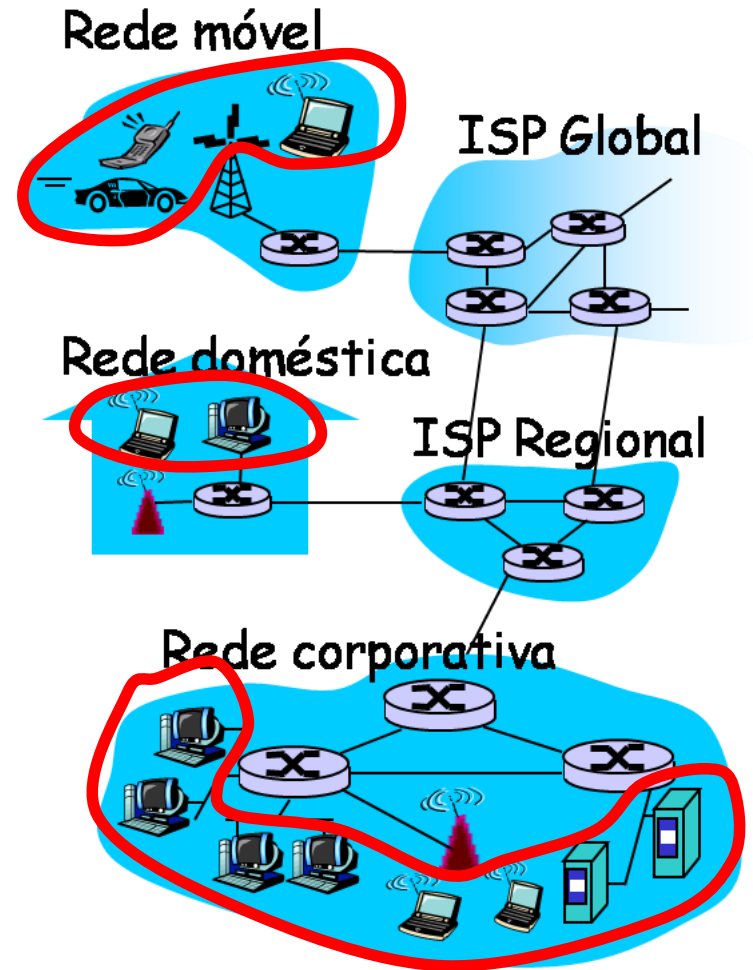


Adaptado de J.F Kurose e K.W. Ross

A Internet é uma "rede de redes" com extensões geográficas, topologias e papéis diferentes

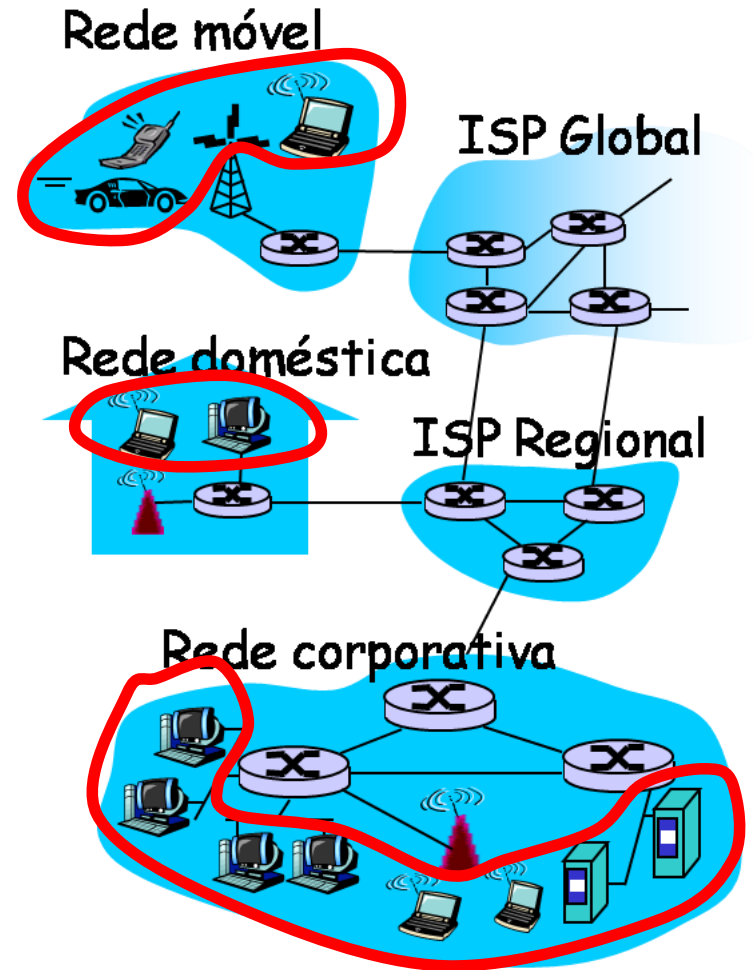
Redes de Borda

- Estações hospedeiras (hosts) ou sistemas finais
 - Sistemas finais: Encontram-se na borda da rede
 - Podem ser tanto clientes quanto servidores
 - Hospedeiros: Executam os programas de aplicação
 - ex., WWW, email



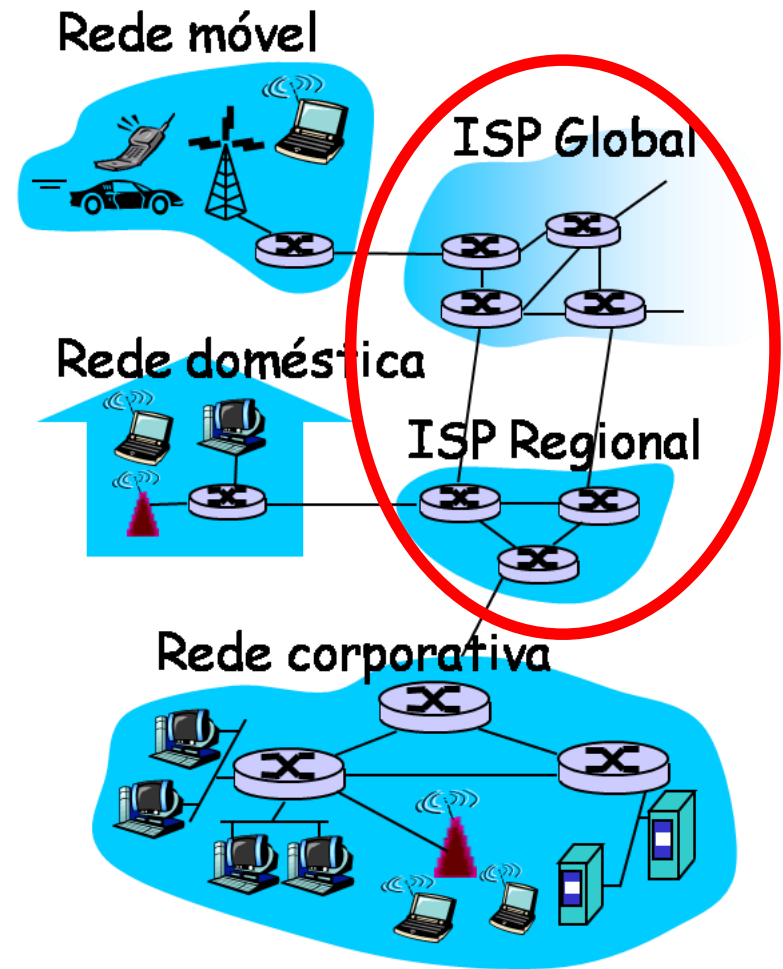
Redes de Borda

- Tecnologias de redes de acesso
 - Acesso ADSL
 - Acesso a cabo
 - Acesso 3G/4G
 - Entre outras...



Redes de Núcleo

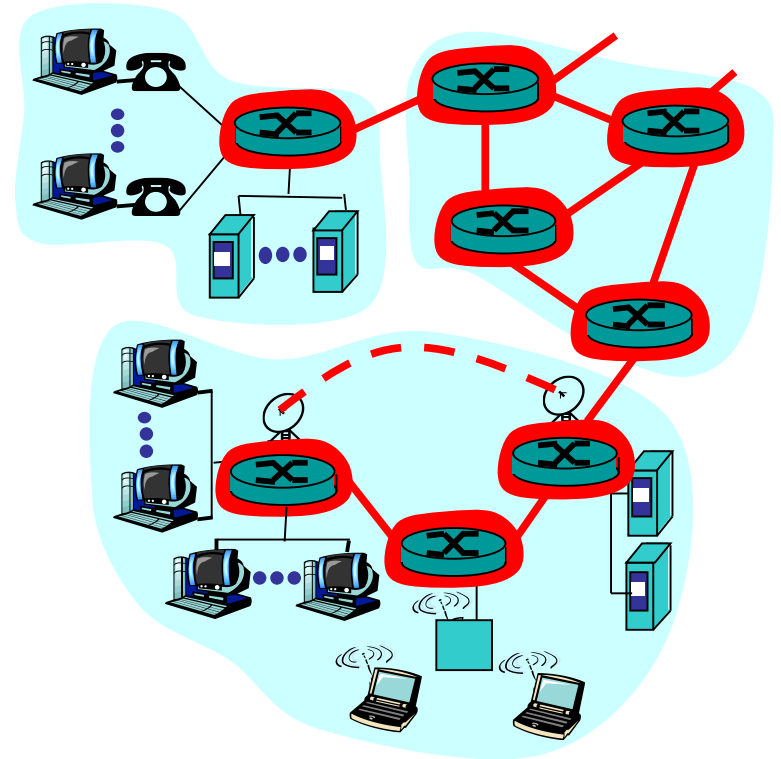
- Provedores de rede de grande capacidade
- Interconectam diversas redes



Adaptado de J.F Kurose e K.W. Ross

Transferência de Dados

- Núcleo da rede
 - Malha de roteadores interconectados
- Como os dados são transferidos através da rede?
 - Comutação de circuitos
 - Circuito dedicado por chamada: rede telefônica
 - Comutação de pacotes
 - Dados são enviados através da rede em pedaços discretos



Transferência de Dados

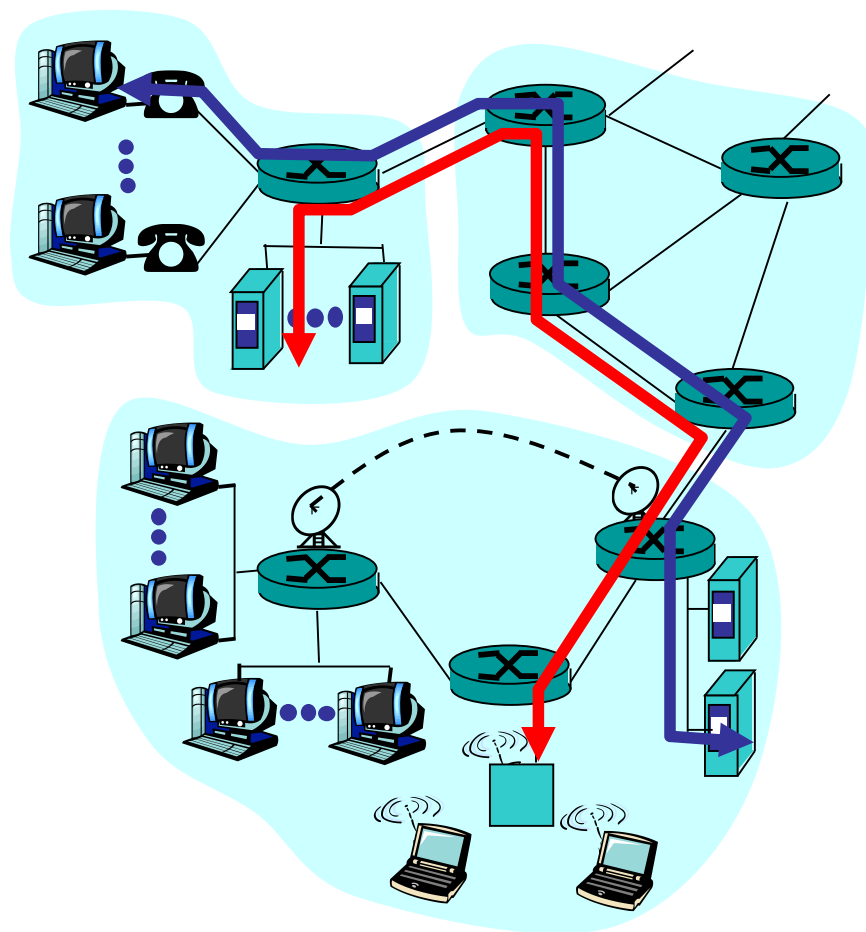
- Núcleo da rede
 - Malha de roteadores interconectados
- Como os dados são transferidos através da rede?
 - Comutação de circuitos
 - Circuito dedicado
 - Comutação de pacotes
 - Dados são enviados através da rede em pedaços discretos



A Internet é uma rede de comutação de pacotes

Comutação de Circuitos

- Recursos fim-a-fim são **reservados** para a chamada
 - Banda do enlace, capacidade dos comutadores
 - Recursos dedicados
 - Garantia de desempenho
 - Estabelecimento de conexão



Comutação de Circuitos

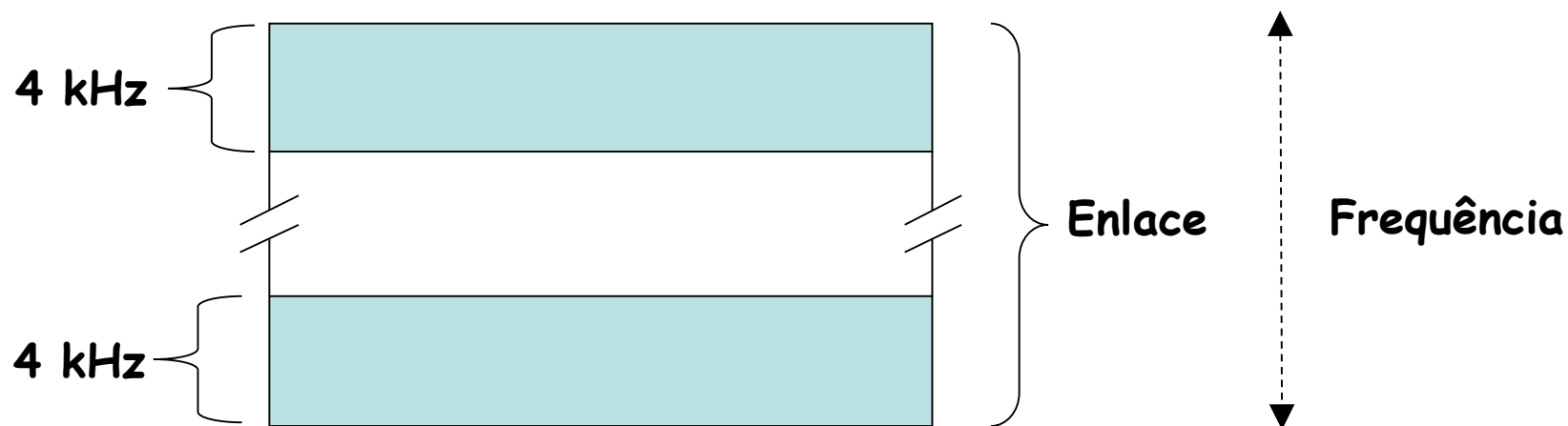
- Recursos da rede são **divididos em "fatias"**
 - Ex.: banda passante
- Fatias alocadas às chamadas
- A fatia do recurso fica **ociosa** se não for usado pelo seu dono
 - Não há compartilhamento
- Como é feita a divisão da banda de um canal em "fatias" (multiplexação)
 - Divisão de frequência
 - Divisão de tempo

Comutação de Circuitos

- Comunicação em três fases
 - Estabelecimento do circuito (conexão)
 - Determinação e alocação de uma rota entre as estações
 - Alocação de um canal por enlace
 - Transferência de dados
 - Desconexão do circuito

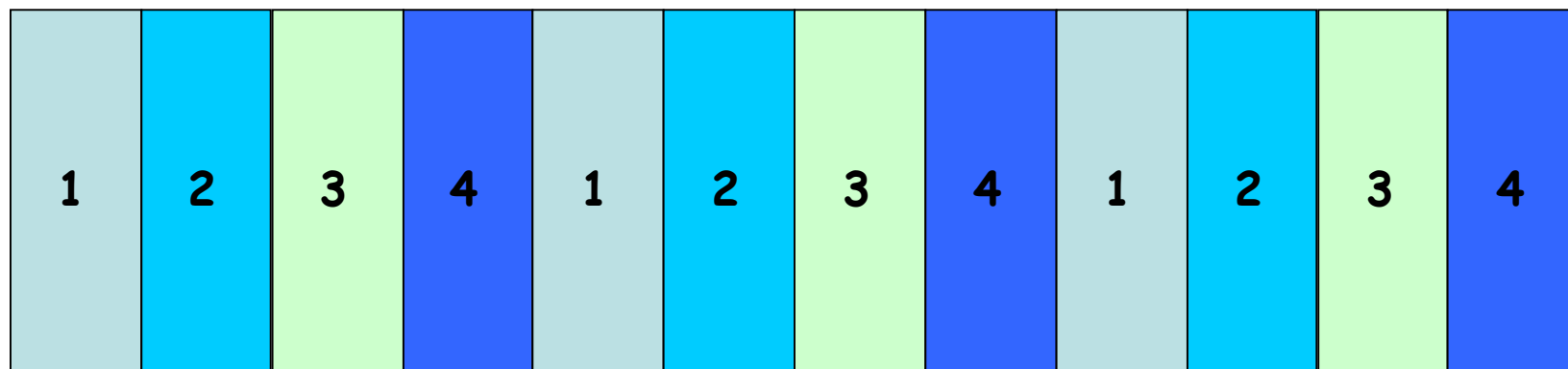
Comutação de Circuitos

FDM



Comutação de Circuitos

TDM



Compartilhamento

Quadro

tempo

Comutação de Circuitos

- Após o estabelecimento, tem-se a impressão que há uma ligação direta entre as estações
- Atrasos
 - Estabelecimento de conexão
 - Transmissão
 - Número de bits / taxa de transmissão
 - Propagação
 - Distância entre nós / velocidade de propagação
- Ex.: rede telefônica
 - Conexão (circuito) precisa ser estabelecida para a comunicação iniciar

Comutação de Circuitos

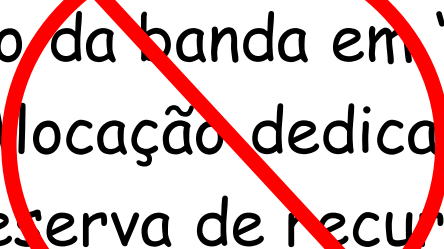
- Vantagens
 - Garantia de recursos
 - Disputa pelo acesso somente na fase de conexão
 - Não há processamento nos nós intermediários
 - Menor tempo de transferência
 - Controle nas extremidades

Comutação de Pacotes

- Cada fluxo de dados fim a fim é **dividido em pacotes**
 - Pacotes de diferentes usuários **compartilham** os recursos da rede
 - Cada pacote usa toda a banda disponível do canal
 - Recursos são usados sob demanda

Comutação de Pacotes

- Cada fluxo de dados fim a fim é **dividido em pacotes**
 - Pacotes de diferentes usuários **compartilham** os recursos da rede
 - Cada pacote usa toda a banda disponível do canal
 - Recursos são usados sob demanda


Divisão da banda em "fatias"
Alocação dedicada
Reserva de recursos

Comutação de Pacotes

- Pacotes contém dados e cabeçalho (informação de controle) → maior *overhead*
 - Cabeçalho inclui informação para permitir a escolha de uma rota (roteamento) para o pacote

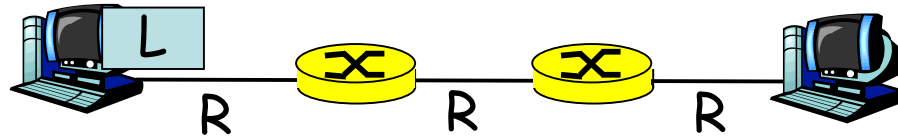
Comutação de Pacotes

- Disputa por recursos
 - A demanda total pode superar a quantidade disponível de recursos
 - Possibilidade de congestionamento
 - Pacotes são enfileirados, esperam para usar o enlace
 - Filas têm tamanho finito e portanto podem provocar descarte de pacotes
 - Armazena e reenvia (store and forward)
 - Pacotes transmitidos salto-a-salto
 - Transmite num enlace
 - Espera a vez no próximo

Comutação de Pacotes

- Nós intermediários (comutadores de pacotes, também chamados roteadores) têm a função de encaminhar os pacotes
 - Nós armazenam e processam
 - Roteamento, controle de fluxo e controle de erros
- Pode-se usar prioridades

Comutação de Pacotes: armazena-e-reenvia

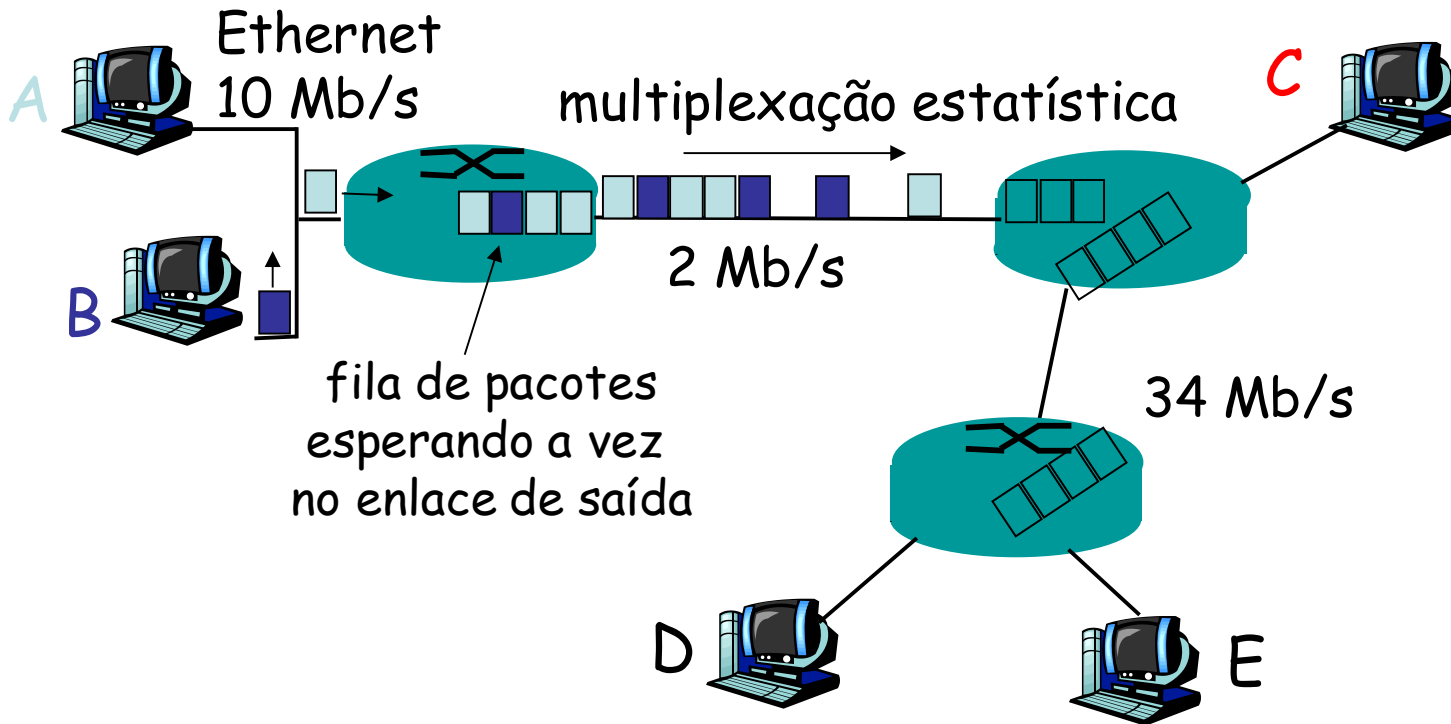


- Leva L/R segundos para transmitir um pacote de L bits em um canal de R bits/s
- Todo o pacote deve chegar ao roteador antes que possa ser transmitido no próximo canal:
armazena e reenvia

Comutação de Pacotes

- Multiplexação estatística
 - Pacotes de diferentes fontes compartilham um meio físico sob demanda
 - Ordem dos pacotes é aleatória ou estatística
 - Diferente do TDM

Comutação de Pacotes



As sequências de pacotes A e B são atendidas por demanda

□ ***multiplexação estatística***

Comutação de Pacotes

- Atrasos
 - Processamento
 - Avaliação do cabeçalho e para onde direcionar o pacote
 - Enfileiramento
 - Pacote espera em uma fila para ser transmitido
 - Influi mais quando a rede está congestionada
 - Se a fila está cheia → perda do pacote
 - Transmissão
 - Número de bits / taxa de transmissão
 - Kurose chama de atraso de armazenagem e reenvio
 - Propagação
 - Distância entre nós / velocidade de propagação

Comutação de Pacotes

- Vantagens
 - Uso otimizado do meio
 - Ideal para dados
 - Erros recuperados no enlace onde ocorreram

Comutação de Pacotes

- Desvantagens
 - Sem garantias de banda, atraso e variação do atraso (*jitter*)
 - Podem usar diferentes caminhos, com atrasos diferentes
 - Variação do atraso
 - Ruim para algumas aplicações tipo voz e vídeo
 - *Overhead* de cabeçalho
 - Disputa nó-a-nó
 - Atrasos de enfileiramento e de processamento a cada nó

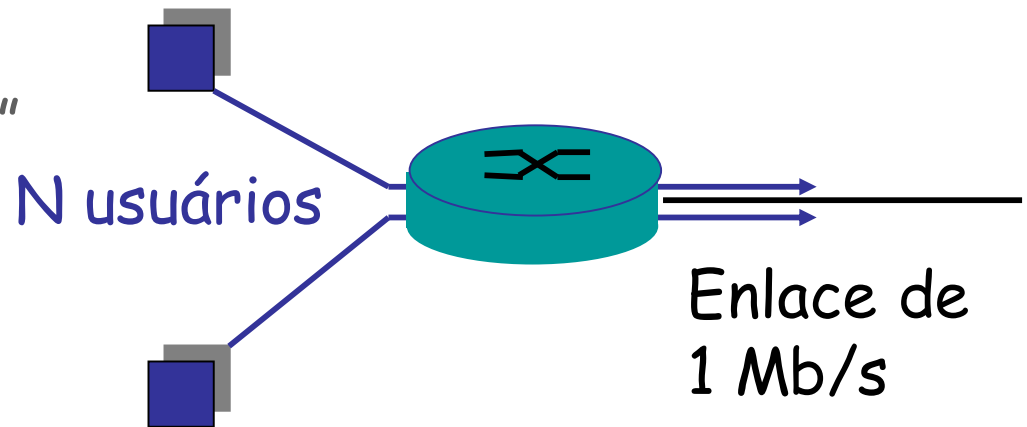
Comutação de Pacotes

- Quebra de pacote diminui o tempo de transmissão pois pode haver sobreposição
 - Transmissões em paralelo
- Porém um pacote muito pequeno pode aumentar o atraso
 - Cada pacote tem uma parte fixa de cabeçalho → mais pacotes implica mais cabeçalhos

Comutação de Pacotes Vs. Circuitos

A comutação de pacotes permite que mais usuários usem a rede!

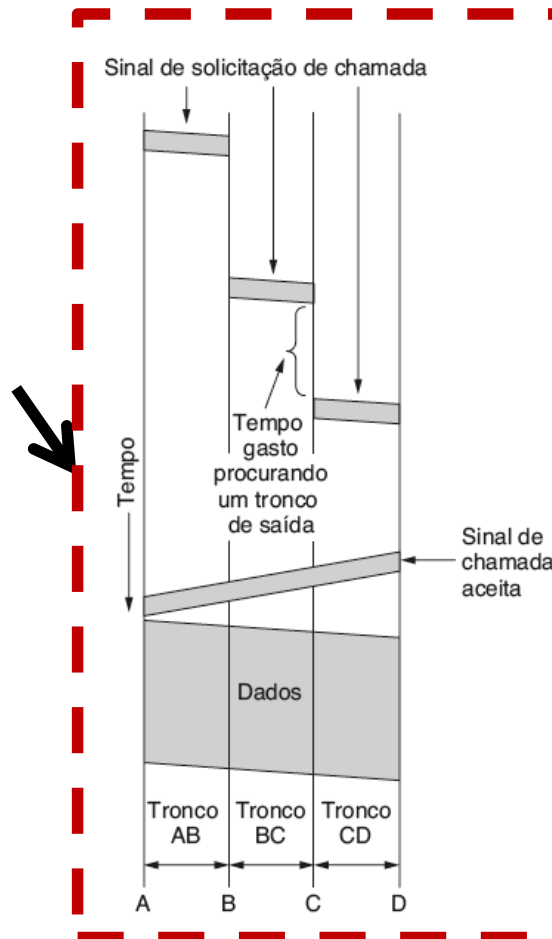
- Enlace de 1 Mb/s
- Cada usuário
 - 100 kb/s quando "ativo"
 - Ativo 10% do tempo
- Comutação por circuitos
 - 10 usuários
- Comutação por pacotes
 - com 35 usuários, a probabilidade de mais de 10 ativos é menor que 0,0004



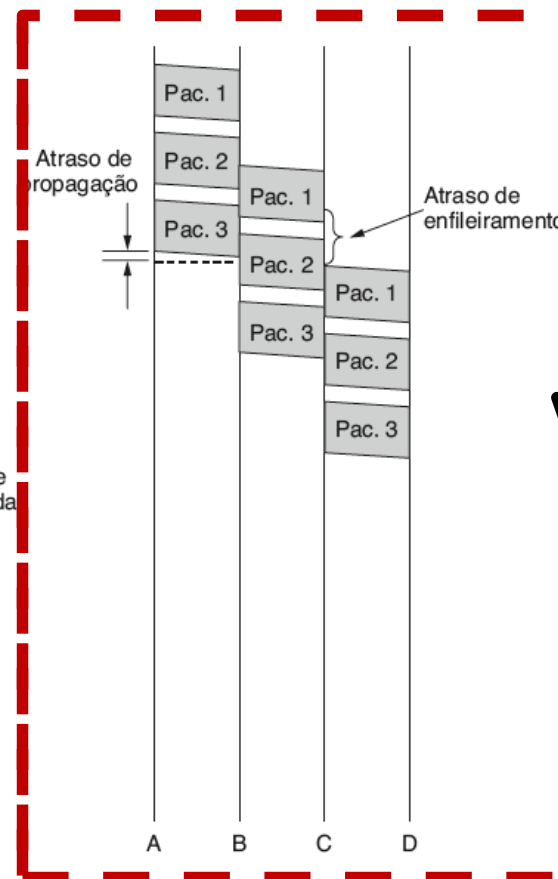
Comutação de Pacotes Vs. Circuitos

- Cronologia de eventos:

Comutação de circuitos



Comutação de pacotes



Comutação de Pacotes Vs. Circuitos

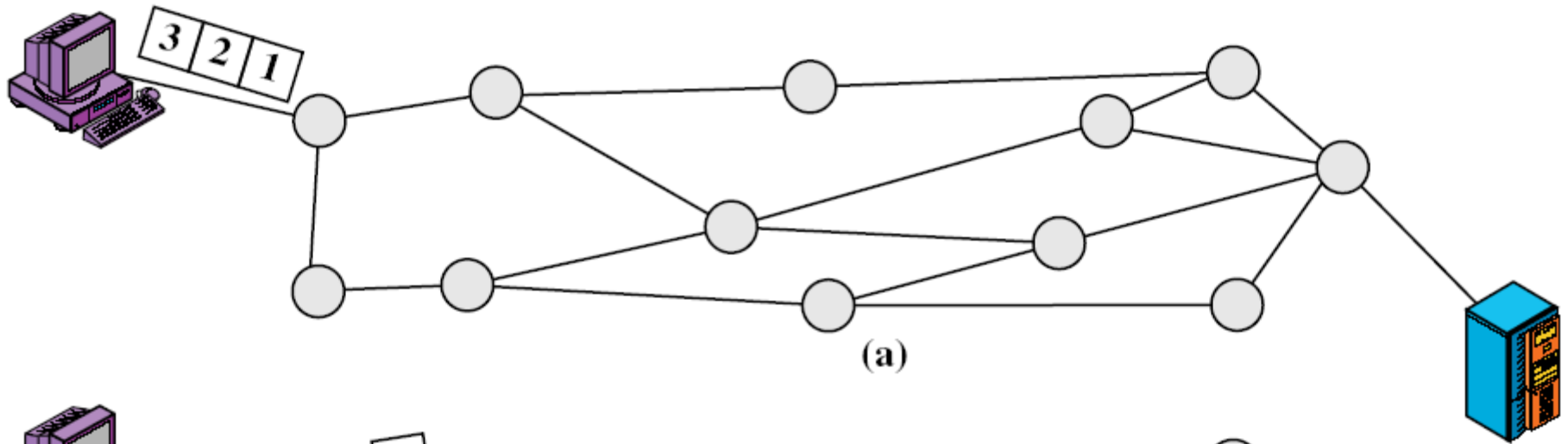
Item	Comutação de circuitos	Comutação de pacotes
Configuração de chamadas		
Caminho físico dedicado		
Cada pacote segue a mesma rota		
Os pacotes chegam em ordem		
A falha de um switch é fatal		
Largura de banda disponível		
Momento de possível congestionamento		
Largura de banda potencialmente desperdiçada		
Transmissão store-and-forward		
Tarifação		

Comutação de Pacotes Vs. Circuitos

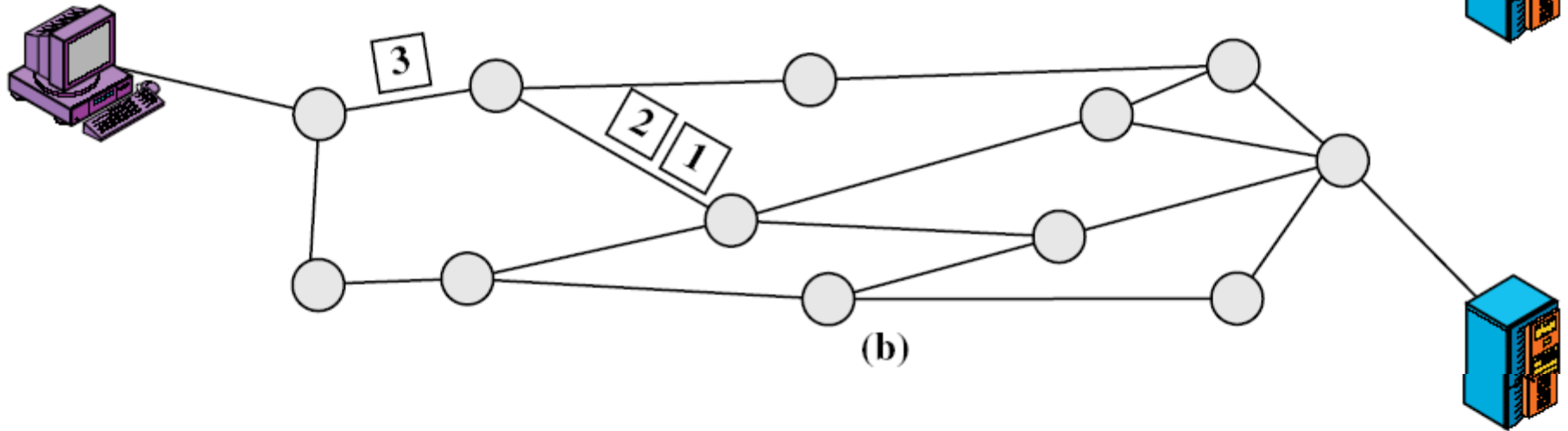
Item	Comutação de circuitos	Comutação de pacotes
Configuração de chamadas	Obrigatória	Não necessária
Caminho físico dedicado	Sim	Não
Cada pacote segue a mesma rota	Sim	Não
Os pacotes chegam em ordem	Sim	Não
A falha de um switch é fatal	Sim	Não
Largura de banda disponível	Fixa	Dinâmica
Momento de possível congestionamento	Durante a configuração	Em todos os pacotes
Largura de banda potencialmente desperdiçada	Sim	Não
Transmissão store-and-forward	Não	Sim
Tarifação	Por minuto	Por pacote

Comutação de Pacotes

(fonte: Stallings)



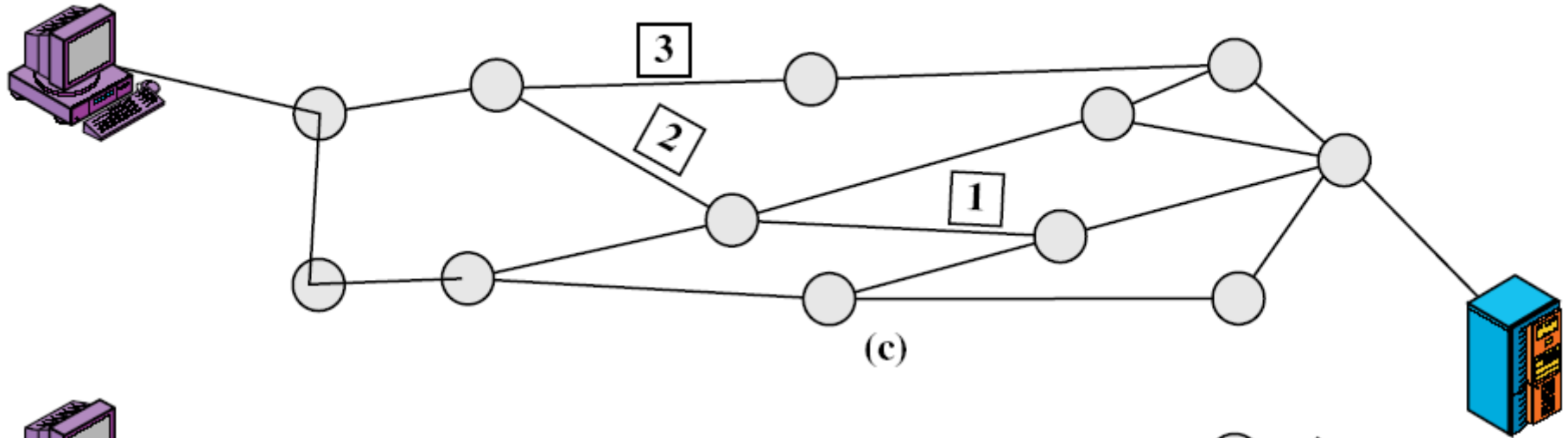
(a)



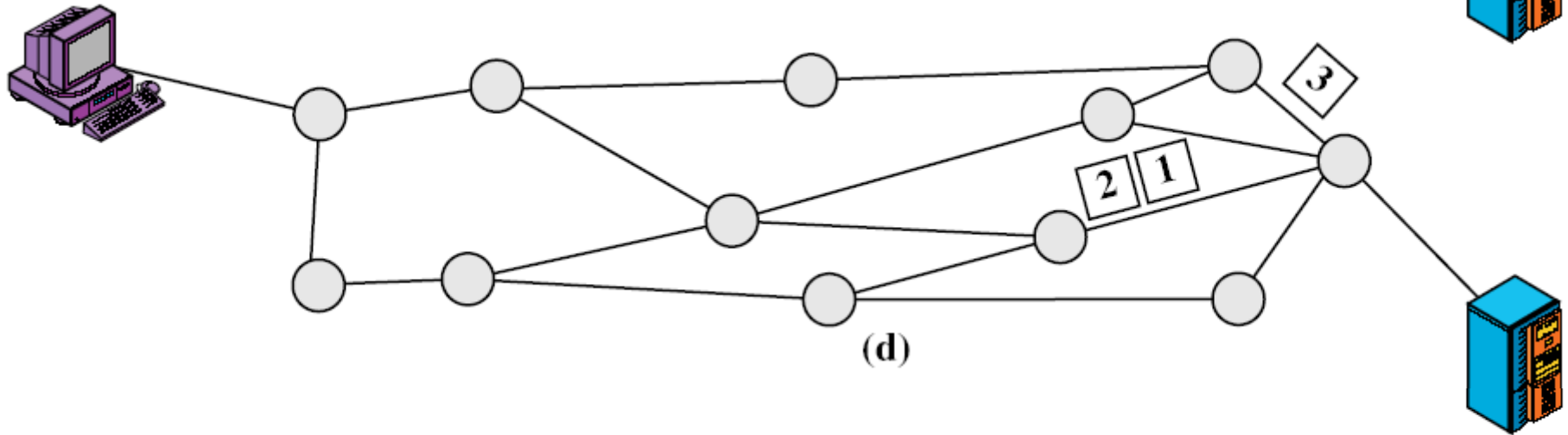
(b)

Comutação de Pacotes

(fonte: Stallings)



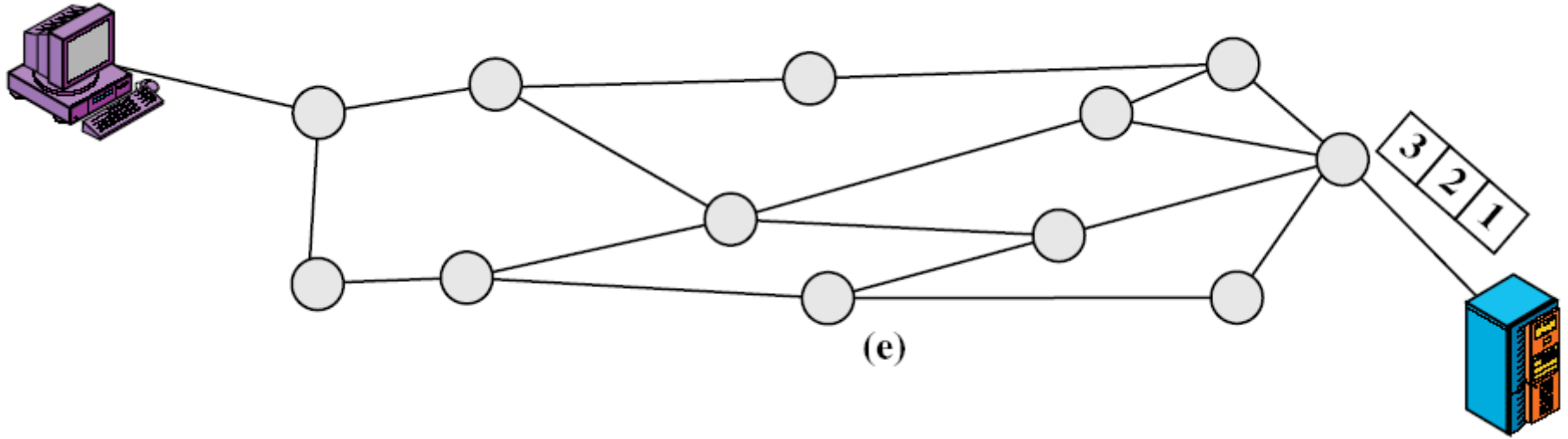
(c)



(d)

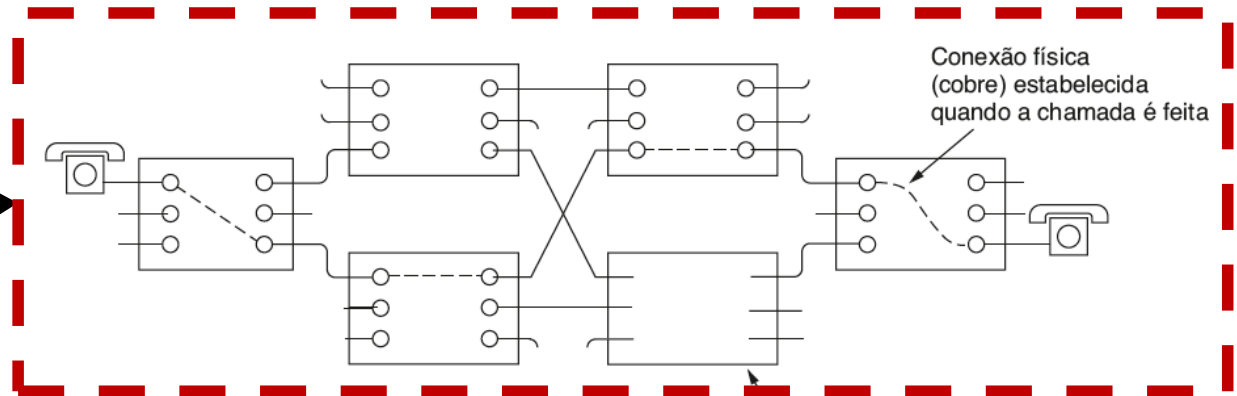
Comutação de Pacotes

(fonte: Stallings)

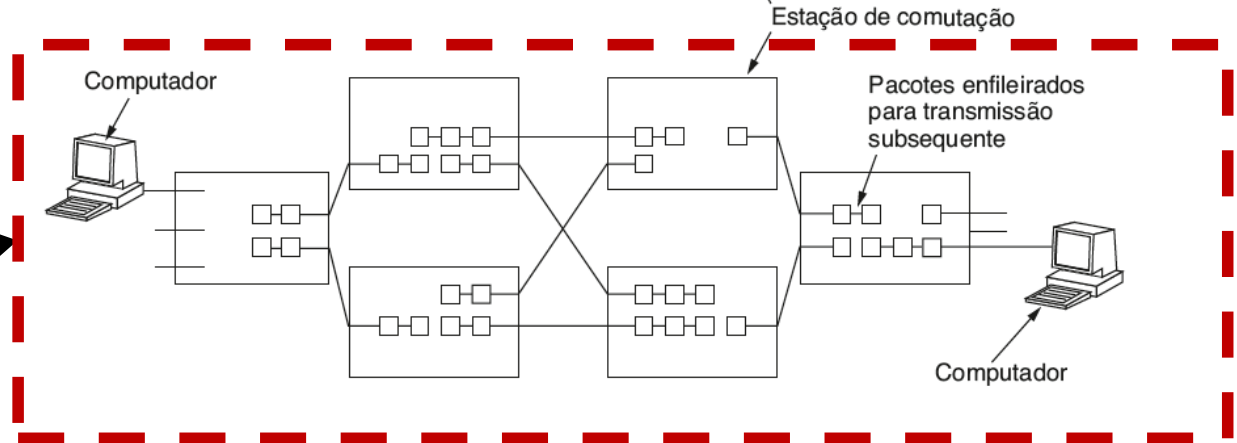


Comutação de Pacotes Vs. Circuitos

Comutação de circuitos



Comutação de pacotes



Camadas de Protocolos e Modelos de Serviços

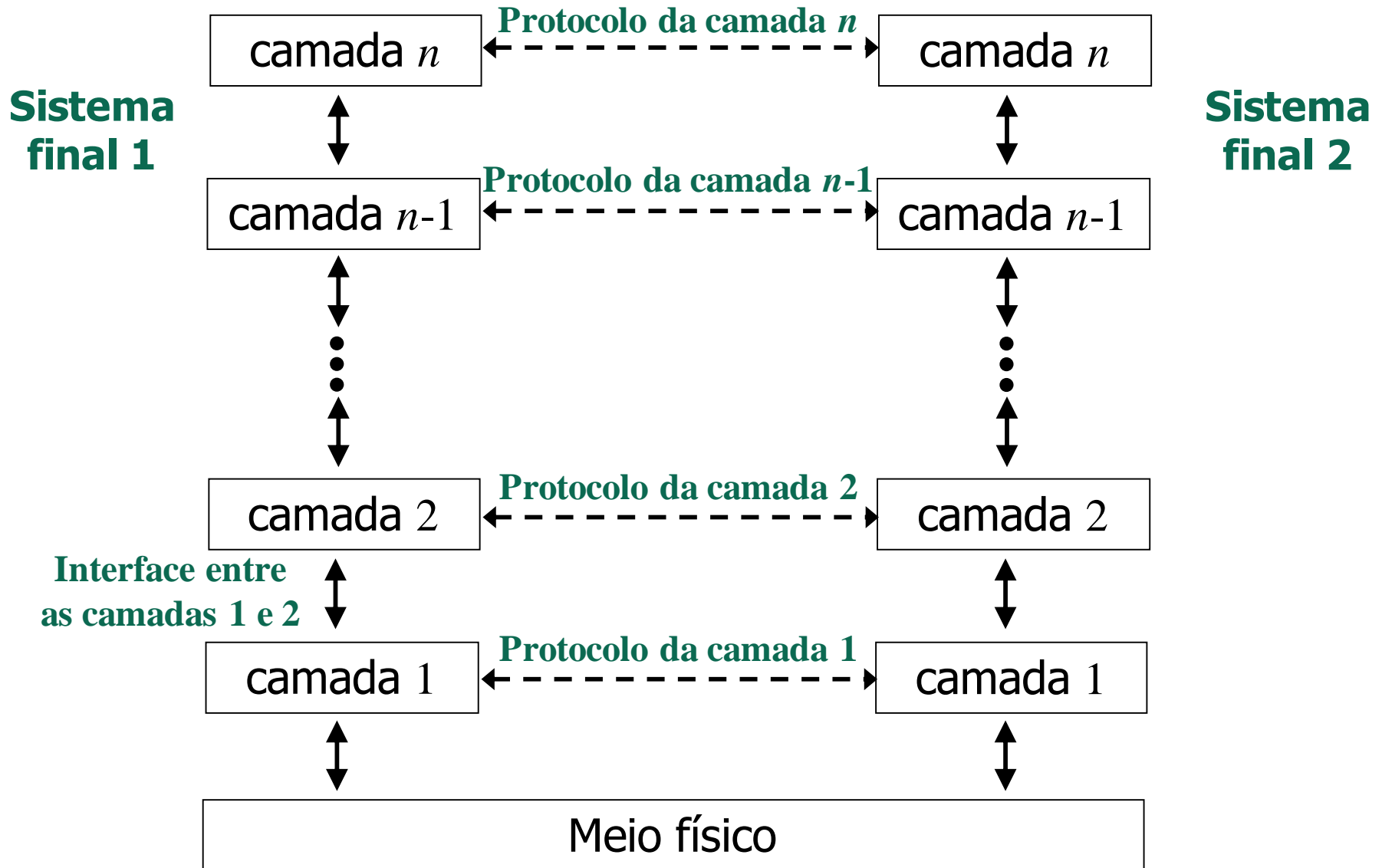
Arquitetura em Camadas

- Redes de computadores são complexas com diversas “peças”
 - Sistemas finais (laptops, smartphones, PCs, etc.)
 - Roteadores
 - Enlaces de vários tipos
 - Aplicações
 - Protocolos
 - Hardware
 - Software

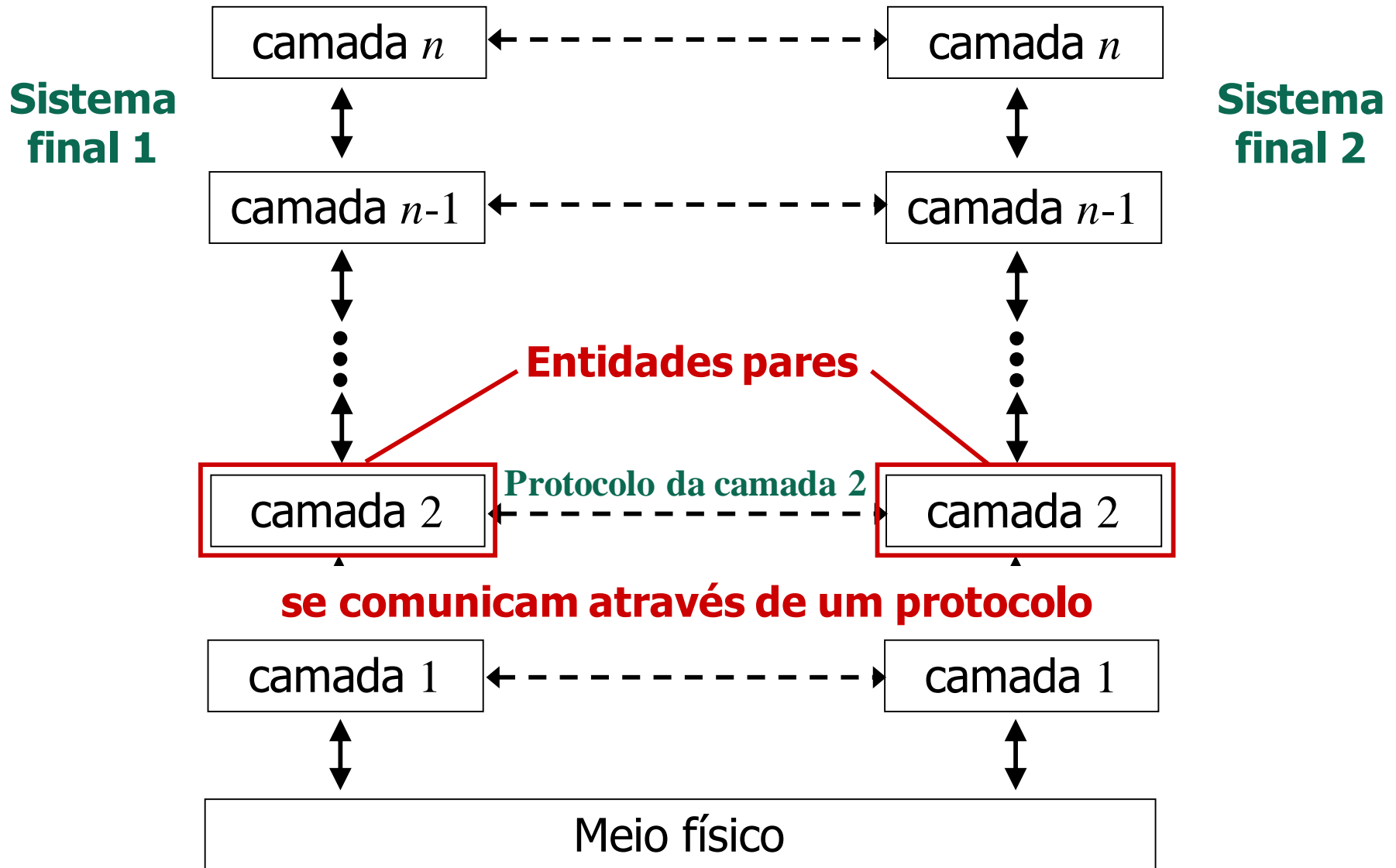
**Como organizar uma
estrutura tão complexa?**

... ou pelo menos a discussão sobre ela

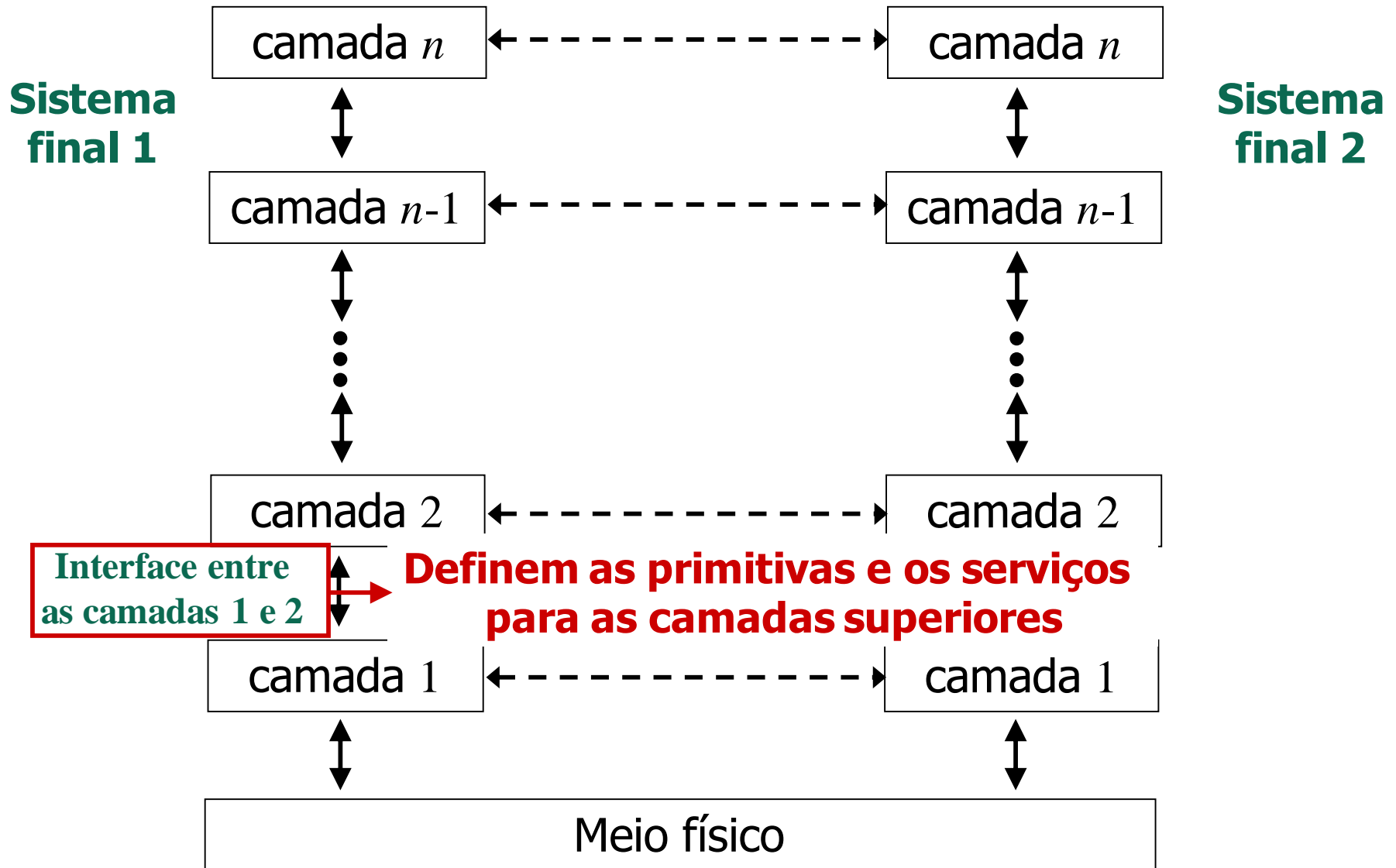
Arquitetura em Camadas



Arquitetura em Camadas



Arquitetura em Camadas



Por que utilizar camadas?

- Lidar com sistemas complexos
 - Estrutura explícita permite a identificação das diversas peças do sistema
- Modularização facilita a manutenção e a atualização do sistema
 - Mudança de uma parte do sistema é transparente para o resto do sistema
 - P.ex., mudanças no procedimento de embarque não afetam o sistema inteiro

Mais Conceitos

- Arquitetura de rede
 - Conjunto de protocolos e camadas
- Pilha de protocolos
 - Lista de protocolos usados por um sistema

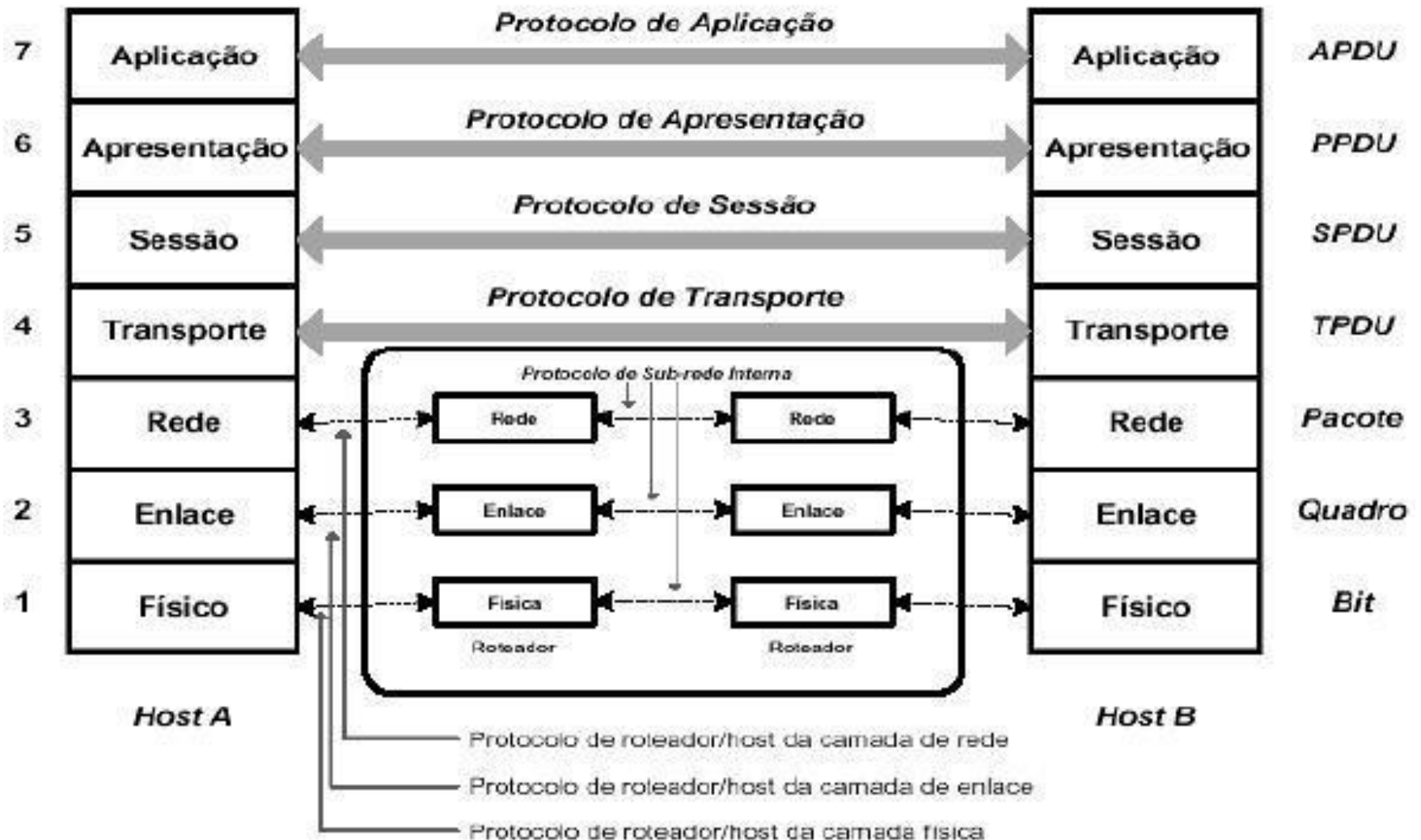
Arquiteturas de Rede

- Duas mais importantes
 - Modelo de referência OSI
 - Modelo TCP/IP

Modelo OSI

- OSI: *Open Systems Interconnection*
- Proposto pela ISO (*International Standards Organization*)
 - Década de 70
- **Sete camadas**
 1. Física
 2. Enlace
 3. Rede
 4. Transporte
 5. Sessão
 6. Apresentação
 7. Aplicação

Modelo OSI



Modelo OSI

- **Prós:** bastante geral e continua válido até hoje (mas não muito utilizado)
- **Contras:** protocolos associados ao modelo OSI são raramente usados
- **Críticas**
 - Complexidade
 - Cada camada deve desempenhar a sua função antes de encaminhar os dados para a camada seguinte
 - Rigidez de modelagem
 - Camadas diferentes não devem compartilhar informações
 - Mesmos serviços implementados por diferentes camadas
 - Ex.: correção de erros

Modelo TCP/IP

- Década de 80
- **Cinco/Quatro camadas**

1. Física

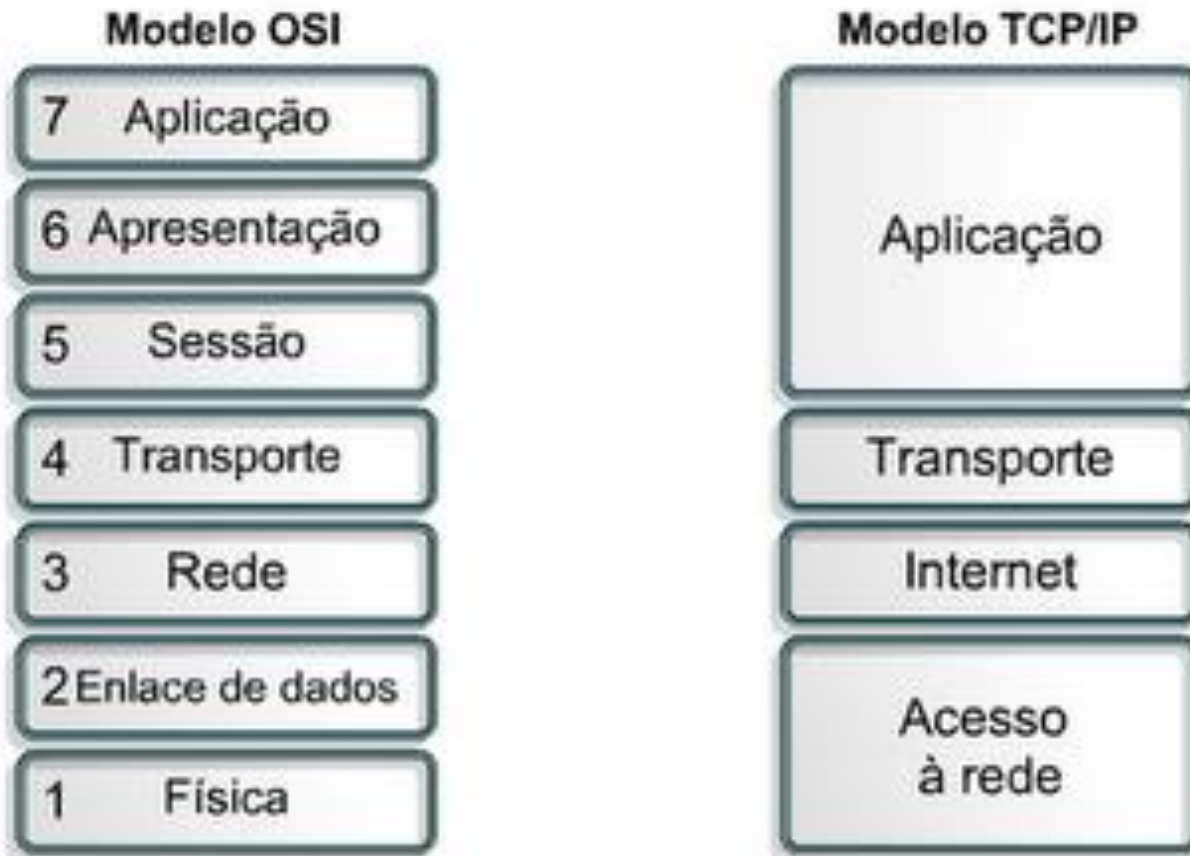
2. Enlace

3. Rede

4. Transporte

5. Aplicação

Modelo TCP/IP



Modelo TCP/IP

- **Prós:** protocolos associados ao modelo TCP/IP são amplamente usados
- **Contras:** camadas mais "restritas" do que no OSI
- O modelo OSI é apenas um modelo de referência
- O modelo TCP/IP define os protocolos para cada camada

Camadas do Modelo TCP/IP

- Aplicação
 - Suporte para aplicações de rede
 - Mensagens
 - Exs.: HTTP, SMTP, FTP, etc.
- Transporte
 - Comunicação fim-a-fim
 - Transferência de dados entre sistemas finais
 - Segmentos
 - Exs.: TCP, UDP

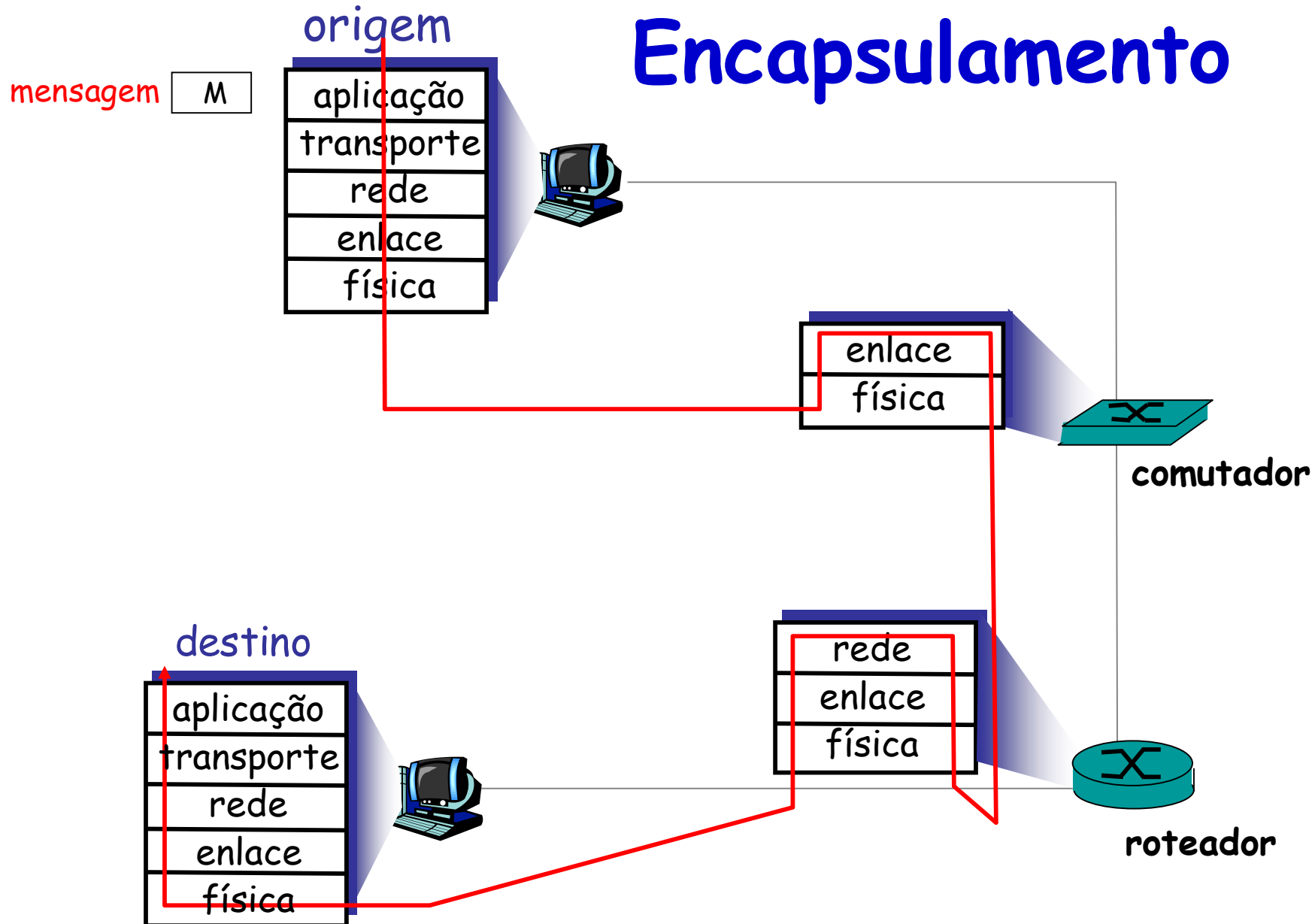
Camadas do Modelo TCP/IP

- Rede
 - Encaminhamento e roteamento*
 - Datagramas
 - Ex.: IP
- Enlace
 - Comunicação salto-a-salto
 - Transferência de dados entre elementos de rede vizinhos
 - Quadros
 - Exs.: Ethernet, PPP, WiFi, etc.

Camadas do Modelo TCP/IP

- Física
 - Transmissão dos bits "no fio"
 - Modulação e codificação

Encapsulamento



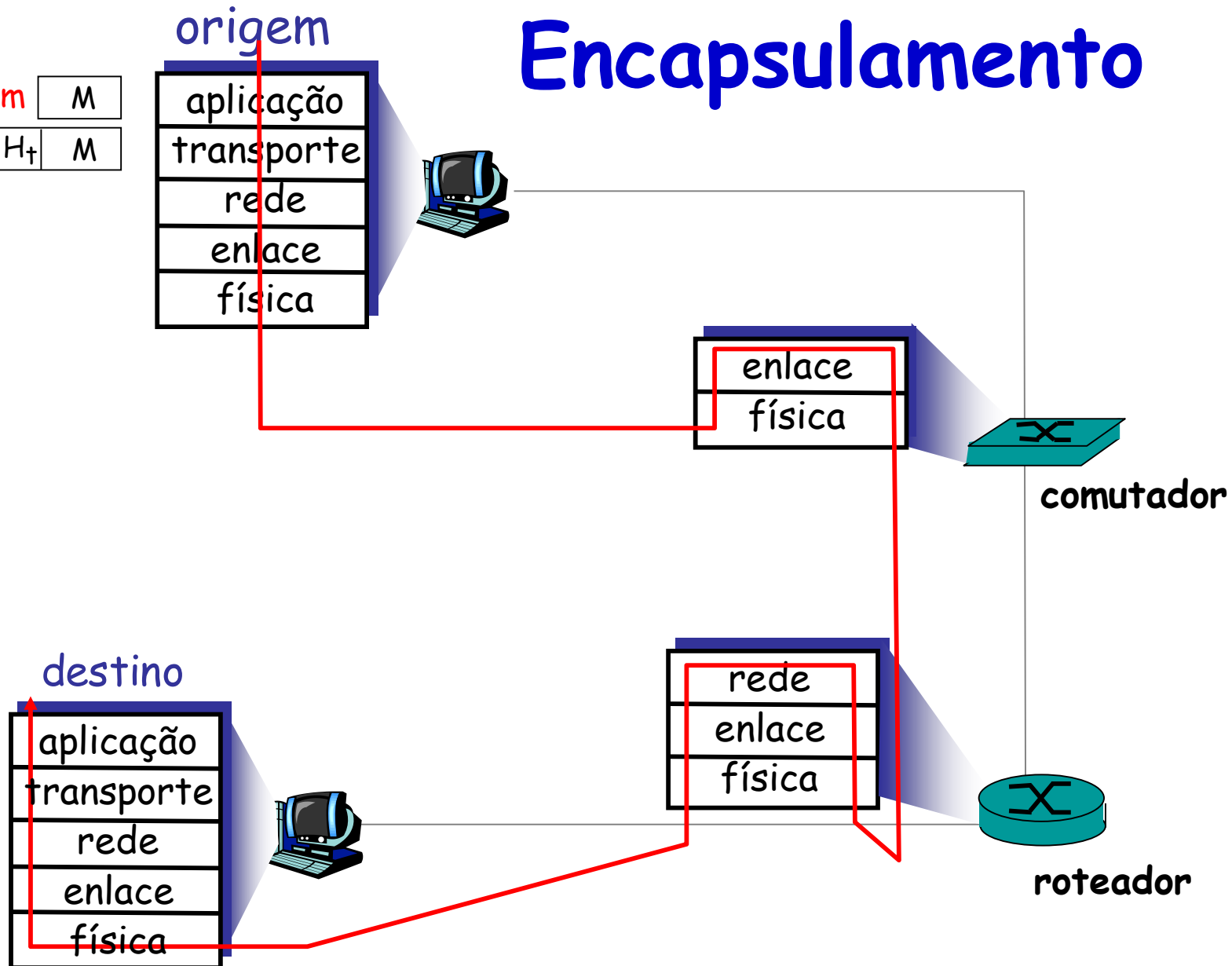
Encapsulamento

mensagem

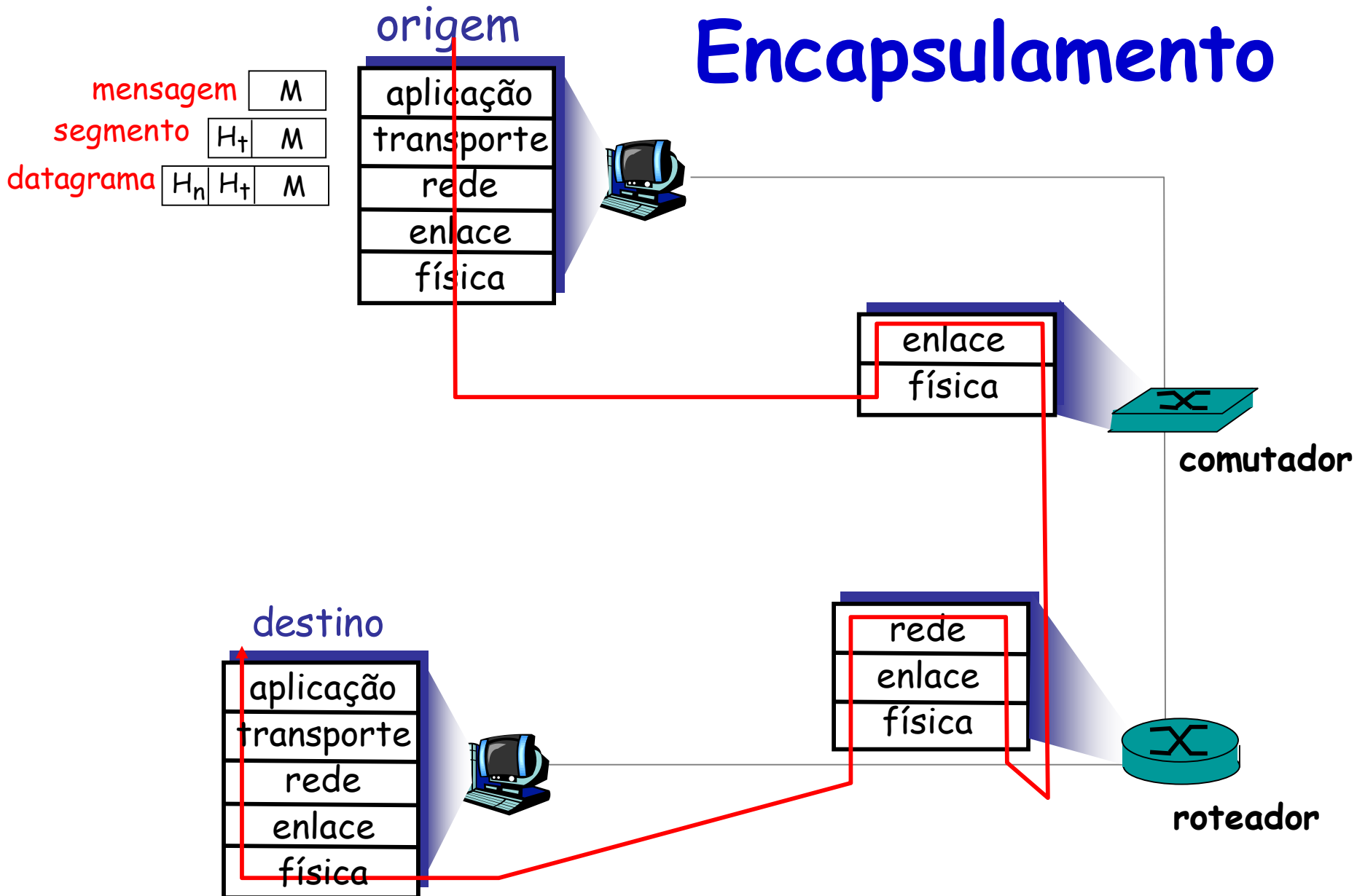
M

segmento

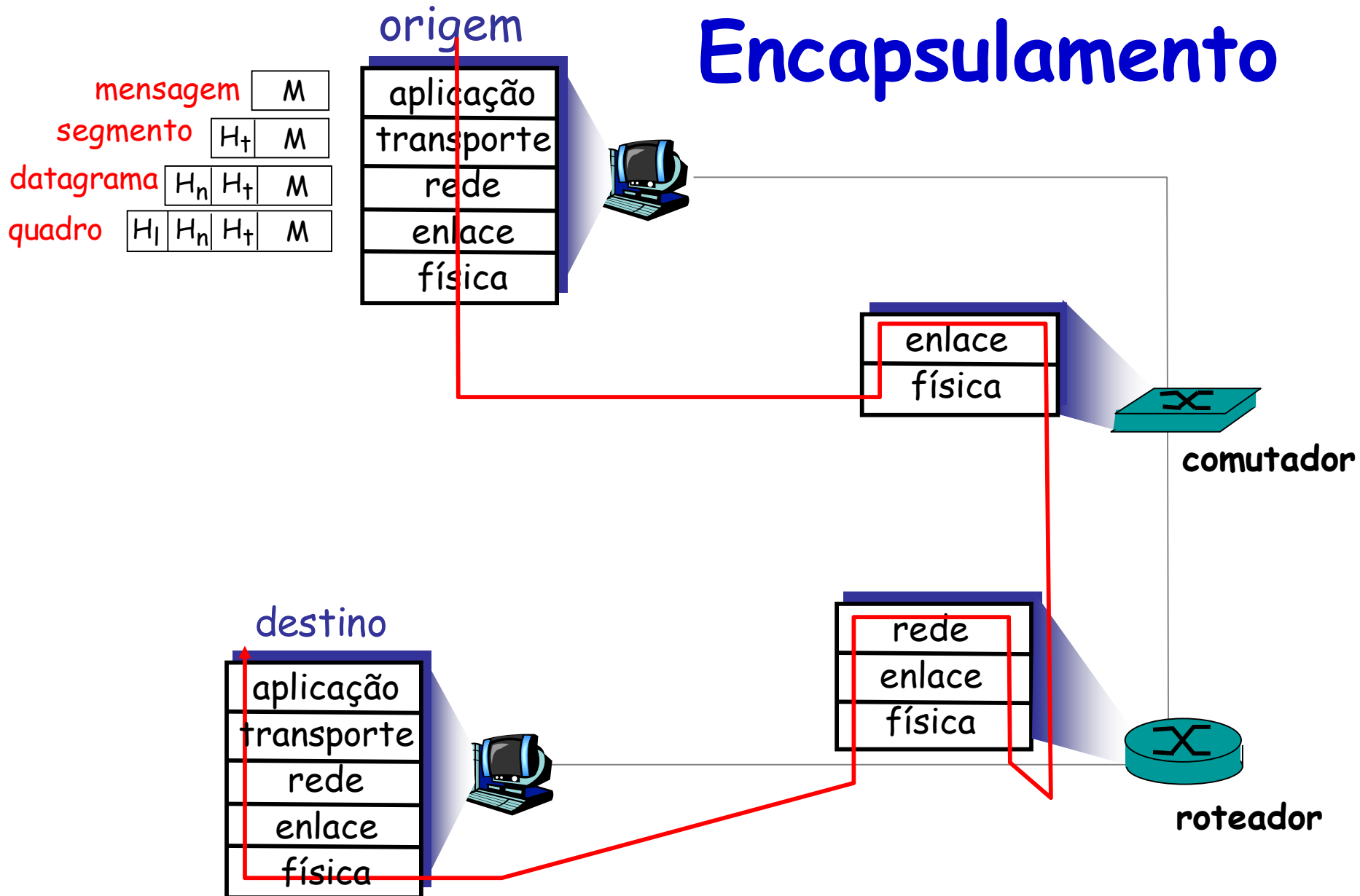
H+	M
----	---



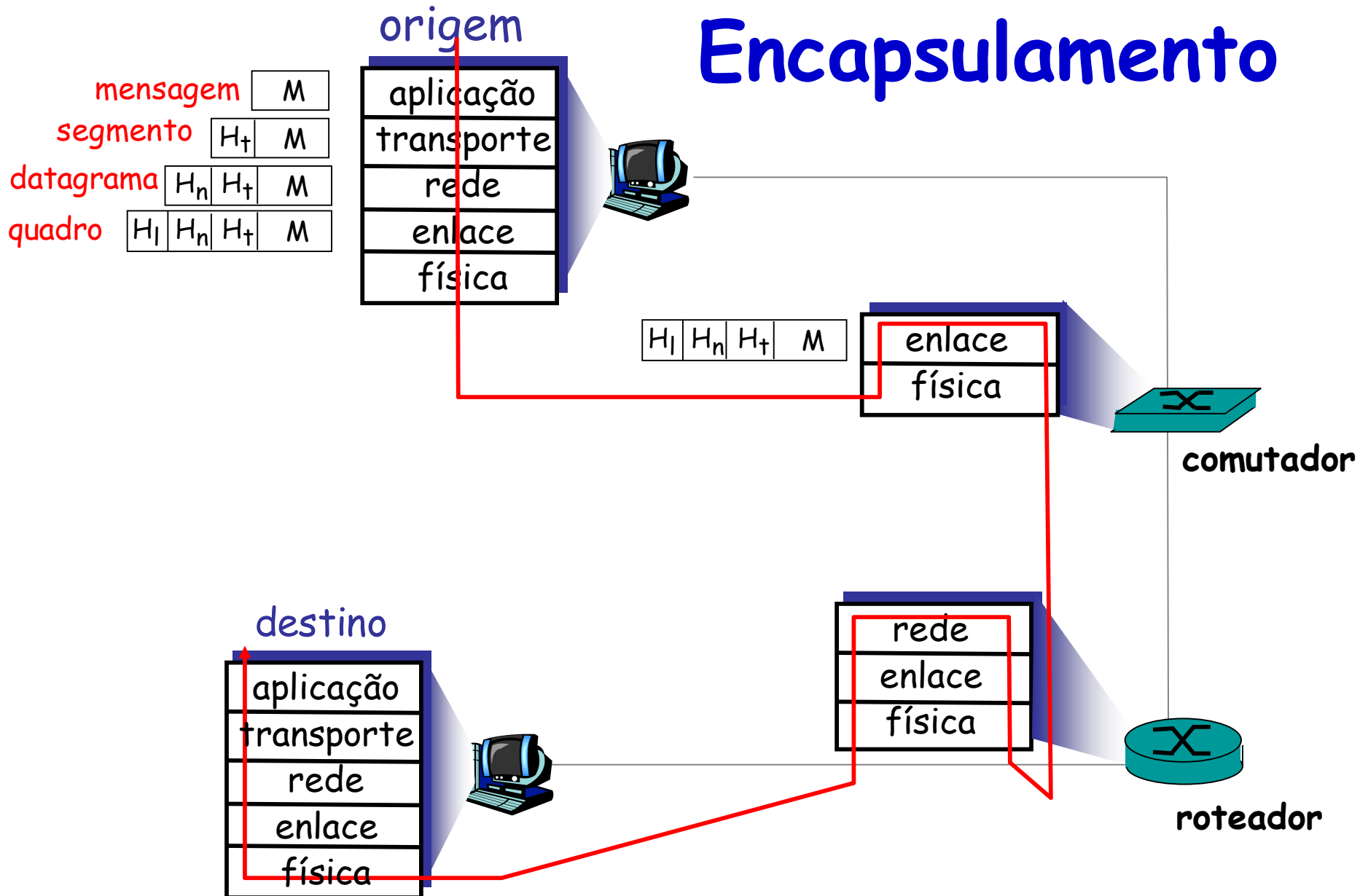
Encapsulamento



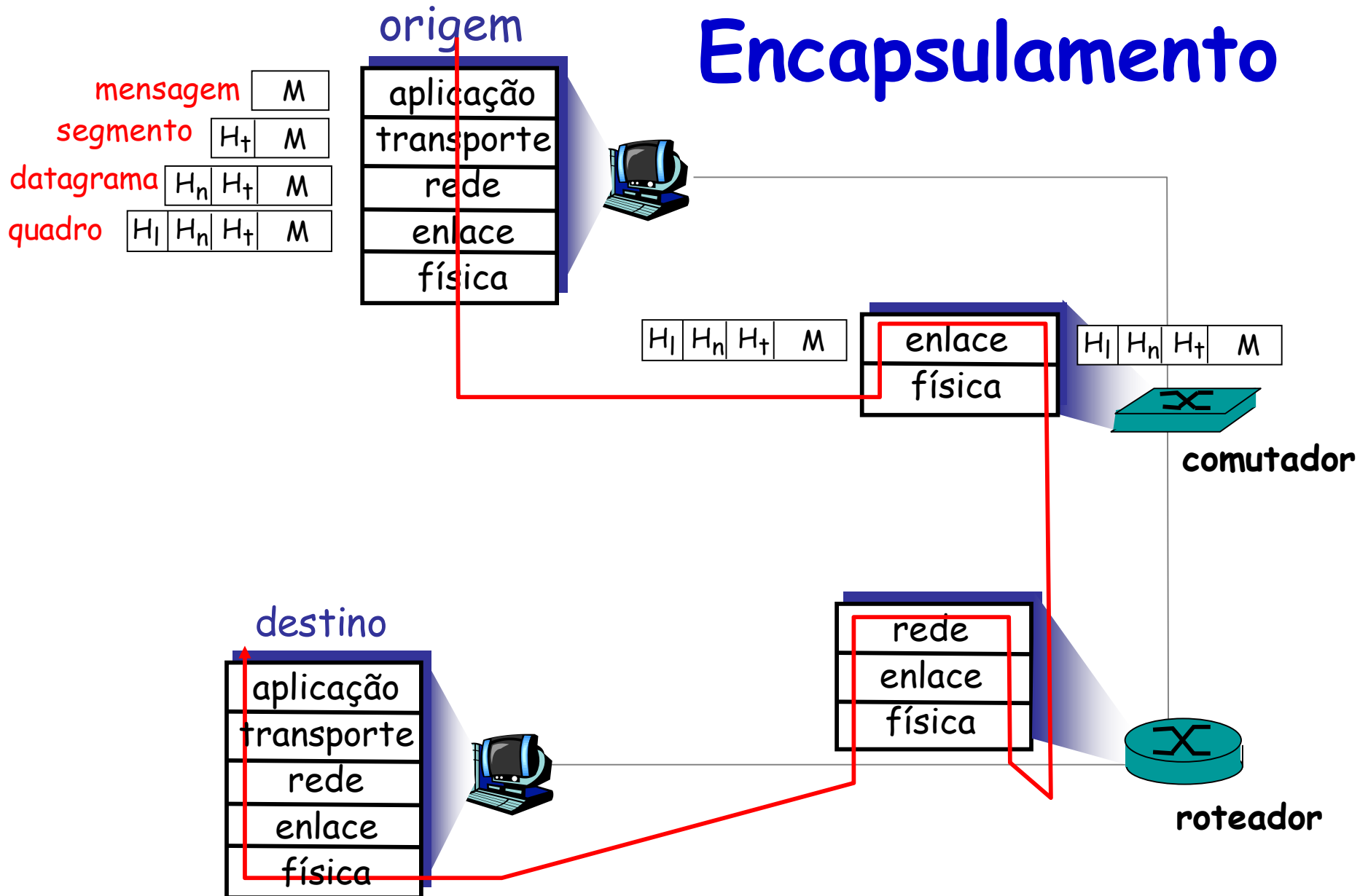
Encapsulamento



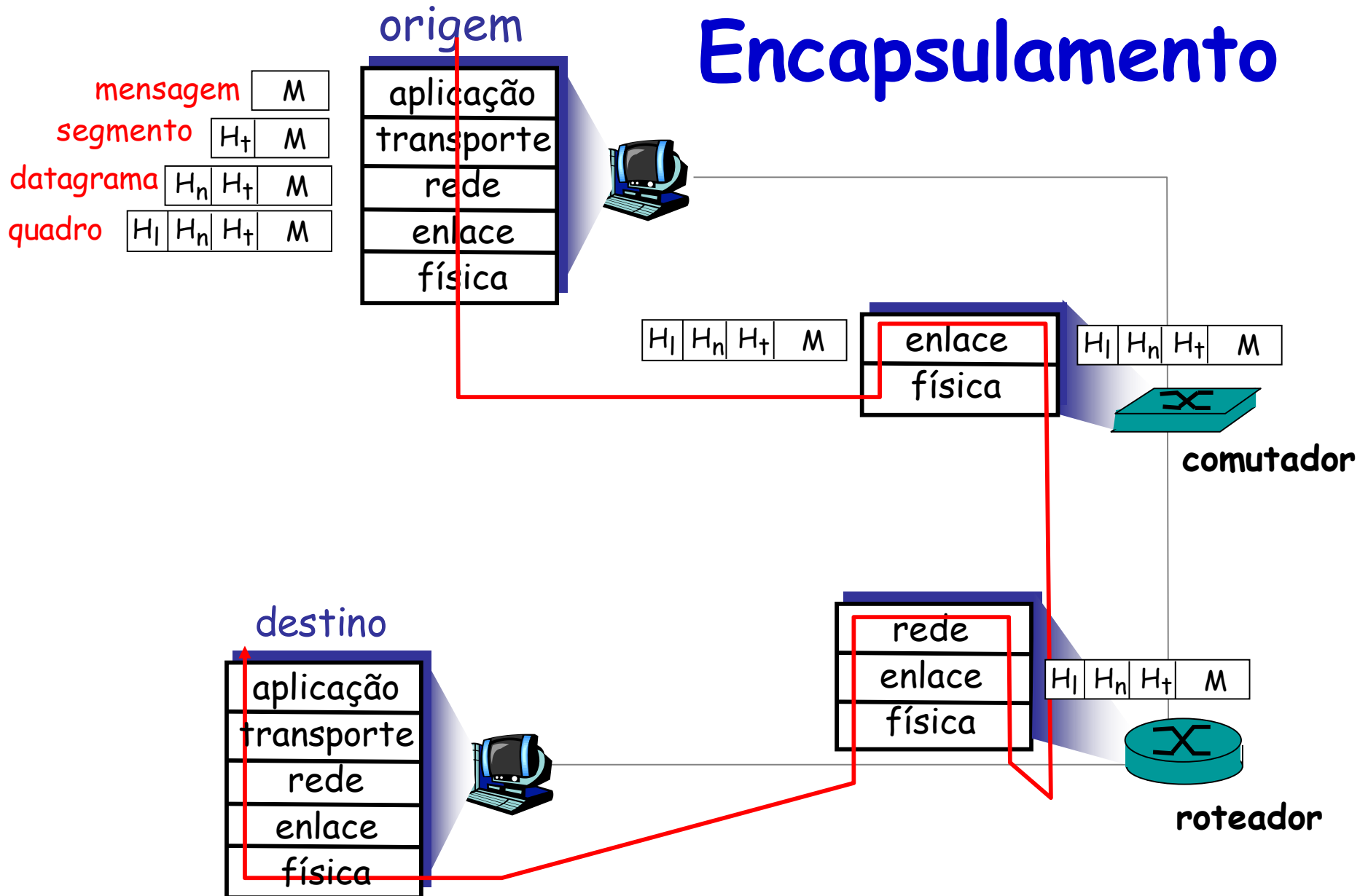
Encapsulamento



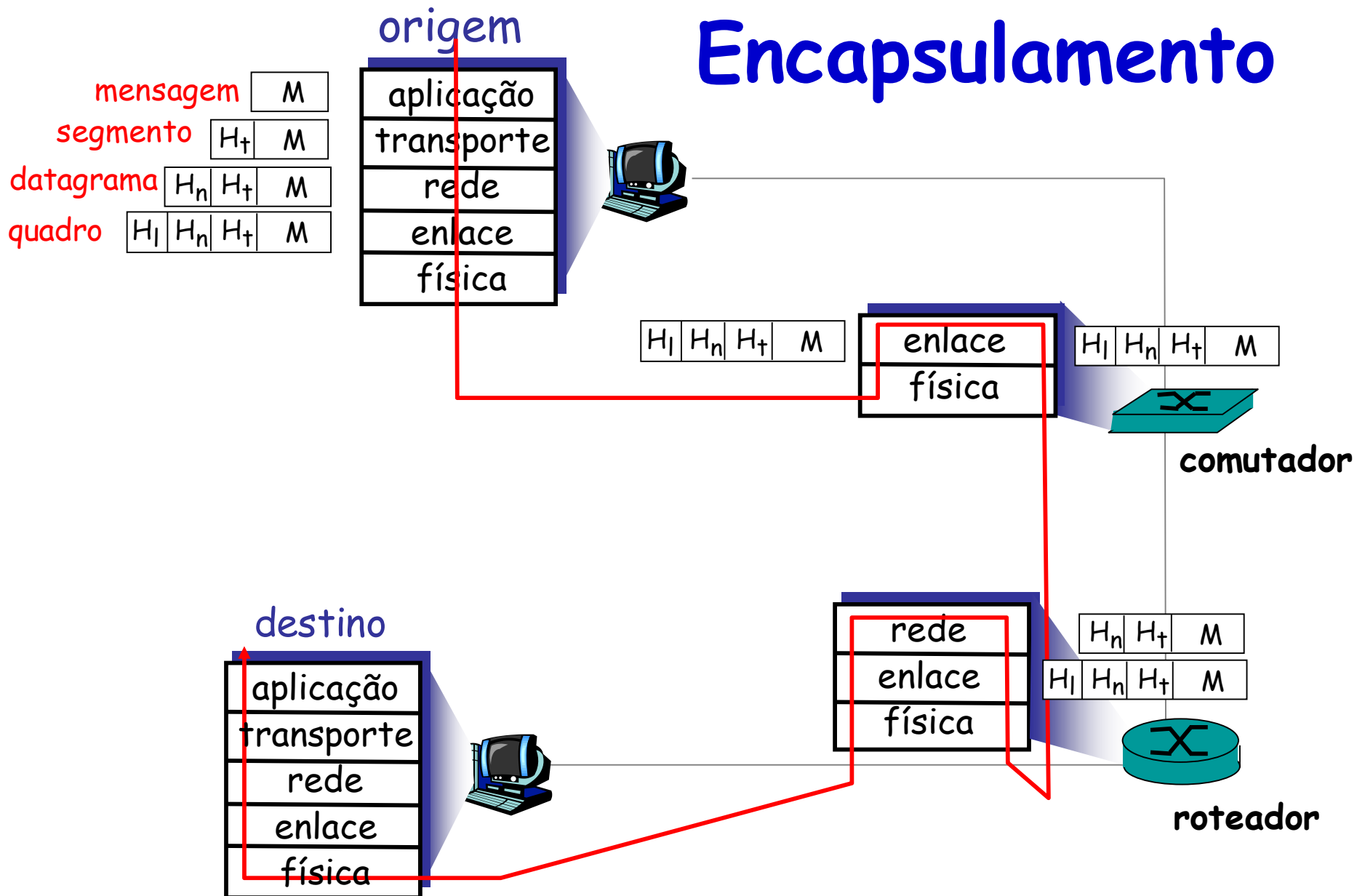
Encapsulamento



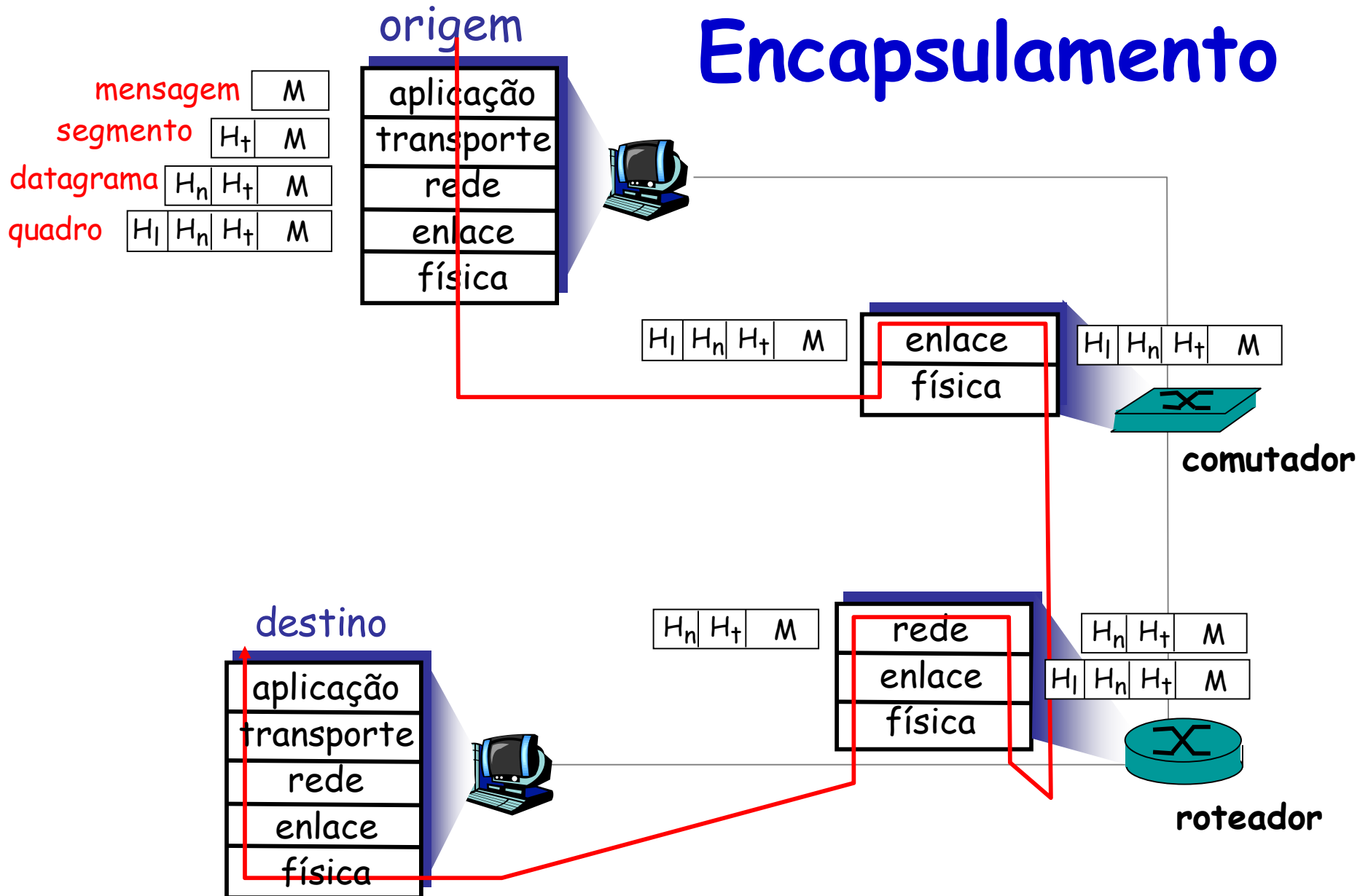
Encapsulamento



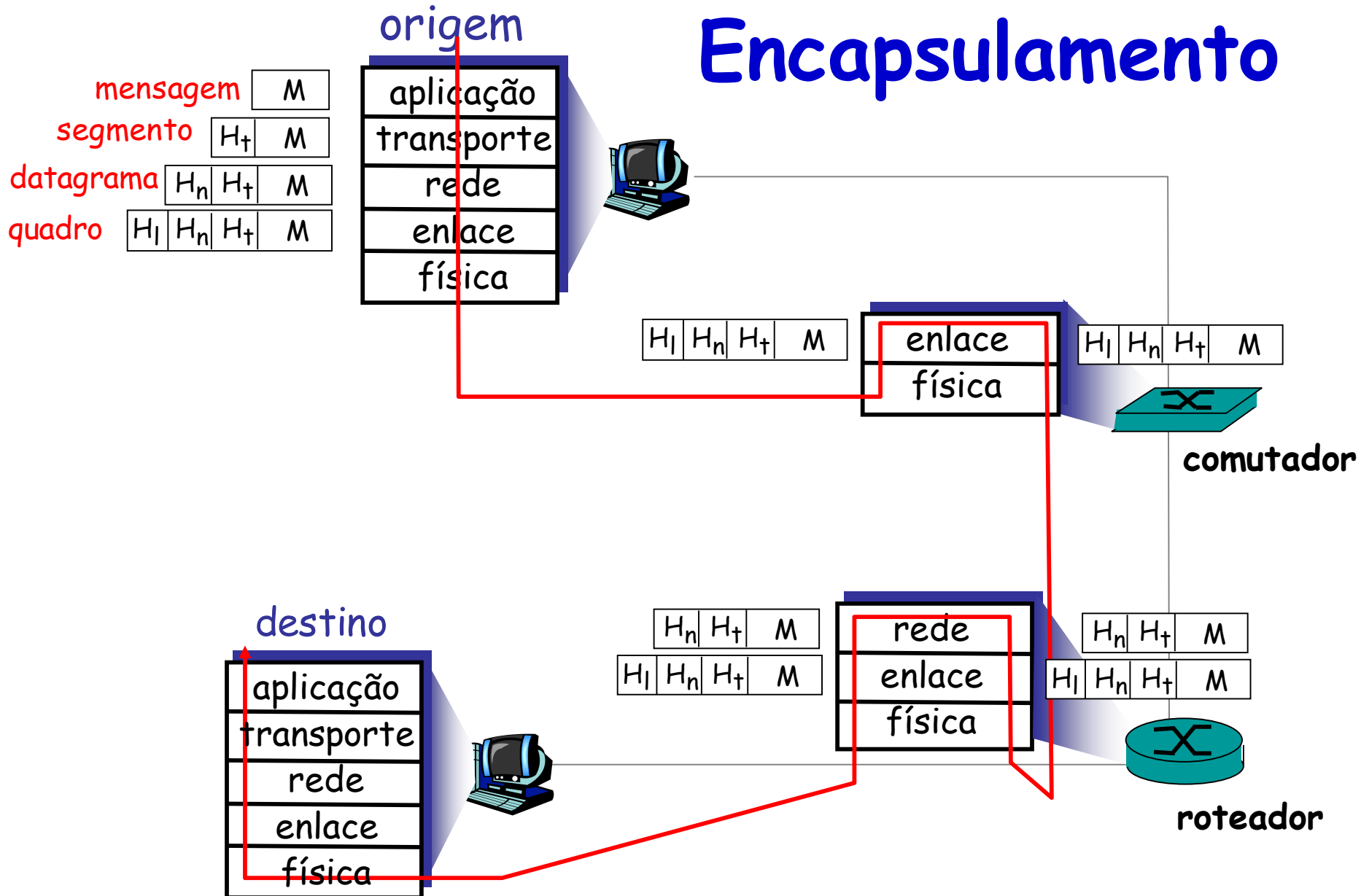
Encapsulamento



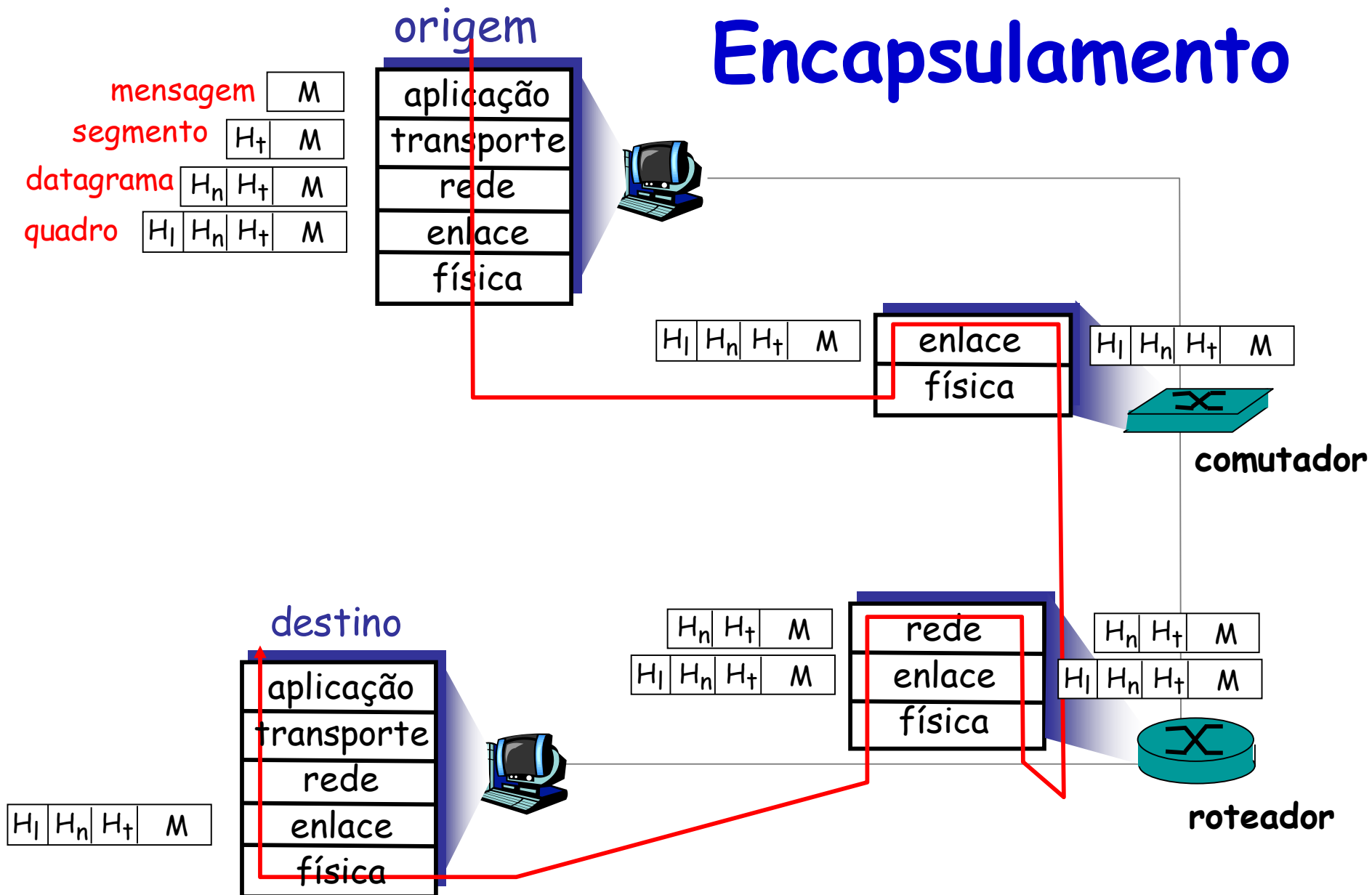
Encapsulamento



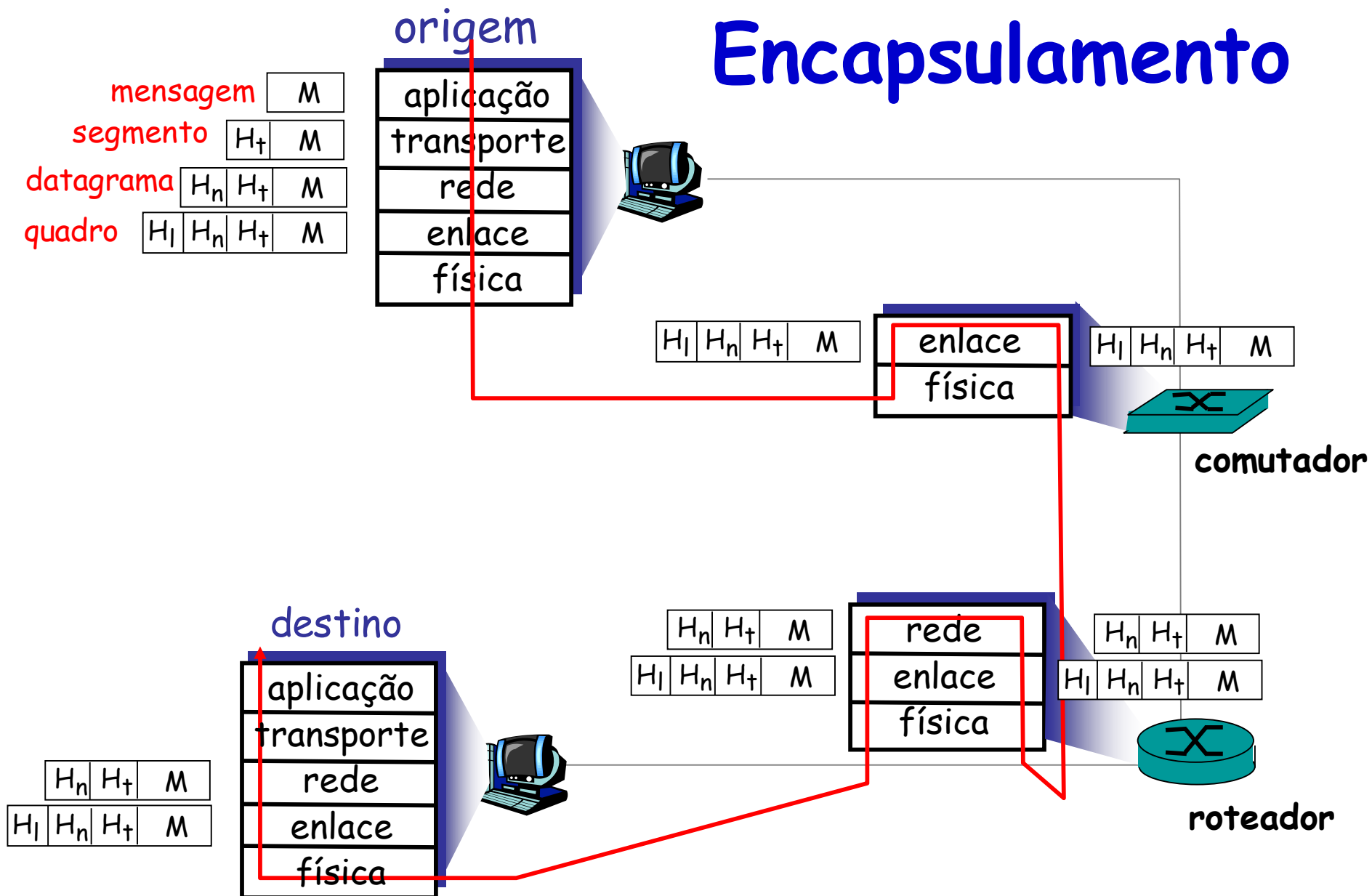
Encapsulamento



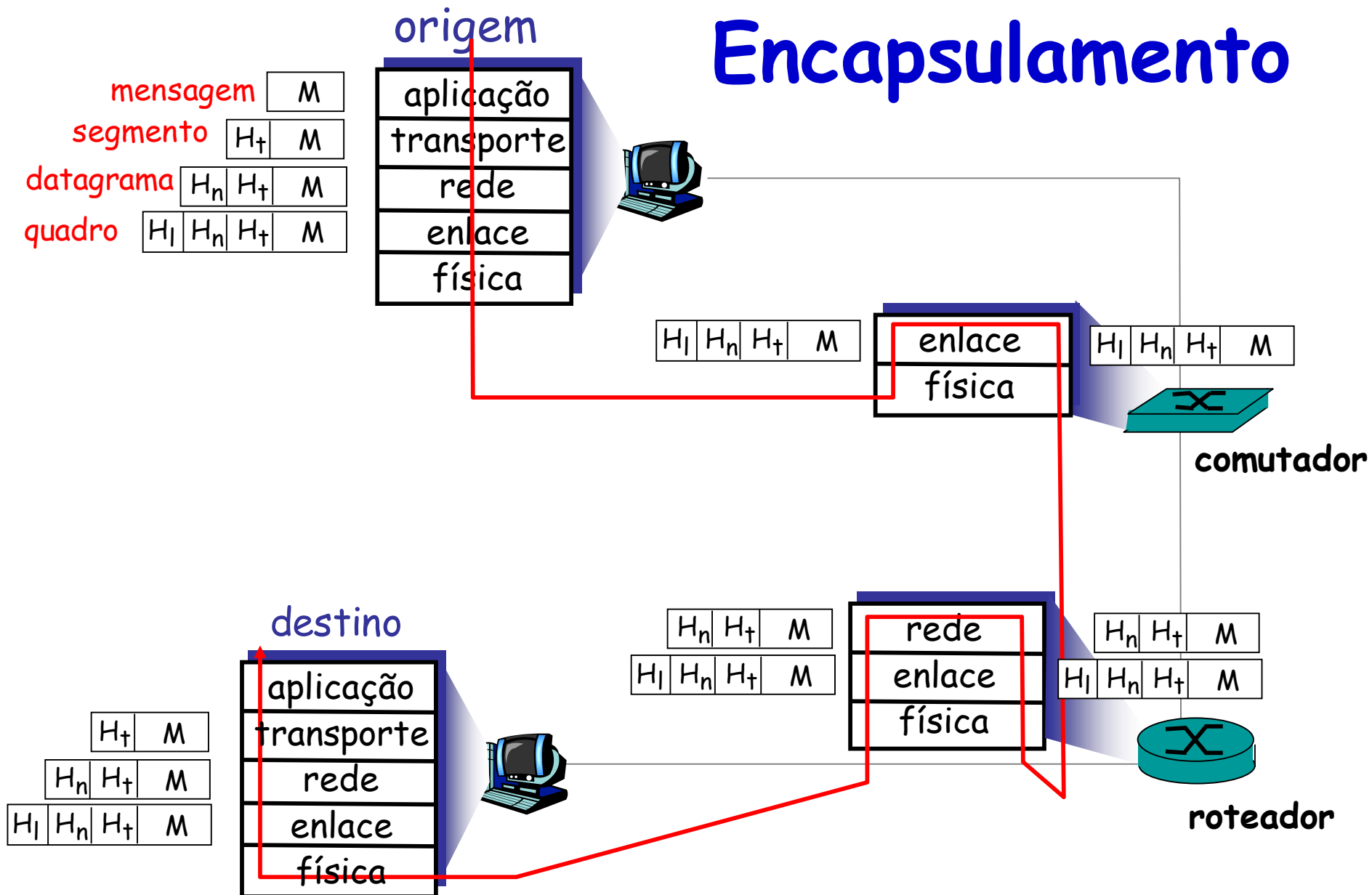
Encapsulamento



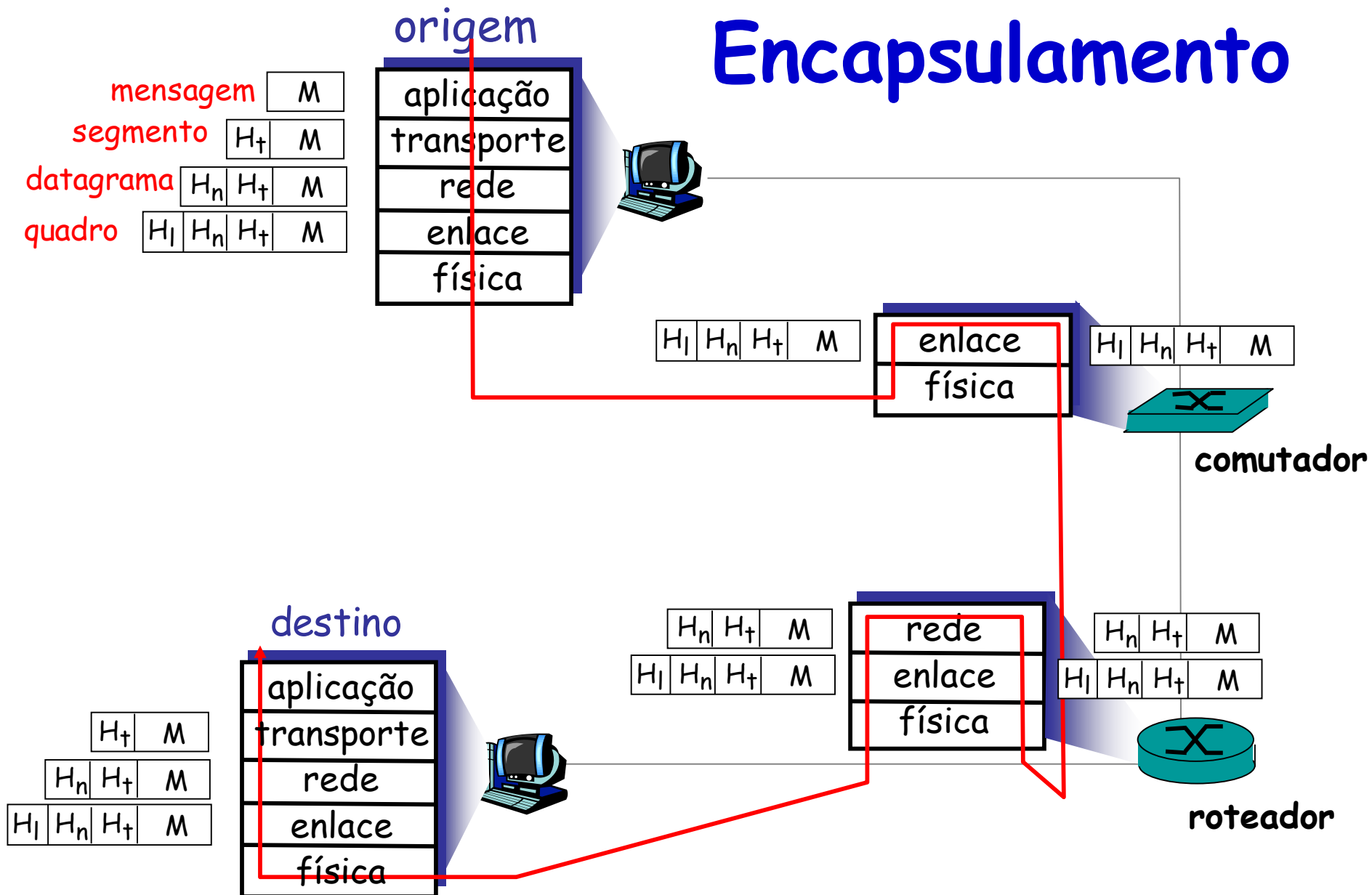
Encapsulamento



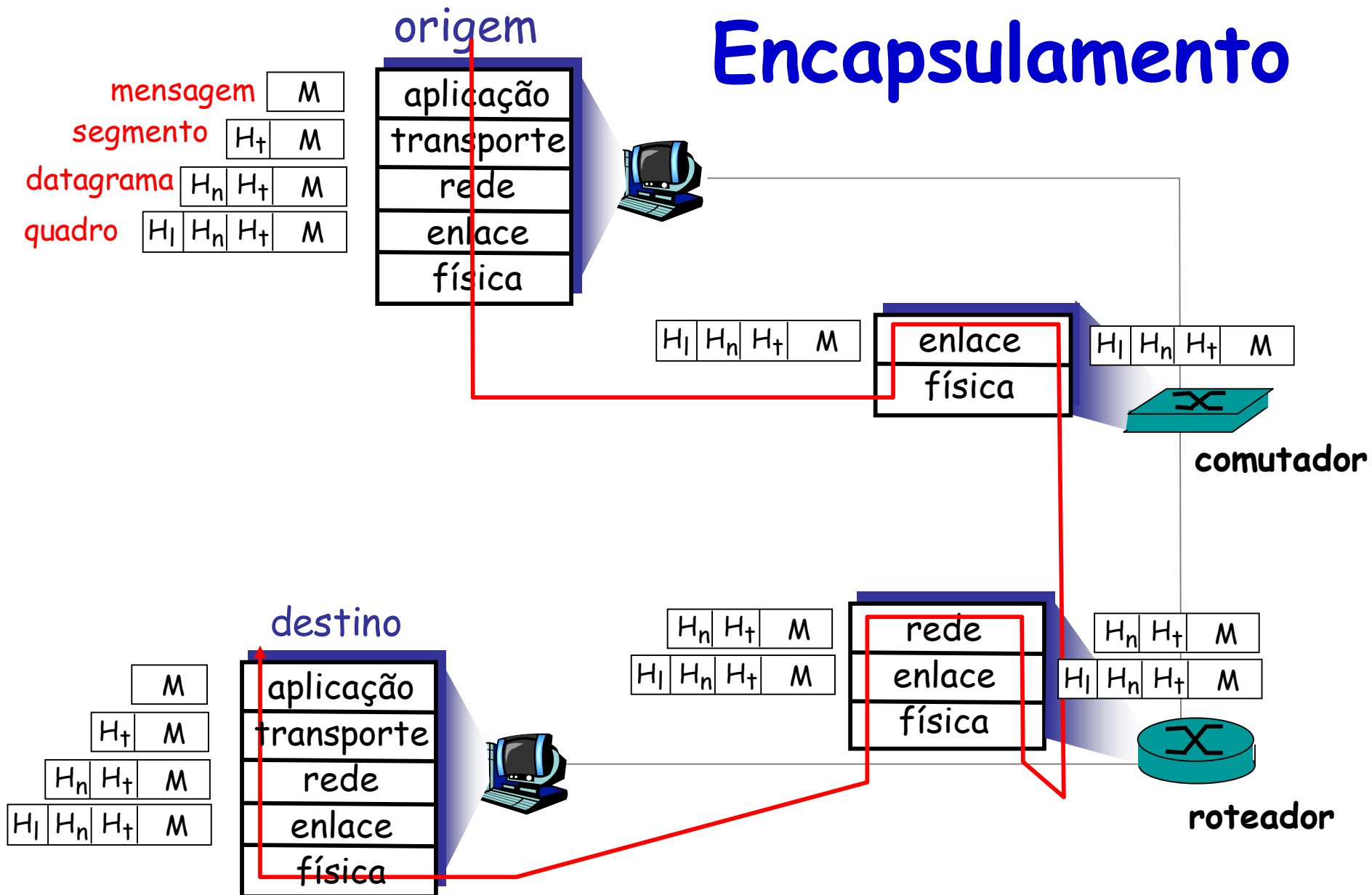
Encapsulamento



Encapsulamento



Encapsulamento



Leitura Recomendada

- Capítulo 1 do Livro Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall, "Redes de Computadores", 5ª Edição, Editora Pearson, 2011
- Jim Kurose e Keith Ross, "Redes de Computadores e a Internet - Uma abordagem Top-Down", 6ª Edição, Editora Pearson, 2013