

## Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Prof. Miguel Elias Mitre Campista

<http://www.gta.ufrj.br/~miguel>

## Parte II

Princípios Básicos de Comunicação em Redes

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem?



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Princípios da Comunicação

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



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Princípios da Comunicação

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



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Princípios da Comunicação

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



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Princípios da Comunicação

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



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores



Professor Miguel Campista

## Princípios da Comunicação

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



Welcome!



Thank you!

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Princípios da Comunicação

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



Welcome!  
protocolo de comunicação  
you!



Professor Miguel Campista

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

## 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

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Protocolos de Comunicação

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

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

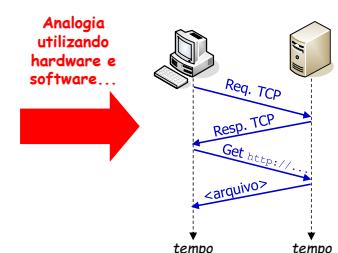
## Protocolos de Comunicação

### Protocolo humano



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

### Protocolo de rede



Professor Miguel Campista

## Protocolos de Comunicação

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

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Protocolos de Comunicação

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



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Protocolos de Comunicação

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



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
  - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade

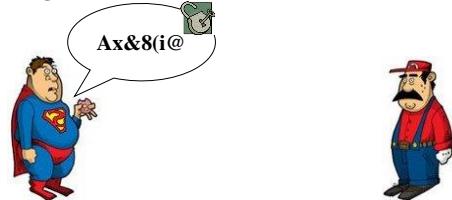


CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
  - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade, segura,



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Protocolos de Comunicação

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



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Protocolos de Comunicação

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



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
  - 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**



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## O que são as Redes 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 das redes de computadores
  - Aplicações comerciais
    - Compartilhamento de recursos físicos e informações
    - Comunicação entre usuários
    - Comércio eletrônico

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## O que são as Redes de Computadores?

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

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Como as Redes podem ser Classificadas?

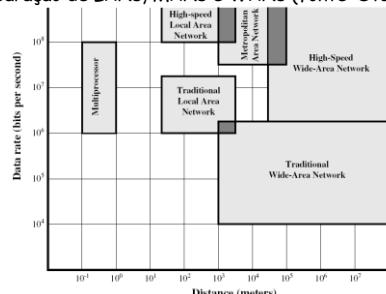
- Segundo a extensão geográfica...
  - Redes "do corpo" (Body Area Networks - BANs)
  - Redes pessoais (Personal Area Networks - PANs)
  - Redes de controladores (Controller Area Networks - CANs)
  - Redes locais (Local Area Networks - LANs)
  - Redes metropolitanas (Metropolitan Area Networks - MANs)
  - Redes regionais (Regional Area Networks - RANs)
  - Redes de longa distância (Wide Area Networks - WANs)
  - Redes de nuvens (Internet Area Networks - IANs)
  - Etc...

EEL878: Redes de Computadores 1 – Del-Poli/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Como as Redes podem ser Classificadas?

Comparação de LANs, MANs e WANs (fonte: Stallings)



## Como as Redes podem ser Classificadas?

- Redes Pessoais (PAN)

- Cobrem distâncias muito pequenas
  - Destinadas a uma única pessoa
- Ex.: Bluetooth, ZigBee etc.

Por serem comumente sem-fio são chamadas também de WPAN (Wireless PAN)



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Como as Redes 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.

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Como as Redes podem ser Classificadas?

- Redes Metropolitanas (MAN)

- Cobrem grandes distâncias
  - Uma cidade
- Ex.: rede baseada na TV a cabo

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Como as Redes podem ser Classificadas?

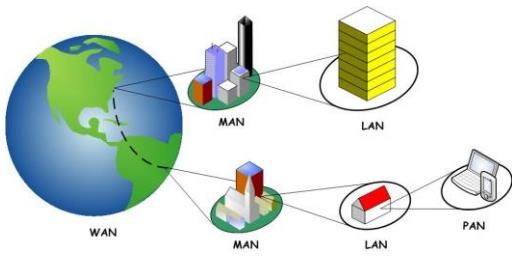
- Redes de Longa Distância (WAN)

- 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
- Ex.: ATM

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

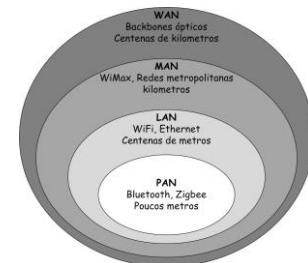
## Como as Redes podem ser Classificadas?



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Como as Redes podem ser Classificadas?



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Como as Redes 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

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Como as Redes 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

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Como as Redes podem ser Classificadas?

- Malha

- Pode ser completa ou irregular

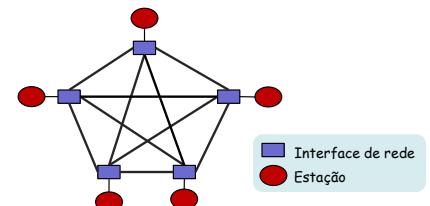
CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Como as Redes podem ser Classificadas?

- Malha completa

- Cada estação é conectada a todas as outras estações



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Como as Redes 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

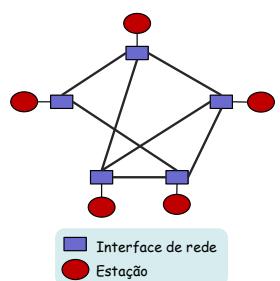
CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Como as Redes podem ser Classificadas?

- Malha Irregular

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



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Como as Redes 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

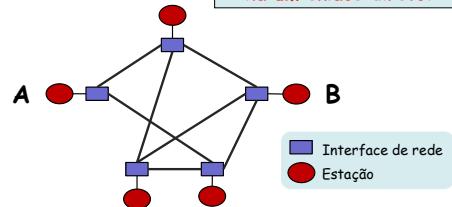
CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Como as Redes podem ser Classificadas?

- Malha Irregular

**Como A fala com B se não há um enlace direto?**



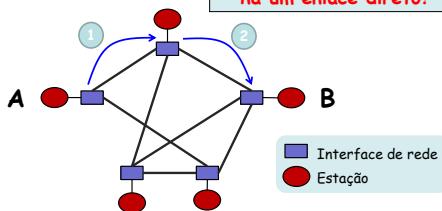
CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Como as Redes podem ser Classificadas?

- Malha Irregular

**Como A fala com B se não há um enlace direto?**



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

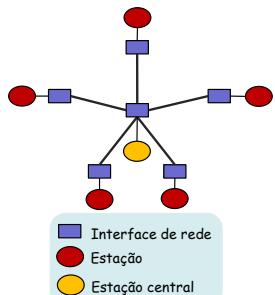
Professor Miguel Campista

## Como as Redes podem ser Classificadas?

- Estrela

- Decisões de encaminhamento centralizadas em um nó

- Cada estação é conectada a esse nó central



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Como as Redes podem ser Classificadas?

- Estrela

- Vantagem

- Boa para situações onde o fluxo de informações é centralizado

- Desvantagens

- 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

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

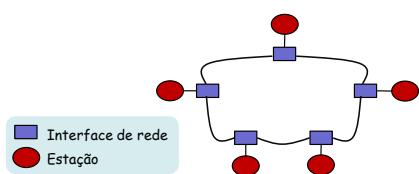
Professor Miguel Campista

## Como as Redes 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



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Como as Redes podem ser Classificadas?

- Anel

- Vantagens
  - Boa para situações onde o fluxo de informações não é centralizado
  - Não há necessidade de decisões de encaminhamento
  - Como não há armazenamento intermediário, pode-se obter um melhor desempenho de atraso e vazão

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Como as Redes podem ser Classificadas?

- Anel

- Desvantagens
  - Necessita de mecanismos de acesso ao meio compartilhado
  - Confiabilidade da rede depende da confiabilidade individual dos nós intermediários
- Usada principalmente em redes locais

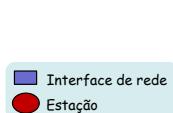
CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Como as Redes 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)



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Como as Redes 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

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Como as Redes podem ser Classificadas?

- Barramento

- Desvantagem
  - Necessita de mecanismos de acesso ao meio compartilhado
- Usada principalmente em redes locais

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Como as Redes 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?

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

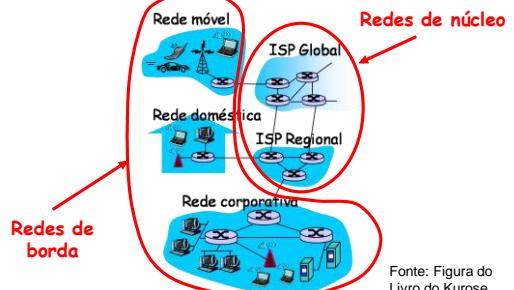
## Como as Redes na Internet podem ser Classificadas?

- 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)

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Como as Redes na Internet podem ser Classificadas?



Fonte: Figura do Livro do Kurose

Professor Miguel Campista

## Como as Redes na Internet podem ser Classificadas?



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Complexidade da Internet

- A Internet possui:
  - Muitos nós
  - Muitas aplicações com diferentes requisitos
  - Muitas tecnologias de rede
  - Muitos meios físicos
  - Etc.

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Serviços da Internet

- A Internet é uma infraestrutura de comunicação que provê serviços para aplicações
  - Basta que a aplicação siga um conjunto de regras
- Aplicações distribuídas
  - Web, e-mail, jogos, mensagens instantâneas, voz sobre IP (VoIP), compartilhamento de arquivos, etc.
- Serviços de comunicação de dados disponibilizados
  - Transferência confiável da origem até o destino
  - Transferência "melhor esforço" (não confiável)

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Redes de Borda

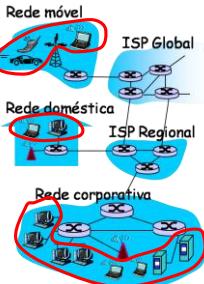
Estações finais e redes de acesso

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## 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



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Redes de Borda

- Modelo de comunicação entre estações finais:
  - Modelo cliente/servidor
    - Cliente faz pedidos que são atendidos pelos servidores
    - Ex.: cliente Web (browser)/servidor e cliente/servidor de e-mail
  - Modelo par-a-par (P2P)
    - Uso mínimo (ou nenhum) de servidores dedicados
    - Ex.: Skype, BitTorrent

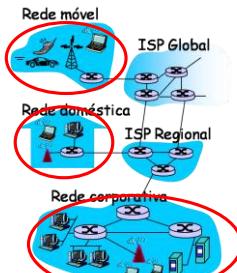


CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Redes de Borda

- Redes de acesso
  - Conectam um sistema final ao primeiro roteador (roteador de borda)
  - Redes domiciliares
  - Redes de acesso corporativo
  - Redes de ensino e pesquisa
  - Redes de universidades
  - Etc.



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Acesso Ponto-a-Ponto

- Acesso discado via modem (dialup)
  - Acesso ao roteador do provedor de serviço em até 56 kb/s
  - Não é possível acessar a Internet e telefonar ao mesmo tempo
- DSL (Digital Subscriber Line)
  - Banda de até algumas dezenas de MHz
  - Algumas tecnologias possibilitam o uso da linha telefônica em paralelo
  - Taxas de até dezenas de Mb/s

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Redes Sem-Fio

- Tecnologia muito popular
  - Facilidade de instalação
  - Baixo custo
- Mobilidade
- Problema de segurança

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Redes Sem-Fio

- Propagação do sinal pelo ar
  - Atenuação significativa
  - Características do canal podem variar
    - Condições do tempo
    - Número de obstáculos entre o emissor e o receptor
  - Múltiplos caminhos
  - Ambiente hostil
    - Taxa de erro binária bem maior do que em uma rede Ethernet

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Redes Sem-Fio

- Ethernet
  - Colisões detectadas
- Redes sem-fio
  - Não usam detecção de colisão como no CSMA/CD
    - Grande diferença da potência entre o sinal transmitido e o sinal recebido
    - Difícil separação de sinal e ruído
    - Difícil separação do que é transmissão e o que é recepção no transmissor
  - Nem todas as estações escutam as outras
    - Atenuação grande e variável
    - Terminal escondido

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Redes Domiciliares

- Definição
  - "Sistema de comunicação que visa a interconexão de dispositivos encontrados em residências e que tem como objetivo a comunicação, o conforto, a economia de energia, a segurança, a assistência e o lazer"
- Duas correntes representadas por
  - Nova revolução através da automação residencial
    - Ex: Casa inteligente (Jetsons)
      - Robôs, dispositivos ativados por comandos de voz etc.
  - Benefícios mais imediatos e práticos
    - Ex.: Compartilhamento de arquivos, recursos etc.

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Dispositivos Conectados

- Atualmente...
  - Computadores pessoais e seus periféricos
  - Televisores, vídeo-cassetes, aparelhos de DVD, telefones e outros eletrodomésticos
  - Sensores e câmeras
- No futuro
  - Inteligência embarcada para compartilhamento de dados a alta velocidade
  - Cidades Inteligentes e Internet das Coisas

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Aplicações de Redes Domiciliares

- Monitoramento, automação e controle
- Compartilhamento de equipamentos, recursos e acesso à Internet
- Comunicação
- Entretenimento

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Tecnologias de Redes Domiciliares

- Diversos produtos e tecnologias oferecidos para oferecer recursos de rede e acesso à Internet
  - Diferentes requisitos de aplicações de redes domiciliares
  - Difícil prever qual solução melhor se adapta às redes domiciliares
- Três tipos de redes
  - Com fio
  - Sem fio
  - Sem novos fios

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Tecnologias de Redes Domiciliares

- Com fio
  - Ethernet é a solução convencional
  - Maioria das casas não possuem o cabeamento necessário
  - Custo de instalação do cabeamento é alto
- Sem fio
  - Enorme sucesso comercial
  - Problemas de desempenho, cobertura, garantia de qualidade de serviço e segurança

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Tecnologias de Redes Domiciliares

- Sem novos fios
  - Uso de uma infraestrutura já existente
  - **TV a cabo**
    - *Home Cable Network Alliance* criada em 2001
    - Falta de previsão para a criação de um padrão para redes domiciliares
  - **Telefônica**
    - *Home Phoneline Alliance* criada em 1998
    - Padrão HomePNA
  - **Elétrica**
    - *HomePlug Powerline Alliance* criada em 2000
    - Padrão HomePlug

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Redes de Núcleo

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Sistema Autônomos (ASes)

- Conjunto de redes e roteadores administrados por um grupo ou uma instituição comum
  - Cada instituição escolhe o seu próprio protocolo de roteamento interno
    - **Protocolo intradomínio**
  - Todas as instituições executam o mesmo protocolo de roteamento externo
    - **Protocolo interdomínio**

O uso de um protocolo interdomínio comum é um requisito para que todos os Sistemas Autônomos mantenham conectividade

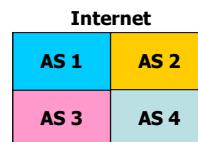


CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Crescimento da Internet

- A Internet cresceu aceleradamente
  - Maior complexidade de gerenciamento e administração
  - Atualizações de topologia se tornaram mais frequentes



A Internet foi dividida em diferentes Sistemas Autônomos (AS - Autonomous System)

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

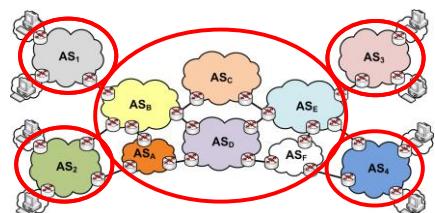
## Internet: "Rede de Redes"

- Composta por diferentes redes interconectadas
  - Protocolo de interconexão: **IP**



## Classificação dos ASes

- Feita a partir da posição na topologia da Internet

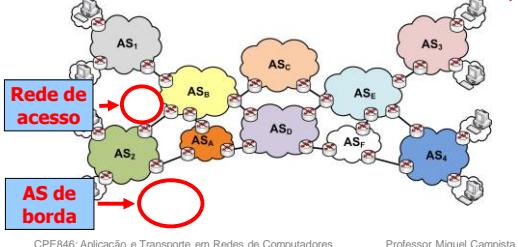


CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Classificação dos ASes

- ASes de borda ou provedores de acesso
  - Tarifam os usuários pelo acesso à Internet
    - Os usuários se localizam nas redes de acesso (redes stub)

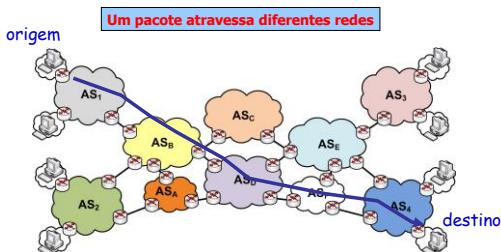


## Classificação dos ASes

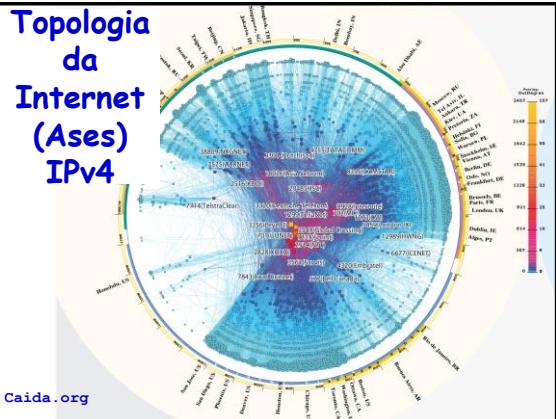
- ASes de trânsito
  - Não estão diretamente conectados a usuários
  - Encaminham dados entre ASes
    - Os ASes estabelecem acordos comerciais com os seus vizinhos
    - Responsáveis pelos ASes → ISP (Internet Service Provider) "peering"



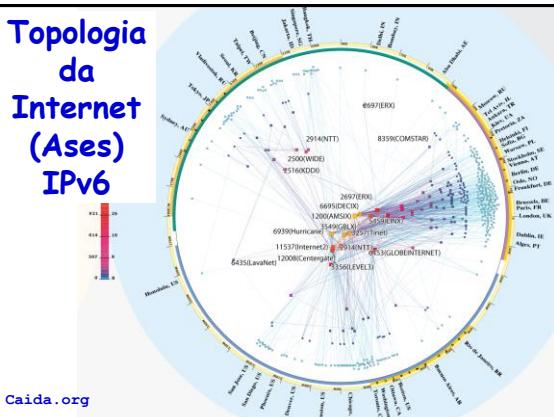
## "Rede de Redes"



## Topologia da Internet (Ases) IPv4

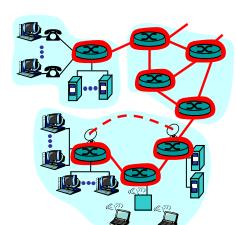


## Topologia da Internet (Ases) IPv6



## 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



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores  
Professor Miguel Campista

## Transferência de Dados

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



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Métricas

Avaliação do desempenho de uma rede

**A Internet é uma rede de comutação de pacotes**

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

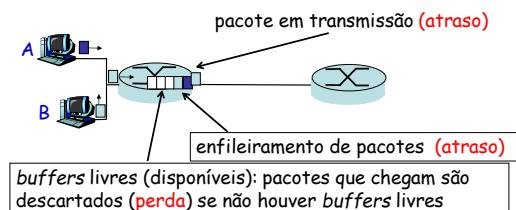
## Como Ocorrem Perdas e Atrasos?

- Pacotes são enfileirados nos buffers de um elemento encaminhador (ex. roteador)
  - Taxa de chegada ao elemento encaminhador é maior do que a capacidade de encaminhamento
    - Enlace de saída tem largura de banda menor que a necessária
    - Congestionamento na rede do enlace de saída
    - Problemas no hardware do encaminhador
- Caso os pacotes sejam enfileirados:
  - Eles devem esperar a vez

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Como Ocorrem Perdas e Atrasos?

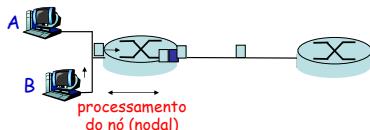


CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Quatro Fontes de Atraso de Pacotes

- 1. Processamento do nó
  - Verificação de bits errados
  - Identificação do enlace de saída

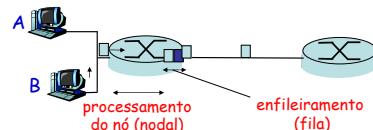


CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Quatro Fontes de Atraso de Pacotes

- 2. Enfileiramento
  - Tempo de espera no enlace de saída até a transmissão
  - Depende do nível de congestionamento do roteador



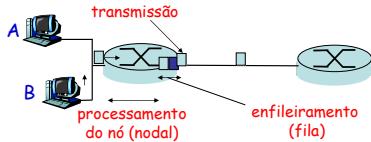
CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Quatro Fontes de Atraso de Pacotes

- 3. Atraso de transmissão

- $R$ =largura de banda do enlace (bits/s)
- $L$ =compr. do pacote (bits)
- tempo para enviar os bits no enlace =  $L/R$



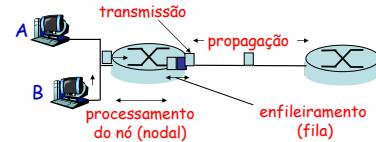
CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Quatro Fontes de Atraso de Pacotes

- 4. Atraso de propagação

- $d$ =comprimento do enlace
- $s$ =vel. de propagação no meio ( $\sim 2 \times 10^8$  m/s)
- atraso de propagação= $d/s$



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Atraso por Nó

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

- $d_{\text{proc}}$  = atraso de processamento
  - Tipicamente de poucos microsegundos ou menos
- $d_{\text{fila}}$  = atraso de enfileiramento
  - Depende do congestionamento
- $d_{\text{trans}}$  = atraso de transmissão
  - $L/R$ , significativo para canais de baixa velocidade
- $d_{\text{prop}}$  = atraso de propagação
  - Poucos microsegundos a centenas de milisegundos

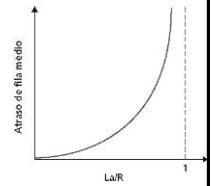
CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Atraso de Enfileiramento

- Considerando que:

- $R$ =larg. de banda do enlace (bits/s)
- $L$ =compr. do pacote (bits)
- $a=\bar{x}$ , média de chegada de pacotes



- Intensidade de tráfego =  $La/R$

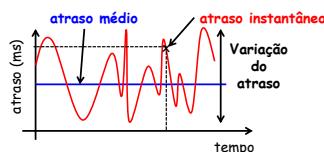
- $La/R \sim 0$ : Pequeno atraso de enfileiramento
- $La/R \rightarrow 1$ : Grande atraso
- $La/R > 1$ : Chega mais "trabalho" do que a capacidade de atendimento, atraso médio infinito!

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Jitter

- Variação do atraso dos pacotes de um mesmo fluxo de dados
  - Prejudicial principalmente para aplicações multimídia, ex. streaming de vídeo
    - Players: Removem jitter com armazenamento em buffer



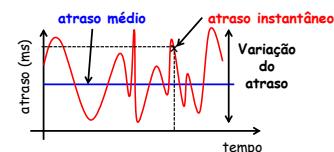
CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Jitter

- Variação do atraso dos pacotes de um mesmo fluxo de dados

- Pode ser calculado como desvio padrão do atraso: jitter

$$= \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}}$$


CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

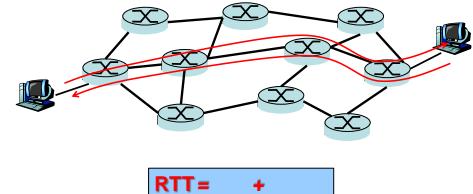
## Tempo de Ida e Volta

- Calcular atraso fim-a-fim é complexo
  - Requer sincronismo de relógios entre origem e destino
- Tempo de ida e volta (RTT - Round Trip Time)
  - Tempo que um pacote leva para chegar no destino e voltar até a origem
    - Calculado somente pelo nó de origem
    - Problema de sincronismo é evitado

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Tempo de Ida e Volta

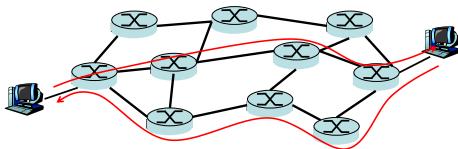


CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Tempo de Ida e Volta

- Atraso fim-a-fim  $\approx RTT/2$ 
  - Ida e volta podem passar por caminhos diferentes



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Tempo de Ida e Volta

- Ferramenta ping:
  - Apresenta o RTT para um dado destino

```
lataqua:~> ping -c 10 www.google.com.br
PING www.google.com.br (173.194.42.143) 56(84) bytes of data.
64 bytes from rad0105-in-f1s1e00.net (173.194.42.143): icmp_req=1 ttl=51 time=2.95 ms
64 bytes from rad0105-in-f1s1e00.net (173.194.42.143): icmp_req=2 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from rad0105-in-f1s1e00.net (173.194.42.143): icmp_req=3 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from rad0105-in-f1s1e00.net (173.194.42.143): icmp_req=4 ttl=51 time=2.85 ms
64 bytes from rad0105-in-f1s1e00.net (173.194.42.143): icmp_req=5 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from rad0105-in-f1s1e00.net (173.194.42.143): icmp_req=6 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from rad0105-in-f1s1e00.net (173.194.42.143): icmp_req=7 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from rad0105-in-f1s1e00.net (173.194.42.143): icmp_req=8 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from rad0105-in-f1s1e00.net (173.194.42.143): icmp_req=9 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from rad0105-in-f1s1e00.net (173.194.42.143): icmp_req=10 ttl=51 time=1.65 ms

```

**RTT médio foi calculado baseado em 10 amostras**

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Traceroute/Tracert

- Fornece medições de RTT da fonte até cada um dos roteadores ao longo do caminho até o destino
  - Envia três pacotes que alcançarão o roteador  $i$  no caminho até o destino
  - O roteador  $i$  devolverá um pacote de erro até o transmissor
  - O transmissor calcula o intervalo de tempo decorrido entre a transmissão e a chegada da resposta

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Traceroute/Tracert



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Traceroute/Tracert

```
laptop:~ traceroute www.google.com.br
traceroute to www.google.com.br (74.125.234.55), 30 hops max, 60 byte packets
1 angra.gta.br (146.161.69.129) 0.934 ms 1.808 ms 1.812 ms
2 146.161.6.193 (146.161.6.193) 1.859 ms 1.976 ms 1.979 ms
3 146.161.6.194 (146.161.6.194) 1.859 ms 1.901 ms 1.901 ms
4 146.161.6.195 (146.161.6.195) 1.859 ms 1.901 ms 1.901 ms
5 gsp-bnp-chpf.redeiro.br (200.20.34.58) 9.456 ms 9.456 ms 9.643 ms
6 xe-0/3/1.srv5.gpti.net (64.214.61.247) 7.901 ms 7.901 ms 7.901 ms
7 209.85.251.99 (209.85.251.99) 16.413 ms 16.413 ms 16.413 ms
8 google-1.evt5.gpti.net (64.208.110.102) 16.448 ms 16.522 ms 16.567 ms
9 209.85.251.99 (209.85.251.99) 16.603 ms 16.613 ms 16.613 ms
10 209.85.251.99 (209.85.251.99) 16.603 ms 16.613 ms 16.613 ms
11 209.85.251.99 (209.85.251.99) 16.603 ms 16.613 ms 16.613 ms
laptop:~
```

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

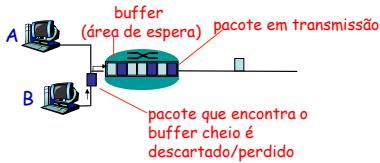
## Perda de Pacotes

- Fila (buffer) anterior a um enlace possui capacidade finita
- Quando um pacote chega numa fila cheia, o pacote é descartado (perdido)
- O pacote perdido pode ser retransmitido pelo nó anterior, pelo sistema origem, ou não ser retransmitido

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Perda de Pacotes



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Perda de Pacotes

- Ferramenta ping:**
  - Apresenta descontinuidade nos números de sequência quando pacotes são perdidos

```
laptop:~ ping -c 20 www.google.com.br
PING www.google.com.br (179.198.42.152) 56(84) bytes of data.
64 bytes from www.google.com.br (179.198.42.152): seq=1 ttl=117 time=1.77 ms
64 bytes from www.google.com.br (179.198.42.152): seq=2 ttl=117 time=1.77 ms
64 bytes from www.google.com.br (179.198.42.152): seq=3 ttl=117 time=1.77 ms
64 bytes from www.google.com.br (179.198.42.152): seq=4 ttl=117 time=1.77 ms
64 bytes from www.google.com.br (179.198.42.152): seq=5 ttl=117 time=1.77 ms
64 bytes from www.google.com.br (179.198.42.152): seq=6 ttl=117 time=1.77 ms
64 bytes from www.google.com.br (179.198.42.152): seq=7 ttl=117 time=1.77 ms
64 bytes from www.google.com.br (179.198.42.152): seq=8 ttl=117 time=1.77 ms
64 bytes from www.google.com.br (179.198.42.152): seq=9 ttl=117 time=1.77 ms
64 bytes from www.google.com.br (179.198.42.152): seq=10 ttl=117 time=1.77 ms
64 bytes from www.google.com.br (179.198.42.152): seq=11 ttl=117 time=1.77 ms
64 bytes from www.google.com.br (179.198.42.152): seq=12 ttl=117 time=1.77 ms
64 bytes from www.google.com.br (179.198.42.152): seq=13 ttl=117 time=1.77 ms
64 bytes from www.google.com.br (179.198.42.152): seq=14 ttl=117 time=1.77 ms
64 bytes from www.google.com.br (179.198.42.152): seq=15 ttl=117 time=1.77 ms
64 bytes from www.google.com.br (179.198.42.152): seq=16 ttl=117 time=1.77 ms
64 bytes from www.google.com.br (179.198.42.152): seq=17 ttl=117 time=1.77 ms
64 bytes from www.google.com.br (179.198.42.152): seq=18 ttl=117 time=1.77 ms
64 bytes from www.google.com.br (179.198.42.152): seq=19 ttl=117 time=1.77 ms
64 bytes from www.google.com.br (179.198.42.152): seq=20 ttl=117 time=1.77 ms
```

Taxa de perda ( $T_p$ ) foi calculada baseada em 20 amostras. Para encontrar a taxa de entrega ( $T_e$ ) basta subtrair a taxa de perda de 1, sendo assim:

$$T_e = 1 - T_p = 55\%$$

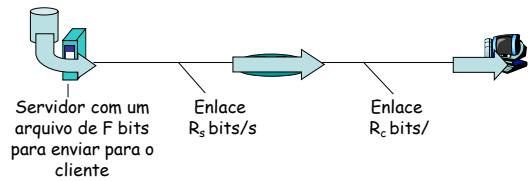
CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Vazão (Throughput)

- Taxa na qual os bits são transferidos entre o transmissor e o receptor
  - Dada em bits/unidade de tempo
  - Instantânea: taxa num certo instante de tempo
  - Média: taxa num intervalo de tempo

## Vazão (Throughput)



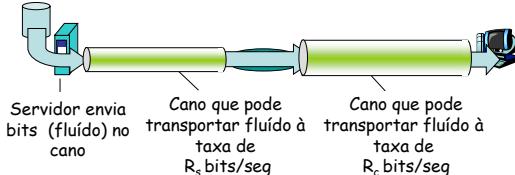
CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Vazão (Throughput)

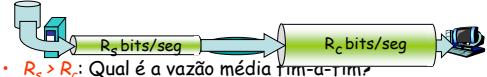


CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

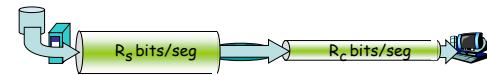
Professor Miguel Campista

## Vazão (Throughput)

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



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

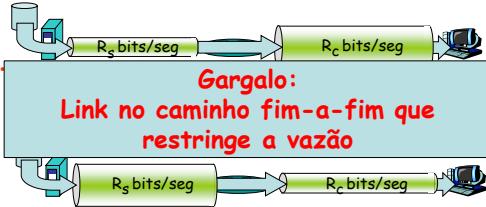


CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Vazão (Throughput)

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



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Vazão (Throughput)

- Ferramenta ping:

- Como calcular a vazão no exemplo abaixo?

```
itaguai:~> ping -c 10 www.google.com.br
PING www.google.com.br (173.194.42.143) 56(84) bytes of data.
64 bytes from r0105-in-f15.le100.net (173.194.42.143): icmp_req=1 ttl=51 time=2.05 ms
64 bytes from r0105-in-f15.le100.net (173.194.42.143): icmp_req=2 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from r0105-in-f15.le100.net (173.194.42.143): icmp_req=3 ttl=51 time=1.71 ms
64 bytes from r0105-in-f15.le100.net (173.194.42.143): icmp_req=4 ttl=51 time=2.85 ms
64 bytes from r0105-in-f15.le100.net (173.194.42.143): icmp_req=5 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from r0105-in-f15.le100.net (173.194.42.143): icmp_req=6 ttl=51 time=1.73 ms
64 bytes from r0105-in-f15.le100.net (173.194.42.143): icmp_req=7 ttl=51 time=1.73 ms
64 bytes from r0105-in-f15.le100.net (173.194.42.143): icmp_req=8 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from r0105-in-f15.le100.net (173.194.42.143): icmp_req=9 ttl=51 time=1.77 ms
64 bytes from r0105-in-f15.le100.net (173.194.42.143): icmp_req=10 ttl=51 time=1.65 ms
...
... www.google.com.br ping statistics ...
10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 901ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.679/1.889/2.859/0.345 ms
```

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Vazão (Throughput)

- Ferramenta ping:

- Como calcular a vazão no exemplo abaixo?

```
itaguai:~> ping -c 10 www.google.com.br
PING www.google.com.br (173.194.42.143) 56(84) bytes of data.
64 bytes from r0105-in-f15.le100.net (173.194.42.143): icmp_req=1 ttl=51 time=2.05 ms
64 bytes from r0105-in-f15.le100.net (173.194.42.143): icmp_req=2 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from r0105-in-f15.le100.net (173.194.42.143): icmp_req=3 ttl=51 time=1.71 ms
64 bytes from r0105-in-f15.le100.net (173.194.42.143): icmp_req=4 ttl=51 time=2.85 ms
64 bytes from r0105-in-f15.le100.net (173.194.42.143): icmp_req=5 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from r0105-in-f15.le100.net (173.194.42.143): icmp_req=6 ttl=51 time=1.73 ms
64 bytes from r0105-in-f15.le100.net (173.194.42.143): icmp_req=7 ttl=51 time=1.73 ms
64 bytes from r0105-in-f15.le100.net (173.194.42.143): icmp_req=8 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from r0105-in-f15.le100.net (173.194.42.143): icmp_req=9 ttl=51 time=1.77 ms
64 bytes from r0105-in-f15.le100.net (173.194.42.143): icmp_req=10 ttl=51 time=1.65 ms
...
... www.google.com.br ping statistics ...
10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 901ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.679/1.889/2.859/0.345 ms
```

$$\text{Vazão} = 10 * 64 * 8 / 9.015 = 567.9 \text{ bits/s}$$

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Exercícios

- Execute o comando iperf para o endereço 127.0.0.1 e calcule a vazão

- Comando no servidor:

- iperf -s**

- Comando no cliente

- iperf -c 127.0.0.1**

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Exercícios

- Execute o comando `iperf` para o endereço `127.0.0.1` e calcule a vazão, **usando agora uma rajada UDP**

- Comando no servidor:
  - `iperf -s -u`
- Comando no cliente
  - `iperf -c 127.0.0.1 -u`

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Exercícios

- Execute o comando `iperf` para o endereço `127.0.0.1` e calcule a vazão, **usando agora uma rajada UDP e intervalo de 2 segundos entre relatórios**

- Comando no servidor:
  - `iperf -s -u`
- Comando no cliente
  - `iperf -c 127.0.0.1 -u -i 2`

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Camadas de Protocolos e Modelos de Serviços

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Arquitetura em Camadas

- Reducir a complexidade do projeto de uma rede de comunicação
  - Cada camada
    - Provê um serviço para as camadas superiores
    - "Esconde" das camadas superiores como o serviço é implementado
- Criar um pilha de camadas
  - Número de camadas
  - Nome de cada camada
  - Função de cada camada

*Podem ser diferentes para cada rede*

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

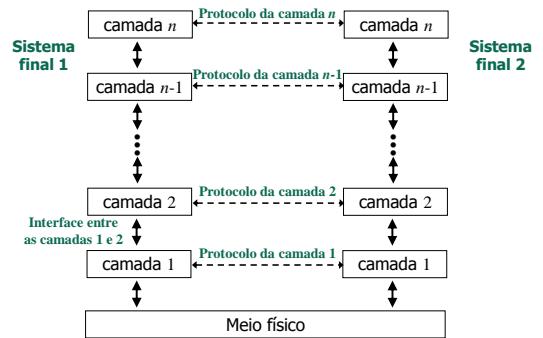
## Por Que Dividir em Camadas?

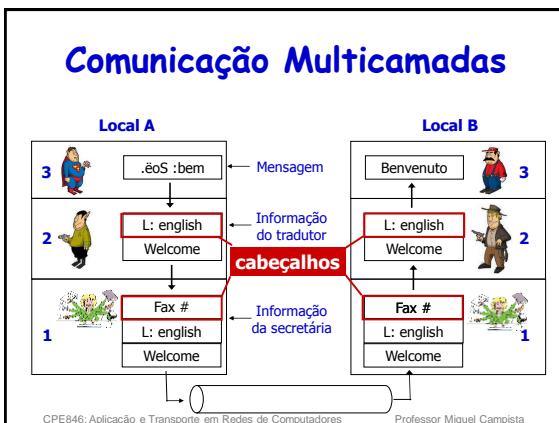
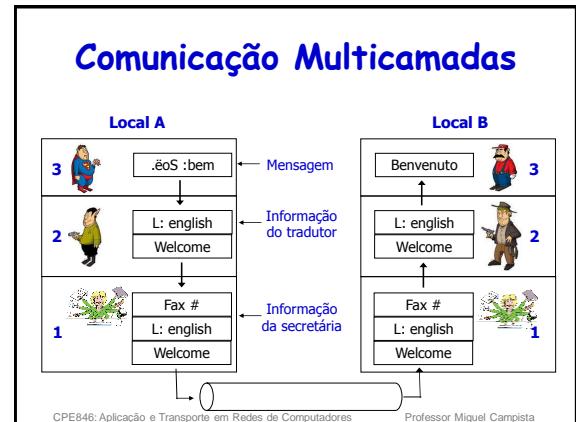
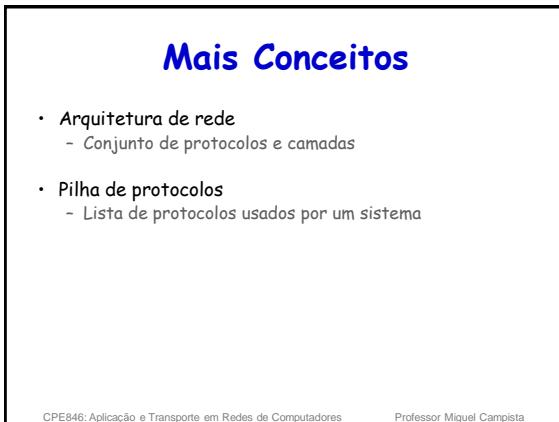
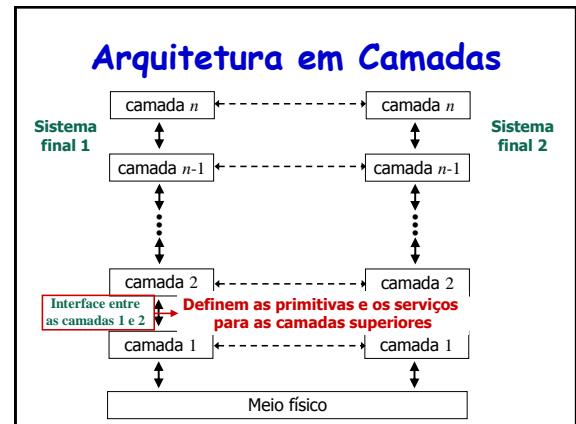
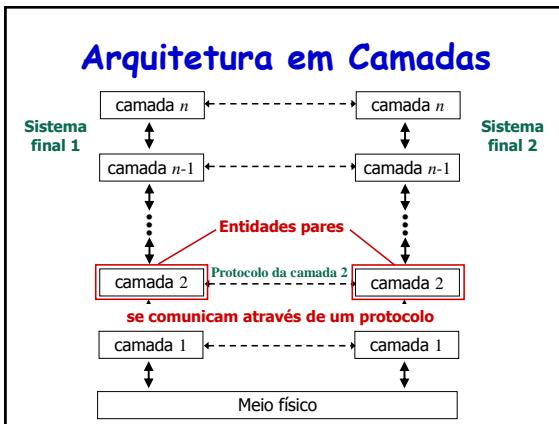
- Lidar com sistemas complexos
  - Estrutura explícita permite a identificação e relacionamento entre as partes do sistema complexo
  - Modularização facilita a manutenção e atualização do sistema
  - Mudança na implementação do serviço da camada é transparente para o resto do sistema

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Arquitetura em Camadas





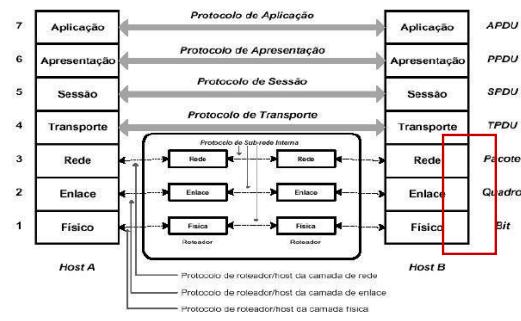
## Modelo OSI

- **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

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Modelo OSI



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Modelo OSI

- **Prós:** bastante geral e continua válido até hoje
- **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
  - Rígidez de modelagem
    - Camadas diferentes não devem compartilhar informações
  - Mesmos serviços implementados por diferentes camadas
    - Ex: correção de erros

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

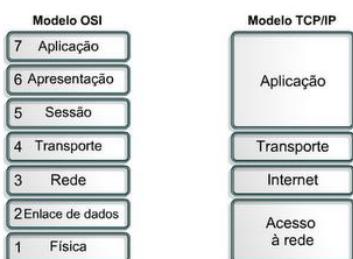
## Modelo TCP/IP

- Década de 80
- **Cinco/Quatro camadas**
  1. Físico
  2. Enlace
  3. Rede
  4. Transporte
  5. Aplicação

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Modelo TCP/IP



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## 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

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## 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

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## 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.

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

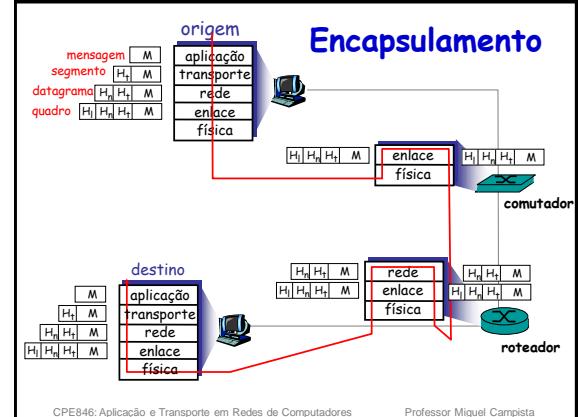
Professor Miguel Campista

## Camadas do Modelo TCP/IP

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

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Material Utilizado

- Notas de aula do Prof. Igor Monteiro Moraes, disponíveis em <http://www2.ic.uff.br/~igor/cursos/redespg>

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

## Leitura Recomendada

- Capítulo 1 do Livro "Computer Networking: A Top Down Approach", 5a. Ed., Jim Kurose and Keith Ross, Editora Pearson, 2010
- Capítulo 1 e 2 do Livro "Computer Networks", Andrew S. Tanenbaum e David J. Wetherall, 5a. Edição, Editora Pearson, 2011
- Campista, M. E. M., Ferraz, L. H. G., Moraes, I. M., Lanza, M. L. D., Costa, L. H. M. K., and Duarte, O. C. M. B. - "Interconexão de Redes na Internet do Futuro: Desafios e Soluções", em Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC'2010, pp. 47-101, Gramado, RS, Brazil, Maio de 2010.

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista