

Camada de Enlace

Prof. Rone Ilídio

Baseado no Capítulo V do livro Redes de Computadores e a Internet - Kurose

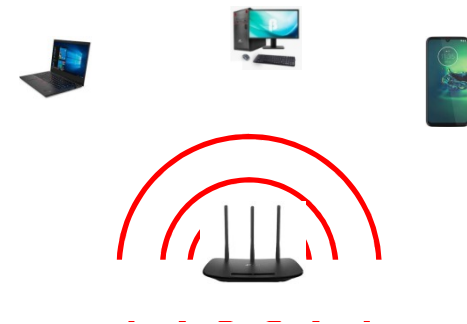
Tópicos

- 5.1 Camada de Enlace: introdução e serviços
- 5.1.1 Os serviços fornecidos pela Camada de Enlace
- 5.1.2 Onde a Camada de Enlace é implementada?
- 5.3 Protocolos de acessos múltiplos
- 5.3.1 Protocolos de divisão do canal
- 5.3.2 Protocolos de acesso aleatório
- 5.3.3 Protocolos de revezamento
- 5.4 Endereçamento na Camada de Enlace
- 5.4.1 Endereços MAC
- 5.4.2 ARP (protocolo de resolução de endereços)
- 5.5 Ethernet
- 5.5.1 Estrutura do Quadro Ethernet
- 5.5.2 CSMA/CD: o protocolo de acesso múltiplo da Ethernet
- 5.5.3 Tecnologias Ethernet
- 5.6.5 Rede Local Virtual - VLAN



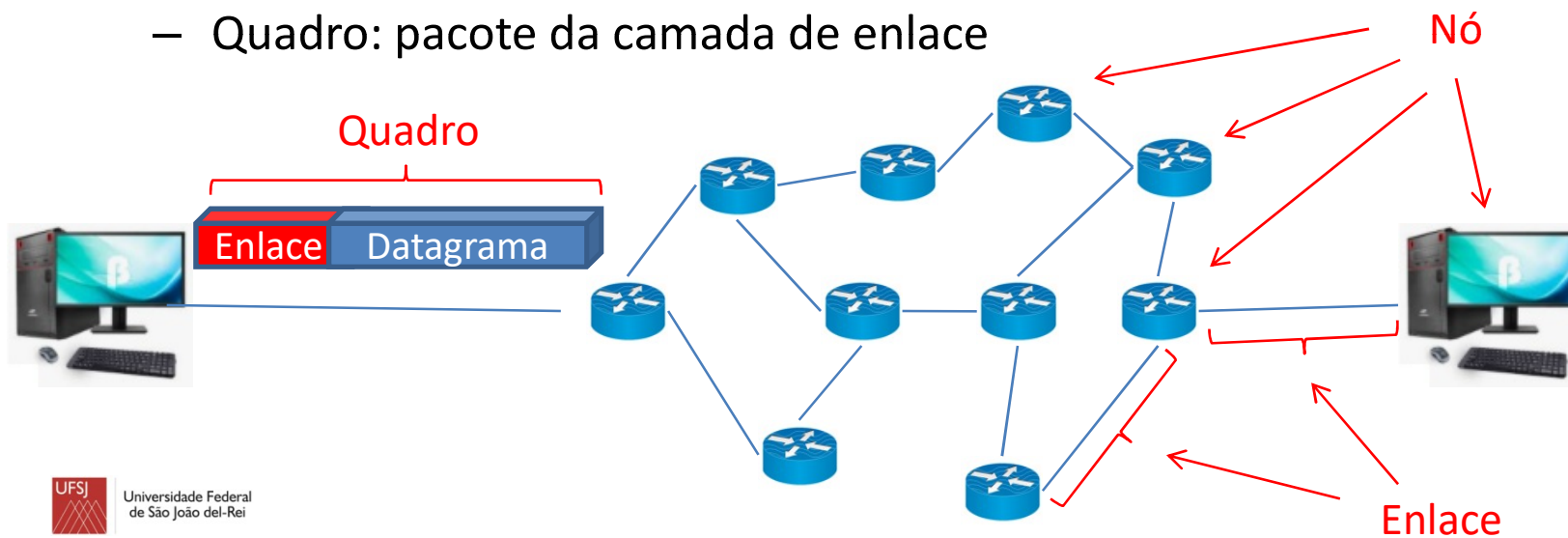
Introdução

- Principal serviço da Camada de Enlace: comunicação ponto a ponto entre dois hospedeiros
- Dois tipos de enlace:
 - Ponto a ponto
 - Entre dois hospedeiros
 - Ex: comunicação entre roteadores
 - Broadcast:
 - Um envia e todos recebem
 - Ex: LANs com e sem fio



Introdução

- Nomenclatura
 - Nó: qualquer máquina ligada à rede, seja hospedeiro final ou roteador
 - Enlace: ligação entre dois nós
 - Quadro: pacote da camada de enlace



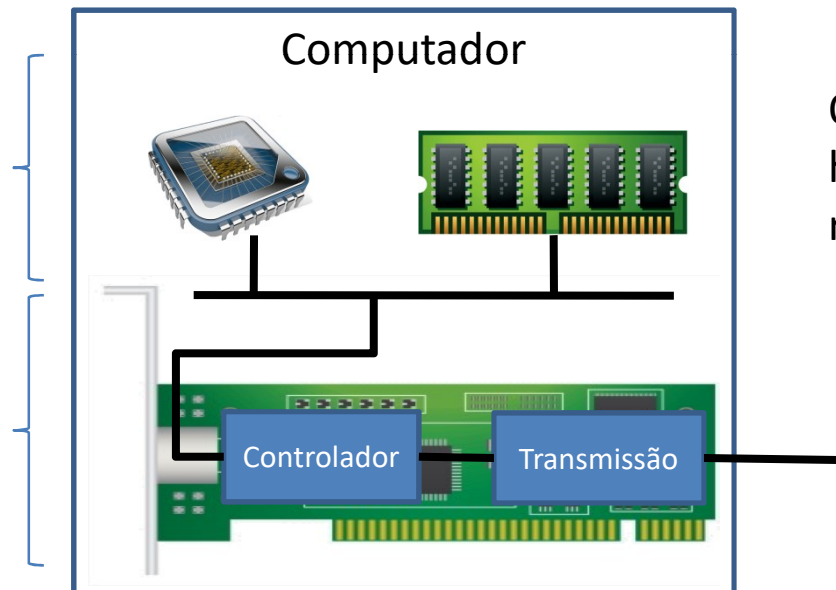
Serviços Fornecidos pela Camada de Enlace

- Enquadramento de dados
 - **Datagrama** da Camada de Redes dentro de um **quadro** da Camada de Enlace
- Acesso ao enlace
 - Controle de acesso ao meio
- Entrega confiável
 - Utilizado em enlaces com altas taxas de erro (fibra não possui)
- Controle de fluxo
 - Evita saturação do buffer do outro nó
- Detecção de erros (erros por atenuação ou interferência)
- Correção de erros
- Half-duplex (nó transmite OU recebe ao mesmo tempo) e Full-duplex (transmite E recebe ao mesmo tempo)



Onde a Camada de Enlace é Implementada?

- Maior parte em um adaptador de rede ou controlador de interface de rede (NIC – *Network Interface Controller*)
- Operações básicas no Sistema Operacional(ex:recebimento do datagrama)



Obs: operações em hardware são mais rápidas

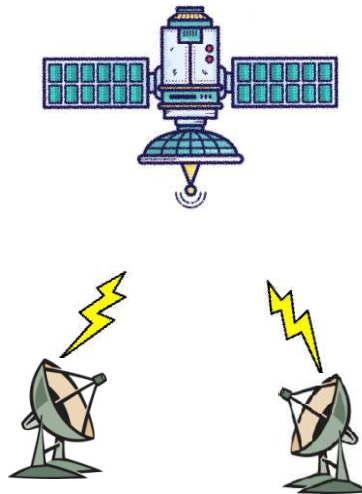
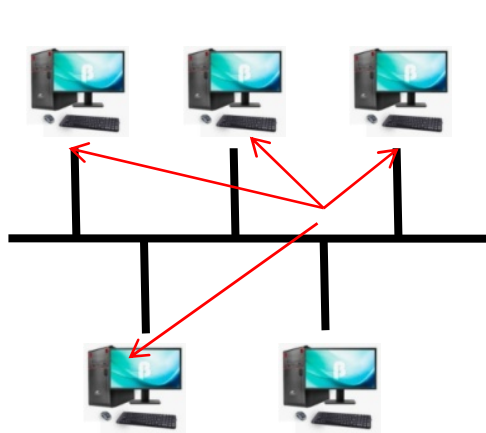
Protocolos de Acesso Múltiplo



Universidade Federal
de São João del-Rei

Protocolos de Acesso Múltiplo

- Transmissão em broadcast
 - Todos recebem uma transmissão
 - Se dois ou mais transmitirem ao mesmo tempo ocorre uma colisão



Protocolos de Acesso Múltiplo

- Protocolos de acesso múltiplo: regulam as transmissões em canais broadcast compartilhados
- Colisão: duas ou mais transmissões ao mesmo tempo
- Três tipos:
 - **Protocolos de divisão do canal:** TDM, FDM e CDMA
 - **Protocolos de acesso aleatório:** Aloha, Slotted Aloha, CSMA
 - **Protocolos de revezamento:** polling e passagem de permissão



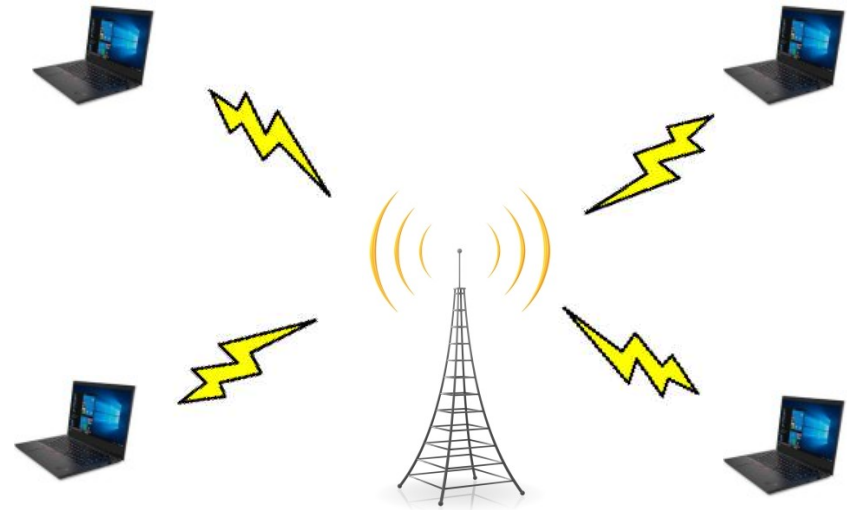
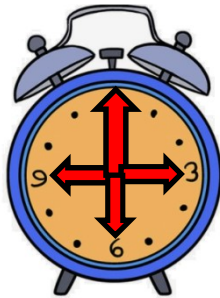
Protocolos de Divisão do Canal



Universidade Federal
de São João del-Rei

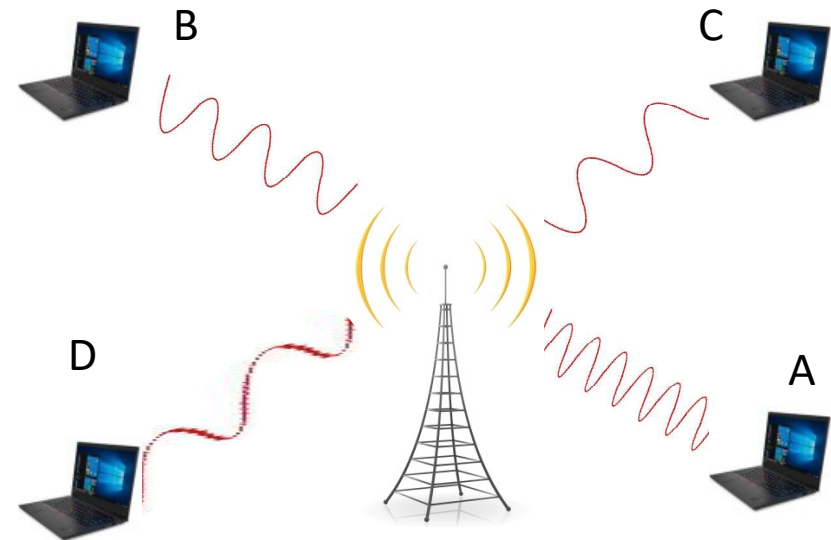
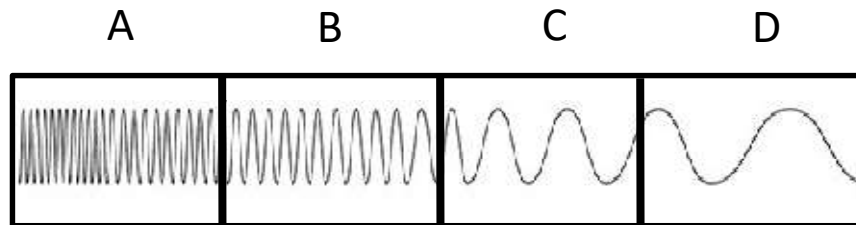
Protocolos de Divisão do Canal

- TDM – *Time Division Multiplexing*
 - O tempo é dividido em N slots
 - Em cada slot um nó transmite
 - Cada nó tem banda de $1/N$



Protocolos de Divisão do Canal

- FDM – *Frequency Division Multiplexing*
 - O espectro de frequência é dividido em N canais
 - Cada nó utiliza um canal
 - Cada nó tem banda de $1/N$



Protocolos de Divisão do Canal

- CDMA – *Code Division Multiplexing Access*
 - Cada nó possui um código único
 - Todos os nós podem transmitir ao mesmo tempo
 - O receptor é capaz de decodificar cada transmissão



Universidade Federal
de São João del-Rei

Protocolos de Acesso Aleatório



Universidade Federal
de São João del-Rei

Protocolos de Acesso Aleatório

- Aloha Puro
- Slotted Aloha
- CSMA/CA
- CSMA/CD



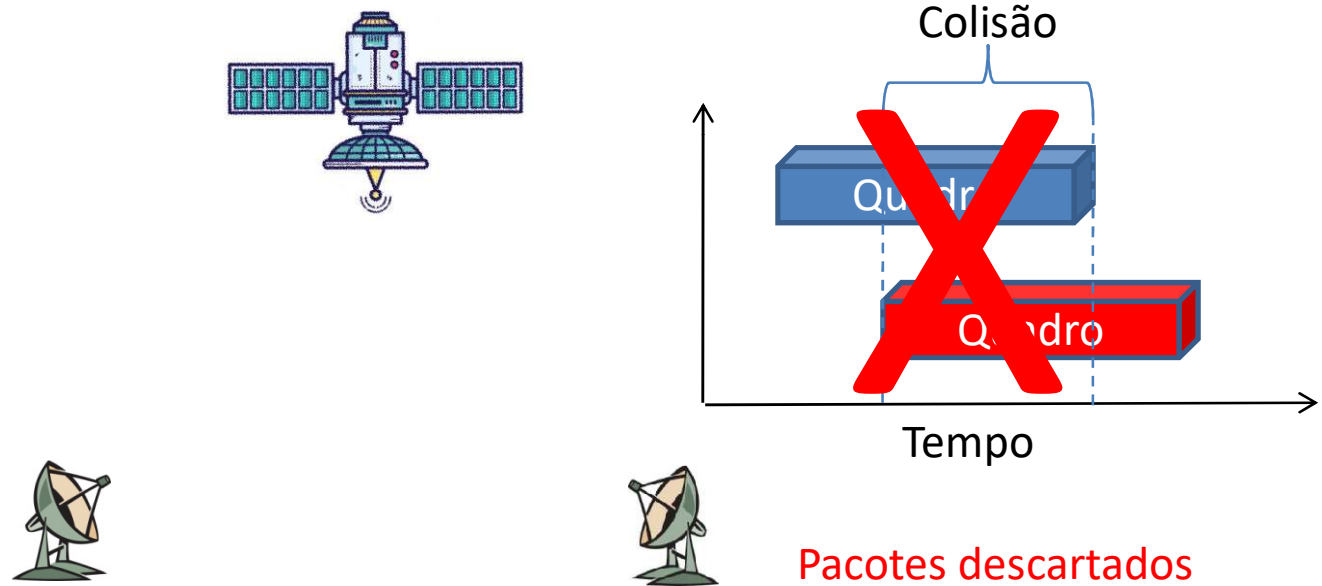
Aloha Puro e Slotted Aloha



Universidade Federal
de São João del-Rei

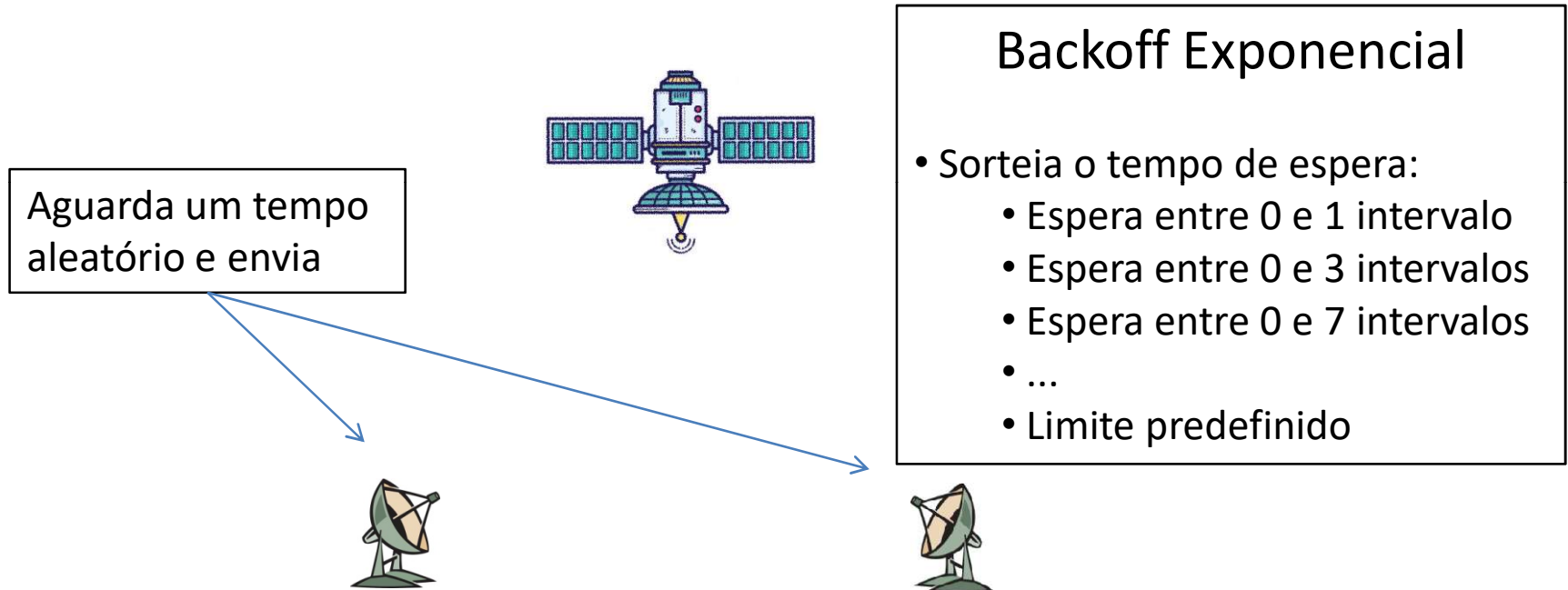
Aloha Puro

- Funcionamento do Aloha Puro



Aloha Puro

- Funcionamento do Aloha Puro



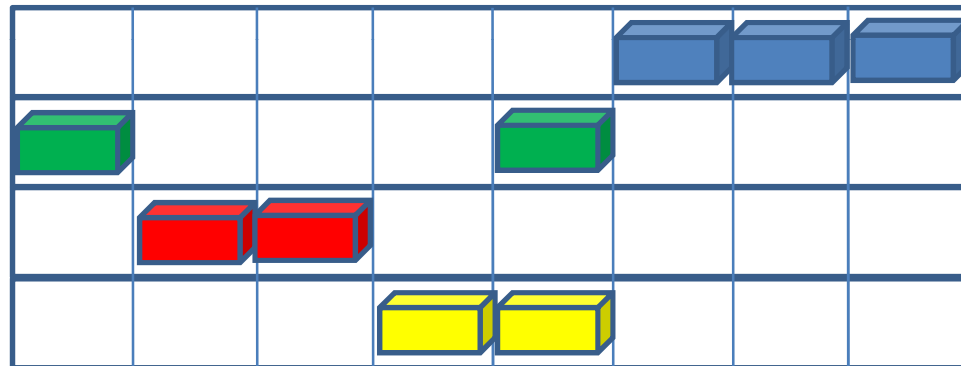
Aloha Puro

- Funcionamento do Aloha Puro
 - Nó envia um pacote
 - Espera confirmação
 - Se recebeu: fim
 - Se não recebeu: espera tempo aleatório e reenvia
- Utilizado quando os transmissores não se escutam
- Espera por Backoff Exponencial
- Exemplo: transmissão via satélite

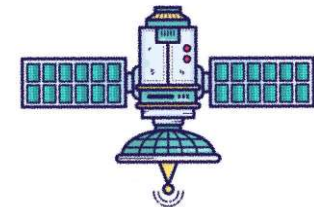


Slotted Aloha

- Funcionamento Slotted Aloha



Colisão



Slotted Aloha

- Funcionamento Slotted Aloha
 - Divide o tempo de transmissão em slots
 - Cada nó só pode transmitir no início de um slot
 - Se dois nós transmitirem ao mesmo tempo → colisão
 - Em caso de colisão, o quadro é retransmitido após um período aleatório
- Espera aleatória por backoff exponencial
- Baixa eficiência com dois ou mais nós → melhor que o Aloha Puro



CSMA - Carrier Sense Multiple Access

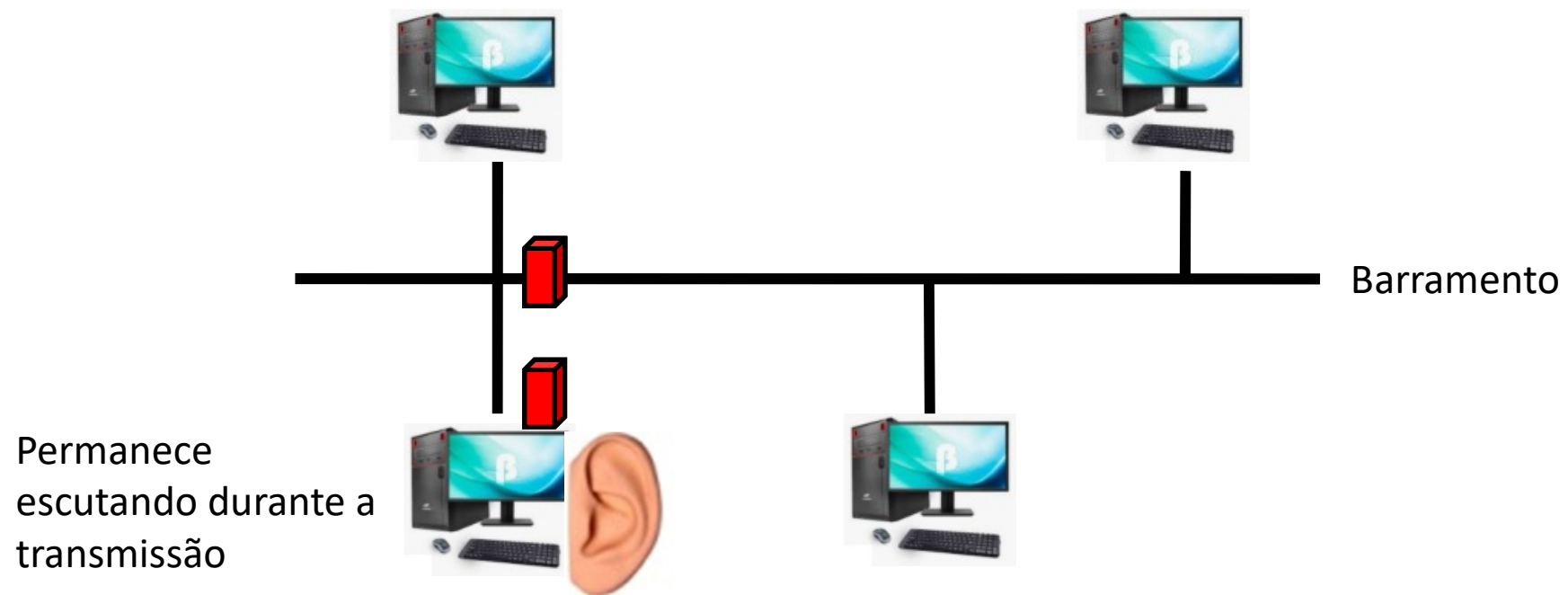


Carrier Sense Multiple Access

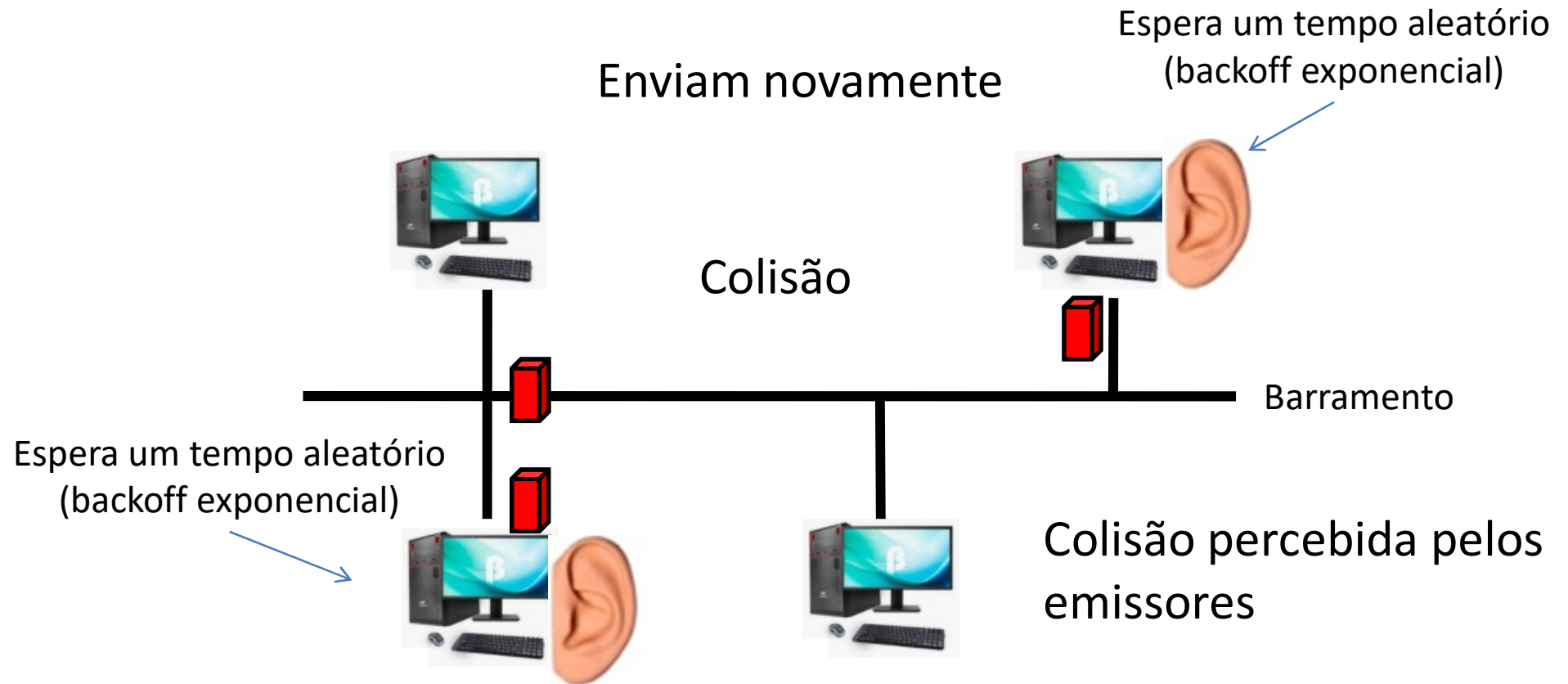
- CSMA –acesso múltiplo com detecção de portadora
- Funcionamento
 - Nó só transmite se o meio estiver ocioso
 - Se escutar transmissão, espera um tempo aleatório
- Variações
 - CSMA/CD: com detecção de colisão (Ethernet)
 - Ouve enquanto fala
 - CSMA/CA: com prevenção de colisão (Wifi)
 - Mensagens RTS e CTS



CSMA/CD

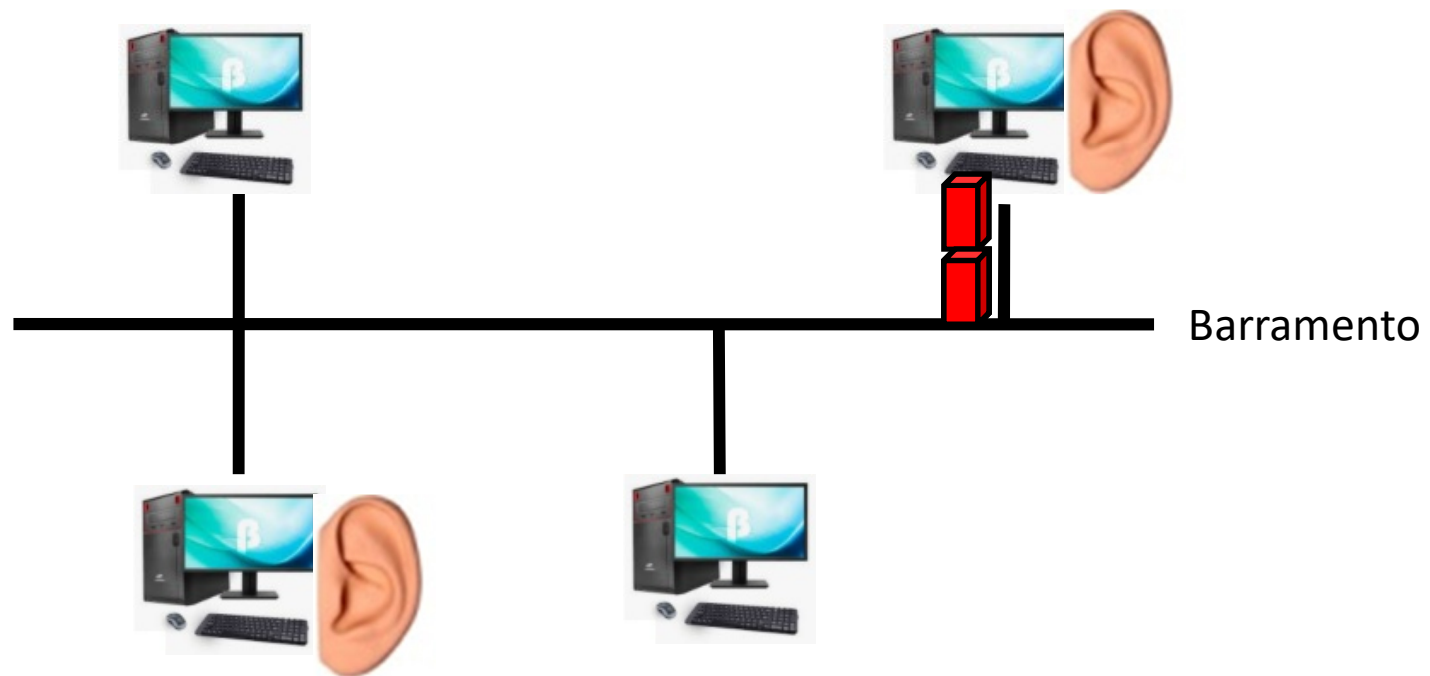


CSMA/CD

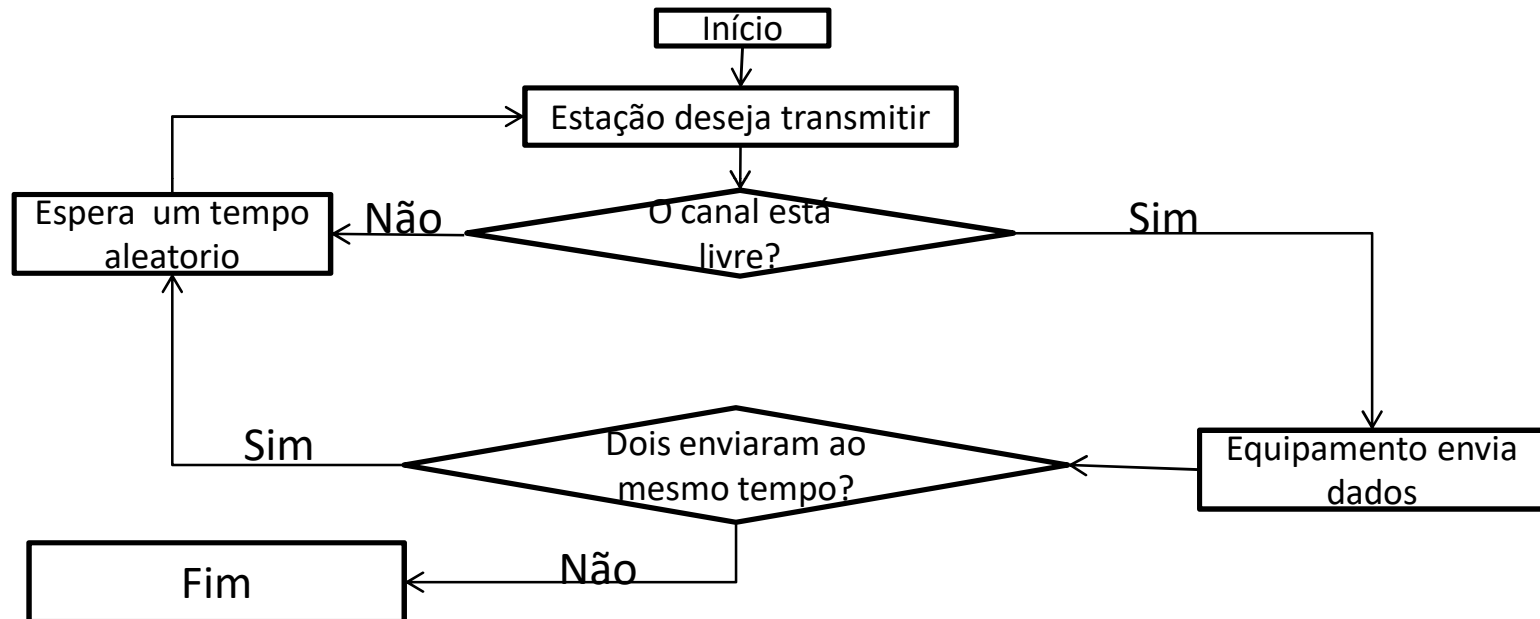


CSMA/CD

Enviaram novamente

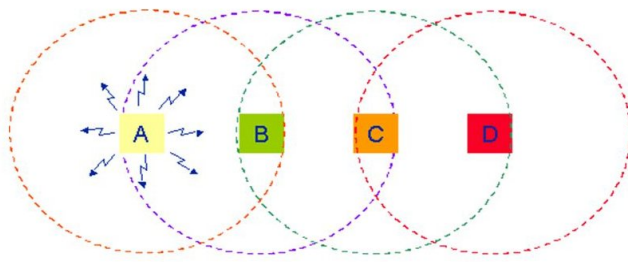


CSMA/CD



CSMA/CD e Redes Sem Fio

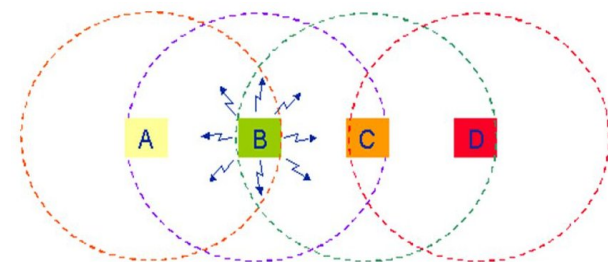
- CSMA não pode ser utilizado em redes sem fio
 - Problema da estação oculta
 - Problema da estação exposta



Estação oculta: C escuta o meio e não percebe transmissões. Se C transmitir para B, ocorrerá colisão em B

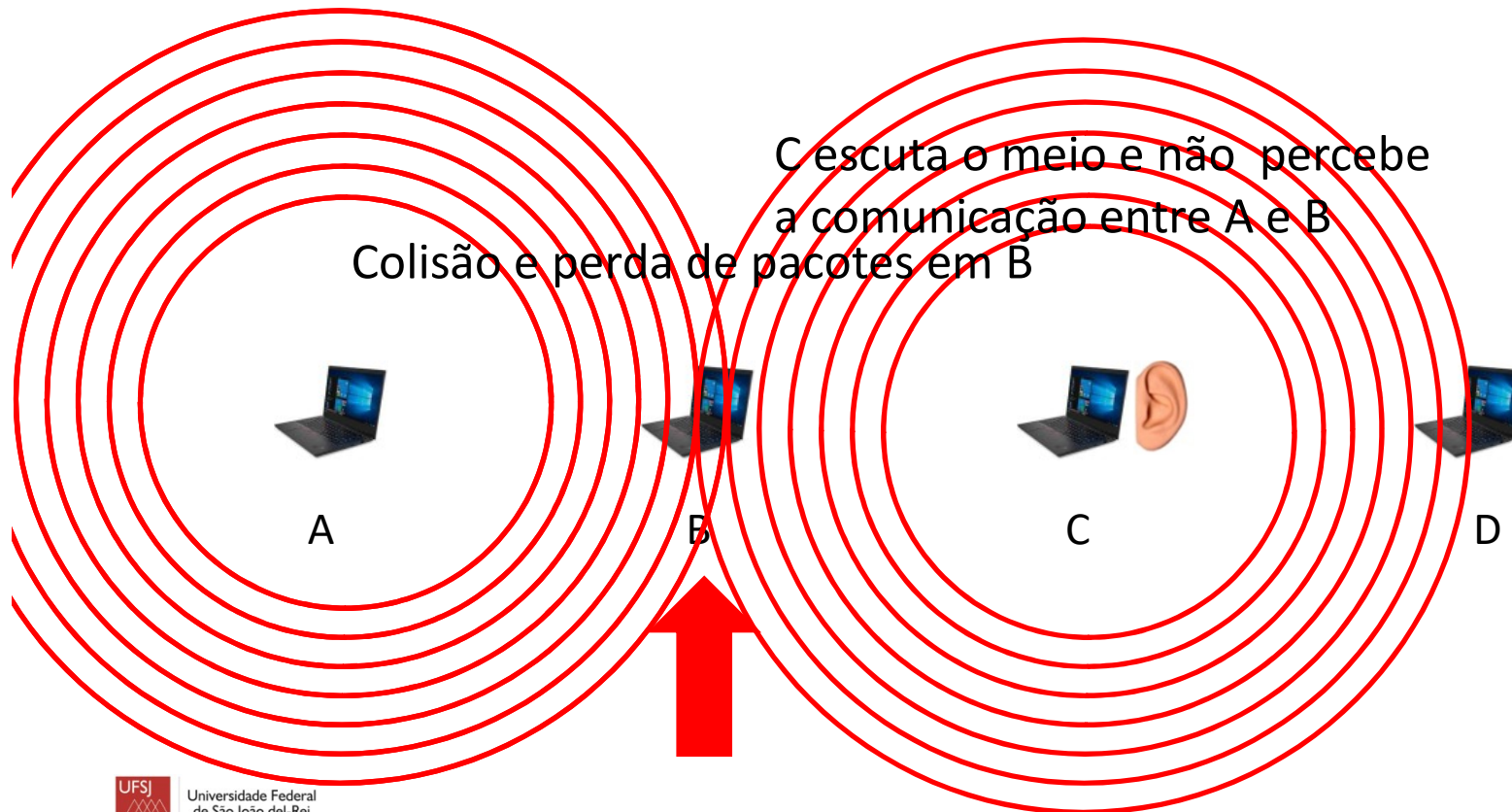


Universidade Federal
de São João del-Rei

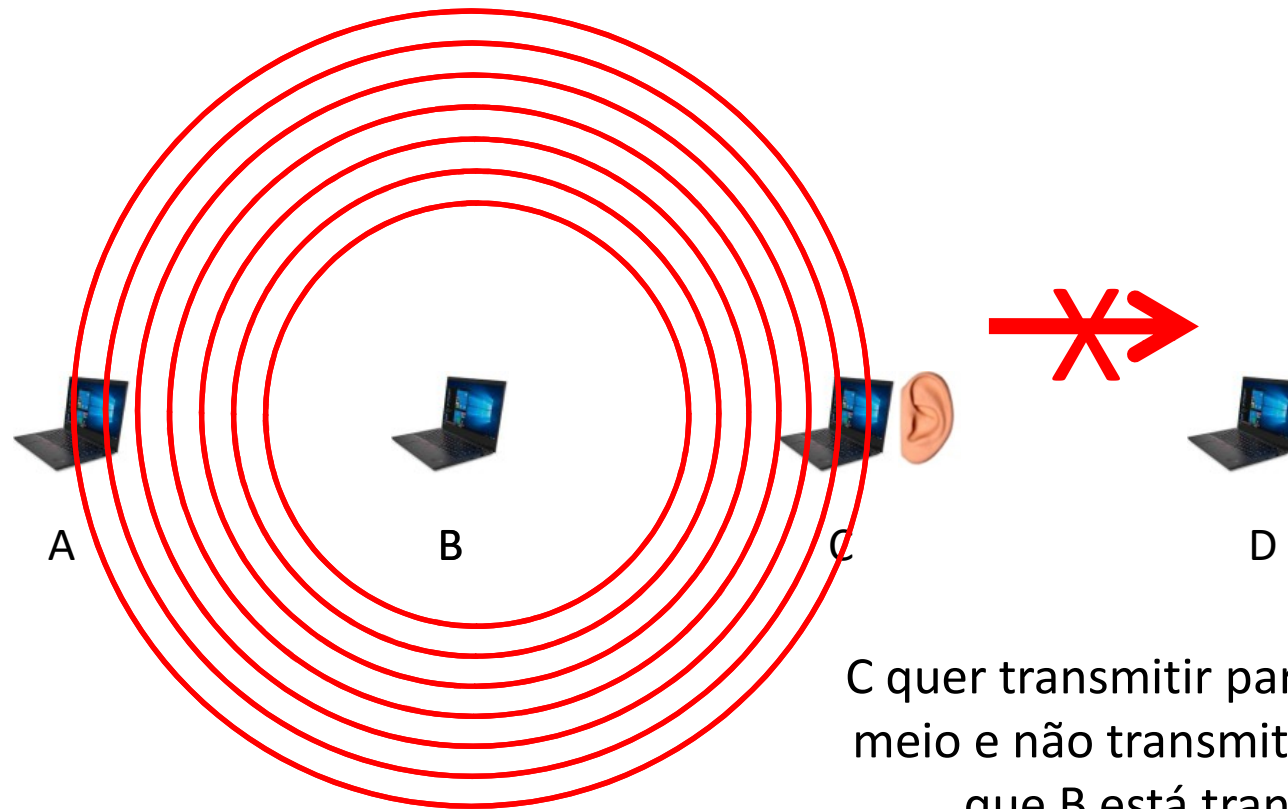


Estação exposta: C quer transmitir para D. C escuta o meio e não transmite pois percebe que B está

Problema da estação oculta



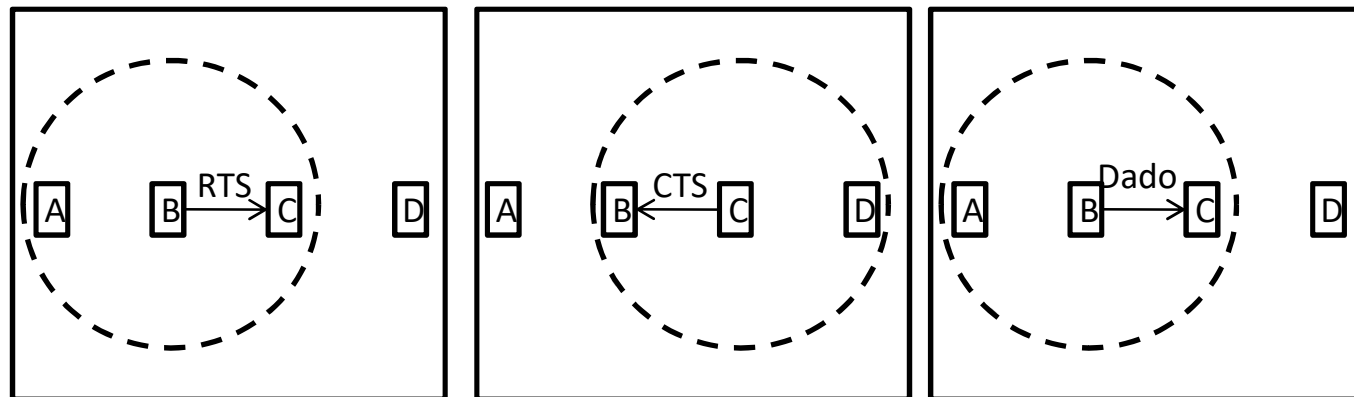
Problema da estação exposta



C quer transmitir para D. C escuta o meio e não transmite pois percebe que B está transmitindo.

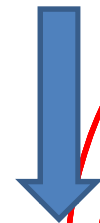
CSMA/CA

- Funcionamento:
 - Antes de transmitir, uma estação B envia um RTS (*Request To Send*) para C: pacote curto com o tamanho dos dados
 - C responde com um CTS (*Clear To Send*) com o tamanho dos dados
 - B envia os dados
 - A e D sabem o tempo que devem ficar esperando



CSMA/CA

Sabe o tamanho
dos dados



A

RTS



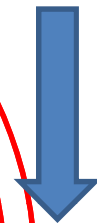
B

CTS



C

Sabe o tamanho
dos dados



D

RTS e CTS possuem
o tamanho do
pacote de dados



Universidade Federal
de São João del-Rei

CSMA/CA

- Utilizado em redes sem fio
- Problemas na detecção da colisão
 - O sinal transmitido é muito mais forte que o sinal recebido
 - O hardware para detectar a colisão seria caro



Protocolos de Revezamento



Universidade Federal
de São João del-Rei

Protocolos de Revezamento

- Protocolos de seleção ou polling
 - Mestre controla quem vai transmitir
 - Alternância circular
 - Introduz atraso na seleção
 - Se o Mestre falhar a rede toda cai
- Protocolos de Passagem de Permissão
 - Distribuído: a permissão de transmissão é circula entre os nós
 - Se o nó com a permissão falhar, um sistema de recuperação deve ser ativado



Endereçamento na Camada de Enlace



Universidade Federal
de São João del-Rei

Endereçamento na Camada de Enlace

- NIC – *Network Interface Card* ou placa de rede
- NIC possui identificador único denominado **Endereço MAC** (*Medium Access Control*)
- 6 bytes em hexadecimal
FF – FF – FF – FF – FF – FF
- Endereços fixos e únicos
- Cada interface de rede possui seu endereço MAC (Ethernet, Bluetooth, Wifi, etc)



Endereçamento na Camada de Enlace

- Distribuição controlada pela IEEE
 - Os primeiros 24 bits são fixos para cada fabricante
 - Informação pública na internet

FF – FF – FF – FF – FF – FF

Identifica o fabricante Variação

- Lista de fabricantes disponível em
<http://standards-oui.ieee.org/oui/oui.txt>

Protocolo ARP



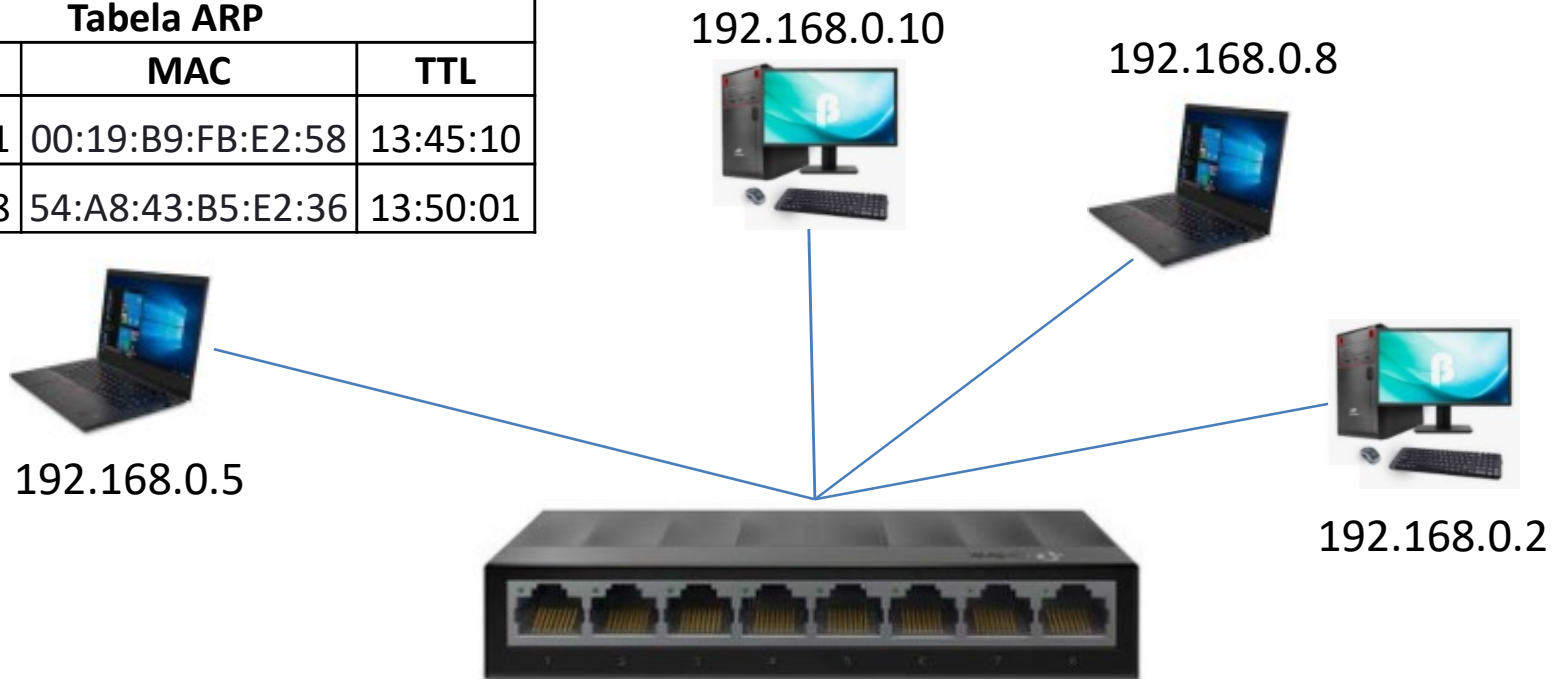
Universidade Federal
de São João del-Rei

Protocolo ARP

- *ARP – Address Resolution Protocol*
- Converte endereços MAC em IP dentro de uma subrede
- Cada nó possui a tabela ARP com: endereço IP, endereço MAC e TTL (tempo de vida do registro, normalmente 20 minutos)

Protocolo ARP

Tabela ARP		
IP	MAC	TTL
192.168.0.1	00:19:B9:FB:E2:58	13:45:10
192.168.0.8	54:A8:43:B5:E2:36	13:50:01



Ethernet



Universidade Federal
de São João del-Rei

Ethernet

- Tecnologia de rede cabeada mais utilizada atualmente para redes locais
- Utiliza o protocolo 802.3
- Utiliza cabos de cobre de par trançado
- Conector RJ45
- CSMA/CD
- Estrutura do quadro



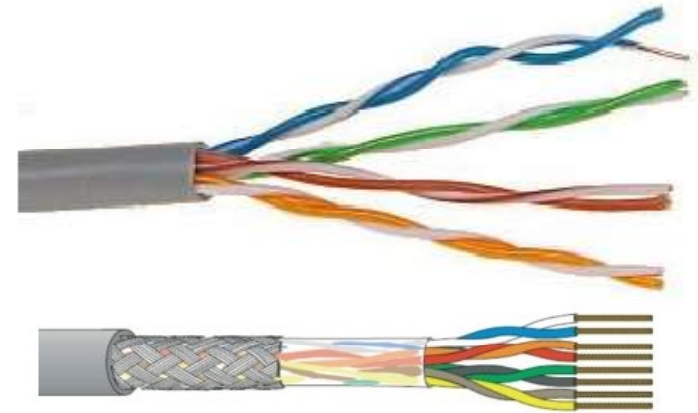
Ethernet

- Preâmbulo
 - Desperta os demais computadores
 - Sincronizam os relógios
 - Formado por 7 bytes 10101010 e o último 10101011
- Endereços (MAC) de origem e destino
- Tipo: protocolo da camada superior
- Dados: de 46 a 1500 bytes para alocar o datagrama da Camada de Rede
- CRC: verificação de erro
 - Somente descarta quadros com erros, não envia ACK nem retransmite o quadro (serviço não confiável)



Ethernet

- Cabos de pares trançados
 - UTP – Unshielded Twisted Pair
 - STP – Shielded Twisted Pair
- Categorias mais utilizadas
 - CAT5e, CAT6 e CAT7
- Ambiente interno até 100m



Ethernet



- Padrões Ethernet
 - 10 megabits/seg: 10Base-T Ethernet (IEEE 802.3)
 - 100 megabits/seg: Fast Ethernet (IEEE 802.3u)
 - 1 gigabits/seg: Gigabit Ethernet (IEEE 802.3z)
 - 10 gigabits/seg: 10 Gigabit Ethernet (IEEE 802.3ae)
 - 40 ou 100 gigabits/seg: 40 ou 100 Gigabit Ethernet (IEEE 802.3ba-2010)
 - 1000 gigabits/seg: 1000 Gigabit Ethernet (IEEE 802.3ab)



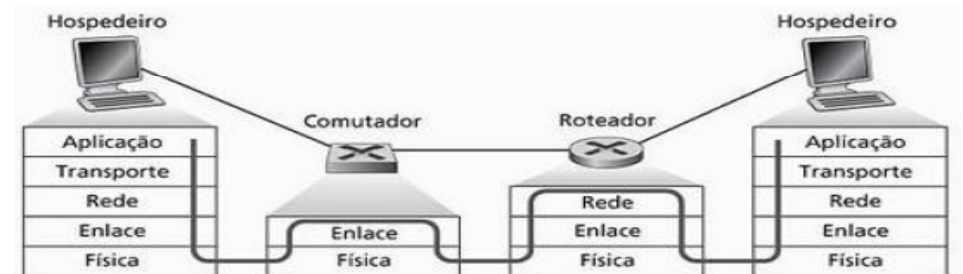
Roteadores - Comutadores



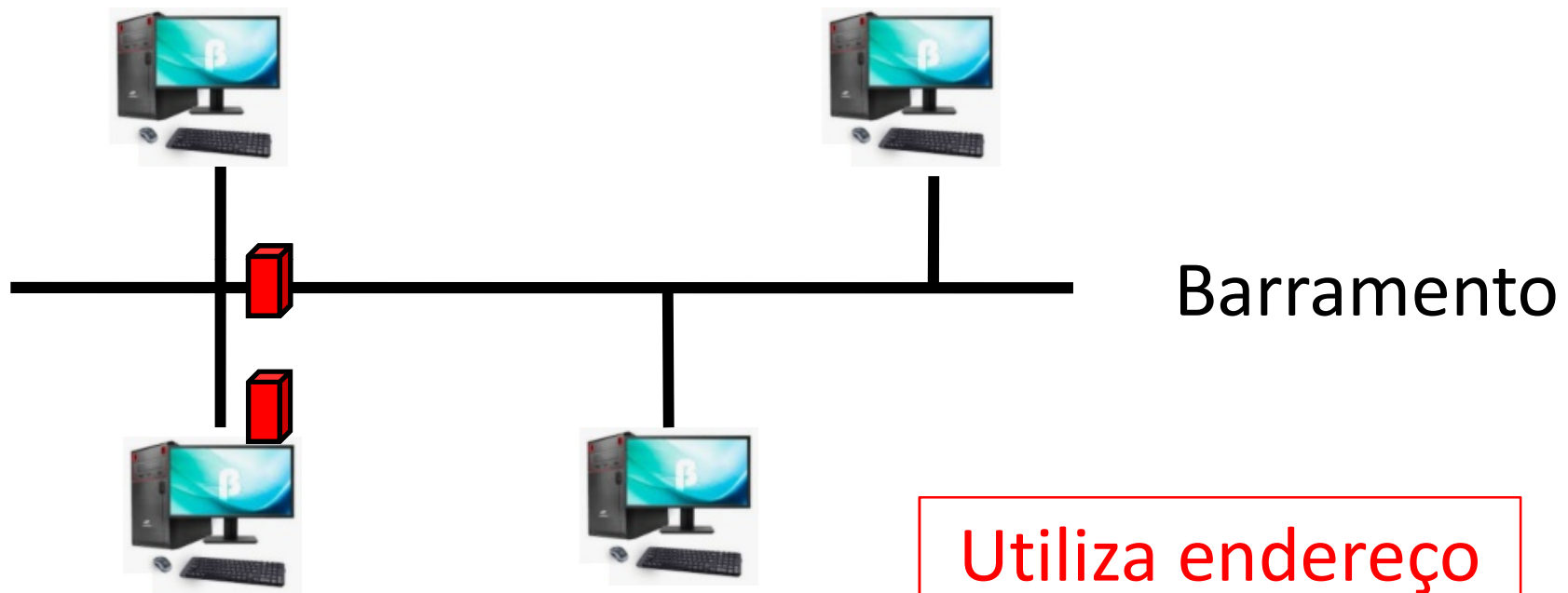
Universidade Federal
de São João del-Rei

Roteadores - Comutadores

- Roteadores
 - Acessam até a camada IP
 - Definem para qual porta o datagrama IP recebido será transmitido
 - Interligam subredes distintas
 - Comutadores
 - Acessam até a Camada de Enlace
 - Redes locais
 - Hubs e switches
 - Pontes (bridges)
- Faz a interconecção entre duas redes (agrega duas redes)
 - Acessa somente até Camada de Enlace

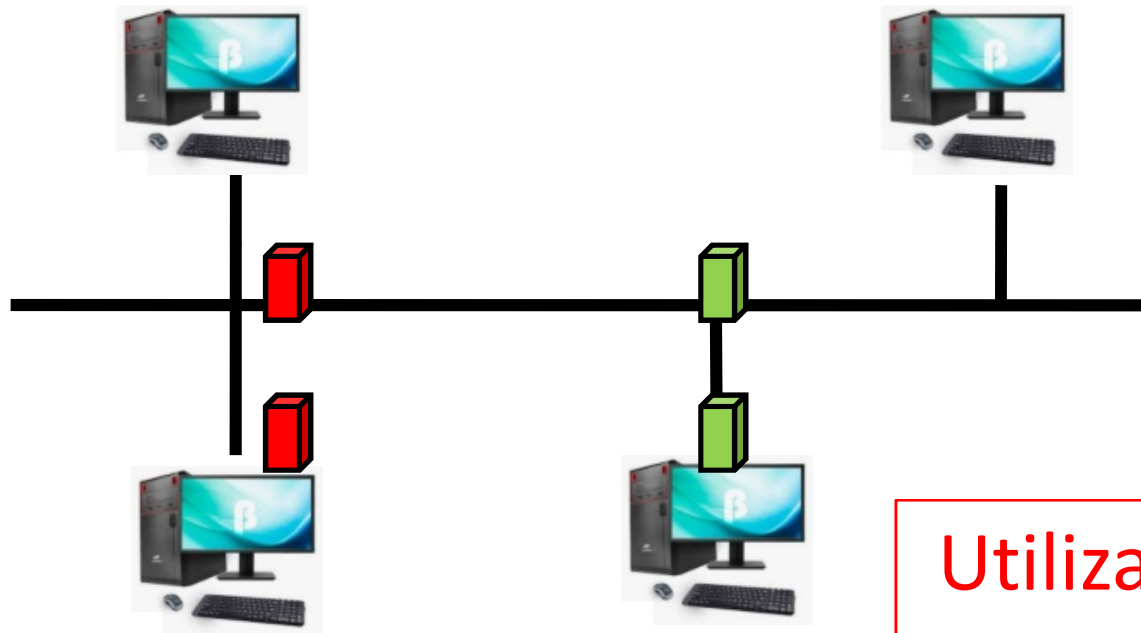


HUB



Utiliza endereço
MAC

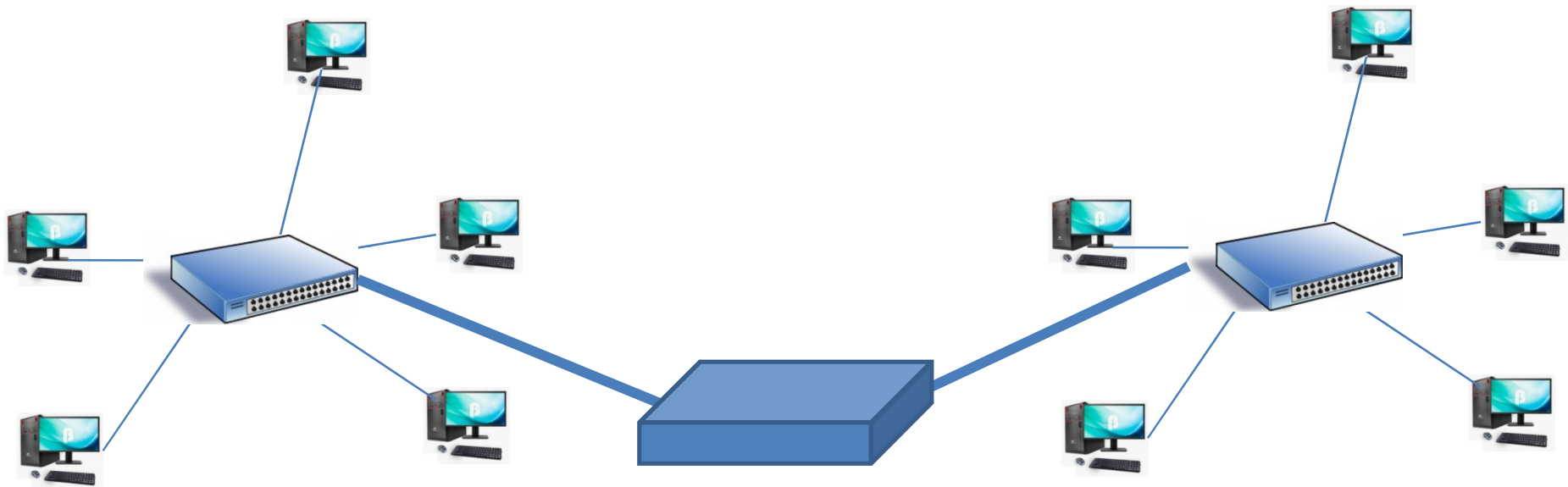
Switch



Divide as
comunicações
entre os pares

Utiliza endereço
MAC

Bridge



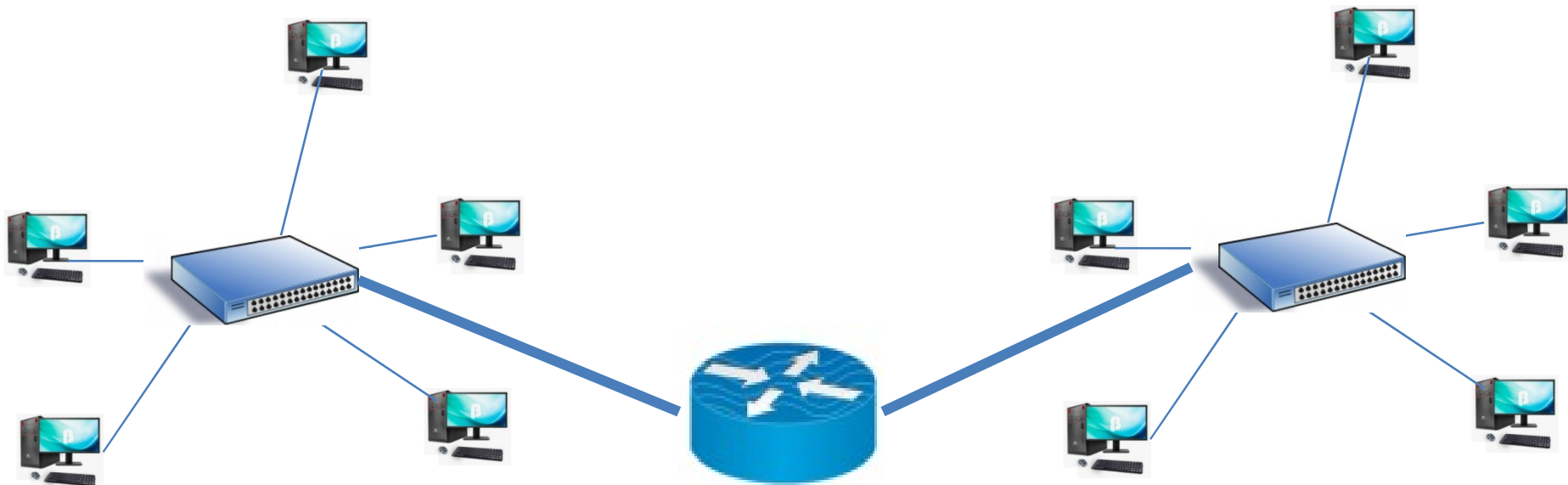
Interliga segmentos de rede

Utiliza endereço MAC



Universidade Federal
de São João del-Rei

Roteador



Conecta redes distintas

Utiliza endereço IP



Universidade Federal
de São João del-Rei

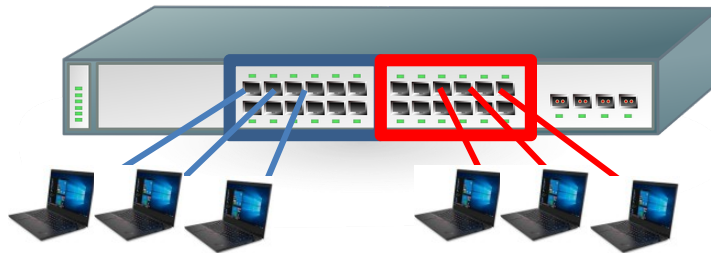
Rede Local Virtual - VLAN



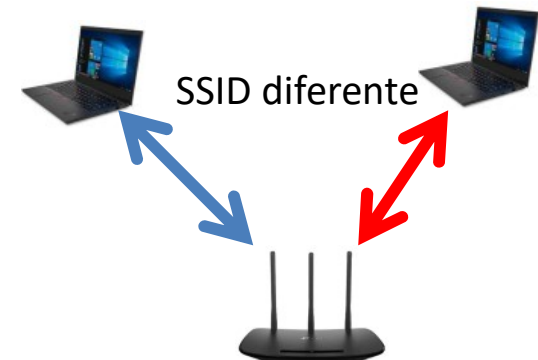
Universidade Federal
de São João del-Rei

Rede Local Virtual - VLAN

- VLANs são redes virtualmente independentes não necessariamente no mesmo comutador
- Possuem domínios de broadcast separados
 - Mensagens em broadcast possuem endereços MAC FF-FF-FF-FF-FF-FF

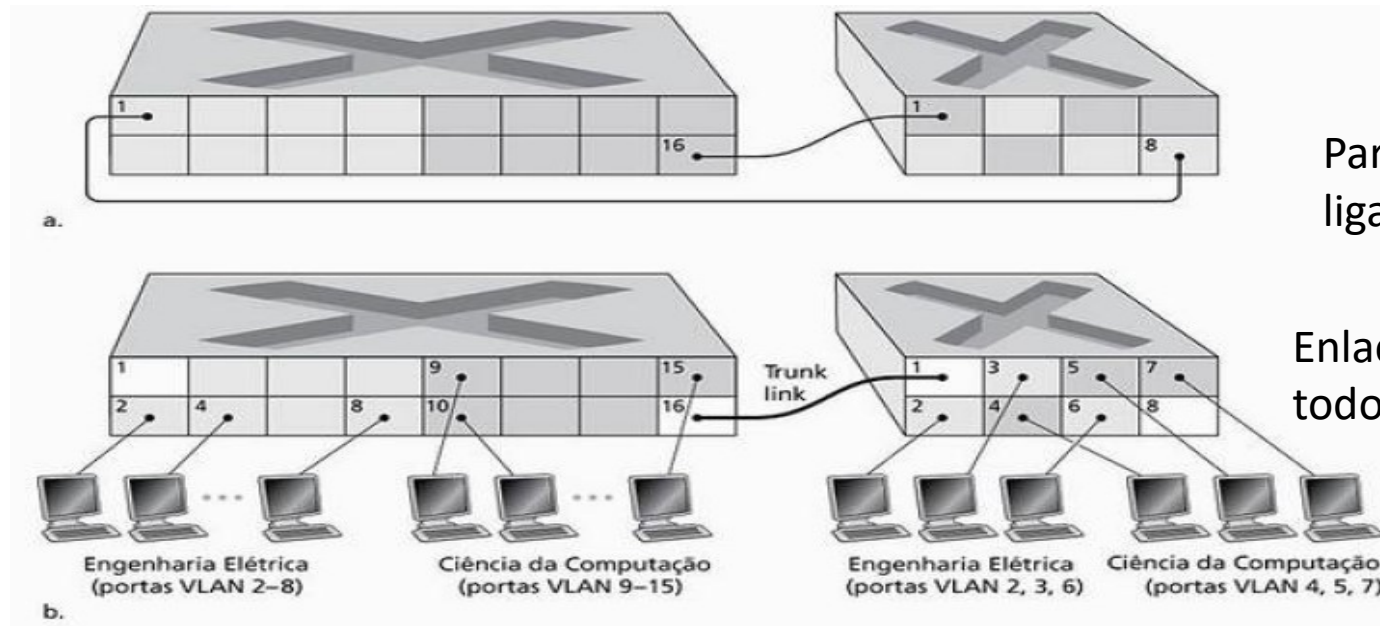


Redes diferentes



Rede Local Virtual - VLAN

- Uma VLAN pode estar distribuída a mais de um comutador
- Duas formas de conexão de comutador



Para cada VLAN um cabo ligando os roteadores

Enlace de tronco → recebe todos os pacotes