

# CPE710: Redes Móveis

Prof. Miguel Elias Mitre Campista

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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

CPE710: Redes Móveis

# PROTOSCOLOS DE CAMADA DE ENLACE

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Camada de Enlace

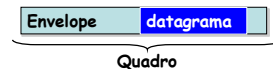
- Presta serviço para a camada de rede:
  - **Serviço básico:** Prover comunicações eficiente e confiável de unidades de informação entre dois nós adjacentes
    - O que é uma unidade de informação?
    - O que são nós adjacentes?

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Camada de Enlace

- **Unidade de informação:** Pacote de camada de enlace, também chamado de quadro (frame)
  - Quadros encapsulam datagramas da camada de rede



- **Nós adjacentes:** Nós conectados fisicamente por um canal de comunicação, também chamado de enlace
  - Enlace entrega todos os bits ao destinatário na mesma ordem de envio

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Camada de Enlace

- Para oferecer serviços, os protocolos consideram...
  - Tipos diferentes de canais de comunicação:
    - **Canal ponto-a-ponto**
      - Uma estação em cada extremidade
      - Requer controle simples de acesso
        - » Exs: Redes de acesso domiciliares e redes entre roteadores
    - **Canal de difusão (broadcast)**
      - Várias estações conectadas ao mesmo canal
      - Requer controle de acesso ao meio para coordenar as transmissões
        - » Ex. rede sem-fio

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Camada de Enlace

- Por que o tipo do canal influencia na definição do protocolo de comunicação?

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Camada de Enlace

- Por que o tipo do canal influencia na definição do protocolo de comunicação?

**Principalmente porque a forma como o meio é acessado depende do tipo de canal...**

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Camada de Enlace

- Por que o tipo do canal influencia na definição do protocolo de comunicação?



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Tipos de Protocolos

- Protocolos Simplex: "Utópico"
  - Pacotes enviados de um transmissor para um receptor
    - Todos os pacotes são recebidos pois assume-se que o meio é **sem perda** e o transmissor **não sobrecarrega** o receptor
- Protocolos Simplex: **Pare e Espere (stop-and-wait)**
  - Pacotes enviados de um transmissor para um receptor
    - Se o transmissor puder **sobrecarregar** o receptor, uma nova transmissão só pode ser feita após a recepção do reconhecimento
    - Caso haja **perda** no meio, é necessário acrescentar número de sequência no pacote e temporizador
      - Basta um bit (0 ou 1) como número de sequência

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Tipos de Protocolos

- Funcionamento do **Pare e Espere**
  - Transmissor só pode enviar um quadro por vez
    - Próximo quadro só pode ser transmitido após a recepção do reconhecimento positivo (ACK) do atual



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Tipos de Protocolos

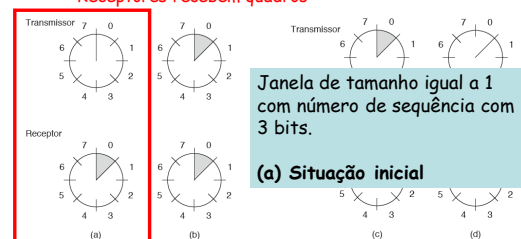
- Protocolos de **Janela Deslizante**
  - Pare e Espere com número de sequência usa janela deslizante
    - Transmissor e receptor possuem janelas de tamanho 1 com número de sequência de 1 bit
  - Porém, números de sequência maiores e tamanhos de janelas maiores podem ser usados
    - Pipeline de pacotes no meio torna o uso do canal mais eficiente
      - Especialmente interessante para meios com alto produto (largura de banda \* atraso)

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Tipos de Protocolos

- Protocolos de **Janela Deslizante**
  - Conjunto de números de sequência é alterado conforme:
    - Transmissores recebem os reconhecimentos positivos
    - Receptores recebem quadros



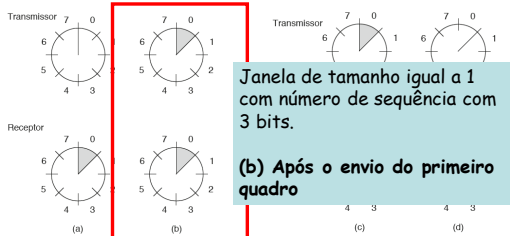
CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Tipos de Protocolos

### • Protocolos de Janela Deslizante

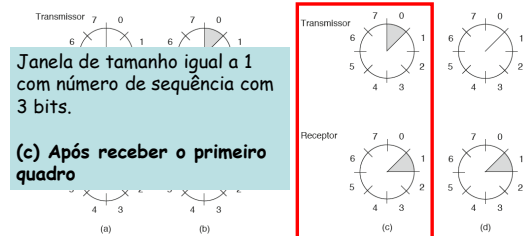
- Conjunto de números de sequência é alterado conforme:
  - Transmissores recebem os reconhecimentos positivos
  - Receptores recebem quadros



## Tipos de Protocolos

### • Protocolos de Janela Deslizante

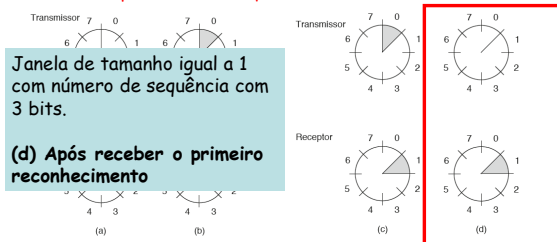
- Conjunto de números de sequência é alterado conforme:
  - Transmissores recebem os reconhecimentos positivos
  - Receptores recebem quadros



## Tipos de Protocolos

### • Protocolos de Janela Deslizante

- Conjunto de números de sequência é alterado conforme:
  - Transmissores recebem os reconhecimentos positivos
  - Receptores recebem quadros



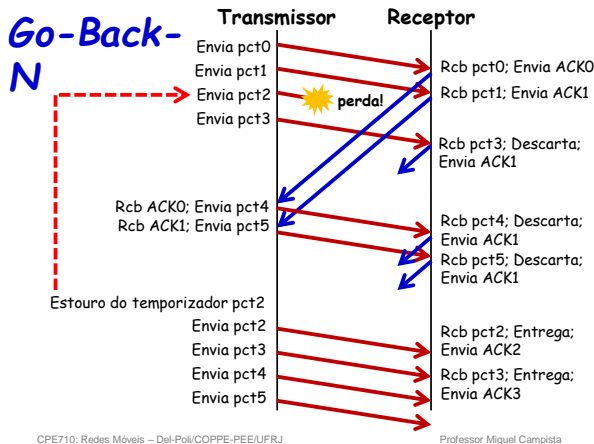
## Tipos de Protocolos

### • Protocolos de Janela Deslizante: *Go-Back-N*

- Transmissor pode enviar até N pacotes não reconhecidos ("em trânsito")
  - Janelas de transmissão e de recepção são iguais a N
- Receptor envia apenas ACKs cumulativos
  - Não reconhece pacote se houver falha de sequência
- Transmissor possui um temporizador para o pacote mais antigo ainda não reconhecido
  - Se o temporizador estourar, retransmite todos os pacotes ainda não reconhecidos

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Tipos de Protocolos

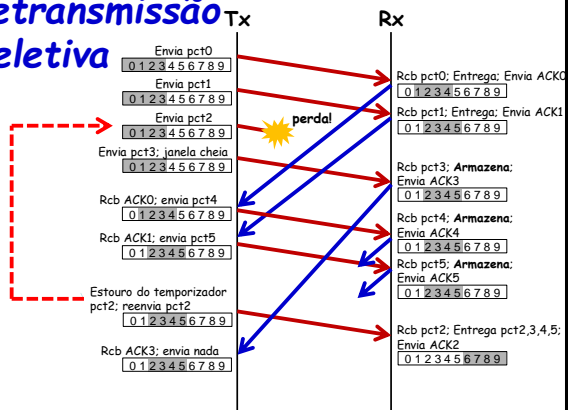
### • Protocolos de Janela Deslizante: *Retransmissão Seletiva*

- Receptor reconhece individualmente todos os pacotes recebidos corretamente
  - Armazena pacotes no buffer, conforme necessário, para posterior entrega ordenada à camada superior
- Transmissor apenas reenvia pacotes para os quais um ACK não foi recebido
  - Temporizador no remetente para cada pacote sem ACK
- Janela de transmissão
  - N números de sequência consecutivos
  - Outra vez limita números de sequência de pacotes enviados, mas ainda não reconhecidos

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Retransmissão Seletiva



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Tipos de Protocolos

- Em redes sem fio é comum a denominação:
  - Protocolos livres de contenção (*contention free*)
  - Protocolos baseados em contenção (*contention based*)

**Contenção é sinônimo de espera para acessar o meio. Importante principalmente quando mais de um nó pode acessar o meio ao mesmo tempo**

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Tipos de Protocolos

- Protocolos livre de contenção:
  - Fazem reserva de recursos
    - Nós não precisam realizar contenção para acessar o meio
      - Por exemplo, TDMA, CDMA, FDMA, polling e token-based
  - São empregados para garantir atraso fim-a-fim limitado e largura de banda mínima
    - Privilegia aplicações sensíveis a atrasos
      - Por exemplo, aplicações interativas
  - Podem ser ineficiente e levar a ociosidade do meio

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Tipos de Protocolos

- Protocolos baseados em contenção
  - São mais apropriados para redes com transferências esporádicas de dados
    - Aplicações não sensíveis a atrasos e que não tenham requisitos mínimos de banda passante são boas candidatas à contenção
    - Redes sem fio dinâmicas também, dada a natureza temporária da topologia
  - Podem trazer maior eficiência no uso dos recursos caso o número de nós não seja muito elevado
    - Muitos nós podem levar a muitas colisões

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Protocolos de Camada de Enlace: Canal de Difusão

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Controle de Acesso ao Meio

- Protocolos de múltiplo acesso usados em canais de difusão
  - Coordenação de transmissores e de receptores em um canal de difusão compartilhado
  - São algoritmos distribuídos que determinam como os nós compartilham o canal
    - Determinam quando um nó pode transmitir
  - Comunicação sobre o compartilhamento do canal deve usar o próprio canal!
    - Não há canal fora da banda para coordenar a transmissão

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Por que o Acesso ao Meio Precisa Ser Controlado?

- Para evitar interferência entre transmissões simultâneas
  - Quando dois ou mais nós transmitem ao mesmo tempo, uma **colisão** pode ocorrer no nó receptor caso dois ou mais sinais cheguem ao mesmo tempo...

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Protocolo Ideal de Acesso Múltiplo

- Para um canal de difusão com taxa de  $R$  b/s:
  1. Quando apenas **um** nó tem dados para enviar, esse nó obtém uma vazão de  $R$  b/s
  2. Quando **M** nós têm dados para enviar, cada um desses nós poderá transmitir em média a uma taxa de  $R/M$  b/s
  3. O protocolo é completamente descentralizado
    - Nenhum nó especial (mestre) coordena as transmissões e nem se torna um ponto de falha
  4. O protocolo é simples para que sua implementação seja barata

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Classes de Protocolos de Acesso Múltiplo

- Protocolos **baseados em contenção**
  - Protocolos de Acesso Aleatório
    - Canal não é dividido, podem ocorrer colisões
      - "Recupera" as colisões
- Protocolos **livres de contenção**
  - Protocolos de Divisão de Canal
    - Divide o canal em pequenos "pedaços" (slots de tempo, frequências, códigos...)
      - Aloca pedaços a um nó para seu uso exclusivo
  - Protocolos de Revezamento
    - Nós se revezam no acesso ao meio
      - Alternam oportunidades de acesso ao meio sem que ninguém tente acessar ao mesmo tempo

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Protocolos Baseados em Contenção (Acesso Aleatório)

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

Professor Miguel Campista

## Protocolos Baseados em Contenção

- Quando um nó tiver um quadro a transmitir...
  - Tenta transmitir à taxa máxima do canal sem nenhuma coordenação *a priori* entre os nós
- Entretanto, se dois ou mais nós transmitirem ao mesmo tempo:
  - Há uma colisão!
    - Acesso ao meio é realizado de forma não determinística
- Nesse cenário, o protocolo de acesso aleatório especifica:
  - Como detectar colisões e como se recuperar delas
    - Através de retransmissões retardadas, por exemplo

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Protocolos Baseados em Contenção

- Aloha
- Slotted Aloha
- CSMA persistente
- CSMA não persistente
- CSMA p-persistente
- CSMA/CD
- Outros

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Rede Aloha

- Criada por Norman Abramson em 1960
- Primeira rede baseada em pacotes
- Interligação de computadores em várias ilhas do Havaí compartilhando um meio (RF)
  - Comunicação com um computador central
    - Disputa do meio

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Protocolo Aloha

- Estação transmite quando desejar
  - Não há escuta do meio...
  - Se o quadro for recebido sem erros
    - Um reconhecimento positivo é enviado ao remetente
  - Se duas ou mais estações transmitirem ao mesmo tempo
    - Colisão!
    - Colisão inferida ao não receber o reconhecimento positivo após um intervalo de tempo pré-determinado
  - Se o quadro for recebido com erro
    - Remetente também não recebe reconhecimento positivo

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

Professor Miguel Campista

## Protocolo Aloha

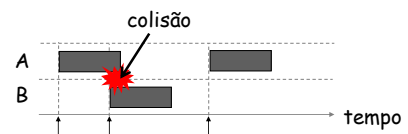
- Se o reconhecimento positivo não for recebido...
  - Quadro é retransmitido...
    - Retransmissão após um tempo aleatório para redução da probabilidade de nova colisão
  - Processo é repetido continuamente até que o reconhecimento positivo seja recebido pelo remetente

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Protocolo Aloha

- Baixa eficiência
  - Cálculo a seguir

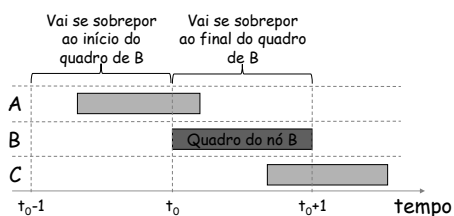


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Eficiência do Aloha

- Probabilidade de colisão
  - Quadro enviado em  $t_0$  colide com outros quadros enviados em  $[t_0-1, t_0+1]$

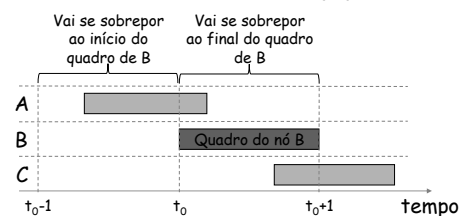


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Eficiência do Aloha

- $P(\text{sucesso de um nó}) = P(\text{nó transmite})$ 
  - \*  $P(\text{nenhum outro nó transmite em } [t_0-1, t_0])$
  - \*  $P(\text{nenhum outro nó transmite em } [t_0, t_0+1])$



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Eficiência do Aloha

- $P(\text{sucesso de um nó}) = P(\text{nó transmite})$
- $P(\text{nenhum outro nó transmite em } [t_0-1, t_0])$
- $P(\text{nenhum outro nó transmite em } [t_0, t_0+1])$

$$P(\text{sucesso de um nó}) = p \cdot (1-p)^{n-1} \cdot (1-p)^{n-1} = p \cdot (1-p)^{2(n-1)}$$

**Eficiência baixa... ☹**

$$P(\text{sucesso por um dado nó}) = 1/2e \approx 18\%$$

Considerando  $p$  ótimo ( $p^*$ ) e  $n$  tendendo ao infinito...

## Eficiência do Aloha

- Cálculo do  $p$  ótimo ( $p^*$ ):

$$d[n \cdot p^* \cdot (1-p^*)^{2(n-1)}] / dp = 0$$

$$\Rightarrow n \cdot (1-p^*)^{2(n-1)} + n \cdot p^* \cdot 2 \cdot (n-1) \cdot (1-p^*)^{2(n-1)-1} \cdot (-1) = 0$$

$$\Rightarrow n \cdot (1-p^*)^{2(n-1)} - n \cdot p^* \cdot 2 \cdot (n-1) \cdot (1-p^*)^{2(n-1)-1} = 0$$

$$\Rightarrow n \cdot (1-p^*)^{2(n-1)} - n \cdot p^* \cdot 2 \cdot (n-1) \cdot (1-p^*)^{2(n-1)-1} / (1-p^*) = 0$$

$$\Rightarrow [n \cdot (1-p^*)^{2(n-1)}] [1 - 2 \cdot p^* \cdot (n-1) / (1-p^*)] = 0$$

$$\Rightarrow 1 - p^* = 2 \cdot p^* \cdot (n-1) \Rightarrow 1 = p^* \cdot (2 \cdot n - 2) + p^*$$

$$\Rightarrow 1 = p^* \cdot (2 \cdot n - 2 + 1) \Rightarrow p^* = 1 / (2n - 1)$$

- Substituindo  $p^*$  em  $n \cdot p \cdot (1-p)^{2(n-1)}$ :

$$\lim_{n \rightarrow \infty} [n / (2n - 1)] \cdot [(1 - 1 / (2n - 1))^{2(n-1)}]$$

$$\Rightarrow \lim_{n \rightarrow \infty} [n / (2n - 1)] \cdot \lim_{n \rightarrow \infty} [(1 - 1 / (2n - 1))^{2(n-1)}] = 1/2 \cdot 1/e = 1/2e$$

• Lembrando que  $\lim_{n \rightarrow \infty} [(1 - 1/n)^n] = 1/e$

## Slotted Aloha

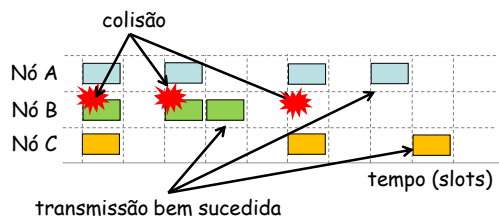
- Hipóteses:
  - Todos os quadros têm o mesmo tamanho ( $L$  bits)
  - Tempo é dividido em *slots* de tamanho igual
    - Tempo para transmitir 1 quadro ( $L/R$  seg)
  - Nós começam a transmitir quadros apenas no início dos intervalos (*slots*)
  - Nós são **sincronizados**
    - Problema...
  - Se dois ou mais nós transmitirem em um *slot*, todos os nós envolvidos detectam a colisão

## Slotted Aloha

- Operação
  - Quando o nó obtém um novo quadro, ele espera até o início do próximo *slot* e transmite o quadro inteiro
    - Se não houver colisão, o nó poderá enviar um novo quadro no próximo *slot*
    - Caso haja uma colisão (detectada antes do final do intervalo), o nó retransmite o quadro em intervalo subsequente com **probabilidade  $p$**  até obter sucesso

## Slotted Aloha

- Operação



## Slotted Aloha

- Vantagens
  - Único nó ativo pode transmitir continuamente na taxa máxima do canal
  - Altamente descentralizado
    - Apenas os *slots* nos nós precisam estar sincronizados
  - Simples

## Slotted Aloha

- Desvantagens
  - Quando há colisões
    - Slots desperdiçados
  - Slots ociosos
    - Desperdício
      - Retransmissões em slots aleatórios podem gerar slots ociosos
  - Requer a sincronização dos relógios
    - Assume-se relógio global usado por todos os nós

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Eficiência do Slotted Aloha

- Eficiência
  - Fração de longo prazo de slots bem sucedidos quando há muitos nós cada um com muitos quadros para transmitir
- Assuma  $n$  nós com muitos quadros para enviar
- Cada um transmite num slot com probabilidade  $p$
- Probabilidade que nó 1 tenha sucesso em um slot
  - $p(1-p)^{n-1}$
- Probabilidade que qualquer nó tenha sucesso
  - $np(1-p)^{n-1}$

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Eficiência do Slotted Aloha

- Para eficiência máxima com  $n$  nós
  - Encontrar  $p^*$  que maximiza  $np(1-p)^{n-1}$
- Para muitos nós, faça limite para  $np(1-p)^{n-1}$ 
  - Quando  $n \rightarrow \infty$ , eficiência =  $1/e$  = **37%**

**Mais eficiente, mas ainda é baixa!**

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Eficiência do Slotted Aloha

- Cálculo do  $p$  ótimo ( $p^*$ ):
 
$$d[n.p^*. (1-p^*)^{(n-1)}] / dp = 0$$

$$\Rightarrow n.(1-p^*)^{(n-1)} + n.p^*. (n-1).(1-p^*)^{(n-1)-1} . (-1) = 0$$

$$\Rightarrow n.(1-p^*)^{(n-1)} - n.p^*. (n-1).(1-p^*)^{(n-1)-1} = 0$$

$$\Rightarrow n.(1-p^*)^{(n-1)} - n.p^*. (n-1).(1-p^*)^{(n-1)} / (1-p^*) = 0$$

$$\Rightarrow [n.(1-p^*)^{(n-1)}] [1 - p^*. (n-1) / (1-p^*)] = 0$$

$$\Rightarrow 1-p^* = p^*. (n-1) \Rightarrow 1 = p^*. (n-1) + p^*$$

$$\Rightarrow 1 = p^*. (n-1+1) \Rightarrow p^* = 1/n$$
- Substituindo  $p^*$  em  $n.p(1-p)^{n-1}$ :
 
$$\lim_{n \rightarrow \infty} [(1-1/n)^{(n-1)}]$$

$$\Rightarrow \lim_{n \rightarrow \infty} [(1-1/n)^n] / \lim_{n \rightarrow \infty} [1-1/n] = 1/e$$
  - Lembrando que  $\lim_{n \rightarrow \infty} [(1-1/n)^n] = 1/e$

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## CSMA (Carrier Sense Multiple Access)

- Uso de **escuta de portadora** (sinal no meio)
  - Escuta o meio antes de transmitir
    - Se o canal estiver livre, transmite o quadro
    - Se o canal estiver ocupado, adia a transmissão
  - Objetivo  $\rightarrow$  **evitar colisões!**
- Analogia humana: não interrompa os outros!
  - Escute antes de falar
    - Escuta de portadora
  - Se alguém começa a falar junto de você, pare de falar
    - Deteção de colisão (nem sempre é possível)

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## CSMA Vs. Aloha

- Aloha não escuta o meio
- Aloha não detecta colisão

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista



## Tipos de CSMA

- **Motivação: aumentar a eficiência**
- Vários tipos
  - CSMA persistente
  - CSMA não-persistente
  - CSMA p-persistente
  - CSMA/CA
  - CSMA/CD

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Colisão de Quadros

- Se todos os nós escutam o meio antes de transmitir, ainda existem colisões?

**Sim!**  
**Mas por quê?**

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Colisão de Quadros

- Estação que quer transmitir um quadro ouve o meio
- Mesmo com a escuta da portadora, ainda podem ocorrer colisões
- Duas ou mais estações escutam o meio
  - Não escutam a transmissão da outra devido ao **atraso de propagação do sinal**



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Colisão de Quadros

- Estação que quer transmitir um quadro ouve o meio
- Mesmo com a escuta da portadora, ainda podem ocorrer colisões
- Duas ou mais estações escutam o meio
  - Não escutam a transmissão da outra devido ao **atraso de propagação do sinal**

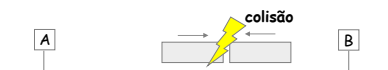


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Colisão de Quadros

- Estação que quer transmitir um quadro ouve o meio
- Mesmo com a escuta da portadora, ainda podem ocorrer colisões
- Duas ou mais estações escutam o meio
  - Não escutam a transmissão da outra devido ao **atraso de propagação do sinal**



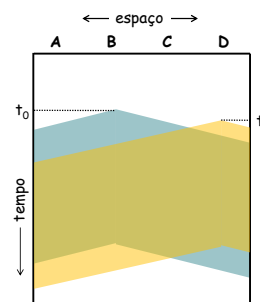
CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Colisão de Quadros

- Exemplo:
  - 4 estações: A, B, C e D
  - Em  $t_0$ , B escuta o meio
    - Para B, o meio está livre
  - Em  $t_1$ , D escuta o meio
    - Para D, o meio também está livre
    - Os bits enviados por B não chegaram a D

**Colisão!**



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Colisão de Quadros

- Mesmo com a escuta da portadora, ainda podem ocorrer colisões...
  - Devido à "memória" do meio físico
  - Quanto maior o tamanho da rede
    - Maior o atraso de propagação de uma extremidade à outra
    - Maior a probabilidade de ocorrerem colisões
  - Quanto menor o tamanho da rede
    - Mais efetiva é a escuta de portadora
      - Explica o sucesso do CSMA para redes locais

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Colisão de Quadros

- **Inferida:** Através do não recebimento de um reconhecimento positivo em um tempo T
  - CSMA persistente, CSMA não-persistente e CSMA p-persistente
  - MACA (Multiple Access with Collision Avoidance)
  - MACAW (Multiple Access with Collision Avoidance for Wireless)
  - FAMA (Floor Acquisition Multiple Access)
  - CSMA/CA (Collision Avoidance)
- **Detectada**
  - CSMA/CD (Collision Detection)

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

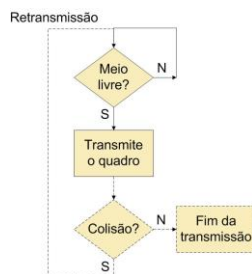
## CSMA Persistente

- Quando a estação tem um quadro para transmitir...
  - Primeiro **escuta o meio**:
    - Se o meio estiver **livre** → Transmite
    - Se o meio estiver **ocupado** → Continua escutando o meio até que ele fique livre
- Se houver uma **colisão**
  - Espera um tempo aleatório para recomear o processo

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## CSMA Persistente



Pode haver nova colisão após o meio ficar livre!

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

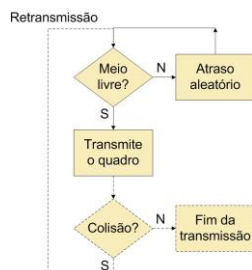
## CSMA Não-persistente

- Quando a estação tem um quadro para transmitir...
  - Primeiro **escuta o meio**:
    - Se o meio estiver **livre** → Transmite
    - Se o meio estiver **ocupado** → Estação espera um tempo aleatório e só depois volta a escutar o meio
      - Diferente do modo persistente, no qual a estação permanece escutando o meio até que ele fique livre
- Se houver uma **colisão**
  - Espera um tempo aleatório para recomear o processo

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## CSMA Não-persistente



Evita colisão após o meio ficar livre...

Em compensação, possui um maior retardo de acesso ao meio devido ao atraso aleatório

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## CSMA p-persistente

- Tempo dividido em *slots*
  - Definição de *slot* diferente da usada no *Slotted Aloha*
    - Quadro em geral ocupa vários *slots*
  - *Slot* de  $T_s \rightarrow$  tempo máximo de propagação
- Ideia
  - Probabilidade  $p$  de transmitir o quadro no início de um *slot*

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## CSMA p-persistente

- Quando a estação tem um quadro para transmitir...
  - Primeiro escuta o meio:
    - Se o meio estiver livre
      - Estação transmite o quadro com probabilidade  $p$
    - Espera pelo próximo *slot* com probabilidade  $q = 1-p$ 
      - » Se o meio estiver livre, novo sorteio com probabilidade  $p$
      - » Se o meio estiver ocupado, espera um tempo aleatório e reinicia o processo (Como se tivesse acontecido uma colisão)
  - Se o meio estiver ocupado  $\rightarrow$  Espera até o próximo *slot* e repete o algoritmo

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

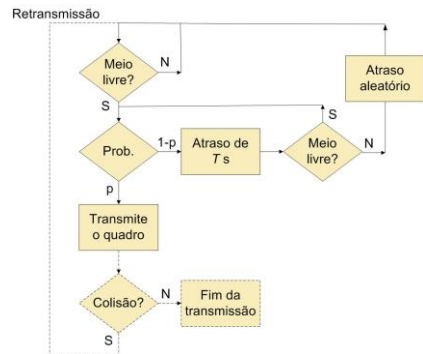
## CSMA p-persistente

- Em caso de colisão após a transmissão...
  - Espera um tempo aleatório e o processo recomeça

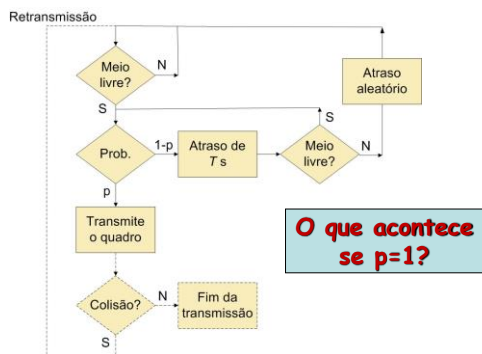
CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

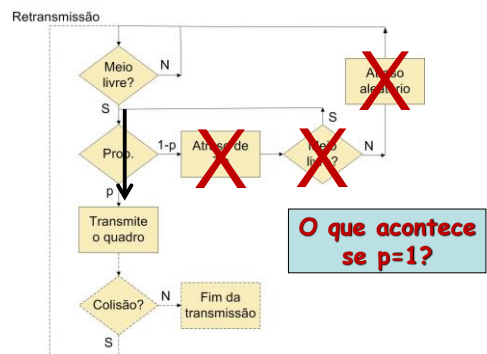
## CSMA p-persistente

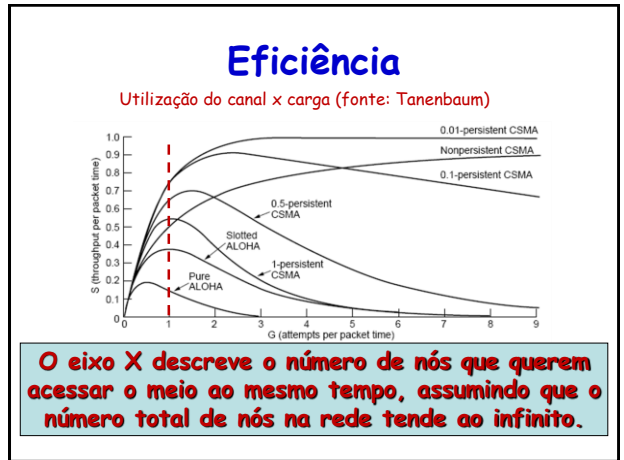
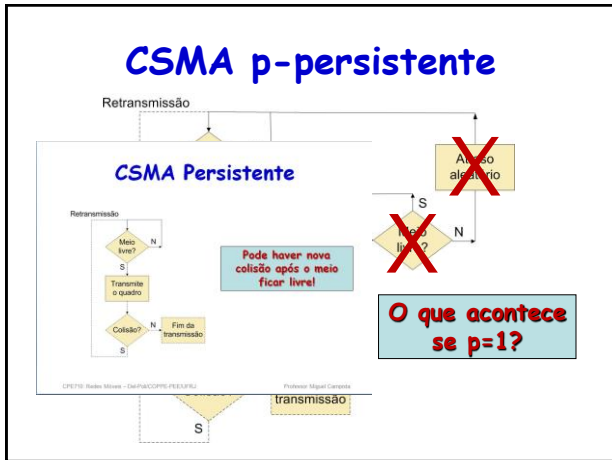


## CSMA p-persistente



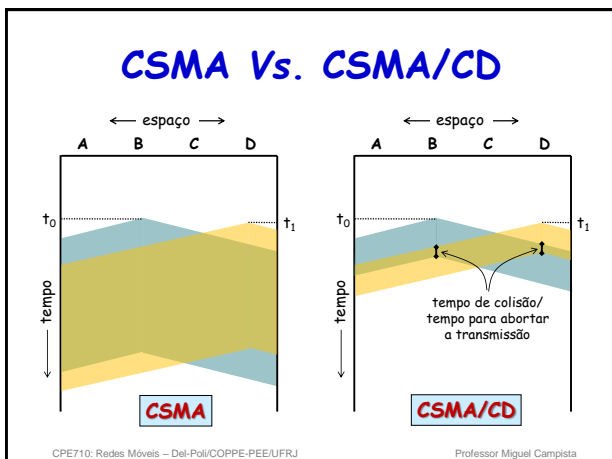
## CSMA p-persistente





- ## CSMA/CD
- Escuta de portadora
    - Como o CSMA persistente
  - Detecção de colisão
    - Realizada pelo transmissor durante a transmissão do quadro
      - Transmissor escuta o meio enquanto transmite
    - Estação cancela a transmissão assim que detecta a colisão
      - Reduz o desperdício!
- CPE710: Redes Móveis - Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ Professor Miguel Campista

- ## CSMA/CD
- Caso haja colisão...
    - Nova tentativa de transmissão após um tempo aleatório
      - Semelhante ao CSMA p-persistente
  - Analogia humana: bate papo educado!
  - Detecção de colisões
    - Fácil em redes locais cabeadas
      - Mede a potência do sinal, comparando o sinal recebido com o transmitido
    - Difícil em redes locais sem fio
      - O receptor é desligado durante a transmissão
- CPE710: Redes Móveis - Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ Professor Miguel Campista



## Por que o CSMA/CD não é Usado em Redes Sem Fio?

CPE710: Redes Móveis - Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ Professor Miguel Campista

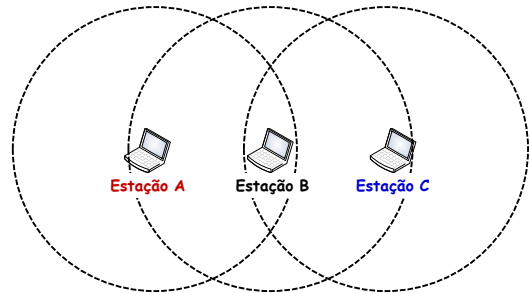
## Por que o CSMA/CD não é Usado em Redes Sem Fio?

- Grande diferença de potência entre transmissor e receptor
  - Atenuação não permite que todos os nós escutem a transmissão uns dos outros
    - Separação entre sinal e ruído é difícil e a escuta de portadora não é suficiente para evitar colisões
- Problema do terminal escondido e do terminal exposto
  - Escuta de portadora é feita no transmissor e não no receptor

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

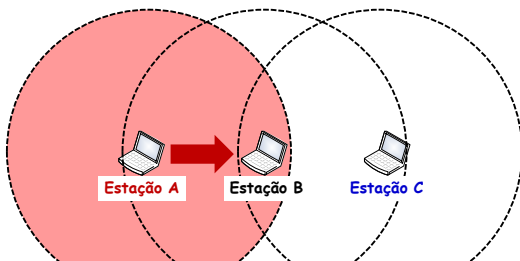
## Problema Terminal Escondido



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Problema Terminal Escondido

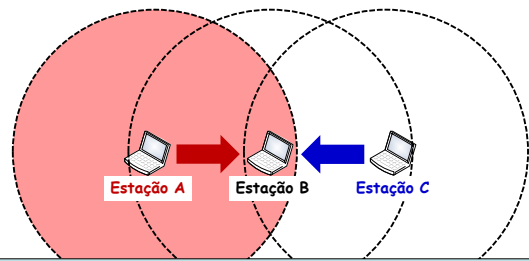


**Caso A queira falar com B, apenas as estações vizinhas de A escutarão o meio ocupado...**

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Problema Terminal Escondido

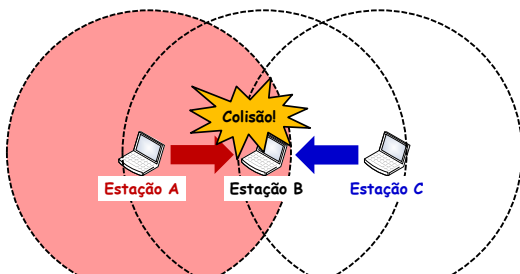


**Caso C queira falar com B também, ele poderá ir em frente pois para ele o meio estará livre...**

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Problema Terminal Escondido

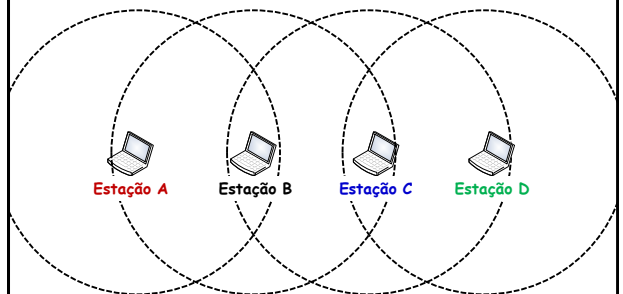


**Resultado: COLISÃO em B!**

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

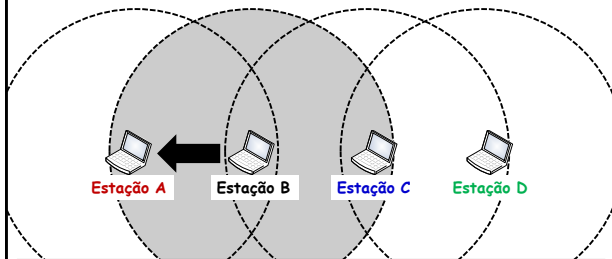
## Problema Terminal Exposto



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Problema Terminal Exposto

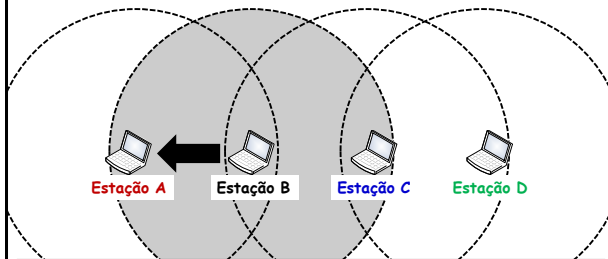


Caso B queira falar com A, todas as estações vizinhas de B escutarão o meio ocupado...

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

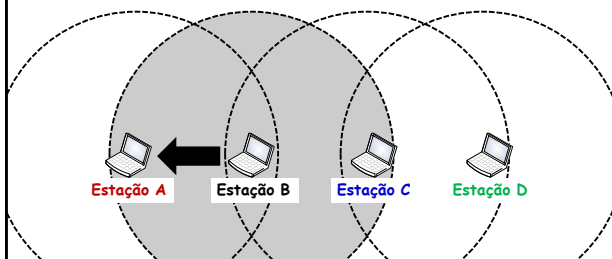
Professor Miguel Campista

## Problema Terminal Exposto



Isso significa que C também não pode acessar o meio... Mas será que teria problema se C quisesse falar com D?

## Problema Terminal Exposto



Resposta: NÃO... Porém, C está exposta à B e a transmissão C→D não ocorre enquanto o meio estiver ocupado por B.

## MACA (Multiple Access with Collision Avoidance)

- Não escuta o meio
  - Assume que a contenção faz sentido apenas no receptor
    - Escuta do meio por parte do transmissor é ineficiente pois as colisões são no receptor
- Realiza reserva do meio tanto no transmissor quanto no receptor
  - Usa quadros de sinalização pequenos e de tamanho fixo
    - RTS (Request-To-Send): requisição do transmissor
    - CTS (Clear-To-Send): confirmação do receptor

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

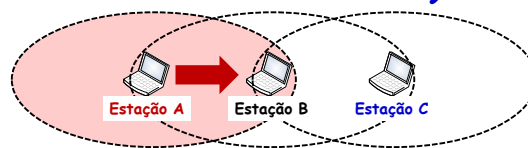
## MACA (Multiple Access with Collision Avoidance)

- RTS (Request-To-Send)
  - Reserva o meio por tempo suficiente até que o CTS seja recebido + uma folga
    - Evita colisões no transmissor
- CTS (Clear-To-Send): confirmação do receptor
  - Reserva o meio por tempo suficiente até que os dados sejam transmitidos
    - Evita colisões no receptor

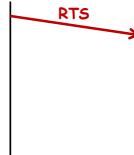
CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## MACA (Multiple Access with Collision Avoidance)



Nenhum vizinho de A pode transmitir até que A receba o CTS...



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

### MACA (Multiple Access with Collision Avoidance)

Nenhum vizinho de B pode transmitir até que B receba os dados...

RTS  
CTS

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ Professor Miguel Campista

### MACA (Multiple Access with Collision Avoidance)

Resolve o problema do terminal escondido

RTS  
CTS

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ Professor Miguel Campista

### MACA (Multiple Access with Collision Avoidance)

Como a colisão é problema no receptor, basta o meio ficar reservado em B

RTS  
CTS  
dados

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ Professor Miguel Campista

### MACA (Multiple Access with Collision Avoidance)

Isso resolve o problema do terminal exposto?

RTS  
CTS  
dados

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ Professor Miguel Campista

### MACA (Multiple Access with Collision Avoidance)

B envia RTS para A

RTS

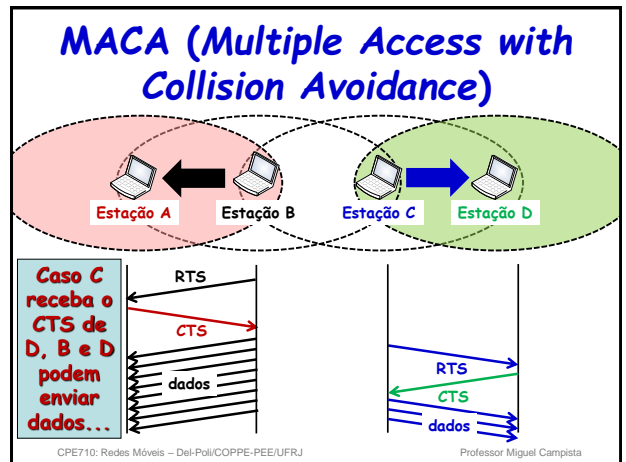
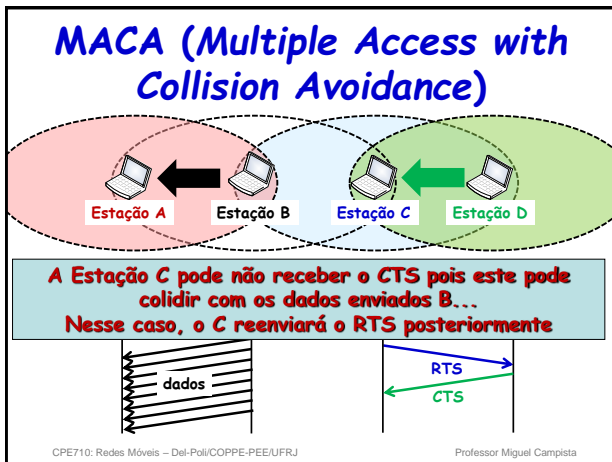
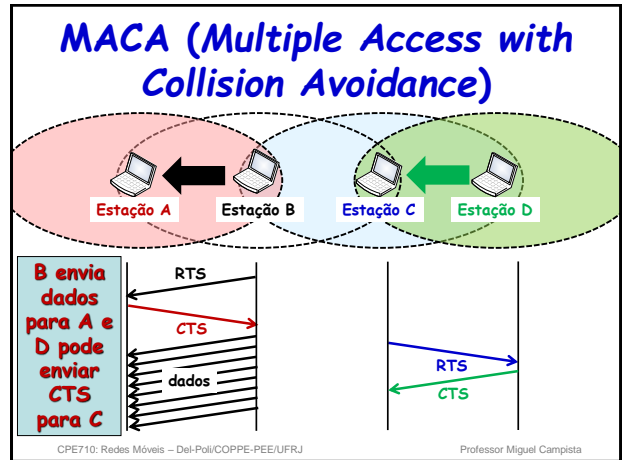
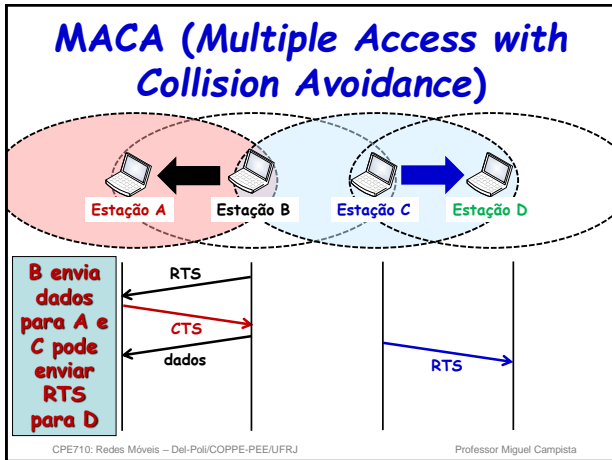
CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ Professor Miguel Campista

### MACA (Multiple Access with Collision Avoidance)

A envia CTS para B

RTS  
CTS

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ Professor Miguel Campista



### MACA (Multiple Access with Collision Avoidance)

- Caso uma colisão aconteça (colisão de RTS)
  - Estação espera um intervalo de tempo =  $b \cdot \text{tempo\_slot}$ 
    - $b$  é um inteiro em  $[0, CW]$
  - $CW$  é chamado de contador de *backoff* e o valor é ajustado dependendo do número de colisões
    - $CW = \min(2 \cdot CW, CW_{\max})$ , onde  $CW_{\max} = 64$
  - Sempre que uma transmissão bem sucedida acontecer...
    - $CW = CW_{\min} = 2$  (depende do valor mínimo)

**Esse mecanismo é chamado de *backoff* exponencial binário**

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ Professor Miguel Campista

### MACA (Multiple Access with Collision Avoidance)

- Falhas de transmissão só podem ocorrer em caso de colisões de RTS
  - Retransmissão do RTS caso um CTS não seja recebido
- Falhas de transmissão não ocorrem durante a transmissão de dados
  - Não há transmissão de ACK para dados
    - Premissa pouco realista, apesar do autor do MACA admitir que: **alcance de interferência > alcance de comunicação**

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ Professor Miguel Campista



## MACAW (MACA for Wireless LANs)

- Parte de 4 premissas:
  - Assim como o MACA não escuta o meio
    - Assume que a contenção faz sentido apenas no receptor e que a escuta do meio pelo transmissor é ineficiente
  - Assume que congestionamentos são dependentes da posição geográfica
  - Assume que informações de congestionamento devem ser divulgadas pela rede toda por questões de justiça de acesso
  - Assume que os nós devem propagar informações de sincronismo sobre períodos de contenção para contenção mais eficiente

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## MACAW (MACA for Wireless LANs)

- Modificações em relação ao MACA
  - Cada quadro insere o valor de seu contador de backoff
    - Nós podem ajustar o seu contador da mesma forma para evitar ganhos sucessivos do meio pelo mesmo nó
  - Contador de backoff é ajustado de forma diferente para evitar oscilações rápidas em seu valor
    - Sucesso:  $CW = \max(CW - 1, CW_{\min})$
    - Colisão:  $CW = \min(1,5 * CW, CW_{\max})$

**Preocupação maior é com a justiça do acesso ao meio: Uma estação que acabou de acessar o meio não deve ser capaz de fazê-lo repetidas vezes.**

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## MACAW: Modificações em Relação ao MACA

- (Re)Introduz reconhecimento positivo (ACK)
  - MACA deixa a recuperação de pacotes de dados para camadas superiores
    - Estratégia mais lenta...
  - ACK pode não ser recebido pelo transmissor
    - Se o pacote de dados foi perdido:
      - Retransmissão dos dados é agendada, mas um RTS é retransmitido antes
    - Se o ACK foi perdido mas o pacote de dados foi bem recebido:
      - Retransmissão do RTS é respondida com ACK perdido ao invés do CTS

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

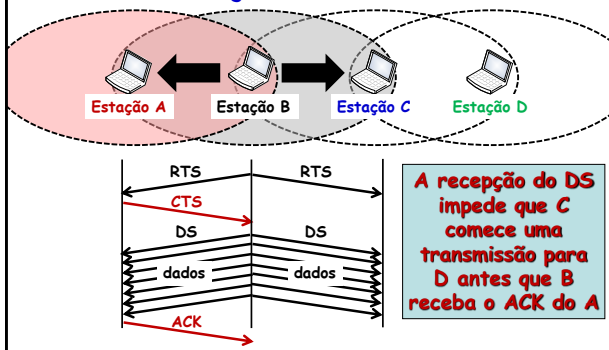
## MACAW: Modificações em Relação ao MACA

- Problema do terminal exposto **retorna!**
  - Transmissões só podem ocorrer do nó exposto após o recebimento do ACK
- Problema da impossibilidade da recepção do CTS
  - Introdução da mensagem DS (Data Sending)
    - Informa o tempo necessário para a transmissão de todos os dados e mais a recepção do ACK
      - Estratégia conservativa não permite reaproveitamento espacial

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## MACAW: Modificações em Relação ao MACA

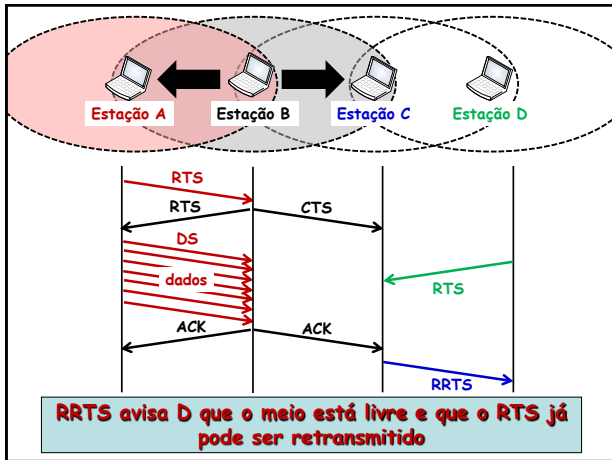


## MACAW: Modificações em Relação ao MACA

- Problema do sincronismo entre estações
  - Uma estação pode enviar um RTS e não receber o CTS
    - Problema: Estação que não recebe o CTS aumenta a janela de contenção assumindo que houve colisão
    - Motivo: Estação que recebe o RTS não envia o CTS porque tem alguma transmissão de dados em sua vizinhança
    - Consequências: Estação que enviou o RTS pode adiar a retransmissão por tempo excessivo, já que não sabe quando o meio ficará livre
    - Solução: Estação que não enviou o CTS avisa a estação que enviou o RTS o momento que o meio ficará livre novamente
      - Uso do RRTS (Request for RTS)

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista



## FAMA (Floor Acquisition Multiple Access)

- Escuta de portadora
  - Assume que não é viável evitar colisões sem escuta de portadora
- Espera por tempo suficiente entre mensagens diferentes
  - Tempo proporcional ao tempo de propagação na rede
  - Tempo é chamado de "espaços entre quadros" (*inter-frame spaces*)

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ Professor Miguel Campista

## FAMA (Floor Acquisition Multiple Access)

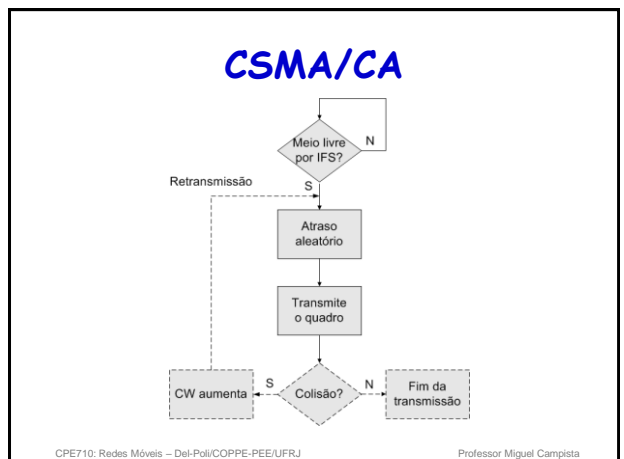
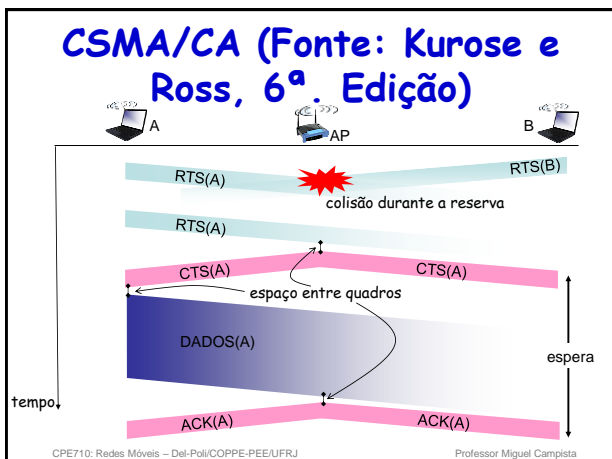
- Operação:
  - Depois de escutar um RTS de outra estação:
    - Estação deve esperar tempo suficiente para que o CTS seja enviado pelo receptor e recebido pelo transmissor
  - Depois de escutar um CTS de outra estação:
    - Estação deve esperar tempo suficiente para que a outra estação tenha tempo de receber os dados
  - Depois de escutar um pacote de dados:
    - Estação deve esperar um tempo definido pelo ACK
  - Depois de escutar ruído (colisão de pacotes):
    - Estação deve esperar o ruído terminar e ainda por um tempo suficiente para que uma estação receba um pacote com o tamanho máximo possível

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ Professor Miguel Campista

## CSMA/CA

- Combina características de outros protocolos:
  - CSMA: Escuta de portadora
  - MACA: Usa opcionalmente RTS/CTS e backoff exponencial binário
  - MACAW: Usa ACKs
  - FAMA: Espaços entre quadros

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



## Protocolos Livre de Contenção (Divisão do Canal)

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Protocolos de Divisão do Canal

- Acesso ao meio é dividido entre as estações
  - Não podem ocorrer colisões
- Estação divide a taxa máxima do canal com outras estações
- Exemplos:
  - TDMA
  - FDMA
  - CDMA

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## TDMA

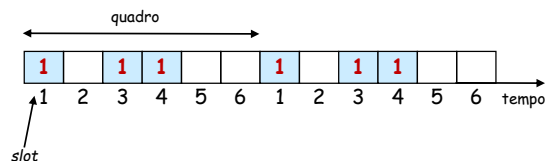
- Acesso múltiplo por divisão de tempo (*Time Division Multiple Access*)
- Acesso múltiplo feito em função do tempo
- Tempo é dividido em *slots*
  - Geralmente de tamanho fixo e igual ao tempo para transmitir um pacote
- Em cada *slot* somente uma estação pode transmitir
  - Acesso ao canal em "turnos"

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## TDMA

- Exemplo
  - Rede local com 6 estações
  - Slots 1, 3 e 4 com pacotes
  - Slots 2, 5 e 6 ociosos

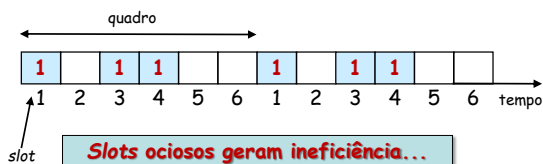


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## TDMA

- Exemplo
  - Rede local com 6 estações
  - Slots 1, 3 e 4 com pacotes
  - Slots 2, 5 e 6 ociosos



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## FDMA

- Acesso múltiplo por divisão de frequência (*Frequency Division Multiple Access*)
- Acesso múltiplo feito em função da frequência
- Espectro do canal dividido em bandas de frequência
  - Cada estação está associada a uma banda de frequência diferente
- Problema semelhante ao TDMA
  - Tempo de transmissão não usado nas bandas permanecem ociosos

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## CDMA

- Acesso múltiplo por divisão de código (*Code Division Multiple Access*)
- Acesso múltiplo feito em função do código
  - Cada estação está associada a um código diferente
  - Destino deve conhecer o código da fonte
- Muito usado em redes sem fio
- Vantagem
  - Estações podem transmitir simultaneamente usando códigos diferentes

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Multiplexação

- Tem por objetivo compartilhar o meio físico
  - Divisão do meio ocorre na camada física
    - Geralmente centralizada em um dispositivo denominado multiplexador
- Pode ser classificada em função da variável usada para separar as fontes
  - Divisão de tempo (*Time Division Multiplexing - TDM*)
  - Divisão de frequência (*Frequency Division Multiplexing - FDM*)
  - Divisão de comprimentos de onda (*Wavelength Division Multiplexing - WDM*)

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Duplexação

- Tipo especial de multiplexação
- Comunicação entre duas estações pode ser classificada em:
  - *Simplex* → único sentido
  - *Half-duplex* → dois sentidos, não simultaneamente
  - *Full-duplex* → dois sentidos, simultaneamente
- Também pode ser classificada em função da variável usada para separar as fontes
  - Divisão de tempo (*Time Division Duplexing - TDD*)
  - Divisão de frequência (*Frequency Division Duplexing - FDD*)

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Protocolos Livre de Contenção (Revezamento)

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Protocolos de Revezamento

- Divisão de canal
  - Eficiente para carga alta
    - Compartilhamento justo do canal
  - Ineficiente para carga baixa
    - Atraso no canal de acesso
    - Divisão da largura de banda mesmo com apenas 1 nó ativo!
- Acesso aleatório
  - Ineficiente para carga alta
    - Sobrecarga causada por colisões
  - Eficiente para carga baixa
    - Um único nó pode utilizar completamente o canal

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Protocolos de Revezamento

- Divisão de canal
  - Eficiente para carga alta
    - Compartilhamento justo do canal
  - Ineficiente para carga baixa
    - Atraso no canal de acesso
    - Divisão da largura de banda mesmo com apenas 1 nó ativo!
- Acesso aleatório
  - Ineficiente para carga alta
    - Sobrecarga causada por colisões
  - Eficiente para carga baixa
    - Um único nó pode utilizar completamente o canal

**Revezamento une o melhor dos dois mundos!**

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Protocolos de Revezamento

- Geralmente o acesso ao meio é realizado em função de uma **estação centralizadora**
  - Determina quando uma dada estação pode transmitir
  - Garante a ausência de colisões
- Estação compartilha a taxa do canal com outras estações

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Protocolos de Revezamento

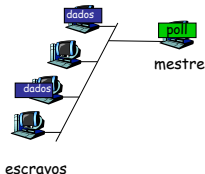
- Varredura (*polling*)
- Reserva
- Passagem de ficha de permissão (*token*)
- Outros

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Varredura (*polling*)

- Estação controladora envia mensagens a outras
  - Convidando-as a transmitir dados
- Estações ao serem consultadas podem transmitir dados
- Ordem das consultas-convites
  - Lista salva na estação controladora
- Desvantagens
  - Introduz um atraso de seleção
  - Sobrecarga de controle
  - Ponto único de falha



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Reserva

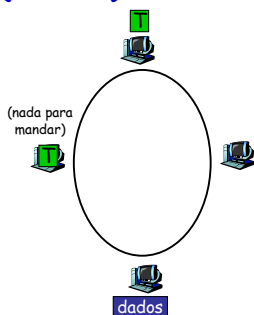
- Estações reservam o direito de acessar o meio compartilhado
- Pedidos de reserva são enviados pelas estações
  - Processados pela estação centralizadora que escalona o posterior acesso ao meio
    - Dependendo do protocolo, pode haver colisões de pedidos

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Passagem de Ficha de Permissão (*token*)

- Não existe estação centralizadora
- Ficha é a permissão para a transmissão de dados
- Ficha é passada de estação a estação obedecendo uma ordem
  - Ao obter a ficha, a estação pode transmitir dados
- Usada no Token Ring e no FDDI



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Passagem de Ficha de Permissão (*token*)

- Desvantagens
  - Sobrecarga com a passagem da permissão
  - Aumento da latência
  - Falha em uma estação pode derrubar o canal inteiro
  - Ficha pode ser "perdida" em uma estação

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Resumo dos Protocolos MAC

- Protocolos baseados em contenção
  - Acesso Aleatório: ALOHA, S-ALOHA, CSMA, MACA/MACA-W, FAMA, CSMA/CA, CSMA/CD
    - Alguns usam escuta da portadora
      - Fácil em algumas tecnologias (cabeadas), mas difícil em outras (sem fio)
    - Outros fazem reserva do meio para transmissão
    - E alguns confirmam a recepção de quadros
  - CSMA/CD usado no Ethernet
  - CSMA/CA usado no IEEE 802.11 (WiFi)

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ

Professor Miguel Campista

## Resumo dos Protocolos MAC

- Protocolos livres de contenção
  - Divisão do canal por tempo, frequência ou código
    - Divisão de tempo, Divisão de frequência
  - Revezamento
    - Varredura (*polling*) a partir de um ponto central, reserva, passagem de permissões

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ

Professor Miguel Campista

## Leitura Recomendada

- Capítulo 3 do livro
  - Andrew S. Tanenbaum e David J. Wetherall, "Computer Networks", 5a. Edição, Editora Pearson, 2011
- Capítulo 5 e 6 do livro
  - Jim Kurose and Keith Ross, "Computer Networking: A Top Down Approach", 5a. Ed., Editora Pearson, 2010
- Capítulo 2 do livro
  - Miguel Elias M. Campista e Marcelo G. Rubinstein, "Advanced Routing Protocols for Wireless Networks", 1ª Edição, Wiley-Inte

EEL878: Redes de Computadores 1 – Del-Poli/UF RJ

Professor Miguel Campista

## Leitura Recomendada

- L. Kleinrock e F. Tobagi, "Packet Switching in Radio Channels: Part I - Carrier Sense Multiple-Access Modes and Their Throughput-Delay Characteristics", Em IEEE Transactions on Communications, vol. 23, no. 12, pp. 1400-1416, Dezembro de 1975
- Phil Karn, "MACA: A New Channel Access Method for Packet Radio". Em proceedings of the 9th ARRL Computer Networking, 1990
- Vaduvur Bharghavan, Alan Demers, Scott Shenker, e Lixia Zhang, "MACAW: a media access protocol for wireless LAN's". Em Conference on Communications architectures, protocols and applications (SIGCOMM'94), 1994

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ

Professor Miguel Campista

## Material Utilizado

- Notas de aula dos professores:
  - Igor Monteiro Moraes: <http://www2.ic.uff.br/~igor>
  - Marcelo Gonçalves Rubinstein: <http://www.lee.eng.uerj.br/~rubi/>

EEL878: Redes de Computadores 1 – Del-Poli/UF RJ

Professor Miguel Campista