



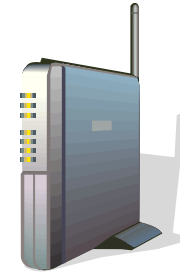
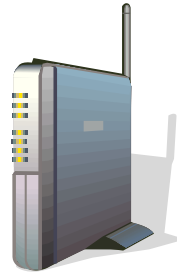
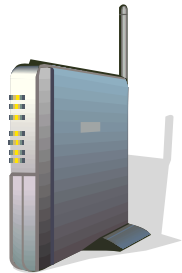
Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Redes Wireless

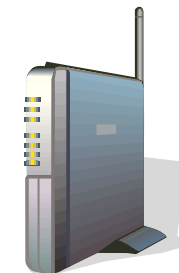
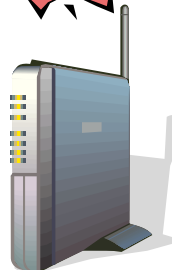
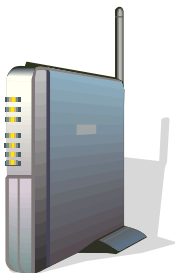
I Parte: Controlo de Acesso ao Meio
em redes Wireless

II Parte: 802.11 Wlan

Medium Access Control (MAC) em redes wireless



Vários nodos partilham o mesmo canal de comunicação e têm dados para transmitir...



Em caso de transmissões simultâneas --> colisão e corrupção dos dados transmitidos. Contolar o acesso ao meio é função do **Protocolo MAC**

MAC em redes wireless

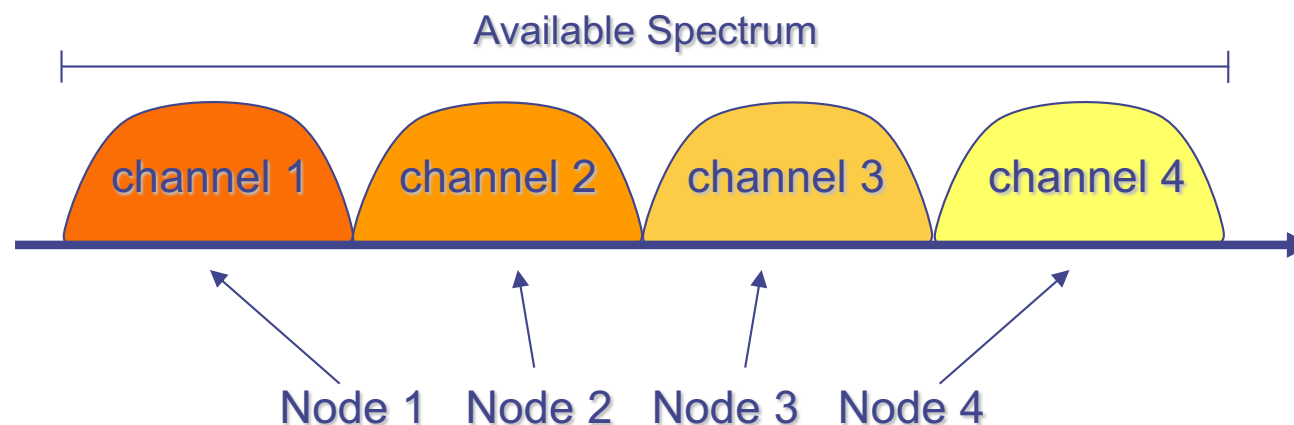
- Esquemas comuns para Controlo de Acesso ao Meio em redes wireless:
 - Sem contenção --> alocar parte do canal para cada nodo:
 - FDMA - Dividir o espectro do sinal em várias frequências;
 - TDMA - Dividir o espectro do sinal no tempo;
 - CDMA - Dividir o espectro do sinal com um código padrão.
 - Com contenção --> alocar o canal a pedido:
 - ALOHA;
 - CSMA.

Frequency Division Multiple Access (FDMA)



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- Ideia básica:
 1. Dividir o espectro em gamas de frequências, chamadas *canais*
 2. Atribuir um ou mais canais a cada nodo
 3. Cada nodo transmite/recebe no(s) canal(ais) atribuído(s)



Vantagens: Simples e eficiente para poucos nodos

Desvantagens: Canais dedicados eventualmente não usados; pouca adaptabilidade a alterações no nº de nodos

Time Division Multiple Access (TDMA)



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- Ideia básica:
 1. Um canal dividido em intervalos de tempo chamados *time slots*
 2. Atribuir um ou mais time slots a cada nodo
 3. Cada nodo transmite/recebe no(s) time slot(s) atribuído(s)

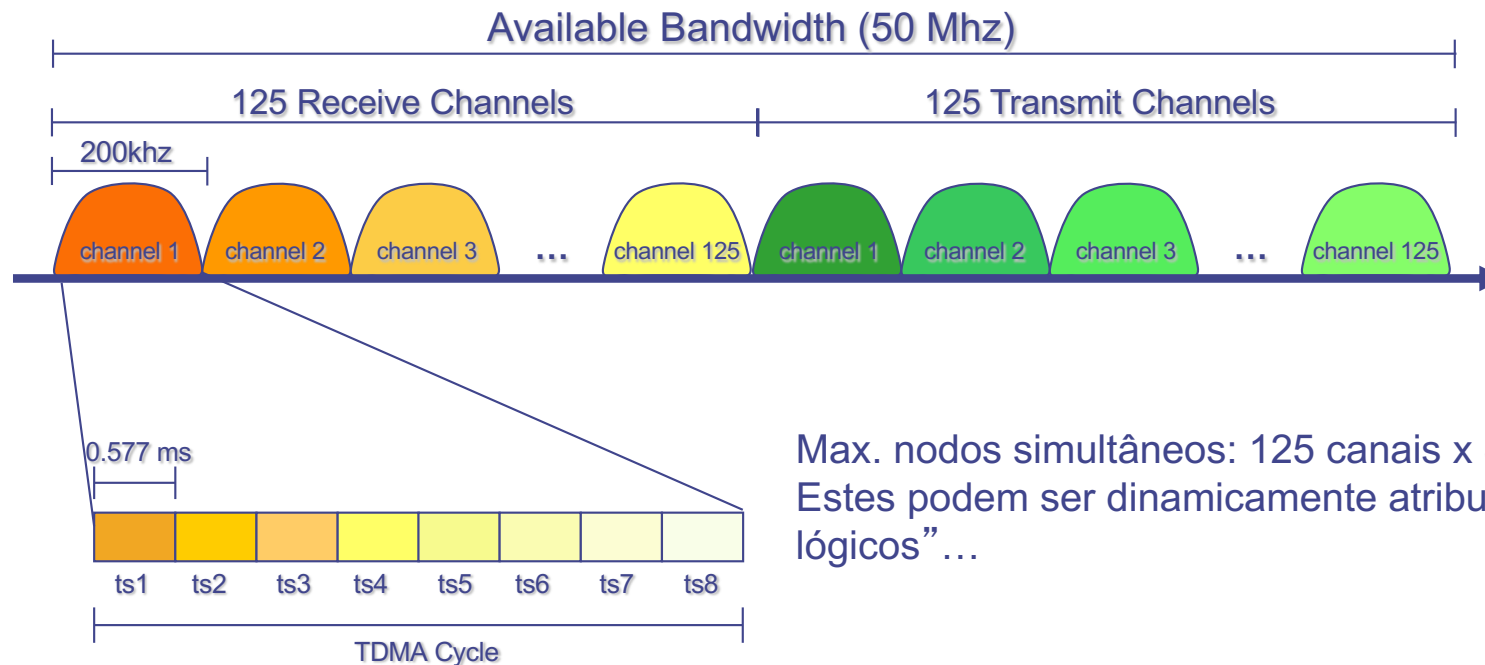


Vantagens: bom para garantir requisitos temporais

Desvantagens: requer sincronização temporal; pouca adaptabilidade a alterações no nº de nodos

Exemplo

- Global System for Mobile communications (GSM).
- Combinação de FDMA e TDMA.

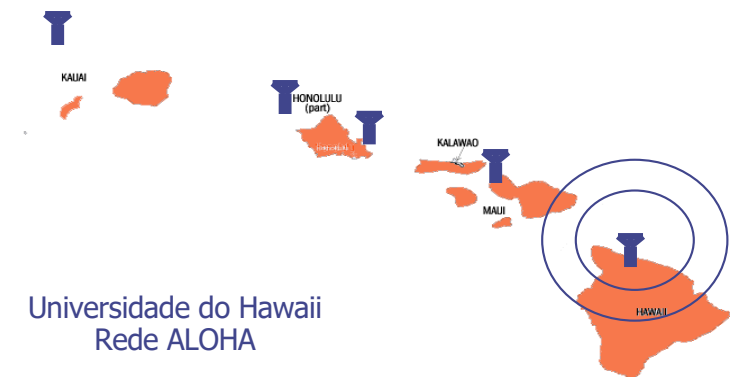


Max. nodos simultâneos: $125 \text{ canais} \times 8 \text{ slots} = 1000$
Estes podem ser dinamicamente atribuídos a “canais lógicos”...



ALOHA

- Inventado na University of Hawaii.
- Basic ALOHA:
 - Quando um nodo tem algo para transmitir, transmite;
 - Transmissor espera por um ACK;
 - Se não existir ACK, espera um tempo aleatório e retransmite.



Vantagens: Sistema simples, sem pré-alocação e sem necessidades de sincronização

Desvantagens: Colisões tornam-se um problema -> muito baixa utilização; slotted ALOHA reduz o problema mas não resolve (Util. Max. ~18 para 36%)

- Slotted ALOHA:
 - Divide o tempo em slots (não atribuídos a nenhum nodo em particular);
 - Transmissões só podem começar no início dos time slots.

Carrier Sense Multiple Access CSMA

- Porque não escutar o meio antes de transmitir ?
 - Isso evitaria algumas colisões...
- Ideia básica do CSMA:
 - Antes de transmitir, escutar o meio.
 - Se meio ocupado:
 - Esperar até que fique livre (persistente)
 - Tentar mais tarde (não-persistente)
 - Quando o canal está livre:
 - Transmitir imediatamente ?
 - Esperar um período de tempo aleatório ?
 - Usando janela de contenção
 - Se mesmo assim existirem colisões ...
 - Como é difícil detectar colisões em redes wireless:
 - Usar ACKs

CSMA/Collision Avoidance (CA)



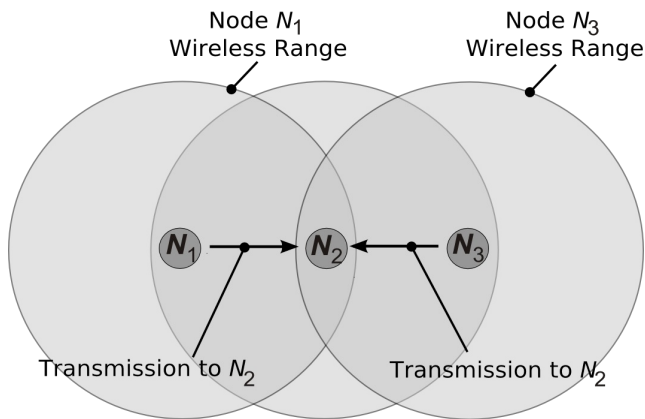
CSMA

- Vantagens
 - Canal alocado conforme necessário
 - Não é necessário sincronização
 - Bom desempenho (Max. utilização do canal $\sim 80\%$ *).
- Desvantagens
 - Tempo de espera aleatório
 - Alguns fenómenos em redes wireless podem influenciar desempenho:
 - Hidden nodes, exposed nodes;

*sem nodos escondidos (hidden nodes).

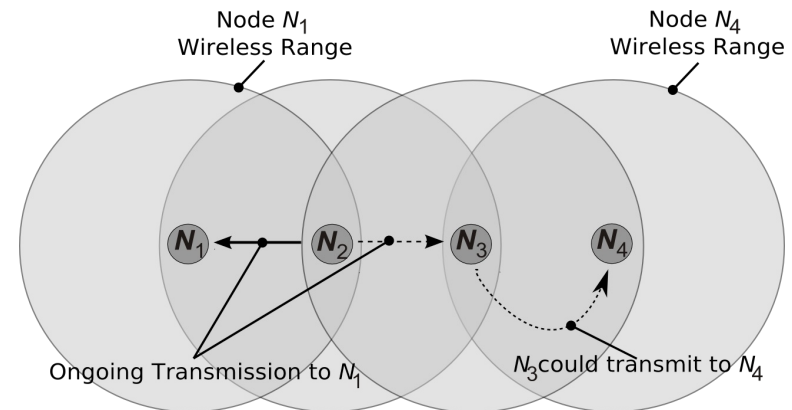
Problemas com o CSMA

Sentir o canal no transmissor não fornece informação acerca do canal no receptor



Hidden node problem

N_1 e N_3 não se escutam mutuamente devido a obstáculos ou atenuação: os seus pacotes colidem em N_2



Exposed node problem

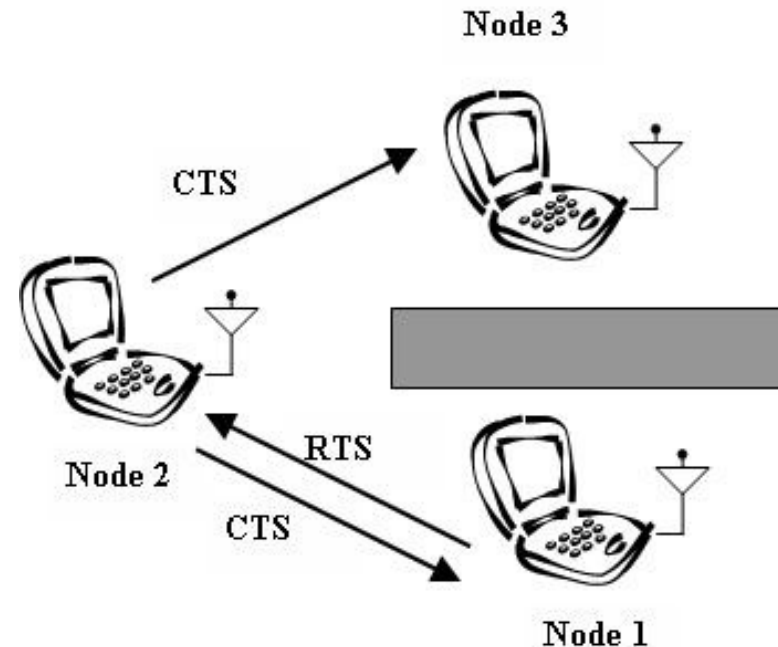
N_1 e N_4 poderiam ser receptores simultâneos mas os respectivos emissores N_2 e N_3 estão em zona de alcance

Problema menos grave que o anterior
--> menos estudado

Dois principais problemas

Exemplo

- 802.11 implementa um mecanismo opcional para reduzir colisões causadas por Hidden Nodes --> mecanismo com reserva do meio.
 - Request-to-Send (RTS)/Clear-to-Send (CTS):
 - Um nó que quer transmitir, envia um pedido RTS;
 - O receptor responde com um CTS -> emissor inicia transmissão;
 - Outras estações que escutam um RTS/CTS permanecem em silêncio (durante a transmissão de dados seguinte cujo duração é declarada nos cabeçalhos RTS/CTS).





Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

Wireless Lan

IEEE 802.11

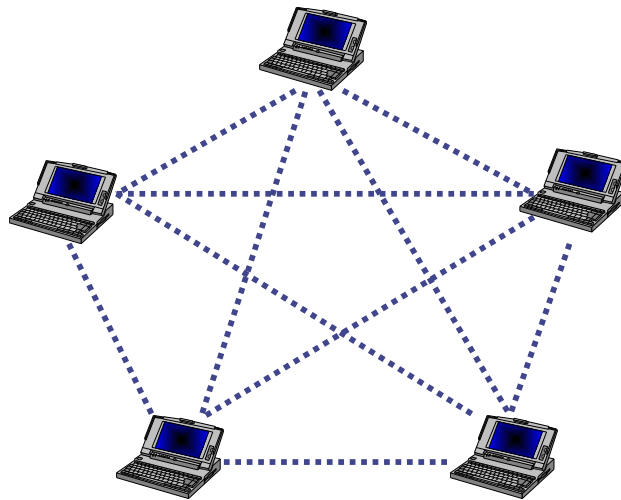
802.11 - Normalização

Protocolo	Data Norma	Frequência	Débito Máximo	Técnica de Modulação	Distância (in - out)
802.11	Versão inicial de 1997 de baixo débito (1 ou 2Mbps)				
802.11a	1999	5 GHz	54 Mbps	OFDM	~35-120m
802.11b	1999	2,4 GHz	11 Mbps	DSSS	~38-140m
802.11g	2003	2,4 GHz	54 Mbps	OFDM	~38-140m
802.11n	2009	2,4 GHz 5 GHz	248 Mbps	MIMO	~70-250m
802.11e	similar a 802.11b com suporte de Qualidade de Serviço				

802.11ac > 1Gbps; -> 802.11ax -> WiFi 6 → TPC

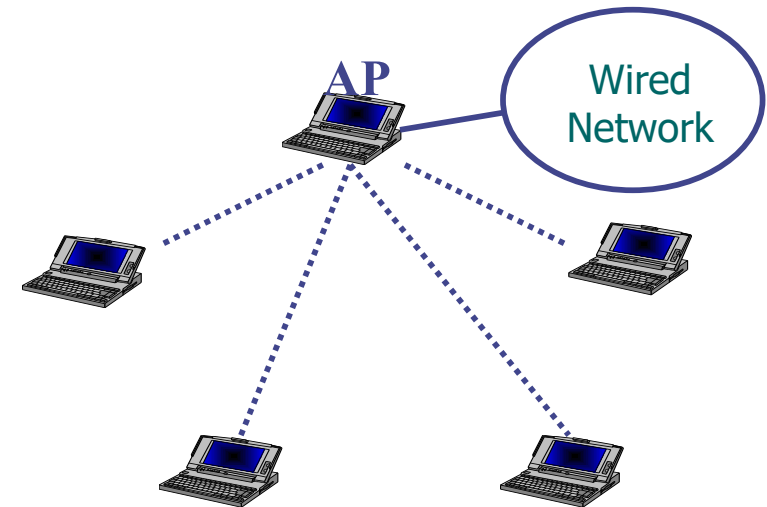
802.11 - Configurações wireless LAN

1. Independent/Ad-Hoc Network



- WLAN isolada sem sistema de distribuição
- Sem AP, com duas ou mais STAs
- STAs configuradas em *modo ad hoc*
- Carácter temporário

2. Infrastructure Network



- Um AP interliga uma ou mais STAs a um sistema de distribuição
- Comunicações entre STAs realizadas sempre através do AP
- STAs configuradas em *modo infra-estrutura*

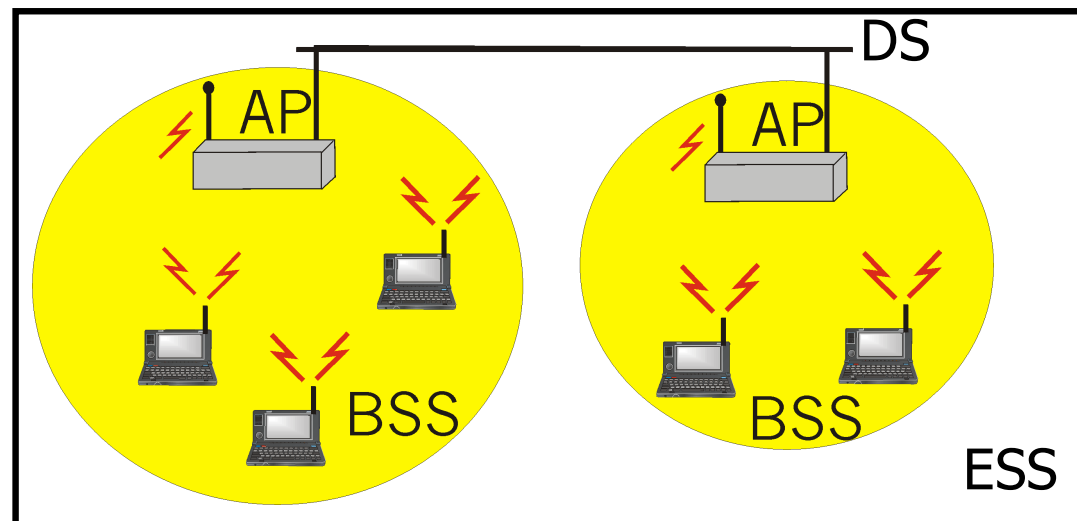


802.11 Wireless LAN

- **STA** - Station - Estação com interface wireless
 - Varre os canais à procura de tramas *beacon* contendo o SSID (Service Set Identity) e o endereço BSSID (Basic SSID - geralmente MAC do AP)
 - Scan passivo - Beacon
 - Scan activo - Probe Request
 - Escolhe um AP para se associar
 - Possibilidade de autenticação
 - Configura-se normalmente por DHCP
- Sequência: *Scanning - Join - Authentication - Association*

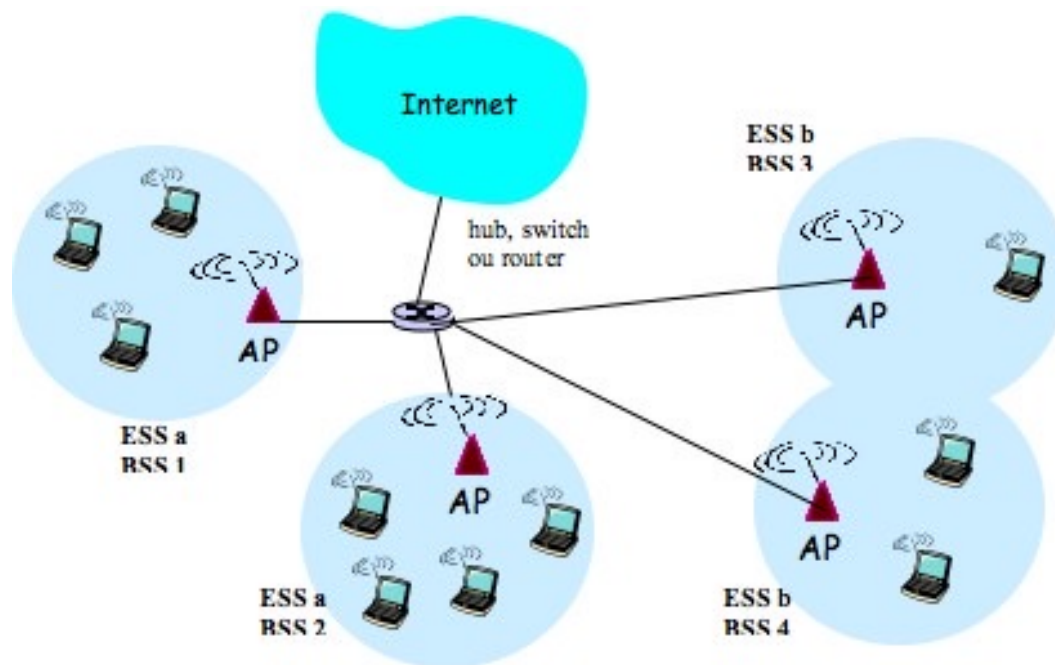
802.11 Wireless LAN

- **AP** - Access Point (Base Station (BS))
Estação base com interface *wireless* e *wired*. Permite ligação do BSS ao sistema de distribuição
- **BSS** - Basic Service Set / Base Station Subsystem
Célula (ou segmento WLAN) contendo grupo de estações abrangidas pelo alcance do AP;
Ad-hoc/Independent or infrastrutured BSS
- **ESS** - Extended Service Set
Vários BSS ligados entre si pelos APs a um sistema de distribuição
- **DS** - Distribution System
Liga os BSS de uma ESS via APs; disponibiliza recursos da rede às BSS; geralmente *wired*



802.11 Wireless LAN

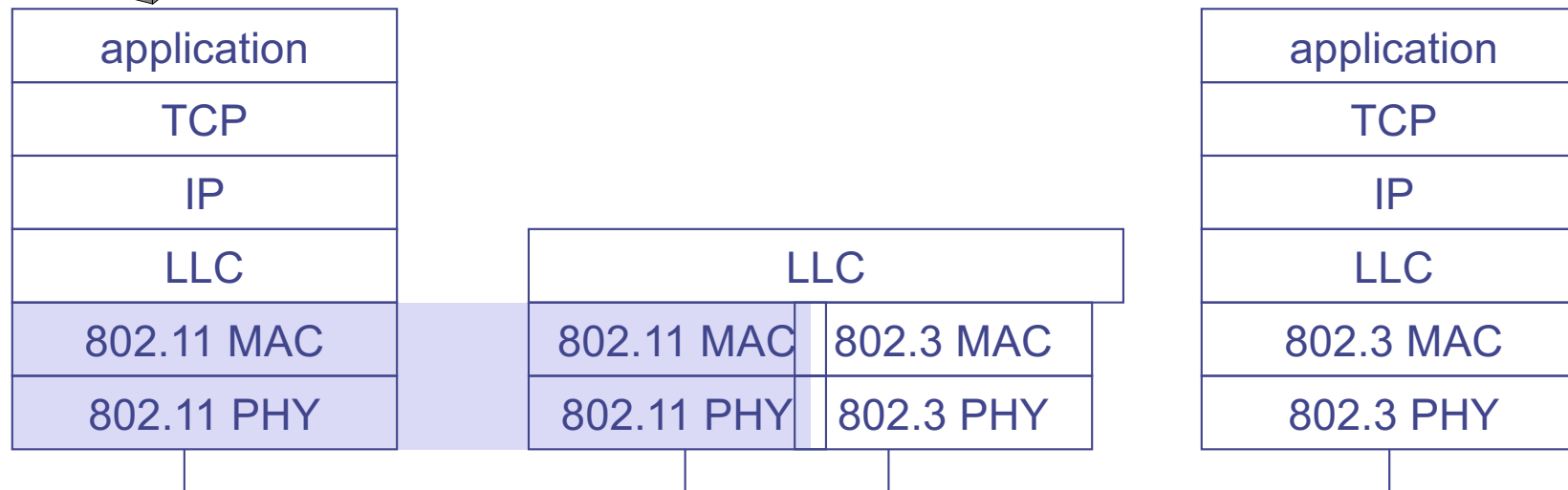
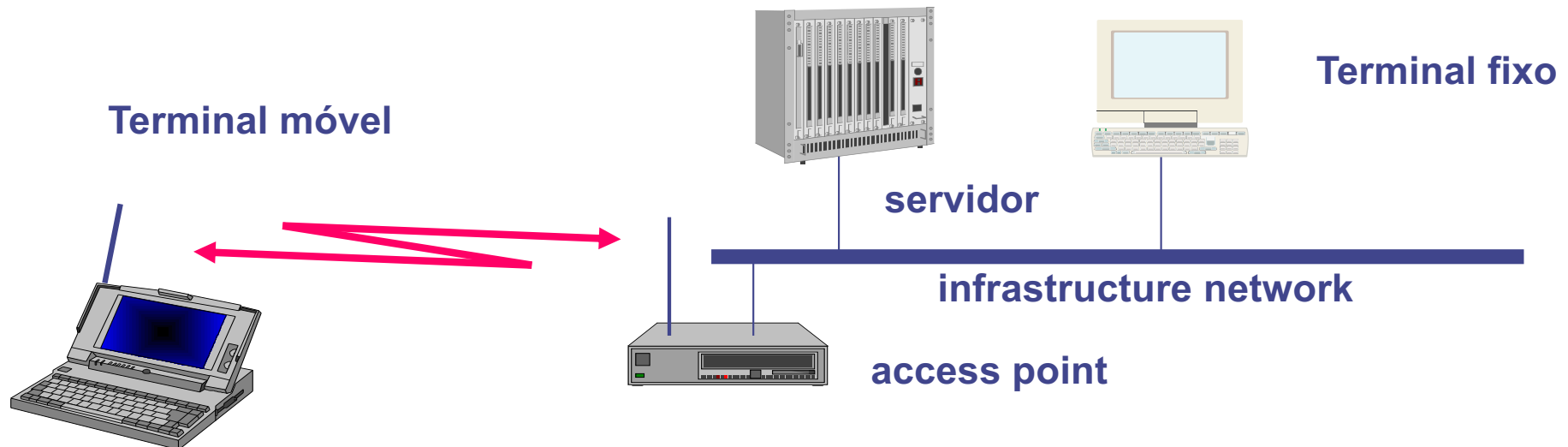
- BSSs podem ser:
 - **Parcialmente sobrepostas:** para cobertura contínua numa determinada área
 - **Totalmente sobrepostas:** para redundância ou melhoria de desempenho
 - **Fisicamente disjuntas:** interrupção de serviço na transição



A norma 802.11 suporta mobilidade entre BSSs (*roaming*) pertencentes à mesma ESS, mas não suporta transição entre ESSs.

O IAPP (*Inter-Access Point Protocol*) coordena a interacção entre APs na transição entre BSSs

IEEE 802.11 / 802.3



802.11 - Nível MAC

- Métodos de acesso:
 - MAC-DCF CSMA/CA (obrigatório)
 - **Physical channel sensing**
 - Evitar a colisão através de um mecanismo de random *back-off*
 - Distância mínima entre pacotes consecutivos
 - Pacotes ACK (não para broadcasts)
 - MAC-DCF c/ RTS/CTS (opcional)
 - Physical e **Virtual channel sensing**
 - Protocolo de *handshaking* com pequenos pacotes de reserva do meio
 - Evita o problema de “hidden terminal”
 - MAC- PCF (opcional) - sem contenção
 - Access Point faz o poll às estações de acordo com uma lista
- DCF (Distributed Coordination Function)
- PCF (Point Coordination Function)

802.11 - CSMA/CA

- **Carrier Sense Multiple Access Collision Avoidance (802.11)**

Cada STA escuta o meio antes de iniciar a transmissão (**physical channel sensing**). Se o meio estiver **livre** por alguns microsegundos (DIFS), a STA pode transmitir por um **tempo limitado**. Se o meio estiver **ocupado**, faz **back off** por um período aleatório antes de escutar o meio novamente.

Uma STA não escuta o meio enquanto transmite.

Não transmite e recebe ao mesmo tempo --> não consegue detectar colisões (CD) --> **evitar colisões (CA)**

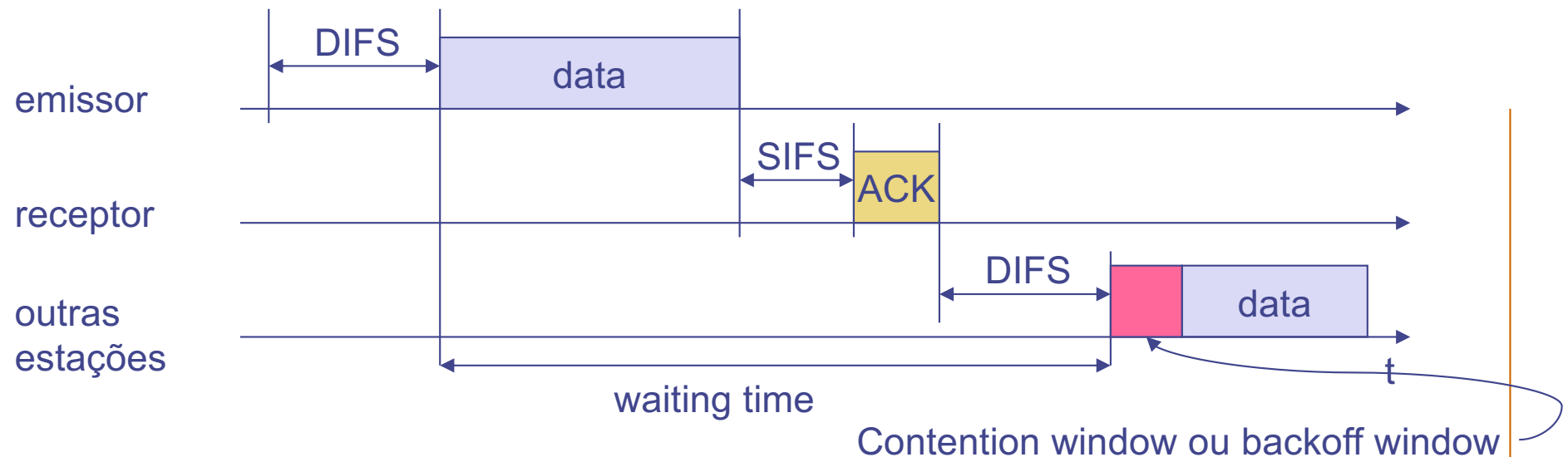
802.11 - CSMA/CA

Algoritmo CSMA/CA:

Se sentir o meio desocupado por **DIFS** segundos (Distributed Inter Frame Space)
transmite trama (sem efectuar Collision Detection)

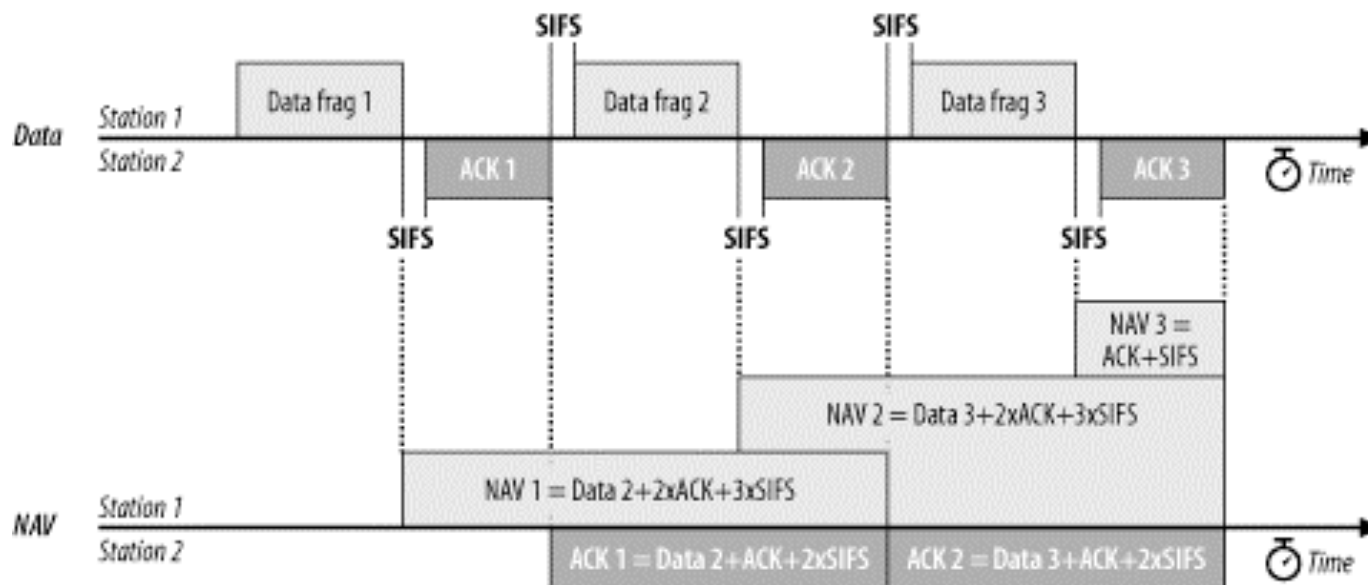
receptor devolve ACK após **SIFS** segundos (Short Inter Frame Space)

Se sentir o meio ocupado => espera por um DIFS livre + random backoff (**Collision Avoidance**)



802.11 - CSMA/CA

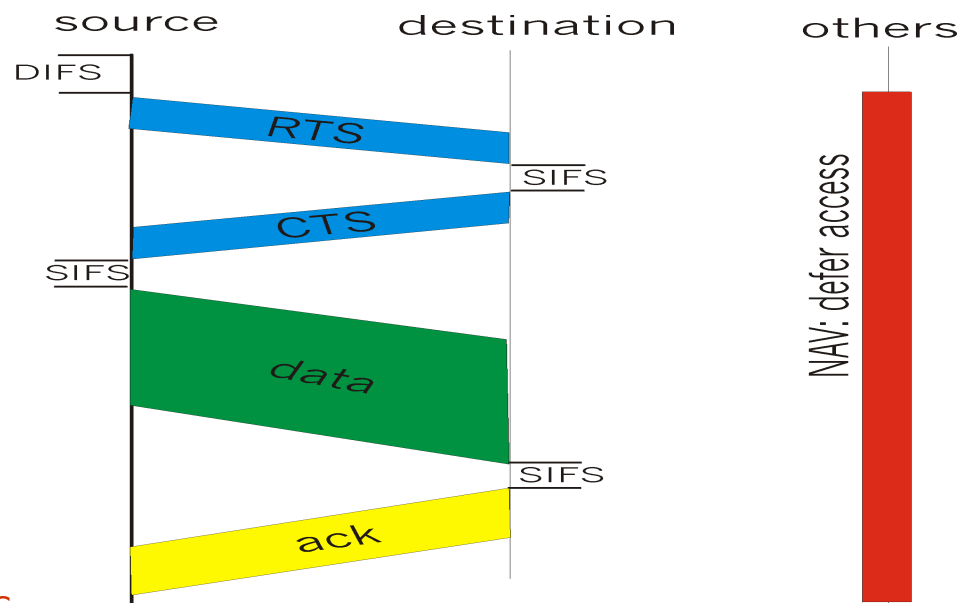
- MAC reenvia pacote se não vier a confirmação
=> ARQ *stop-and-wait*
 - Ar menos fiável do que meios guiados => taxas de erros maiores
=> MAC fragmenta tramas para evitar retransmissão de pacotes grandes
- NAV: Network Allocation Vector (tempo reservado)



802.11 - RTS/CTS

Virtual channel sensing (RTS/ CTS)

- **RTS** requisita o uso do meio
- **CTS** silênci as estações que estão acessíveis para o receptor (mas possivelmente escondidas do emissor); isto previne colisões provocadas por estações escondidas durante a troca de dados
- **RTS** e **CTS** muito curtos: colisões improváveis

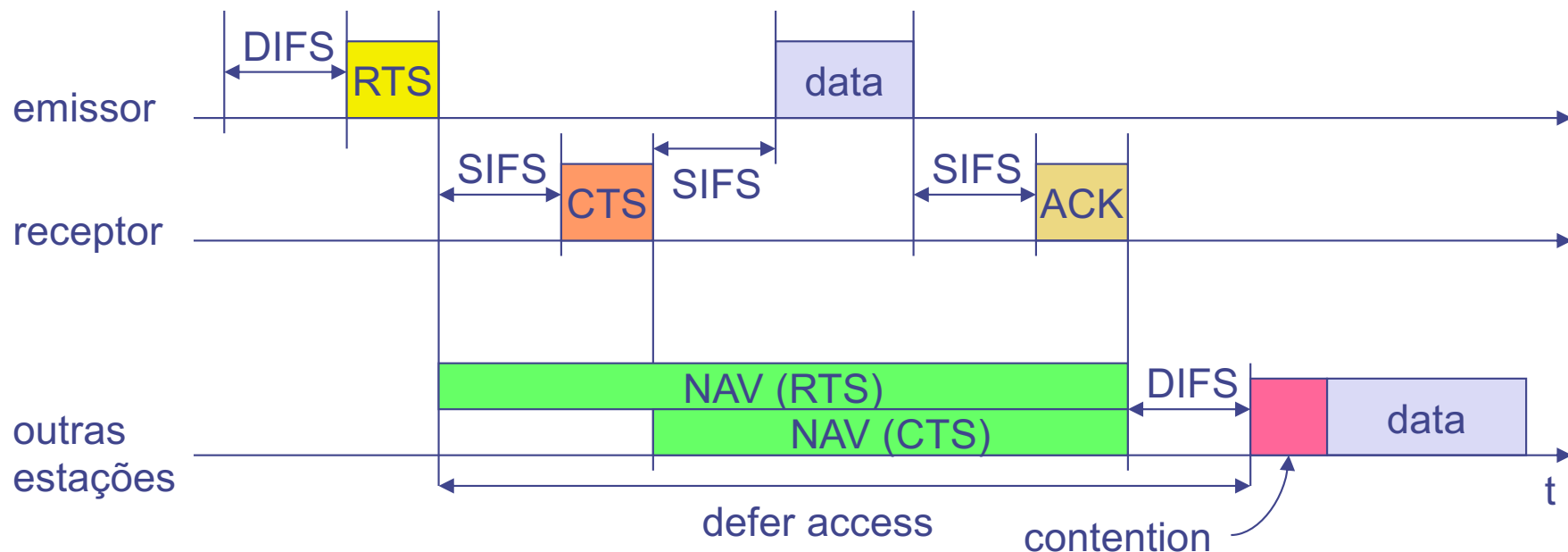


RTS - request to send
CTS - clear to send

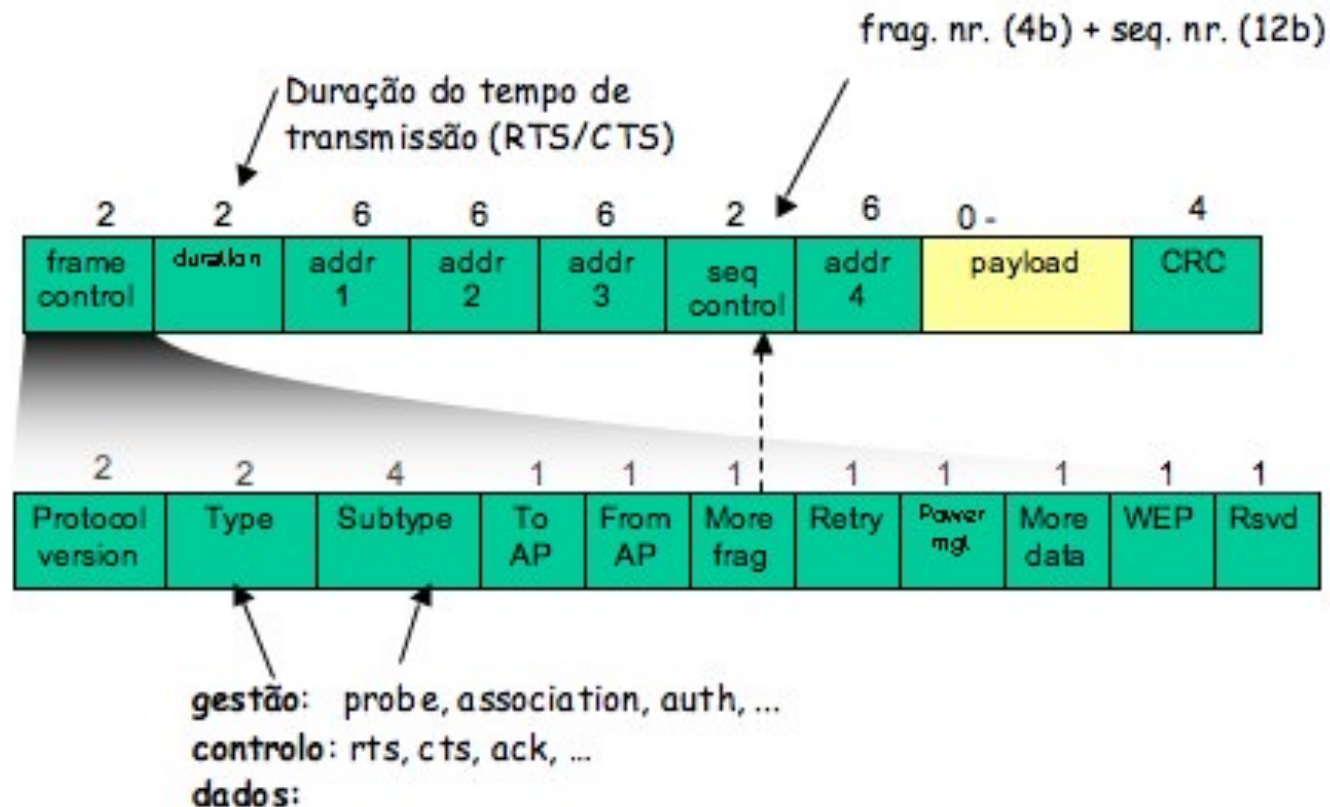
NAV: Network Allocation Vector

802.11 - RTS/CTS (cont)

- Estação envia RTS com parâmetro de reserva depois de esperar por DIFS (reserva declara o tempo que o trama de dados necessita do meio)
- Receptor envia acknowledgement via CTS depois de SIFS (se apto a receber)
- Emissor pode agora enviar os dados, com confirmação via ACK
- Outras estações registam os anúncios de reserva do meio enviados via RTS e CTS



802.11 - Formato da trama



802.11 - Formato da trama

- **Endereço 1:**
 - Receptor: nó que recebe a trama e deve confirmar a recepção
 - Todas as estações lêem este endereço
- **Endereço 2**
 - Transmissor: nó que transmite a trama e deve retransmitir em caso de não-confirmação
- **Endereços 3 e 4** dependem do modo de operação

toDS	fromDS	addr1	addr2	addr3	addr4	obs.
0	0	DA	SA	BSSID	-	ad hoc
0	1	DA	BSSID	SA	-	do AP
1	0	BSSID	SA	DA	-	para AP
1	1	RA	TA	DA	SA	dentro DS

802.11 - Formato da trama

Exemplos



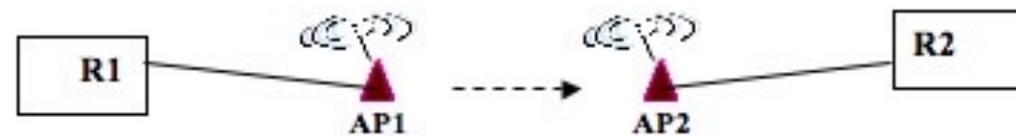
toDS=1, fromDS=0

A1 (RA) = BSSID = MAC AP
A2 (TA) = SA = MAC STA
A3 (DA) = MAC R1



toDS=0, fromDS=1

A1 (RA) = DA = MAC STA
A2 (TA) = BSSID = MAC AP
A3 (SA) = MAC R1



toDS=1, fromDS=1

A1 (RA) = MAC AP2
A2 (TA) = MAC AP1
A3 (DA) = MAC R2
A4 (SA) = MAC R1

DA - Destination Address - receptor final
SA - Source Address - origem da transmissão
RA - Receiver Address - estação wireless que deve processar a trama
wireless STA -> RA=DA
wired node -> RA=MAC AP; DA=router
TA - Transmitter Address - interface wireless que transmitiu a trama
BSSID - MAC da interface wireless do AP (Infrastruture networks); aleatório BSSID (Ad-hoc networks)