

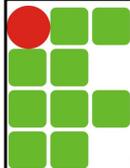
INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
RIO GRANDE DO NORTE



# Redes de Computadores

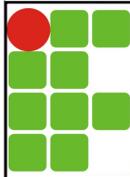
## Camada de Enlace – Parte III

Prof. Thiago Dutra <[thiago.dutra@ifm.edu.br](mailto:thiago.dutra@ifm.edu.br)>



## Agenda – Camada de Enlace

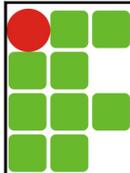
- Introdução
- Detecção e Correção de Erros
- Protocolos de Acesso Múltiplo
- Endereçamento
- Padrão Ethernet
- Padrão Wi-Fi



## Agenda – Parte II

- Padrão Wi-Fi
  - Introdução
  - Histórico
  - Padrões
  - 2,4 GHz x 5 GHz
  - Modos de Operação
  - Canais e Associação
  - CSMA/CA
  - Quadro Wi-Fi
  - Segurança

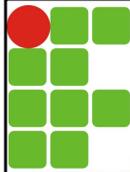
3



## Introdução

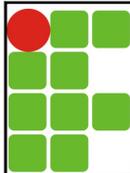
- Tecnologias envolvidas nas transmissões de informações sem a necessidade de ligações físicas **já estão dominadas há muito tempo e encontram-se bastante sedimentadas**
- Redes Wireless (sem fio)
  - Porque então não utilizar estes conhecimentos na **implantação de redes de computadores onde não se deseja, ou onde não é fácil, a existência de ligações físicas entre os equipamentos?**

4



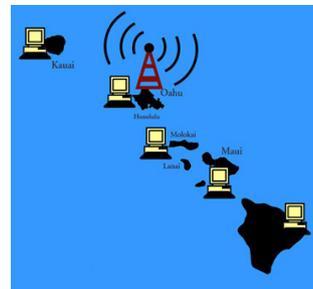
## Introdução

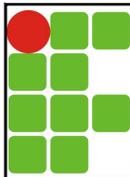
- Cenários propícios as redes wireless
  - Locais impróprios para instalação da infraestrutura de cabeamento estruturado (construções antigas, prédios tombados, locais de difícil acesso, ...)
  - Áreas de desastre (desabamentos, terremotos, ...)
  - Áreas de eventos (exposições, feiras, congressos, ...)
  - Locais com grande mobilidade das estações (shoppings, rodovias, ...)



## Histórico

- Em **1970** na University of Hawaii foi criado o projeto de pesquisa AlohaNet
  - A AlohaNet permitia a **comunicação dos computadores situados em 7 campus divididos em 4 ilhas com um computador central através de uma rede sem fio, usando radio difusão**
  - Comunicação bidirecional através de uma topologia em estrela
  - Projeto de grande importância para as redes atuais, sua continuação deu origem às redes ethernet (cabeadas)

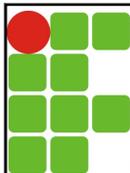




## Histórico

- Em **1980** “ganha força” um projeto de pesquisa entre os EUA e o Canadá, que:
  - Visa o desenvolvimento e experimentos de novas tecnologias de redes sem fio;
  - Cria um FORUM para o desenvolvimento das Wireless LANs

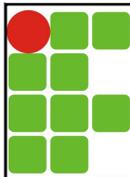
7



## Histórico

- No ano de **1985** a FCC (Federal Communications Commission) impulsionou o desenvolvimento comercial de componentes para redes sem fio, pela autorização do uso público das bandas ISM (Industrial, Scientific, and Medical)
  - Fabricantes e usuários **não terão que pagar concessões**
  - No entanto a **banda é bastante “poluída”**
- Após a liberação das bandas ISM surgem diversos fabricantes de equipamentos wireless, porém todos desenvolvendo produtos com tecnologia proprietária

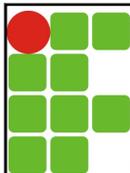
8



## Histórico

- Para **evitar a falta de interoperabilidade entre as novas tecnologias que estavam surgindo**, O IEEE percebeu a necessidade da criação de padrões para o desenvolvimento das redes sem fio
- Os seguintes Working Groups do IEEE são dedicados a padronização redes sem fio:
  - **Working Group 11**: Responsável pelo padrão 802.11, para redes sem fio locais
  - **Working Group 15**: Responsável pelo padrão 802.15, para redes de área pessoal
  - **Working Group 16**: Responsável pelo padrão 802.16, para redes metropolitanas

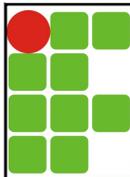
9



## Histórico

- Em **1990** o IEEE formou o workgroup **802.11**
  - **Objetivo: "Desenvolver um padrão para redes sem fio corporativas de alto desempenho"**
  - O padrão deveria se utilizar do "conhecimento prévio" existente sobre a transmissão de dados no ar
    - Utilizar faixas de frequência "conhecidas" (como rádio ou infravermelho)
    - Utilizar mecanismos de codificação no ar conhecidos (FHSS, DHSS)

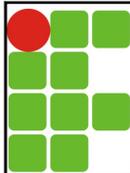
10



## Histórico

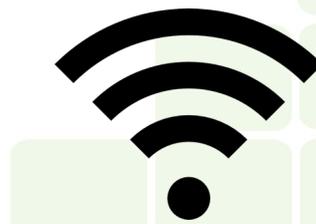
- Apesar da "reutilização tecnológica", a primeira versão do padrão 802.11 foi publicada apenas em 1997 (sete anos após o início dos trabalhos)
  - Faixa de 900 MHz (ISM) e velocidade de 1 e 2 Mbps
- Desde 1999 vem sendo publicadas varias adições e revisões do padrão inicial
  - 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n, 802.11ac, 802.11ad
  - Basicamente alteram dois aspectos do padrão inicial
    - Velocidade: 1, 2, 11, 54, 150, 300, 1000 Mbps, 6.75 Gbps
    - Faixa de frequência: 900MHz, 2.4GHz, 5GHz, 60GHz

11

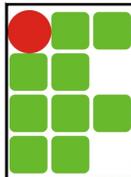


## Histórico

- Atualmente as redes 802.11\_ são comumente chamadas simplesmente de redes sem fio ou wireless
- Mundialmente conhecidas como Wi-Fi



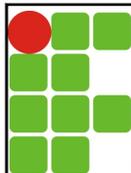
12



## Padrões

- **802.11a**
  - Outubro de 1999
  - Até **54 Mbps**
  - Frequência de **5GHz**
- **802.11b/g**
  - Outubro de 1999 (b), Junho de 2003 (g)
  - Até **11 Mbps (b), 54 Mbps (g)**
  - Frequência de **2,4 GHz** ("poluída")
- Ambos apresentam **alcance teórico de 100 m (bem menos na prática)** e são **incompatíveis entre si**

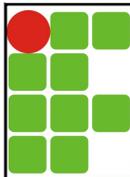
13



## Padrões

- **802.11n**
  - Setembro de 2009
  - Até **600 Mbps**
  - Frequência de **2,4 GHz e/ou 5 GHz**
  - Alcance por volta de **200 m**
  - Compatível com 802.11b/g
  - Incompatível com 802.11a

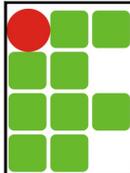
14



## Padrões

- **802.11ac**
  - Janeiro de 2014
  - Pelo menos **1 Gpbs**
  - Frequência de **5 GHz**
  - Alcance por volta de **200 m**
  - Compatível com 802.11b/g/n

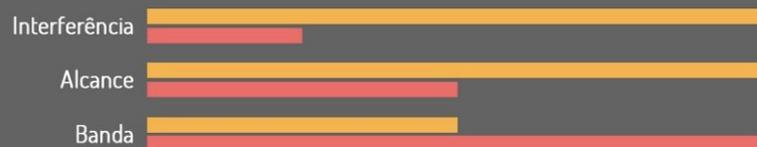
15

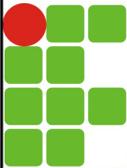


## 2,4 GHz x 5 GHz

- Diferente das CPUs, **um equipamento Wi-Fi de 5 GHz não obrigatoriamente é melhor do que outro de 2,4 GHz**
  - É necessário analisar o ambiente para saber qual das frequências atende melhor as necessidades
  - Existem equipamentos que operam nas duas frequências (**Dual-Band**)

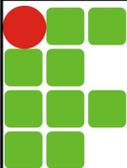
### 2.4 GHz VS 5 GHz

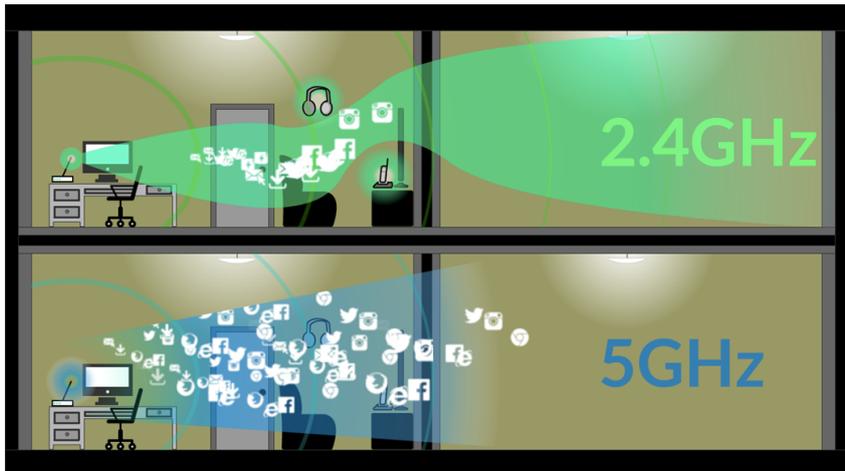


 2,4 GHz x 5 GHz

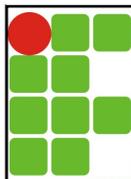


17

 2,4 GHz x 5 GHz



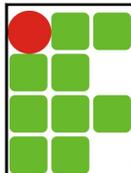
18



## Modos de Operação

- As redes Wi-Fi (IEEE 802.11) podem funcionar com base em dois "modos de operação":
  - **Infraestrutura**
  - **Ad Hoc**
- **Service Set**
  - Conjunto de serviço
  - Elemento básico de uma operação Wi-Fi
  - Representa um **conjunto de dispositivos Wi-Fi que se comunicam em um raio de alcance**
  - Também chamado de **célula**

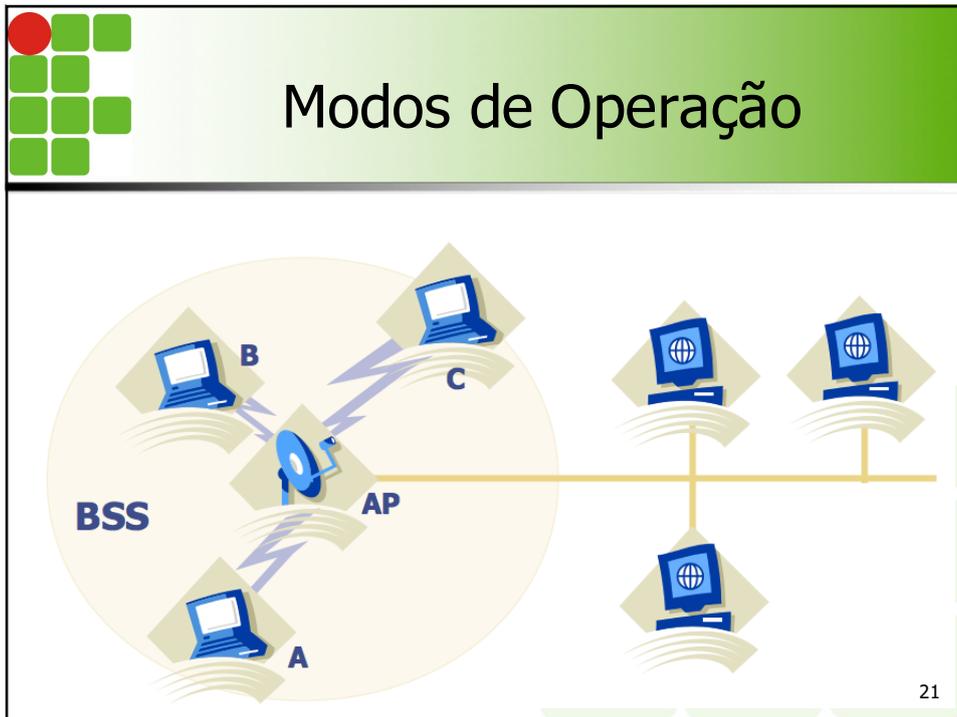
19



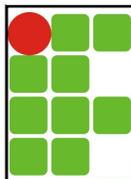
## Modos de Operação

- **Infraestrutura**
  - **As estações se comunicam por intermédio de uma estação-base central conhecida como ponto de acesso (AP – access point)**
  - Cada WLAN pode conter **vários AP's**
  - Um service set com apenas um AP é chamado de **BSS (Basic Service Set)**
    - Conjunto básico de serviço
    - Todas as estações se comunicam através deste AP

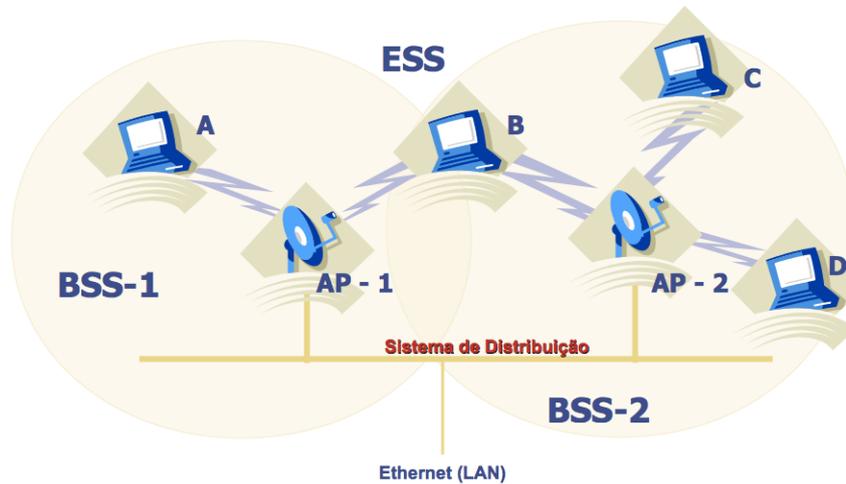
20



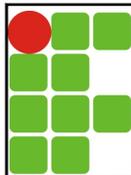
- ## Modos de Operação
- Quando temos um service set com mais de um BSS, chamamos de **ESS (Extended Service Set)**
    - Conjunto de serviço estendido
    - O ESS na verdade se forma quando temos um conjuntos de BSS's com áreas de cobertura sobrepostas
    - Em geral a comunicação entre os APs é realizada através de um "sistema de distribuição" (cabramento)
- 22



## Modos de Operação



23

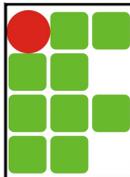


## Modos de Operação

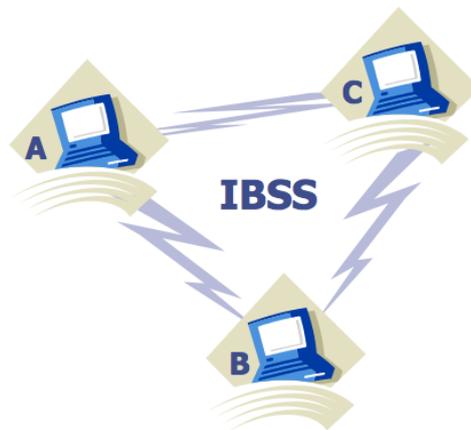
### ■ Ad Hoc

- As estações se comunicam diretamente sem nenhum controle central
- A rede é formada, conforme a necessidade, pelos equipamentos que se encontram próximos e têm interesse em se comunicarem
- Um conjunto de estações operando em modo ad hoc forma um **IBSS (Independent Basic Service Set)**

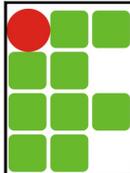
24



## Modos de Operação



25

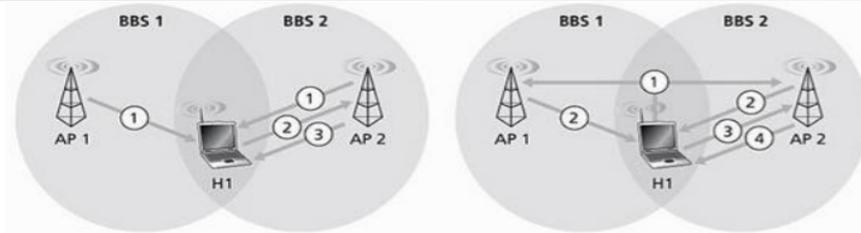


## Canais e Associação

- Os APs operam dentro de uma canal de comunicação
  - Administrador do AP escolhe o canal de operação
  - 802.11b = Faixa de 85 GHz (2,4 GHz a 2,485 GHz) dividida em 11 canais com sobreposição parcial (1, 6 e 11 não se sobrepõem)
  - Nada impede que outro AP escolha o mesmo canal -> interferência
- No modo infraestrutura, toda estação sem fio precisa se associar com um AP
  - Associar = criação de fio virtual entre a estação e o AP
  - Os APs possuem um identificador de conjunto de serviços (SSID – Service Set Identifier)
  - Wi-Fi jungle = a estação pode estar na área de atuação de vários APs
  - As estações detectam os APs disponíveis através de uma varredura de canais, escutando quadros de sinalização (SSID + MAC)

26

## Canais e Associação



### Varredura Passiva

- (1) Quadros de sinalização enviados dos APs
- (2) Quadro de solicitação de associação enviado de H1 para AP selecionado
- (3) Quadro de resposta de associação enviado de H1 para AP selecionado

### Varredura Ativa

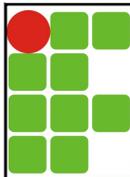
- (1) Broadcast de quadro de solicitação de investigação de H1
- (2) Quadro de resposta de investigações enviado de APs
- (3) Quadro de resposta de associação enviado de H1 para AP selecionado
- (4) Quadro de resposta de associação enviado de H1 para AP selecionado

27

## CSMA/CA

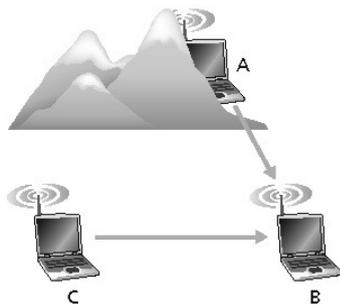
- O padrão Wi-Fi utiliza um protocolo MAC de acesso múltiplo
  - CSMA -> verifica canal antes de transmitir e abstém-se de transmitir quando percebe que o canal esta ocupado
  - CA -> Collision Avoidance (prevenção de colisão)
- Colisões no enlace sem fio são difíceis de detectar
  - Detectar colisão -> capacidade de enviar e receber ao mesmo tempo
  - Como a potência do sinal recebido é muito pequena em comparação a do sinal transmitido, é caro construir hardware que detecte colisões
  - Mesmo podendo detectar, nem sempre é possível perceber colisões devido a problemas da comunicação sem fio (Ex.: Terminal oculto e Desvanecimento)
- Devido as altas taxas de erro é necessário um esquema de reconhecimento/retransmissão

28

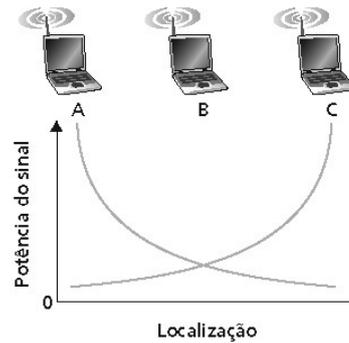


# CSMA/CA

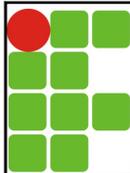
## Terminal oculto



## Desvanecimento



29



# CSMA/CA

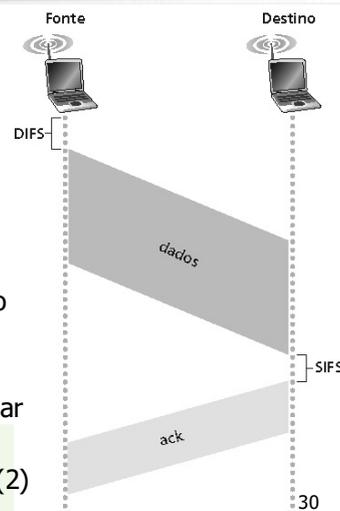
## ■ Transmissor 802.11

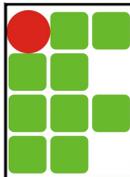
### ■ Canal desocupado

- Espera por um curto tempo (DIFS – Distributed Inter-Frame Space)
- Transmite o quadro inteiro (sem CD)

### ■ Canal ocupado

- (1) Inicia um tempo de backoff aleatório
- (2) Dispara temporizador regressivo do backoff enquanto o canal está ocioso
- (3) Transmite quando temporizador zerar
- (4) Se não recebe ACK -> aumenta o intervalo de backoff aleatório e repete (2)

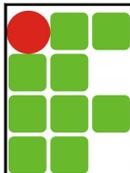
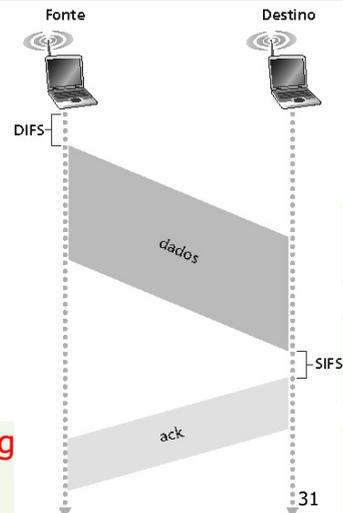




## CSMA/CA

### ■ Receptor 802.11

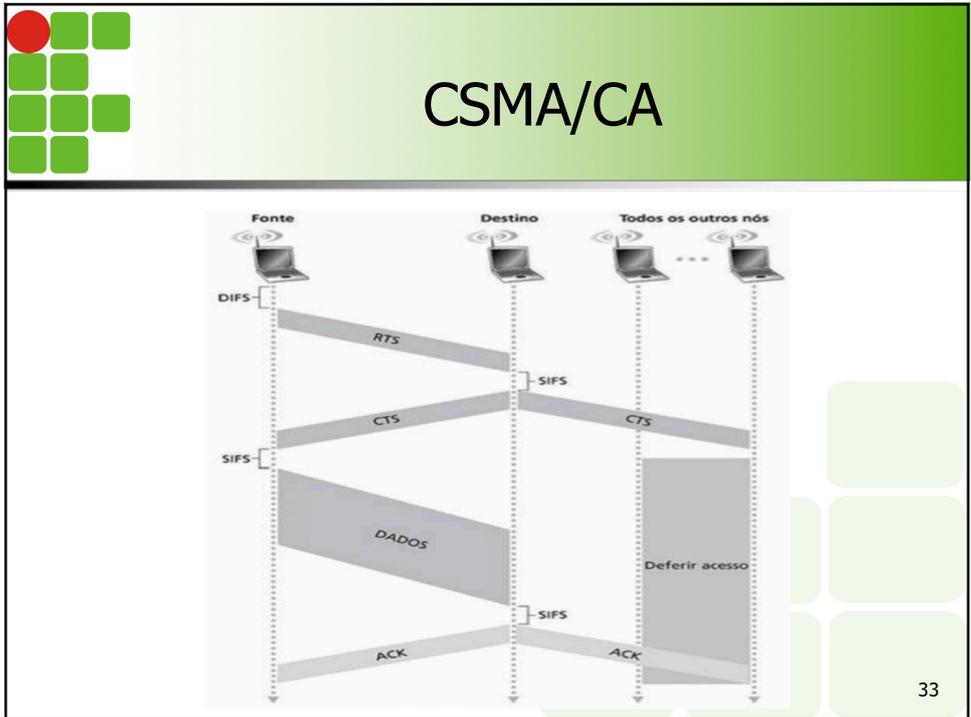
- Recebe o quadro e realiza a checagem de erro (CRC)
- CRC falha
  - Quadro descartado
- CRC ok
  - Retorna ACK (reconhecimento) depois de um curto período
  - SIFS – Short Inter-Frame Spacing



## CSMA/CA

- Evitar colisões -> mecanismo de reversa inteligente
- Objetivo: permitir que o remetente "reserve" canal evitando colisões de quadros de dados longos
  - Remetente primeiro transmite pequenos pacotes request-to-send (RTS) ao AP usando CSMA
    - RTS's ainda podem colidir uns com os outros (mas são curtos)
  - AP envia por broadcast um quadro clear-to-send (CTS) em resposta ao quadro RTS
  - CTS é escutado por todos os nós
    - Remetente transmite quadro de dados
    - Outras estações adiam transmissões

32



## Quadro Wi-Fi

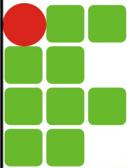
- O quadro Wi-Fi possui **várias semelhanças com o quadro Ethernet, mas também contém outros campos específicos utilizados nos enlaces sem fio**
  - Os números acima dos campos são o seu comprimento em bytes
  - O comprimento dos subcampos de controle é expresso em bits

Quadro (os números indicam o comprimento do campo em bytes):

2	2	6	6	6	2	6	0-2312	4
Controle de quadro	Duração	Endereço 1	Endereço 2	Endereço 3	Controle de sequência	Endereço 4	Carga útil	CRC

Detalhamento do campo de controle do quadro (os números indicam o comprimento do campo em bits):

2	2	4	1	1	1	1	1	1	1	1
Versão do protocolo	Tipo	Subtipo	Para o AP	Do AP	Mais frag	Nova tentativa	Ger. de energia	Mais dados	WEP	Reservado

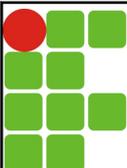


## Quadro Wi-Fi

Controle de quadro	Duração	Endereço 1	Endereço 2	Endereço 3	Controle de sequência	Endereço 4	Carga útil	CRC
--------------------	---------	------------	------------	------------	-----------------------	------------	------------	-----

- **Carga útil:** consiste tipicamente em um datagrama IP ou um pacote ARP
- **CRC:** verificação cíclica de segurança, usada na detecção de erros de bits nos quadros recebidos
- **Duração:** duração do tempo de transmissão reservado (quadros RTS/CTS)
- **Controle de sequência:** usado no algoritmo do mecanismo de reconhecimento/retransmissão de pacotes

35



## Quadro Wi-Fi

- **Controle de quadro**

Controle de quadro	Duração	Endereço 1	Endereço 2	Endereço 3	Controle de sequência	Endereço 4	Carga útil	CRC
--------------------	---------	------------	------------	------------	-----------------------	------------	------------	-----

Versão do protocolo	Tipo	Subtipo	Para o AP	Do AP	Mais frag	Nova tentativa	Ger. de energia	Mais dados	WEP	Reservado
---------------------	------	---------	-----------	-------	-----------	----------------	-----------------	------------	-----	-----------

- **Tipo e Subtipo:** distinção de quadros RTS, CTS, ACK e de dados
- **De e Para AP:** definir os significados dos campos de endereço
- **WEP:** indica a utilização ou não de criptografia

36

## Quadro Wi-Fi

■ **Campos de endereço**

Controle de quadro	Duração	Endereço 1	Endereço 2	Endereço 3	Controle de sequência	Endereço 4	Carga útil	CRC
--------------------	---------	------------	------------	------------	-----------------------	------------	------------	-----

- Endereço 1: MAC da estação destino do quadro
- Endereço 2: MAC da estação de origem do quadro
- Endereço 3: MAC do roteador no qual o AP se conecta
- Endereço 4: Utilizado apenas no modo Ad Hoc

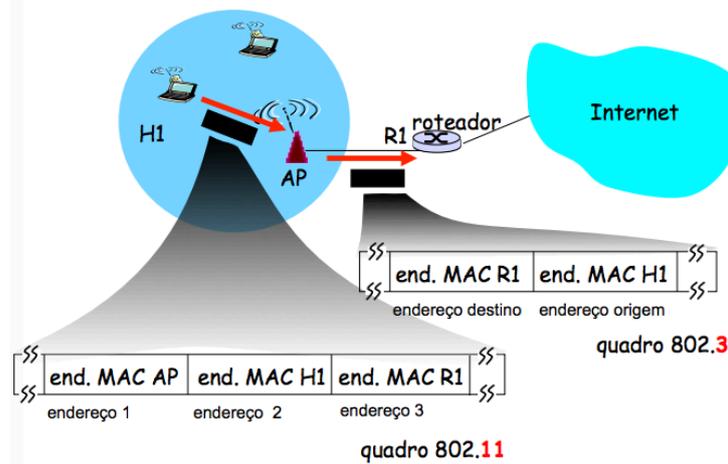
37

## Quadro Wi-Fi

■ **Cenário: R1 querendo se comunicar com estação H1**

- Um AP é um dispositivo de enlace -> não entende IP
- R1 não tem consciência de que existe o AP
- AP tem de realizar conversão de quadro
  - Ethernet (802.3) -> Wi-Fi (802.11)

## Quadro Wi-Fi

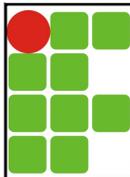


39

## Segurança

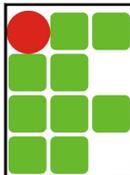
- Por sua própria natureza as **redes sem fio são bem mais suscetíveis aos problemas de segurança**
- Dois aspectos são os mais importantes
  - **Autorização e autenticação**
  - **Criptografia**

40



## Segurança

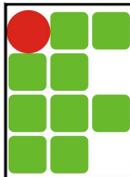
- Autorização e autenticação
  - Quais estações estão autorizadas a utilizar a minha rede?
    - Em redes cabeadas isto é determinado pelas próprias ligações físicas
  - Em uma rede sem fio mecanismos adicionais precisaram ser definidos
    - Identificadores de rede (**ESS-ID**)
    - Controle baseado em **endereço MAC das estações**
    - Protocolos de autenticação de usuários (**IEEE 802.1x**)<sub>41</sub>



## Segurança

- Criptografia
  - Nas redes sem fio, informações são transmitidas no ar e ficam disponíveis para quem quer que queira "escutá-las"
  - Caso estas informações sejam "sensíveis" deve-se usar algum **mecanismo de criptografia**
  - **WEP, WPA, WPA2**
    - Possibilita a encriptação do campo de dados dos quadros antes da sua transmissão
    - Uma "chave" tem que ser distribuída entre todas estações e AP's

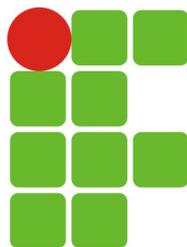
42



## Referências

- KUROSE, J. F. e ROSS, K. - **Redes de Computadores e a Internet** – 6a Ed., Pearson, 2013.
- KUROSE, J. F. e ROSS, K. - **Redes de Computadores e a Internet** – 5a Ed., Pearson, 2010.
- KARASINSKI, V. - **TecMundo Explica: WiFi - qual a diferença entre 2,4 GHz e 5 GHz.** Disponível em: [www.tecmundo.com.br/tecmundo-explica/60428-tecmundo-explica-wifi-diferenca-entre-2-4-ghz-5-ghz-video.htm](http://www.tecmundo.com.br/tecmundo-explica/60428-tecmundo-explica-wifi-diferenca-entre-2-4-ghz-5-ghz-video.htm). Acesso em: 30/11/2015

43



INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
RIO GRANDE DO NORTE



## Redes de Computadores

### Camada de Enlace – Parte III

Prof. Thiago Dutra <thiago.dutra@ifm.edu.br>