

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

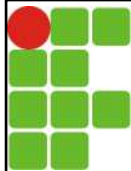


Introdução às Redes de Computadores

Turma : 20192.1.01405.1N

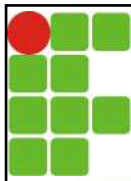
Camada de Enlace – Parte III

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



Agenda – Camada de Enlace

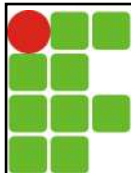
- Introdução
- Detecção e Correção de Erros
- Protocolos de Acesso Múltiplo
- Endereçamento
- Padrão Ethernet
- Padrão Wi-Fi



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

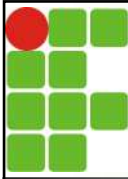
3



Introdução

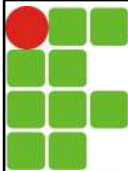
- Tecnologias envolvidas nas transmissões de informações sem a necessidade de ligações físicas **já estão dominadas há muito tempo e encontram-se bastante sedimentadas**
- Redes Wireless (sem fio)
 - Porque então não utilizar estes conhecimentos na **implantação de redes de computadores onde não se deseja,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

4



Introdução

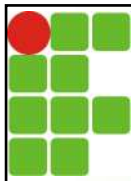
- Cenários propícios as redes wireless
 - Locais impróprios para instalação da infraestrutura de cabeamento estruturado (construções antigas, prédios tombados, locais de difícil acesso, ...)
 - Áreas de desastre (desabamentos, terremotos, ...)
 - Áreas de eventos (exposições, feiras, congressos, ...)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

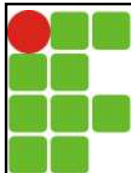




Histórico

- 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

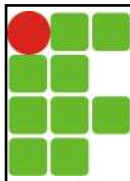
7



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

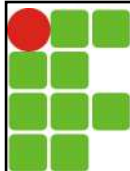
8



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

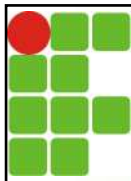
9



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)

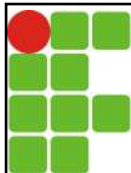
10



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

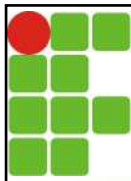


Histórico

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



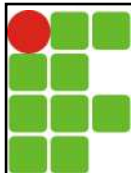
12



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**

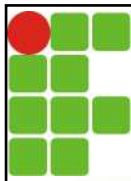
13



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

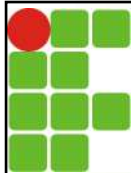
14



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

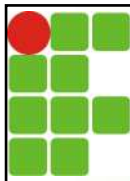
17

The diagram illustrates signal propagation in a room. The top panel shows a green beam labeled '2.4GHz' originating from a computer monitor and spreading across the room. The bottom panel shows a blue beam labeled '5GHz' originating from the same monitor, spreading more narrowly. Both beams contain icons for various social media and communication protocols like Twitter, Facebook, and email. The room contains a desk with a monitor, a chair, and a door.

2,4 GHz x 5 GHz

18

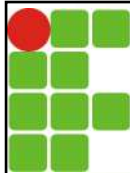
This diagram is similar to the one on slide 17, showing signal propagation in a room. The top panel shows a green beam labeled '2.4GHz' originating from a computer monitor and spreading across the room. The bottom panel shows a blue beam labeled '5GHz' originating from the same monitor, spreading more narrowly. Both beams contain icons for various social media and communication protocols like Twitter, Facebook, and email. The room contains a desk with a monitor, a chair, and a door.



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

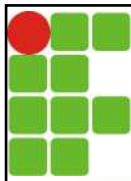
19



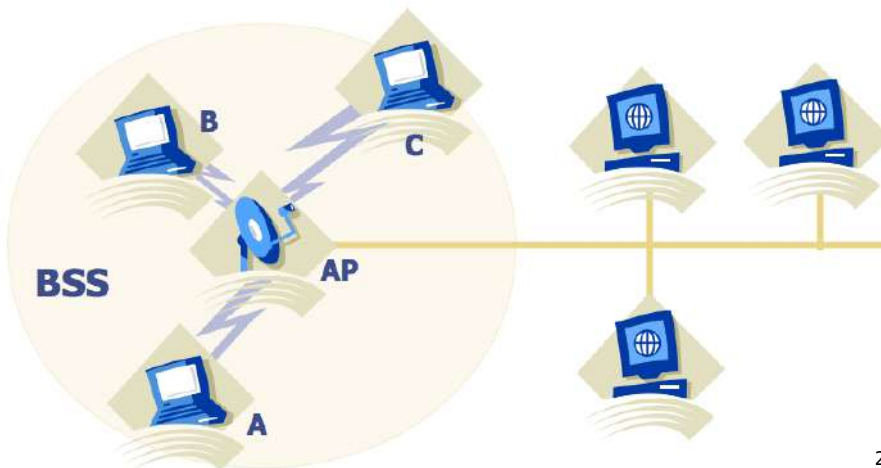
Modos de Operação

- 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

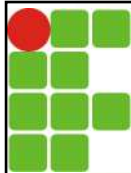
20



Modos de Operação



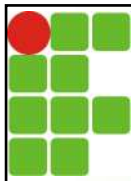
21



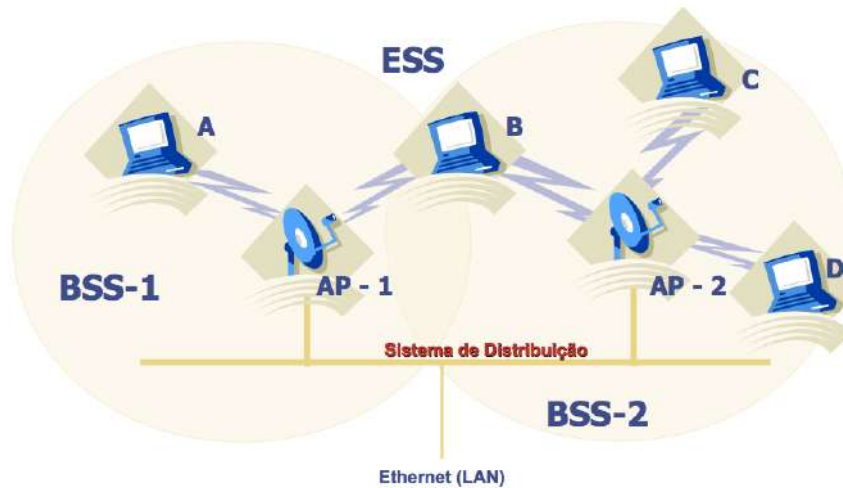
Modos de Operação

- 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)

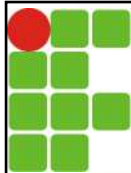
22



Modos de Operação



23



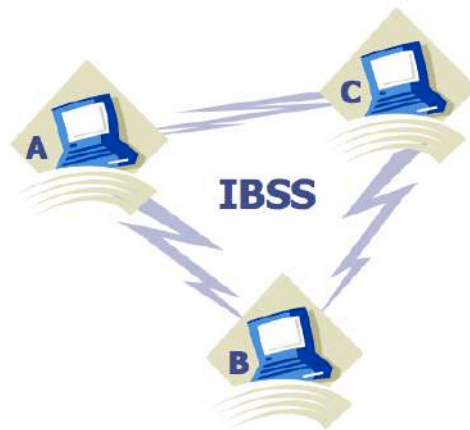
Modos de Operação

■ 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



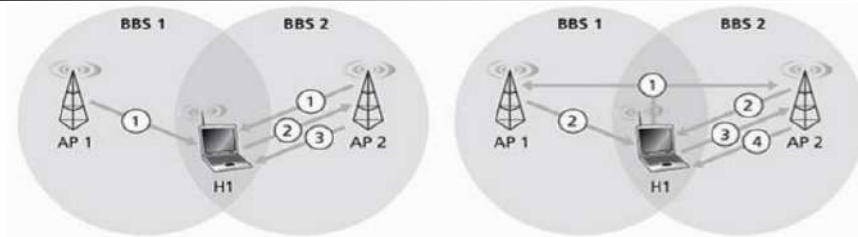
25

Canais e Associação

- Os APs operam dentro de um canal de comunicação
 - Administrador do AP escolhe o canal de operação
 - 802.11b = Faixa de 85 MHz (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

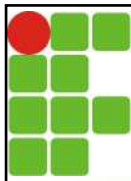
- (1) Broadcast de quadro de solicitação de investigação de H1
- (2) Quadro de resposta de investigações enviado de APs
- (3) Quadro de resposta de associação enviado de H1 para AP selecionado
- (4) Quadro de resposta de associação enviado de H1 para AP selecionado

27

CSMA/CA

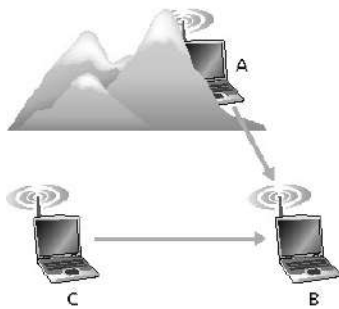
- O **padrão Wi-Fi utiliza um protocolo MAC de acesso múltiplo**
 - **CSMA** -> verifica canal antes de transmitir e abstém-se de transmitir quando percebe que o canal esta ocupado
 - **CA** -> **C**ollision **A**voidance (prevenção de colisão)
- Colisões no enlace sem fio são difíceis de detectar
 - 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

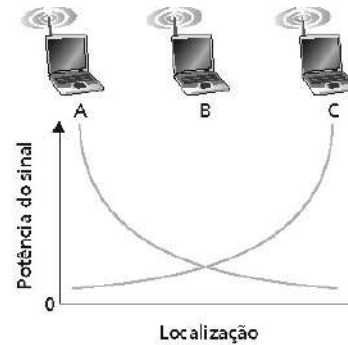


CSMA/CA

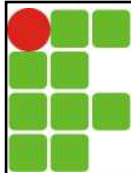
Terminal oculto



Desvanecimento



29



CSMA/CA

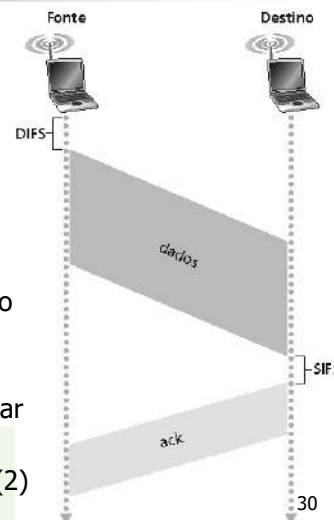
■ Transmissor 802.11

■ 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)

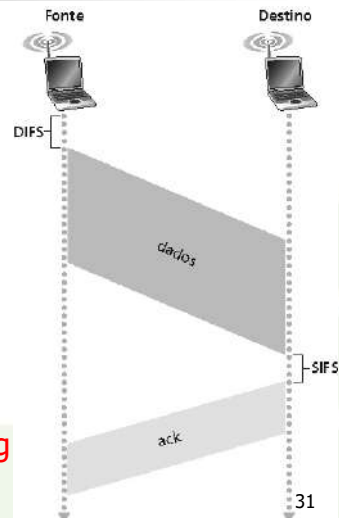


30

CSMA/CA

■ Receptor 802.11

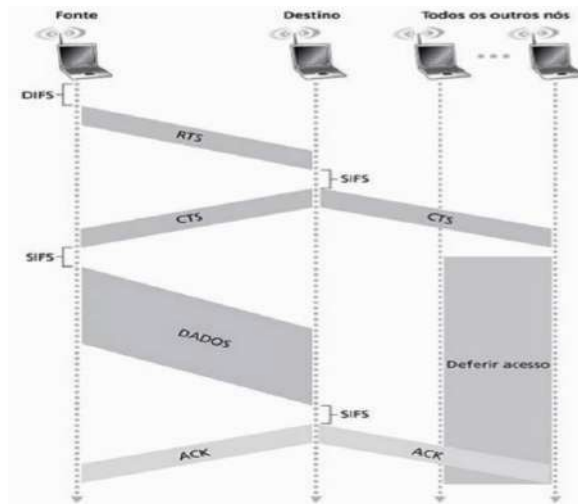
- Recebe o quadro e realiza a checagem de erro (CRC)
- CRC falha
 - Quadro descartado
- CRC ok
 - Retorna ACK (reconhecimento) depois de um curto período
 - SIFS – Short Inter-Frame Spacing



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

CSMA/CA



33

Quadro Wi-Fi

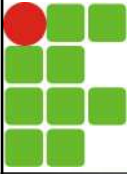
- O quadro Wi-Fi possui **várias semelhanças com o quadro Ethernet, mas também contém outros campos específicos utilizados nos enlaces sem fio**
 - Os números acima dos campos são o seu comprimento em bytes
 - O comprimento dos subcampos de controle é expresso em bits

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

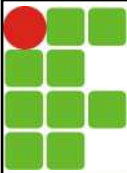


Quadro Wi-Fi

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
--------------------	---------	------------	------------	------------	-----------------------	------------	------------	-----

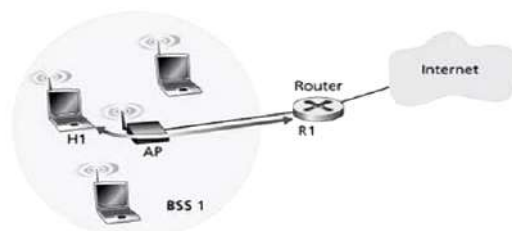
- Endereço 1: MAC da estação destino do quadro
- Endereço 2: MAC da estação de origem do quadro
- Endereço 3: MAC do roteador no qual o AP se conecta
- Endereço 4: Utilizado apenas no modo Ad Hoc

37

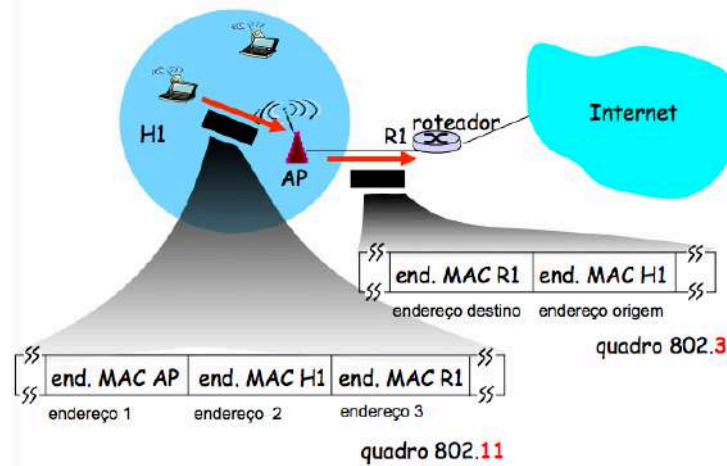
Quadro Wi-Fi

■ 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

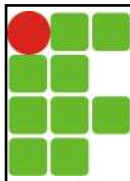


39

Segurança

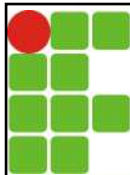
- Por sua própria natureza as **redes sem fio são bem mais suscetíveis aos problemas de segurança**
- Dois aspectos são os mais importantes
 - **Autorização e autenticação**
 - **Criptografia**

40



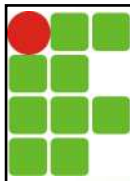
Segurança

- 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**)⁴¹



Segurança

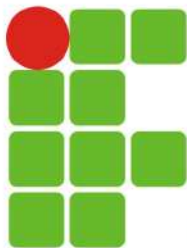
- Criptografia
 - Nas redes sem fio, informações são transmitidas no ar e ficam disponíveis para quem quer que queira "escutá-las"
 - Caso estas informações sejam "sensíveis" deve-se usar algum **mecanismo de criptografia**
 - **WEP, WPA, WPA2**
 - Possibilita a encriptação do campo de dados dos quadros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



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. Acesso em: 30/11/2015

43



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



Introdução às Redes de Computadores

Turma : 20192.1.01405.1N

Camada de Enlace – Parte III

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