

WLAN / 802.11

I. Objectivos

Os objectivos deste trabalho prático são:

- Observar as principais tramas 802.11
- Observar os processos de descoberta da rede 802.11
- Observar os processos de autenticação e associação
- Entender como se processa a troca de informação sobre uma rede 802.11
- Familiarizar-se com ferramentas de observação e diagnóstico de redes

II. Duração

Este trabalho deve durar uma aula (3h).

III. Procedimentos

Este Trabalho irá utilizar:

1. 1x Access Point (AP) Cisco por sala
2. 1x Servidor por sala
3. 1x PC do laboratório por grupo de trabalho (STA C), com Linux
4. A aplicação Wireshark disponível na STA C (d) para a captura e análise de tráfego de rede
5. Aplicação iperf3 em execução como servidor da sala (b) e com clientes nos terminais dos alunos (c)
6. 2x terminais dos alunos com interface WLAN/802.11 (STA A e STA B)

IV. Diagrama:

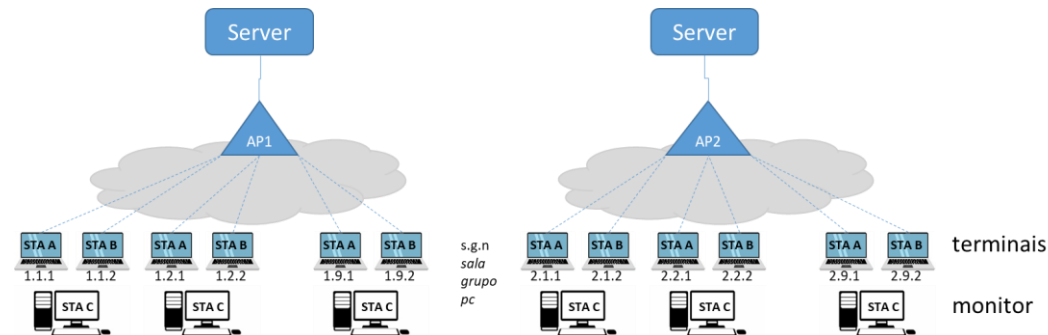


Figura 1: Diagrama de rede para a experimentação

Cada AP tem dois SSID configurados e têm a funcionalidade de DHCPv4 server, atribuindo endereços IP na gama indicada, de acordo com a tabela seguinte:

	AP1 (Sala 1)	AP2 (Sala 2)	Segurança
SSID1 Canal	ComMoveis.330.2400 Canal 3 (2.422MHz)	ComMoveis.331.2400 Canal 7 (2.442MHz)	Aberto
SSID2 Canal	ComMoveis.330.5000 Canal 40 (5.200MHz)	ComMoveis.331.5000 Canal 100 (5.500MHz)	Autenticação: WPAv2 Encriptação: AES-CCM Password: "Lab.Com.WiFi"
Endereçamento IP	10.0.1.[100-200]/24 Server: 10.0.1.2/24	10.0.2.[100-200]/24 Server: 10.0.2.2/24	

Tabela 1: Diagrama da rede utilizada para o trabalho prático nº1

1. Preparação

- Utilizando a aplicação “LinSSID” instalada nas STA C, observe as redes 802.11 activas; escolha a aba correcta na parte inferior da aplicação: *Time Graph*, *2.4 GHz Channels*, *5 GHz Channels*
 - Observe a informação fornecida: SSID, canais utilizados, segurança, nível de sinal, largura de banda e protocolos suportados

2.4 GHz

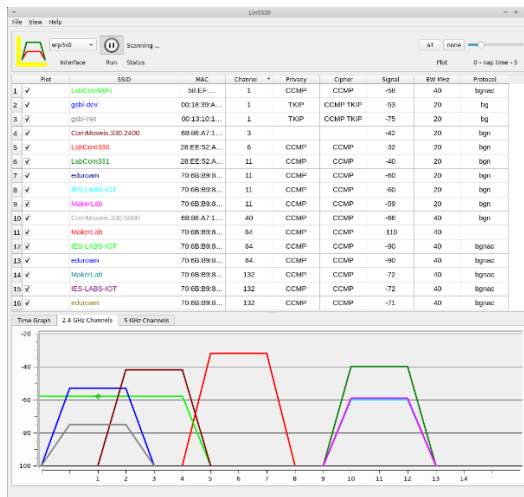


Figura 2.a: Exemplo de ecrã do LinSSID (2.4GHz)

5 GHz

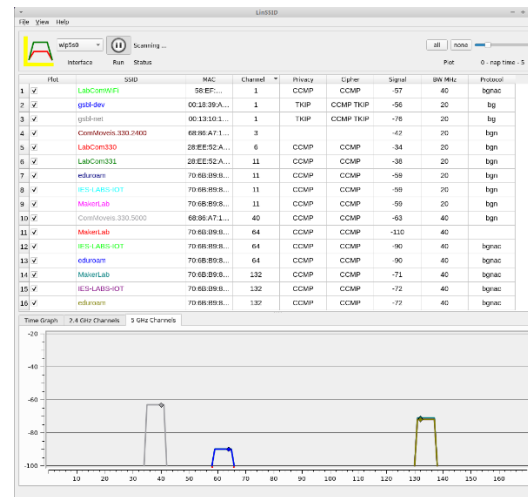


Figura 2.b: Exemplo de ecrã do LinSSID (5GHz)

- Faça uma captura do ecrã e guarde-a (para os 2.4GHz e 5GHz) para posterior referência (não poderá fazer esta operação após os próximos passos).
- Verifique que a estação de monitorização (STA C) está no modo *Managed*:
 - Para verificar o estado dos interfaces ou alterar a sua configuração, utilize o comando **iwconfig**:

```
$ iwconfig
```

```
Terminal - labcom@labcomPC-CM: ~
File Edit View Terminal Tabs Help

labcom@labcomPC-CM:~$ iwconfig
lo          no wireless extensions.

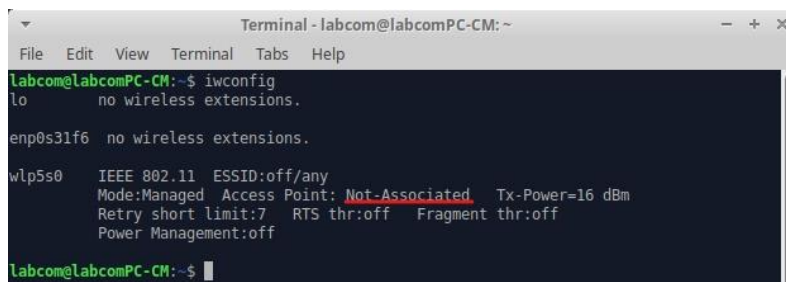
enp0s31f6  no wireless extensions.

wlp5s0     IEEE 802.11  ESSID:"CMAP1S2"
Mode:Managed  Frequency:5.7 GHz  Access Point: 68:86:A7:1F:5C:70
Bit Rate=117 Mb/s   Tx-Power=16 dBm
  Retry short limit:7   RTS thr:off   Fragment thr:off
  Power Management:off
  Link Quality=70/70   Signal level=-28 dBm
  Rx invalid nwid:0   Rx invalid crypt:0   Rx invalid frag:0
  Tx excessive retries:0   Invalid misc:7   Missed beacon:0

labcom@labcomPC-CM:~$
```

Figura 3

- Desligue a STA C de qualquer rede WLAN a que possa estar desligada (“Disconnect”), no interface do Linux, verificando que a STA C fica *Not-Associated*



```
Terminal - labcom@labcomPC-CM: ~
File Edit View Terminal Tabs Help
labcom@labcomPC-CM:~$ iwconfig
lo          no wireless extensions.

enp0s31f6  no wireless extensions.

wlp5s0     IEEE 802.11  ESSID:off/any
Mode:Managed  Access Point: Not-Associated  Tx-Power=16 dBm
Retry short limit:7  RTS thr:off  Fragment thr:off
Power Management:off

labcom@labcomPC-CM:~$
```

Figura 4

- 3) Coloque a STA C em modo de monitorização e num canal específico (por exemplo o canal onde o SSID1 está a ser difundido: canais 3 e 7):

- Para colocar em modo de monitorização:

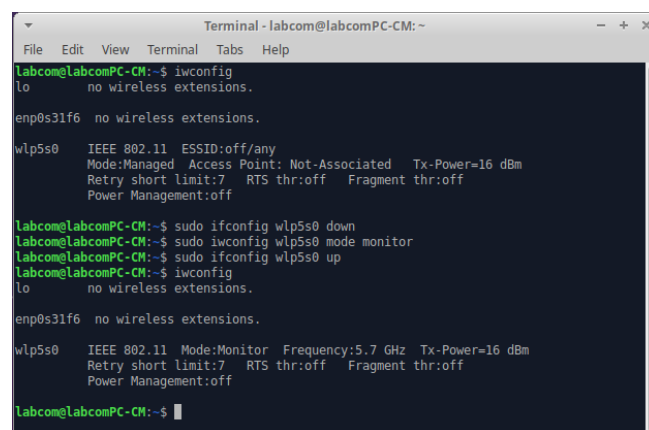
```
$ sudo ifconfig wlp5s0 down
$ sudo iwconfig wlp5s0 mode monitor
$ sudo ifconfig wlp5s0 up
```

- Para mudar de canal ou de frequência:

```
$ sudo iwconfig wlp5s0 [channel c | freq f]
```

- Verifique o resultado final:

```
$ iwconfig
```



```
Terminal - labcom@labcomPC-CM: ~
File Edit View Terminal Tabs Help
labcom@labcomPC-CM:~$ iwconfig
lo          no wireless extensions.

enp0s31f6  no wireless extensions.

wlp5s0     IEEE 802.11  ESSID:off/any
Mode:Managed  Access Point: Not-Associated  Tx-Power=16 dBm
Retry short limit:7  RTS thr:off  Fragment thr:off
Power Management:off

labcom@labcomPC-CM:~$ sudo ifconfig wlp5s0 down
labcom@labcomPC-CM:~$ sudo iwconfig wlp5s0 mode monitor
labcom@labcomPC-CM:~$ sudo ifconfig wlp5s0 up
labcom@labcomPC-CM:~$ iwconfig
lo          no wireless extensions.

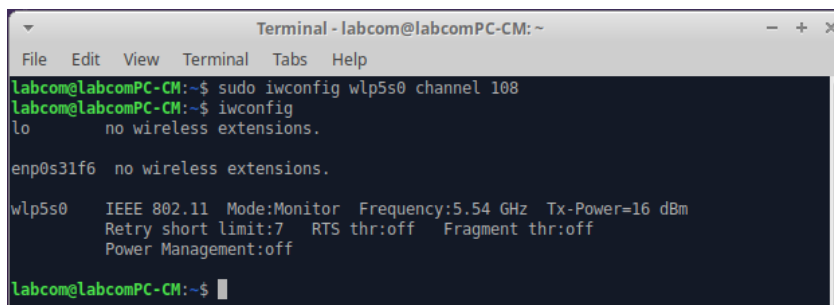
enp0s31f6  no wireless extensions.

wlp5s0     IEEE 802.11  Mode:Monitor  Frequency:5.7 GHz  Tx-Power=16 dBm
Retry short limit:7  RTS thr:off  Fragment thr:off
Power Management:off

labcom@labcomPC-CM:~$
```

Figura 5

- 4) Mude para outro canal nos 2.4GHz (por exemplo, 9/2.452 MHz) ou mesmo para um canal nos 5GHz, se disponível (p.ex. Canal 108/5.540 MHz):



```
Terminal - labcom@labcomPC-CM: ~
File Edit View Terminal Tabs Help
labcom@labcomPC-CM:~$ sudo iwconfig wlp5s0 channel 108
labcom@labcomPC-CM:~$ iwconfig
lo          no wireless extensions.

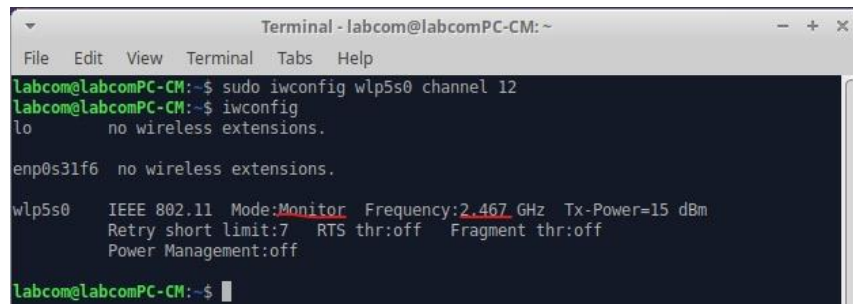
enp0s31f6  no wireless extensions.

wlp5s0     IEEE 802.11  Mode:Monitor  Frequency:5.54 GHz  Tx-Power=16 dBm
Retry short limit:7  RTS thr:off  Fragment thr:off
Power Management:off

labcom@labcomPC-CM:~$
```

Figura 6

- 5) Atente no output produzido pelos comandos *ifconfig* e *iwconfig*, antes e depois de colocação do interface em modo monitor, e conclua sobre a informação que os mesmos lhe apresentaram, tendo em conta os procedimentos que realizou.
- 6) Antes de prosseguir, coloque a STA C na frequência desejada para o SSID 1, canais 3 (alunos na sala 300) e 7 (alunos na sala 301):



```
Terminal - labcom@labcomPC-CM: ~
File Edit View Terminal Tabs Help
labcom@labcomPC-CM:~$ sudo iwconfig wlp5s0 channel 12
labcom@labcomPC-CM:~$ iwconfig
lo        no wireless extensions.

enp0s31f6 no wireless extensions.

wlp5s0    IEEE 802.11  Mode:Monitor  Frequency:2.467 GHz  Tx-Power=15 dBm
          Retry short limit:7   RTS thr:off   Fragment thr:off
          Power Management:off

labcom@labcomPC-CM:~$
```

Figura 7

- Está assim a garantir que a interface 802.11 da STA C tem o rádio a funcionar na frequência correcta para prosseguir o trabalho.

2. Experimentação: Canais e Frames

- 1) Inicie o Wireshark na STA C.
- 2) Verifique (*Capture* → *Options*, aba *Input*) que o interface WLAN (wlp5s0) está em modo de monitoria (não avance caso isso não se verifique):

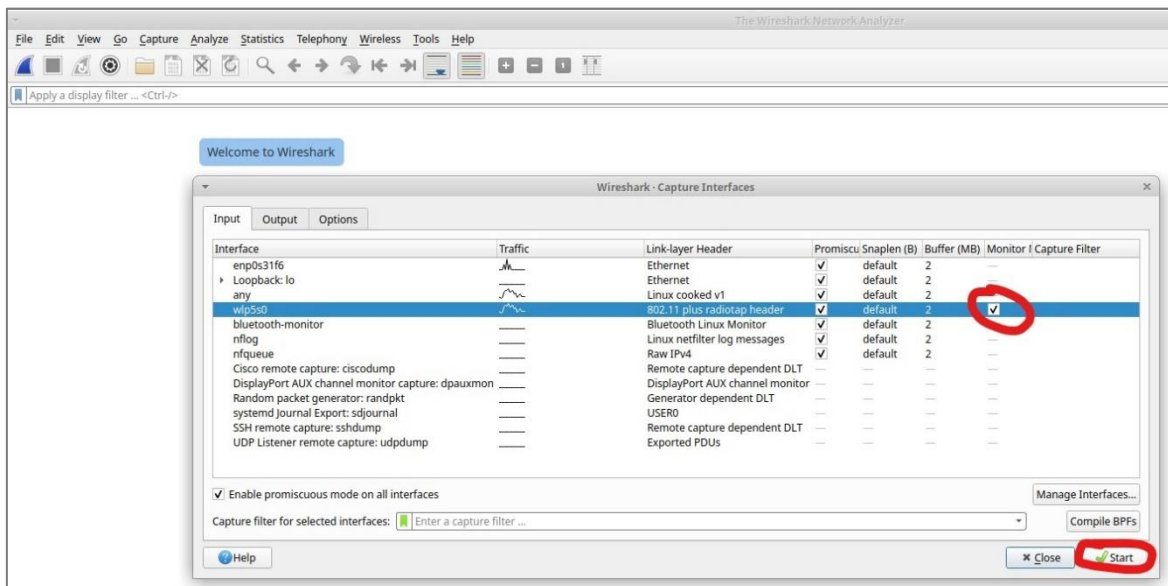


Figura 8

- 3) Inicie a captura na rede WLAN selecionando a linha com o interface wlp5s0 e premindo 'Start', no canto inferior direito; guarde alguns segundos; pare a captura no Wireshark (botão quadrado vermelho, em cima, à esquerda)

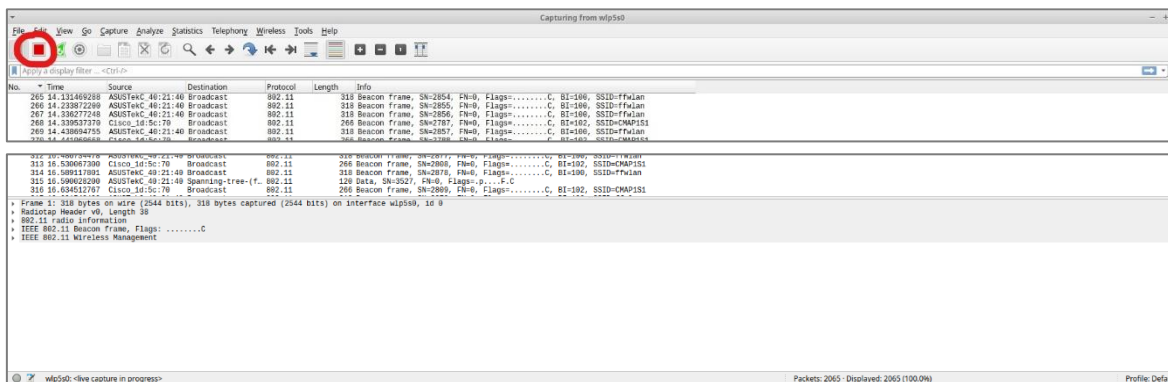


Figura 9

- 4) Observe que na sala 330 (estando a capturar no canal 3) não observa os Beacons do SSID1 da sala 331 ("ComMoveis.331.2400") e vice-versa (estando na sala 331 no canal 7). Explique a razão para tal.
 1. Coloque o interface a monitorar no outro canal (3 ou 7) e observe a diferença.
 2. Coloque agora o interface a monitorar no canal 5 e observe a diferença. O comportamento é o mesmo? Consulte o Anexo IX para dar a sua resposta.
- 5) Selecciona uma qualquer trama (pode agrupá-las por tipo, carregando no topo da coluna 'Info') e observe a informação na área de detalhes (*Packet details*); veja o exemplo seguinte para uma trama do tipo **Beacon frame** (*passive scanning*); pode utilizar um **Display Filter** (*wlan.fc.type==0 && wlan.fc.subtype==8*; compare estes valores com os do Anexo VIII no final do guião) para o efeito:

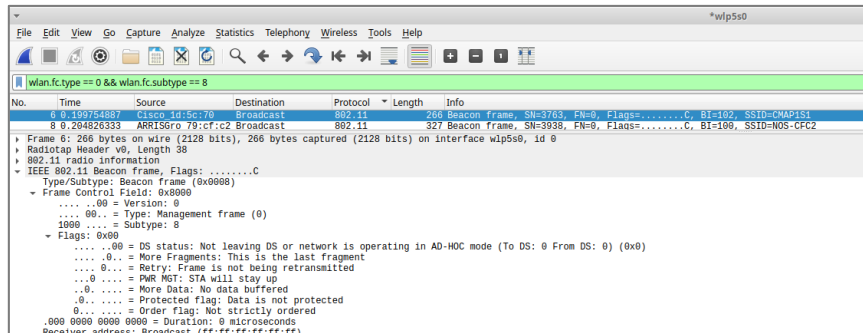


Figura 10

- Identifique a estrutura da trama (*Header, Body, FCS*) e os campos que a compõe (consulte o Anexo VII) e, em particular, registe o **tipo** e **subtipo** da trama, expandindo os campos na janela de *Packet Details*.

- 6) Procure tramas de **pesquisa activa** (*Probe Request/Response*); pode utilizar um *Display Filter* para o efeito (mude o *subtype* para 4 e 5):

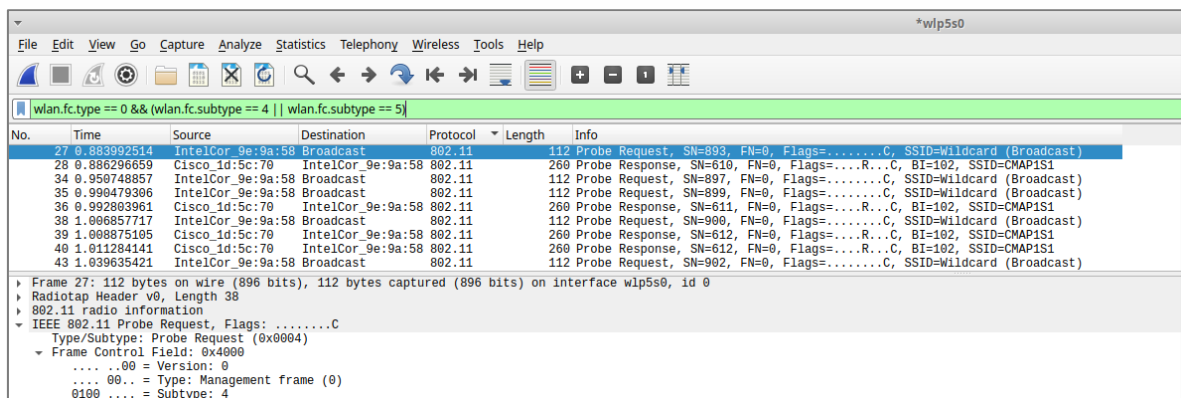


Figura 11

- 7) Reinicie a captura no Wireshark (*Capture → Start*); com o comando **iwconfig**, mude a monitorização para outros canais de 2.4GHz (por exemplo 1, 6 e 12) e 5GHz (por exemplo 100, 120 e 140)
- Observe os diferentes **SSIDs** anunciados nos *Beacons* capturados, em cada canal; porque se observam os mesmos Beacon em várias frequências?
 - Conseguirá observar os beacons de ambos AP? Actue no sentido de o verificar.
 - Observe o diferente comportamento na faixa dos 5GHz.
- 8) Volte a colocar a STA C no canal 3 e 7, conforme a sala, e pare a captura; ordene as tramas capturadas pelo campo *Info* e aplique o filtro de visualização para tramas de tipo **Management** sem indicar subtipo ("wlan.fc.type == 0")
- Registe os tipos e sub-tipos para cada um dos grupos que encontra (informação inicial indicada na coluna *Info*) e compare com a informação no Anexo VIII.
 - Mude o filtro de visualização para tramas de **Control** ("wlan.fc.type == 1"); repita o passo anterior.
 - Mude o filtro de visualização para tramas de **Data** ("wlan.fc.type == 2"); repita o primeiro passo.

- 9) Repita os passos anteriores, observando agora a informação de origem e presente nas colunas 'Source' e 'Destination'; identifique os tipos de endereços (MAC) que aparecem; Relacione com os tipos de tramas.
- 10) Remova o filtro de visualização ou coloque-o para tramas do tipo 0; selecione uma trama do tipo 'Beacon frame' e onde seja indicado o SSID1 'ComMoveis.33x.2400'
- Calcule a periodicidade de envio dos Beacons com base na informação na coluna *Time* (pode colocar a referencia temporal em uma dessas tramas com *Ctrl+T*).
 - Na área de detalhe da trama, observe a informação presente no corpo da trama, nos grupos *Fixed parameters* e *Tagged parameters* (Campo *IEEE 802.11 Wireless Management*)
 - Confira a informação anterior.
 - Verifique as várias características anunciadas pelos AP (p.ex *Supported Rates*)

3. Experimentação: *Procedimentos*

A. Autenticação e Associação

11) Reinicie a captura (STA C) no Wireshark no interface de rede WLAN (interface wlp5s0)

12) Ligue a STA A ao SSID1 ('ComMoveis.33x.2400') e pare a captura.

13) Configure um filtro de visualização para as tramas de pedido de autenticação, associação e confirmação (veja a fig. 12)

- Visualize na captura o processo de autenticação e associação da STA A e anote o número de sequência dessas mensagens na captura do Wireshark.

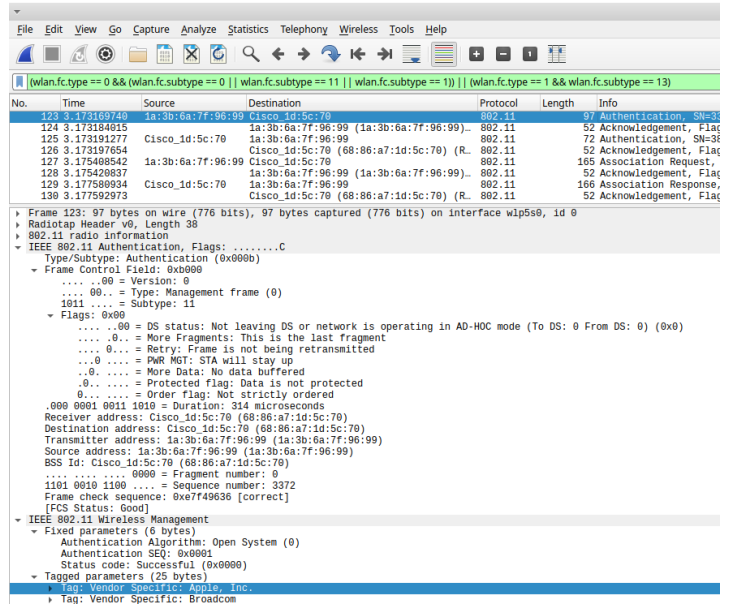


Figura 12

- Observe o processo de pedido e confirmação (*Acknowledgment*).
- Compare o corpo das mensagens de Autenticação e de Associação.

14) Adicione a chave no Wireshark para poder descriptar o conteúdo dos pacotes:

- Edit* → *Preferences* → *ieee802.11* → *Enable decryption* → *edit* → '+' → *key-type=wpa-pwd* → *key=Lab.Com.WiFi*

15) Mude o filtro de visualização para pacotes DHCP e observe a troca de mensagens; anote o endereço IP atribuído à STA A.

- Relacione temporalmente estas mensagens com as anteriores, comparando os números de sequência na captura.

B. Transferência de dados

- 16) Reinicie a captura no Wireshark no interface de rede WLAN (interface wlp5s0)
- 17) Desde a STA A faça um ping para o AccessPoint da sala (10.0.{1|2}.1) por alguns segundos (p.ex. 10 segs)
- **Apesar de os ping terem tido sucesso na sua máquina (STA A), o wireshark perde e replica alguns desses pacotes.**
- 18) Pare a captura e filtre na visualização pacotes do tipo ICMP (ping) e ARP, analisando as trocas de mensagens.
- Selecione um destes pacotes e, na área de detalhes, observe o tipo de trama e de subtrama.
 - Observe os vários encapsulamentos utilizados até chegar ao pacote ICMP ou ARP e explique-o.

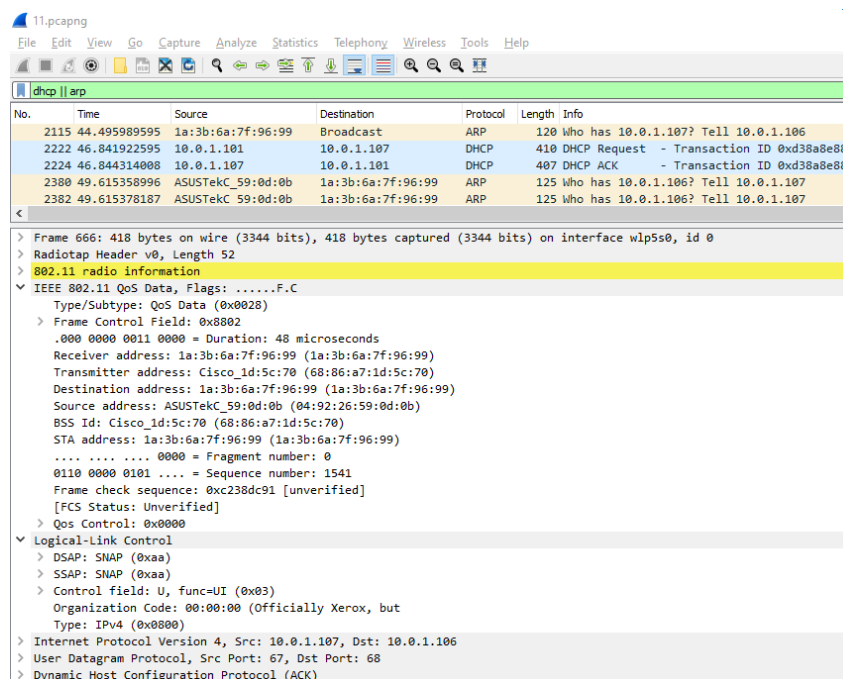


Figura 13

- 19) Filtre agora pacotes RTS, CTS e ICMP (fc.type = 1 e subtype = 11 ou 12):
- Verifique o padrão da troca de pacotes entre os pedidos *ICMP Echo Request* e as respostas *ICMP Echo Reply*.
 - Observe o tipo e subtipo das tramas capturadas.
 - Observe a flag *DS status* de ambas as mensagens de *Echo Request* e *Reply*.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
2081	44.394697968	1a:3b:6a:7f:96:9...	Cisco_id:5c:70 (68:86:a7:1d:5c:70) (R...	802.11	58	Request-to-send, Flags=.....C
2082	44.394703963	1a:3b:6a:7f:96:9...	1a:3b:6a:7f:96:99 (1a:3b:6a:7f:96:99)...	802.11	52	Clear-to-send, Flags=.....C
2102	44.397839923	10.0.1.106	10.0.1.107	ICMP	163	Echo (ping) request id=0x5f2d, seq=0/0, ttl=64 (reply in 2106)
2106	44.397855503	10.0.1.107	10.0.1.106	ICMP	163	Echo (ping) reply id=0x5f2d, seq=0/0, ttl=64 (request in 2102)
2149	45.397633188	1a:3b:6a:7f:96:9...	Cisco_id:5c:70 (68:86:a7:1d:5c:70) (R...	802.11	58	Request-to-send, Flags=.....C
2150	45.397636073	1a:3b:6a:7f:96:9...	1a:3b:6a:7f:96:99 (1a:3b:6a:7f:96:99)...	802.11	52	Clear-to-send, Flags=.....C
2151	45.397640038	10.0.1.106	10.0.1.107	ICMP	174	Echo (ping) request id=0x5f2d, seq=1/256, ttl=64 (reply in 2154)
2154	45.311179283	10.0.1.107	10.0.1.106	ICMP	163	Echo (ping) reply id=0x5f2d, seq=1/256, ttl=64 (request in 2151)
2196	46.396420147	1a:3b:6a:7f:96:9...	Cisco_id:5c:70 (68:86:a7:1d:5c:70) (R...	802.11	58	Request-to-send, Flags=.....C
2197	46.396421664	1a:3b:6a:7f:96:9...	1a:3b:6a:7f:96:99 (1a:3b:6a:7f:96:99)...	802.11	52	Clear-to-send, Flags=.....C
2198	46.396423984	10.0.1.106	10.0.1.107	ICMP	174	Echo (ping) request id=0x5f2d, seq=2/512, ttl=64 (reply in 2200)
2200	46.396928257	10.0.1.107	10.0.1.106	ICMP	163	Echo (ping) reply id=0x5f2d, seq=2/512, ttl=64 (request in 2198)
2240	47.397988372	1a:3b:6a:7f:96:9...	Cisco_id:5c:70 (68:86:a7:1d:5c:70) (R...	802.11	58	Request-to-send, Flags=.....C
2241	47.397989603	1a:3b:6a:7f:96:9...	1a:3b:6a:7f:96:99 (1a:3b:6a:7f:96:99)...	802.11	52	Clear-to-send, Flags=.....C

Figura 14

20) Coloque a STC no canal 2.4GHz da sua sala (3 ou 7); Reinicie a captura no Wireshark no interface de rede WLAN (interface wlp5s0)

21) Ligue a STA B ao SSID do mesmo canal (não será pedida autenticação)

- Repita a aplicação de um filtro de visualização para pacotes DHCP e anote o endereço atribuído a essa estação.

22) Faça um ping entre da estação STA A para STA B por alguns segundos (p.ex. 10) e pare a captura

- Filtre pacotes RTS, CTS e ICMP

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
243	6.481569521	1a:3b:6a:7f:96:9...	Cisco_id:5c:70 (68:86:a7:1d:5c:70) (R...	802.11	58	Request-to-send, Flags=.....C
244	6.481575928	1a:3b:6a:7f:96:9...	1a:3b:6a:7f:96:99 (1a:3b:6a:7f:96:99)...	802.11	52	Clear-to-send, Flags=.....C
245	6.481590267	10.0.1.106	10.0.1.107	ICMP	174	Echo (ping) request id=0x437e, seq=0/0, ttl=64 (no response found!)
321	6.861577769	10.0.1.106	10.0.1.107	ICMP	163	Echo (ping) request id=0x437e, seq=0/0, ttl=64 (reply in 325)
323	6.864370493	4e:12:14:b8:83:0...	Cisco_id:5c:70 (68:86:a7:1d:5c:70) (R...	802.11	58	Request-to-send, Flags=.....C
324	6.864382211	4e:12:14:b8:83:0...	4e:12:14:b8:83:0e (4e:12:14:b8:83:0e)...	802.11	52	Clear-to-send, Flags=.....C
325	6.864391437	10.0.1.101	10.0.1.106	ICMP	174	Echo (ping) reply id=0x437e, seq=0/0, ttl=64 (request in 321)
329	6.963975565	10.0.1.101	10.0.1.106	ICMP	163	Echo (ping) reply id=0x437e, seq=0/0, ttl=64
335	6.973944411	4e:12:14:b8:83:0...	Cisco_id:5c:70 (68:86:a7:1d:5c:70) (R...	802.11	58	Request-to-send, Flags=.....C
336	6.973955510	4e:12:14:b8:83:0...	4e:12:14:b8:83:0e (4e:12:14:b8:83:0e)...	802.11	52	Clear-to-send, Flags=.....C
417	7.483924927	1a:3b:6a:7f:96:9...	Cisco_id:5c:70 (68:86:a7:1d:5c:70) (R...	802.11	58	Request-to-send, Flags=.....C
418	7.483930180	1a:3b:6a:7f:96:9...	1a:3b:6a:7f:96:99 (1a:3b:6a:7f:96:99)...	802.11	52	Clear-to-send, Flags=.....C
419	7.483937198	10.0.1.106	10.0.1.107	ICMP	174	Echo (ping) request id=0x437e, seq=1/256, ttl=64 (no response found!)
486	7.695445534	10.0.1.106	Cisco_id:5c:70 (68:86:a7:1d:5c:70) (R...	802.11	52	Clear-to-send, Flags=.....C
487	7.695458649	10.0.1.106	10.0.1.107	ICMP	174	Echo (ping) request id=0x437e, seq=1/256, ttl=64 (reply in 492)
490	7.746169195	4e:12:14:b8:83:0...	Cisco_id:5c:70 (68:86:a7:1d:5c:70) (R...	802.11	58	Request-to-send, Flags=.....C
491	7.746189787	4e:12:14:b8:83:0...	4e:12:14:b8:83:0e (4e:12:14:b8:83:0e)...	802.11	52	Clear-to-send, Flags=.....C
492	7.746190390	10.0.1.101	10.0.1.106	ICMP	174	Echo (ping) reply id=0x437e, seq=1/256, ttl=64 (request in 487)
512	8.112210637	Cisco_id:5c:70 (...)	1a:3b:6a:7f:96:99 (1a:3b:6a:7f:96:99)...	802.11	58	Request-to-send, Flags=.....C
513	8.112817478	Cisco_id:5c:70 (...)	1a:3b:6a:7f:96:99 (1a:3b:6a:7f:96:99)...	802.11	58	Request-to-send, Flags=.....C
514	8.113679002	Cisco_id:5c:70 (...)	1a:3b:6a:7f:96:99 (1a:3b:6a:7f:96:99)...	802.11	58	Request-to-send, Flags=.....C
517	8.115073304	Cisco_id:5c:70 (...)	1a:3b:6a:7f:96:99 (1a:3b:6a:7f:96:99)...	802.11	58	Request-to-send, Flags=.....C
518	8.115078045	Cisco_id:5c:70 (...)	Cisco_id:5c:70 (68:86:a7:1d:5c:70) (R...	802.11	52	Clear-to-send, Flags=.....C
519	8.115085379	10.0.1.101	10.0.1.106	ICMP	174	Echo (ping) reply id=0x437e, seq=1/256, ttl=64
593	8.486728597	1a:3b:6a:7f:96:9...	Cisco_id:5c:70 (68:86:a7:1d:5c:70) (R...	802.11	58	Request-to-send, Flags=.....C
594	8.486740794	1a:3b:6a:7f:96:9...	1a:3b:6a:7f:96:99 (1a:3b:6a:7f:96:99)...	802.11	52	Clear-to-send, Flags=.....C

Figura 15

- Verifique o padrão da troca de pacotes entre os pedidos *ICMP Echo Request* e as respostas *ICMP Echo Reply*; que diferenças encontra para o *ping* efectuado anteriormente? Analise com base na observação dos seguintes campos presentes no cabeçalho da trama 802.11:

- *DS Status* e
- *Receiver, Transmitter, Destination* e *Source Address*.

C. Associação com segurança e desassociação (STA A)

23) Mude a STA C para o canal 40 (5.200 MHz).

24) Reinicie a captura na rede WLAN (interface wlp5s0).

25) Ligue a STA A no SSID 2 ('ComMoveis.33x.5000') e introduza a chave de autenticação ('Lab.Com.WiFi'); pare a captura.

- Observe o processo *4-Way Handshake* do EAPoL (EAP over LAN) utilizado com o WPAv2 e os parâmetros trocados

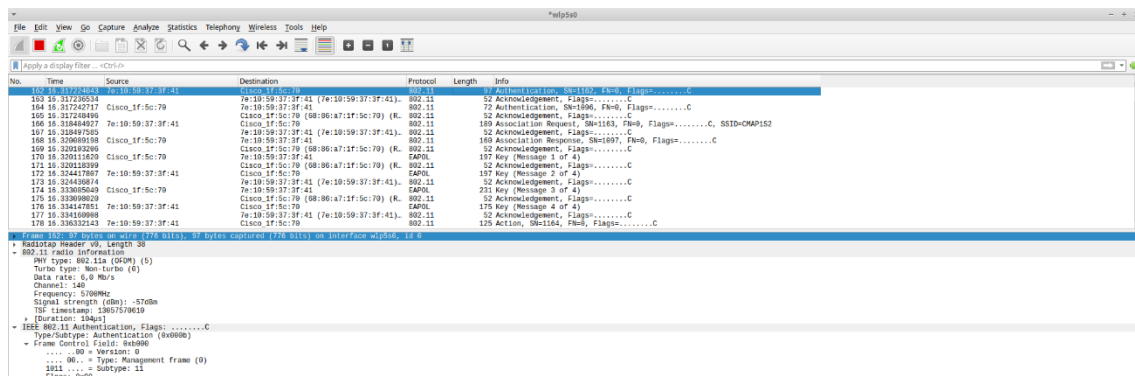


Figura 16

26) Reinicie a captura na rede WLAN (interface wlp5s0).

27) Volte a colocar a STA A no SSID 1 e pare a captura.

- Observe a única mensagem de desassociação.

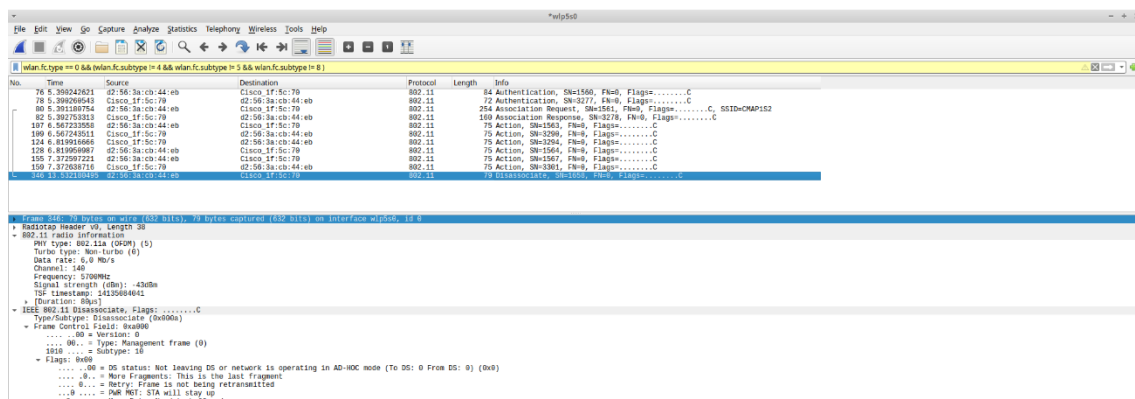


Figura 17

D. Desempenho

- 28) Como primeiro passo preparatório, instale o *iperf3* na STA A e na STA B (ver a Secção VI)
- 29) Ligue a STA A e STA B no SSID1; coloque a STA C no canal 3.
- 30) Reinicie a captura na rede WLAN na STA C (interface wlp5s0).
- 31) Na linha de comandos ou na aplicação que utilizar, ligue o *iperf3* ao servidor da sala no porto de correspondente ao seu grupo de trabalho, com intervalos de visualização de 1 seg e no sentido servidor → cliente (opcionalmente, inicie do cliente para o servidor, ou seja, sem a opção '-R' e compare os resultados):
 - `iperf3 -c 10.0.1.2 -p 520x -i 1 -R`
- 32) Quando o *iperf3* termine (10 seg), pare a captura no wireshark
 - Registe os débitos obtidos.
 - Configure um filtro de visualização para tramas RTS, CTS e pacotes TCP; visualize a sequência de pacotes, incluindo os TCP.

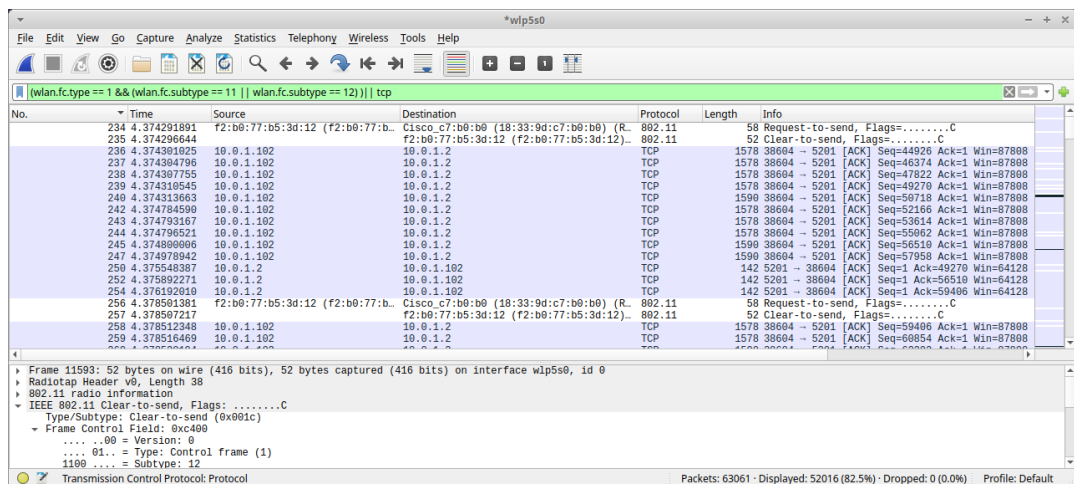


Figura 18

- Selecione uma trama RTS e ordene a captura pelo campo 'Info' (ficará com todas as tramas RTS agrupadas e ordenadas); percorra a lista observando a frequência com que estas foram geradas durante o *iperf3* e as durações solicitadas nas tramas RTS.

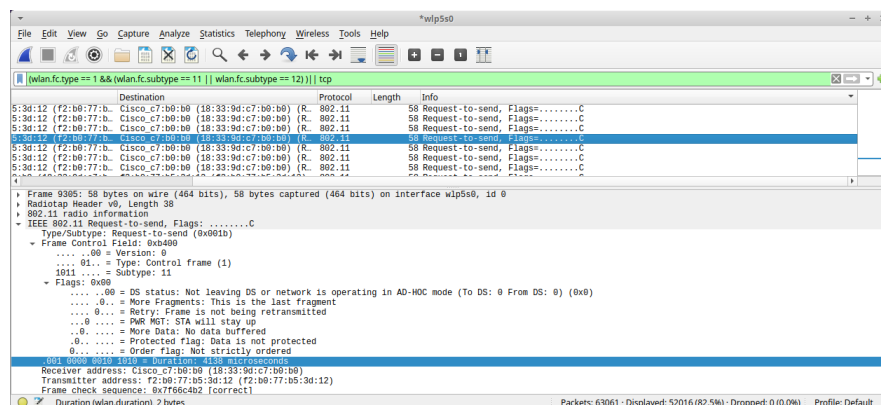


Figura 19

- 33) Repita o anterior colocando as estações no canal 40 (5GHz).

V. Links úteis

WLAN

- <https://howiwifi.com/2020/07/13/802-11-frame-types-and-formats/>
- <https://howiwifi.com/2020/07/16/802-11-frame-exchanges/>
- <https://www.wifi-professionals.com/2019/01/4-way-handshake>
- <https://www.oreilly.com/library/view/80211-wireless-networks/0596100523/ch04.html>

IPERF3

- Windows:

<https://iperf.fr/iperf-download.php#windows>

- Android

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.nextdoordeveloper.miperf.miperf&hl=en&gl=US>

Wireshark

<https://wiki.wireshark.org/CaptureSetup/WLAN>

<https://www.wireshark.org/docs/dfref/w/wlan.html>

VI. Utilização do Wireshark e estrutura de tramas

Filtros de visualização

- wlan.bssid == MAC AP
- wlan.ra == MAC addr; wlan.sa == MAC addr
- wlan.fc.type == n (0: management; 1: control; 2: data)
- wlan.fc.subtype == n (ver tabela abaixo)

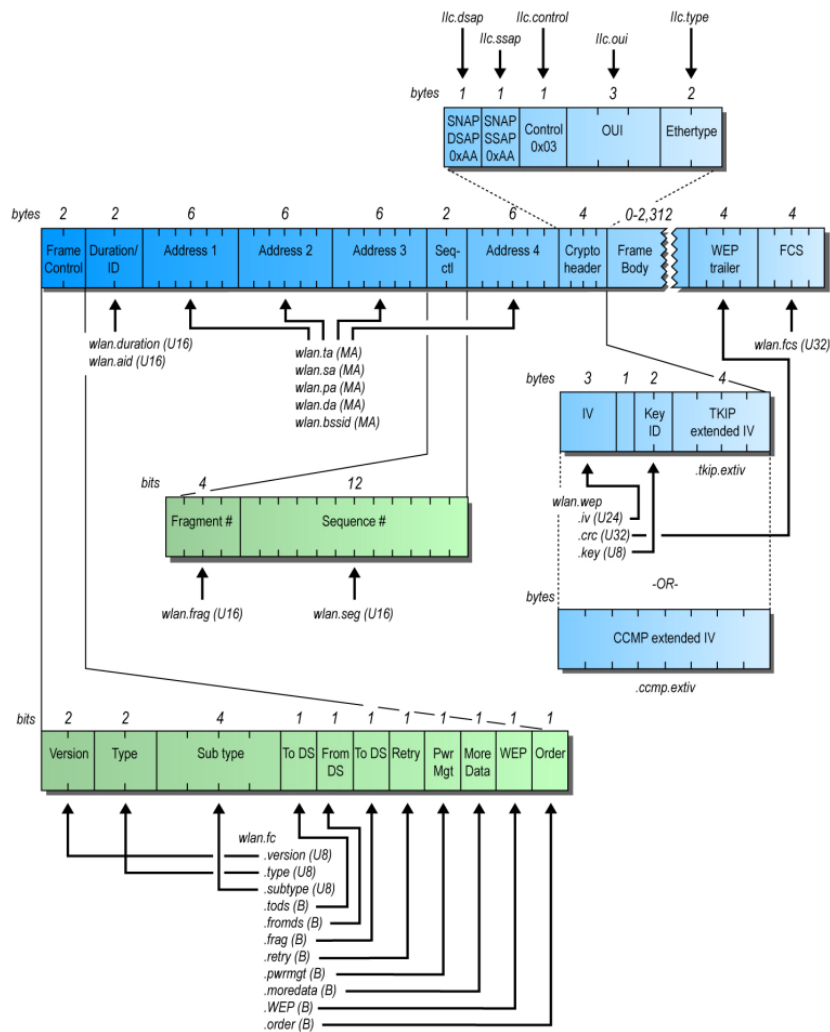


Figura 20

VII. Utilização do iperf3

Servidor

- \$ iperf3 -s -p port

Cliente

- \$ iperf3 -c server_address -p port

VIII. Tramas 802.11 e subtipos de tramas

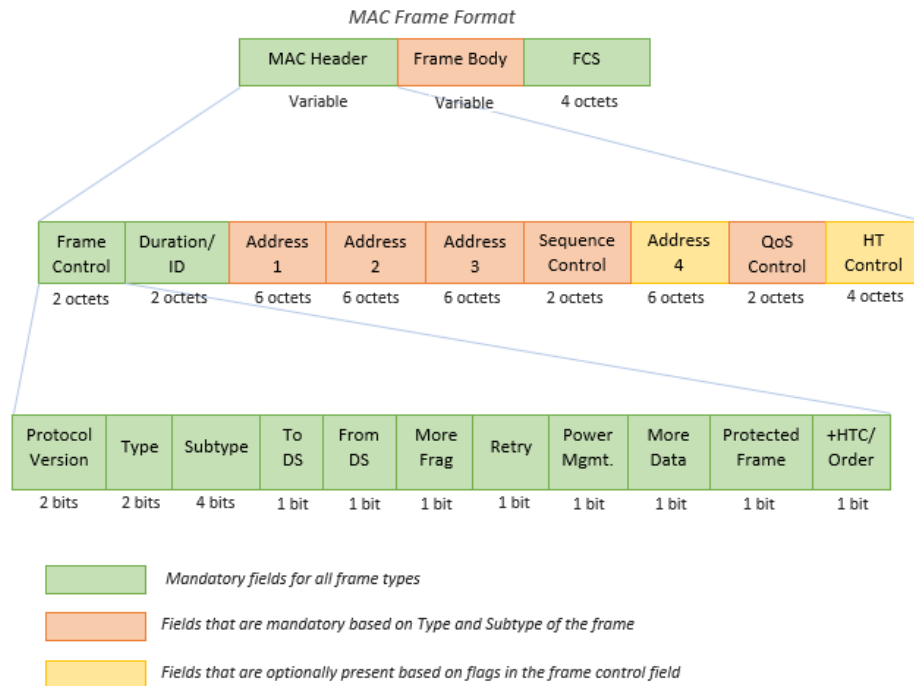


Figura 21

Type = 0 (Management)		Type = 1 (Control)		Type = 2 (Data)	
Association request	0000 (0)			Data	0000 (0)
Association response	0001 (1)			Data + CF-ACK	0001 (1)
Reassociation request	0010 (2)			Data + CF-Poll	0010 (2)
Reassociation response	0011 (3)			Data + CF-ACK + CF-Poll	0011 (3)
Probe request	0100 (4)	Beamforming Report Poll	0100 (4)	Null (no data)	0100 (4)
Probe response	0101 (5)	VHT/HE NDP Announcement	0101 (5)	CF-ACK (no data)	0101 (5)
Timing advertisement	0110 (6)	Control Frame Extension	0110 (6)	CF-Poll (no data)	0110 (6)
Reserved	0111 (7)	Control wrapper	0111 (7)	CF-ACK + CF-Poll (no data)	0111 (7)
Beacon	1000 (8)	Block ACK Request	1000 (8)	QoS Data	1000 (8)
		Block ACK	1001 (9)	QoS Data + CF-ACK	1001 (9)
Disassociation	1010 (10)	PS-Poll	1010 (10)	QoS Data + CF-Poll	1010 (10)
Authentication	1011 (11)	RTS	1011 (11)	QoS Data + CF-ACK + CF-Poll	1011 (11)
Deauthentication	1100 (12)	CTS	1100 (12)	QoS Null (no data)	1100 (12)
Action	1110 (13)	ACK	1101 (13)	Reserved	1101 (13)
		CF-End	1110 (14)	QoS CF-Poll (no data)	1110 (14)
		CF-END+CF-ACK	1111 (15)	QoS CF-ACK + CF-Poll (no data)	1111 (15)

Tabela 2

IX. Canais e frequências

2.4 GHz

Channel	F ₀ (MHz)	Frequency Range (20 MHz)
1	2412	2401–2423
2	2417	2406–2428
3	2422	2411–2433
4	2427	2416–2438
5	2432	2421–2443
6	2437	2426–2448
7	2442	2431–2453
8	2447	2436–2458
9	2452	2441–2463
10	2457	2446–2468
11	2462	2451–2473
12	2467	2456–2478
13	2472	2461–2483
14	2484	2473–2495

Tabela 3

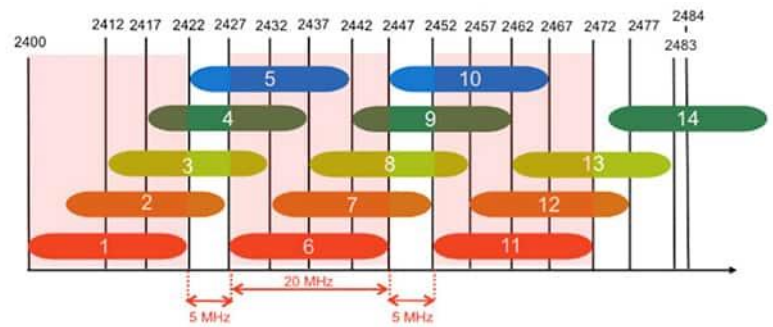


Figura 21

<https://www.digikey.com/en/articles/compare-24-ghz-5-ghz-wireless-lan-industrial-applications>

5GHZ

5 GHz Channel Allocations

Frequency (GHz)	5.150	5.250	5.470	5.600	5.640	5.725	5.850
802.11 Allocations	UNII-1	UNII-2a	UNII-2c (Extended)				UNII-3
Center Frequency	5180, 5200, 5220, 5240	5260, 5280, 5300, 5320	5500, 5520, 5540, 5560, 5580, 5600, 5620, 5640, 5660, 5680, 5700, 5720	5745, 5765, 5785, 5805, 5825			
20 MHz	36, 40, 44, 48	52, 56, 60, 64	100, 104, 108, 112, 116, 120, 124, 128, 132, 136, 140, 144	149, 153, 157, 161, 165			
40 MHz	38, 46	54, 62	102, 110, 118, 126, 134, 142	151, 159			
80 MHz	42	58	106, 122, 138	155			
160 MHz	50	114					
FCC	1,000 mW Tx Power Indoor & Outdoor No DFS needed	250 mw w/6dBi Indoor & Outdoor DFS Required	250mw w/6dBi Indoor & Outdoor DFS Required 144 Now Allowed	120, 124, 128 Devices Now Allowed	1,000 mW EIRP Indoor & Outdoor No DFS needed 165 was ISM, now UNII-3		
DFS Channels		DFS Channels					

Figura 22

<https://www.ekahau.com/blog/channel-planning-best-practices-for-better-wi-fi/>