Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Licenciatura em Engenharia Informática

Trabalho Prático 3

Redes de Computadores

Ano Letivo de 2022/2023
a100838, Jorge Teixeira
a100066, Ricardo Jesus
a100659, Rui Pinto
Braga, Maio de 2023

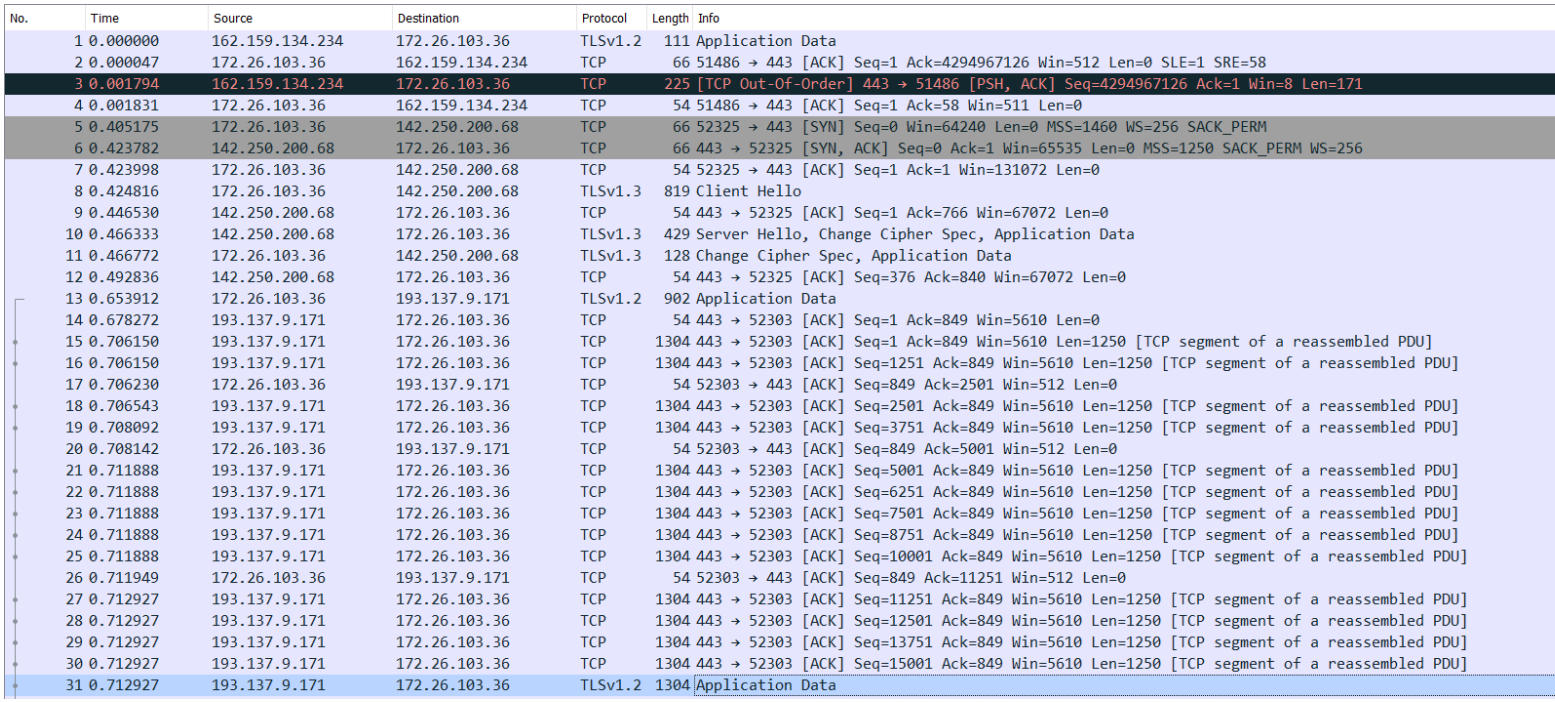
Índice

Lista de Figuras

1 Introdução

Neste trabalho prático iremos abordar questões relacionadas com a camada de ligação lógica, em específico o uso da tecnologia Ethernet e do protocolo ARP (Address Resolution Protocol).

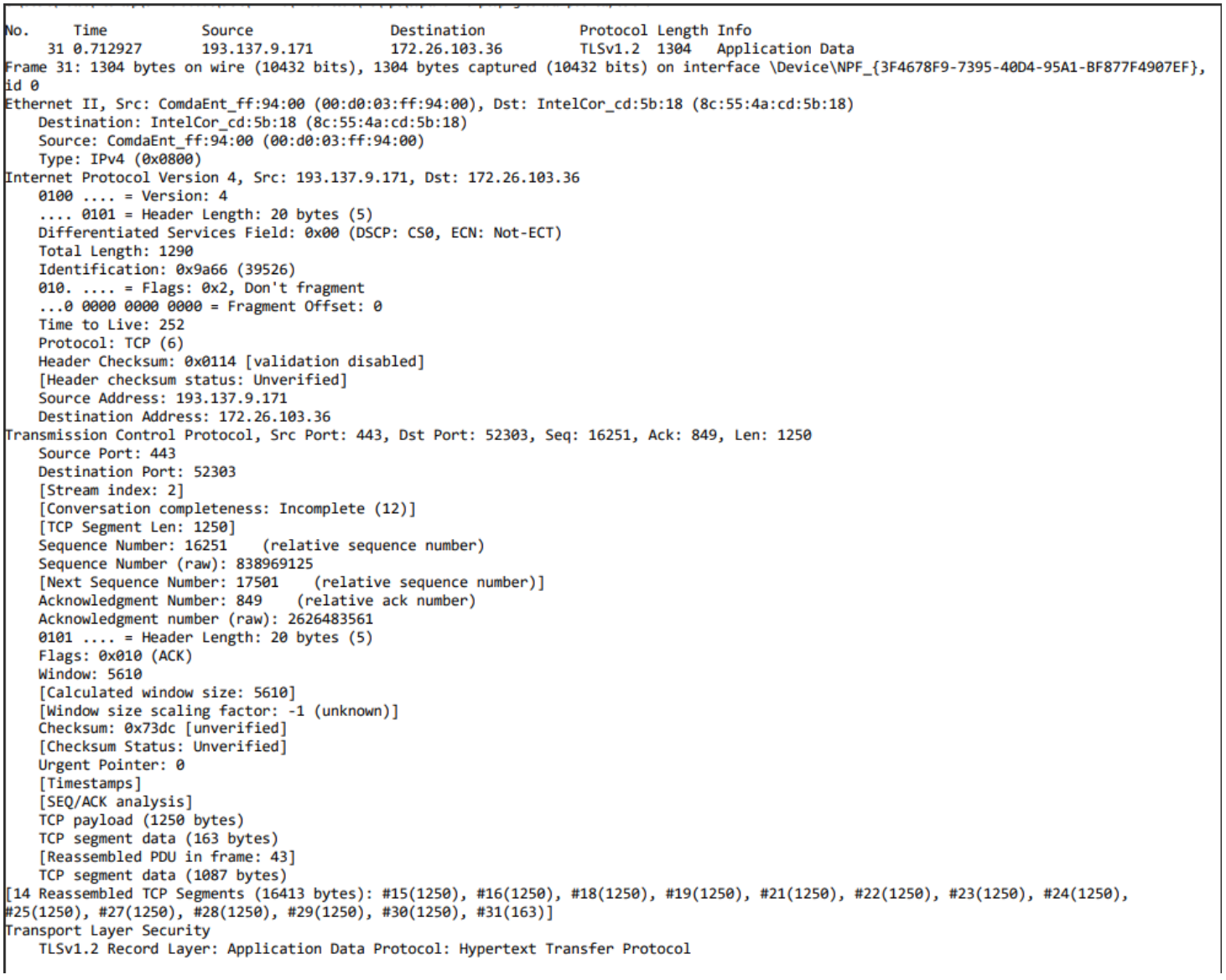
1.1 Captura e análise de Tramas Ethernet



No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	162.159.134.234	172.26.103.36	TLSv1.2	111	Application Data
2	0.000047	172.26.103.36	162.159.134.234	TCP	66	51486 → 443 [ACK] Seq=1 Ack=4294967126 Win=512 Len=0 SLE=1 SRE=58
3	0.001794	162.159.134.234	172.26.103.36	TCP	225	[TCP Out-Of-Order] 443 → 51486 [PSH, ACK] Seq=4294967126 Ack=1 Win=8 Len=171
4	0.001831	172.26.103.36	162.159.134.234	TCP	54	51486 → 443 [ACK] Seq=1 Ack=58 Win=511 Len=0
5	0.405175	172.26.103.36	142.250.200.68	TCP	66	52325 → 443 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 WS=256 SACK_PERM
6	0.423782	142.250.200.68	172.26.103.36	TCP	66	443 → 52325 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=65535 Len=0 MSS=1250 SACK_PERM WS=256
7	0.423998	172.26.103.36	142.250.200.68	TCP	54	52325 → 443 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=131072 Len=0
8	0.424816	172.26.103.36	142.250.200.68	TLSv1.3	819	Client Hello
9	0.446530	142.250.200.68	172.26.103.36	TCP	54	443 → 52325 [ACK] Seq=1 Ack=766 Win=67072 Len=0
10	0.466333	142.250.200.68	172.26.103.36	TLSv1.3	429	Server Hello, Change Cipher Spec, Application Data
11	0.466772	172.26.103.36	142.250.200.68	TLSv1.3	128	Change Cipher Spec, Application Data
12	0.492836	142.250.200.68	172.26.103.36	TCP	54	443 → 52325 [ACK] Seq=376 Ack=840 Win=67072 Len=0
13	0.653912	172.26.103.36	193.137.9.171	TLSv1.2	902	Application Data
14	0.678272	193.137.9.171	172.26.103.36	TCP	54	443 → 52303 [ACK] Seq=1 Ack=849 Win=5610 Len=0
15	0.706150	193.137.9.171	172.26.103.36	TCP	1304	443 → 52303 [ACK] Seq=1 Ack=849 Win=5610 Len=1250 [TCP segment of a reassembled PDU]
16	0.706150	193.137.9.171	172.26.103.36	TCP	1304	443 → 52303 [ACK] Seq=1251 Ack=849 Win=5610 Len=1250 [TCP segment of a reassembled PDU]
17	0.706230	172.26.103.36	193.137.9.171	TCP	54	52303 → 443 [ACK] Seq=849 Ack=2501 Win=512 Len=0
18	0.706543	193.137.9.171	172.26.103.36	TCP	1304	443 → 52303 [ACK] Seq=2501 Ack=849 Win=5610 Len=1250 [TCP segment of a reassembled PDU]
19	0.708092	193.137.9.171	172.26.103.36	TCP	1304	443 → 52303 [ACK] Seq=3751 Ack=849 Win=5610 Len=1250 [TCP segment of a reassembled PDU]
20	0.708142	172.26.103.36	193.137.9.171	TCP	54	52303 → 443 [ACK] Seq=849 Ack=5001 Win=512 Len=0
21	0.711888	193.137.9.171	172.26.103.36	TCP	1304	443 → 52303 [ACK] Seq=5001 Ack=849 Win=5610 Len=1250 [TCP segment of a reassembled PDU]
22	0.711888	193.137.9.171	172.26.103.36	TCP	1304	443 → 52303 [ACK] Seq=6251 Ack=849 Win=5610 Len=1250 [TCP segment of a reassembled PDU]
23	0.711888	193.137.9.171	172.26.103.36	TCP	1304	443 → 52303 [ACK] Seq=7501 Ack=849 Win=5610 Len=1250 [TCP segment of a reassembled PDU]
24	0.711888	193.137.9.171	172.26.103.36	TCP	1304	443 → 52303 [ACK] Seq=8751 Ack=849 Win=5610 Len=1250 [TCP segment of a reassembled PDU]
25	0.711888	193.137.9.171	172.26.103.36	TCP	1304	443 → 52303 [ACK] Seq=10001 Ack=849 Win=5610 Len=1250 [TCP segment of a reassembled PDU]
26	0.711949	172.26.103.36	193.137.9.171	TCP	54	52303 → 443 [ACK] Seq=849 Ack=11251 Win=512 Len=0
27	0.712927	193.137.9.171	172.26.103.36	TCP	1304	443 → 52303 [ACK] Seq=11251 Ack=849 Win=5610 Len=1250 [TCP segment of a reassembled PDU]
28	0.712927	193.137.9.171	172.26.103.36	TCP	1304	443 → 52303 [ACK] Seq=12501 Ack=849 Win=5610 Len=1250 [TCP segment of a reassembled PDU]
29	0.712927	193.137.9.171	172.26.103.36	TCP	1304	443 → 52303 [ACK] Seq=13751 Ack=849 Win=5610 Len=1250 [TCP segment of a reassembled PDU]
30	0.712927	193.137.9.171	172.26.103.36	TCP	1304	443 → 52303 [ACK] Seq=15001 Ack=849 Win=5610 Len=1250 [TCP segment of a reassembled PDU]
31	0.712927	193.137.9.171	172.26.103.36	TLSv1.2	1304	Application Data

Figura 1.1: Número de ordem da sequência de bytes capturada.

No intervalo de linhas 1 a 31, podemos ver que a ligação entre **Servidor** e **Cliente** é estabelecida (”Client Hello”e ”Server Hello”), que se dá a primeira troca de dados entre Cliente e servidor e vice versa (Application Data, nas linhas 13 e 31, respetivamente).



```
No.     Time           Source                Destination           Protocol Length Info
     31 0.712927       193.137.9.171         172.26.103.36         TLSv1.2  1304   Application Data
Frame 31: 1304 bytes on wire (10432 bits), 1304 bytes captured (10432 bits) on interface \Device\NPF_{3F4678F9-7395-40D4-95A1-BF877F4907EF},
id 0
Ethernet II, Src: ComdaEnt_ff:94:00 (00:d0:03:ff:94:00), Dst: IntelCor_cd:5b:18 (8c:55:4a:cd:5b:18)
    Destination: IntelCor_cd:5b:18 (8c:55:4a:cd:5b:18)
    Source: ComdaEnt_ff:94:00 (00:d0:03:ff:94:00)
    Type: IPv4 (0x0800)
Internet Protocol Version 4, Src: 193.137.9.171, Dst: 172.26.103.36
    0100 .... = Version: 4
    .... 0101 = Header Length: 20 bytes (5)
    Differentiated Services Field: 0x00 (DSCP: CS0, ECN: Not-ECT)
    Total Length: 1290
    Identification: 0x9a66 (39526)
    010. .... = Flags: 0x2, Don't fragment
    ...0 0000 0000 0000 = Fragment Offset: 0
    Time to Live: 252
    Protocol: TCP (6)
    Header Checksum: 0x0114 [validation disabled]
    [Header checksum status: Unverified]
    Source Address: 193.137.9.171
    Destination Address: 172.26.103.36
Transmission Control Protocol, Src Port: 443, Dst Port: 52303, Seq: 16251, Ack: 849, Len: 1250
    Source Port: 443
    Destination Port: 52303
    [Stream index: 2]
    [Conversation completeness: Incomplete (12)]
    [TCP Segment Len: 1250]
    Sequence Number: 16251    (relative sequence number)
    Sequence Number (raw): 838969125
    [Next Sequence Number: 17501    (relative sequence number)]
    Acknowledgment Number: 849    (relative ack number)
    Acknowledgment number (raw): 2626483561
    0101 .... = Header Length: 20 bytes (5)
    Flags: 0x010 (ACK)
    Window: 5610
    [Calculated window size: 5610]
    [Window size scaling factor: -1 (unknown)]
    Checksum: 0x73dc [unverified]
    [Checksum Status: Unverified]
    Urgent Pointer: 0
    [Timestamps]
    [SEQ/ACK analysis]
    TCP payload (1250 bytes)
    TCP segment data (163 bytes)
    [Reassembled PDU in frame: 43]
    TCP segment data (1087 bytes)
[14 Reassembled TCP Segments (16413 bytes): #15(1250), #16(1250), #18(1250), #19(1250), #21(1250), #22(1250), #23(1250), #24(1250),
#25(1250), #27(1250), #28(1250), #29(1250), #30(1250), #31(163)]
Transport Layer Security
    TLSv1.2 Record Layer: Application Data Protocol: Hypertext Transfer Protocol
```

Figura 1.2: Número de ordem da trama com a resposta proveniente do servidor ao cliente (linha 31 do wireshark).

2 Resolução de Questões

2.1 Questões sobre tramas Ethernet

2.1.1 Anote os endereços MAC de origem e de destino da trama capturada. Identifique a que sistemas se referem. Justifique.

R:O endereço MAC origem é **8c:55:4a:cd:5b:18** e o endereço MAC destino é **00:d0:03:ff:94:00** correspondetes, respetivamente ao Cliente e ao Router LAN.

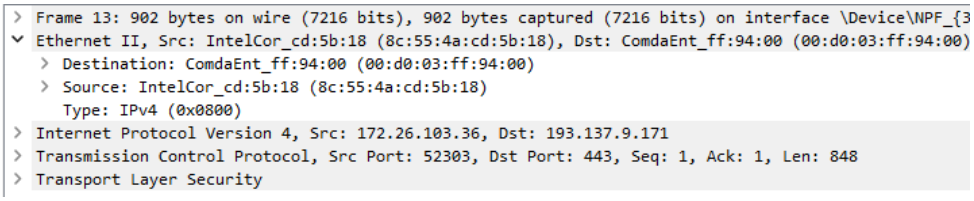


Figura 2.1: Tráfego de informação entre cliente e servido

2.1.2 Qual o valor hexadecimal do campo Type da trama Ethernet? O que significa?

R:O valor hexadecimal do campo Type da trama Ethernet é 0x0800, este indica que se trata de um pacote IPV4.

2.1.3 Quantos bytes são usados no encapsulamento protocolar, i.e. desde o início da trama até ao início dos dados do nível aplicacional (Application Data Protocol: http-over-tls, no caso de HTTPS)? Calcule e indique, em percentagem, a sobrecarga (overhead) introduzida pela pilha protocolar.

R: Relativamente à trama anterior, esta possui 902 bytes sendo, deste valor os cabeçalhos:

- **Ethernet** = 14 + 4 = 18 bytes
- **IP** = 20 bytes
- **TCP** = 20 bytes
- **TLS** = 5 bytes

com um **Payload** de 838 bytes calculamos que o overhead introduzido pela pilha protocular seja de 7,0% da totalidade de bytes.

2.1.4 Qual é o endereço Ethernet da fonte? A que sistema de rede corresponde? Justifique.

R: Tal como é possível ver na figura 1.2, o endereço Ethernet da fonte é **00:d0:03:ff:94:00** que corresponde ao endereço MAC do router (visto que esta trama corresponde respetivamente à resposta do servidor para o cliente).

2.1.5 Qual é o endereço MAC do destino? A que sistema (host) corresponde?

R: Na mesma imagem que verificamos na pergunta anterior (fig. 1.2) também conseguimos ver o endereço MAC, através do endereço Ethernet que lhe corresponde, sendo então este **8c:55:4a:cd:5b:18**.

2.1.6 Atendendo ao conceito de encapsulamento protocolar, identifique os vários protocolos contidos na trama recebida. Justifique, indicando em que campos dos cabeçalhos capturados se baseou

R: Continuando na análise da mesma figura das questões anteriores podemos ver que a trama possui os protocolos **Ethernet**, **IP**, **TCP** e **TLS**.
IP - É possível ver no campo ”type”do cabeçalho Ethernet.
TCP - Presente no campo ”protocol”no cabeçalho IP.
TLS - presente no campo ”version”do próprio cabeçalho TLS. (visto a figura 1.2 não conseguir demonstrar completamente os campos do protocolo TLS fica em baixo a print com os restantes campos que não estavam visíveis).

```
▼ TLSv1.2 Record Layer: Application Data Protocol: Hypertext Transfer Protocol
    Content Type: Application Data (23)
    Version: TLS 1.2 (0x0303)
    Length: 16408
    Encrypted Application Data: 42099e21969d9ace87adb639ca4bd2ba513d850b5c2556b5c30d2ea6592abc38945b624e…
    [Application Data Protocol: Hypertext Transfer Protocol]
```

Figura 2.2: Presença do protocolo TLS.

2.2 Questões sobre protocolo ARP

Seguindo o enunciado construímos a seguinte topologia da rede.

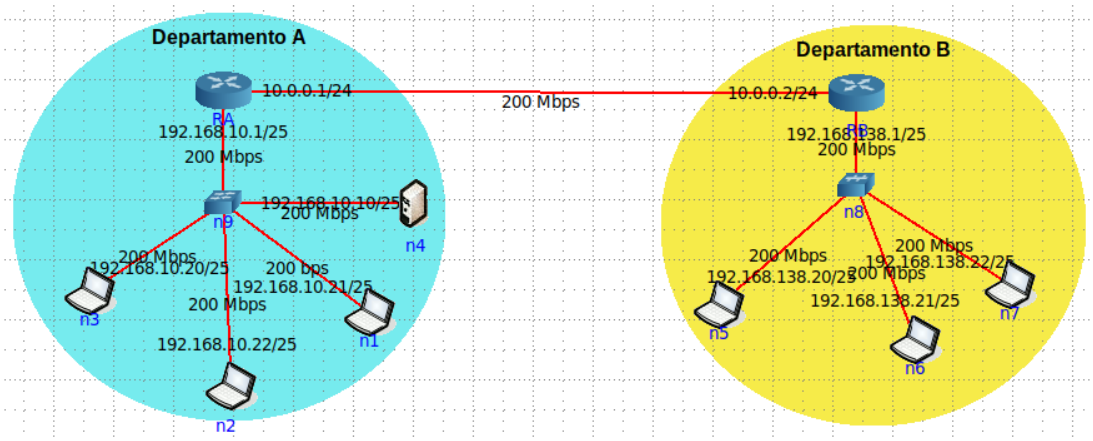


Figura 2.3: Topologia de rede

2.2.1 Com a ajuda do manual ARP (man arp), interprete o significado de cada uma das colunas da tabela.

R: Conseguimos ver, através da figura, que existe um IP que está associado a um endereço MAC. No caso, o tráfego que circula em **192.168.10.1** (isto é, tanto o tráfego que recebe, como o que envia) tem como origem/destino o endereço MAC **00:00:00:aa:00:00** e é recebido/enviado através de **eth0**. Assim, na nossa topologia, o tráfego que circula entre **n2** e **RA** fá-lo através da porta eth0.

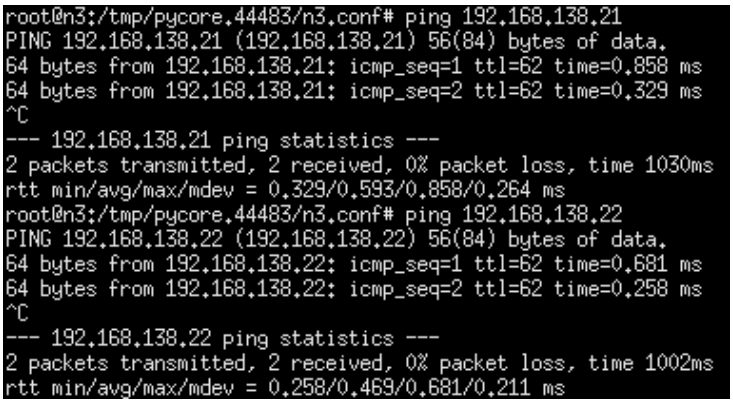


Figura 2.4: Pings feitos aos pcs n6 e n7 a partir de n2.

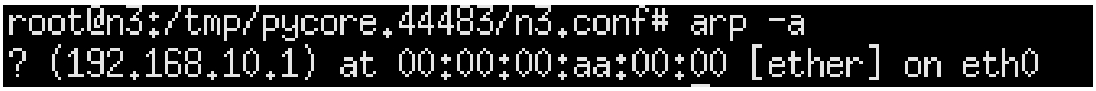


Figura 2.5: ARP request.

2.2.2 Indique, justificando, qual o equipamento da intranet em causa que poderá apresentar a maior tabela ARP em termos de número de entradas.

R: O equipamento da intranet em causa que poderá apresentar a maior tabela ARP em termos de número de entradas é o router RA, isto porque ele vai fazer a ligação da sua subrede (que é a maior) à subrede do departamento B, que adicionará um maior número de entradas à tabela arp.

2.2.3 Qual é o valor hexadecimal dos endereços MAC origem e destino? Como interpreta e justifica o endereço destino usado?

R: Os valores hexadecimais estão presentes na figura seguinte. sendo o endereço MAC origem **00:00:00:aa:00:04** e destino **00:00:00:00:00:00**. O endereço destino utilizado é o de broadcast porque nesse momento a tabela ainda não tem uma entrada, na tabela arp, para esse endereço. Deste modo envia para todas as portas de moodo a garantir uma resposta.

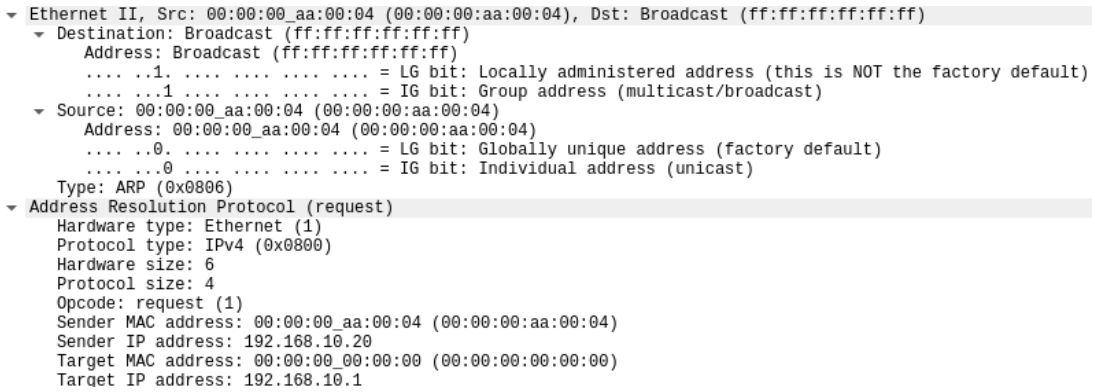


Figura 2.6: Trama do broadcast no wireshark.

2.2.4 Qual o valor hexadecimal do campo Tipo da trama Ethernet? O que indica?

R: O valor hexadecimal do campo tipo da trama é 0x0806, que nos indica que o encapsualemnto protocolar seguinte da trama é o protocolo ARP.

2.2.5 Observando a mensagem ARP, como pode saber que se trata efetivamente de um pedido ARP? Refira duas formas distintas de obter essa informação

R: É possível verificar que se trata de um pedido ARP dado o Opcode ser (request) 1 e o Target Mac address e IP address não serem nulos (neste caso são o broadcast).

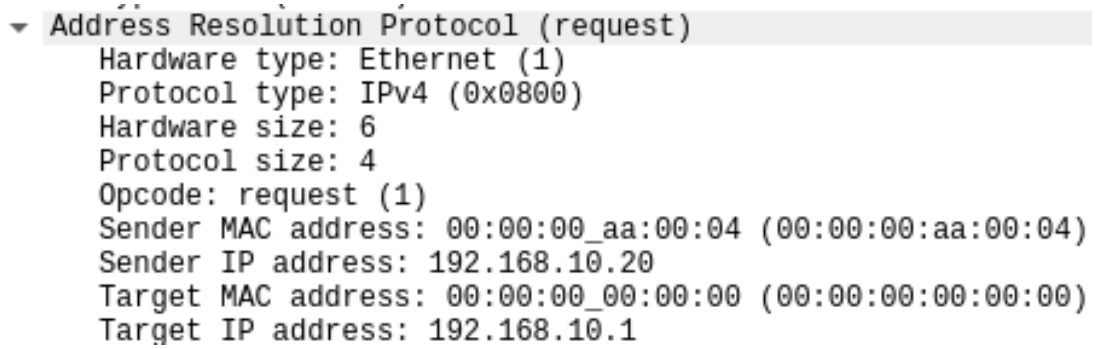


Figura 2.7: ARP protocol

2.2.6 Explicite, em linguagem comum, que tipo de pedido ou pergunta é feita pelo host de origem à rede?

R: O host manda um pedido aos vários dispositivos da rede para saber o endereço MAC do dispositvo que quer comunicar, o dispositivo com o endereço IP solicitado, responde com o seu endereço MAC.

2.2.7 Qual o valor do campo ARP opcode? O que especifica?

R: O valor do campo Opcode na mensagem ARP de resposta é 2 (reply).

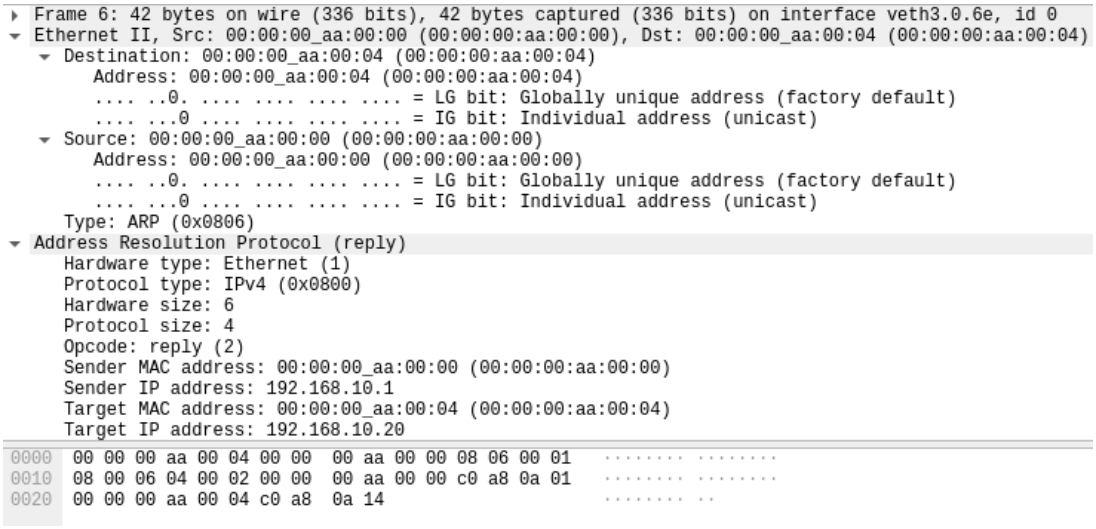


Figura 2.8: ARP reply

2.2.8 Em que posição da mensagem ARP está a resposta ao pedido ARP efetuado?

R: A resposta ao pedido ARP efetuado encontra-se no MAC address do remetente (sender), pois esta é enviada através do dispositivo que contém a respota do ARP request anterior.

2.2.9 Identifique a que sistemas correspondem os endereços MAC de origem e de destino da trama em causa, recorrendo aos comandos ifconfig, netstat -rn e arp executados no PC selecionado

R: Sendo o destino o pc n2 e a origem o router RA

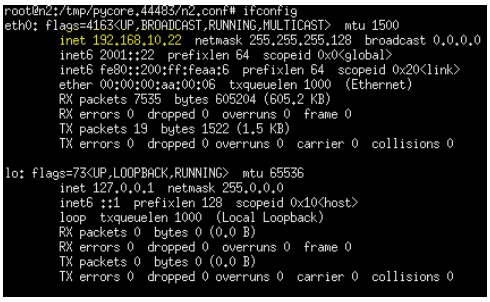


Figura 2.9: comando ifconfig sobre o pc n2.

Figura 2.10: netstat -rn sobre o pc n2.

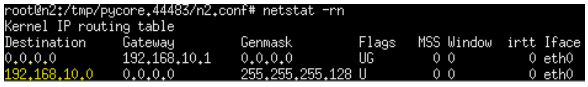


Figura 2.11: arp -a sobre o pc n2.

2.2.10 Justifique o modo de comunicação (unicast vs. broadcast) usado no envio da resposta ARP (ARP Reply).

R: No modo de comunicação unicast a mensagem é enviada diretamente para um dispositivo específico, diretamente, enquanto que no modo broadcast o dispositivo não é especificado e a mensagem é enviada para todas as portas do dispositivo. Neste caso o modo unicast é utilizado porque no caso do ARP reply toda a informação necessária (IP e MAC) sobre o destino já é conhecida.

2.2.11 Verifique se o ping feito ao segundo PC originou pacotes ARP. Justifique a situação observada.

R: O ping feito ao segundo PC não originou pacotes ARP, pois já foi criada a entrada na tabela ARP no primeiro ping.

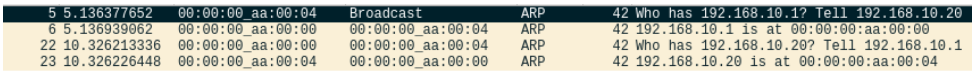


Figura 2.12: Print Wireshark.

2.2.12 Identifique na mensagem ARP os campos que permitem definir o tipo e o tamanho dos endereços das camadas de rede e de ligação lógica que se pretendem mapear. Justifique os valores apresentados nesses campos.

R: Os campos que permitem definir o tipo e o tamanho são:

- Hardware size:6
- Protocol size: 4

```
Frame 5: 42 bytes on wire (336 bits), 42 bytes captured (336 bits) on interface veth3.0.6e, id 0
Ethernet II, Src: 00:00:00_aa:00:04 (00:00:00:aa:00:04), Dst: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
Address Resolution Protocol (request)
    Hardware type: Ethernet (1)
    Protocol type: IPv4 (0x0800)
    Hardware size: 6
    Protocol size: 4
    Opcode: request (1)
    Sender MAC address: 00:00:00_aa:00:04 (00:00:00:aa:00:04)
    Sender IP address: 192.168.10.20
    Target MAC address: 00:00:00_00:00:00 (00:00:00:00:00:00)
    Target IP address: 192.168.10.1
```

Figura 2.13: Campos selecionados.

2.2.13 Na situação em que efetua um ping a um PC não local à sua sub-rede, esboce um diagrama em que indique claramente, e de forma cronológica, todas as mensagens ARP e ICMP trocadas, até à recepção da resposta ICMP do sistema destino (represente apenas os nós intervenientes). Assuma que todas as tabelas ARP se encontram inicialmente vazias.

R: Sendo n2 (192.168.10.22) representado pelo ”PC”mais à esquerda, n6 (192.168.138.21) pelo ”PC”mais à direita do esquema, RA (192.168.10.1) sendo o router A e RB (10.0.0.2) sendo o router B.

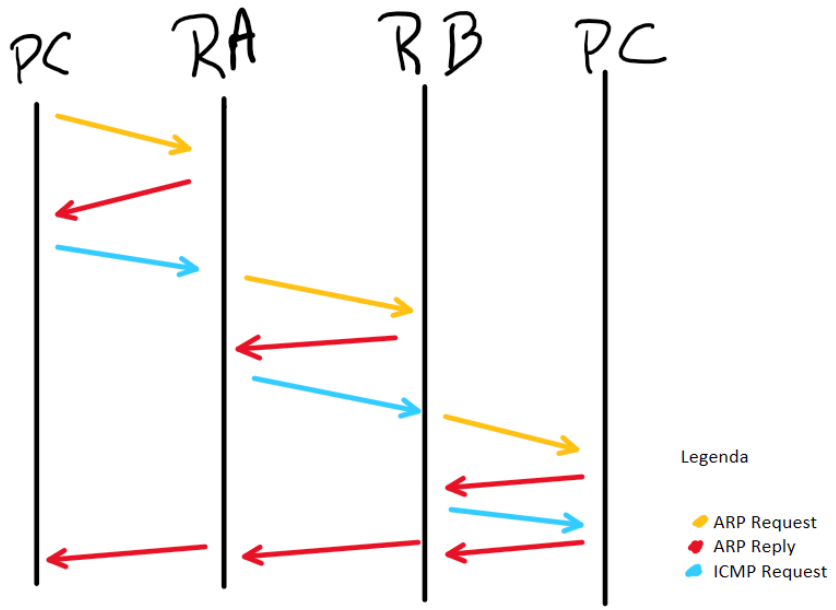


Figura 2.14: Esquema Cronológico

2.3 Questões sobre domínios de colisão.

2.3.1 Através da opção tcpdump, verifique e compare como flui o tráfego nas diversas interfaces dos vários dispositivos no departamento A (LAN comutada) e no departamento B (LAN partilhada) quando é gerado tráfego intra-departamento (por exemplo, através do comando ping). Que conclui? Comente os resultados obtidos quanto à utilização de hubs e switches no contexto de controlar ou dividir domínios de colisão. Documente as suas observações e conclusões com base no tráfego observado/capturado

R: Começamos por testar a LAN do Departamento A fazendo um ping de n2 para n3 com o TCPDump em n1. Tentamos verificar se n1 recebia algum do tráfego que fosse enviado a n3.

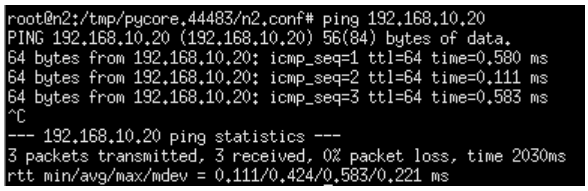


Figura 2.15: ping n2 para n3.

Figura 2.16: TCPDump em n1.

Como conseguimos ver , o router n1 não recebe qualquer pacote ICMP, o que significa que o switch (n9) não partilha o tráfego com os elementos da rede (LAN comutada). Apesar disso conseguimos ver que um pacote é recebido que é o ARP request (foi previamente emitido em modo Broadcast).

De seguida, tentamos fazer o mesmo para o Departamento B, isto é, fazer um ping de n6 para n5 com o TCPDump em n7. Novamente, tentamos verificar se n7 consegue capturar algum tráfego com destino a n5.

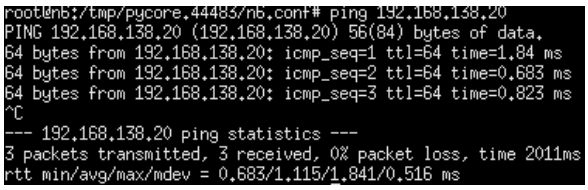


Figura 2.17: ping n6 para n5.

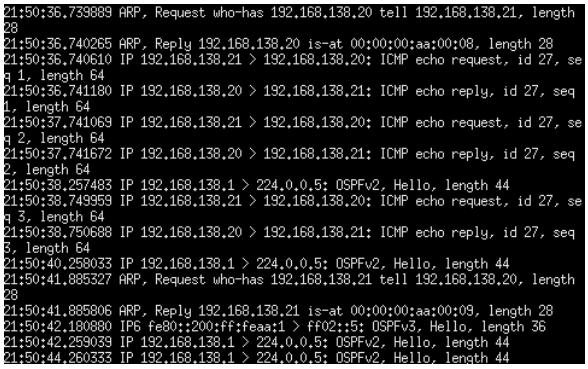


Figura 2.18: TCPDump em n7.

Neste caso conseguimos ver que o n7 recebe os pacotes ICMP reply/request o que significa que o hub(n8) partilha o tráfego com os elementos da rede (LAN partilhada).

Estas LAN's têm diferenças que são características do switch e hub (n9 e n8, respetivamente). O switch mantém uma tabela ARP com os endereços MAC que faz com que transmissão seja Unicast e o hub como não cria a tabela faz com que a transmissão seja feita em Broadcast.

2.3.2 Construa manualmente a tabela de comutação do switch do Departamento A, atribuindo números de porta à sua escolha.

R: Preenchendo manualmente a tabela de comutação do switch do Departamento A, obtivemos a seguinte tabela :

IP	MAC Address	Interface
192.168.10.1	00:00:00:aa:00:00	eth0
192.168.10.10	00:00:00:aa:00:07	eth1
192.168.10.21	00:00:00:aa:00:05	eth2
192.168.10.22	00:00:00:aa:00:06	eth3
192.168.10.20	00:00:00:aa:00:04	eth4

Figura 2.19: Tabela do switch A

Existem outros campos que fazem parte de uma tablea ARP, a nossa tabela apresenta apenas estes 3 porque foram os que consideramos mais relevantes para o problema porposto.

3 Conclusões

Através do estudo dos temas abordados neste trabalho como a análise do formato de um cabeçalho Ethernet, os endereços MAC, o protocolo ARP e os domínios de colisão conseguimos compreender como os dispositivos de rede comunicam uns com os outros e como a informação é transmitida de um ponto até ao outro.

Aprendemos que o cabeçalho Ethernet é composto por várias informações importantes, como endereços de origem e destino, tipo de protocolo e tamanho do pacote. O endereço MAC é uma identificação única atribuída a cada dispositivo de rede. O protocolo ARP é utilizado para fazer a correspondência entre endereços IP e endereços MAC, e os domínios de colisão podem afetar a eficiência da rede, especialmente em redes de grande dimensão.

Em conclusão, através do estudo e realização deste trabalho conseguimos perceber mais sobre o funcionamento das camadas protocolares da pilha (protocolar).