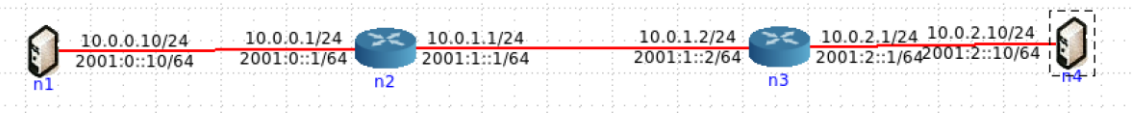
TP4 – Protocolo IPv4

Questões e Respostas

Parte I

1. **Prepare uma topologia CORE para verificar o comportamento do *traceroute*. Ligue um *host* n1 a um router n2; o router n2 a um router n3 que, por sua vez, se liga a um *host* n4 (note que pode não existir conectividade IP imediata entre n1 e n4 até que o *routing* estabilize).**



   a) **Active o *wireshark* ou o *tcpdump* no *host* n4. Numa *shell* de n4, execute o comando *traceroute* -I para o endereço IP do *host* n1.**

```
root@n4:/tmp/pycore.49383/n4.conf# traceroute -I 10.0.0.10
traceroute to 10.0.0.10 (10.0.0.10), 30 hops max, 60 byte packets
 1  10.0.2.1 (10.0.2.1)  0.082 ms  0.015 ms  0.012 ms
 2  10.0.1.1 (10.0.1.1)  0.033 ms  0.021 ms  0.022 ms
 3  10.0.0.10 (10.0.0.10)  0.053 ms  0.031 ms  0.030 ms
root@n4:/tmp/pycore.49383/n4.conf#
```

   b) **Registe e analise o tráfego ICMP enviado por n4 e o tráfego ICMP recebido como resposta. Comente os resultados face ao comportamento esperado.**

   Primeiramente, n4 envia três datagramas (correspondentes a um *echo request*) com o campo TTL (*Time To Live*) igual a 1.

```
    10.0.2.10 > 10.0.0.10: ICMP echo request, id 50, seq 1, length 40
06:40:13.630838 IP (tos 0x0, ttl 1, id 23012, offset 0, flags [none], proto ICMP
 (1), length 60)
```

   Como o número de saltos é inferior ao mínimo necessário para chegar de n4 a n1, é recebida uma mensagem de controlo ICMP (*Internet Control Message Protocol*) informando da falha no envio (i.e. *time exceeded in-transit*), procedente de n3. É de notar, no entanto, que apesar da mensagem ICMP fazer referência a um tempo excedido, na verdade, o que aconteceu foi que o datagrama utilizou todos os saltos possíveis (definidos pelo TTL), sendo que a falha no envio não se deve a nenhuma razão temporal.

```
    10.0.2.1 > 10.0.2.10: ICMP time exceeded in-transit, length 68
        IP (tos 0x0, ttl 1, id 23012, offset 0, flags [none], proto ICMP (1), le
ngth 60)
```

De seguida, são enviados mais três datagramas com o campo TTL igual a 2, ocorrendo o mesmo (sendo que a mensagem ICMP, *time exceeded in-transit*, é enviada por n2 e não por n3).

```
    10.0.2.10 > 10.0.0.10: ICMP echo request, id 50, seq 3, length 40
06:40:13.630872 IP (tos 0x0, ttl 2, id 23014, offset 0, flags [none], proto ICMP
 (1), length 60)
```

```
    10.0.1.1 > 10.0.2.10: ICMP time exceeded in-transit, length 68
        IP (tos 0x0, ttl 1, id 23014, offset 0, flags [none], proto ICMP (1), le
ngth 60)
```

Por último, são enviados outros três datagramas mas agora com o TTL igual a 3 pelo que, como já se atingiu número mínimo de saltos para chegar de n4 a n1, é recebida a resposta ao *echo request* (i.e. um *echo reply*) procedente de n1.

```
    10.0.2.10 > 10.0.0.10: ICMP echo request, id 50, seq 6, length 40
06:40:13.630959 IP (tos 0x0, ttl 3, id 23017, offset 0, flags [none], proto ICMP
 (1), length 60)
```

```
    10.0.0.10 > 10.0.2.10: ICMP echo reply, id 50, seq 7, length 40
06:40:13.631017 IP (tos 0x0, ttl 3, id 23018, offset 0, flags [none], proto ICMP
 (1), length 60)
```

c) Qual deve ser o valor inicial mínimo do campo TTL para alcançar o destino n1? Verifique na prática que a sua resposta está correta.

```
    10.0.0.10 > 10.0.2.10: ICMP echo reply, id 50, seq 7, length 40
06:40:13.631017 IP (tos 0x0, ttl 3, id 23018, offset 0, flags [none], proto ICMP
```

O valor inicial mínimo do campo TTL para alcançar o destino n1 deve ser 3 (de n4 para n3 (1), de n3 para n2 (2) e de n2 para n1 (3)).

Na prática, é isso que acontece: verifica-se que para os datagramas enviados por n4 com o TTL igual a 3, é enviado (por n1) a resposta ao *echo request* (i.e. um *echo reply*).

d) Qual o valor médio do tempo de ida-e-volta (*Round-Trip Time*) obtido?

```
root@n4:/tmp/pycore.49388/n4.conf# traceroute -I 10.0.0.10
traceroute to 10.0.0.10 (10.0.0.10), 30 hops max, 60 byte packets
 1  10.0.2.1 (10.0.2.1)  0.122 ms  0.015 ms  0.012 ms
 2  10.0.1.1 (10.0.1.1)  0.030 ms  0.023 ms  0.032 ms
 3  10.0.0.10 (10.0.0.10)  0.044 ms  0.033 ms  0.038 ms
root@n4:/tmp/pycore.49388/n4.conf#
```

Para se calcular o *Round-Trip Time*, basta calcular a média dos valores obtidos para cada uma das três tramas enviadas:

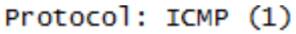
- TTL 1 (n3) : $\frac{0.122+0.015+0.012}{3}$ = 0.050 ms
- TTL 2 (n2) : $\frac{0.030+0.023+0.032}{3}$ = 0.028 ms
- TLL 3 (n1) : $\frac{0.044+0.033+0.038}{3}$ = 0.038 ms

2. **Pretende-se agora usar o *traceroute* na sua máquina nativa, e gerar de datagramas IP de diferentes tamanhos.**

   a) **Qual é o endereço IP da interface ativa do seu computador?**

   O endereço IP da interface ativa do nosso computador é 192.168.100.200.

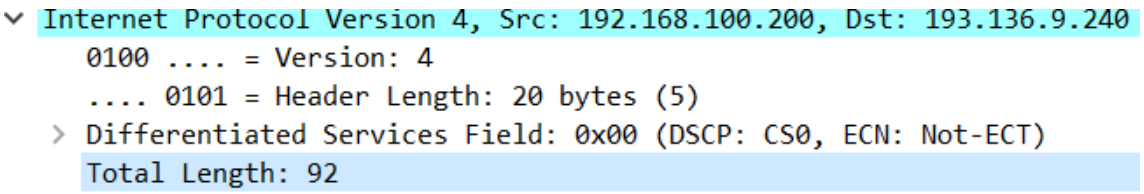
   b) **Qual é o valor do campo protocolo? O que identifica?**



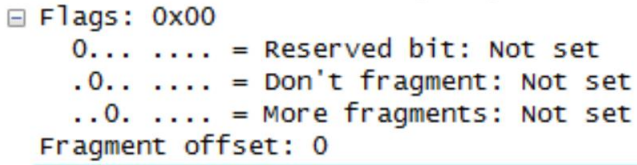
   O valor do campo protocolo é ICMP (1). Identifica o *Internet Control Message Protocol*.

   c) **Quantos *bytes* tem o cabeçalho IP(v4)? Quantos bytes tem o campo de dados (*payload*) do datagrama? Como se calcula o tamanho do *payload*?**

   O cabeçalho IPv4 tem 20 bytes. O campo de dados (*payload*) do datagrama tem 72 bytes. Como o tamanho do datagrama a nível do IPv4 é igual a 92 bytes e sabemos que o tamanho do cabeçalho é 20 bytes, o *payload* é dado pela subtração destes dois valores.



   d) **O datagrama IP foi fragmentado? Justifique.**



   O datagrama não foi fragmentado visto que o campo *More fragments* está a 0 e o *Fragment offset* também está a 0. Ou seja, como o payload nesta trama começa na posição 0 (do datagrama original) – segundo o *Fragment offset* – e como não se esperam mais fragmentos desse datagrama original – segundo

o *More fragments* – pode-se concluir que esta trama transporta o datagrama original na totalidade.

e) Ordene os pacotes capturados de acordo com o endereço IP fonte (e.g., selecionando o cabeçalho da coluna *Source*), e analise a sequência de tráfego ICMP gerado a partir do endereço IP atribuído à sua máquina. Para a sequência de mensagens ICMP enviadas pelo seu computador, indique que campos do cabeçalho IP variam de pacote para pacote.

```
Identification: 0x17ff (6143)
> Flags: 0x00
Fragment offset: 0
> Time to live: 1
Protocol: ICMP (1)
Header checksum: 0xb0b9 [validation disabled]
```

```
Identification: 0x1800 (6144)
> Flags: 0x00
Fragment offset: 0
> Time to live: 1
Protocol: ICMP (1)
Header checksum: 0xb0b8 [validation disabled]
```

```
Identification: 0x1801 (6145)
> Flags: 0x00
Fragment offset: 0
> Time to live: 1
Protocol: ICMP (1)
Header checksum: 0xb0b7 [validation disabled]
```

Segundo o *Wireshark*, os campos que variam são: a identificação (*Identification*), o TTL e o *header checksum*.

f) Observa algum padrão nos valores do campo de Identificação do datagrama IP e TTL?

Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
9 1.626567	192.168.100.200	193.136.9.240	ICMP	106	Echo (ping) request id=0x0001, seq=16/4096, ttl=1 (no response found!)
11 1.628567	192.168.100.200	193.136.9.240	ICMP	106	Echo (ping) request id=0x0001, seq=17/4352, ttl=1 (no response found!)
13 1.631364	192.168.100.200	193.136.9.240	ICMP	106	Echo (ping) request id=0x0001, seq=18/4608, ttl=1 (no response found!)
17 2.636607	192.168.100.200	193.136.9.240	ICMP	106	Echo (ping) request id=0x0001, seq=19/4864, ttl=2 (no response found!)
19 2.641584	192.168.100.200	193.136.9.240	ICMP	106	Echo (ping) request id=0x0001, seq=20/5120, ttl=2 (no response found!)
21 2.646230	192.168.100.200	193.136.9.240	ICMP	106	Echo (ping) request id=0x0001, seq=21/5376, ttl=2 (no response found!)
33 3.651610	192.168.100.200	193.136.9.240	ICMP	106	Echo (ping) request id=0x0001, seq=22/5632, ttl=3 (reply in 34)
35 3.656273	192.168.100.200	193.136.9.240	ICMP	106	Echo (ping) request id=0x0001, seq=23/5888, ttl=3 (reply in 36)
37 3.660847	192.168.100.200	193.136.9.240	ICMP	106	Echo (ping) request id=0x0001, seq=24/6144, ttl=3 (reply in 38)
10 1.627992	192.168.100.254	192.168.100.200	ICMP	134	Time-to-live exceeded (Time to live exceeded in transit)
12 1.629861	192.168.100.254	192.168.100.200	ICMP	134	Time-to-live exceeded (Time to live exceeded in transit)
14 1.632427	192.168.100.254	192.168.100.200	ICMP	134	Time-to-live exceeded (Time to live exceeded in transit)
18 2.638850	193.136.19.254	192.168.100.200	ICMP	70	Time-to-live exceeded (Time to live exceeded in transit)
20 2.643565	193.136.19.254	192.168.100.200	ICMP	70	Time-to-live exceeded (Time to live exceeded in transit)
22 2.647919	193.136.19.254	192.168.100.200	ICMP	70	Time-to-live exceeded (Time to live exceeded in transit)
34 3.653598	193.136.9.240	192.168.100.200	ICMP	106	Echo (ping) reply id=0x0001, seq=22/5632, ttl=62 (request in 33)
36 3.658213	193.136.9.240	192.168.100.200	ICMP	106	Echo (ping) reply id=0x0001, seq=23/5888, ttl=62 (request in 35)
38 3.662745	193.136.9.240	192.168.100.200	ICMP	106	Echo (ping) reply id=0x0001, seq=24/6144, ttl=62 (request in 37)

São enviadas três tramas com TTL igual a 1, três com TTL igual a 2 e outras três com TTL igual a 3.

Só as últimas três tramas chegam ao destino (33, 35 e 37). Todas as outras deram origem a respostas ICMP do tipo "*Time to live exceeded*" (saltos insuficientes para atingir o destino).

A campo da identificação (*Identification*) é sempre incrementado em uma unidade para as tramas enviadas para o mesmo destino.

g) Ordene o tráfego capturado por endereço destino e encontre a série de respostas ICMP TTL *exceeded* enviadas ao seu computador. Qual é o valor do campo TTL? Esse valor permanece constante para todas as mensagens de resposta ICMP TTL *exceeded* enviados ao seu *host*? Porquê?

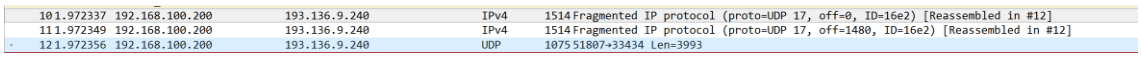
Para os *Echo Requests* relativos às tramas com TTL igual a 1, o valor do campo TTL das mensagens de resposta ICMP TTL *exceeded* é igual a 64.

Para os *Echo Requests* relativos às tramas com TTL igual a 2, o valor do campo TTL das mensagens de resposta ICMP TTL *exceeded* é igual a 254.

O valor do campo TTL não permanece constante para todas as mensagens devido ao facto de que nenhum *router*, ao receber uma trama com TTL igual a 0, sabe quantos saltos foram dados para trás e, por isso, envia um valor por defeito (que pode ser diferente para cada *router*) nas respostas ICMP TTL *exceeded*. Caso o valor do TTL não seja suficiente para alcançar o destino (i.e. a origem do datagrama), é enviada uma nova resposta ICMP com um TTL maior, repetindo-se este processo até ser obtida uma confirmação de receção.

3. Pretende-se agora analisar a fragmentação de pacotes IP. Reponha a ordem do tráfego capturado usando a coluna do tempo de captura. Observe o tráfego depois do tamanho de pacote ter sido definido para 40XX bytes.

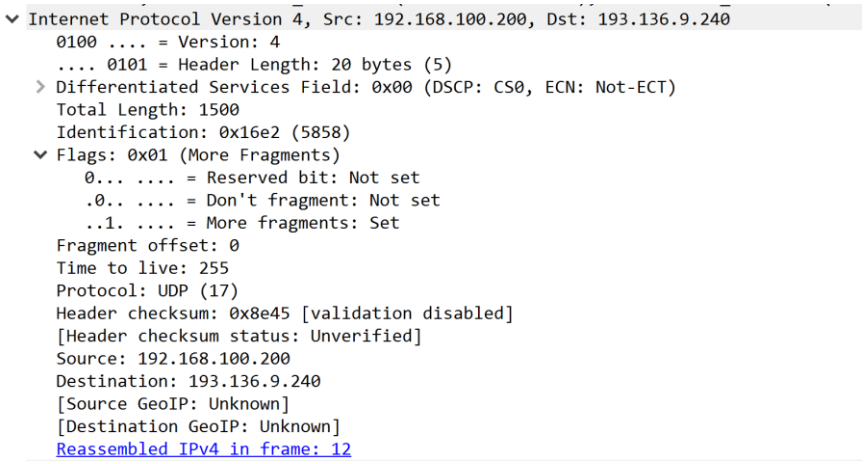
a) Localize a primeira mensagem ICMP. Porque é que houve necessidade de fragmentar o pacote inicial?



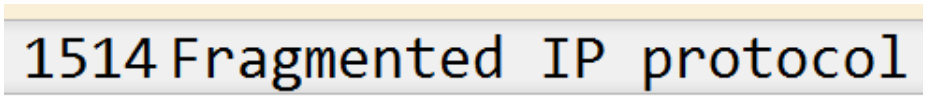
10	1.972337	192.168.100.200	193.136.9.240	IPv4	1514	Fragmented IP protocol (proto=UDP 17, off=0, ID=16e2) [Reassembled in #12]
11	1.972349	192.168.100.200	193.136.9.240	IPv4	1514	Fragmented IP protocol (proto=UDP 17, off=1480, ID=16e2) [Reassembled in #12]
12	1.972356	192.168.100.200	193.136.9.240	UDP	1075	51807→33434 Len=3993

Houve necessidade de fragmentar o pacote inicial porque o protocolo IP só suporta pacotes até 1500 bytes. Como o tamanho foi definido para 4021 bytes, houve necessidade de fragmentar o pacote inicial em três mais pequenos.

b) Imprima o primeiro fragmento do datagrama IP segmentado. Que informação no cabeçalho indica que o datagrama foi fragmentado? Que informação no cabeçalho IP indica que se trata do primeiro fragmento? Qual é o tamanho deste datagrama IP?

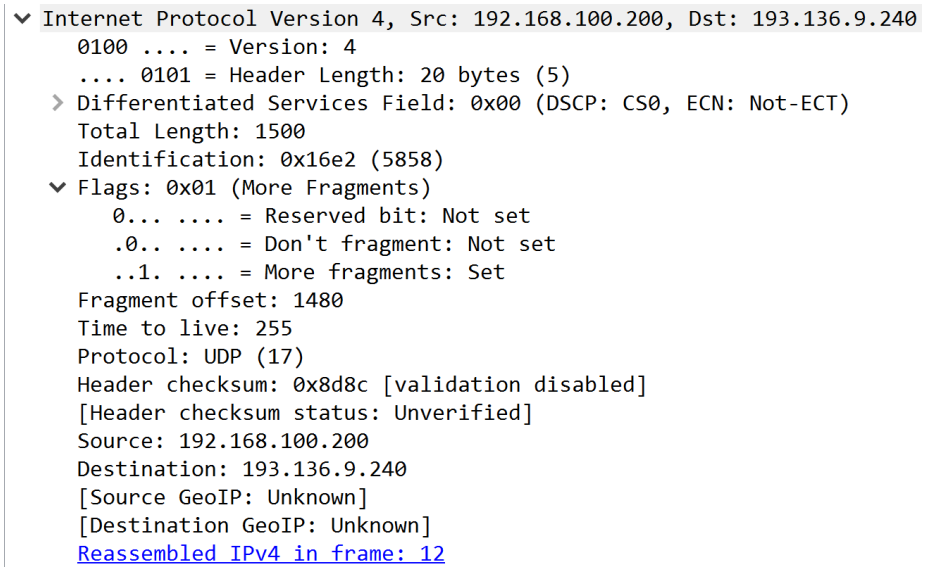


A informação do cabeçalho que indica que o datagrama foi fragmentada é a *flag More fragments*. Verifica-se que se trata do primeiro fragmento devido ao campo do *fragment offset* estar a zero.



O tamanho do datagrama IP é de 1514 bytes.

c) Imprima o segundo fragmento do datagrama IP original. Que informação do cabeçalho IP indica que não se trata do 1º fragmento? Há mais fragmentos? O que nos permite afirmar isso?

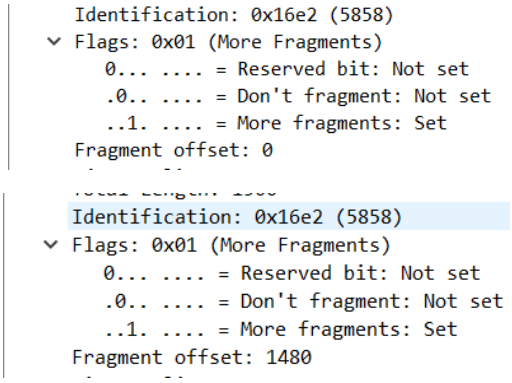


Podemos verificar que não se trata do primeiro fragmento devido ao campo do *fragment offset* que está a 1480. Ou seja, ainda existem mais fragmentos. Podemos confirmar tal informação a partir do valor da *flag* relativa à existência de mais fragmentos ("*More fragments"*) que está a 1.

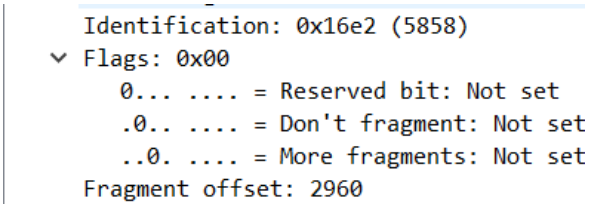
É importante notar que podemos verificar que se tratam de fragmentos correspondentes ao mesmo datagrama original a partir do campo de identificação (*Identification*).

d) Quantos fragmentos foram criados a partir do datagrama original? Como se deteta o último fragmento correspondente ao datagrama original?

Foram criados três fragmentos a partir do datagrama original. Em primeiro lugar, deteta-se um fragmento correspondente ao datagrama original através do valor hexa do identificador (*Identification* – que se mantém constante para todos os fragmentos do datagrama original).



Assim, para detetar o último fragmento correspondente ao datagrama original, primeiro confirma-se o campo *Identification* e, de seguida, verifica-se que se trata mesmo do último fragmento através da *flag* relativa à existência de mais fragmentos (*More fragments*) que se deve encontrar a 0.



e) Indique, resumindo, os campos que mudam no cabeçalho IP entre os diferentes fragmentos, e explique a forma como essa informação permite reconstruir o datagrama original.

Como se pode verificar nas imagens anteriores (que são relativas ao mesmo datagrama original), os únicos campos que mudam são: *More fragments* e *Fragment offset*. Sabemos que fazem todos parte do mesmo datagrama original porque o campo *Identification* é igual para os três.

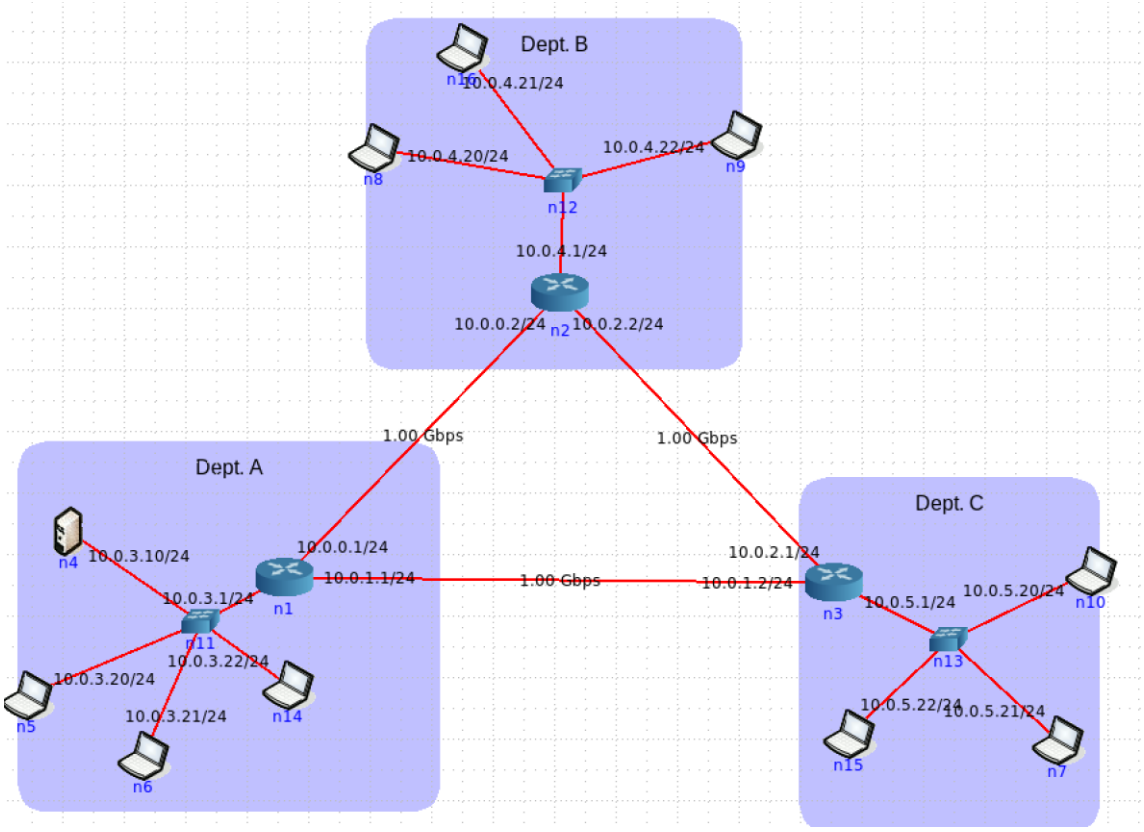
Através do *Fragment offset* sabemos em que posição do datagrama original a informação desta trama começa. Com a *flag More fragments* conseguimos saber se existem mais fragmentos desse datagrama para chegar. Saberemos que estamos no último fragmento quando a *Identification* for igual às restantes (imagem anterior) e *More fragments* for igual a 0. Com estas informações conseguimos reconstruir o datagrama original a partir dos vários fragmentos.

Parte II

2 – Endereçamento e Encaminhamento IP

1. **Atenda aos endereços IP atribuídos automaticamente pelo CORE aos diversos equipamentos da topologia.**

   a) **Indique que endereços IP e máscaras de rede foram atribuídos pelo CORE a cada equipamento. Se preferir, pode incluir uma imagem que ilustre de forma clara a topologia e o endereçamento.**



   b) **Tratam-se de endereços públicos ou privados? Porquê?**

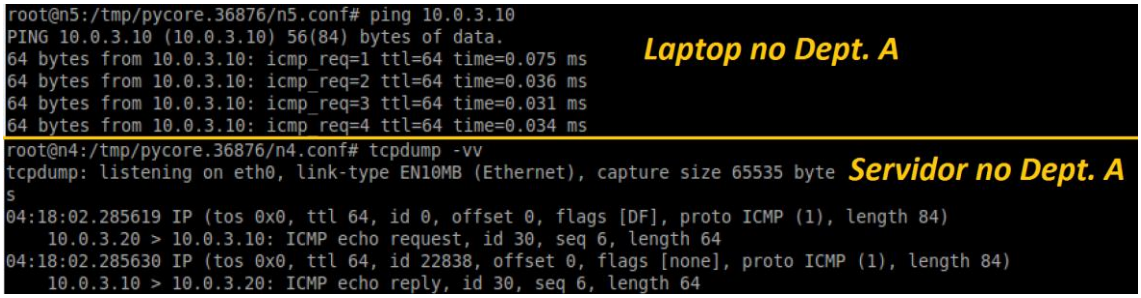
   Tratam-se de endereços privados pois correspondem a endereços IP da classe A (entre 10.0.0.0 e 10.255.255.255). São também designados de *unique local access* (ULA), sendo endereços reservados à rede local dos departamentos do MIEInet, não sendo possível aceder-lhes diretamente através da rede internet global.

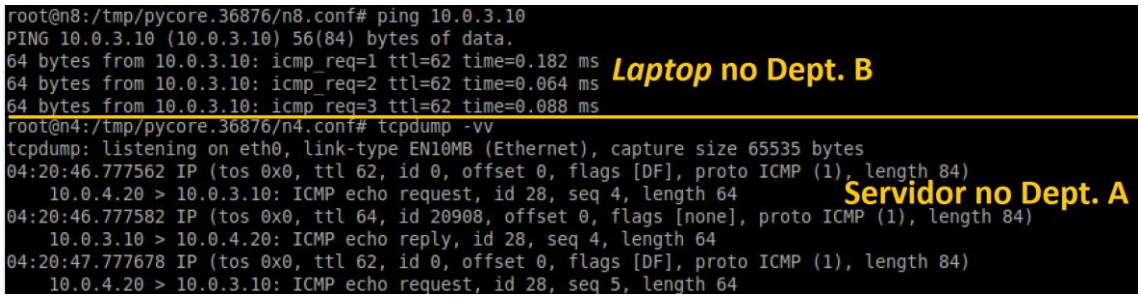
   c) **Porque razão não é atribuído um endereço IP aos *switches*?**

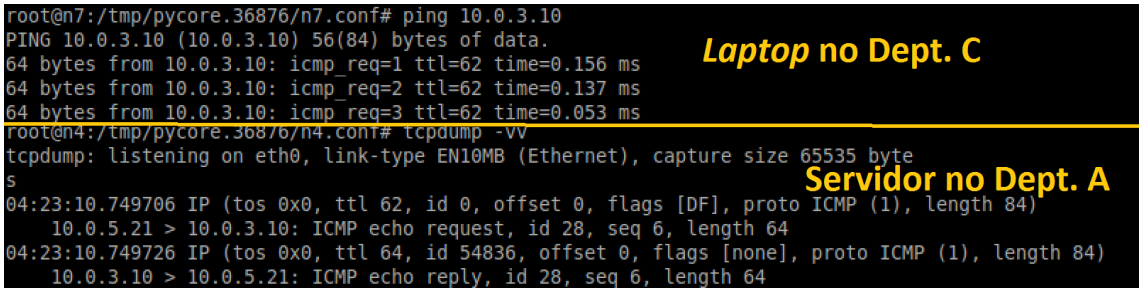
   Não é atribuído um endereço IP aos *switches* pois estes são apenas dispositivos de ligação da rede (e não um *host*), que atua ao nível da Ethernet, enviando tramas deste tipo e encaminhando o tráfego da rede.

d) Usando o comando *ping* certifique-se que existe conectividade IP entre os laptops dos utilizadores e o servidor do departamento A (basta certificar a conectividade de um laptop por departamento).

Para testar a conectividade, enviámos múltiplos *pings* de um portátil de cada departamento (n5 em A, n8 em B e n7 em C) para o servidor presente no departamento A (n4).







2. Para o router e um laptop do departamento A:

a) Execute o comando *netstat -rn* por forma a poder consultar a tabela de encaminhamento *unicast* (IPv4). Inclua no seu relatório as tabelas de encaminhamento obtidas; interprete as várias entradas de cada tabela. Se necessário, consulte o manual respetivo (*man netstat*).

Para o router n1:

Cada uma das entradas da tabela diz-nos que para enviar um datagrama destinado a *Destination*, este tem de ser entregue a *Gateway* e sair pela interface *Iface*. Mais concretamente:

- A primeira linha diz-nos que para enviar um datagrama com destino 10.0.0.0, este tem de ser entregue a 0.0.0.0 e sair pela interface eth0.
- A segunda linha diz-nos que para enviar um datagrama com destino 10.0.1.0, este tem de ser entregue a 0.0.0.0 e sair pela interface eth1.
- A terceira linha diz-nos que para enviar um datagrama com destino 10.0.2.0, este tem de ser entregue a 10.0.0.2 e sair pela interface eth0.
- A quarta linha diz-nos que para enviar um datagrama com destino 10.0.3.0, este tem de ser entregue a 0.0.0.0 e sair pela interface eth2.
- A quinta linha diz-nos que para enviar um datagrama com destino 10.0.4.0, este tem de ser entregue a 0.0.0.2 e sair pela interface eth0.
- A sexta linha diz-nos que para enviar um datagrama com destino 10.0.5.0, este tem de ser entregue a 10.0.1.2 e sair pela interface eth1.

```
root@n1:/tmp/pycore.36876/n1.conf# netstat -rn
Kernel IP routing table
Destination     Gateway         Genmask         Flags   MSS Window  irtt Iface
10.0.0.0        0.0.0.0         255.255.255.0   U         0 0          0 eth0
10.0.1.0        0.0.0.0         255.255.255.0   U         0 0          0 eth1
10.0.2.0        10.0.0.2        255.255.255.0   UG        0 0          0 eth0
10.0.3.0        0.0.0.0         255.255.255.0   U         0 0          0 eth2
10.0.4.0        10.0.0.2        255.255.255.0   UG        0 0          0 eth0
10.0.5.0        10.0.1.2        255.255.255.0   UG        0 0          0 eth1
root@n1:/tmp/pycore.36876/n1.conf#
```

Para o laptop n5:

- A primeira linha diz-nos que para enviar um datagrama com destino 0.0.0.0 (*default*), este tem de ser entregue a 10.0.3.1 e sair pela interface eth0.
- A segunda linha diz-nos que para enviar um datagrama com destino 10.0.3.0, este tem de ser entregue a 0.0.0.0 e sair pela interface eth0.

```
root@n5:/tmp/pycore.36876/n5.conf# netstat -rn
Kernel IP routing table
Destination     Gateway         Genmask         Flags   MSS Window  irtt Iface
0.0.0.0         10.0.3.1        0.0.0.0         UG        0 0          0 eth0
10.0.3.0        0.0.0.0         255.255.255.0   U         0 0          0 eth0
root@n5:/tmp/pycore.36876/n5.conf#
```

Quando o *gateway* é 0.0.0.0, isto indica-nos que o destino já está ligado, diretamente, ao próprio dispositivo de origem (*router/laptop*). No contexto do problema, isto acontece quando o *router* n1 comunica com n2, n3, n4 e, através do *switch* n11, com n5, n6 e n14 ou quando o laptop n5 comunica com n1, n6 e n14.

Quando a *destination* é 0.0.0.0, estamos perante um caminho por defeito (ou *default*) – como, por exemplo, na segunda entrada da tabela de

encaminhamento de n5 – indica-nos quando é necessário enviar um datagrama cujo IP de destino não esteja na subrede 10.0.4.0 (a única outra entrada da tabela), deverá ser enviado, por defeito, através do dispositivo correspondente ao *gateway* 10.0.4.1 (*router* n1), que se encarregará de encaminhar o datagrama ao destino.

Na terceira coluna destas tabelas de encaminhamento podemos ainda verificar a presença das *flags* U e G que fazem referência, respetivamente, à validade de um caminho (a *source* e a *destination* estão, de facto, conectadas – diretamente ou não) *e* ao facto do encaminhamento passar por um *gateway* intermédio. Quando a flag G não aparece nalguma entrada, podemos dizer que o dispositivo de destino se encontra ligado diretamente ao de origem.

b) Diga, justificando, se está a ser usado encaminhamento estático ou dinâmico (sugestão: analise que processos estão a correr em cada sistema).

Na lista de processos no *router* n1:

```
root@n1:/tmp/pycore.57811/n1.conf# ps ax
  PID TTY      STAT   TIME COMMAND
    1 ?        S      0:00 /usr/sbin/vnoded -v -c /tmp/pycore.57811/n1 -l /tmp/p
   76 ?        Ss     0:00 /usr/lib/quagga/zebra -u root -g root -d
   79 ?        Ss     0:00 /usr/lib/quagga/ospfd -u root -g root -d
   81 ?        Ss     0:00 /usr/lib/quagga/ospf6d -u root -g root -d
   97 pts/11   Ss     0:00 /bin/bash
  107 pts/11   R+     0:00 ps ax
root@n1:/tmp/pycore.57811/n1.conf#
```

verificamos que o *daemon quagga* está a correr. Isto significa que temos encaminhamento dinâmico.
Contrariamente, no *laptop* n5, verifica-se que este *daemon* não está a correr:

```
root@n5:/tmp/pycore.57811/n5.conf# ps ax
  PID TTY      STAT   TIME COMMAND
    1 ?        S      0:00 /usr/sbin/vnoded -v -c /tmp/pycore.57811/n5 -l /tmp/p
   18 pts/9    Ss     0:00 /bin/bash
   28 pts/9    R+     0:00 ps ax
root@n5:/tmp/pycore.57811/n5.conf#
```

Ou seja, temos no *laptop* encaminhamento estático.

Podemos então concluir que ocorrem processos de *routing* dinâmico no *core* da rede (i.e. nos três *routers* do sistema) e não nas suas subredes dos departamentos.

c) Admita que, por questões administrativas, a rota por defeito (0.0.0.0 ou *default*) deve ser retirada definitivamente da tabela de encaminhamento do servidor localizado no departamento A. Use o comando *route delete* para o efeito. Que implicações tem esta medida para os utilizadores da empresa que acedem ao servidor. Justifique.

```
root@n4:/tmp/pycore.36876/n4.conf# route delete default
root@n4:/tmp/pycore.36876/n4.conf# netstat -rn
Kernel IP routing table
Destination     Gateway         Genmask         Flags   MSS Window  irtt Iface
10.0.3.0        0.0.0.0         255.255.255.0   U         0 0          0 eth0
root@n4:/tmp/pycore.36876/n4.conf#
```

Ao utilizar o comando *route delete default* no servidor n4, a *route* por *default* (0.0.0.0) foi eliminada como podemos ver no *netstat -rn* anteriormente executado. As implicações que esta medida irá ter para os utilizadores é a impossibilidade de o servidor conseguir encaminhar datagramas cujo IP destino não seja pertencente à subrede 10.0.3.0. Como podemos ver nas imagens, é impossível fazer *ping* desde o servidor até máquinas nas subredes dos departamentos B e C.

```
root@n4:/tmp/pycore.36876/n4.conf# ping 10.0.4.20
connect: Network is unreachable
```
Dept. B

```
root@n4:/tmp/pycore.36876/n4.conf# ping 10.0.5.21
connect: Network is unreachable
root@n4:/tmp/pycore.36876/n4.conf#
```
Dept. C

d) Adicione as rotas estáticas necessárias para restaurar a conectividade para o servidor, por forma a contornar a restrição imposta em c). Utilize para o efeito o comando *route add* e registe os comandos que usou.

Tentámos executar os comandos:

- route add -net 10.0.4.0 netmask 255.255.255.0 gw 10.0.3.1 (Subrede Departamento B)
- route add -net 10.0.5.0 netmask 255.255.255.0 gw 10.0.3.1 (Subrede Departamento C)

```
root@n4:/tmp/pycore.36876/n4.conf# route add -net 10.0.4.0 netmask 255.255.255.0 gw 10.0.3.1
root@n4:/tmp/pycore.36876/n4.conf# route add -net 10.0.5.0 netmask 255.255.255.0 gw 10.0.3.1
```
Subrede Dept. B
Subrede Dept. C

e) Teste a nova política de encaminhamento garantindo que o servidor está novamente acessível, utilizando para o efeito o comando *ping*. Registe a nova tabela de encaminhamento do servidor.

Como se pode verificar na imagem seguinte, as Subredes B e C já se encontram na tabela de encaminhamento do servidor.

```
root@n4:/tmp/pycore.36876/n4.conf# netstat -rn
Kernel IP routing table
Destination     Gateway         Genmask         Flags   MSS Window  irtt Iface
10.0.3.0        0.0.0.0         255.255.255.0   U         0 0          0 eth0
10.0.4.0        10.0.3.1        255.255.255.0   UG        0 0          0 eth0
10.0.5.0        10.0.3.1        255.255.255.0   UG        0 0          0 eth0
root@n4:/tmp/pycore.33979/n4.conf#
```

Verifica-se que há acessibilidade do servidor a essas Subredes visto ser possível efetuar um *ping* a cada uma delas.

```
root@n4:/tmp/pycore.36876/n4.conf# ping 10.0.4.20
PING 10.0.4.20 (10.0.4.20) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.4.20: icmp_req=1 ttl=62 time=0.068 ms
64 bytes from 10.0.4.20: icmp_req=2 ttl=62 time=0.088 ms
64 bytes from 10.0.4.20: icmp_req=3 ttl=62 time=0.087 ms
^C
--- 10.0.4.20 ping statistics ---
3 packets transmitted, 3 received, 0% packet loss, time 1998ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.068/0.081/0.088/0.009 ms
```

***Laptop* n8 no Dept. B**

```
root@n4:/tmp/pycore.36876/n4.conf# ping 10.0.5.21
PING 10.0.5.21 (10.0.5.21) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.5.21: icmp_req=1 ttl=62 time=0.080 ms
64 bytes from 10.0.5.21: icmp_req=2 ttl=62 time=0.076 ms
64 bytes from 10.0.5.21: icmp_req=3 ttl=62 time=0.060 ms
^C
--- 10.0.5.21 ping statistics ---
3 packets transmitted, 3 received, 0% packet loss, time 1999ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.060/0.072/0.080/0.008 ms
root@n4:/tmp/pycore.36876/n4.conf#
```

***Laptop* n7 no Dept. C**

3 – Definição de Subredes

Considere a topologia definida anteriormente. Assuma que o endereçamento entre os routers se mantém inalterado, contudo, o endereçamento em cada departamento deve ser redefinido.

1. **Assumindo que dispõe apenas de um único endereço de rede IP classe C 192.168.128.0/24, defina um novo esquema de endereçamento para as redes dos departamentos (mantendo a rede de core inalterada) e atribua endereços às interfaces dos vários sistemas envolvidos. Deve justificar as opções usadas.**

Temos 32 bits ao todo para o endereço IP. Destes temos:

$$32 - 24 = 8\ bits\ para\ gerir\ endereços$$

Como temos 3 departamentos, serão no mínimo necessárias 3 Subredes. O número de bits mínimo que poderemos ter para identificar cada Subrede é 3, o que dá um máximo de 6 Subredes:

$$2^3 - 2\ endereços\ reservados = 6\ sub - redes\ no\ máximo$$

Se temos 3 bits para as Subredes, teremos então:

$$8 - 3 = 5\ bits\ para\ atribuir\ \text{às}\ interfaces$$

O que dá:

$$2^5 - 2\ endereços\ reservados = 30\ endereços\ para\ interfaces\ por\ subrede$$

Sabendo que dos 8 bits que temos para gerir, teremos o endereço para cada interface que será igual aos 3 bits de identificação de Subrede mais os 5 bits disponíveis para atribuir por interface (exceto o 00000 e 11111, pois são reservados):

	Bits p/ Subrede	Bits p/ Interface		Endereço p/ Interface (dec.)	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Reservado	.000	-	-	-	-
Subrede 1	.001	00001	11110	33	62
Subrede 2	.010	00001	11110	65	94
Subrede 3	.011	00001	11110	97	126
Subrede 4	.100	00001	11110	129	158
Subrede 5	.101	00001	11110	161	190
Subrede 6	.110	00001	11110	193	222
Reservado	.111	-	-	-	-

Tabela 1 – Distribuição de endereços

Na **Tabela 1** temos a atribuição de endereços para 6 Subredes. Vamos considerar que as três primeiras Subredes nessa tabela são, respetivamente, para os Departamentos A, B e C, o que resulta em:

Dept. A -> (bits p/ identificar a Subrede) 00100000 -> 192.168.128.32/27

Dept. B -> (bits p/ identificar a Subrede) 01000000 -> 192.168.128.64/27

Dept. C -> (bits p/ identificar a Subrede) 01100000 -> 192.168.128.96/27

O número 27 serve para indicar que dos 32 bits do IP, os primeiros 27 identificam a rede.

Como sabemos o endereço máximo e mínimo para cada Subrede (**Tabela 1**), podemos atribuir em cada departamento os endereços IP para as diversas interfaces (desde que cumpram os limites):

Dispositivo	**IP**	**Máscara de Rede**
n1 (router)	192.168.128.33/27	255.255.255.224
n4 (*host*)	192.168.128.34/27	255.255.255.224
n5 (*laptop*)	192.168.128.35/27	255.255.255.224
n6 (*laptop*)	192.168.128.61/27	255.255.255.224
n14 (*laptop*)	192.168.128.62/27	255.255.255.224

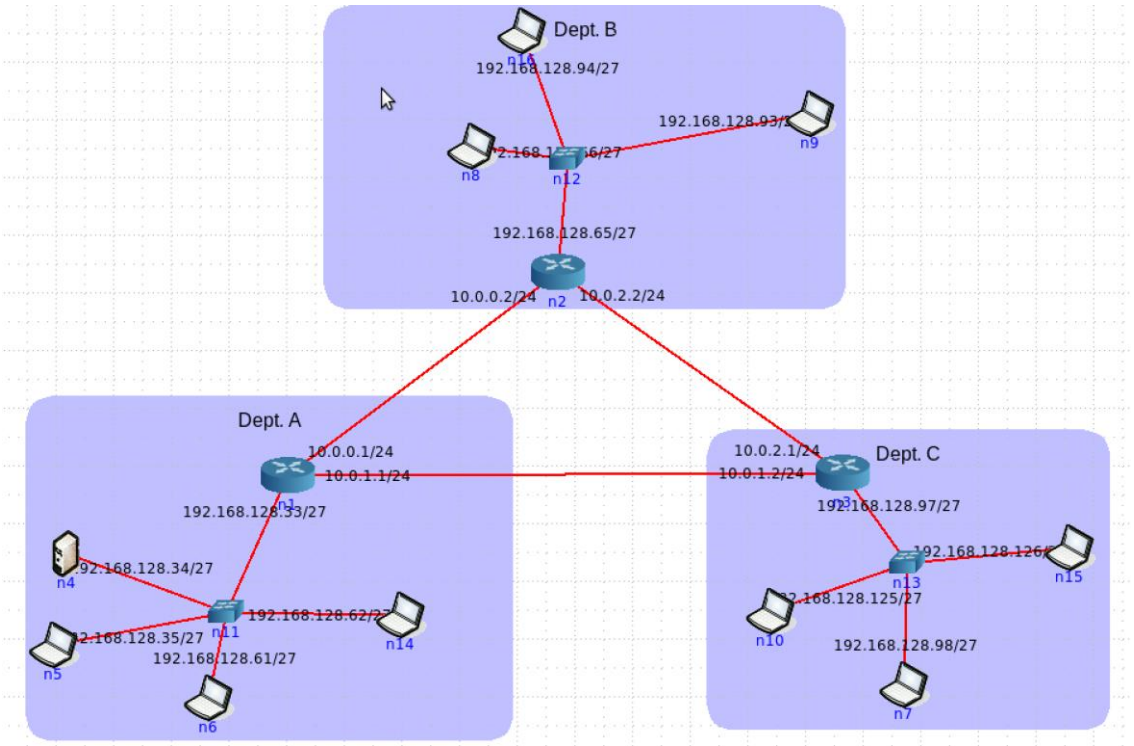
Tabela 2 – Endereços IP da Subrede no Departamento A

Dispositivo	IP	Máscara de Rede
n2 (router)	192.168.128.65/27	255.255.255.224
n8 (*laptop*)	192.168.128.66/27	255.255.255.224
n9 (*laptop*)	192.168.128.93/27	255.255.255.224
n16 (*laptop*)	192.168.128.94/27	255.255.255.224

Tabela 3 – Endereços IP da Subrede no Departamento B

Dispositivo	IP	Máscara de Rede
n3 (router)	192.168.128.97/27	255.255.255.224
n7 (*laptop*)	192.168.128.98/27	255.255.255.224
n10 (*laptop*)	192.168.128.125/27	255.255.255.224
n15 (*laptop*)	192.168.128.126/27	255.255.255.224

Tabela 4 – Endereços IP da Subrede no Departamento C



2. Qual a máscara de rede que usou (em formato decimal)? Justifique.

Como se trata de um endereço Classe C, sabemos que a máscara será 255.255.255.0. Isto indica que os 3 primeiros octetos são para identificar a rede. Como foi calculado antes, do último octeto apenas os 3 primeiros bits serão utilizados para identificar a Subrede. Ou seja, teremos em binário algo género:

$$11100000_2 = 192_{10}$$

Posto isto, sabemos que a máscara de rede utilizada é 255.255.255.224.

Podemos verificar isto numa tabela de endereçamento (neste caso a tabela de endereçamento do *router* no Departamento A):

```
root@n1:/tmp/pycore.33981/n1.conf# netstat -rn
Kernel IP routing table
Destination     Gateway         Genmask         Flags   MSS Window  irtt Iface
10.0.0.0        0.0.0.0         255.255.255.0   U         0 0          0 eth0
10.0.1.0        0.0.0.0         255.255.255.0   U         0 0          0 eth1
192.168.128.32  0.0.0.0         255.255.255.224 U         0 0          0 eth2
192.168.128.32  0.0.0.0         255.255.255.224 U         0 0          0 eth3
root@n1:/tmp/pycore.33981/n1.conf#
```

3. Quantos *hosts* IP pode interligar em cada departamento? Justifique.

Temos 8 bits para gerir endereços. Destes, os primeiros 3 bits identificam a Subrede, ficando 5 bits para atribuir às interfaces. Contudo, temos 2 endereços reservados – o 00000 e o 11111. Temos assim:

$$2^5 - 2\ endereços\ reservados = 30\ endereços\ disponíveis\ para\ as\ interfaces$$

4. Garanta que conectividade IP entre as várias redes locais da empresa MIEInet é mantida.

Podemos verificar a conectividade entre as várias redes locais fazendo *ping* entre máquinas de diferentes departamentos:

- Ping de uma máquina em A (n5) para B (n9)

```
root@n5:/tmp/pycore.33983/n5.conf# ping 192.168.128.93
PING 192.168.128.93 (192.168.128.93) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 192.168.128.93: icmp_req=1 ttl=62 time=0.187 ms
64 bytes from 192.168.128.93: icmp_req=2 ttl=62 time=0.091 ms
64 bytes from 192.168.128.93: icmp_req=3 ttl=62 time=0.057 ms
64 bytes from 192.168.128.93: icmp_req=4 ttl=62 time=0.064 ms
    192.168.128.35 > 192.168.128.93: ICMP echo request, id 29, seq 21, length 64
03:38:20.106808 IP (tos 0x0, ttl 64, id 54520, offset 0, flags [none], proto ICMP (1), length 84)
    192.168.128.93 > 192.168.128.35: ICMP echo reply, id 29, seq 21, length 64
03:38:21.105861 IP (tos 0x0, ttl 62, id 0, offset 0, flags [DF], proto ICMP (1), length 84)
    192.168.128.35 > 192.168.128.93: ICMP echo request, id 29, seq 22, length 64
03:38:21.105895 IP (tos 0x0, ttl 64, id 54521, offset 0, flags [none], proto ICMP (1), length 84)
    192.168.128.93 > 192.168.128.35: ICMP echo reply, id 29, seq 22, length 64
03:38:22.105877 IP (tos 0x0, ttl 62, id 0, offset 0, flags [DF], proto ICMP (1), length 84)
P (1), length 84)
```

Laptop no Dept. A

Laptop no Dept. B

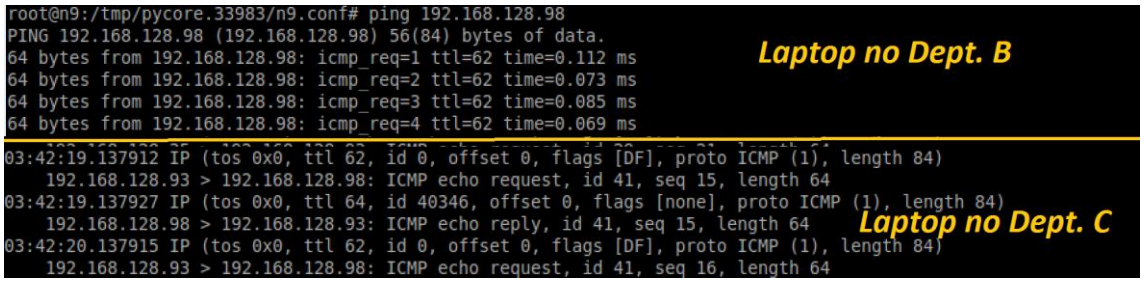
- Ping de uma máquina em A (n5) para C (n7)

```
root@n5:/tmp/pycore.33983/n5.conf# ping 192.168.128.98
PING 192.168.128.98 (192.168.128.98) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 192.168.128.98: icmp_req=1 ttl=62 time=0.179 ms
64 bytes from 192.168.128.98: icmp_req=2 ttl=62 time=0.088 ms
64 bytes from 192.168.128.98: icmp_req=3 ttl=62 time=0.068 ms
64 bytes from 192.168.128.98: icmp_req=4 ttl=62 time=0.070 ms
    192.168.128.35 > 192.168.128.98: ICMP echo request, id 28, seq 17, length 64
03:31:16.157941 IP (tos 0x0, ttl 64, id 54496, offset 0, flags [none], proto ICM
P (1), length 84)
    192.168.128.98 > 192.168.128.35: ICMP echo reply, id 28, seq 17, length 64
03:31:17.157905 IP (tos 0x0, ttl 62, id 0, offset 0, flags [DF], proto ICMP (1),
 length 84)
    192.168.128.35 > 192.168.128.98: ICMP echo request, id 28, seq 18, length 64
03:31:17.157939 IP (tos 0x0, ttl 64, id 54497, offset 0, flags [none], proto ICM
P (1), length 84)
    192.168.128.98 > 192.168.128.35: ICMP echo reply, id 28, seq 18, length 64
03:31:18.157917 IP (tos 0x0, ttl 62, id 0, offset 0, flags [DF], proto ICMP (1),
 length 84)
```

Laptop no Dept. A

Laptop no Dept. C

- Ping de uma máquina em B (n9) para C (n7)



Podemos assim efetivamente verificar que as máquinas nos diferentes departamentos conseguem comunicar entre si.

Conclusões

Este quarto trabalho prático permitiu-nos pôr em prática os conhecimentos teóricos adquiridos nas aulas de Redes de Computadores e, assim, compreender melhor os mesmos de um ponto de vista mais real. Desta vez, debruçámo-nos sobre o protocolo IPv4.

Na primeira parte, abordámos o papel do campo TTL (*Time To Live)* dos datagramas IP na comunicação entre dispositivos e as respetivas respostas ICMP, bem como a ocorrência de fragmentação dos datagramas que ocorre quando são enviados datagramas com tamanho superior ao suportado pelo protocolo IPv4.

Na segunda parte deste trabalho foi abordado, em primeiro lugar, o endereçamento e encaminhamento que ocorrem ainda ao nível do IP. Compreendemos a função das tabelas de encaminhamento, os encaminhamentos estático e dinâmico e a remoção e adição de rotas numa rede. Em segundo lugar, abordámos a definição de subredes (*subnetting*) e esquemas de endereçamento, bem como a utilização de máscaras de rede.