
# Trabalho Prático 2 - Protocolo IPv4
# Redes de Computadores

---

**Grupo 7 - TP8**

Gabriela Santos Ferreira da Cunha - a97393

Nuno Guilherme Cruz Varela - a96455

Simão Jorge da Silva Costa - a95176

# 1 Parte I

## 1.1 Exercício 1

Prepare uma topologia CORE para verificar o comportamento do traceroute. Na topologia deve existir: um host (pc) cliente designado Bela cujo router de acesso é R2; o router R2 está simultaneamente ligado a dois routers R3 e R4; estes estão conectados a um router R5, que por sua vez, se liga a um host (servidor) designado Monstro. Ajuste o nome dos equipamentos atribuídos por defeito para o enunciado. Nas ligações (links) da rede de core estabeleça um tempo de propagação de 10ms. Após ativar a topologia, note que pode não existir conectividade IP imediata entre a Bela e o Monstro até que o anúncio de rotas entre routers estabilize.

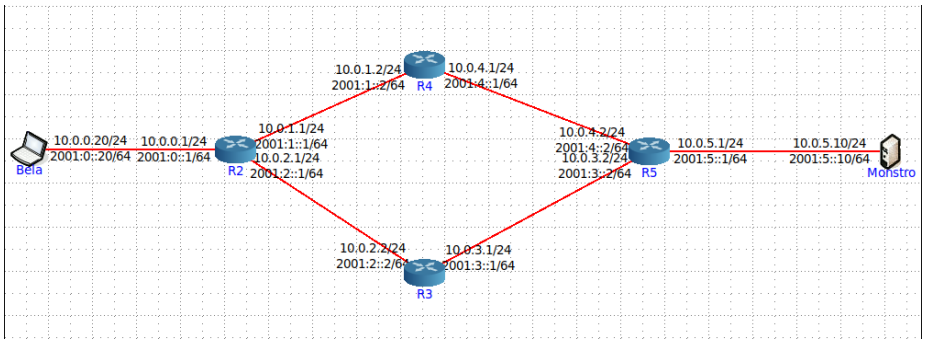



Figura 1: Topologia CORE.

**Alínea A** Active o wireshark ou o tcpdump no host Bela. Numa shell de Bela execute o comando traceroute -I para o endereço IP do Monstro.

```
root@Bela:/tmp/pycore.42591/Bela.conf# traceroute -I 10.0.5.10
traceroute to 10.0.5.10 (10.0.5.10), 30 hops max, 60 byte packets
 1  10.0.0.1 (10.0.0.1)  0.039 ms  0.015 ms  0.013 ms
 2  10.0.1.2 (10.0.1.2)  0.025 ms  0.021 ms  0.020 ms
 3  10.0.3.2 (10.0.3.2)  0.039 ms  0.027 ms  0.027 ms
 4  10.0.5.10 (10.0.5.10)  0.037 ms  0.032 ms  0.033 ms
root@Bela:/tmp/pycore.42591/Bela.conf#
```

Figura 2: Output do comando “traceroute -I“.

**Alínea B** Registe e analise o tráfego ICMP enviado pelo sistema Bela e o tráfego ICMP recebido como resposta. Comente os resultados face ao comportamento esperado.

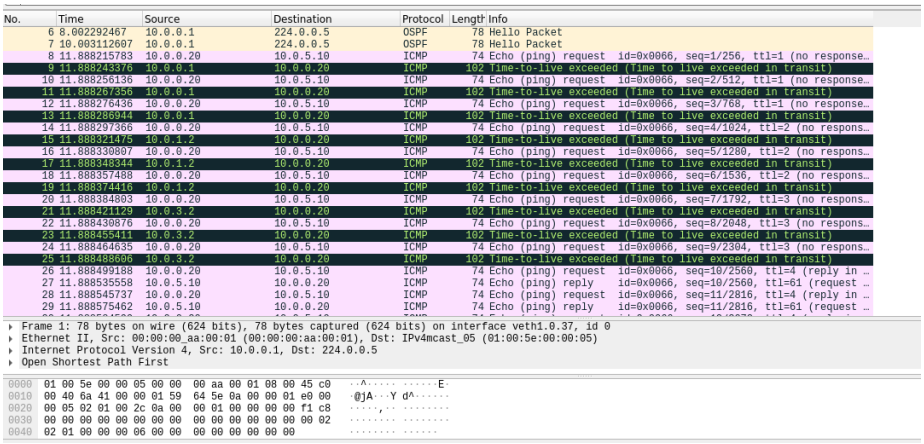



Figura 3: Tráfego enviado e recebido pelo sistema Bela.

Neste caso em específico, o cliente Bela envia conjuntos de 3 pacotes, em que cada conjunto leva um valor no campo TTL (time-to-live) incrementado numa unidade, começando em 1. Nesta tipologia, os pacotes deveriam retornar uma mensagem de erro ICMP quando o TTL é inferior a 4. Tal facto, é comprovado com os resultados obtidos na figura 3.

**Alínea C** Qual deve ser o valor inicial mínimo do campo TTL para alcançar o servidor Monstro ? Verifique na prática que a sua resposta está correta.

O valor inicial mínimo do campo TTL para alcançar o servidor Monstro é 4, tal como explicado na alínea anterior.

**Alínea D** Calcule o valor médio do tempo de ida-e-volta (RTT - Round-Trip Time) obtido no acesso ao servidor. Para melhorar a média, poderá alterar o número pacotes de prova com a opção -q.

Para obtermos uma média mais precisa, alteramos o número de pacotes de prova para 10 e obtivemos os seguintes resultados:

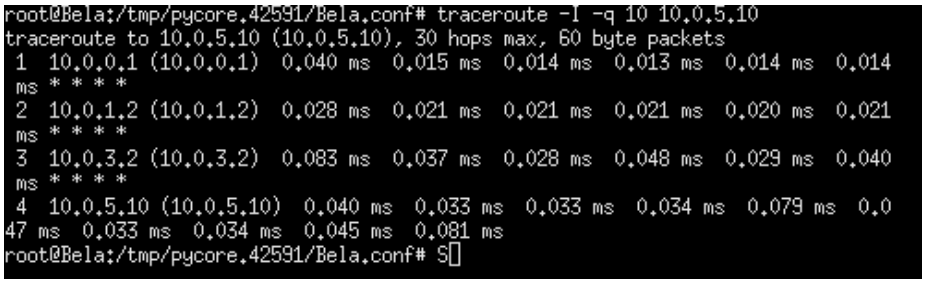



Figura 4: Output do comando traceroute -I -q 10.

A partir dos valores apresentados na figura 4, conseguimos calcular o valor médio de ida-e-volta.

$$media = \frac{0.040+0.033+0.033+0.034+0.079+0.047+0.033+0.034+0.045+0.081}{10} = 0.0459$$

**Alínea E** O valor médio do atraso num sentido (One-Way Delay) poderia ser calculado com precisão dividindo o RTT por dois? O que torna difícil o cálculo desta métrica?

O valor médio do atraso num sentido não deve ser calculado dividindo o RTT por dois, visto que poderá haver tráfego no sistema que faça com que o pacote não volte pelo mesmo caminho que percorreu na ida, pelo que poderá ter diferentes tempos na ida e na volta, sendo este o principal entrave a obter uma medição precisa desta métrica.

## 1.2 Exercício 2

Pretende-se agora usar o traceroute na sua máquina nativa, e gerar datagramas IP de diferentes tamanhos. Usando o wireshark capture o tráfego gerado pelo traceroute para o tamanho do pacote de prova por defeito; Utilize como máquina destino o host marco.uminho.pt. Selecione a primeira mensagem ICMP capturada (referente a (i) tamanho por defeito) e centre a análise no nível protocolar IP (expanda o tab correspondente na janela de detalhe do wireshark).

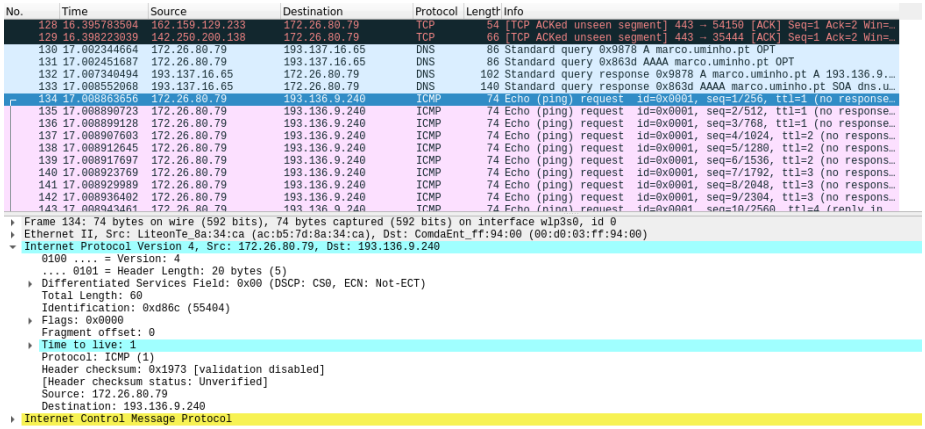



Figura 5: Dados relativos à 1ª mensagem ICMP capturada.

**Alínea A** Qual é o endereço IP da interface ativa do seu computador?

O endereço IP é 172.26.80.79, como podemos verificar através da figura 5.

**Alínea B** Qual é o valor do campo protocolo? O que permite identificar?

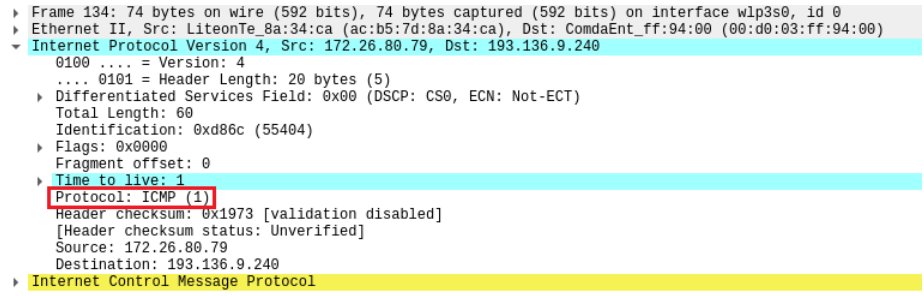



Figura 6: Valor do campo protocolo.

O valor do campo protocolo é ICMP(1), protocolo usado para enviar a mensagem de erro.

**Alínea C** Quantos bytes tem o cabeçalho IPv4? Quantos bytes tem o campo de dados (payload) do datagrama? Como se calcula o tamanho do payload?

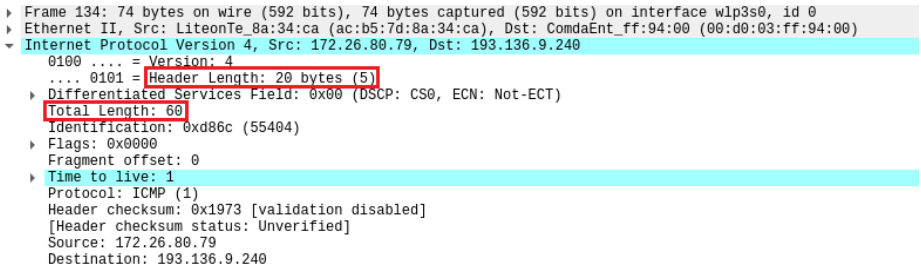



Figura 7: Tamanho do cabeçalho IPv4 e tamanho total.

Através da figura 7, verificamos que o tamanho do cabeçalho IPv4 é 20 *bytes* e o tamanho total é 60 *bytes*. Podemos calcular o tamanho do *payload*, subtraíndo o tamanho do cabeçalho IPv4 ao tamanho total do datagrama.

$$\textit{tamanho do payload} = 60 - 20 = 40 \textit{ bytes}$$

**Alínea D** O datagrama IP foi fragmentado? Justifique.

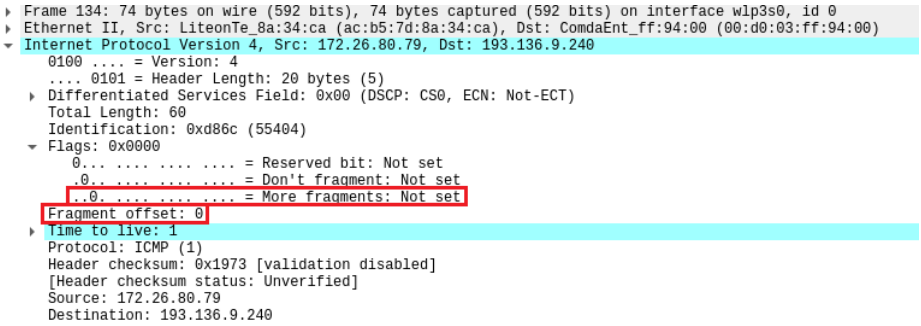
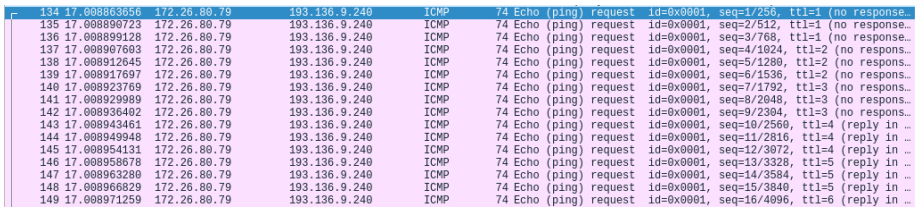



Figura 8: Campos "more fragments"e "fragment offset".

Pela figura 8, observamos que o campo "Fragment offset" e o campo "More fragments" têm ambos valor 0, ou seja, o datagrama não foi fragmentado.

**Alínea 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 interface da sua máquina. Para a sequência de mensagens ICMP enviadas pelo seu computador, indique que campos do cabeçalho IP variam de pacote para pacote.



| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 134 | 17.008863656 | 172.26.80.79 | 193.136.9.240 | ICMP | 74 | Echo (ping) request id=0x0001, seq=1/256, ttl=1 (no response… |
| 135 | 17.008890723 | 172.26.80.79 | 193.136.9.240 | ICMP | 74 | Echo (ping) request id=0x0001, seq=2/512, ttl=1 (no response… |
| 136 | 17.008899128 | 172.26.80.79 | 193.136.9.240 | ICMP | 74 | Echo (ping) request id=0x0001, seq=3/768, ttl=1 (no response… |
| 137 | 17.008907603 | 172.26.80.79 | 193.136.9.240 | ICMP | 74 | Echo (ping) request id=0x0001, seq=4/1024, ttl=2 (no respons… |
| 138 | 17.008912645 | 172.26.80.79 | 193.136.9.240 | ICMP | 74 | Echo (ping) request id=0x0001, seq=5/1280, ttl=2 (no respons… |
| 139 | 17.008917697 | 172.26.80.79 | 193.136.9.240 | ICMP | 74 | Echo (ping) request id=0x0001, seq=6/1536, ttl=2 (no respons… |
| 140 | 17.008923769 | 172.26.80.79 | 193.136.9.240 | ICMP | 74 | Echo (ping) request id=0x0001, seq=7/1792, ttl=3 (no respons… |
| 141 | 17.008929989 | 172.26.80.79 | 193.136.9.240 | ICMP | 74 | Echo (ping) request id=0x0001, seq=8/2048, ttl=3 (no respons… |
| 142 | 17.008936402 | 172.26.80.79 | 193.136.9.240 | ICMP | 74 | Echo (ping) request id=0x0001, seq=9/2304, ttl=3 (no respons… |
| 143 | 17.008943461 | 172.26.80.79 | 193.136.9.240 | ICMP | 74 | Echo (ping) request id=0x0001, seq=10/2560, ttl=4 (reply in … |
| 144 | 17.008949948 | 172.26.80.79 | 193.136.9.240 | ICMP | 74 | Echo (ping) request id=0x0001, seq=11/2816, ttl=4 (reply in … |
| 145 | 17.008954131 | 172.26.80.79 | 193.136.9.240 | ICMP | 74 | Echo (ping) request id=0x0001, seq=12/3072, ttl=4 (reply in … |
| 146 | 17.008958678 | 172.26.80.79 | 193.136.9.240 | ICMP | 74 | Echo (ping) request id=0x0001, seq=13/3328, ttl=5 (reply in … |
| 147 | 17.008963280 | 172.26.80.79 | 193.136.9.240 | ICMP | 74 | Echo (ping) request id=0x0001, seq=14/3584, ttl=5 (reply in … |
| 148 | 17.008966829 | 172.26.80.79 | 193.136.9.240 | ICMP | 74 | Echo (ping) request id=0x0001, seq=15/3840, ttl=5 (reply in … |
| 149 | 17.008971259 | 172.26.80.79 | 193.136.9.240 | ICMP | 74 | Echo (ping) request id=0x0001, seq=16/4096, ttl=6 (reply in … |

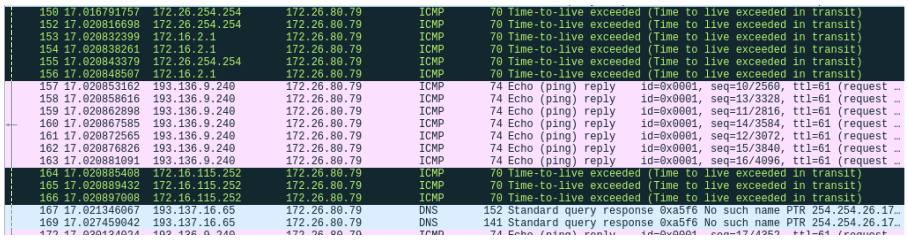
Figura 9: Sequência de tráfego ICMP ordenado por IP.

Os campos do cabeçalho IP que variam de pacote para pacote são "Identification", "Header checksum", "Checksum" e "Time to live".

**Alínea F** Observa algum padrão nos valores do campo de Identificação do datagrama IP e TTL?

O valor do campo "Identification" incrementa uma unidade por cada pacote e o valor do campo "Time to live" incrementa uma unidade a cada três pacotes.

**Alínea 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?



| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 150 | 17.016791757 | 172.26.254.254 | 172.26.80.79 | ICMP | 70 | Time-to-live exceeded (Time to live exceeded in transit) |
| 152 | 17.020816698 | 172.26.254.254 | 172.26.80.79 | ICMP | 70 | Time-to-live exceeded (Time to live exceeded in transit) |
| 153 | 17.020832399 | 172.16.2.1 | 172.26.80.79 | ICMP | 70 | Time-to-live exceeded (Time to live exceeded in transit) |
| 154 | 17.020838261 | 172.16.2.1 | 172.26.80.79 | ICMP | 70 | Time-to-live exceeded (Time to live exceeded in transit) |
| 155 | 17.020843379 | 172.26.254.254 | 172.26.80.79 | ICMP | 70 | Time-to-live exceeded (Time to live exceeded in transit) |
| 156 | 17.020848507 | 172.16.2.1 | 172.26.80.79 | ICMP | 70 | Time-to-live exceeded (Time to live exceeded in transit) |
| 157 | 17.020853162 | 193.136.9.240 | 172.26.80.79 | ICMP | 74 | Echo (ping) reply id=0x0001, seq=10/2560, ttl=61 (request … |
| 158 | 17.020858616 | 193.136.9.240 | 172.26.80.79 | ICMP | 74 | Echo (ping) reply id=0x0001, seq=13/3328, ttl=61 (request … |
| 159 | 17.020862898 | 193.136.9.240 | 172.26.80.79 | ICMP | 74 | Echo (ping) reply id=0x0001, seq=11/2816, ttl=61 (request … |
| 160 | 17.020867585 | 193.136.9.240 | 172.26.80.79 | ICMP | 74 | Echo (ping) reply id=0x0001, seq=14/3584, ttl=61 (request … |
| 161 | 17.020872565 | 193.136.9.240 | 172.26.80.79 | ICMP | 74 | Echo (ping) reply id=0x0001, seq=12/3072, ttl=61 (request … |
| 162 | 17.020876826 | 193.136.9.240 | 172.26.80.79 | ICMP | 74 | Echo (ping) reply id=0x0001, seq=15/3840, ttl=61 (request … |
| 163 | 17.020881091 | 193.136.9.240 | 172.26.80.79 | ICMP | 74 | Echo (ping) reply id=0x0001, seq=16/4096, ttl=61 (request … |
| 164 | 17.020885408 | 172.16.115.252 | 172.26.80.79 | ICMP | 70 | Time-to-live exceeded (Time to live exceeded in transit) |
| 165 | 17.020889432 | 172.16.115.252 | 172.26.80.79 | ICMP | 70 | Time-to-live exceeded (Time to live exceeded in transit) |
| 166 | 17.020897008 | 172.16.115.252 | 172.26.80.79 | ICMP | 70 | Time-to-live exceeded (Time to live exceeded in transit) |
| 167 | 17.021346067 | 193.137.16.65 | 172.26.80.79 | DNS | 152 | Standard query response 0xa5f6 No such name PTR 254.254.26.17… |
| 169 | 17.027459042 | 193.137.16.65 | 172.26.80.79 | DNS | 141 | Standard query response 0xa5f6 No such name PTR 254.254.26.17… |

Figura 10: Sequência de tráfego ICMP ordenado por endereço destino.

O valor do campo "Time to live" varia de 255 a 253, pelo que não permanece constante. Isto deve-se ao decremento que o valor sofre a cada *router* que passa até chegar ao *host* de origem.

## 1.3 Exercício 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 4087 *bytes*.

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

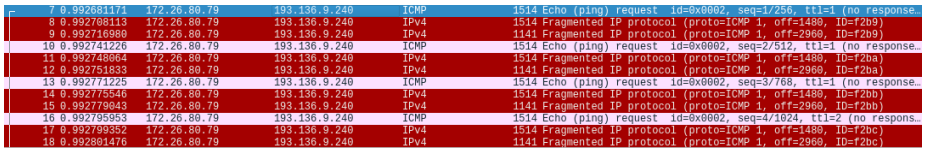



Figura 11: Sequência de tráfego ICMP ordenado por endereço destino.

O pacote inicial foi fragmentado porque o seu tamanho excede o valor máximo suportado. Apenas é possível transmitir 1500 *bytes* por cada mensagem e o pacote tem 4087 *bytes*.

**Alínea 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?

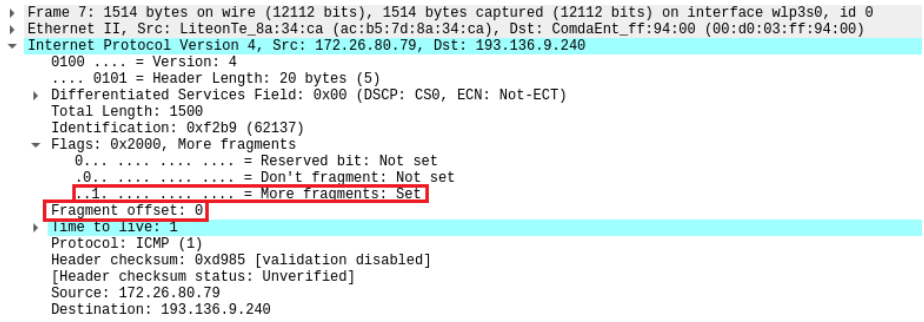



Figura 12: Informação relativa ao primeiro fragmento do datagrama IP.

Como o campo "More fragments" tem o valor 1, podemos concluir que o datagrama foi fragmentado. O "Fragment offset" está com o valor a 0, logo estamos perante o primeiro fragmento, com um tamanho de 1500 *bytes*.

**Alínea 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?

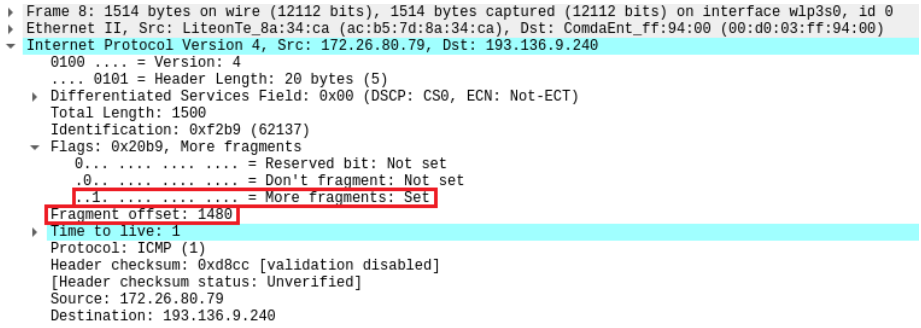



Figura 13: Informação relativa ao segundo fragmento do datagrama IP original.

Como o "Fragment offset" está a 1480, concluimos que não se trata do primeiro fragmento. O bit da *flag* "More fragments" está a 1, pelo que existem mais fragmentos.

**Alínea D** Quantos fragmentos foram criados a partir do datagrama original?

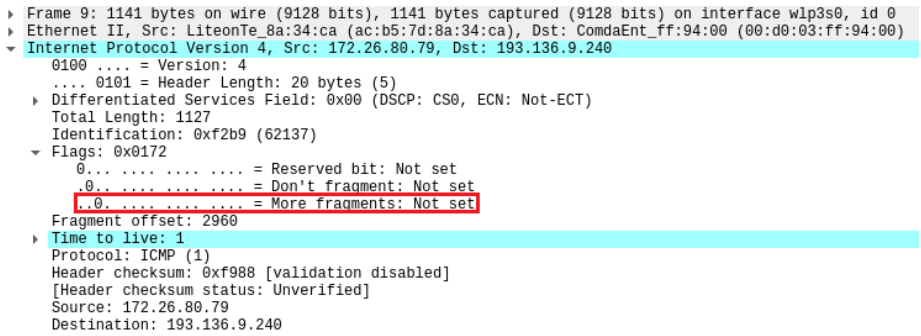



Figura 14: Informação relativa ao último fragmento do datagrama IP original.

Foram criados 3 fragmentos a partir do datagrama original, uma vez que este fragmento da figura 14 possui o bit da *flag* "'More fragments" a 0 e é o terceiro fragmento. Outra maneira de os contar seria verificar quantos fragmentos têm o campo "Identification" igual.

**Alínea 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.

Os campos que mudam entre os diferentes fragmentos são o "Fragment offset", a *flag* "More fragments", o "Total Length" e o "Header checksum". Isto permite-nos saber a posição de cada fragmento no datagrama original e o seu respetivo tamanho, o que nos ajuda na reconstrução do datagrama original.

**Alínea F** Verifique o processo de fragmentação através de um processo de cálculo.

$length\_total = 4087\ bytes$

$length\_max\_fragmento = 1500\ bytes$

$id\_fragmento = 0xf2b9$

$ttl\_fragmento = 1$

$dados\_datagrama\_original = 4087 - 20 = 4067\ bytes$

$dados\_por\_fragmento = 1500 - 20 = 1480\ bytes$

- **Fragmento 1**
  $dados\_frag1 = 1480\ bytes$
  $header\_frag1 = 20\ bytes$
  $length\_frag1 = 1480 + 20 = 1500\ bytes$
  $dados\_datagrama\_original = 4067 - 1480 = 2587\ bytes$
  $morefragments\_frag1 = 1$
  $offset\_frag1 = 0$

- **Fragmento 2**
  $dados\_frag2 = 1480\ bytes$
  $header\_frag2 = 20\ bytes$
  $length\_frag2 = 1480 + 20s = 1500\ bytes$
  $dados\_datagrama\_original = 2587 - 1480 = 1107\ bytes$
  $morefragments\_frag2 = 1$
  $offset\_frag2 = 1480$

- **Fragmento 3**
  $dados\_frag3 = 1107\ bytes$
  $header\_frago3 = 20\ bytes$
  $length\_frag3 = 1107 + 20 = 1127\ bytes$
  $dados\_datagrama\_original = 1107 - 1107 = 0\ bytes$
  $morefragments\_frag3 = 0$
  $offset\_frag3 = 2960$

$dados\_final = dados\_frag1 + dados\_frag2 + dados\_frag3 = 4067\ bytes$
$length\_1pacote = 4087\ bytes$
$length\_3pacotes = length\_frag1 + length\_frag2 + length\_frag3 = 4127\ bytes$

**Alínea G** Escreva uma expressão lógica que permita detetar o último fragmento correspondente ao datagrama original.

Considerando que a expressão contempla apenas os pacotes fragmentados, podemos definir o último fragmento pela seguinte expressão lógica:

$$morefragments = 0\ \wedge\ offset\ \neq\ 0 \wedge\ id\_fragment = id\_original$$

# 2 Parte II

Considere que a topologia de rede LEI-RC é distribuída por quatro departamentos (A, B, C e D) e cada departamento possui um router de acesso à sua rede local. Estes routers de acesso (RA, RB, RC e RD) estão interligados entre si por ligações Ethernet a 1Gbps, formando um anel. Por sua vez, existe um servidor por departamento (SA, SB, SC, SD) e dois portáteis (pc) por departamento (A - Bela, Monstro; B - Jasmine, Alladin; C - Ariel, Eric; D - Simba e Nala), todos interligados ao router respetivo através de um comutador (switch). Cada servidor S tem uma ligação a 1Gbps e os laptops ligações a 100Mbps. Considere apenas a existência de um comutador por departamento. A conectividade IP externa da organização é assegurada através de um router de acesso RISP conectado a RA por uma ligação ponto-a-ponto a 1 Gbps. Construa uma topologia CORE que reflita a rede local da organização.

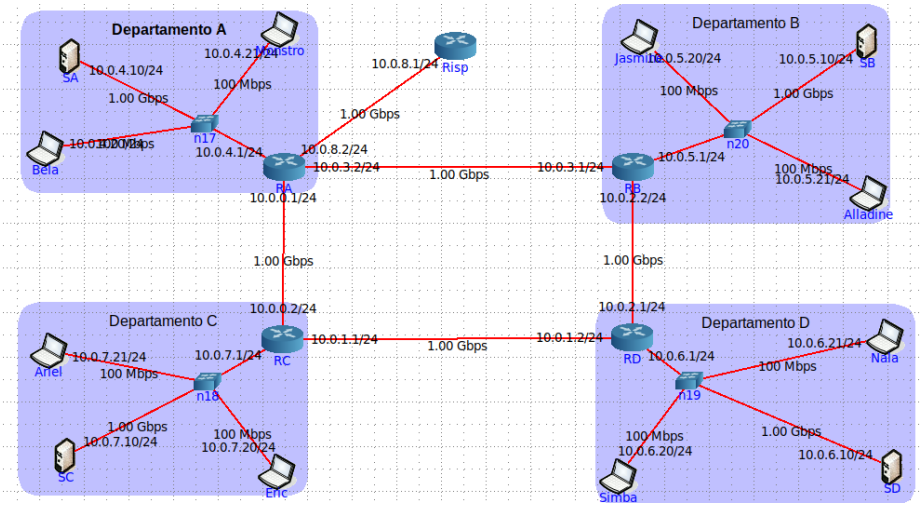



Figura 15: Topologia CORE

## 2.1 Exercício 1

**Alínea A** Indique que endereços IP e máscaras de rede foram atribuídos pelo CORE a cada equipamento. Para simplificar, pode incluir uma imagem que ilustre de forma clara a topologia definida e o endereçamento usado.

Os endereços IP atribuídos utilizam 24 bits para o endereço de rede. A máscara de rede correspondente é 255.255.255.0, como podemos ver na figura 15.

**Alínea B** Tratam-se de endereços públicos ou privados? Porquê?

Os endereços são privados, uma vez que todos os endereços IP atribuídos pertencem ao intervalo de 10.0.0.0 a 10.255.255.255 - intervalo que define a classe A de endereços privados.

**Alínea C** Porque razão não é atribuído um endereço IP aos switches?

Estes equipamentos servem apenas para reencaminhar informação e funcionam exclusivamente através dos endereços físicos de rede - endereços MAC. Assim, não possuem endereço IP - endereço lógico de rede.

**Alínea D** Usando o comando ping certifique-se que existe conectividade IP interna a cada departamento (e.g. entre um laptop e o servidor respetivo).

```
root@Bela:/tmp/pycore.41785/Bela.conf# ping 10.0.4.21
PING 10.0.4.21 (10.0.4.21) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.4.21: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.271 ms
64 bytes from 10.0.4.21: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.155 ms
64 bytes from 10.0.4.21: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.145 ms
64 bytes from 10.0.4.21: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.145 ms
64 bytes from 10.0.4.21: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.141 ms
^C
--- 10.0.4.21 ping statistics ---
5 packets transmitted, 5 received, 0% packet loss, time 4068ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.141/0.171/0.271/0.050 ms
```

Figura 16: Ping do *laptop* Bela para o *laptop* Monstro.

```
root@Jasmine:/tmp/pycore.41785/Jasmine.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_seq=1 ttl=64 time=0.632 ms
64 bytes from 10.0.5.21: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.154 ms
64 bytes from 10.0.5.21: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.182 ms
64 bytes from 10.0.5.21: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.149 ms
64 bytes from 10.0.5.21: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.261 ms
^C
--- 10.0.5.21 ping statistics ---
5 packets transmitted, 5 received, 0% packet loss, time 4091ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.149/0.275/0.632/0.182 ms
```

Figura 17: Ping do *laptop* Jasmine para o *laptop* Alladine.

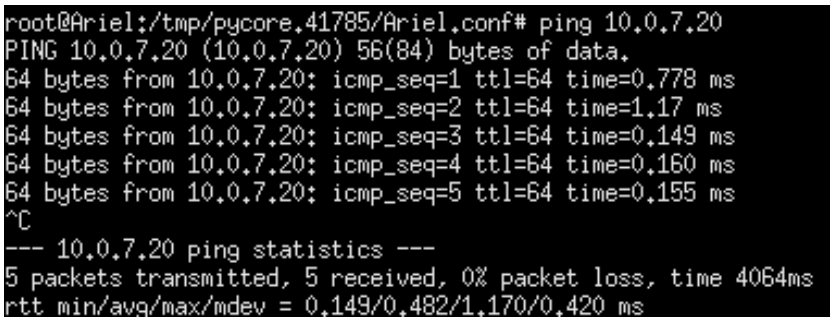



Figura 18: Ping do *laptop* Ariel para o *laptop* Eric.

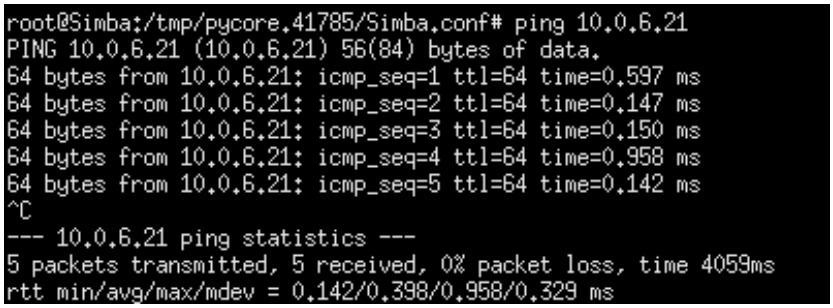



Figura 19: Ping do *laptop* Simba para o *laptop* Nala.

Como podemos verificar nas 4 figuras anteriores, foram transmitidos e recebidos 5 pacotes em cada uma e o *packet loss* é 0%, ou seja, concluímos que existe conetividade IP interna em todos os departamentos.

**Alínea E** Execute o número mínimo de comandos ping que lhe permite verificar a existência de conetividade IP entre departamentos.

O número mínimo de comandos "ping" é 6. Em relação ao departamento A, começamos por provar as conetividades A→B, A→C e A→D, sendo necessários 3 "pings". Ao provar estas, provamos também as inversas, isto é, B→A, C→A e D→A. Em relação ao departamento B, falta-nos provar B→C (C→B) e B→D (D→B) e são, portanto, necessários mais 2 "pings". Por último, falta-nos apenas provar C→D (D→C), sendo preciso apenas 1 "ping".

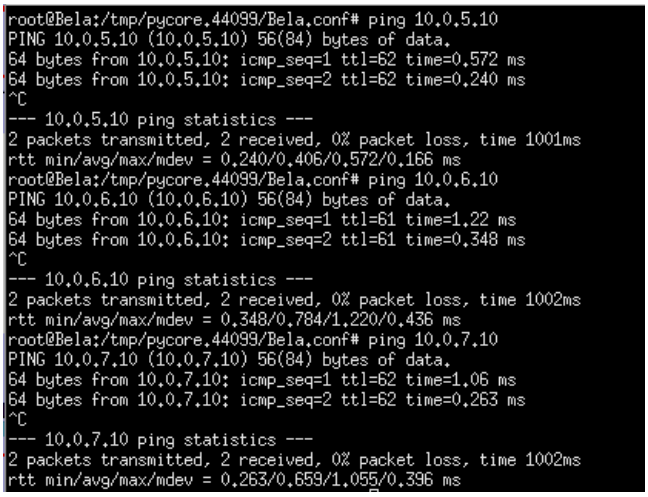



Figura 20: Pings com origem no departamento A para os restantes departamentos.

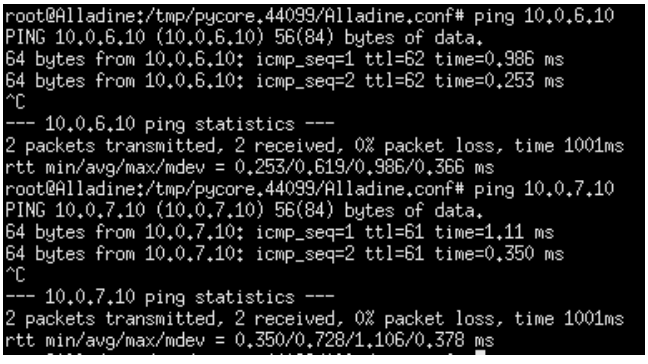



Figura 21: Pings com origem no departamento B para os departamentos C e D.

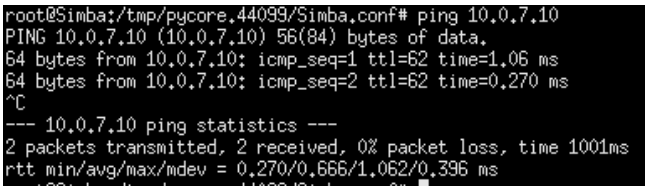



Figura 22: Pings com origem no departamento D para o departamento C.

**Alínea F** Verifique se existe conectividade IP do portátil Bela para o router de acesso RISP.

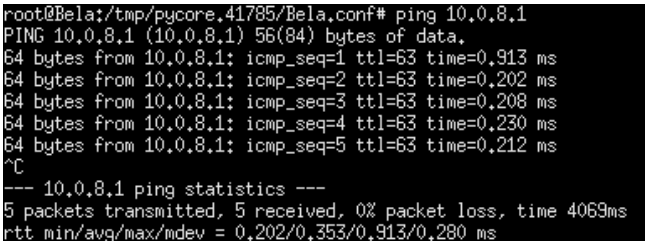



Figura 23: Ping do *laptop* Bela para o *router* RISP.

Como podemos verificar na figura 23, foram enviados 5 pacotes e recebidos 5 pacotes, pelo que concluimos que existe conetividade entre o portátil Bela e o *router* RISP.

## 2.2 Exercício 2

**Alínea 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).


Figura 24: Tabela de encaminhamento do *laptop* Bela.

Na tabela de encaminhamento do *laptop* Bela, verificamos que o *laptop* utiliza o destino *default* (0.0.0.0) para envio de pacotes para fora do departamento, passando, deste modo, pelo *router* RA (10.0.4.1). Todos os pacotes com destino na própria sub-rede (10.0.4.0) são encaminhados diretamente pelo host sem necessidade de passar no *router*.

```
root@RA:/tmp/pycore.41785/RA.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        10.0.0.2        255.255.255.0   UG        0 0          0 eth0
10.0.2.0        10.0.3.1        255.255.255.0   UG        0 0          0 eth1
10.0.3.0        0.0.0.0         255.255.255.0   U         0 0          0 eth1
10.0.4.0        0.0.0.0         255.255.255.0   U         0 0          0 eth3
10.0.5.0        10.0.3.1        255.255.255.0   UG        0 0          0 eth1
10.0.6.0        10.0.0.2        255.255.255.0   UG        0 0          0 eth0
10.0.7.0        10.0.0.2        255.255.255.0   UG        0 0          0 eth0
10.0.8.0        0.0.0.0         255.255.255.0   U         0 0          0 eth2
```

Figura 25: Tabela de encaminhamento do *router* RA.

Relativamente à tabela de encaminhamento do *router* RA, os pacotes destinados às sub-redes 10.0.1.0, 10.0.6.0 e 10.0.7.0 têm como próximo salto o IP 10.0.0.2, correspondente ao *router* RC, saíndo pela interface *Ethernet* 0. Os pacotes com destino às sub-redes 10.0.2.0 e 10.0.5.0 são encaminhados para o endereço IP 10.0.3.1, referente ao *router* RB. Quanto às restantes sub-redes, estas possuem um *gateway* de 0.0.0.0, pelo que o encaminhamento de pacotes será tratado pelo próprio *router* RA. Isto acontece, visto que o *router* é adjacente às sub-redes.

**Alínea B** Diga, justificando, se está a ser usado encaminhamento estático ou dinâmico (sugestão: analise que processos estão a correr em cada sistema, por exemplo, ps -ax ou equivalente).

```
root@Bela:/tmp/pycore.43509/Bela.conf# ps -ax
    PID TTY      STAT   TIME COMMAND
      1 ?        S      0:00 vnoded -v -c /tmp/pycore.43509/Bela -l /tmp/pycore.
     20 pts/3    Ss+    0:00 /bin/bash
     35 pts/4    Ss     0:00 /bin/bash
     42 pts/4    R+     0:00 ps -ax
```

Figura 26: Processos do *laptop* Bela.


Figura 27: Processos do *router* RA.

Como no *laptop* Bela não existem processos a correr para além dos do sistema, concluímos que o encaminhamento é estático. Já no *router* RA é usado o encaminhamento dinâmico pois podemos visualizar processos, como os de identificador 75, 81, 85, os quais são protocolos de encaminhamento dinâmico.

**Alínea 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 SA. Use o comando route delete para o efeito. Que implicações tem esta medida para os utilizadores da LEI-RC que acedem ao servidor. Justifique.

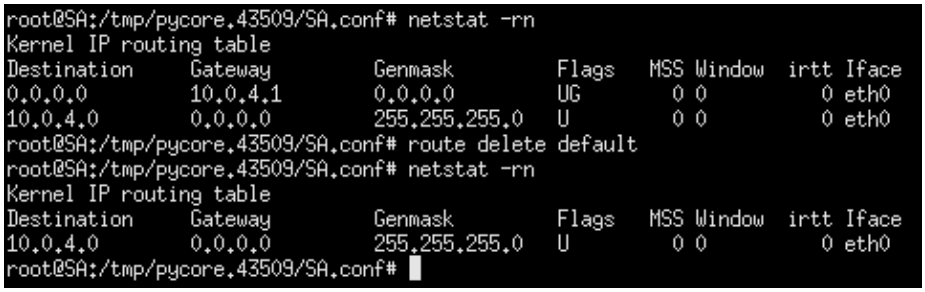



Figura 28: Tabelas de encaminhamento do *router* RA antes e após o comando "route delete".

Com a utilização do comando "route delete" retiramos a rota entre o servidor SA e o *router* RA, pelo que a conexão para fora do departamento A foi cortada. Ainda assim, o servidor SA consegue estabelecer conexões a nível de rede local (departamento A), uma vez que mantém o destino 10.0.4.0 .

**Alínea D** Não volte a repor a rota por defeito. Adicione todas as rotas estáticas necessárias para restaurar a conectividade para o servidor SA, por forma a contornar a restrição imposta na alínea c). Utilize para o efeito o comando route add e registe os comandos que usou.

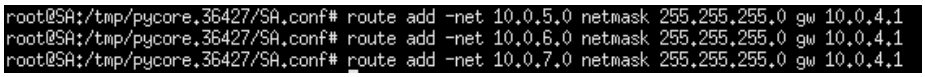



Figura 29: Comandos para restaurar a conetividade para o servidor SA.

Como podemos averiguar na figura 29, foram adicionadas rotas com o comando "route add" para as sub-redes dos departamentos B, C e D.

**Alínea 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.

Através das figuras 30, 31 e 32, podemos confirmar que foi restabelecida a conetividade para os restantes departamentos. Na figura 33 encontra-se a nova tabela de encaminhamento do servidor SA.

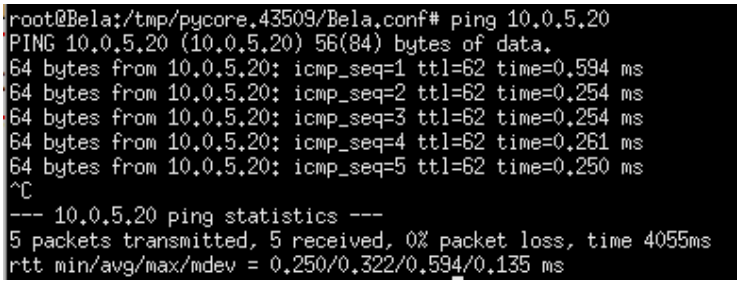



Figura 30: Ping do *laptop* Bela para o *laptop* Jasmine.

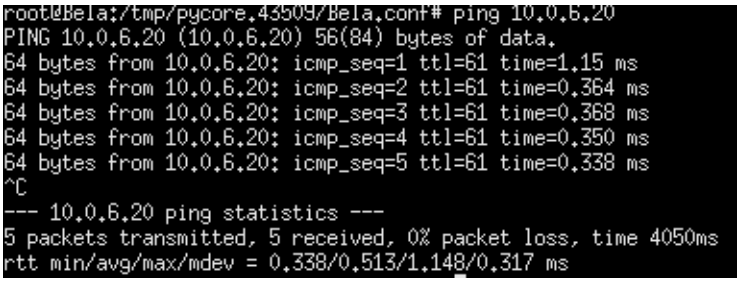



Figura 31: Ping do *laptop* Bela para o *laptop* Simba.

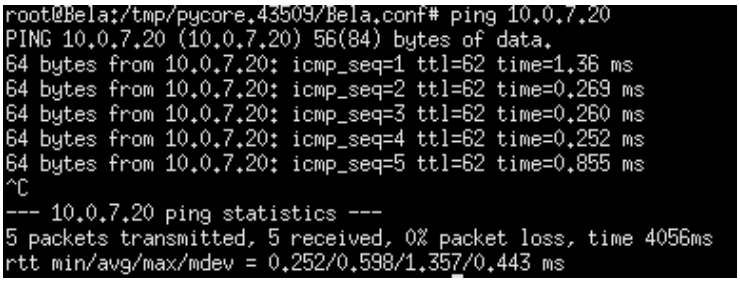



Figura 32: Ping do *laptop* Bela para o *laptop* Eric.

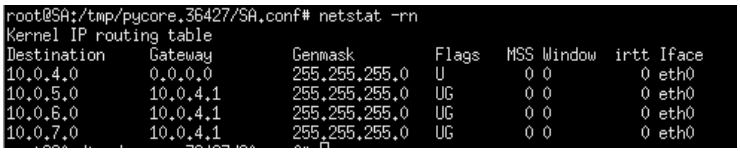



Figura 33: Tabela de encaminhamento do servidor SA.

## 2.3 Exercício 3

**Alínea A** Considere que dispõe apenas do endereço de rede IP 192.168.XXX.128/25, em que XXX é o decimal correspondendo ao seu número de grupo (PLXX). Defina um novo esquema de endereçamento para as redes dos departamentos (mantendo as redes de acesso externo e backbone inalteradas), sabendo que o número de departamentos pode vir a aumentar no curto prazo. Atribua endereços às interfaces dos vários sistemas envolvidos. Assuma que todos os endereços de subredes são usáveis. Justifique as opções tomadas no planeamento.

O decimal do nosso grupo é 87, sendo o nosso endereço de rede IP 192.168.87.128/25. Inicialmente temos uma máscara de rede de 25 bits, o que permite representar os endereços entre 192.168.87.128 e 192.168.87.254.

Cada departamento é uma sub-rede e temos, assim, 4 sub-redes no nosso esquema de endereçamento, viste que as redes de acesso externo e *backbone* se mantêm inalteradas. Para representar estas sub-redes, utilizaremos uma parte dos 7 bits que sobram dos 32, devido aos 25 bits inalteráveis da máscara de rede. Uma vez que todos os endereços de sub-redes devem ser usáveis poderíamos apenas utilizar 2 bits. Todavia, temos de ter em conta a criação de novos departamentos futuros e, com isto, optamos por alocar 3 bits para a representação das sub-redes. Deste modo, os 25 bits iniciais para a máscara passam a ser 28 bits, pelo que dispomos de $32 - 28 = 4$ bits para gerir *host interfaces*.

| Departamento | Sub-Rede | Endereço IP | Gama de Endereços |
|---|---|---|---|
| A | 000 | 192.168.87.128 | 192.168.87.129 - 192.168.87.142 |
| B | 001 | 192.168.87.144 | 192.168.87.145 - 192.168.87.158 |
| C | 010 | 192.168.87.160 | 192.168.87.161 - 192.168.87.174 |
| D | 011 | 192.168.87.176 | 192.168.87.177 - 192.168.87.190 |
| Livre | 100 | 192.168.87.192 | 192.168.87.193 - 192.168.87.206 |
| Livre | 101 | 192.168.87.208 | 192.168.87.209 - 192.168.87.222 |
| Livre | 110 | 192.168.87.224 | 192.168.87.225 - 192.168.87.238 |
| Livre | 111 | 192.168.87.240 | 192.168.87.241 - 192.168.87.254 |

Como podemos observar a partir da tabela, sobram 4 sub-redes que estão livres para departamentos futuros. Apresentamos na figura seguinte a topologia CORE com o novo endereçamento.

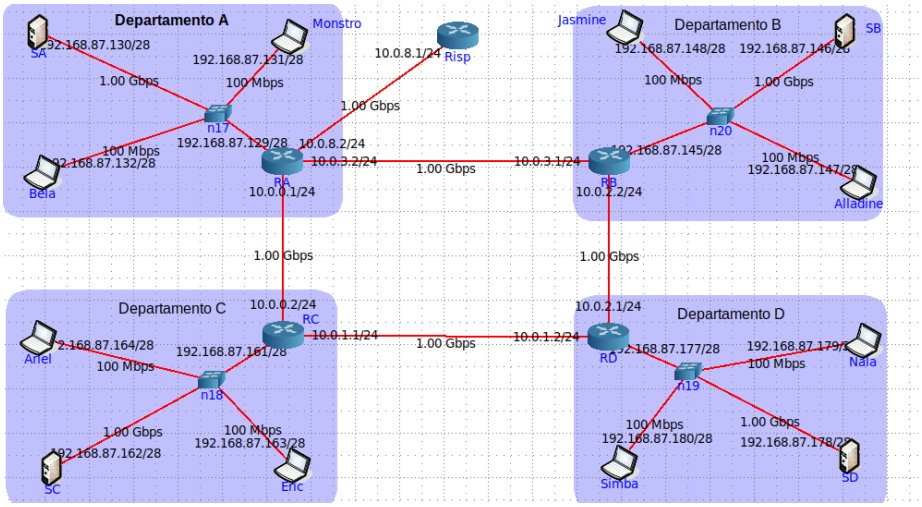



Figura 34: Topologia core com *subnetting*.

**Alínea B** Qual a máscara de rede que usou (em formato decimal)? Quantos hosts IP pode interligar em cada departamento? Quantos prefixos de sub-rede ficam disponíveis para uso futuro? Justifique.

A máscara de rede utilizada para as sub-redes foi 255.255.255.248. Como distribuímos os 7 bits em 3 bits para representar as sub-redes e 4 bits para gerir *host interfaces*, podemos adicionar mais $2^3 - 4 = 4$ departamentos futuros e a capacidade de interligação é de $2^4 - 2 = 14$ hosts IP por departamento, tendo em conta que o endereço com os bits todos a 0 e 1 estão reservados para o *host* e *broadcast*, respetivamente.

**Alínea C** Verifique e garanta que a conectividade IP interna na rede local LEI-RC é mantida. No caso de não existência de conetividade, reveja a atribuição de endereços efetuada e eventuais erros de encaminhamento por forma a realizar as correções necessárias. Explique como procedeu.

A conetividade IP interna na rede local LEI-RC é mantida. Para tal, utilizamos o comando "ping" e enviamos pacotes através do *laptop* Bela para cada um dos *laptops* de cada departamento que foram entregues com sucesso, como demonstrado na figura 35.

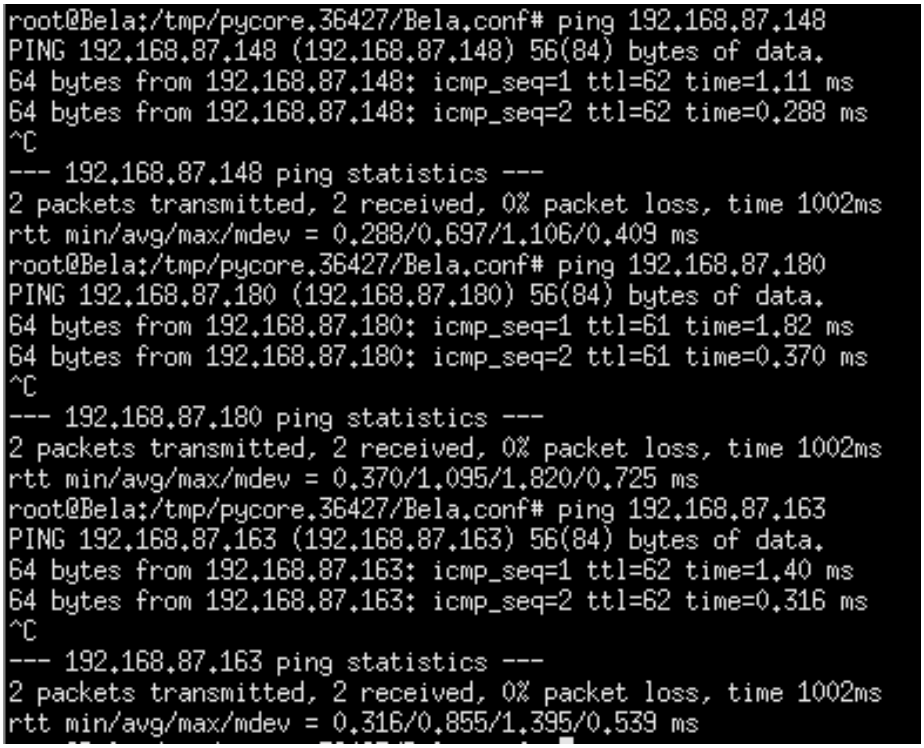



Figura 35: Conetividade com o novo endereçamento.

# 3 Conclusão

De modo a concluir este trabalho, consideramos que conseguimos, de um modo geral, cumprir os objetivos.

Na primeira parte do trabalho abordamos a transmissão de pacotes entre vários equipamentos ligados a uma mesma rede, em específico, usando o protocolo IPv4. Pudemos realizar uma topologia CORE, analisar o tráfego correspondente ao envio de pacotes e estudar o formato de um datagrama IP e o processo de fragmentação de pacotes realizado pelo protocolo IP.

Já na segunda parte, abordamos o endereçamento e encaminhamento de pacotes entre departamentos distintos. Construímos mais 2 topologias CORE, ambas com 4 departamentos distintos, uma de modo a verificar a conetividade entre departamentos e a analisar e modificar o encaminhamento dos pacotes quando enviados para outros departamentos e outra para implementar o *subnetting*, manipulando os endereços IP de modo a criar sub-redes.

Assim, este trabalho promoveu a consolidação dos conceitos teóricos. Destacamos, também, a importância da aplicação prática, isto é, a aprendizagem da utilização de *softwares* e comandos relativos à monitorização de redes, algo que consideramos que será útil na vida profissional.