Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Redes de Computadores

Trabalho Prático 2

Francisco Correia Franco A89458
António Jorge Nande Rodrigues A89585
Luís Enes Sousa A89597

A89458

A89585

A89597

Conteúdo

1 Captura de tráfego IP

1.1 Pergunta 1

Prepare uma topologia CORE para verificar o comportamento do traceroute. Ligue um host (pc) Cliente1 a um router R2; o router R2 a um router R3, que por sua vez, se liga a um host (servidor) Servidor1. (Note que pode não existir conectividade IP imediata entre o Cliente1 e o Servidor1 até que o anúncio de rotas estabilize).

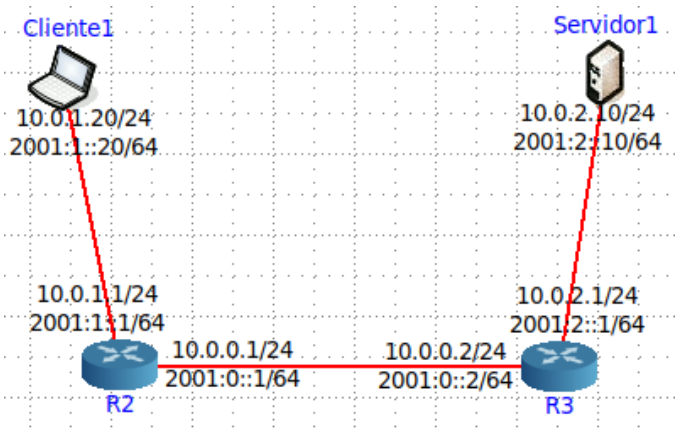


Figura 1: Topologia CORE

A - Ative o wireshark ou o tcpdump no pc h1. Numa shell de h1, execute o comando traceroute -I para o endereço IP do host s4.

```
root@Cliente1:/tmp/pycore.35579/Cliente1.conf# traceroute -I 10.0.2.10
traceroute to 10.0.2.10 (10.0.2.10), 30 hops max, 60 byte packets
 1  10.0.1.1 (10.0.1.1)  0.054 ms  0.053 ms  0.016 ms
 2  10.0.0.2 (10.0.0.2)  0.034 ms  0.020 ms  0.017 ms
 3  10.0.2.10 (10.0.2.10)  0.073 ms  0.025 ms  0.023 ms
```

Figura 2: Traceroute do Cliente1 para o Servidor1

B - Registe e analise o tráfego ICMP enviado pelo Cliente1 e o tráfego ICMP recebido como resposta. Comente os resultados face ao comportamento esperado.

Inicialmente, o Cliente1 tenta comunicar com o Servidor1, mas, como o TTL é igual a 1, o pacote vai ser descartado ao chegar a R2, sendo retribuída uma mensagem de erro ao Cliente1. O TTL é, então, aumentado sucessivamente, até chegar a TTL 3, que é o mínimo necessário para chegar ao Servidor1.

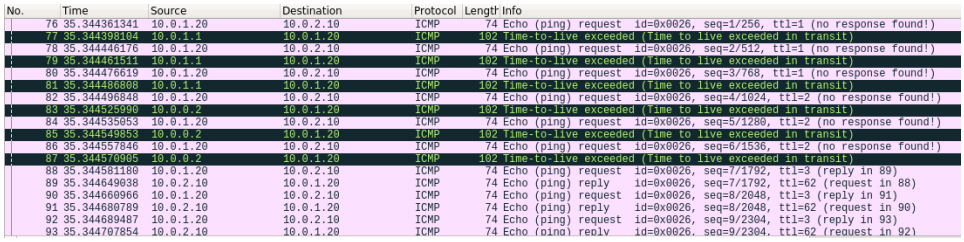


Figura 3: Tráfego ICMP

C - Qual deve ser o valor inicial mínimo do campo TTL para alcançar o Servidor1? Verifique na prática que a sua resposta está correta.

O valor inicial do campo TTL deverá ser 3. Na figura 3 podemos verificar que o valor mais baixo do TTL para o qual o pacote chega ao destino é 3.

D - Calcule o valor médio do tempo de ida-e-volta (Round-Trip Time) obtido?

O Round-Trip Time médio deverá ser 0.020 ms.

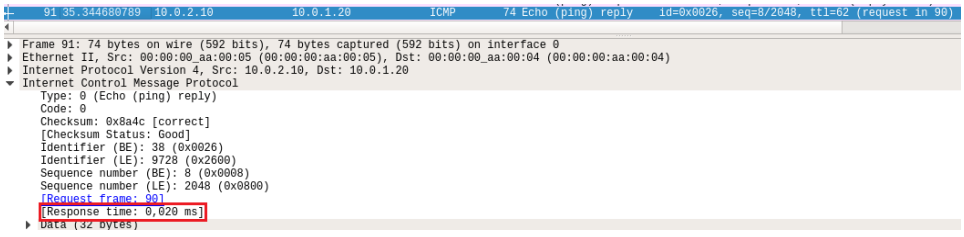


Figura 4: Round-Trip Time

1.2 Pergunta 2

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

Selecione a primeira mensagem ICMP capturada e centre a análise no nível protocolar IP. Através da análise do cabeçalho IP diga:

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

O endereço IP da interface ativa do nosso computador é 172.26.9.103.

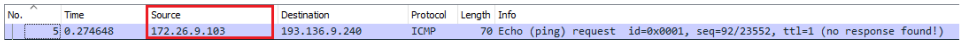


Figura 5: Endereço IP da interface ativa

B - Qual é o valor do campo protocolo? O que identifica?

O campo protocolo é igual a 1, referente ao protocolo ICMP (Internet Control Message Protocol).

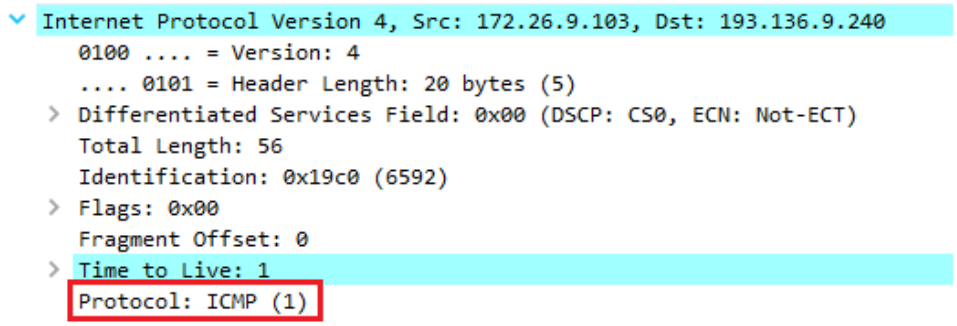


Figura 6: Valor do campo protocolo

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 IP(v4) tem 20 bytes.

O campo de dados tem um tamanho de 36 bytes. Este valor é calculado através da diferença do tamanho total (56 bytes) com o tamanho do cabeçalho (20 bytes).

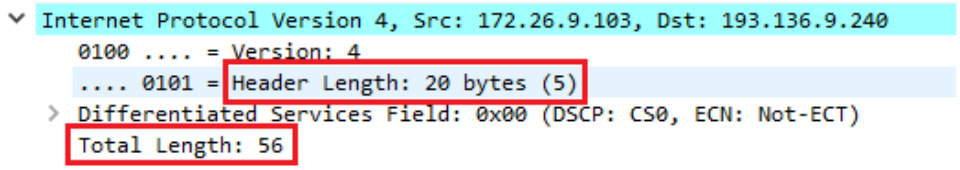


Figura 7: Header e Total Length

D - O datagrama IP foi fragmentado? Justifique.

O valor das flags e do offset é igual a 0, logo o pacote não foi fragmentado.

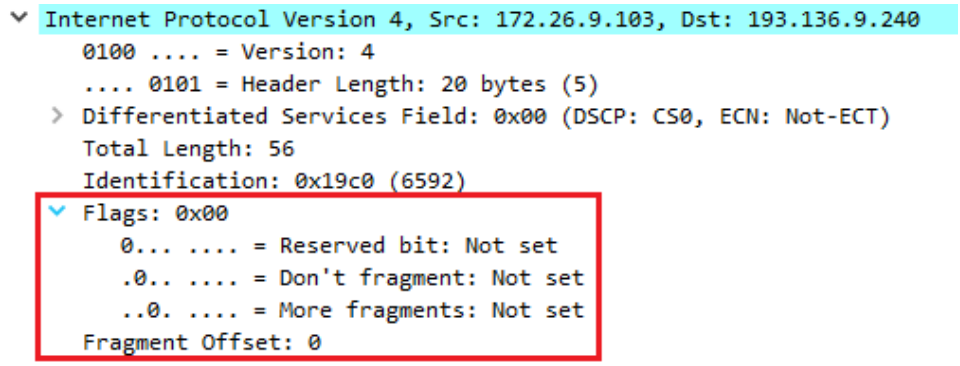
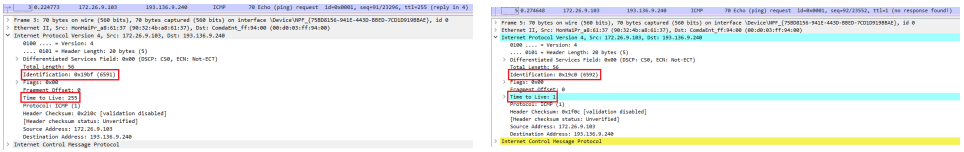


Figura 8: Flags e Offset

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.

Os campos do cabeçalho IP que variam são o campo de identificação e o TTL.



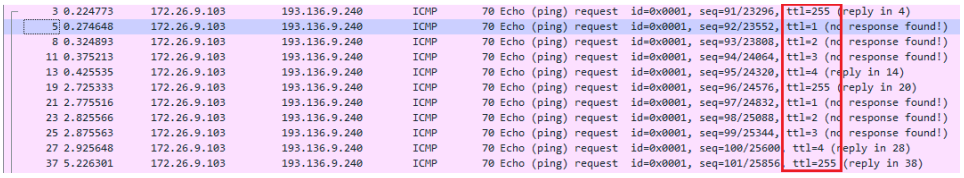
Pacote 1 Pacote 2

Figura 9: Exemplo de dois pacotes enviados pelo computador

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

Como se pode ver na Figura 9, referente a dois pacotes consecutivos, o campo de identificação é incrementado a cada pacote enviado.

Na Figura 10 verifica-se que o TTL também é incrementado a cada pacote enviado. No entanto, a cada 5 pacotes é enviado um pacote de teste (TTL = 255).



3	0.224773	172.26.9.103	193.136.9.240	ICMP	70 Echo (ping) request id=0x0001, seq=91/23296, ttl=255 (reply in 4)
5	0.274648	172.26.9.103	193.136.9.240	ICMP	70 Echo (ping) request id=0x0001, seq=92/23552, ttl=1 (no response found!)
8	0.324893	172.26.9.103	193.136.9.240	ICMP	70 Echo (ping) request id=0x0001, seq=93/23808, ttl=2 (no response found!)
11	0.375213	172.26.9.103	193.136.9.240	ICMP	70 Echo (ping) request id=0x0001, seq=94/24064, ttl=3 (no response found!)
13	0.425535	172.26.9.103	193.136.9.240	ICMP	70 Echo (ping) request id=0x0001, seq=95/24320, ttl=4 (reply in 14)
19	2.725333	172.26.9.103	193.136.9.240	ICMP	70 Echo (ping) request id=0x0001, seq=96/24576, ttl=255 (reply in 20)
21	2.775516	172.26.9.103	193.136.9.240	ICMP	70 Echo (ping) request id=0x0001, seq=97/24832, ttl=1 (no response found!)
23	2.825566	172.26.9.103	193.136.9.240	ICMP	70 Echo (ping) request id=0x0001, seq=98/25088, ttl=2 (no response found!)
25	2.875563	172.26.9.103	193.136.9.240	ICMP	70 Echo (ping) request id=0x0001, seq=99/25344, ttl=3 (no response found!)
27	2.925648	172.26.9.103	193.136.9.240	ICMP	70 Echo (ping) request id=0x0001, seq=100/25600, ttl=4 (reply in 28)
37	5.226301	172.26.9.103	193.136.9.240	ICMP	70 Echo (ping) request id=0x0001, seq=101/25856, ttl=255 (reply in 38)

Figura 10: Evolução do TTL

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?

A Figura 12 mostra os diferentes valores dos TTL. O primeiro pacote tem TTL=255, o segundo TTL=254 e o terceiro TTL=253. Isto deve-se ao facto dos TTL enviados pelo nosso router serem incrementados ao longo do tempo fazendo com que cheguem mais longe e saltem por mais routers. Quando é necessário enviar uma mensagem de erro os pacotes são enviados do router mais distante até ao nosso router. Sendo assim, quanto maior o TTL do pacote enviado, menor o TTL do pacote recebido (vindo do router que enviou a mensagem de erro), pois este último tem de passar por mais routers intermédios, tendo o seu TTL sido decrementado em cada um.

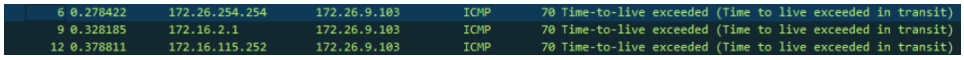


Figura 11: Pacotes ordenados por destino

1º Pacote 2º Pacote 3º Pacote

Figura 12: Exemplo de três pacotes consecutivos recebidos pelo computador

1.3 Pergunta 3

Pretende-se agora analisar a fragmentação de pacotes IP.

Observe o tráfego depois do tamanho de pacote ter sido definido para 32XX bytes.

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

O pacote inicial teve de ser fragmentado, pois este tem 3252 bytes e o MTU (Maximum Transport Unit) da rede é 1500 bytes. Assim, o pacote tem de ser fragmentado em três partes, para poder seguir nesta rede.

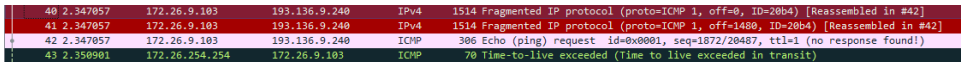


Figura 13: Primeira mensagem ICMP

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?

Pode-se concluir que o datagrama foi fragmentado, pois as flags têm um valor diferente de 0.

O facto de 'Fragment Offset' ser 0 e a flag 'More fragments' ser 1 indica que se trata do primeiro fragmento.

O tamanho deste datagrama IP é 1500 bytes.

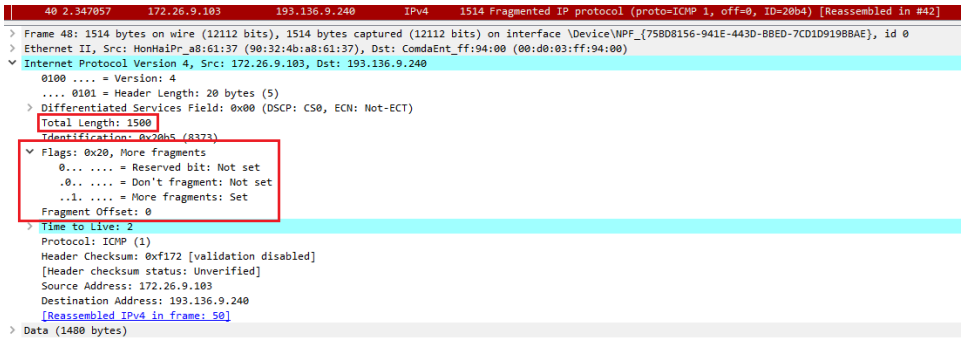


Figura 14: Primeiro fragmento do datagrama IP segmentado

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?

O 'Fragment Offset' é igual a 1480 (diferente de 0), logo não se trata do primeiro fragmento.

Como o datagrama tem a flag 'More Fragments' a 1, pode-se concluir que há mais fragmentos.

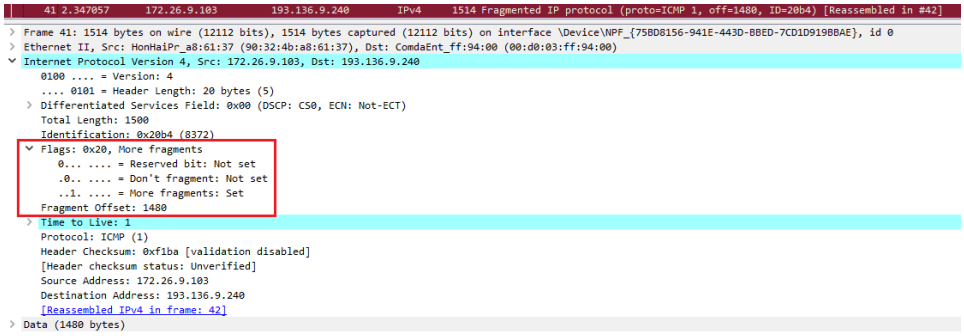


Figura 15: Segundo fragmento do datagrama IP segmentado

D - Quantos fragmentos foram criados a partir do datagrama original? Como se detecta o último fragmento correspondente ao datagrama original?

Foram criados 3 fragmentos a partir do datagrama original.

Sabe-se que este é o último fragmento do datagrama original, pois a flag 'More Fragments' está a 0 e o 'Fragment Offset' é diferente de 0.

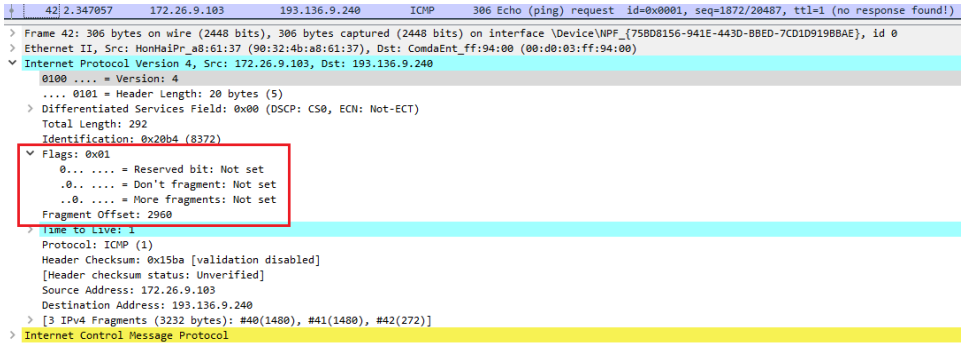


Figura 16: Último fragmento do datagrama IP segmentado

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 as flags 'More Fragments' e 'Fragment Offset'.

A flag 'More Fragments' indica se existem mais fragmentos. Já a flag 'Fragment Offset' permite identificar a posição do fragmento no datagrama original. Assim, é possível reconstruir o datagrama original juntando os fragmentos por ordem crescente do valor da flag 'Fragment Offset'.

2 Endereçamento e Encaminhamento IP

Considere que a organização MIEI-RC é constituída 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 (S1) na rede do departamento A e, pelo menos, dois laptops por departamento, interligados ao router respetivo através de um comutador (switch). S1 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 10 Gbps.

2.1 Pergunta 1

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.

A imagem seguinte ilustra os vários endereços IP e a respetiva máscara (255.255.255.0, ou /24 em notação CIDR) atribuídos pelo CORE a cada equipamento.

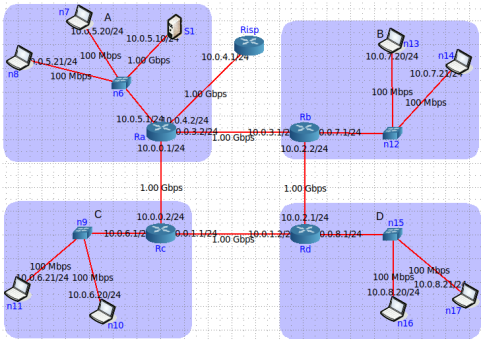


Figura 17: Topologia CORE

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

Tratam-se de endereços privados, pois pertencem à Classe A (endereços entre 10.0.0.0 e 10.255.255.255).

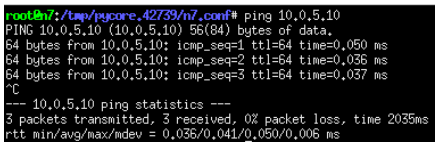
C - Porque razão não é atribuído um endereço IP aos switches?

O switch tem como principal função a interligação de equipamentos. Na primeira vez que um pacote é reencaminhado para um equipamento, o switch guarda o endereço MAC na sua tabela de endereços MAC (onde são guardados os endereços MAC dos equipamentos ligados a cada porta do switch).

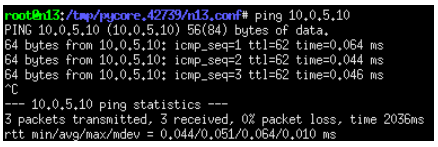
Através da informação contida na sua tabela de endereços MAC, o switch é capaz de fazer o redirecionamento de pacotes entre os equipamentos ligados a ele.

D - Usando o comando ping certifique-se que existe conectividade IP entre os laptops dos vários departamentos e o servidor do departamento A (basta certificar-se da conectividade de um laptop por departamento).

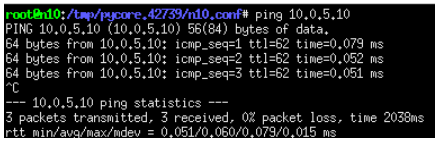
Como podemos ver pelas imagens seguintes, os equipamentos de cada departamento conseguem receber e enviar pacotes entre eles e o servidor do departamento C. Sendo assim, conclui-se que existe conectividade IP entre os mesmos.



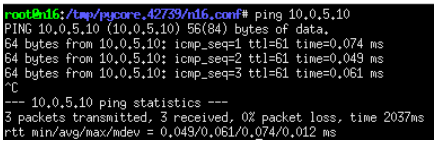
Departamento A



Departamento B



Departamento C



Departamento D

Figura 18: Ping dos departamentos para o servidor S1

E - Verifique se existe conectividade IP do router de acesso RISP para o servidor S1.

Usando o mesmo método da pergunta anterior, verifica-se que existe conectividade IP entre o router RISP e o servidor S1.

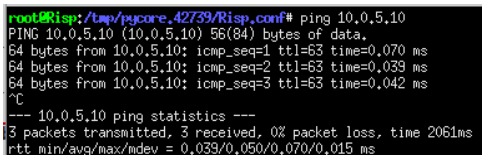


Figura 19: Ping do Router RISP para o servidor S1

2.2 Pergunta 2

Para o router e um laptop do departamento C:

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).

A tabela de encaminhamento do laptop tem duas entradas. A linha da coluna 'Destination' com valor 0.0.0.0 (default) informa que um pacote que pretenda ser enviado para uma rede desconhecida deve seguir pelo respetivo Gateway. A outra linha, com o valor 10.0.6.0, é usada quando se pretende enviar um pacote para a própria rede.

Figura 20: Tabela de encaminhamento do laptop

A tabela de encaminhamento do router contém as redes alcançáveis pelo router e os respetivos gateways. Quando o destino de um pacote corresponde a um dos valores da coluna 'Destination', o pacote é enviado pelo respetivo valor na coluna 'Gateway'.

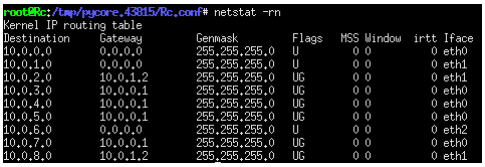


Figura 21: Tabela de encaminhamento do router

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).

No router, está a ser usado encaminhamento dinâmico, pois o comando "ps -ax" mostra que estão a correr processos com o protocolo OSPF e ZEBRA. No encaminhamento dinâmico os routers trocam informação de routing entre si, sendo as rotas atualizadas ao longo do tempo.

Figura 22: Processos a correr no router

Pelo contrário, no laptop o encaminhamento é estático, pois apenas estão a correr os processos básicos da máquina. No encaminhamento estático as rotas permanecem fixas e são baseadas nas rotas pré-definidas.

Figura 23: Processos a correr no laptop

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 S1 localizado no departamento A. Use o comando route delete para o efeito. Que implicações tem esta medida para os utilizadores da organização MIEI-RC que acedem ao servidor. Justifique.

Ao retirar a rota por defeito, o servidor S1 deixa de conseguir comunicar com equipamentos fora da sua rede (10.0.5.0). Isto acontece pois a tabela de encaminhamento do servidor passa a conter apenas informação de como enviar pacotes para a rede 10.0.5.0. Todos os pacotes com destino diferente são descartados, pois o servidor não sabe para onde os enviar.

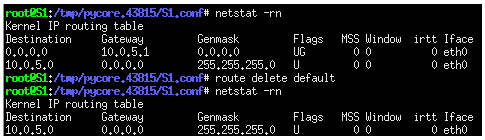


Figura 24: Tabela de encaminhamento do servidor S1

D - Adicione as rotas estáticas necessárias para restaurar a conectividade para o servidor S1, por forma a contornar a restrição imposta na alínea c). Utilize para o efeito o comando route add e registe os comandos que usou.

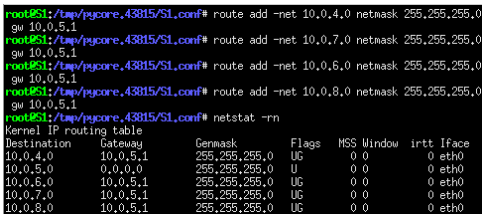
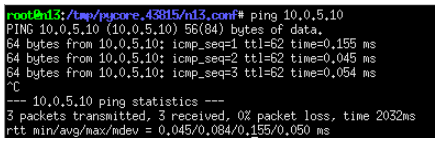


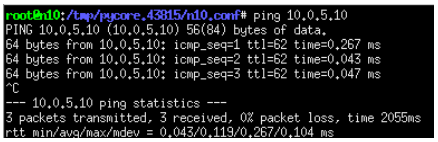
Figura 25: Rotas adicionadas para os departamentos e para o router de acesso

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.

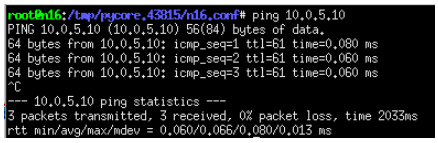
Nas imagens seguintes verifica-se que os diversos equipamentos (Laptops dos departamentos B, C e D e router RISP) conseguem transmitir pacotes com o servidor S1, concluindo-se que este está novamente acessível.



Departamento B



Departamento C



Departamento D

Router RISP

Figura 26: Ping dos departamentos e do router RISP para o servidor S1

3 Definição de Sub-redes

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

3.1 Pergunta 1

Considere que dispõe apenas do endereço de rede IP 130.XX.96.0/19, em que XX é o decimal correspondendo ao seu número de grupo (PLXX). Defina um novo esquema de endereçamento para as redes dos departamentos (mantendo a rede de acesso e core inalteradas) e atribua endereços às interfaces dos vários sistemas envolvidos. Assuma que todos os endereços de sub-redes são usáveis. Deve justificar as opções usadas.

O nosso endereço de rede é 130.52.96.0/19. Uma vez que temos uma máscara de 19 significa que a nossa rede pode usar todos os endereços entre 130.52.96.0 e 130.52.127.255.

Como temos 4 departamentos, são necessários 2 bits para conseguir atribuir um endereço a cada departamento (sub-netting). No entanto, é boa prática deixar um endereço disponível entre cada sub-rede, caso seja preciso aumentar o número de hosts de um departamento. Desta forma, garante-se que, à medida que os IPs aumentam, a ordem alfabética dos departamentos também.

Usando 3 bits, temos então 8 opções disponíveis para fazer sub-netting. Assim, distribuímos os endereços seguindo o modelo **130.52.011XXX00.0**, em que XXX são os bits atribuídos a cada departamento.

000	Dep A
001	Livre (Dep A)
010	Dep B
011	Livre (Dep B)
100	Dep C
101	Livre (Dep C)
110	Dep D
111	Livre (Dep D)

Tabela 1: Bits atribuídos a cada departamento

Dep.	IP	IP inicial	IP final
A	130.52.96.0/22	130.52.96.0	130.52.99.255
B	130.52.104.0/22	130.52.104.0	130.52.107.255
C	130.52.112.0/22	130.52.112.0	130.52.115.255
D	130.52.120.0/22	130.52.120.0	130.52.123.255

Tabela 2: IPs de host para cada departamento

Assim, conseguimos atribuir um IP a cada equipamento, dentro do intervalo disponibilizado para cada departamento (exceto os IPs com tudo a 0 e tudo a 1).

Dep A	**IP atribuído**	**Dep B**	**IP atribuído**
n7	130.52.96.2/22	n13	130.52.104.2/22
n8	130.52.96.3/22	n14	130.52.104.3/22
S1	130.52.96.4/22	Rb	130.52.104.1/22
Ra	130.52.96.1/22	-	-
Dep C	**IP atribuído**	**Dep D**	**IP atribuído**
n10	130.52.112.2/22	n16	130.52.120.2/22
n11	130.52.112.3/22	n17	130.52.120.3/22
Rc	130.52.112.1/22	Rd	130.52.120.1/22

Tabela 3: Endereços atribuídos aos equipamentos dos departamentos

3.2 Pergunta 2

Qual a máscara de rede que usou (em formato decimal)? Quantos hosts IP pode interligar em cada departamento? Justifique.

Sendo que reservamos 3 bits para sub-netting, a nossa máscara passa de 19 para 22 bits, logo, em formato decimal, 255.255.252.0.

Como a máscara ocupa 22 bits, ficam disponíveis 10 bits. O número de hosts IP que se pode interligar em cada departamento é igual a: $2^{10} - 2$, em que '10' são os bits disponíveis e '2' são os IPs com tudo a 0 e tudo a 1. Assim ficam disponíveis 1022 IPs para cada departamento.

3.3 Pergunta 3

Garanta e verifique que conectividade IP entre as várias redes locais da organização MIEI-RC é mantida. Explique como procedeu.

Começamos por atribuir o endereço IP manualmente a cada equipamento, seguindo os valores da Tabela 3 (Figura 27). Depois, para verificar a conectividade, usamos o comando ping de n7 para um laptop de cada departamento (Figura 28).

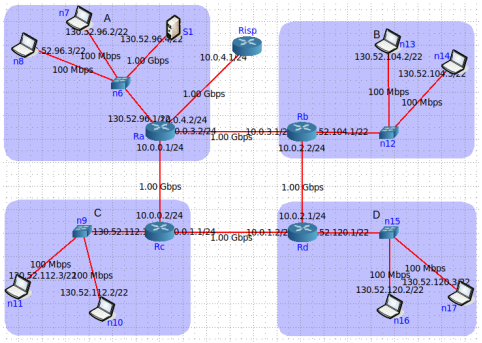


Figura 27: Topologia CORE com IPs atribuídos manualmente

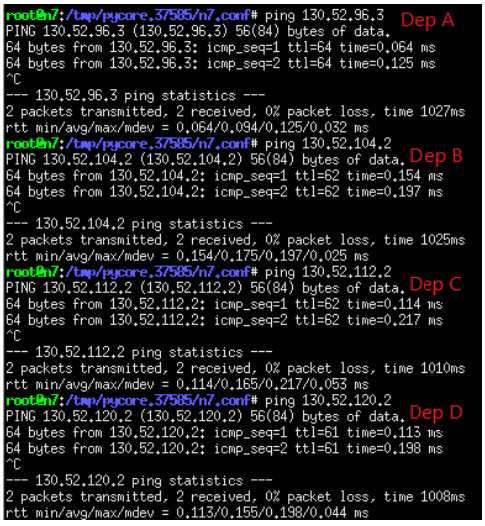


Figura 28: Ping de um laptop do Dep A (n7) para um laptop de cada departamento

4 Conclusão

Na primeira parte do trabalho, foi feita uma análise ao protocolo IPv4. Para tal, realizamos uma topologia CORE e analisamos o tráfego ICMP referente. Para além disso, estudamos o caso particular da fragmentação de pacotes IPv4. Nesta parte do trabalho, consolidamos os nossos conhecimentos sobre a transmissão de pacotes entre vários equipamentos ligados a uma rede, em específico, usando o protocolo IPv4.

Na segunda parte, construímos outra topologia CORE, com 4 departamentos distintos, de forma a estudar o comportamento destes entre si, nomeadamente das rotas que os pacotes seguem. Vimos ainda como poderíamos manipular endereços IP, podendo assim criar sub-redes personalizadas. Nesta parte, percebemos melhor como funcionam as interações entre sub-redes e aprendemos a manipular as rotas entre estas. Deparamo-nos, ainda, com a dificuldade de atribuir endereços IP manualmente a equipamentos de sub-redes.