



UNIVERSIDADE DO MINHO | 2020/2021

ENCAMINHAMENTO MULTICAST

ENCAMINHAMENTO DE TRÁFEGO EM REDES IP

GRUPO 1:

André Gonçalo Ribeiro da Silva Lopes.....A75363

Jorge Manuel de Almeida e Sousa.....A74230

Leandro Henrique Dantas Alves.....A82157

1 Topologia

Neste trabalho prático foram realizadas algumas modificações na topologia da rede do sistema autónomo AS65100, para tornar esta mais complexa para o encaminhamento de tráfego *multicast*. A topologia e o cenário experimental estão representados na Figura 1 e Figura 2 , respetivamente.

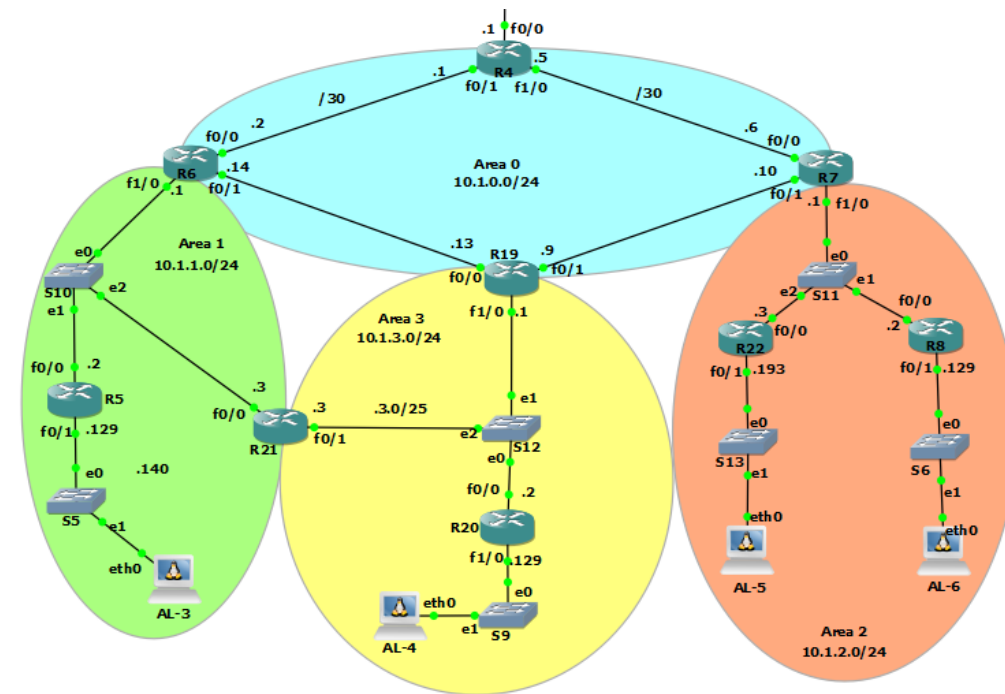


Figura 1 - Topologia física

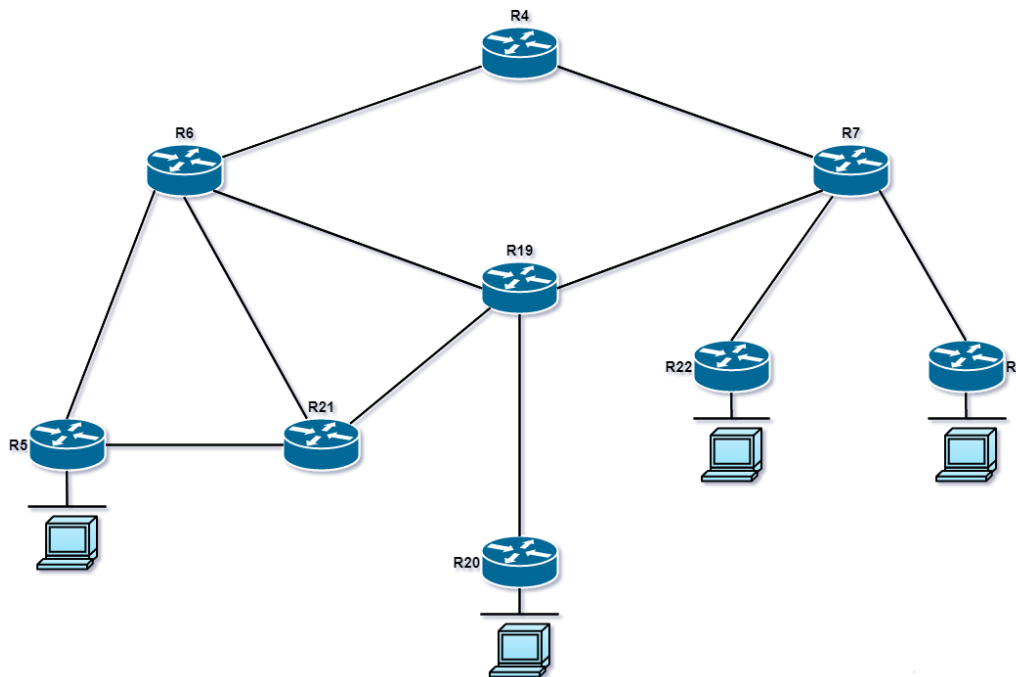


Figura 2 - Cenário experimental AS65100

1 PIM-SSM Intra-Domínio

Nesta fase, foi aplicado o protocolo PIM (*Protocol Independent Multicast*) com SSM (*Source-specific multicast*) para encaminhar o tráfego *multicast*, através dos seguintes comandos globais:

- **ip routing-multicast** – ativar o *multicast*
- **ip pim ssm default** – configurar o serviço SSM com a gama de rede 232/8

Teve-se ainda de configurar cada interface para que suportassem o protocolo PIM e o método SSM, através dos seguintes comandos:

- **ip pim sparse-mode**
- **ip igmp version 3** – só aplicado nas interfaces com sistemas terminais

Na Figura 3, podemos verificar a aplicação dos comandos descritos anteriormente.

```
hostname R20
!
no ip domain lookup
ip multicast-routing
!
interface FastEthernet0/0
ip address 10.1.3.2 255.255.255.128
ip pim sparse-mode
ip ospf message-digest-key 1 md5 grupo1
duplex auto
speed auto
!
interface FastEthernet1/0
ip address 10.1.3.129 255.255.255.128
ip pim sparse-mode
ip igmp version 3
ip ospf message-digest-key 1 md5 group1
duplex auto
speed auto
!
no ip http server
no ip http secure-server
ip pim ssm default
!
```

Figura 3 - Configuração de um router da topologia

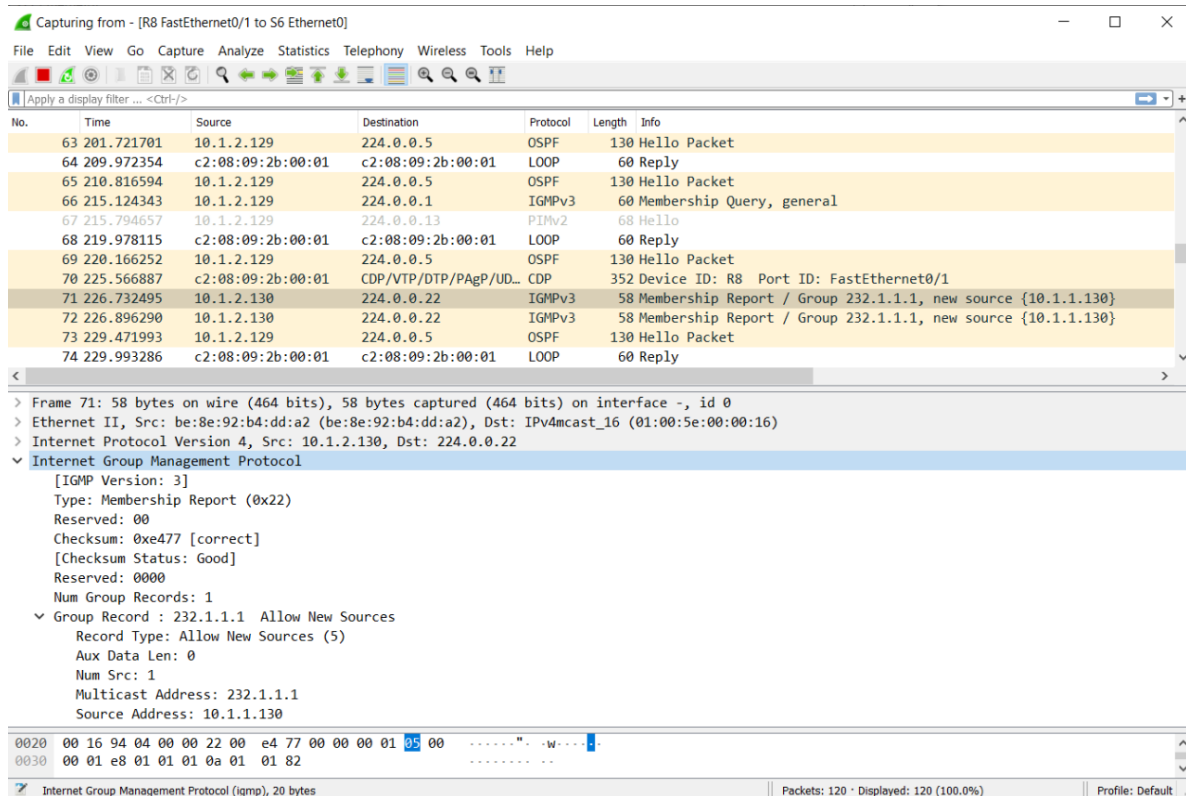
Para testar o *multicast*, foi definido como fonte, o sistema terminal AL-3 do *router* R5 e, como recetores, os sistemas terminais restantes (AL-4, AL-5 e AL-6).

Para juntar um sistema terminal ao grupo *multicast* utilizou-se a ferramenta *iperf* com a seguinte estrutura:

- **iperf -s -u -B [endereço_multicast]-H [source] -i 1**

Começamos por juntar, primeiro o sistema terminal AL-6, cujo endereço IP é 120.1.2.130, e por fim o AL-5 e AL-4. Quando um sistema terminal, neste caso, o AL-6, se quiser juntar a um grupo

multicast de uma respetiva fonte, fá-lo através do envio de uma mensagem **IGMPv3 Membership Report** do tipo *Allow New Sources*, representado na Figura 4, indicando a fonte e o grupo *multicast* a que se quer juntar, conjunto designado por canal. O *router* R8, envia uma mensagem **PIM join**, que vai ser encaminhada até ao *router* da fonte, com a ajuda da tabela *unicast*, como podemos ver através da Figura 5 e Figura 6. Fica assim concluída a construção da árvore da fonte.



Capturing from - [R8 FastEthernet0/1 to S6 Ethernet0]

File Edit View Go Capture Analyze Statistics Telephony Wireless Tools Help

Apply a display filter ... <Ctrl-/>

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
63	201.721701	10.1.2.129	224.0.0.5	OSPF	130	Hello Packet
64	209.972354	c2:08:09:2b:00:01	c2:08:09:2b:00:01	LOOP	60	Reply
65	210.816594	10.1.2.129	224.0.0.5	OSPF	130	Hello Packet
66	215.124343	10.1.2.129	224.0.0.1	IGMPv3	60	Membership Query, general
67	215.794657	10.1.2.129	224.0.0.13	PIMv2	68	Hello
68	219.978115	c2:08:09:2b:00:01	c2:08:09:2b:00:01	LOOP	60	Reply
69	220.166252	10.1.2.129	224.0.0.5	OSPF	130	Hello Packet
70	225.566887	c2:08:09:2b:00:01	CDP/VTP/DTP/PAgP/UDL	CDP	352	Device ID: R8 Port ID: FastEthernet0/1
71	226.732495	10.1.2.130	224.0.0.22	IGMPv3	58	Membership Report / Group 232.1.1.1, new source {10.1.1.130}
72	226.896290	10.1.2.130	224.0.0.22	IGMPv3	58	Membership Report / Group 232.1.1.1, new source {10.1.1.130}
73	229.471993	10.1.2.129	224.0.0.5	OSPF	130	Hello Packet
74	229.993286	c2:08:09:2b:00:01	c2:08:09:2b:00:01	LOOP	60	Reply

> Frame 71: 58 bytes on wire (464 bits), 58 bytes captured (464 bits) on interface -, id 0
> Ethernet II, Src: be:8e:92:b4:dd:a2 (be:8e:92:b4:dd:a2), Dst: IPv4mcast_16 (01:00:5e:00:00:16)
> Internet Protocol Version 4, Src: 10.1.2.130, Dst: 224.0.0.22
v Internet Group Management Protocol
[IGMP Version: 3]
Type: Membership Report (0x22)
Reserved: 00
Checksum: 0xe477 [correct]
[Checksum Status: Good]
Reserved: 0000
Num Group Records: 1
v Group Record : 232.1.1.1 Allow New Sources
Record Type: Allow New Sources (5)
Aux Data Len: 0
Num Src: 1
Multicast Address: 232.1.1.1
Source Address: 10.1.1.130

0020 00 16 94 04 00 00 22 00 e4 77 00 00 00 01 05 00W....
0030 00 01 e8 01 01 01 0a 01 01 82
Internet Group Management Protocol (igmp), 20 bytes | Packets: 120 · Displayed: 120 (100.0%) | Profile: Default

Figura 4 - Captura Wireshark da mensagem IGMPv3 entre sistema terminal AL-6 e o *router* da interface R8

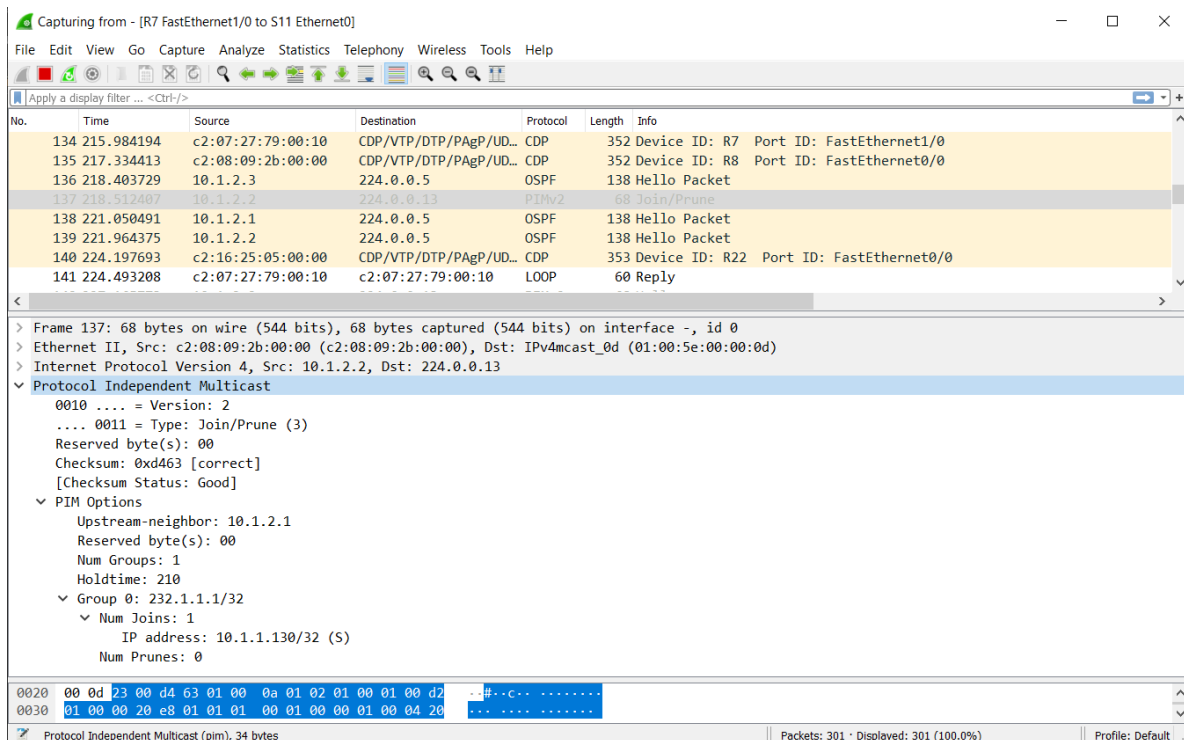


Figura 5 - Captura *Wireshark* da mensagem PIM *join* entre o router R7 e o router da interface do sistema terminal AL-6

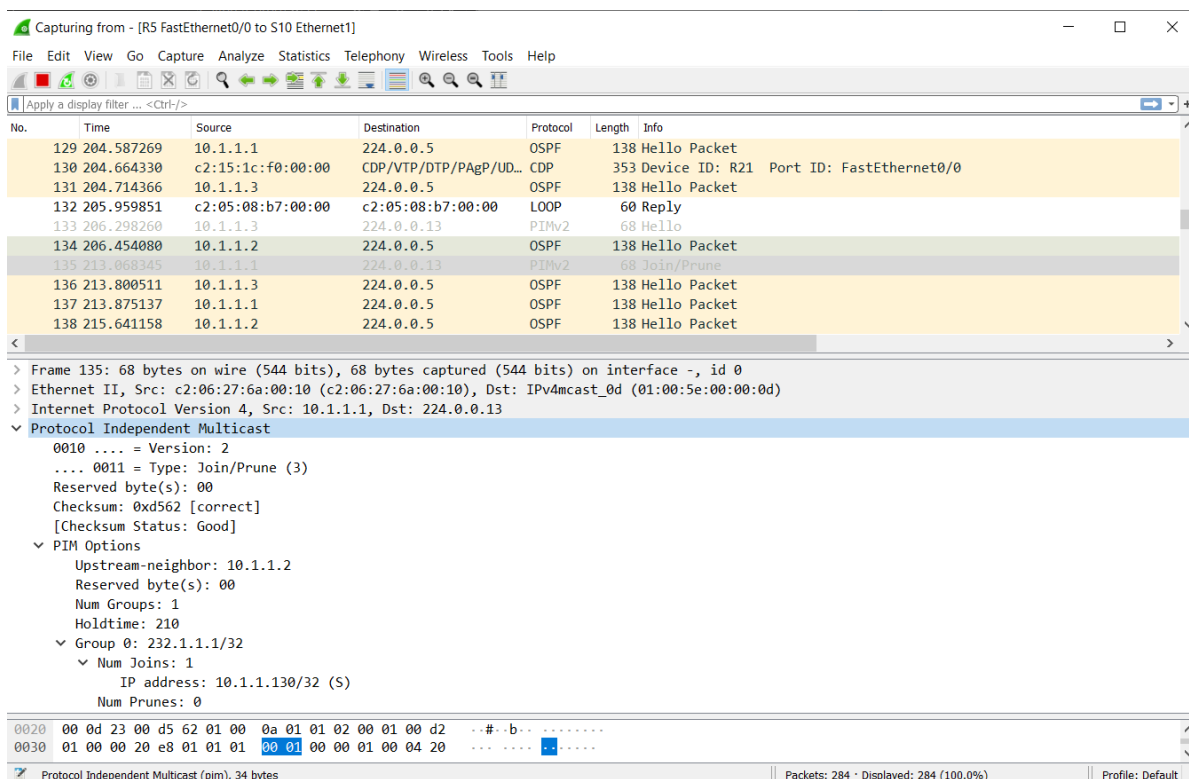


Figura 6 - Captura *Wireshark* da mensagem PIM *join* antes de chegar ao router da interface R5 da fonte AL-4

Já a fonte, caso queira se juntar ao grupo *multicast*, apenas tem de gerar tráfego para o grupo, que vai ser encaminhado até aos seus recetores através da árvore construída.

Com a ajuda das tabelas de encaminhamento *multicast* dos *routers* R5, R6, R19, R7 e R8, representadas nas Figura 7, Figura 8, Figura 9, Figura 10 e Figura 11, respetivamente, foi possível desenhar a árvore *multicast* criada, representada na Figura 12.

```
IP Multicast Routing Table
Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group, C - Connected,
       L - Local, P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag,
       T - SPT-bit set, J - Join SPT, M - MSDP created entry,
       X - Proxy Join Timer Running, A - Candidate for MSDP Advertisement,
       U - URD, I - Received Source Specific Host Report,
       Z - Multicast Tunnel, z - MDT-data group sender,
       Y - Joined MDT-data group, y - Sending to MDT-data group
Outgoing interface flags: H - Hardware switched, A - Assert winner
Timers: Uptime/Expires
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode

(10.1.1.130, 232.1.1.1), 00:19:27/00:03:15, flags: sT
Incoming interface: FastEthernet0/1, RPF nbr 0.0.0.0
Outgoing interface list:
FastEthernet0/0, Forward/Sparse, 00:00:14/00:03:15
```

Figura 7 - Tabela *multicast* do *router* R5

```
IP Multicast Routing Table
Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group, C - Connected,
       L - Local, P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag,
       T - SPT-bit set, J - Join SPT, M - MSDP created entry,
       X - Proxy Join Timer Running, A - Candidate for MSDP Advertisement,
       U - URD, I - Received Source Specific Host Report,
       Z - Multicast Tunnel, z - MDT-data group sender,
       Y - Joined MDT-data group, y - Sending to MDT-data group
Outgoing interface flags: H - Hardware switched, A - Assert winner
Timers: Uptime/Expires
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode

(10.1.1.130, 232.1.1.1), 00:00:02/00:03:27, flags: sT
Incoming interface: FastEthernet1/0, RPF nbr 10.1.1.2
Outgoing interface list:
FastEthernet0/1, Forward/Sparse, 00:00:02/00:03:27
```

Figura 8 - Tabela *multicast* do *router* R6

```

IP Multicast Routing Table
Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group, C - Connected,
       L - Local, P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag,
       T - SPT-bit set, J - Join SPT, M - MSDP created entry,
       X - Proxy Join Timer Running, A - Candidate for MSDP Advertisement,
       U - URD, I - Received Source Specific Host Report,
       Z - Multicast Tunnel, z - MDT-data group sender,
       Y - Joined MDT-data group, y - Sending to MDT-data group
Outgoing interface flags: H - Hardware switched, A - Assert winner
Timers: Uptime/Expires
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode

(10.1.1.130, 232.1.1.1), 00:00:18/00:03:11, flags: sT
Incoming interface: FastEthernet0/0, RPF nbr 10.1.0.14
Outgoing interface list:
FastEthernet0/1, Forward/Sparse, 00:00:18/00:03:11

```

Figura 9 - Tabela *multicast* do router R19

```

IP Multicast Routing Table
Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group, C - Connected,
       L - Local, P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag,
       T - SPT-bit set, J - Join SPT, M - MSDP created entry,
       X - Proxy Join Timer Running, A - Candidate for MSDP Advertisement,
       U - URD, I - Received Source Specific Host Report,
       Z - Multicast Tunnel, z - MDT-data group sender,
       Y - Joined MDT-data group, y - Sending to MDT-data group
Outgoing interface flags: H - Hardware switched, A - Assert winner
Timers: Uptime/Expires
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode

(10.1.1.130, 232.1.1.1), 00:19:37/00:03:05, flags: sT
Incoming interface: FastEthernet0/1, RPF nbr 10.1.0.9
Outgoing interface list:
FastEthernet1/0, Forward/Sparse, 00:00:24/00:03:05

```

Figura 10 - Tabela *multicast* do router R7

```

IP Multicast Routing Table
Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group, C - Connected,
       L - Local, P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag,
       T - SPT-bit set, J - Join SPT, M - MSDP created entry,
       X - Proxy Join Timer Running, A - Candidate for MSDP Advertisement,
       U - URD, I - Received Source Specific Host Report,
       Z - Multicast Tunnel, z - MDT-data group sender,
       Y - Joined MDT-data group, y - Sending to MDT-data group
Outgoing interface flags: H - Hardware switched, A - Assert winner
Timers: Uptime/Expires
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode

(10.1.1.130, 232.1.1.1), 00:00:29/00:02:30, flags: sTI
Incoming interface: FastEthernet0/0, RPF nbr 10.1.2.1
Outgoing interface list:
FastEthernet0/1, Forward/Sparse, 00:00:29/00:02:30

```

Figura 11 - Tabela *multicast* do router R8

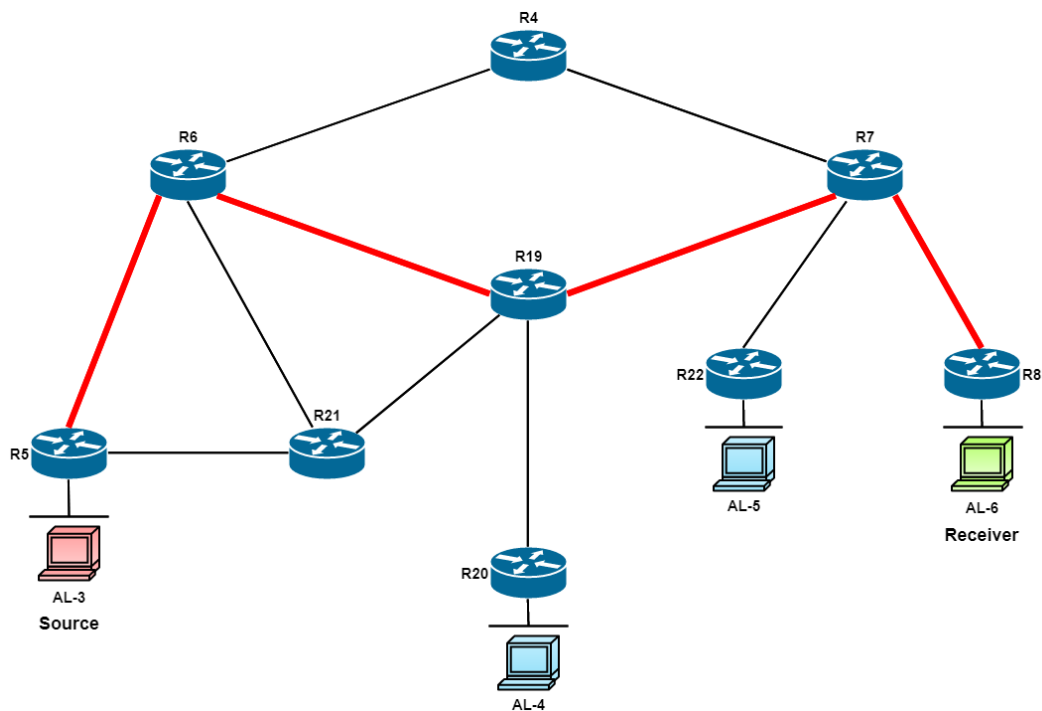


Figura 12 - Árvore da fonte construída apenas com uma fonte e um recetor

No caso de o emissor abandonar a árvore, esta manter-se-á construída pois o emissor não afeta a construção da mesma, o mesmo não acontece com o recetor. Se o recetor abandonar a árvore, envia uma mensagem **IGMPv3 Membership Report**, mas do tipo *Block Old Sources*, representada na Figura 13, para o *router* da interface. A partir deste momento, a árvore fica destruída, pois os *routers* que a constituíam não conseguem encaminhar o tráfego *multicast* até ao recetor. Como podemos verificar através do campo de interface de saída com valor nulo, nas tabelas de *multicast* dos *routers*. Na Figura 14 está representado um exemplo dessas tabelas.

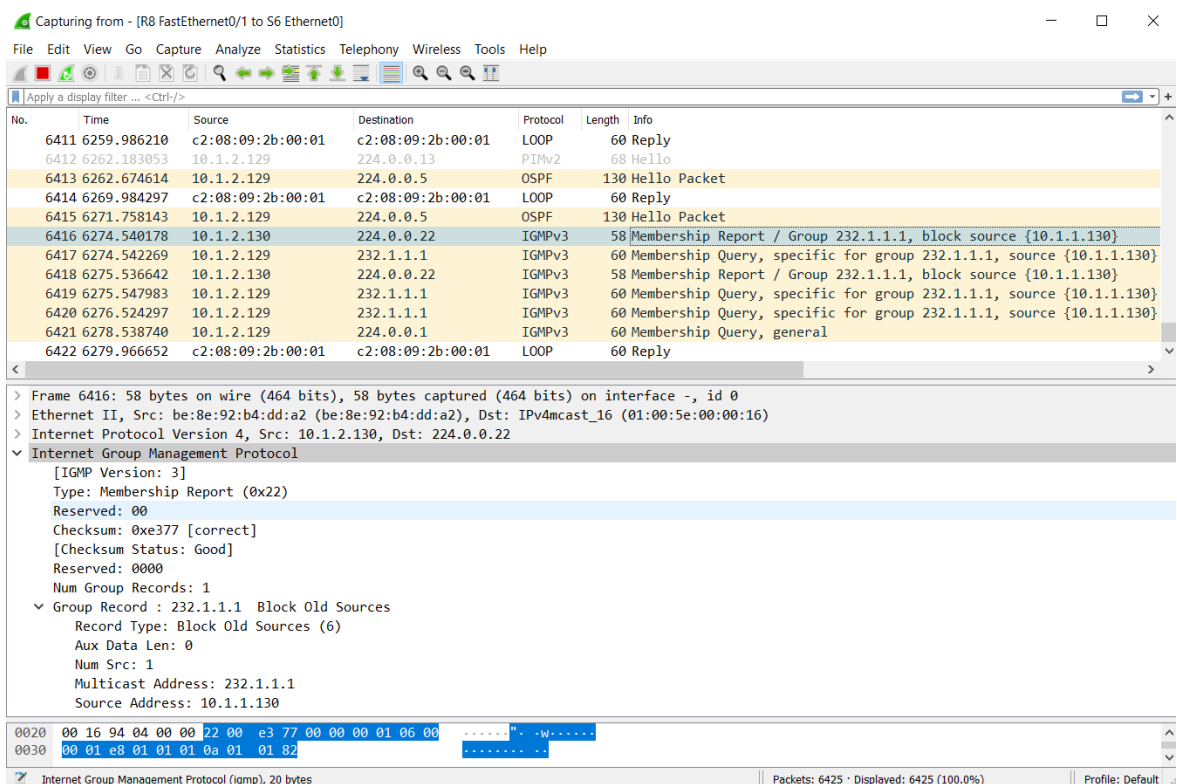


Figura 13 - Captura Wireshark de uma mensagem IGMPv3 membership do tipo *Block Old Sources*

```

IP Multicast Routing Table
Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group, C - Connected,
       L - Local, P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag,
       T - SPT-bit set, J - Join SPT, M - MSDP created entry,
       X - Proxy Join Timer Running, A - Candidate for MSDP Advertisement,
       U - URD, I - Received Source Specific Host Report,
       Z - Multicast Tunnel, z - MDT-data group sender,
       Y - Joined MDT-data group, y - Sending to MDT-data group
Outgoing interface flags: H - Hardware switched, A - Assert winner
Timers: Uptime/Expires
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode

(10.1.1.130, 232.1.1.1), 00:28:23/00:02:24, flags: sPT
Incoming interface: FastEthernet0/0, RPF nbr 10.1.2.1
Outgoing interface list: Null

```

Figura 14 - Tabela *multicast* de um *router* da árvore após o recetor ter abandonado

2 PIM-SM Intra-Domínio

Nesta fase, foi aplicado o protocolo PIM com *Sparse Mode* e, ao contrário da fase anterior, é necessário o uso de um RP (*Rendezvous Point*), pois o método SSM eliminava o seu uso. Devido a esta necessidade foi configurado como RP, o *router* R19, através dos seguintes comandos:

- `ip pim bsr-candidate [interface]`
- `ip pim rp-candidate [interface]`

Após configurado o *router* R19, como sendo o RP, iniciou-se a transmissão *multicast*.

Para um primeiro teste, foram apenas utilizados uma fonte e um recetor, AL-6 e AL-4. Quando o emissor AL-6 começa a enviar tráfego *multicast* para o grupo **239.4.4.4**, o *router* da interface deste emissor tem de avisar o RP de que há fontes a transmitir através de mensagens **PIM Register**. O RP responde com mensagens **PIM Register Stop**, como podemos ver na Figura 15, para concluir o processo. A partir deste momento, os *routers* envolvidos neste processo, ou seja, o *router* R8 e R19 construíram duas tabelas *multicast*, uma sendo a árvore partilhada e outra a árvore da fonte. Nas Figura 16, Figura 17 estão representadas as tabelas construídas pelos *routers* envolvidos.

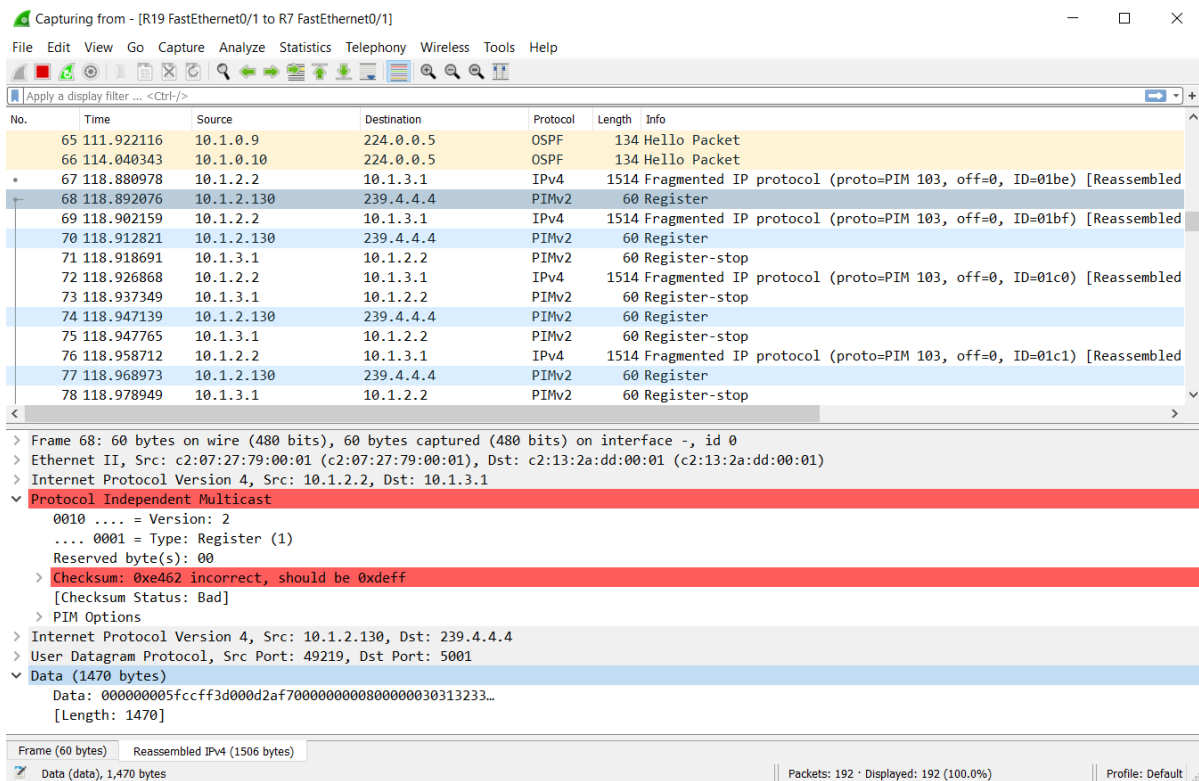


Figura 15 - Captura *Wireshark* de mensagens PIM Register/Register Stop entre o RP e o *router* da interface

```

IP Multicast Routing Table
Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group, C - Connected,
       L - Local, P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag,
       T - SPT-bit set, J - Join SPT, M - MSDP created entry,
       X - Proxy Join Timer Running, A - Candidate for MSDP Advertisement,
       U - URD, I - Received Source Specific Host Report,
       Z - Multicast Tunnel, z - MDT-data group sender,
       Y - Joined MDT-data group, y - Sending to MDT-data group
Outgoing interface flags: H - Hardware switched, A - Assert winner
Timers: Uptime/Expires
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode

(*, 239.4.4.4), 00:02:22/stopped, RP 10.1.3.1, flags: SPF
  Incoming interface: FastEthernet0/0, RPF nbr 10.1.2.1
  Outgoing interface list: Null

(10.1.2.130, 239.4.4.4), 00:02:22/00:00:40, flags: PFT
  Incoming interface: FastEthernet0/1, RPF nbr 0.0.0.0
  Outgoing interface list: Null

```

Figura 16 - Tabela *multicast* do router R8

```

IP Multicast Routing Table
Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group, C - Connected,
       L - Local, P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag,
       T - SPT-bit set, J - Join SPT, M - MSDP created entry,
       X - Proxy Join Timer Running, A - Candidate for MSDP Advertisement,
       U - URD, I - Received Source Specific Host Report,
       Z - Multicast Tunnel, z - MDT-data group sender,
       Y - Joined MDT-data group, y - Sending to MDT-data group
Outgoing interface flags: H - Hardware switched, A - Assert winner
Timers: Uptime/Expires
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode

(*, 239.4.4.4), 00:02:15/stopped, RP 10.1.3.1, flags: SP
  Incoming interface: Null, RPF nbr 0.0.0.0
  Outgoing interface list: Null

(10.1.2.130, 239.4.4.4), 00:02:15/00:00:44, flags: P
  Incoming interface: FastEthernet0/1, RPF nbr 10.1.0.10
  Outgoing interface list: Null

```

Figura 17 - Tabela *multicast* do router R19

No *router* R19, ou seja o *router* definido como RP, a árvore partilhada não tem qualquer informação sobre as interfaces de entrada e saída, porque ainda não existem membros recetores para o grupo *multicast* definido. Já a árvore da fonte, tem, pelo menos, interface de entrada, pois já existem fontes a transmitir. O mesmo não acontece na árvore partilhada do *router* R8, pois o RP serve como um recetor.

Nos recetores, o processo de junção ao grupo *multicast* é idêntico ao das fontes. Começa pelo envio de mensagens **IGMP Membership Report / Join** para o *router* R20, como podemos ver na Figura 18. Ao receber esta mensagem, o *router* envia uma mensagem **PIM Join**, representada na Figura 19, que vai ser encaminhada até ao RP. Depois de esta troca de mensagens, as tabelas *multicast* estão construídas e representadas nas Figura 20, Figura 21 e Figura 22. Os *routers* Cisco que estejam com o protocolo PIM-SM ativo, no final de determinarem a fonte de um grupo *multicast*, eles criam uma árvore da fonte, entre a fonte e o recetor, para melhor eficiência. Por esta razão, aplicamos o comando **ip pim spt-threshold infinity** para remover a criação desta nova árvore, de modo a se ter apenas uma árvore entre o RP e os recetores.

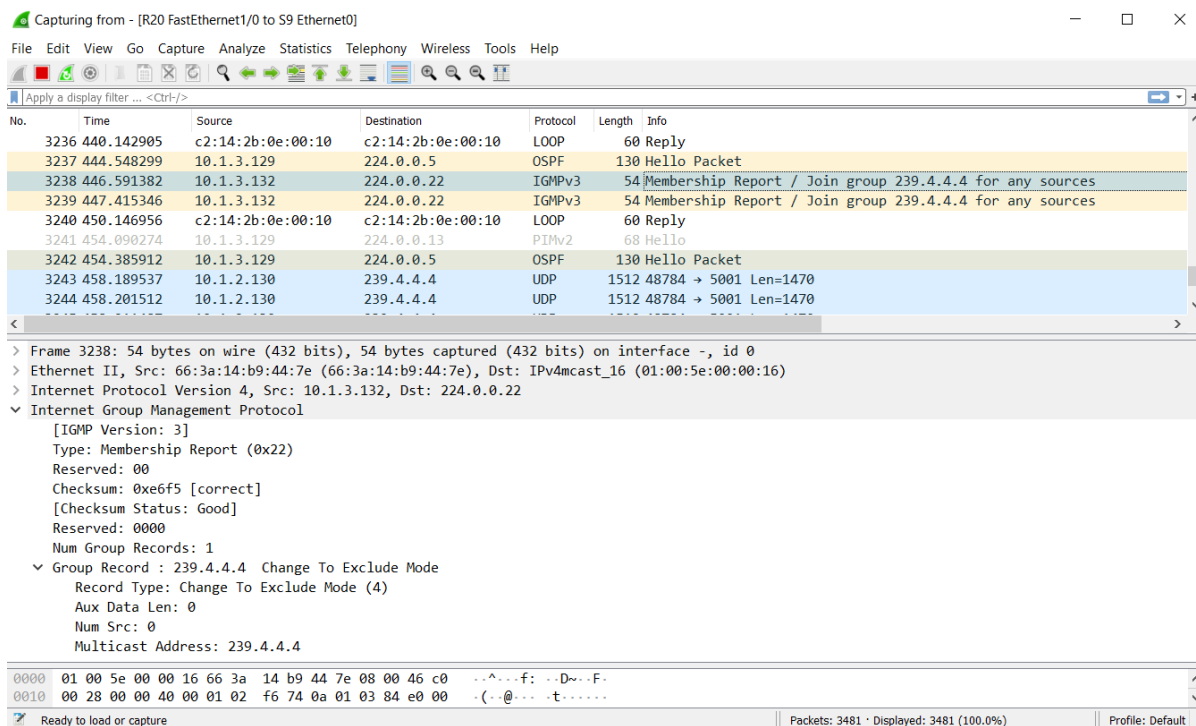


Figura 18 - Captura Wireshark da mensagem IGMP entre sistema terminal AL-4 e o router da interface R20

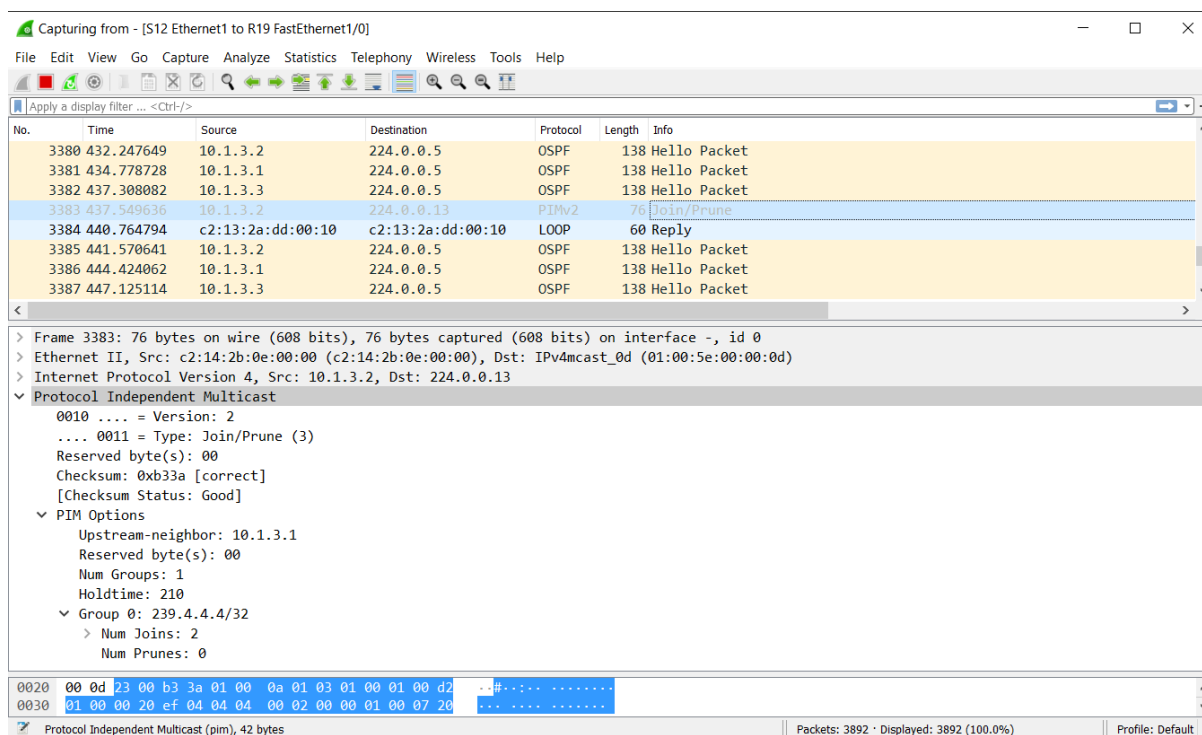


Figura 19 - Captura Wireshark da mensagem PIM join do router da interface R20 para o RP

```

IP Multicast Routing Table
Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group, C - Connected,
       L - Local, P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag,
       T - SPT-bit set, J - Join SPT, M - MSDP created entry,
       X - Proxy Join Timer Running, A - Candidate for MSDP Advertisement,
       U - URD, I - Received Source Specific Host Report,
       Z - Multicast Tunnel, z - MDT-data group sender,
       Y - Joined MDT-data group, y - Sending to MDT-data group
Outgoing interface flags: H - Hardware switched, A - Assert winner
Timers: Uptime/Expires
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode

(*, 239.4.4.4), 00:00:05/stopped, RP 10.1.3.1, flags: SPF
  Incoming interface: FastEthernet0/0, RPF nbr 10.1.2.1
  Outgoing interface list: Null

(10.1.2.130, 239.4.4.4), 00:00:05/00:02:55, flags: FT
  Incoming interface: FastEthernet0/1, RPF nbr 0.0.0.0
  Outgoing interface list:
    FastEthernet0/0, Forward/Sparse, 00:00:02/00:03:27

```

Figura 20 - Tabela *multicast* final do router R8

```

IP Multicast Routing Table
Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group, C - Connected,
       L - Local, P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag,
       T - SPT-bit set, J - Join SPT, M - MSDP created entry,
       X - Proxy Join Timer Running, A - Candidate for MSDP Advertisement,
       U - URD, I - Received Source Specific Host Report,
       Z - Multicast Tunnel, z - MDT-data group sender,
       Y - Joined MDT-data group, y - Sending to MDT-data group
Outgoing interface flags: H - Hardware switched, A - Assert winner
Timers: Uptime/Expires
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode

(*, 239.4.4.4), 00:00:20/00:03:12, RP 10.1.3.1, flags: S
  Incoming interface: Null, RPF nbr 0.0.0.0
  Outgoing interface list:
    FastEthernet1/0, Forward/Sparse, 00:00:17/00:03:12

(10.1.2.130, 239.4.4.4), 00:00:20/00:03:24, flags: T
  Incoming interface: FastEthernet0/1, RPF nbr 10.1.0.10
  Outgoing interface list:
    FastEthernet1/0, Forward/Sparse, 00:00:17/00:03:12

```

Figura 21 - Tabela *multicast* final do router R19

```

IP Multicast Routing Table
Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group, C - Connected,
       L - Local, P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag,
       T - SPT-bit set, J - Join SPT, M - MSDP created entry,
       X - Proxy Join Timer Running, A - Candidate for MSDP Advertisement,
       U - URD, I - Received Source Specific Host Report,
       Z - Multicast Tunnel, z - MDT-data group sender,
       Y - Joined MDT-data group, y - Sending to MDT-data group
Outgoing interface flags: H - Hardware switched, A - Assert winner
Timers: Uptime/Expires
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode

(*, 239.4.4.4), 00:00:26/00:02:59, RP 10.1.3.1, flags: SC
  Incoming interface: FastEthernet0/0, RPF nbr 10.1.3.1
  Outgoing interface list:
    FastEthernet1/0, Forward/Sparse, 00:00:26/00:02:34

```

Figura 22 - Tabela *multicast* final do *router* R20

Finalizado este primeiro teste, que teve como objetivo saber como as árvores são contruídas e que troca de mensagens ocorrem entre os *routers*, testamos com todos os sistemas terminais (duas fontes e três recetores), como pedido no enunciado. Nas seguintes figuras estão representadas as tabelas *multicast* dos *routers* envolvidos e as árvores criadas presentes na Figura 30.

```

R8#sh ip mr 239.4.4.4
IP Multicast Routing Table
Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group, C - Connected,
       L - Local, P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag,
       T - SPT-bit set, J - Join SPT, M - MSDP created entry,
       X - Proxy Join Timer Running, A - Candidate for MSDP Advertisement,
       U - URD, I - Received Source Specific Host Report,
       Z - Multicast Tunnel, z - MDT-data group sender,
       Y - Joined MDT-data group, y - Sending to MDT-data group
Outgoing interface flags: H - Hardware switched, A - Assert winner
Timers: Uptime/Expires
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode

(*, 239.4.4.4), 00:07:05/stopped, RP 10.1.3.1, flags: SPF
  Incoming interface: FastEthernet0/0, RPF nbr 10.1.2.1
  Outgoing interface list: Null

(10.1.2.130, 239.4.4.4), 00:00:13/00:02:51, flags: FT
  Incoming interface: FastEthernet0/1, RPF nbr 0.0.0.0
  Outgoing interface list:
    FastEthernet0/0, Forward/Sparse, 00:00:08/00:03:21

```

Figura 23 - Tabela *multicast* do *router* R8

```

R22#sh ip mr 239.4.4.4
IP Multicast Routing Table
Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group, C - Connected,
       L - Local, P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag,
       T - SPT-bit set, J - Join SPT, M - MSDP created entry,
       X - Proxy Join Timer Running, A - Candidate for MSDP Advertisement,
       U - URD, I - Received Source Specific Host Report,
       Z - Multicast Tunnel, z - MDT-data group sender,
       Y - Joined MDT-data group, y - Sending to MDT-data group
Outgoing interface flags: H - Hardware switched, A - Assert winner
Timers: Uptime/Expires
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode

(*, 239.4.4.4), 00:00:15/stopped, RP 10.1.3.1, flags: SPF
  Incoming interface: FastEthernet0/0, RPF nbr 10.1.2.1
  Outgoing interface list: Null

(10.1.2.194, 239.4.4.4), 00:00:15/00:03:28, flags: FT
  Incoming interface: FastEthernet0/1, RPF nbr 0.0.0.0
  Outgoing interface list:
    FastEthernet0/0, Forward/Sparse, 00:00:11/00:03:18

```

Figura 24 - Tabela *multicast* do router R22

```

R7#sh ip mr 239.4.4.4
IP Multicast Routing Table
Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group, C - Connected,
       L - Local, P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag,
       T - SPT-bit set, J - Join SPT, M - MSDP created entry,
       X - Proxy Join Timer Running, A - Candidate for MSDP Advertisement,
       U - URD, I - Received Source Specific Host Report,
       Z - Multicast Tunnel, z - MDT-data group sender,
       Y - Joined MDT-data group, y - Sending to MDT-data group
Outgoing interface flags: H - Hardware switched, A - Assert winner
Timers: Uptime/Expires
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode

(*, 239.4.4.4), 00:07:37/stopped, RP 10.1.3.1, flags: SP
  Incoming interface: FastEthernet0/1, RPF nbr 10.1.0.9
  Outgoing interface list: Null

(10.1.2.130, 239.4.4.4), 00:00:43/00:03:26, flags: T
  Incoming interface: FastEthernet1/0, RPF nbr 10.1.2.2
  Outgoing interface list:
    FastEthernet0/1, Forward/Sparse, 00:00:43/00:02:46

(10.1.2.194, 239.4.4.4), 00:00:44/00:03:25, flags: T
  Incoming interface: FastEthernet1/0, RPF nbr 10.1.2.3
  Outgoing interface list:
    FastEthernet0/1, Forward/Sparse, 00:00:44/00:02:45

```

Figura 25 - Tabela *multicast* do router R7


```

R19#sh ip mr 239.4.4.4
IP Multicast Routing Table
Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group, C - Connected,
       L - Local, P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag,
       T - SPT-bit set, J - Join SPT, M - MSDP created entry,
       X - Proxy Join Timer Running, A - Candidate for MSDP Advertisement,
       U - URD, I - Received Source Specific Host Report,
       Z - Multicast Tunnel, z - MDT-data group sender,
       Y - Joined MDT-data group, y - Sending to MDT-data group
Outgoing interface flags: H - Hardware switched, A - Assert winner
Timers: Uptime/Expires
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode

(*, 239.4.4.4), 00:07:35/00:02:54, RP 10.1.3.1, flags: S
  Incoming interface: Null, RPF nbr 0.0.0.0
  Outgoing interface list:
    FastEthernet0/0, Forward/Sparse, 00:00:35/00:02:54
    FastEthernet1/0, Forward/Sparse, 00:00:38/00:02:51

(10.1.2.194, 239.4.4.4), 00:00:41/00:03:28, flags: T
  Incoming interface: FastEthernet0/1, RPF nbr 10.1.0.10
  Outgoing interface list:
    FastEthernet0/0, Forward/Sparse, 00:00:37/00:02:52
    FastEthernet1/0, Forward/Sparse, 00:00:40/00:02:49

(10.1.2.130, 239.4.4.4), 00:00:44/00:03:27, flags: T
  Incoming interface: FastEthernet0/1, RPF nbr 10.1.0.10
  Outgoing interface list:
    FastEthernet0/0, Forward/Sparse, 00:00:37/00:02:52
    FastEthernet1/0, Forward/Sparse, 00:00:40/00:02:49

```

Figura 26 - Tabela *multicast* do router R19

```

R6#sh ip mr 239.4.4.4
IP Multicast Routing Table
Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group, C - Connected,
       L - Local, P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag,
       T - SPT-bit set, J - Join SPT, M - MSDP created entry,
       X - Proxy Join Timer Running, A - Candidate for MSDP Advertisement,
       U - URD, I - Received Source Specific Host Report,
       Z - Multicast Tunnel, z - MDT-data group sender,
       Y - Joined MDT-data group, y - Sending to MDT-data group
Outgoing interface flags: H - Hardware switched, A - Assert winner
Timers: Uptime/Expires
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode

(*, 239.4.4.4), 00:00:47/00:03:19, RP 10.1.3.1, flags: S
  Incoming interface: FastEthernet0/1, RPF nbr 10.1.0.13
  Outgoing interface list:
    FastEthernet1/0, Forward/Sparse, 00:00:47/00:02:42

```

Figura 27 - Tabela *multicast* do router R6


```

R5#sh ip mr 239.4.4.4
IP Multicast Routing Table
Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group, C - Connected,
       L - Local, P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag,
       T - SPT-bit set, J - Join SPT, M - MSDP created entry,
       X - Proxy Join Timer Running, A - Candidate for MSDP Advertisement,
       U - URD, I - Received Source Specific Host Report,
       Z - Multicast Tunnel, z - MDT-data group sender,
       Y - Joined MDT-data group, y - Sending to MDT-data group
Outgoing interface flags: H - Hardware switched, A - Assert winner
Timers: Uptime/Expires
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode

(*, 239.4.4.4), 00:00:28/00:02:58, RP 10.1.3.1, flags: SC
  Incoming interface: FastEthernet0/0, RPF nbr 10.1.1.1
  Outgoing interface list:
    FastEthernet0/1, Forward/Sparse, 00:00:28/00:02:32

```

Figura 28 - Tabela *multicast* final do router R5

```

R20#sh ip mr 239.4.4.4
IP Multicast Routing Table
Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group, C - Connected,
       L - Local, P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag,
       T - SPT-bit set, J - Join SPT, M - MSDP created entry,
       X - Proxy Join Timer Running, A - Candidate for MSDP Advertisement,
       U - URD, I - Received Source Specific Host Report,
       Z - Multicast Tunnel, z - MDT-data group sender,
       Y - Joined MDT-data group, y - Sending to MDT-data group
Outgoing interface flags: H - Hardware switched, A - Assert winner
Timers: Uptime/Expires
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode

(*, 239.4.4.4), 00:00:22/00:02:58, RP 10.1.3.1, flags: SC
  Incoming interface: FastEthernet0/0, RPF nbr 10.1.3.1
  Outgoing interface list:
    FastEthernet1/0, Forward/Sparse, 00:00:22/00:02:42

```

Figura 29 - Tabela *multicast* do router R20

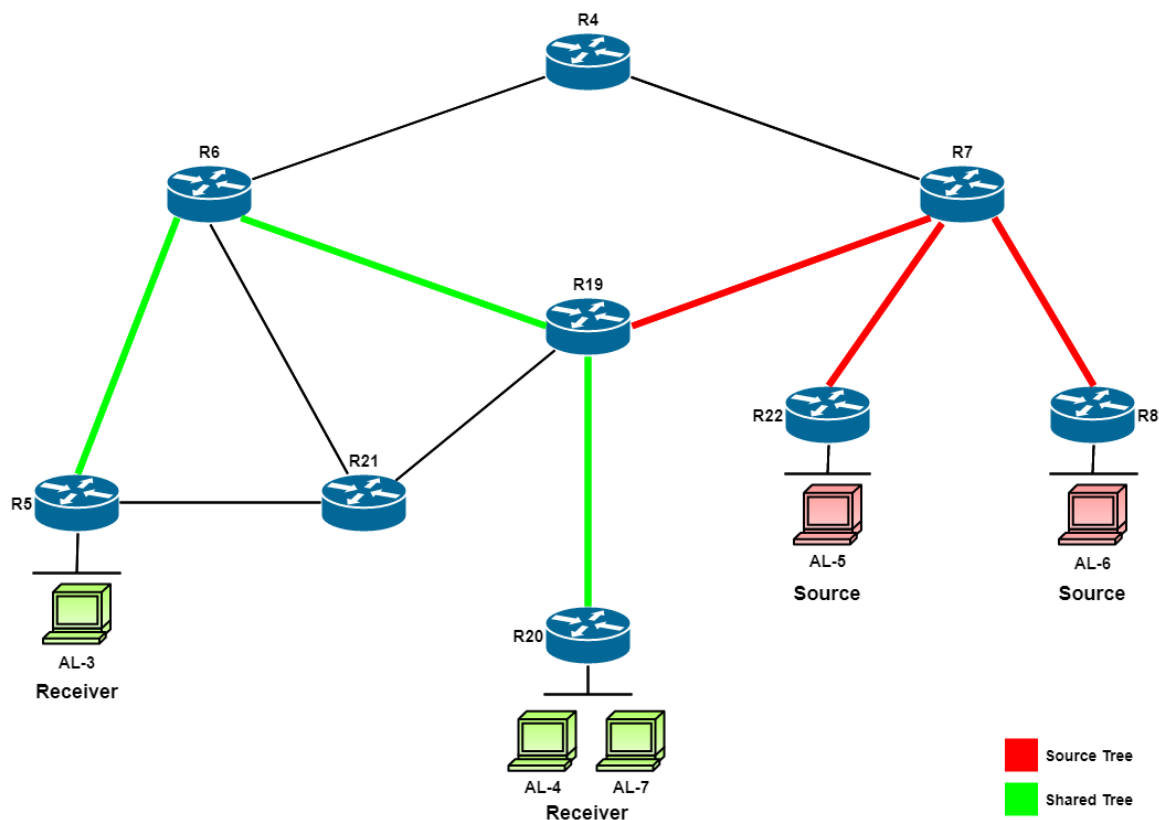


Figura 30 - Árvore partilhada e árvore da fonte desenhada com dois emissores e três recetores

Num terceiro teste, foram utilizados dois grupos *multicast*, um com o endereço **239.5.5.5** e outro com **239.4.4.4**. No grupo *multicast* **239.5.5.5** foi definido um limite de 200kbps para a taxa de dados a serem recebidos, através do comando anteriormente usado, **ip pim spt-threshold [value] group-list [access_list]**. Enquanto que o grupo *multicast* **239.4.4.4** foi imposto um limite infinito, para que não ocorra comutação. Na Figura 31 e Figura 32 estão representadas as tabelas *multicast* dos *routers* dos sistemas terminais de ambos os grupos *multicast*. Na Figura 33 está representada a captura de uma mensagem **PIM Join**, por volta do pacote nº30 (a transmissão começou aos 10s e o intervalo de tempo de transmissão de cada pacote é de 1s), que indica a comutação de árvores.

```

R5#sh ip mroute 239.5.5.5
IP Multicast Routing Table
Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group, C - Connected,
       L - Local, P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag,
       T - SPT-bit set, J - Join SPT, M - MSDP created entry,
       X - Proxy Join Timer Running, A - Candidate for MSDP Advertisement,
       U - URD, I - Received Source Specific Host Report,
       Z - Multicast Tunnel, z - MDT-data group sender,
       Y - Joined MDT-data group, y - Sending to MDT-data group
Outgoing interface flags: H - Hardware switched, A - Assert winner
Timers: Uptime/Expires
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode

(*, 239.5.5.5), 00:06:06/stopped, RP 10.1.3.1, flags: SJC
  Incoming interface: FastEthernet0/0, RPF nbr 10.1.1.1
  Outgoing interface list:
    FastEthernet0/1, Forward/Sparse, 00:04:19/00:02:47

(10.1.2.194, 239.5.5.5), 00:00:11/00:02:58, flags: JT
  Incoming interface: FastEthernet0/0, RPF nbr 10.1.1.1
  Outgoing interface list:
    FastEthernet0/1, Forward/Sparse, 00:00:11/00:02:48

```

Figura 31 - Tabela *multicast* do router R5 com comutação da árvore

```

R20#sh ip mroute 239.4.4.4
IP Multicast Routing Table
Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group, C - Connected,
       L - Local, P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag,
       T - SPT-bit set, J - Join SPT, M - MSDP created entry,
       X - Proxy Join Timer Running, A - Candidate for MSDP Advertisement,
       U - URD, I - Received Source Specific Host Report,
       Z - Multicast Tunnel, z - MDT-data group sender,
       Y - Joined MDT-data group, y - Sending to MDT-data group
Outgoing interface flags: H - Hardware switched, A - Assert winner
Timers: Uptime/Expires
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode

(*, 239.4.4.4), 00:04:49/00:02:54, RP 10.1.3.1, flags: SC
  Incoming interface: FastEthernet0/0, RPF nbr 10.1.3.1
  Outgoing interface list:
    FastEthernet1/0, Forward/Sparse, 00:04:49/00:02:23

```

Figura 32 - Tabela *multicast* do router R20 sem comutação da árvore

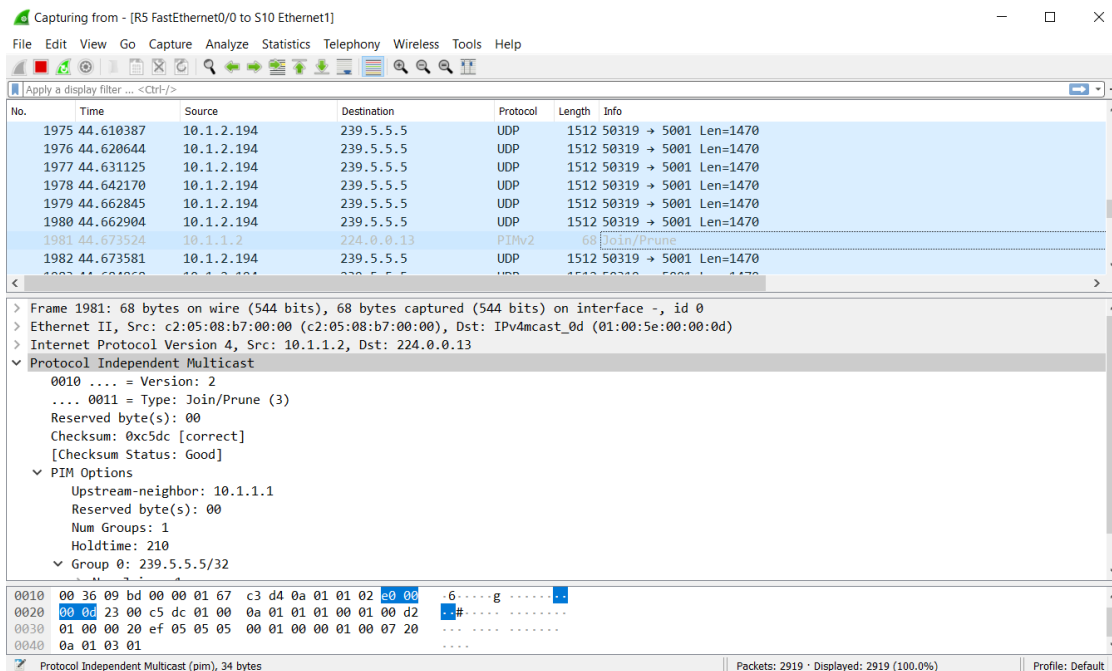


Figura 33 - Captura Wireshark de uma mensagem PIM Join a indicar a troca de árvores

Nesta topologia, não foi necessário definir a prioridade do DR (*Designated Router*) manualmente, pois não existem mais do que três *routers* interligados por um *switch*, sendo um deles o *router* com ligação aos recetores. Na Figura 34 está um exemplo de uma pequena topologia onde é possível demonstrar a necessidade de definir a prioridade do DR.

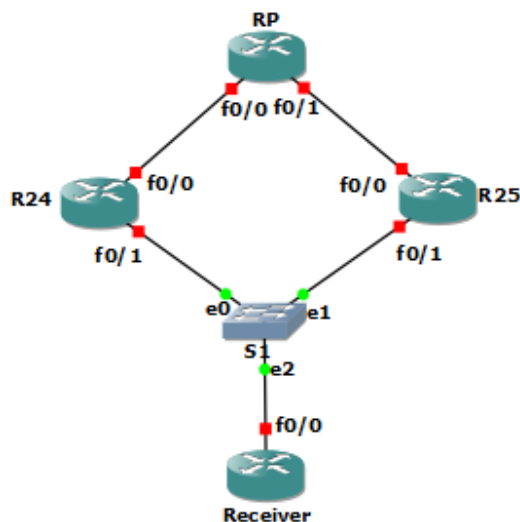


Figura 34 - Simples topologia para aplicação da prioridade do DR

Na topologia da figura acima, quando o *router* Receiver enviar uma mensagem **PIM Join**, ambos os *routers* R24 e R25 vão recebê-la e encaminhá-la para o RP. Isto significa que vão existir duas *streams multicast*, uma por R24 e outra por R25, originando em pacotes duplicados e em desperdício de largura de banda.

3 PIM-SM Inter-domínio

Para a comunicação *multicast* entre Sistemas Autónomos, apenas foi ativado o encaminhamento *multicast* e o protocolo PIM com *Sparse-Mode* nas interfaces dos *routers* do Sistema Autónomo externo.

Conclusão

Neste trabalho prático houve alguns contratempos, nomeadamente na tentativa de gerar tráfego *multicast* na rede, pois as ferramentas disponibilizadas no enunciado nem sempre estavam disponíveis ou, quando estavam, não funcionavam corretamente, visto que se estava a utilizar uma versão muito minimalista do Linux para ser possível ter várias máquinas a correr em simultâneo. Apesar destes contratempos, acreditamos que este trabalho foi concluído com sucesso.