Universidade do Minho
Departamento de Informática

Mestrado Integrado em Engenharia Informática

Virtualização de Redes

Trabalho Prático Nº3
OpenFlow

A86617 Gonçalo Nogueira
A82529 Carlos Afonso
A74806 João Amorim

Braga
Junho, 2021

Conteúdo

1 Introdução

O presente relatório, realizado no âmbito da unidade curricular de Virtualização de Redes, destina-se inicialmente a apresentar um conjunto de perguntas e respostas relacionadas com o *OpenFlow*.

OpenFlow é um protocolo de comunicação que dá acesso ao plano de reencaminhamento de um switch de rede ou router pela rede de computadores.

O principal objetivo deste trabalho prático é a familiarização com este protocolo e com as funcionalidades da API POX.

Por fim, este relatório está dividido entre as respostas ás questões formuladas no enunciado bem como a explicação das decisões tomadas pelo grupo para concretizar a parte prático do trabalho e os respectivos testes efetuados.

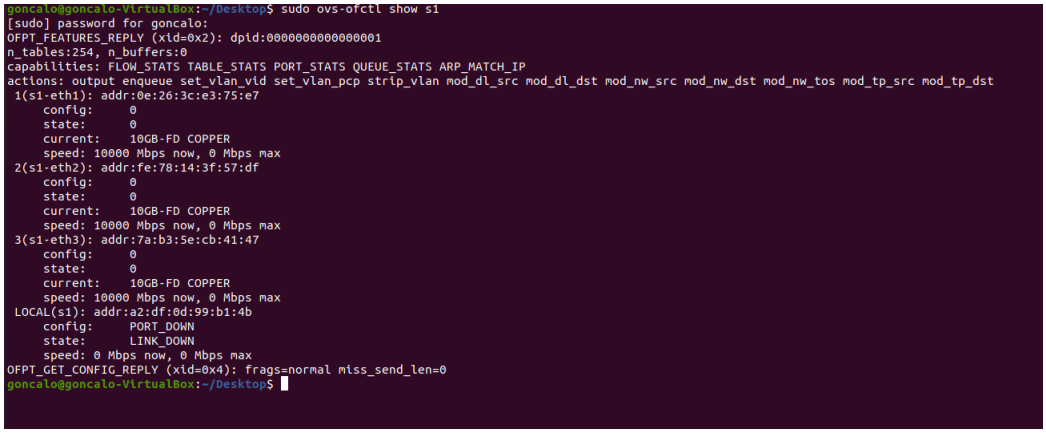
2 Respostas ás questões

2.1 Questão 1

> **Q1:** What type of OpenFlow message is used to retrieve this information?

Para obter as informações do estado lógico de um OpenFlow switch, são usadas as mensagens "Controller to switch", estas mensagens são iniciadas pelo controlador permitindo ao mesmo gerir o estado lógico de um switch incluindo a sua configuração e detalhes de entradas de tabelas de grupo e de fluxo.

Nesta categoria de mensagens inclui-se as **Read-State** usadas pelo controlador para coletar estatísticas das tabelas de fluxo do switch, portas e entradas individuais das tabelas e **Features** quando se estabelece a ligação entre controlador e switch, onde o switch responde com as suas capacidades suportadas.



2.2 Questão 2

> **Q2:** Write the ovs-ofctl command to delete just the first Flow Table entry. Write the ovs-ofctl command to delete all entries of s1. (man ovs-ofctl)

Para eliminar apenas uma entrada o comando usado é **sudo ovs-ofctl del-flows s1 in_port=1** e para apagar todas as entradas basta apenas especificar o switch, sendo o comando **sudo ovs-ofctl del-flows s1**.

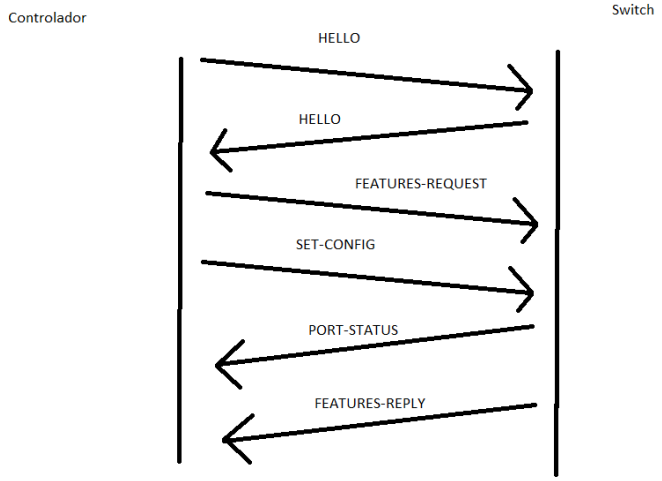
```
goncalo@goncalo-VirtualBox:~/Desktop$ sudo ovs-ofctl del-flows s1 in_port=1
goncalo@goncalo-VirtualBox:~/Desktop$ sudo ovs-ofctl dump-flows s1
 cookie=0x0, duration=19.832s, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, in_port="s1-eth2" actions=output:"s1-eth1"
goncalo@goncalo-VirtualBox:~/Desktop$ sudo ovs-ofctl del-flows s1
goncalo@goncalo-VirtualBox:~/Desktop$ sudo ovs-ofctl dump-flows s1
goncalo@goncalo-VirtualBox:~/Desktop$
```

2.3 Questão 3

> **Q3:** Describe the start up communication between switch and controller, draw a sequence diagram that shows the type of OpenFlow messages being exchanged. Explain their purpose. Present a print of the Wireshark capture.

Quando uma conexão *OpenFlow* é incialmente estabelecida entre controlador e switch, cada lado da conexão deve imediatamente enviar uma mensagem *HELLO* onde o campo da versão está definido com a versão mais recente suportada pelo lado que envia a mensagem. Após a receção desta mensagem, o recetor calcula a versão a utilizar fazendo a comparação entre a sua suportada e a da que recebeu e escolhendo a menor. Se a versão negociada for aceite a conexão procede, caso contrário envia resposta *OFPT_ERROR* com o campo do tipo *OFPET_HELLO_FAILED*. Neste caso, e como se pode verificar no esquema, ambos os lados enviam uma mensagem HELLO para o outro lado, depois disso, o controlador envia um *OFPT_FEATURES_REQUEST* para conhecer as capacidades do switch e uma mensagem *OFPT_SET_CONFIG* para configurar o switch. O switch envia mensagem *OFPT_PORT_STATUS* para informar o controlador das suas portas e envia também a *OFPT_FEATURES_REPLY* como resposta ao pedido do controlador anteriormente.

```
     55 19.131129432    127.0.0.1             127.0.0.1             TCP          66 57856 → 6633 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=44032 Len=0 TSval=3753480446 TSecr=…
     56 19.132365295    127.0.0.1             127.0.0.1             OpenFlow     74 Type: OFPT_HELLO
     57 19.132375923    127.0.0.1             127.0.0.1             TCP          66 57856 → 6633 [ACK] Seq=1 Ack=9 Win=44032 Len=0 TSval=3753480448 TSecr=…
     58 19.132840417    127.0.0.1             127.0.0.1             OpenFlow     74 Type: OFPT_HELLO
     59 19.132846311    127.0.0.1             127.0.0.1             TCP          66 6633 → 57856 [ACK] Seq=9 Ack=9 Win=44032 Len=0 TSval=3753480448 TSecr=…
     60 19.134420108    127.0.0.1             127.0.0.1             OpenFlow     74 Type: OFPT_FEATURES_REQUEST
     61 19.134426223    127.0.0.1             127.0.0.1             TCP          66 57856 → 6633 [ACK] Seq=9 Ack=17 Win=44032 Len=0 TSval=3753480450 TSecr…
     62 19.134434040    127.0.0.1             127.0.0.1             OpenFlow     78 Type: OFPT_SET_CONFIG
     63 19.134436945    127.0.0.1             127.0.0.1             TCP          66 57856 → 6633 [ACK] Seq=9 Ack=29 Win=44032 Len=0 TSval=3753480450 TSecr…
     64 19.135473989    127.0.0.1             127.0.0.1             OpenFlow    130 Type: OFPT_PORT_STATUS
     65 19.135479427    127.0.0.1             127.0.0.1             TCP          66 6633 → 57856 [ACK] Seq=29 Ack=73 Win=44032 Len=0 TSval=3753480451 TSec…
     66 19.135770061    127.0.0.1             127.0.0.1             OpenFlow    290 Type: OFPT_FEATURES_REPLY
     67 19.135774388    127.0.0.1             127.0.0.1             TCP          66 6633 → 57856 [ACK] Seq=29 Ack=297 Win=44032 Len=0 TSval=3753480451 TSe…
```



2.4 Questão 4

Q4: Based on the captured packages explain, in your own words, what is happening.

Sendo a primeira vez que se está a tentar enviar pacotes entre dois hosts, não existe ainda nenhuma entrada na tabela de fluxo no switch, o que causa o envio de uma mensagem *OFPT_PACKET_IN* do switch para o controlador com o pacote em questão, pois o switch não sabe que rota escolher para reencaminhar o pacote.

O controlador após receber esta mensagem determina qual a melhor rota para reencaminhar o pacote e envia essa informação para o switch através da mensagem *OFTP_FLOW_MOD* que adiciona essa informação na tabela de fluxos conhecendo agora a ação a tomar para reencaminhar pacotes com características semelhantes.

Por fim o controlador, envia uma mensagem *OFPT_PACKET_OUT* novamente com o pacote que lhe foi enviado anteriormente, pois agora o switch já é capaz de o reencaminhar.

91	110.254706217	127.0.0.1	127.0.0.1	OpenFlow	74 Type: OFPT_ECHO_REQUEST
92	110.254971237	127.0.0.1	127.0.0.1	OpenFlow	74 Type: OFPT_ECHO_REPLY
93	110.254994094	127.0.0.1	127.0.0.1	TCP	66 57856 → 6633 [ACK] Seq=417 Ack=509 Win=86 Len=0 TSval=3755506314 TSecr…
94	110.376923442	00:00:00_00:00:01	00:00:00_00:00:02	OpenFlow	126 Type: OFPT_PACKET_IN
95	110.376977872	00:00:00_00:00:02	00:00:00_00:00:01	OpenFlow	126 Type: OFPT_PACKET_IN
96	110.377239074	127.0.0.1	127.0.0.1	OpenFlow	146 Type: OFPT_FLOW_MOD
97	110.377262021	127.0.0.1	127.0.0.1	TCP	66 57856 → 6633 [ACK] Seq=537 Ack=589 Win=86 Len=0 TSval=3755506436 TSecr…
98	110.377876036	00:00:00_00:00:01	00:00:00_00:00:02	OpenFlow	132 Type: OFPT_PACKET_OUT
99	110.377892972	127.0.0.1	127.0.0.1	TCP	66 57856 → 6633 [ACK] Seq=537 Ack=655 Win=86 Len=0 TSval=3755506437 TSecr…
100	110.377938480	127.0.0.1	127.0.0.1	OpenFlow	146 Type: OFPT_FLOW_MOD
101	110.377948666	127.0.0.1	127.0.0.1	TCP	66 57856 → 6633 [ACK] Seq=537 Ack=735 Win=86 Len=0 TSval=3755506437 TSecr…
102	110.377967856	00:00:00_00:00:02	00:00:00_00:00:01	OpenFlow	132 Type: OFPT_PACKET_OUT
103	110.377976300	127.0.0.1	127.0.0.1	TCP	66 57856 → 6633 [ACK] Seq=537 Ack=801 Win=86 Len=0 TSval=3755506437 TSecr…
104	110.379874072	00:00:00_00:00:02	00:00:00_00:00:01	OpenFlow	126 Type: OFPT_PACKET_IN
105	110.379916731	00:00:00_00:00:01	00:00:00_00:00:02	OpenFlow	126 Type: OFPT_PACKET_IN
106	110.380055889	127.0.0.1	127.0.0.1	OpenFlow	146 Type: OFPT_FLOW_MOD
107	110.380078334	127.0.0.1	127.0.0.1	TCP	66 57856 → 6633 [ACK] Seq=657 Ack=881 Win=86 Len=0 TSval=3755506439 TSecr…
108	110.380115746	00:00:00_00:00:02	00:00:00_00:00:01	OpenFlow	132 Type: OFPT_PACKET_OUT
109	110.380125705	127.0.0.1	127.0.0.1	TCP	66 57856 → 6633 [ACK] Seq=657 Ack=947 Win=86 Len=0 TSval=3755506439 TSecr…
110	110.380160104	127.0.0.1	127.0.0.1	OpenFlow	146 Type: OFPT_FLOW_MOD
111	110.380168899	127.0.0.1	127.0.0.1	TCP	66 57856 → 6633 [ACK] Seq=657 Ack=1027 Win=86 Len=0 TSval=3755506439 TSec…
112	110.380187227	00:00:00_00:00:01	00:00:00_00:00:02	OpenFlow	132 Type: OFPT_PACKET_OUT
113	110.380195255	127.0.0.1	127.0.0.1	TCP	66 57856 → 6633 [ACK] Seq=657 Ack=1093 Win=86 Len=0 TSval=3755506439 TSec…
114	115.381673764	127.0.0.1	127.0.0.1	OpenFlow	74 Type: OFPT_ECHO_REQUEST
115	115.381963045	127.0.0.1	127.0.0.1	OpenFlow	74 Type: OFPT_ECHO_REPLY

2.5 Questão 5

> **Q5:** If you keep doing pings *mininet> h1 ping -c1 h2* you will not see any more OFPT_PACKET_IN and OFPT_PACKET_OUT packages capture by Wireshark. Why is this happening? (Use the command `$ sudo ovs-ofctl dump-flows s1` to justify our answer).

Não existem mais *OFPT_PACKET_IN* e *OFPT_PACKET_OUT*, devido após a primeira troca de pacotes, já se adicionou a ação a tomar na tabela de fluxo do switch, sendo assim deixa de ser preciso existir mensagens entre controlador e switch, pois o switch já tem a informação da rota pelo qual tem de encaminhar os pacotes.

Pode-se observar as entradas na tabela de fluxo do switch da seguinte forma:

3 Exercício Prático 1

O objetivo deste exercício é criar um controlador *OpenFlow* que funciona como um *L2 MAC-learning switch*. Inicialmente o controlador funciona como um *Hub* ou seja, quando recebe um pacote com determinado destino faz um *Flooding* para a rede e eventualmente o pacote chega ao destino, pois este pacote é enviado para todo o lado sendo ignorado pelos hosts caso o endereço de destino seja diferente do seu. Esta forma de reencaminhar pacotes é muito pouco eficiente e enquanto os frames estão a ser enviados para todos os hosts a rede não pode ser utilizada para outras trocas de informação ficando indisponível por algum tempo até estes frames serem recebidos e descartados. Esta forma apresenta também grandes problemas de segurança e podem também haver colisões que tornam os frames impossíveis de ler levando a um reset da rede e um novo envio de frames.

Com a introdução de um switch, quando um host envia um frame que chega ao switch, é verificado qual o *endereço MAC de destino*, posteriormente consulta-se a tabela que associa estes endereços a uma determinada porta pela qual o switch está conectado ao host com esse endereço. Após estas verificações o switch reencaminha o pacote pela porta correta para o host destino (CAM table). Esta forma é bastante mais eficiente e usa muito pouco a *bandwith* disponível da rede devido á inexistência de *flooding* da rede.

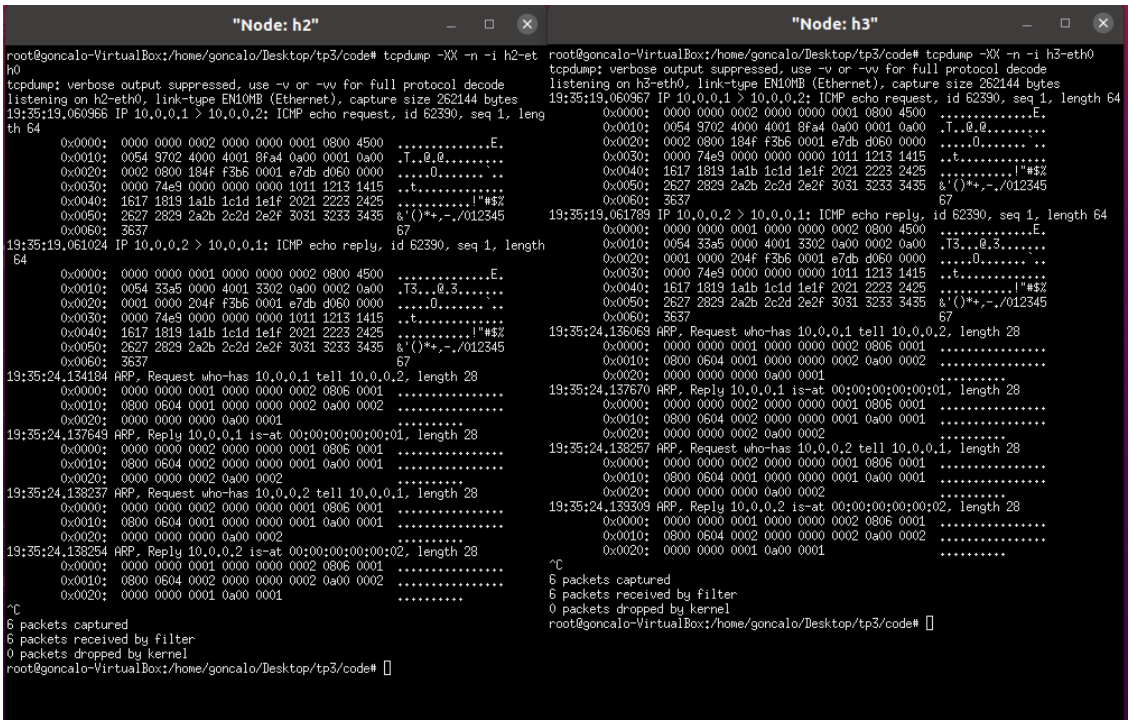
Para atingir o objetivo proposto, foi preciso associar num dicionário a porta que corresponde a cada endereço MAC do pacote de Input caso o pacote seja do tipo *ARP*.

Posteriomente cria-se um objeto *ofp_match* verificando se o endereço MAC a enviar já tem uma uma porta associada no enunciado, caso isso seja nulo o comportamento a adotar é igual ao do Hub e o pacote é enviado por flooding para a rede. Caso exista, é preciso criar um objeto *ofp_flow_mod* para introduzir a rota determinada na tabela de fluxo para posterior uso caso o mesmo host envie novamente pacotes com o mesmo host destino.

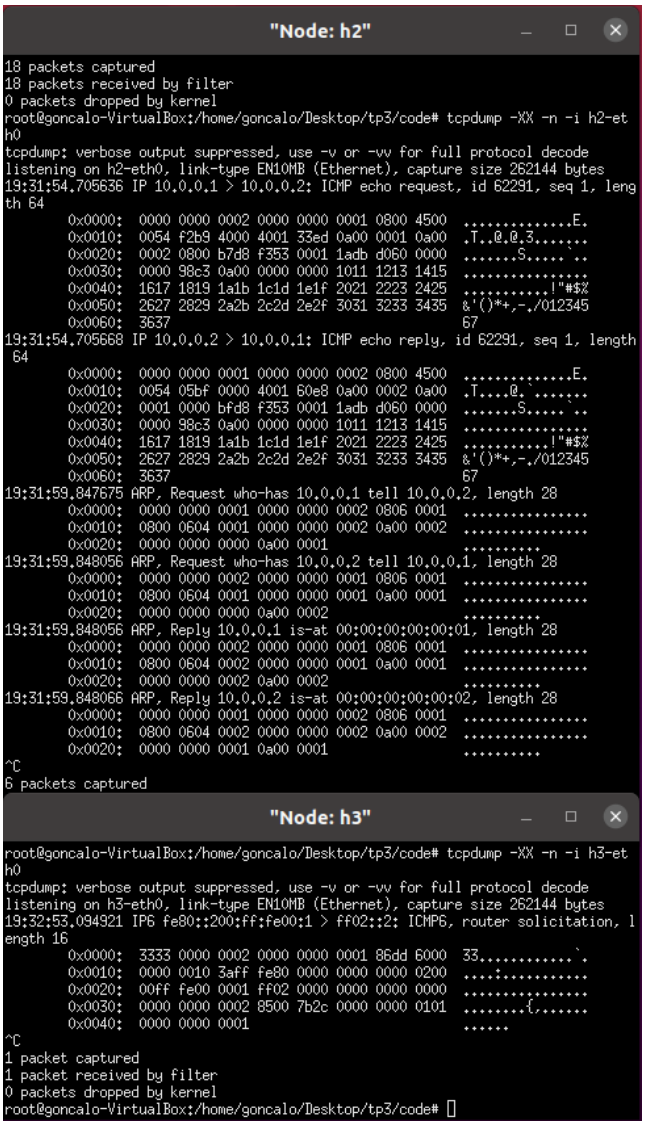
```
def process_packet (self, packet, packet_in):

  # We want to output to all ports -- we do that using the special
  # OFPP_ALL port as the output port.  (We could have also used
  # OFPP_FLOOD.)

  src_mac_address = str(packet.src)
  dst_mac_address = str(packet.dst)
  input_port = packet_in.in_port

  if (src_mac_address not in self.mac_to_port) and (packet.type == packet.ARP_TYPE):
      self.mac_to_port[src_mac_address] = input_port

  if dst_mac_address in self.mac_to_port:
      out_port = self.mac_to_port[dst_mac_address]
      msg = of.ofp_flow_mod()
      msg.match = of.ofp_match()
      msg.match.in_port = input_port
      msg.match.dl_dst = packet.dst
      msg.buffer_id = packet_in.buffer_id
      action = of.ofp_action_output(port = out_port)
      msg.actions.append(action)
      self.connection.send(msg)
      self.resend_packet(packet_in, out_port)
  else :
      self.resend_packet(packet_in, of.OFPP_ALL)
```

3.1 Testes

Com o comportamento inicial caso fosse efetuado um ping do host 1 para o host 2 com endereço *IP 10.0.0.2*, tanto o host 2 como 3 recebem os mesmos pacotes *ARP* e *ICMP* como se pode observar.



Com as alterações feitas apenas o host destino recebe os pacotes.



4 Exercício Prático 2

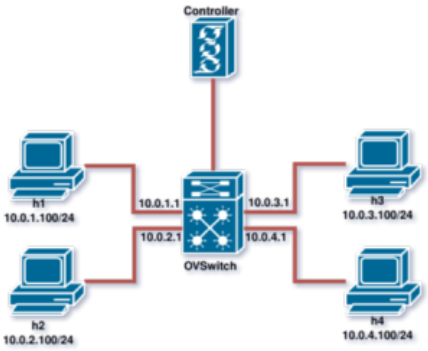
Neste exercício o objetivo é construir um *forwarder/switch* estático com 3 layers.

Geralmente um *router* tem de responder a *ARP Requests* e inicialmente haverá broadcasts que serão reencaminhados para o controlador. O objetivo é contruir *ARP Replies* e enviar pelas pelas portas corretas.

4.1 Topologia da rede

A construção da topologia de rede foi feita da seguinte forma:

```python
class VrEx2Topo( Topo ):

    def build( self ):

        # Add hosts and switches

        switch = self.addSwitch( 's1' )
        host1 = self.addHost( 'h1', ip="10.0.1.100/24", defaultRoute = "via 10.0.1.1" )
        host2 = self.addHost( 'h2', ip="10.0.2.100/24", defaultRoute = "via 10.0.2.1" )
        host3 = self.addHost( 'h3', ip="10.0.3.100/24", defaultRoute = "via 10.0.3.1" )
        host4 = self.addHost( 'h4', ip="10.0.4.100/24", defaultRoute = "via 10.0.4.1" )

        # Add links
        self.addLink( switch, host1 )
        self.addLink( switch, host2 )
        self.addLink( switch, host3 )
        self.addLink( switch, host4 )


topos = { 'vrex2topo': ( lambda: VrEx2Topo() ) }
```



4.2 Resolução

Incialmente o controlador não tem capacidade para lidar com pacotes IP, sendo necessário completar o código dado para lidar com três cenários diferentes após um pacote IP recebido:

- O endereço IP de destino é um dos interfaces do router.
- O router não conhece o endereço MAC do endereço IP de destino.
- O router já conhece o endereço MAC do endereço IP de destino.

Antes de específicar os cenários individualmente descobre-se os endereços IP e MAC da interface do router com a *destination_network* e com auxílio da tabela de routing e tabela de arp.
Encontra-se também a respetiva porta de output que corresponde á rede de destino.

```
""" ------------------  EXERCISE 2 STARTS HERE ------------------------"""
ip_addr_inter= self.routing_table[str(destination_network)]['RouterInterface']
mac_addr_inter = EthAddr(self.arp_table[ip_addr_inter])
output_port =  self.routing_table[str(destination_network)]['Port']
```

4.2.1 Cenário 1

Caso se verfique este cenário é apenas verificado se o protocolo do pacote recebido é do tipo ipv4 e caso isso se verifique é chamada o método **ICMP_Handler**.

```
if routable:
    log.debug('PACKET IS ROUTABLE!')
    if ip_addr_inter == destination_ip :
        if ip_packet.protocol == ipv4.ICMP_PROTOCOL :
            self.ICMP_Handler(etherFrame,packet_in)
            log.debug('FIRST SCENARIO')
```

4.2.2 Cenário 2

Este cenário é o pior caso que pode acontecer em termos de processamento pois é o que é preciso criar pacotes ARP e Ethernet Frames que serão depois enviados.

Inicialmente guarda-se no buffer o pacote e a rede de destino até a ARP Reply chegar.

Posteriormente é criado um pacote ARP do tipo Request onde a fonte é o endereço IP da interface de saída do router e o destino é o mesmo endereço IP do pacote IP inicialmente recebido. É necessário estabelecer também os endereços MAC deste pacote, sendo o da fonte o endereço MAC da interface de saída do router e o destino como ainda não é conhecido fico com o endereço MAC só com zeros.

Após a criação do pacote ARP é preciso criar um ethernet frame que irá transportar o pacote ARP criado. O endereço MAC fonte é o mesmo do que o ARP e o de destino é o enderço reservado para o broadcast.

Por fim, adiciona-se o pacote ARP ao payload do frame e envia-se usando a porta de saída que corresponde á rede destino.

```
else :
    # ARP if host MAC Address is not present -- the router does not know the mac addr of the ip dst
    if destination_ip not in self.arp_table:
        # Push frame to buffer
        # this packet is stored untly the ARP reply arrives
        self.buffer[destination_ip] = {'IP_Packet': ip_packet,'DestinationNetwork': destination_network}

        # Construct ARP Packet
        arp1 = arp()
        arp1.opcode = arp.REQUEST # it is an ARP request after all
        arp1.protosrc = IPAddr(ip_addr_inter)  # to the ip address of the router outgoing interface, you can use
        arp1.protodst = IPAddr(destination_ip)    # var of your arp object to the destination ip address
        # NOTE: you can use the method IPAddr(destination_ip) to pasrse a string to an IP addr.

        arp1.hwsrc = mac_addr_inter  # var of your arp object to the mac address of the router outgoing interfac
        arp1.hwdst = EthAddr('00:00:00:00:00:00') # var of your arp object to an all zeros mac address '00:00:00
        # NOTE: you can use the method EthAddr('00:00:00:00:00:00') to pasrse a string to an MAC addr.

        # Construct the ethernet frame
        ether1 = ethernet()
        ether1.type = ether1.ARP_TYPE # defines that this frame carries a ARP type message

        # now we need to define the mac address for the source of this communication, the mac address of the out
        ether1.src = mac_addr_inter
        # the destination address is a broadcast mac address: 'FF:FF:FF:FF:FF:FF'
        ether1.dst = EthAddr('FF:FF:FF:FF:FF:FF')
        # NOTE: you can use the method EthAddr('FF:FF:FF:FF:FF:FF') to pasrse a string to an MAC addr.

        # Last, we attach the <your_arp_request_object> as the payload of the ethernet frame
        ether1.payload = arp1
        # Then we pass the  <your_ethernet_frame_object_name> and the  output_port to the self.resend_packet() m
        # this will send de message to the router.
        self.resend_packet( ether1, output_port)
        log.debug('SECOND SCENARIO')
```

4.2.3 Cenário 3

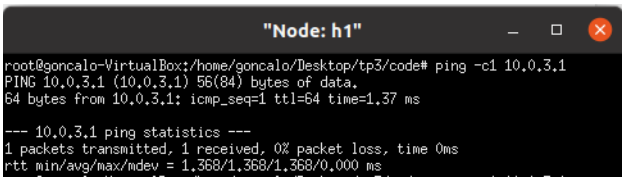
Neste cenário efetua-se uma alteração nos endereços MAC da ethernet frame recebida, a fonte é o endereço MAC da interface de saída do router e o endereço MAC destino é obtido através da tabela ARP com o endereço IP de destino do pacote inicialmente recebido.

Para o envio da frame a estratégia é igual ao cenário anterior.

```
if destination_ip in self.arp_table:
    log.debug('THIRD SCENARIO')
    # here you must use the incoming etherFrame and change the
    etherFrame.src = mac_addr_inter
    # and change the 'dst' field to by the mac of the 'destinat
    etherFrame.dst = EthAddr(self.arp_table[destination_ip])
    # you then send the frame by uncoment the following line
    self.resend_packet(etherFrame, output_port)
```

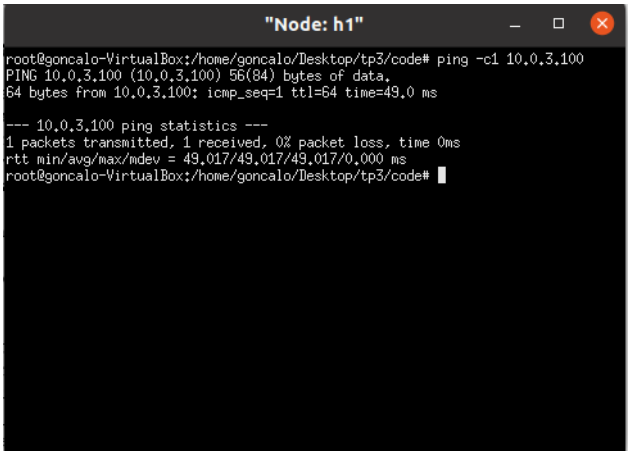
4.3 Testes

Fazendo um ping do host 1 para um interface do router.




```
DEBUG:vr_tp3_ex2:RECEIVED: EtherType -> IP from 1
DEBUG:vr_tp3_ex2:PACKET IS ROUTABLE!
DEBUG:vr_tp3_ex2:ICMP ECHO REPLY SENT!
DEBUG:vr_tp3_ex2:FIRST SCENARIO
DEBUG:vr_tp3_ex2:RECEIVED: EtherType -> ARP to aa:bb:cc:dd:ee:01
DEBUG:vr_tp3_ex2:ARP FRAME RECEIVED FROM 1
DEBUG:vr_tp3_ex2:IT'S AN ARP REQUEST!
Reques dst IP: 10.0.1.1
DEBUG:vr_tp3_ex2:ARP REPLY SENT! 1
```

Fazendo um pingo do host 1 para o host 3 com endereço IP 10.0.3.100.



```
DEBUG:vr_tp3_ex2:RECEIVED: EtherType -> ARP to ff:ff:ff:ff:ff:ff
DEBUG:vr_tp3_ex2:ARP FRAME RECEIVED FROM 1
DEBUG:vr_tp3_ex2:IT'S AN ARP REQUEST!
Reques dst IP: 10.0.1.1
DEBUG:vr_tp3_ex2:ARP REPLY SENT! 1
DEBUG:vr_tp3_ex2:RECEIVED: EtherType -> IP from 1
DEBUG:vr_tp3_ex2:PACKET IS ROUTABLE!
DEBUG:vr_tp3_ex2:SECOND SCENARIO
DEBUG:vr_tp3_ex2:RECEIVED: EtherType -> ARP to aa:bb:cc:dd:ee:03
DEBUG:vr_tp3_ex2:ARP FRAME RECEIVED FROM 3
DEBUG:vr_tp3_ex2:IT'S AN ARP REPLY!
DEBUG:vr_tp3_ex2:10.0.3.100 00:00:00:00:00:03 INSTALLED TO CAM TABLE
Sending buffered ICMP!
10.0.3.0/24
DEBUG:vr_tp3_ex2:Flow mod for destination network 10.0.3.0/24 sent!
DEBUG:vr_tp3_ex2:RECEIVED: EtherType -> IP from 3
DEBUG:vr_tp3_ex2:PACKET IS ROUTABLE!
DEBUG:vr_tp3_ex2:SECOND SCENARIO
DEBUG:vr_tp3_ex2:RECEIVED: EtherType -> ARP to aa:bb:cc:dd:ee:01
DEBUG:vr_tp3_ex2:ARP FRAME RECEIVED FROM 1
DEBUG:vr_tp3_ex2:IT'S AN ARP REPLY!
DEBUG:vr_tp3_ex2:10.0.1.100 00:00:00:00:00:01 INSTALLED TO CAM TABLE
Sending buffered ICMP!
10.0.1.0/24
DEBUG:vr_tp3_ex2:Flow mod for destination network 10.0.1.0/24 sent!
DEBUG:vr_tp3_ex2:RECEIVED: EtherType -> ARP to aa:bb:cc:dd:ee:03
DEBUG:vr_tp3_ex2:ARP FRAME RECEIVED FROM 3
DEBUG:vr_tp3_ex2:IT'S AN ARP REQUEST!
Reques dst IP: 10.0.3.1
DEBUG:vr_tp3_ex2:ARP REPLY SENT! 3
```

Voltando a fazer o mesmo ping novamente o resultado é diferente pois já existe essa entrada na tabela de fluxo.

```
DEBUG:vr_tp3_ex2:RECEIVED: EtherType -> ARP to aa:bb:cc:dd:ee:03
DEBUG:vr_tp3_ex2:ARP FRAME RECEIVED FROM 3
DEBUG:vr_tp3_ex2:IT'S AN ARP REQUEST!
Reques dst IP: 10.0.3.1
DEBUG:vr_tp3_ex2:ARP REPLY SENT! 3
DEBUG:vr_tp3_ex2:RECEIVED: EtherType -> ARP to aa:bb:cc:dd:ee:01
DEBUG:vr_tp3_ex2:ARP FRAME RECEIVED FROM 1
DEBUG:vr_tp3_ex2:IT'S AN ARP REQUEST!
Reques dst IP: 10.0.1.1
DEBUG:vr_tp3_ex2:ARP REPLY SENT! 1
```

Quando se faz um ping a um host que não existe.


```
DEBUG:vr_tp3_ex2:RECEIVED: EtherType -> IP from 1
DEBUG:vr_tp3_ex2:PACKET IS NOT ROUTABLE!
DEBUG:vr_tp3_ex2:ICMP DESTINATION UNREACHABLE SENT
DEBUG:vr_tp3_ex2:RECEIVED: EtherType -> ARP to aa:bb:cc:dd:ee:01
DEBUG:vr_tp3_ex2:ARP FRAME RECEIVED FROM 1
DEBUG:vr_tp3_ex2:IT'S AN ARP REQUEST!
Reques dst IP: 10.0.1.1
DEBUG:vr_tp3_ex2:ARP REPLY SENT! 1
```

5 Conclusão

Após a realização deste trabalho prático o grupo adquiriu novos conhecimentos e sobretudo aprofundou e consolidou o que já sabíamos da parte teórica da unidade curricular. Como é costume, ao colocar em prática a matéria lecionada na parte teórica, surgem várias dúvidas sobre as quais é preciso efetuar pesquisas para melhor compreensão sobre como realmente funciona este protocolo.

O grupo conclui que os objetivos foram alcançados e realça a grande vantagem da utilização deste protocolo quando se trata da manipulação das tabelas de fluxo no switch por parte do controlador tendo sido também essencial a utilização da API POX que facilitou todo este processo.

Devido á falta de tempo disponível por parte dos elementos não foi possível realizar a parte opcional do trabalho, sendo que após uma apreciação breve do problema, de facto, seria mais uma oportunidade para colocar á prova os nossos conhecimentos sobre esta área.