Engenharia de Serviços em Rede
Trabalho Prático Nº2
Streaming de áudio e vídeo a pedido e em tempo real

Ana Luísa Carneiro, Ana Rita Peixoto, and Luís Miguel Pinto

University of Minho, Department of Informatics, 4710-057 Braga, Portugal
e-mail: {pg46983,pg46988,pg47428}@alunos.uminho.pt

Questão 1. Capture três pequenas amostras de trágefo no link de saída do servidor, respetivamente com 1 cliente (VLC), com 2 clientes (VLC e Firefox) e com 3 clientes (VLC, Firefox e ffmeg). Identifique a taxa em bps necessária (usando o ffmpeg -i video1.mp4 e/ou o próprio wireshark), o encapsulamento usado e o número total de fluxos gerados. Comente a escalabilidade da solução. Ilustre com evidências da realização prática do exercício (ex: capturas de ecrã).

Relativamente à taxa em bps necessária, podemos observar qual seria a taxa esperada através do comando *ffmpeg -i video1.mp4*, tal como apresentado na figura 1. A partir da execução deste comando, concluímos que o valor teórico seria de 11 kbps. Contudo, ao analisar pelo *wireshark* (figura 2), podemos observar que a taxa real necessária para a transmissão do vídeo foi na verdade 17 kbps, para a captura com apenas 1 cliente (VLC). Este valor pode ser justificado devido à ocorrência de perdas na transmissão (*malformed packet*). Podemos ainda observar a taxa relativa à captura com 2 clientes (VLC e Firefox) e com 3 clientes (VLC, Firefox e ffmeg), nas figuras 3 e 4, respetivamente.

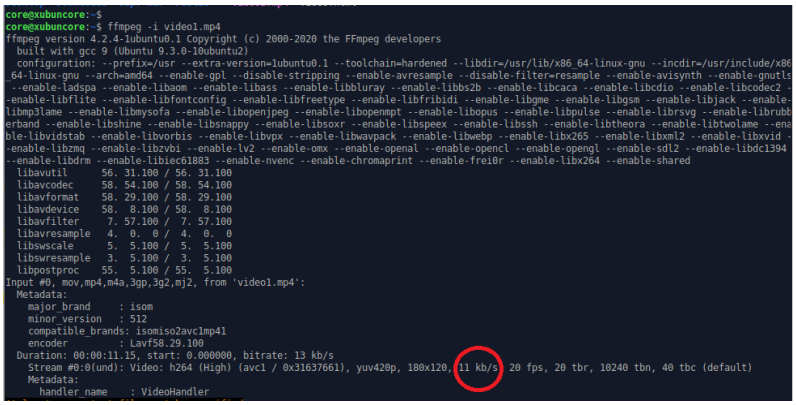
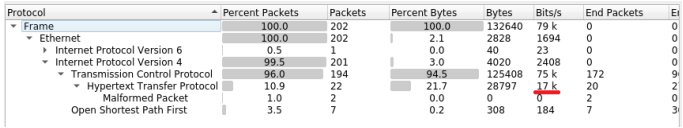


Fig. 1: Taxa bps esperada para transmissão



Protocol	Percent Packets	Packets	Percent Bytes	Bytes	Bits/s	End Packets
Frame	100.0	202	100.0	132640	79 k	0
Ethernet	100.0	202	2.1	2828	1694	0
Internet Protocol Version 6	0.5	1	0.0	40	23	0
Internet Protocol Version 4	99.5	201	3.0	4020	2408	0
Transmission Control Protocol	96.0	194	94.5	125408	75 k	172
Hypertext Transfer Protocol	10.9	22	21.7	28797	17 k	20
Malformed Packet	1.0	2	0.0	0	0	2
Open Shortest Path First	3.5	7	0.2	308	184	7

Fig. 2: Taxa bps real na transmissão com 1 cliente

Protocol	Percent Packets	Packets	Percent Bytes	Bytes	Bits/s	End Packets	End B
Frame	100.0	372	100.0	242026	189 k	0	0
Ethernet	100.0	372	2.2	5208	4078	0	0
Internet Protocol Version 6	0.3	1	0.0	40	31	0	0
Internet Protocol Version 4	99.2	369	3.0	7380	5778	0	0
Transmission Control Protocol	97.8	364	94.7	229086	179 k	342	2001
Hypertext Transfer Protocol	5.9	22	12.1	29198	22 k	20	2837
Malformed Packet	0.5	2	0.0	0	0	2	0
Open Shortest Path First	1.3	5	0.1	220	172	5	220
Address Resolution Protocol	0.5	2	0.0	56	43	2	56

Fig. 3: Taxa bps real na transmissão com 2 clientes

Protocol	Percent Packets	Packets	Percent Bytes	Bytes	Bits/s	End Packets	End Bytes	End Bits/s
Frame	100.0	443	100.0	296494	395 k	0	0	0
Ethernet	100.0	443	2.1	6202	8266	0	0	0
Internet Protocol Version 6	0.2	1	0.0	40	53	0	0	0
Internet Protocol Version 4	99.8	442	3.0	8840	11 k	0	0	0
Transmission Control Protocol	98.9	438	94.8	281220	374 k	411	243561	324 k
Hypertext Transfer Protocol	6.1	27	12.9	38220	50 k	27	38220	50 k
Open Shortest Path First	0.9	4	0.1	176	234	4	176	234

Fig. 4: Taxa bps real na transmissão com 3 clientes

No que toca ao encapsulamento dos pacotes transmitidos, podemos observar que este processo ocorre em todos os diferentes níveis da pilha protocolar: camada de transporte (TCP), camada de rede (IPv4), camada de aplicação (HTTP) e na camada de ligação de dados que abrange o protocolo *Ethernet*. Podemos tirar estas conclusões a partir da análise de tramas TCP capturadas pelo *wireshark*, tal como apresentado na figura 5. A informação presente nesta figura é relativa à captura com apenas 1 cliente (VLC). Para as capturas com 2 (VLC e Firefox) e 3 (VLC, Firefox e ffmep) o encapsulamento que ocorreu foi o mesmo, tal como é possível observar nas figuras 6 e 7, respetivamente.

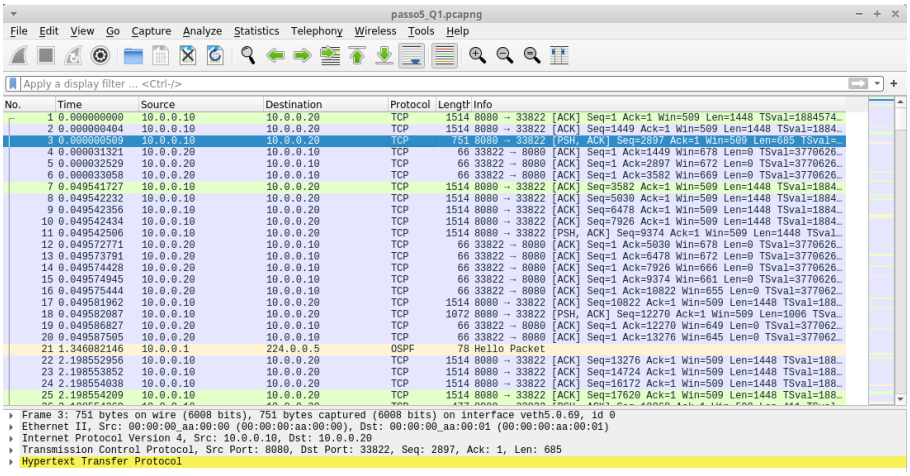


Fig. 5: Encapsulamento da trama TCP com 1 cliente

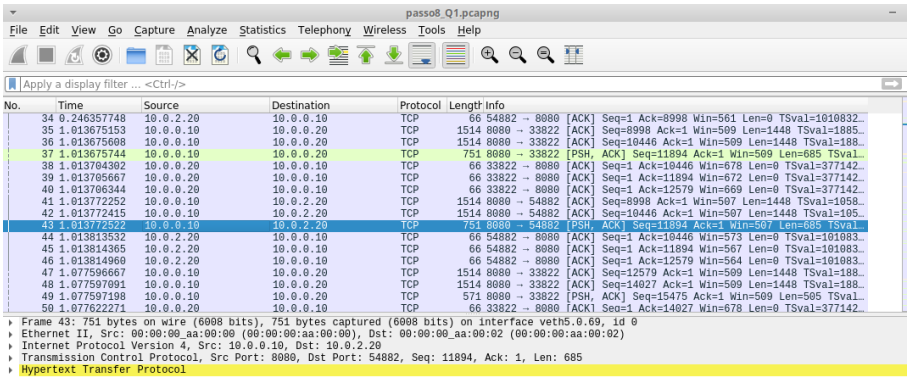


Fig. 6: Encapsulamento da trama TCP com 2 clientes

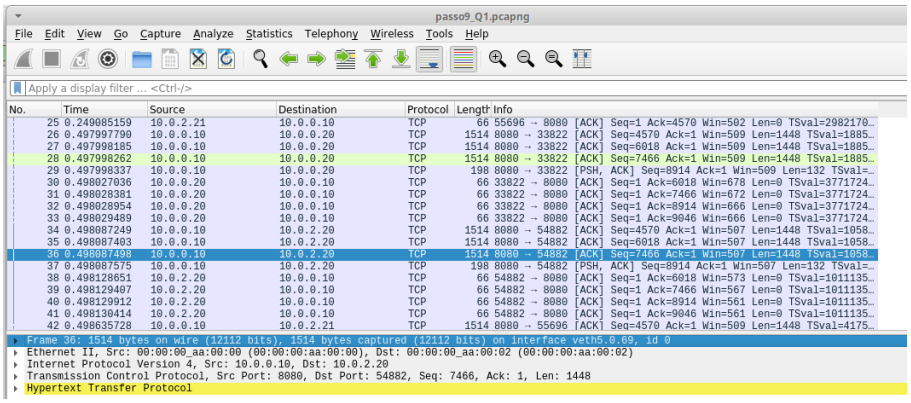


Fig. 7: Encapsulamento da trama TCP com 3 clientes

Para calcular o número de fluxos gerados, é necessário observar 5 parâmetros de cada pacote: IP origem, IP destino, Protocolo, porta origem e porta destino, e observar quais as repetições deste conjunto parâmetros.

Para a primeira captura (apenas com 1 cliente, VLC) é possível observar que apenas ocorreu 1 fluxo (figura 8). Para isso, utilizou-se o filtro *tcp.stream eq* e verificou-se que apenas existe a *stream* 0. Logo, existe apenas 1 fluxo para a primeira captura, que corresponde ao cliente a transmitir no VLC.

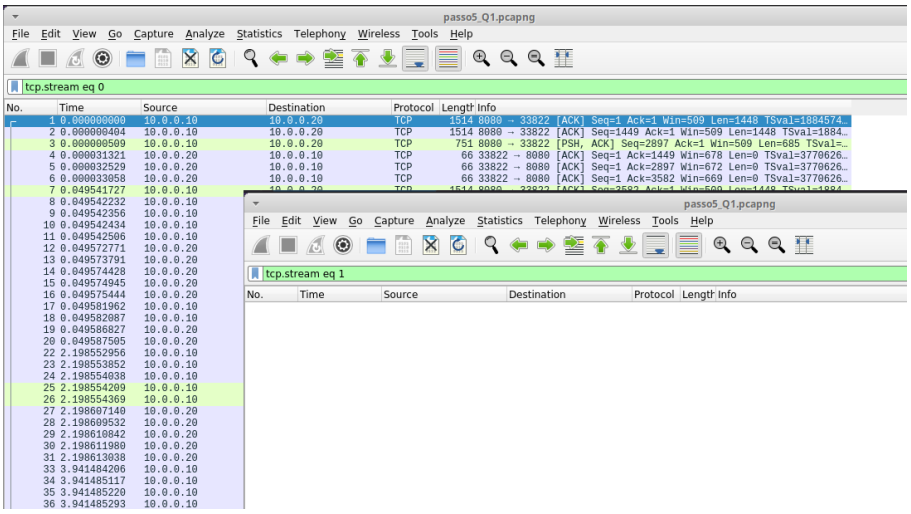


Fig. 8: Fluxos gerados com 1 cliente

Na segunda captura de fluxo (2 clientes, VLC e Firefox) é possível observar que existiram 2 fluxos gerados. É também possível observar este número de fluxos utilizando, novamente, o filtro *tcp.stream eq*, tal como representado na figura 9. Concluímos que existiram 2 fluxos, correspondentes a cada um dos serviços VLC e Firefox.

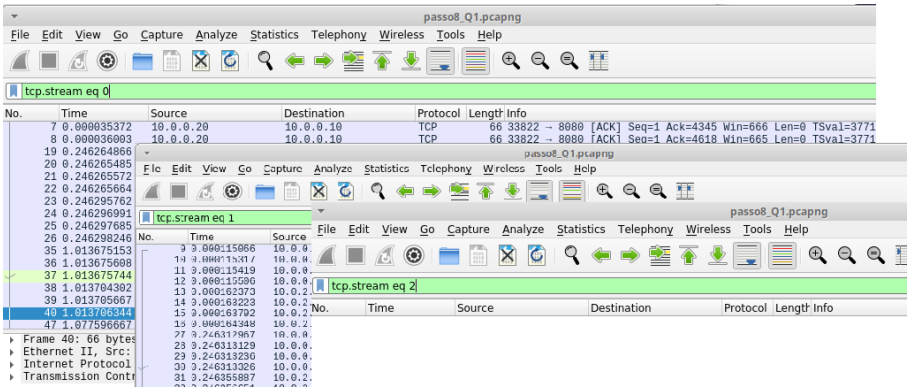


Fig. 9: Fluxos gerados com 2 clientes

Na terceira e última captura (3 clientes, VLC, Firefox e ffmeg) podemos concluir que foram gerados 3 fluxos. Podemos observar este facto com recurso novamente ao filtro *tcp.stream eq* e contar o número de

streams, tal como apresentado na figura 10. Podemos concluir que cada *stream* corresponde a cada serviço utilizado: VLC, Firefox e ffmeg.

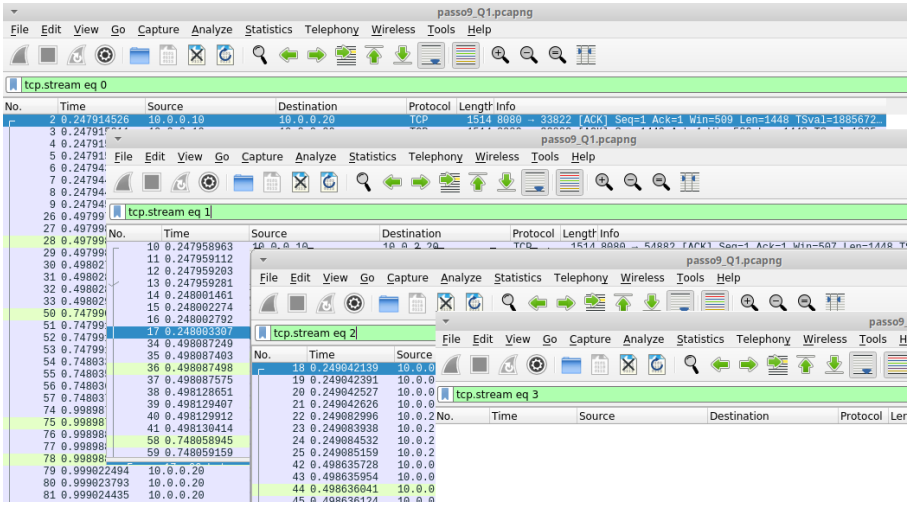


Fig. 10: Fluxos gerados com 3 clientes

Por último, podemos concluir que esta solução não escala muito bem. Através da observação das capturas efetuadas com diferentes clientes concluímos que o servidor envia a resposta de pedidos individualmente para cada cliente. Deste modo, caso o número de clientes aumente consideravelmente, o servidor terá que enviar as tramas para cada cliente, mesmo que o pedido de cada cliente seja o mesmo.

Questão 2. Diga qual a largura de banda necessária, em bits por segundo, para que o cliente de *streaming* consiga receber o vídeo no *firefox* e qual a pilha protocolar usada neste cenário.

A largura de banda assim como a informação sobre as diversas resoluções do vídeo está descrito no ficheiro "video_manifest.mpd".

Para que o cliente consiga assistir ao vídeo de menor resolução, 180*120, é necessário uma largura de banda de 433870 bps, tal como podemos ver na figura 11. Para assistir ao vídeo de resolução intermédia, 360*240, é necessário um *link* com 1673630 bps de largura de banda, demonstrado na figura 12. Finalmente, para assistir ao vídeo de resolução mais alta, 540*360, é necessário uma largura de banda de 8297710 bps, tal como está na figura 13.

```
<Representation id="1" mimeType="video/mp4" codecs="avc3.64000c" width="180" height="120" frameRate="30" sar="1:1" startWithSAP="0" bandwidth="167363">
 <BaseURL>video2_180_120_200k_dash.mp4</BaseURL>
 <SegmentList timescale="15360" duration="7680">
   <SegmentURL mediaRange="928-5489" indexRange="928-971"/>
   <SegmentURL mediaRange="5490-11811" indexRange="5490-5533"/>
   <SegmentURL mediaRange="11812-15912" indexRange="11812-11855"/>
   <SegmentURL mediaRange="15913-27256" indexRange="15913-15956"/>
   <SegmentURL mediaRange="27257-30577" indexRange="27257-27300"/>
   <SegmentURL mediaRange="30578-33824" indexRange="30578-30621"/>
   <SegmentURL mediaRange="33825-55238" indexRange="33825-33868"/>
   <SegmentURL mediaRange="55239-64067" indexRange="55239-55282"/>
   <SegmentURL mediaRange="64068-76294" indexRange="64068-64111"/>
   <SegmentURL mediaRange="76295-88172" indexRange="76295-76338"/>
   <SegmentURL mediaRange="88173-111015" indexRange="88173-88216"/>
   <SegmentURL mediaRange="111016-117622" indexRange="111016-111059"/>
   <SegmentURL mediaRange="117623-126601" indexRange="117623-117666"/>
   <SegmentURL mediaRange="126602-144078" indexRange="126602-126645"/>
   <SegmentURL mediaRange="144079-151624" indexRange="144079-144122"/>
   <SegmentURL mediaRange="151625-158901" indexRange="151625-151668"/>
   <SegmentURL mediaRange="158902-178246" indexRange="158902-158945"/>
   <SegmentURL mediaRange="178247-185298" indexRange="178247-178290"/>
   <SegmentURL mediaRange="185299-192426" indexRange="185299-185342"/>
   <SegmentURL mediaRange="192427-199646" indexRange="192427-192470"/>
   <SegmentURL mediaRange="199647-219411" indexRange="199647-199690"/>
   <SegmentURL mediaRange="219412-229775" indexRange="219412-219455"/>
   <SegmentURL mediaRange="229776-238181" indexRange="229776-229819"/>
   <SegmentURL mediaRange="238182-257618" indexRange="238182-238225"/>
  <SegmentURL mediaRange="257619-260807" indexRange="257619-257662"/>
 </SegmentList>
</Representation>
```


Fig. 11: Informação sobre a resolução 180*120 do vídeo


```
<Representation id="2" mimeType="video/mp4" codecs="avc3.640014" width="360" height="240" frameRate="30" sar="1:1" startWithSAP="0" bandwidth="433872">
 <BaseURL>video2_360_240_500k_dash.mp4</BaseURL>
 <SegmentList timescale="15360" duration="7680">
   <SegmentURL mediaRange="928-11542" indexRange="928-971"/>
   <SegmentURL mediaRange="11543-28707" indexRange="11543-11586"/>
   <SegmentURL mediaRange="28708-41810" indexRange="28708-28751"/>
   <SegmentURL mediaRange="41811-73257" indexRange="41811-41854"/>
   <SegmentURL mediaRange="73258-83135" indexRange="73258-73301"/>
   <SegmentURL mediaRange="83136-91258" indexRange="83136-83179"/>
   <SegmentURL mediaRange="91259-147503" indexRange="91259-91302"/>
   <SegmentURL mediaRange="147504-176284" indexRange="147504-147547"/>
   <SegmentURL mediaRange="176285-211259" indexRange="176285-176328"/>
   <SegmentURL mediaRange="211260-237201" indexRange="211260-211303"/>
   <SegmentURL mediaRange="237202-298630" indexRange="237202-237245"/>
   <SegmentURL mediaRange="298631-316289" indexRange="298631-298674"/>
   <SegmentURL mediaRange="316290-332751" indexRange="316290-316333"/>
   <SegmentURL mediaRange="332752-382048" indexRange="332752-332795"/>
   <SegmentURL mediaRange="382049-399526" indexRange="382049-382092"/>
   <SegmentURL mediaRange="399527-416036" indexRange="399527-399570"/>
   <SegmentURL mediaRange="416037-468904" indexRange="416037-416080"/>
   <SegmentURL mediaRange="468905-487798" indexRange="468905-468948"/>
   <SegmentURL mediaRange="487799-504292" indexRange="487799-487842"/>
   <SegmentURL mediaRange="504293-521457" indexRange="504293-504336"/>
   <SegmentURL mediaRange="521458-574423" indexRange="521458-521501"/>
   <SegmentURL mediaRange="574424-598376" indexRange="574424-574467"/>
   <SegmentURL mediaRange="598377-618721" indexRange="598377-598420"/>
   <SegmentURL mediaRange="618722-669630" indexRange="618722-618765"/>
  <SegmentURL mediaRange="669631-676117" indexRange="669631-669674"/>
 </SegmentList>
</Representation>
```

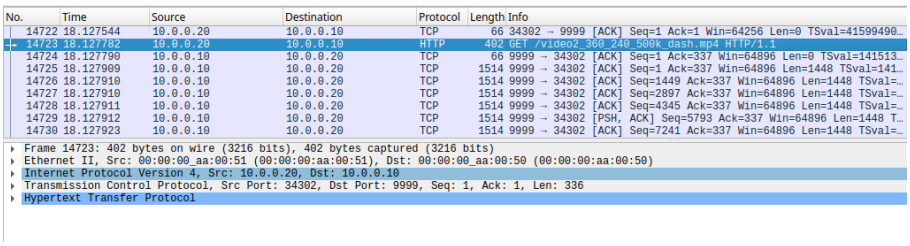

Fig. 12: Informação sobre a resolução 360*240 do vídeo


```
<Representation id="3" mimeType="video/mp4" codecs="avc3.64001e" width="540" height="360" frameRate="30" sar="1:1" startWithSAP="0" bandwidth="829771">
 <BaseURL>video2_540_360_1000k_dash.mp4</BaseURL>
 <SegmentList timescale="15360" duration="7680">
   <SegmentURL mediaRange="928-20616" indexRange="928-971"/>
   <SegmentURL mediaRange="20617-52980" indexRange="20617-20660"/>
   <SegmentURL mediaRange="52981-78019" indexRange="52981-53024"/>
   <SegmentURL mediaRange="78020-137919" indexRange="78020-78063"/>
   <SegmentURL mediaRange="137920-158936" indexRange="137920-137963"/>
   <SegmentURL mediaRange="158937-171906" indexRange="158937-158980"/>
   <SegmentURL mediaRange="171907-270342" indexRange="171907-171950"/>
   <SegmentURL mediaRange="270343-331299" indexRange="270343-270386"/>
   <SegmentURL mediaRange="331300-389535" indexRange="331300-331343"/>
   <SegmentURL mediaRange="389536-448099" indexRange="389536-389579"/>
   <SegmentURL mediaRange="448100-565128" indexRange="448100-448143"/>
   <SegmentURL mediaRange="565129-597240" indexRange="565129-565172"/>
   <SegmentURL mediaRange="597241-634134" indexRange="597241-597284"/>
   <SegmentURL mediaRange="634135-725773" indexRange="634135-634178"/>
   <SegmentURL mediaRange="725774-760827" indexRange="725774-725817"/>
   <SegmentURL mediaRange="760828-794081" indexRange="760828-760871"/>
   <SegmentURL mediaRange="794082-886878" indexRange="794082-794125"/>
   <SegmentURL mediaRange="886879-927442" indexRange="886879-886922"/>
   <SegmentURL mediaRange="927443-963599" indexRange="927443-927486"/>
   <SegmentURL mediaRange="963600-999856" indexRange="963600-963643"/>
   <SegmentURL mediaRange="999857-1097616" indexRange="999857-999900"/>
   <SegmentURL mediaRange="1097617-1145426" indexRange="1097617-1097660"/>
   <SegmentURL mediaRange="1145427-1184940" indexRange="1145427-1145470"/>
   <SegmentURL mediaRange="1184941-1278383" indexRange="1184941-1184984"/>
  <SegmentURL mediaRange="1278384-1293059" indexRange="1278384-1278427"/>
 </SegmentList>
</Representation>
```


Fig. 13: Informação sobre a resolução 520*360 do vídeo

Os protocolos utilizados para a transmissão do vídeo encontram-se na figura 14. Neste figura podemos ver o protocolo *Ethernet* a ser utilizado na camada de ligação de dados, o protocolo IP na camada de rede, o protocolo TCP para a camada de transporte e o HTTP na camada de aplicação.

Todos estes protocolos estão associados e dão suporte à rede global Internet, uma vez que o vídeo foi transmitido na *WEB* a partir do *firefox*.



No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
14722	18.127544	10.0.0.20	10.0.0.10	TCP	66	34302 → 9999 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=64256 Len=0 TSval=41599490…
14723	18.127782	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
14724	18.127790	10.0.0.10	10.0.0.20	TCP	66	9999 → 34302 [ACK] Seq=1 Ack=337 Win=64896 Len=0 TSval=141513…
14725	18.127909	10.0.0.10	10.0.0.20	TCP	1514	9999 → 34302 [ACK] Seq=1 Ack=337 Win=64896 Len=1448 TSval=141…
14726	18.127910	10.0.0.10	10.0.0.20	TCP	1514	9999 → 34302 [ACK] Seq=1449 Ack=337 Win=64896 Len=1448 TSval=…
14727	18.127910	10.0.0.10	10.0.0.20	TCP	1514	9999 → 34302 [ACK] Seq=2897 Ack=337 Win=64896 Len=1448 TSval=…
14728	18.127911	10.0.0.10	10.0.0.20	TCP	1514	9999 → 34302 [ACK] Seq=4345 Ack=337 Win=64896 Len=1448 TSval=…
14729	18.127912	10.0.0.10	10.0.0.20	TCP	1514	9999 → 34302 [PSH, ACK] Seq=5793 Ack=337 Win=64896 Len=1448 T…
14730	18.127923	10.0.0.10	10.0.0.20	TCP	1514	9999 → 34302 [ACK] Seq=7241 Ack=337 Win=64896 Len=1448 TSval=…

```
▸ Frame 14723: 402 bytes on wire (3216 bits), 402 bytes captured (3216 bits)
▸ Ethernet II, Src: 00:00:00_aa:00:51 (00:00:00:aa:00:51), Dst: 00:00:00_aa:00:50 (00:00:00:aa:00:50)
▸ Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.0.20, Dst: 10.0.0.10
▸ Transmission Control Protocol, Src Port: 34302, Dst Port: 9999, Seq: 1, Ack: 1, Len: 336
▸ Hypertext Transfer Protocol
```

Fig. 14: Camada protocolar

Questão 3. Ajuste o débito dos *links* da topologia de modo que o cliente no portátil 2 exiba o vídeo de menor resolução e o cliente no portátil 1 exiba o vídeo com mais resolução. Mostre evidências.

Para que portátil 1 exiba o vídeo de maior resolução é necessário restringir o *link* da topologia para que esta permita a transmissão do vídeo de resolução 540*360. Para isso, verificamos a largura de banda necessária para transmitir o vídeo com essa resolução no ficheiro "video_manifest.mpd" (figura 13).

Como a largura de banda necessário à transmissão do vídeo de resolução alta é 829771 bps basta que o *link* do portátil 1 seja restringido à largura de banda de 9000000 bps, isto é, 900 kbps (figura 15).

Na captura do *wireshark* para o portátil 1 (figura 16), podemos ver na linha 27 que há uma transmissão do vídeo de maior resolução (540*360), tal como era pretendido. Contudo, ao longo da transmissão, devido à funcionalidade do DASH, a resolução do vídeo vai diminuindo para a resolução intermédia (linha 1524) e para a resolução mais baixa (linha 3033).

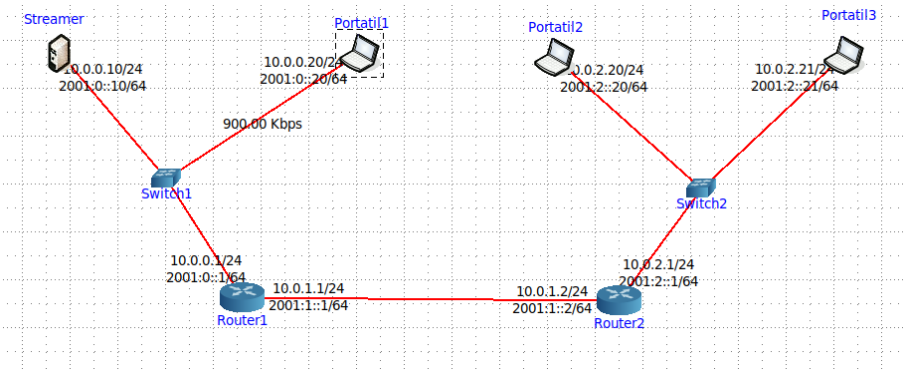


Fig. 15: Rede com restrição para maior resolução

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
12	4.823208855	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	379	GET /favicon.ico HTTP/1.1
15	4.838816531	10.0.0.10	10.0.0.20	HTTP	741	HTTP/1.1 404 Not Found (text/html)
27	5.221053037	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	399	GET /video2_540_360_1000k_dash.mp4 HTTP/1.1
1514	17.249081706	10.0.0.10	10.0.0.20	MP4	268	
1524	18.323798235	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	400	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
2275	24.616998281	10.0.0.10	10.0.0.20	MP4	173	
2282	24.633708178	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	400	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
3026	30.923517738	10.0.0.10	10.0.0.20	MP4	173	
3033	30.986481479	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	400	GET /video2_180_120_200k_dash.mp4 HTTP/1.1

Fig. 16: Captura da transmissão para o Portátil 1

Para que portátil 2 exiba o vídeo de menor resolução é necessário restringir o *link* da topologia para que esta permita a transmissão do vídeo de resolução 180*120. Para isso é necessário verificar a largura de banda dessa resolução no ficheiro "video_manifest.mpd" (figura 11).

Como a largura de banda necessário à transmissão do vídeo de resolução baixa é 1673630 bps basta que o *link* do portátil 2 seja restringido à largura de banda de 2000000 bps, isto é, 200 kbps (figura 17).

Na captura do *wireshark* para o portátil 2 (figura 18), podemos ver na linha 78 que há uma transmissão do vídeo de menor resolução, tal como era pretendido.

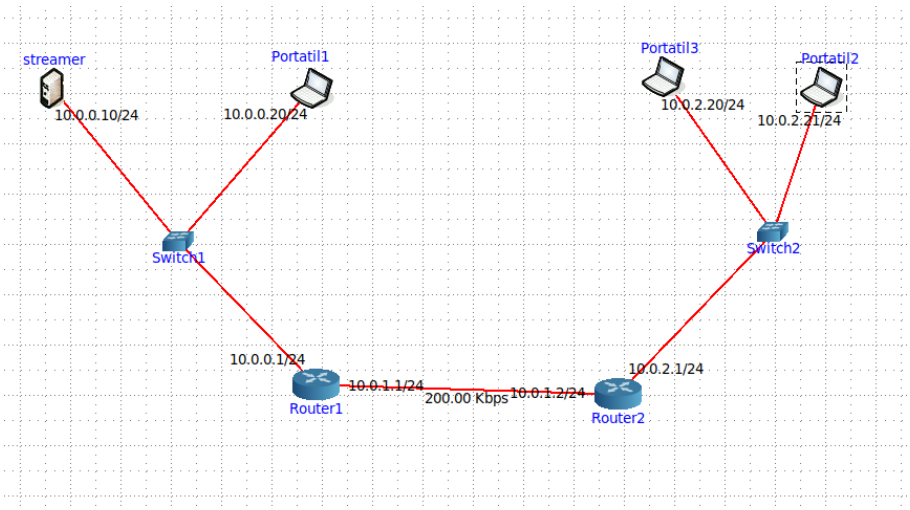


Fig. 17: Rede Core com restrição para menor resolução

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
8	4.499327	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	425	GET /video_dash.html HTTP/1.1
10	4.562787	10.0.0.10	10.0.2.21	HTTP	666	HTTP/1.1 200 Ok (text/html)
19	5.210322	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	426	GET /video_manifest.mpd HTTP/1.1
35	5.570257	10.0.0.10	10.0.2.21	HTTP/X…	198	HTTP/1.1 200 Ok
43	5.570368	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	379	GET /favicon.ico HTTP/1.1
48	5.581356	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	364	GET /video_manifest.mpd HTTP/1.1
50	5.639159	10.0.0.10	10.0.2.21	HTTP	741	HTTP/1.1 404 Not Found (text/html)
64	5.941684	10.0.0.10	10.0.2.21	HTTP/X…	198	HTTP/1.1 200 Ok
69	6.051762	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	369	GET /video_manifest_init.mp4 HTTP/1.1
71	6.132910	10.0.0.10	10.0.2.21	MP4	1060	
78	6.190417	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	397	GET /video2_180_120_200k_dash.mp4 HTTP/1.1
451	17.144409	10.0.0.10	10.0.2.21	MP4	439	
459	18.201689	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	399	GET /video2_180_120_200k_dash.mp4 HTTP/1.1
829	29.168387	10.0.0.10	10.0.2.21	MP4	439	
835	29.200942	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	400	GET /video2_180_120_200k_dash.mp4 HTTP/1.1

Fig. 18: Captura da transmissão para o Portátil 2

Questão 4. Descreva o funcionamento do DASH neste caso concreto, referindo o papel do ficheiro MPD criado.

O DASH (*Dynamic Adaptive Streaming over* HTTP) é uma técnica de *streaming* por HTTP que permite a transmissão dinâmica e adaptativa às condições da rede como por exemplo a largura de banda do *link*. Assim sendo, o DASH vai a verificar a largura de banda do *link* e avaliar qual a melhor resolução do vídeo a ser transmitido nesse *link*, a partir do ficheiro "video_manifest.mpd". É neste ficheiro onde está armazenado as informações sobre cada resolução disponível do vídeo tal como a largura de banda necessária do *link* para transmitir o vídeo nessa resolução específica. Desta forma, durante o *stream* do vídeo, o DASH vai avaliando a qualidade de transmissão e conectividade e alterando a resolução do vídeo conforme essas características.

Um exemplo do funcionamento da DASH ocorreu durante a *stream* do vídeo no *firefox* no portátil 1 e 2. Durante essa transmissão, foi realizada uma captura com o apoio do *Wireshark* de forma a ver os dados recebidos por ambos os clientes, tal como está representado nas figuras 19 e 20.

Em ambos os casos podemos ver que o *streaming* foi inicializado com um vídeo de resolução alta (540*360) tal como está linhas 60 e 52 nas figuras 19 e 20, respetivamente. Contudo, ao longo da *stream* podemos ver o vídeo a mudar a sua resolução para uma mais baixa (360*240) tal como está nas linhas 3036 e 4162 nas figuras 19 e 20, respetivamente, sendo esta a resolução que acaba por ser transmitida até ao fim da *stream*.

Isto aconteceu pois o DASH verificou que a conectividade e/ou a transmissão na rede não foram suficientes para manter a transmissão, na íntegra, da resolução mais alta (540*360) e por isso baixou a resolução do vídeo para que o utilizador conseguisse ver o vídeo completo sem que note perdas de frame ou pausas devido à falta de conexão.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
14	15.515434	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	425	GET /video_dash.html HTTP/1.1
16	15.515562	10.0.0.10	10.0.0.20	HTTP	666	HTTP/1.1 200 Ok (text/html)
26	16.166488	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	379	GET /favicon.ico HTTP/1.1
28	16.166594	10.0.0.10	10.0.0.20	HTTP	741	HTTP/1.1 404 Not Found (text/html)
35	16.181031	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	426	GET /video_manifest.mpd HTTP/1.1
42	16.181177	10.0.0.10	10.0.0.20	HTTP/X…	198	HTTP/1.1 200 Ok
51	16.545664	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	369	GET /video_manifest_init.mp4 HTTP/1.1
53	16.545792	10.0.0.10	10.0.0.20	MP4	1060	
60	16.580601	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	399	GET /video2_540_360_1000k_dash.mp4 HTTP/1.1
1022	16.589598	10.0.0.10	10.0.0.20	MP4	268	
1029	16.647513	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	401	GET /video2_540_360_1000k_dash.mp4 HTTP/1.1
2046	16.655247	10.0.0.10	10.0.0.20	MP4	268	
2053	16.722394	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	401	GET /video2_540_360_1000k_dash.mp4 HTTP/1.1
3029	16.746644	10.0.0.10	10.0.0.20	MP4	268	
3036	17.344293	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	400	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
3611	17.346162	10.0.0.10	10.0.0.20	MP4	173	
3623	17.390914	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	400	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
4129	17.395054	10.0.0.10	10.0.0.20	MP4	173	
4136	17.413867	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	400	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
4648	17.417759	10.0.0.10	10.0.0.20	MP4	173	
4655	17.432905	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	401	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
5174	17.436885	10.0.0.10	10.0.0.20	MP4	173	
5181	17.465650	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
5694	17.469303	10.0.0.10	10.0.0.20	MP4	173	
5701	17.496292	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
6214	17.500192	10.0.0.10	10.0.0.20	MP4	173	
6221	17.522432	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
6719	17.525899	10.0.0.10	10.0.0.20	MP4	173	
6726	17.554839	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
7247	17.558725	10.0.0.10	10.0.0.20	MP4	173	
7254	17.577327	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
7777	17.581458	10.0.0.10	10.0.0.20	MP4	173	
7784	17.594344	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
8359	17.598168	10.0.0.10	10.0.0.20	MP4	173	
8368	17.616280	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
8940	17.620688	10.0.0.10	10.0.0.20	MP4	173	
8952	17.646471	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
9527	17.650265	10.0.0.10	10.0.0.20	MP4	173	
9536	17.667903	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
10128	17.670707	10.0.0.10	10.0.0.20	MP4	173	
10135	17.692977	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
10648	17.695851	10.0.0.10	10.0.0.20	MP4	173	
10655	17.723638	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
11306	17.728195	10.0.0.10	10.0.0.20	MP4	173	
11330	17.757368	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
11866	17.761343	10.0.0.10	10.0.0.20	MP4	173	
11873	17.777076	10.0.0.20	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1

Fig. 19: Captura para o Portátil 1

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
10	5.592882	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	425	GET /video_dash.html HTTP/1.1
12	5.593022	10.0.0.10	10.0.2.21	HTTP	666	HTTP/1.1 200 Ok (text/html)
22	6.208920	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	379	GET /favicon.ico HTTP/1.1
24	6.209035	10.0.0.10	10.0.2.21	HTTP	741	HTTP/1.1 404 Not Found (text/html)
31	6.232258	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	426	GET /video_manifest.mpd HTTP/1.1
38	6.232427	10.0.0.10	10.0.2.21	HTTP/X…	198	HTTP/1.1 200 Ok
47	6.595092	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	369	GET /video_manifest_init.mp4 HTTP/1.1
49	6.595241	10.0.0.10	10.0.2.21	MP4	1060	
56	6.675070	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	399	GET /video2_540_360_1000k_dash.mp4 HTTP/1.1
1115	6.686846	10.0.0.10	10.0.2.21	MP4	268	
1122	6.740985	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	401	GET /video2_540_360_1000k_dash.mp4 HTTP/1.1
2110	6.760078	10.0.0.10	10.0.2.21	MP4	268	
2117	6.844661	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	401	GET /video2_540_360_1000k_dash.mp4 HTTP/1.1
3170	6.867600	10.0.0.10	10.0.2.21	MP4	268	
3177	7.448190	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_540_360_1000k_dash.mp4 HTTP/1.1
4147	7.461031	10.0.0.10	10.0.2.21	MP4	268	
4154	7.533588	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	419	GET /video_manifest_init.mp4 HTTP/1.1
4156	7.533731	10.0.0.10	10.0.2.21	HTTP	257	HTTP/1.1 304 Not Modified
4162	7.538982	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	400	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
4690	7.543920	10.0.0.10	10.0.2.21	MP4	173	
4697	7.570351	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	400	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
5236	7.575131	10.0.0.10	10.0.2.21	MP4	173	
5243	7.590523	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	401	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
5779	7.595302	10.0.0.10	10.0.2.21	MP4	173	
5786	7.612774	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
6322	7.621209	10.0.0.10	10.0.2.21	MP4	173	
6329	7.652131	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
6904	7.657022	10.0.0.10	10.0.2.21	MP4	173	
6911	7.687289	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
7481	7.691933	10.0.0.10	10.0.2.21	MP4	173	
7496	7.706212	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
8031	7.724908	10.0.0.10	10.0.2.21	MP4	173	
8039	7.766005	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
8609	7.771852	10.0.0.10	10.0.2.21	MP4	173	
8624	7.816631	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
9187	7.821798	10.0.0.10	10.0.2.21	MP4	173	
9224	7.835324	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
9732	7.839626	10.0.0.10	10.0.2.21	MP4	173	
9739	7.857100	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
10248	7.862718	10.0.0.10	10.0.2.21	MP4	173	
10255	7.886947	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
10792	7.892844	10.0.0.10	10.0.2.21	MP4	173	
10799	7.906610	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
11328	7.927215	10.0.0.10	10.0.2.21	MP4	173	
11335	7.997132	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
11908	8.001213	10.0.0.10	10.0.2.21	MP4	173	
11915	8.039718	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
12489	8.043426	10.0.0.10	10.0.2.21	MP4	173	
12501	8.142399	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
13075	8.164772	10.0.0.10	10.0.2.21	MP4	173	
13086	8.228191	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1
13652	8.232807	10.0.0.10	10.0.2.21	MP4	173	
13670	8.303515	10.0.2.21	10.0.0.10	HTTP	402	GET /video2_360_240_500k_dash.mp4 HTTP/1.1

Fig. 20: Captura para o Portátil 2

Questão 5. Compare o cenário unicast aplicado com o cenário multicast. Mostre vantagens e desvantagens na solução multicast ao nível da rede, no que diz respeito a escalabilidade (aumento do nº de clientes) e tráfego na rede. Tire as suas conclusões.

A experiência feita nesta etapa consistiu em testar cenários de rede distintos, tendo em conta *streaming* em *unicast* (transmissão entre apenas um *sender* e um *receiver*) e em *multicast* (envio de pacotes de uma entidade para um grupo de *hosts* na rede).

Para o serviço de *multicast* é possível efetuar uma análise das suas **vantagens** e **desvantagens** em termos de **escalabilidade** e **tráfego de rede**. Em termos de **escalabilidade** (aumento do número de clientes na rede), podemos verificar que o serviço *multicast* é mais escalável do que o *unicast* na medida em que responde de forma mais eficiente quando existem vários clientes na rede, o que conduz ao melhor aproveitamento da largura de banda existente e evitando o envio de pacotes redundantes. Deste modo, o serviço *multicast* é benéfico não só em termos de escalabilidade como também no âmbito do **tráfego na rede**.

A maior **desvantagem** do *streaming* em *multicast* é a sua elevada complexidade relativamente ao *streaming* em *unicast*, o que provoca maiores custos de controlo e *overhead*.

Por fim, através das capturas de tráfego no *wireshark* das transmissões *multicast* e *unicast* efetuadas (figura 21 e 22), é possível observar que a quantidade de dados enviada em cada uma das transmissões é muito semelhante, 131 k e 135 k, respetivamente. No entanto, os 135 k no *unicast* são relativos a 1 só cliente, ao passo que os 131 k do *multicast* são relativos a 3 clientes. Deste modo, tal como esperado, podemos concluir que aproveitamos melhor a largura de banda e que a solução *multicast* é muito mais **escalável**.

Wireshark · Protocol Hierarchy Statistics · etapa3.pcapng

Protocol	Percent Packets	Packets	Percent Bytes	Bytes	Bits/s	End Packets
Frame	100.0	520	100.0	342410	145 k	0
Ethernet	100.0	520	2.1	7280	3090	0
Internet Protocol Version 6	0.4	2	0.0	80	33	0
Open Shortest Path First	0.4	2	0.0	72	30	2
Internet Protocol Version 4	99.6	518	3.0	10360	4398	0
User Datagram Protocol	97.9	509	1.2	4072	[illegible]	0
Data	97.3	506	93.5	319994	135 k	506
ADwin configuration protocol	0.6	3	0.0	156	[illegible]	3
Open Shortest Path First	1.7	9	0.1	396	168	9

Fig. 21: Quantidade de dados transmitida em *unicast*

Wireshark · Protocol Hierarchy Statistics · etapa3_passo10.pcapng

Protocol	Percent Packets	Packets	Percent Bytes	Bytes	Bits/s	End Packets
Frame	100.0	775	100.0	516265	144 k	0
Ethernet	100.0	775	2.1	10850	3039	0
Internet Protocol Version 6	0.4	3	0.0	120	33	0
Internet Control Message Protocol v6	0.4	3	0.0	48	13	3
Internet Protocol Version 4	99.6	772	3.0	15440	4325	0
User Datagram Protocol	99.6	772	1.2	6176	1730	0
Session Announcement Protocol	0.8	6	0.4	1944	544	0
Session Description Protocol	0.8	6	0.3	1800	[illegible]	6
Real-Time Transport Protocol	93.9	728	90.6	467617	131 k	0
MP4V-ES	93.9	728	88.9	458881	[illegible]	728
Real-time Transport Control Protocol	0.8	6	0.0	168	47	6
Data	4.1	32	2.7	13902	3894	32

Fig. 22: Quantidade de dados transmitida em *multicast*

Conclusão.

Com a realização deste guião conseguimos explorar um espectro variado dos vários protocolos associados ao *streaming* de áudio e vídeo. Neste guião conseguimos analisar o tráfego e o nível de escalabilidade na transmissão de vídeo em HTTP estático e verificar o funcionamento da técnica DASH (HTTP Dinâmico), ambos sobre o protocolo TCP. Finalmente avaliar e comparar os cenários de *unicast* e *multicast* a partir do protocolo UDP com RTP/RTCP