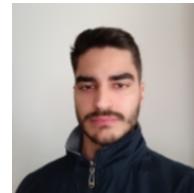


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Redes Fixas e Móveis 2023/2024

Trabalho Prático 1

André Alves :: pg53651; Renato Gomes :: pg54174; Afonso Marques :: pg53601



Abstract

As redes de comunicação estão a evoluir rapidamente para atender às crescentes necessidades por conectividade num mundo que está cada vez mais digitalizado. Tecnologias como fibra ótica, redes sem fio (Wi-Fi, 5G), acesso fixo sem fio (FWA), e satélites de comunicação são amplamente exploradas para fornecer acesso de alta velocidade e confiabilidade. Além disso, novas abordagens, como redes definidas por software (SDN) e virtualização de funções de rede (NFV), transformam a forma como as redes de acesso são projetadas, implementadas e geridas. No entanto, obstáculos como custo e disponibilidade continuam a ser enfrentados.

Index Terms

Fibra Ótica, Cobre, Wired, Wireless, Redes.

I. INTRODUÇÃO

O seguinte trabalho pretende explorar o uso de tecnologias de acesso à rede, mais especificamente a fibra ótica num cenário de teste criado para esse propósito. Foram testados diferentes cenários de rede com diferentes níveis de latência e velocidade com todas as conclusões retiradas especificadas neste documento.

Todos os testes foram realizados na seguinte topologia:

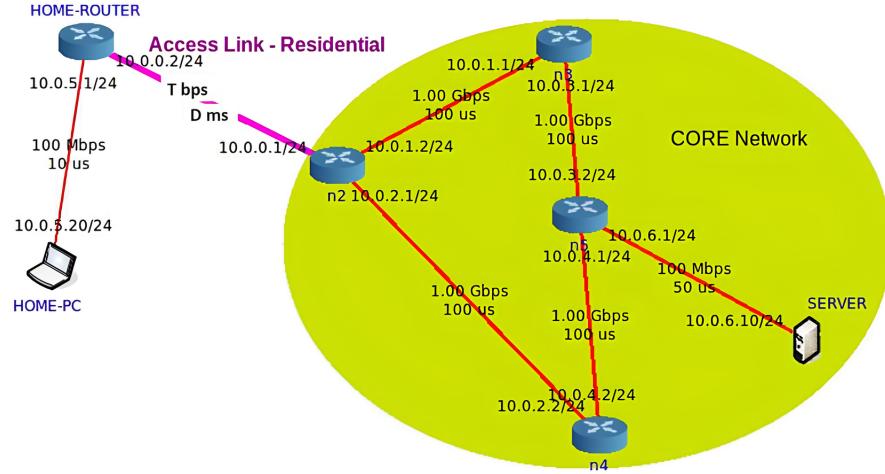


Fig. 1: Topologia utilizada

II. DESENVOLVIMENTO

A. Rede de Acesso - Fibra ótica

Para a realização deste trabalho e os seus objetivos, propomos explorar a tecnologia de acesso à base de fibra ótica. A fibra ótica é um material flexível e transparente feito de vidro ou plástico, utilizado para transmitir luz, imagens ou sinais codificados com alta eficiência. Com um diâmetro ligeiramente superior ao de um fio de cabo humano, a fibra ótica é capaz de conduzir esses sinais sem ser afetada por interferências eletromagnéticas, tornando-a crucial para sistemas de comunicação de dados.

Inicialmente, as fibras ópticas tinham limitações, como perda de luz na transmissão, geração de calor pelos lasers e problemas com emendas, o que limitava a sua aplicação em longas distâncias. No entanto, a partir dos anos 70, houve avanços significativos nas técnicas óticas, possibilitando a transmissão de informações em distâncias maiores. Em Portugal, a fibra ótica foi introduzida apenas nos anos 90, em 1992.

Existem dois tipos principais de fibras ópticas: monomodo e multimodo. A fibra óptica monomodo permite apenas um caminho de propagação, sendo ideal para transmissões de longa distância devido à baixa perda de informação. Por outro lado, a fibra óptica multimodo permite a propagação da luz em vários modos e é normalmente utilizada em redes locais (LAN), devido ao seu custo mais acessível.

B. Parâmetros Escolhidos

A rede residencial de acesso usada neste projeto usa um link de acesso a $T \text{ bps}$ (Mbps ou Gbps) com atraso de $D \text{ ms}$ e o HOME-PC tem uma ligação Ethernet ao HOME ROUTER a 100 Mbps e com atraso de 10 μsec .

De forma a realizar os testes necessários na rede e com base na tecnologia de acesso escolhida, foi necessário calcular os dois parâmetros, taxa de transmissão $T \text{ bps}$ e atraso $D \text{ ms}$, para o link de acesso residencial (Access Link - Residential).

Através da análise de diversas fontes sobre as especificações da fibra ótica, mencionadas no [capítulo das referências](#), e assumindo que temos um cabo de 10 km com uma latência de 5 μsec por km, propomos os seguintes valores para os parâmetros T e D :

- $T = 163.50 \text{ Mbps} (163500000 \text{ bps})$
- $D = 100 \mu\text{sec} (0.1 \text{ ms})$

C. Testes Realizados

1) Exercício 1.1:

Neste primeiro exercício pretendeu-se obter valores experimentais, com base nos resultados obtidos com o utilitário *ping*, de atraso médio fim-a-fim entre o HOME-PC e o SERVER, usando pacotes com tamanhos de 64 bytes e de 1024 bytes.

Registaram-se os seguintes valores de atraso médio:

- atraso nos pacotes 64 bytes = 1.364 e 1.038 milissegundos
- atraso nos pacotes 1024 bytes = 1.586 e 2.043 milissegundos

2) Exercício 1.2:

Neste segundo exercício procedeu-se à modificação de algumas características na ligação no ponto de acesso residencial com o objetivo de tornar a ligação assimétrica, onde se modificou as taxas de transmissão (Bandwidth - BW) para 1 Gbps de Downstream e 256 Kbps Upstream.

Registou-se o seguinte valor de atraso médio para um pacote com tamanho de 1024 bytes:

- $atrasoMedio = 34.960$ milissegundos

3) Exercício 2:

Para este exercício, utilizou-se a ferramenta iPerf (versão 3) para realizar a medição da largura de banda máxima (BWmax) atingível em transferências de dados sobre IPv4, de volume considerável, entre o HOME-PC e o SERVER, tanto em TCP como em UDP. Obteve-se o seguinte valor:

- $BWmax$ em TCP = 14.9 Mbps
- $BWmax$ em UDP = 1.05 Mbps

4) Exercício 3.1:

Aqui alterou-se apenas um dos valores na configuração do link de acesso, *delay*, *loss* ou *duplicate*. Seguem os resultados obtidos com o *iperf3* na tabela em baixo.

TABLE I: Resultados Exercício 3.1

Protocolo de Transporte	Loss	Duplicate	Delay	BWmax
TPC	4%	—	—	4.40 Mbps
UDP	4%	—	—	1.05 Mbps
TPC	10%	—	—	1.39 Mbps
UDP	10%	—	—	1.05 Mbps
TPC	—	2%	—	13.6 Mbps
UDP	—	2%	—	1.05 Mbps
TPC	—	5%	—	15.5 Mbps
UDP	—	5%	—	1.05 Mbps
TPC	—	—	2 seg	156 kbps
UDP	—	—	2 seg	1.05 Mbps

5) Exercício 3.2:

De seguida modificou-se novamente alguns valores na configuração da ligação do Link de Acesso Residencial, mais especificamente os valores *delay*, *loss* e *duplicate*, mantendo *delay* com o valor D definido na [secção sobre parâmetros](#), *loss* com valores de 4% e 10% e *duplicate* com valores de 2% e 5%.

Fez-se a seguinte combinação para os valores de *loss* e *duplicate*:

TABLE II: Combinações *loss* e *duplicate*

Combinação	Loss	Duplicate
N1	4%	2%
N2	4%	5%
N3	10%	2%
N4	10%	5%

Para N1 obteve-se o seguinte resultado com o iPerf:

- Em TCP = 6.24 Mbps
- Em UDP = 1.05 Mbps
- UDP Loss = 2.1%

Em N2 obteve-se o seguinte:

- Em TCP = 5.17 Mbps
- Em UDP = 1.05 Mbps
- UDP Loss = 0.22%

Para N3 os resultados foram como segue em baixo:

- Em TCP = 2.44 Mbps
- Em UDP = 1.05 Mbps
- UDP Loss = 9.3%

Finalmente no N4 obteve-se o resultado que segue:

- Em TCP = 2.41 Mbps
- Em UDP = 1.05 Mbps
- UDP Loss = 6.2%

Em N1, apesar de a percentagem de loss ser de 4%, no final é de 2.1% uma vez que existe uma percentagem de duplicação de pacotes de 2% que supriu parte da perda inicial de pacotes. Este comportamento é evidenciado em todos os outros testes, de destacar N2 onde o facto da percentagem de pacotes duplicados ser maior levou a que a percentagem de perda fosse quase nula. Este comportamento é melhor discutido na secção abaixo.

6) Exercício 3.3:

Para o quarto e último teste, mantendo o uso do iPerf, modificou-se o valor do atraso de ligação para um valor muito grande, tendo como exemplo 2.000.000 μ sec, que é um valor próximo do atraso médio entre a Terra e a Lua. Optamos por usar esse valor.

Obteve-se o seguinte resultado em cada um dos protocolos:

- Em TCP = 156 Kbps
- Em UDP = 1.05 Mbps

D. Discussão dos Resultados

1) Exercício 1:

No primeiro exercício, 1.1, onde realizamos medições de atraso médio fim-a-fim usando o ping com pacotes de diferentes tamanhos, observamos que quanto maior o pacote, maior o atraso médio associado. Isso é consistente com a natureza do tráfego na rede, onde pacotes maiores podem levar mais tempo a serem transmitidos e processados, resultando em atrasos mais significativos.

No segundo exercício, 1.2, modificamos as características da ligação no Link de Acesso Residencial para torná-la assimétrica, com uma bandwidth muito mais alta no sentido de download do que no de upload. No resultado, observamos um aumento significativo no atraso médio, especialmente para pacotes maiores. O atraso médio obtido de 34.960 milissegundos para pacotes de 1024 bytes indica uma grande diferença em relação aos valores obtidos no primeiro exercício, o que sugere que a assimetria na bandwidth pode ter um impacto substancial no tempo de transmissão de dados, especialmente para pacotes de maior tamanho.

2) Exercício 2 e 3:

Relativamente ao exercício 2, os resultados obtidos ao medir a bandwidth máxima (BWmax) entre o HOME-PC e o SERVER, tanto em TCP quanto em UDP, revelam diferenças significativas nos resultados entre os dois protocolos de comunicação. No caso do protocolo TCP, a bandwidth máxima atingível foi de 14.9 Mbps. Por outro lado, o protocolo UDP apresentou uma largura de banda máxima de 1.05 Mbps.

Relativamente ao exercício 3, conseguimos ver em relação ao TCP que alterando os valores a bandwidth máxima vai alterando, ao compararmos os valores que obtivemos em N1, N2, N3 e N4 com os valores de base obtidos no exercício 2.

Ao aumentar apenas a perda a bandwidth diminui, porém, aumentando apenas a chance de duplicação não tem impacto significativo na bandwidth com TCP.

Outra coisa de se notar é que com o mesmo nível de perdas, aumentando a chance de duplicação, ocorrem menos perda de pacotes com UDP, sendo que havendo a chance de um pacote ser duplicado um deles pode ser perdido, mas o outro pode chegar ao destino. Um exemplo disso é o que acontece em N4.

Em UDP a bandwidth não altera com a alteração dos valores, à exceção das perdas ocorridas efetivamente, conforme mencionado acima.

Com um valor tão grande de atraso, com TCP a bandwidth irá ser catastroficamente mais baixa, devido à demora que a confirmação da chegada do pacote levará.

III. CONCLUSÃO

Com este projeto terminado, apresentamos uma breve conclusão que consideramos englobar todo o processo de aprendizagem despoletado por este trabalho.

Este relatório destaca a investigação dedicada ao emprego das tecnologias de acesso à rede, focando-se, em particular, na fibra ótica dentro do cenário de teste desenvolvido. Os diversos cenários de rede avaliados, com variações deliberadas de latência e velocidade, permitiram a extração de conclusões fundamentadas e específicas, as quais foram devidamente documentadas neste relatório. A análise abrangente desses resultados oferece uma visão aprofundada do desempenho da fibra ótica em diferentes contextos, fornecendo informações valiosas para orientar futuras implementações e otimizações em ambientes de rede.

APPENDIX A TESTES DE PING - PACOTES 64 BYTES

```
root@HOME-PC:/tmp/pycore_39533/HOME-PC.conf# ping -s 64 -c 20 10.0.5.10
PING 10.0.5.10 (10.0.5.10) 64(92) bytes of data,
72 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=1 ttl=60 time=6.09 ns
72 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=2 ttl=60 time=1.03 ns
72 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=3 ttl=60 time=1.05 ns
72 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=4 ttl=60 time=1.04 ns
72 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=5 ttl=60 time=1.23 ns
72 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=6 ttl=60 time=1.00 ns
72 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=7 ttl=60 time=1.06 ns
72 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=8 ttl=60 time=1.04 ns
72 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=9 ttl=60 time=1.24 ns
72 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=10 ttl=60 time=1.11 ns
72 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=11 ttl=60 time=1.09 ns
72 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=12 ttl=60 time=1.29 ns
72 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=13 ttl=60 time=1.03 ns
72 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=14 ttl=60 time=1.14 ns
72 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=15 ttl=60 time=1.47 ns
72 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=16 ttl=60 time=1.04 ns
72 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=17 ttl=60 time=1.25 ns
72 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=18 ttl=60 time=1.01 ns
72 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=19 ttl=60 time=1.03 ns
72 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=20 ttl=60 time=1.06 ns

--- 10.0.5.10 ping statistics ---
20 packets transmitted, 20 received, 0% packet loss, time 19025ns
rtt min/avg/max/mdev = 1.001/1.364/6.093/1.091 ns
root@HOME-PC:/tmp/pycore_39533/HOME-PC.conf# 

root@n7:/tmp/pycore_39533/n7.conf# ping -s 64 -c 20 10.0.0.20
PING 10.0.0.20 (10.0.0.20) 64(92) bytes of data,
72 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=1 ttl=60 time=1.42 ns
72 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=2 ttl=60 time=1.18 ns
72 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=3 ttl=60 time=1.02 ns
72 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=4 ttl=60 time=1.10 ns
72 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=5 ttl=60 time=1.03 ns
72 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=6 ttl=60 time=1.04 ns
72 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=7 ttl=60 time=1.03 ns
72 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=8 ttl=60 time=1.08 ns
72 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=9 ttl=60 time=1.02 ns
72 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=10 ttl=60 time=1.04 ns
72 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=11 ttl=60 time=1.04 ns
72 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=12 ttl=60 time=1.02 ns
72 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=13 ttl=60 time=1.03 ns
72 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=14 ttl=60 time=1.02 ns
72 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=15 ttl=60 time=1.02 ns
72 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=16 ttl=60 time=1.13 ns
72 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=17 ttl=60 time=1.03 ns
72 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=18 ttl=60 time=1.06 ns
72 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=19 ttl=60 time=1.03 ns
72 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=20 ttl=60 time=1.66 ns

--- 10.0.0.20 ping statistics ---
20 packets transmitted, 20 received, 0% packet loss, time 19025ns
rtt min/avg/max/mdev = 1.018/1.098/1.660/0.156 ns
root@n7:/tmp/pycore_39533/n7.conf# 
```

APPENDIX B
TESTES DE PING - PACOTES 1024 BYTES

```
root@n7:/tmp/pycore.39533/n7.conf# ping -s 1024 -c 20 10.0.0.20
PING 10.0.0.20 (10.0.0.20) 1024(1052) bytes of data.
1032 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=1 ttl=60 time=2.03 ms
1032 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=2 ttl=60 time=1.76 ms
1032 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=3 ttl=60 time=1.46 ms
1032 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=4 ttl=60 time=1.46 ms
1032 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=5 ttl=60 time=1.54 ms
1032 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=6 ttl=60 time=1.50 ms
1032 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=7 ttl=60 time=1.46 ms
1032 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=8 ttl=60 time=1.48 ms
1032 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=9 ttl=60 time=1.49 ms
1032 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=10 ttl=60 time=1.56 ms
1032 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=11 ttl=60 time=1.62 ms
1032 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=12 ttl=60 time=1.68 ms
1032 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=13 ttl=60 time=1.58 ms
1032 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=14 ttl=60 time=1.64 ms
1032 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=15 ttl=60 time=1.60 ms
1032 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=16 ttl=60 time=1.53 ms
1032 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=17 ttl=60 time=1.54 ms
1032 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=18 ttl=60 time=1.68 ms
1032 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=19 ttl=60 time=1.57 ms
1032 bytes from 10.0.0.20: icmp_seq=20 ttl=60 time=1.55 ms

--- 10.0.0.20 ping statistics ---
20 packets transmitted, 20 received, 0% packet loss, time 19034ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.462/1.586/2.034/0.129 ms
root@n7:/tmp/pycore.39533/n7.conf# S
```

```
root@HOME-PC:/tmp/pycore.39533/HOME-PC.conf# ping -s 1024 -c 20 10.0.5.10
PING 10.0.5.10 (10.0.5.10) 1024(1052) bytes of data.
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=1 ttl=60 time=3.11 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=2 ttl=60 time=1.70 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=3 ttl=60 time=2.01 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=4 ttl=60 time=1.65 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=5 ttl=60 time=1.64 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=6 ttl=60 time=1.73 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=7 ttl=60 time=8.67 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=8 ttl=60 time=1.61 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=9 ttl=60 time=1.58 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=10 ttl=60 time=1.56 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=11 ttl=60 time=1.56 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=12 ttl=60 time=1.48 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=13 ttl=60 time=1.56 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=14 ttl=60 time=1.45 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=15 ttl=60 time=1.48 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=16 ttl=60 time=1.81 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=17 ttl=60 time=1.50 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=18 ttl=60 time=1.60 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=19 ttl=60 time=1.51 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=20 ttl=60 time=1.69 ms

--- 10.0.5.10 ping statistics ---
20 packets transmitted, 20 received, 0% packet loss, time 19032ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.451/2.043/8.667/1.559 ms
root@HOME-PC:/tmp/pycore.39533/HOME-PC.conf# S
```

APPENDIX C
TESTES DE PING - REDE 1 GBPS / 256 KBPS

```
root@HOME-PC:/tmp/pycore.39533/HOME-PC.conf# ping -s 1024 -c 20 10.0.5.10
PING 10.0.5.10 (10.0.5.10) 1024(1052) bytes of data.
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=1 ttl=60 time=35.1 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=2 ttl=60 time=35.0 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=3 ttl=60 time=35.0 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=4 ttl=60 time=34.8 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=5 ttl=60 time=35.2 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=6 ttl=60 time=34.9 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=7 ttl=60 time=34.9 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=8 ttl=60 time=34.8 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=9 ttl=60 time=35.0 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=10 ttl=60 time=35.1 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=11 ttl=60 time=34.7 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=12 ttl=60 time=34.9 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=13 ttl=60 time=34.9 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=14 ttl=60 time=35.0 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=15 ttl=60 time=35.8 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=16 ttl=60 time=34.7 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=17 ttl=60 time=35.0 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=18 ttl=60 time=34.8 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=19 ttl=60 time=34.8 ms
1032 bytes from 10.0.5.10: icmp_seq=20 ttl=60 time=34.8 ms

--- 10.0.5.10 ping statistics ---
20 packets transmitted, 20 received, 0% packet loss, time 19026ms
rtt min/avg/max/mdev = 34.710/34.960/35.764/0.219 ms
```

APPENDIX D
ÍNDICE GLOBAL DE FIBRA ÓTICA

#	Country	Mbps
19	+1 New Zealand	164.01
20	+4 Portugal	163.50
21	+2 Hungary	161.93

APPENDIX E
LARGURA DE BANDA MÁXIMA (T = 163.50 MBPS, D = 100 μSEC)

```
root@HOME-PC:/tmp/pycore.39533/HOME-PC.conf# iperf3 -c 10.0.5.10
Connecting to host 10.0.5.10, port 5201
[ 5] local 10.0.0.20 port 49176 connected to 10.0.5.10 port 5201
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate      Retr  Cwnd
[ 5]  0.00-1.00   sec  1.19 MBytes  10.0 Mbits/sec  94  1.41 KBytes
[ 5]  1.00-2.00   sec  1.31 MBytes  11.0 Mbits/sec  85  1.41 KBytes
[ 5]  2.00-3.00   sec  1.40 MBytes  11.7 Mbits/sec  90  2.83 KBytes
[ 5]  3.00-4.00   sec  1.32 MBytes  11.1 Mbits/sec  92  2.83 KBytes
[ 5]  4.00-5.00   sec  1.77 MBytes  14.9 Mbits/sec  113 4.24 KBytes
[ 5]  5.00-6.00   sec  1.72 MBytes  14.4 Mbits/sec  108 2.83 KBytes
[ 5]  6.00-7.00   sec  1.08 MBytes  9.08 Mbits/sec  77  1.41 KBytes
[ 5]  7.00-8.00   sec  1.18 MBytes  9.86 Mbits/sec  83  4.24 KBytes
[ 5]  8.00-9.00   sec  1.01 MBytes  8.49 Mbits/sec  76  4.24 KBytes
[ 5]  9.00-10.00  sec  485 KBytes  3.97 Mbits/sec  52  1.41 KBytes
[-----]
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate      Retr
[ 5]  0.00-10.00  sec  12.5 MBytes  10.4 Mbits/sec  870
[ 5]  0.00-10.04  sec  12.3 MBytes  10.3 Mbits/sec
                                         sender
                                         receiver
iperf Done.
```

Fig. 2: Em TCP

```
root@HOME-PC:/tmp/pycore.39533/HOME-PC.conf# iperf3 -c 10.0.5.10 -u
Connecting to host 10.0.5.10, port 5201
[ 5] local 10.0.0.20 port 34428 connected to 10.0.5.10 port 5201
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate      Total Datagrams
[ 5]  0.00-1.00   sec  129 KBytes  1.05 Mbits/sec  91
[ 5]  1.00-2.00   sec  127 KBytes  1.04 Mbits/sec  90
[ 5]  2.00-3.00   sec  129 KBytes  1.05 Mbits/sec  91
[ 5]  3.00-4.00   sec  127 KBytes  1.04 Mbits/sec  90
[ 5]  4.00-5.00   sec  129 KBytes  1.05 Mbits/sec  91
[ 5]  5.00-6.00   sec  129 KBytes  1.05 Mbits/sec  91
[ 5]  6.00-7.00   sec  127 KBytes  1.04 Mbits/sec  90
[ 5]  7.00-8.00   sec  129 KBytes  1.05 Mbits/sec  91
[ 5]  8.00-9.00   sec  127 KBytes  1.04 Mbits/sec  90
[ 5]  9.00-10.00  sec  129 KBytes  1.05 Mbits/sec  91
[-----]
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate      Jitter    Lost/Total Datagrams
[ 5]  0.00-10.00  sec  1.25 MBytes  1.05 Mbits/sec  0.000 ms  0/906 (0%)  sender
[ 5]  0.00-10.05  sec  1.25 MBytes  1.04 Mbits/sec  0.174 ms  0/906 (0%)  receiver
iperf Done.
```

Fig. 3: Em UDP

APPENDIX F
LARGURA DE BANDA MÁXIMA - VÁRIOS TESTES

```
root@HOME-PC:/tmp/pycore.39533/HOME-PC.conf# iperf3 -c 10.0.5.10
Connecting to host 10.0.5.10, port 5201
[ 5] local 10.0.0.20 port 33100 connected to 10.0.5.10 port 5201
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate      Retr  Cwnd
[ 5]  0.00-1.00   sec  533 KBytes  4.37 Mbits/sec  54  4.24 KBytes
[ 5]  1.00-2.00   sec  406 KBytes  3.32 Mbits/sec  35  2.83 KBytes
[ 5]  2.00-3.00   sec  208 KBytes  1.70 Mbits/sec  30  2.83 KBytes
[ 5]  3.00-4.00   sec  471 KBytes  3.86 Mbits/sec  36  1.41 KBytes
[ 5]  4.00-5.00   sec  274 KBytes  2.25 Mbits/sec  35  1.41 KBytes
[ 5]  5.00-6.00   sec  413 KBytes  3.38 Mbits/sec  48  1.41 KBytes
[ 5]  6.00-7.00   sec  346 KBytes  2.84 Mbits/sec  49  2.83 KBytes
[ 5]  7.00-8.00   sec  342 KBytes  2.80 Mbits/sec  30  9.90 KBytes
[ 5]  8.00-9.00   sec  762 KBytes  6.24 Mbits/sec  59  1.41 KBytes
[ 5]  9.00-10.00  sec  413 KBytes  3.38 Mbits/sec  41  4.24 KBytes
[-----]
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate      Retr
[ 5]  0.00-10.00  sec  4.07 MBytes  3.41 Mbits/sec  417
[ 5]  0.00-10.05  sec  3.99 MBytes  3.33 Mbits/sec
                                         sender
                                         receiver
iperf Done.
```

Fig. 4: TCP N1

```

root@HOME-PC:/tmp/pycore.39533/HOME-PC.conf# iperf3 -c 10.0.5.10 -u
Connecting to host 10.0.5.10, port 5201
[ 5] local 10.0.0.20 port 40650 connected to 10.0.5.10 port 5201
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate   Total Datagrams
[ 5]  0.00-1.00    sec  129 KBytes  1.05 Mbits/sec  91
[ 5]  1.00-2.00    sec  127 KBytes  1.04 Mbits/sec  90
[ 5]  2.00-3.00    sec  129 KBytes  1.05 Mbits/sec  91
[ 5]  3.00-4.00    sec  127 KBytes  1.04 Mbits/sec  90
[ 5]  4.00-5.00    sec  129 KBytes  1.05 Mbits/sec  91
[ 5]  5.00-6.00    sec  129 KBytes  1.05 Mbits/sec  91
[ 5]  6.00-7.00    sec  127 KBytes  1.04 Mbits/sec  90
[ 5]  7.00-8.00    sec  129 KBytes  1.06 Mbits/sec  91
[ 5]  8.00-9.00    sec  127 KBytes  1.04 Mbits/sec  90
[ 5]  9.00-10.00   sec  129 KBytes  1.05 Mbits/sec  91
[-----]
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate   Jitter   Lost/Total Datagrams
[ 5]  0.00-10.00   sec  1.25 MBytes  1.05 Mbits/sec  0.000 ms  0/906 (0%)  sender
[ 5]  0.00-10.26   sec  1.22 MBytes  1.00 Mbits/sec  0.373 ms  19/906 (2.1%) receiver
iperf Done.

```

Fig. 5: UDP N1

```

root@HOME-PC:/tmp/pycore.39533/HOME-PC.conf# iperf3 -c 10.0.5.10
Connecting to host 10.0.5.10, port 5201
[ 5] local 10.0.0.20 port 44226 connected to 10.0.5.10 port 5201
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate   Retr  Cwnd
[ 5]  0.00-1.00    sec  376 KBytes  3.08 Mbits/sec  30  2.83 KBytes
[ 5]  1.00-2.00    sec  574 KBytes  4.70 Mbits/sec  46  2.83 KBytes
[ 5]  2.00-3.00    sec  238 KBytes  1.95 Mbits/sec  27  1.41 KBytes
[ 5]  3.00-4.00    sec  331 KBytes  2.71 Mbits/sec  28  2.83 KBytes
[ 5]  4.00-5.00    sec  626 KBytes  5.13 Mbits/sec  41  2.83 KBytes
[ 5]  5.00-6.00    sec  235 KBytes  1.92 Mbits/sec  18  1.41 KBytes
[ 5]  6.00-7.00    sec  393 KBytes  3.22 Mbits/sec  40  4.24 KBytes
[ 5]  7.00-8.00    sec  317 KBytes  2.59 Mbits/sec  27  2.83 KBytes
[ 5]  8.00-9.00    sec  631 KBytes  5.17 Mbits/sec  36  2.83 KBytes
[ 5]  9.00-10.00   sec  243 KBytes  1.99 Mbits/sec  32  1.41 KBytes
[-----]
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate   Retr
[ 5]  0.00-10.00   sec  3.87 MBytes  3.25 Mbits/sec  325
[ 5]  0.00-10.00   sec  3.76 MBytes  3.15 Mbits/sec
iperf Done.

```

Fig. 6: TCP N2

```

root@HOME-PC:/tmp/pycore.39533/HOME-PC.conf# iperf3 -c 10.0.5.10 -u
Connecting to host 10.0.5.10, port 5201
[ 5] local 10.0.0.20 port 60626 connected to 10.0.5.10 port 5201
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate   Total Datagrams
[ 5]  0.00-1.00    sec  129 KBytes  1.05 Mbits/sec  91
[ 5]  1.00-2.00    sec  127 KBytes  1.04 Mbits/sec  90
[ 5]  2.00-3.00    sec  129 KBytes  1.05 Mbits/sec  91
[ 5]  3.00-4.00    sec  127 KBytes  1.04 Mbits/sec  90
[ 5]  4.00-5.00    sec  129 KBytes  1.05 Mbits/sec  91
[ 5]  5.00-6.00    sec  129 KBytes  1.05 Mbits/sec  91
[ 5]  6.00-7.00    sec  127 KBytes  1.04 Mbits/sec  90
[ 5]  7.00-8.00    sec  129 KBytes  1.05 Mbits/sec  91
[ 5]  8.00-9.00    sec  127 KBytes  1.04 Mbits/sec  90
[ 5]  9.00-10.00   sec  129 KBytes  1.05 Mbits/sec  91
[-----]
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate   Jitter   Lost/Total Datagrams
[ 5]  0.00-10.00   sec  1.25 MBytes  1.05 Mbits/sec  0.000 ms  0/906 (0%)  sender
[ 5]  0.00-10.04   sec  1.27 MBytes  1.06 Mbits/sec  0.051 ms  2/906 (0.22%) receiver
iperf Done.

```

Fig. 7: UDP N2

```

root@HOME-PC:/tmp/pycore.39533/HOME-PC.conf# iperf3 -c 10.0.5.10
Connecting to host 10.0.5.10, port 5201
[ 5] local 10.0.0.20 port 35624 connected to 10.0.5.10 port 5201
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate      Retr  Cwnd
[ 5]  0.00-1.00    sec   298 KBytes   2.44 Mbits/sec   38  2.83 KBytes
[ 5]  1.00-2.00    sec   284 KBytes   2.33 Mbits/sec   19  2.83 KBytes
[ 5]  2.00-3.00    sec   56.6 KBytes   463 Kbits/sec   15  2.83 KBytes
[ 5]  3.00-4.00    sec   113 KBytes   927 Kbits/sec   16  1.41 KBytes
[ 5]  4.00-5.00    sec   170 KBytes   1.39 Mbits/sec   28  4.24 KBytes
[ 5]  5.00-6.00    sec   56.6 KBytes   463 Kbits/sec   5   1.41 KBytes
[ 5]  6.00-7.00    sec   0.00 Bytes   0.00 bits/sec   5   1.41 KBytes
[ 5]  7.00-8.00    sec   0.00 Bytes   0.00 bits/sec   2   1.41 KBytes
[ 5]  8.00-9.00    sec   0.00 Bytes   0.00 bits/sec   6   1.41 KBytes
[ 5]  9.00-10.00   sec   56.6 KBytes   464 Kbits/sec   9   1.41 KBytes
- - - - -
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate      Retr
[ 5]  0.00-10.00   sec   1.01 MBytes   848 Kbits/sec   143
[ 5]  0.00-10.47   sec   991 KBytes   776 Kbits/sec

iperf Done.

```

Fig. 8: TCP N3

```

root@HOME-PC:/tmp/pycore.39533/HOME-PC.conf# iperf3 -c 10.0.5.10 -u
Connecting to host 10.0.5.10, port 5201
[ 5] local 10.0.0.20 port 46830 connected to 10.0.5.10 port 5201
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate      Total Datagrams
[ 5]  0.00-1.00    sec   129 KBytes   1.05 Mbits/sec  91
[ 5]  1.00-2.00    sec   127 KBytes   1.04 Mbits/sec  90
[ 5]  2.00-3.00    sec   129 KBytes   1.05 Mbits/sec  91
[ 5]  3.00-4.00    sec   127 KBytes   1.04 Mbits/sec  90
[ 5]  4.00-5.00    sec   129 KBytes   1.05 Mbits/sec  91
[ 5]  5.00-6.00    sec   129 KBytes   1.05 Mbits/sec  91
[ 5]  6.00-7.00    sec   127 KBytes   1.04 Mbits/sec  90
[ 5]  7.00-8.00    sec   129 KBytes   1.05 Mbits/sec  91
[ 5]  8.00-9.00    sec   127 KBytes   1.04 Mbits/sec  90
[ 5]  9.00-10.00   sec   129 KBytes   1.05 Mbits/sec  91
- - - - -
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate      Jitter      Lost/Total Datagrams
[ 5]  0.00-10.00   sec   1.25 MBytes   1.05 Mbits/sec  0.000 ms  0/906 (0%)  sender
[ 5]  0.00-10.05   sec   1.14 MBytes   948 Kbits/sec  0.065 ms  84/906 (9.3%) receiver

iperf Done.

```

Fig. 9: UDP N3

```

root@HOME-PC:/tmp/pycore.39533/HOME-PC.conf# iperf3 -c 10.0.5.10
Connecting to host 10.0.5.10, port 5201
[ 5] local 10.0.0.20 port 58560 connected to 10.0.5.10 port 5201
[ ID] Interval           Transfer     Bitrate    Retr  Cwnd
[ 5]  0.00-1.00   sec  294 KBytes  2.41 Mbits/sec  50  2.83 KBytes
[ 5]  1.00-2.00   sec  62.2 KBytes  509 Kbits/sec   7  4.24 KBytes
[ 5]  2.00-3.00   sec  93.3 KBytes  765 Kbits/sec  15  2.83 KBytes
[ 5]  3.00-4.00   sec  62.2 KBytes  510 Kbits/sec  13  2.83 KBytes
[ 5]  4.00-5.00   sec  62.2 KBytes  510 Kbits/sec   7  2.83 KBytes
[ 5]  5.00-6.00   sec  187 KBytes  1.53 Mbits/sec  16  1.41 KBytes
[ 5]  6.00-7.00   sec  31.1 KBytes  255 Kbits/sec   4  2.83 KBytes
[ 5]  7.00-8.00   sec  62.2 KBytes  509 Kbits/sec  17  1.41 KBytes
[ 5]  8.00-9.00   sec  0.00 Bytes  0.00 bits/sec   1  1.41 KBytes
[ 5]  9.00-10.00  sec  171 KBytes  1.40 Mbits/sec  13  1.41 KBytes
- - - - -
[ ID] Interval           Transfer     Bitrate    Retr
[ 5]  0.00-10.00  sec  1.00 MBytes  840 Kbits/sec  143
[ 5]  0.00-10.01  sec  946 KBytes  774 Kbits/sec

iperf Done.

```

Fig. 10: TCP N4

```

root@HOME-PC:/tmp/pycore.39533/HOME-PC.conf# iperf3 -c 10.0.5.10 -u
Connecting to host 10.0.5.10, port 5201
[ 5] local 10.0.0.20 port 54339 connected to 10.0.5.10 port 5201
[ ID] Interval           Transfer     Bitrate      Total Datagrams
[ 5]  0.00-1.00   sec  129 KBytes  1.05 Mbits/sec  91
[ 5]  1.00-2.00   sec  127 KBytes  1.04 Mbits/sec  90
[ 5]  2.00-3.00   sec  129 KBytes  1.05 Mbits/sec  91
[ 5]  3.00-4.00   sec  127 KBytes  1.04 Mbits/sec  90
[ 5]  4.00-5.00   sec  129 KBytes  1.05 Mbits/sec  91
[ 5]  5.00-6.00   sec  129 KBytes  1.05 Mbits/sec  91
[ 5]  6.00-7.00   sec  127 KBytes  1.04 Mbits/sec  90
[ 5]  7.00-8.00   sec  129 KBytes  1.05 Mbits/sec  91
[ 5]  8.00-9.00   sec  127 KBytes  1.04 Mbits/sec  90
[ 5]  9.00-10.00  sec  129 KBytes  1.05 Mbits/sec  91
- - - - -
[ ID] Interval           Transfer     Bitrate      Jitter     Lost/Total Datagrams
[ 5]  0.00-10.00  sec  1.25 MBytes  1.05 Mbits/sec  0.000 ms  0/906 (0%) sender
[ 5]  0.00-10.04  sec  1.17 MBytes  980 Kbits/sec  0.048 ms  56/906 (6.2%) receiver

iperf Done.

```

Fig. 11: UDP N4

```

root@HOME-PC:/tmp/pycore.39533/HOME-PC.conf# iperf3 -c 10.0.5.10
Connecting to host 10.0.5.10, port 5201
[ 5] local 10.0.0.20 port 46982 connected to 10.0.5.10 port 5201
[ ID] Interval           Transfer     Bitrate    Retr  Cwnd
[ 5]  0.00-4.00   sec  76.4 KBytes  156 Kbits/sec   2  14.1 KBytes
[ 5]  4.01-5.00   sec  0.00 Bytes  0.00 bits/sec   0  14.1 KBytes
[ 5]  5.00-6.00   sec  0.00 Bytes  0.00 bits/sec   0  14.1 KBytes
[ 5]  6.00-7.00   sec  0.00 Bytes  0.00 bits/sec   0  14.1 KBytes
[ 5]  7.00-8.00   sec  0.00 Bytes  0.00 bits/sec   0  14.1 KBytes
[ 5]  8.00-9.00   sec  0.00 Bytes  0.00 bits/sec   0  15.6 KBytes
[ 5]  9.00-10.00  sec  0.00 Bytes  0.00 bits/sec   0  15.6 KBytes
- - - - -
[ ID] Interval           Transfer     Bitrate    Retr
[ 5]  0.00-10.00  sec  76.4 KBytes  62.5 Kbits/sec   2
[ 5]  0.00-14.01  sec  1.41 KBytes  827 bits/sec

iperf Done.

```

Fig. 12: TCP atraso 2 segundos

```

root@HOME-PC:/tmp/pycore.39533/HOME-PC.conf# iperf3 -c 10.0.5.10 -u
Connecting to host 10.0.5.10, port 5201
[ 5] local 10.0.0.20 port 54426 connected to 10.0.5.10 port 5201
[ ID] Interval           Transfer     Bitrate      Total Datagrams
[ 5]  0.00-1.00   sec    129 KBytes  1.05 Mbits/sec  91
[ 5]  1.00-2.00   sec    127 KBytes  1.04 Mbits/sec  90
[ 5]  2.00-3.00   sec    129 KBytes  1.05 Mbits/sec  91
[ 5]  3.00-4.00   sec    127 KBytes  1.04 Mbits/sec  90
[ 5]  4.00-5.00   sec    129 KBytes  1.05 Mbits/sec  91
[ 5]  5.00-6.00   sec    129 KBytes  1.05 Mbits/sec  91
[ 5]  6.00-7.00   sec    127 KBytes  1.04 Mbits/sec  90
[ 5]  7.00-8.00   sec    129 KBytes  1.05 Mbits/sec  91
[ 5]  8.00-9.00   sec    127 KBytes  1.04 Mbits/sec  90
[ 5]  9.00-10.00  sec    129 KBytes  1.05 Mbits/sec  91
[-----]
[ ID] Interval          Transfer     Bitrate      Jitter      Lost/Total Datagrams
[ 5]  0.00-10.00  sec   1.25 MBytes  1.05 Mbits/sec  0.000 ms  0/906 (0%)  sender
[ 5]  0.00-14.05  sec   1.25 MBytes  747 Kbytes/sec  0.188 ms  0/906 (0%)  receiver

iperf Done.

```

Fig. 13: UDP atraso 2 segundos

REFERENCES

- [1] <https://www.speedtest.net/global-index>
- [2] <https://www.anacom-consumidor.pt/-/destaque-redes-e-servicos-de-alta-velocidade-em-local-fixo-1-trimestre-de-2023>
- [3] <https://www.commscope.com/globalassets/digizuite/2799-latency-in-optical-fiber-systems-wp-111432-en.pdf?r=1>
- [4] <https://arquivos.rtp.pt/conteudos/fibra-optica-em-portugal/>