

Estrutura do Proxy

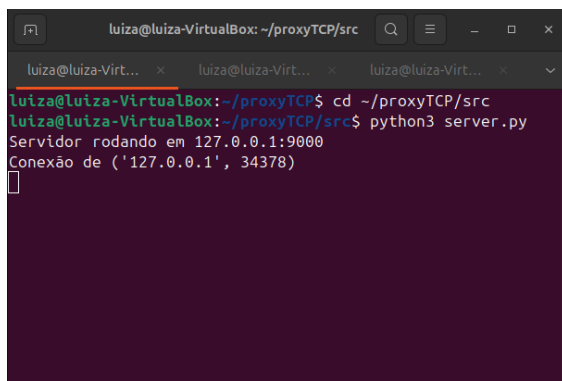
- O Proxy atua como intermediário entre cliente e servidor.
- Coleta métricas do TCP em tempo real.
- Políticas implementadas:
 - TCP pacing - controle da taxa de envio de pacotes.
 - Delayed ACK - atraso adaptativo nas confirmações.
- Logs são salvos em CSV (logs/metricas.csv).

Cenário Base com Proxy sem otimização

- **Rede:** sem alteração
- **Proxy:** sem otimização

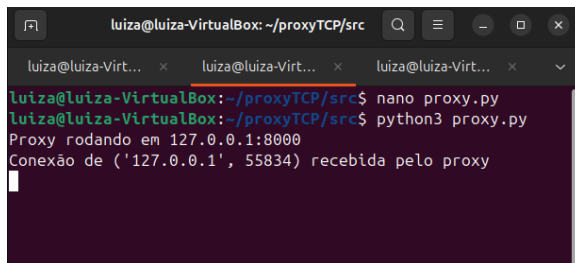
```
# Configurações de otimização
DELAYED_ACK_ENABLED =False
TCP_PACING_ENABLED = False
```

Terminal Servidor:

A terminal window titled 'luiza@luiza-VirtualBox: ~/proxyTCP/src'. It shows the user navigating to the directory and running 'python3 server.py'. The output indicates the server is running on 127.0.0.1:9000 and a connection from 127.0.0.1 at port 34378 has been received.

```
luiza@luiza-VirtualBox: ~/proxyTCP/src
luiza@luiza-VirtualBox: ~/proxyTCP/src$ cd ~/proxyTCP/src
luiza@luiza-VirtualBox: ~/proxyTCP/src$ python3 server.py
Servidor rodando em 127.0.0.1:9000
Conexão de ('127.0.0.1', 34378)
```

Terminal Proxy:

A terminal window titled 'luiza@luiza-VirtualBox: ~/proxyTCP/src'. It shows the user editing 'proxy.py' with nano and then running 'python3 proxy.py'. The output indicates the proxy is running on 127.0.0.1:8000 and a connection from 127.0.0.1 at port 55834 has been received by the proxy.

```
luiza@luiza-VirtualBox: ~/proxyTCP/src$ nano proxy.py
luiza@luiza-VirtualBox: ~/proxyTCP/src$ python3 proxy.py
Proxy rodando em 127.0.0.1:8000
Conexão de ('127.0.0.1', 55834) recebida pelo proxy
```

Terminal Cliente:

```
luiza@luiza-VirtualBox: ~/proxyTCP/src
luiza@luiza-VirtualBox:~/proxyTCP/src$ python3 client.py
Mensagem 0 recebida: Mensagem 0, RTT estimado: 2.43 ms
Mensagem 1 recebida: Mensagem 1, RTT estimado: 0.18 ms
Mensagem 2 recebida: Mensagem 2, RTT estimado: 0.04 ms
Mensagem 3 recebida: Mensagem 3, RTT estimado: 0.02 ms
Mensagem 4 recebida: Mensagem 4, RTT estimado: 0.02 ms
Mensagem 5 recebida: Mensagem 5, RTT estimado: 0.05 ms
Mensagem 6 recebida: Mensagem 6, RTT estimado: 0.04 ms
Mensagem 7 recebida: Mensagem 7, RTT estimado: 0.03 ms
Mensagem 8 recebida: Mensagem 8, RTT estimado: 0.03 ms
Mensagem 9 recebida: Mensagem 9, RTT estimado: 0.02 ms
Mensagem 10 recebida: Mensagem 10, RTT estimado: 0.02 ms
Mensagem 11 recebida: Mensagem 11, RTT estimado: 0.03 ms
Mensagem 12 recebida: Mensagem 12, RTT estimado: 0.03 ms
Mensagem 13 recebida: Mensagem 13, RTT estimado: 0.02 ms
Mensagem 14 recebida: Mensagem 14, RTT estimado: 0.01 ms
Mensagem 15 recebida: Mensagem 15, RTT estimado: 0.03 ms
Mensagem 16 recebida: Mensagem 16, RTT estimado: 0.23 ms
Mensagem 17 recebida: Mensagem 17, RTT estimado: 0.04 ms
Mensagem 18 recebida: Mensagem 18, RTT estimado: 0.03 ms
Mensagem 19 recebida: Mensagem 19, RTT estimado: 0.03 ms
Throughput total: 0.4077 Mbps em 0.00 s
```

CSV de métricas:

```
Throughput total: 0.4077 Mbps em 0.00 s
luiza@luiza-VirtualBox:~/proxyTCP/src$ cat ~/proxyTCP/logs/metricas.csv
timestamp,rtt_ms,throughput_mbps,refrernentstont
1764882747.6572922,0.015242080813201,0.0
1764882747.657349,1.429240961650203,0.0
1764882747.657168,0.47816557023832812,0.0
1764882747.6577205,0.09040871889431,0.0
1764882747.6573238,0.0145433323193312,0.0
1764882747.6573384,0.04167692565917965,0.0
1764882747.6574086,0.02780897254083817,0.0
1764882747.65742,0.01987488628125,0.0
1764882747.6574707,0.024888276489257812,0.0
1764882747.6574094,0.0162246337798625,0.0
1764882747.6575212,0.01739776611193725,0.0
1764882747.6575859,0.05310734313964844,0.0
1764882747.6576345,0.01311382155097939,0.0
1764882747.657678,0.038673889814453125,0.0
1764882747.6577855,0.010021999991367188,0.0
1764882747.6577413,0.00999414232183152,0.0
1764882747.6577592,0.081384185791015625,0.0
1764882747.6578818,0.07937480279499188,0.0
1764882747.6578817,0.0238818579115625,0.0
1764882747.6578634,0.017881593432617188,0.0
1764882747.6578902,0.074088276489257812,0.0
1764882747.6579225,0.016489308313893125,0.0
1764882747.6579463,0.0895267432648625,0.0
1764882747.6579816,0.00767638885375,0.0
1764882747.6579881,0.007145767319148675,0.0
1764882747.6580398,0.02574820654296875,0.0
1764882747.6580777,0.026249765616640625,0.0
1764882747.6580855,0.02630010834180375,0.0
```

Cenário com atraso e perda (50ms, 1% loss)

- **Rede:** sudo tc qdisc add dev enp0s3 root netem delay 50ms loss 1%
- **Proxy:** com otimização ativada

Terminal Servidor:

```
luiza@luiza-VirtualBox: ~/proxyTCP/src
luiza@luiza-VirtualBox:~$ cd ~/proxyTCP/src
luiza@luiza-VirtualBox:~/proxyTCP/src$ python3 server.py
Traceback (most recent call last):
  File "/home/luiza/proxyTCP/src/server.py", line 7, in <module>
    s.bind((HOST, PORT))
OSError: [Errno 98] Address already in use
luiza@luiza-VirtualBox:~/proxyTCP/src$ python3 server.py
Servidor rodando em 127.0.0.1:9000
Conexão de ('127.0.0.1', 36720)
```

Terminal Proxy:

```
luiza@luiza-VirtualBox: ~/proxyTCP/src
luiza@luiza-VirtualBox:~/proxyTCP/src$ python3 proxy.py
Proxy rodando em 127.0.0.1:8000
Conexão de ('127.0.0.1', 40606) recebida pelo proxy
```

Terminal Cliente:

```
luiza@luiza-VirtualBox: ~/proxyTCP/src
luiza@luiza-VirtualBox:~/proxyTCP/src$ python3 client.py
Mensagem 0 recebida: Mensagem 0, RTT estimado: 0.66 ms
Mensagem 1 recebida: Mensagem 1, RTT estimado: 0.07 ms
Mensagem 2 recebida: Mensagem 2, RTT estimado: 0.02 ms
Mensagem 3 recebida: Mensagem 3, RTT estimado: 0.02 ms
Mensagem 4 recebida: Mensagem 4, RTT estimado: 0.03 ms
Mensagem 5 recebida: Mensagem 5, RTT estimado: 0.03 ms
Mensagem 6 recebida: Mensagem 6, RTT estimado: 0.03 ms
Mensagem 7 recebida: Mensagem 7, RTT estimado: 0.02 ms
Mensagem 8 recebida: Mensagem 8, RTT estimado: 0.01 ms
Mensagem 9 recebida: Mensagem 9, RTT estimado: 0.03 ms
Mensagem 10 recebida: Mensagem 10, RTT estimado: 0.03 ms
Mensagem 11 recebida: Mensagem 11, RTT estimado: 0.02 ms
Mensagem 12 recebida: Mensagem 12, RTT estimado: 0.02 ms
Mensagem 13 recebida: Mensagem 13, RTT estimado: 0.03 ms
Mensagem 14 recebida: Mensagem 14, RTT estimado: 0.02 ms
Mensagem 15 recebida: Mensagem 15, RTT estimado: 0.04 ms
Mensagem 16 recebida: Mensagem 16, RTT estimado: 0.03 ms
Mensagem 17 recebida: Mensagem 17, RTT estimado: 0.02 ms
Mensagem 18 recebida: Mensagem 18, RTT estimado: 0.04 ms
Mensagem 19 recebida: Mensagem 19, RTT estimado: 0.03 ms
Throughput total: 0.8424 Mbps em 0.00 s
```

CSV de métricas:

```
luiza@luiza-VirtualBox: ~/proxyTCP/src$ cat ~/proxyTCP/logs/metricas.csv
timestamp,RTT_ms,throughput_Mbps,retransmissions
1764803485.317563,0.007390759521404375,0,0
1764803485.3182225,0.6561279296875,0,0
1764803485.318305,0.0045299530029296875,0,0
1764803485.3183844,0.00914138793945312,0,0
1764803485.3184514,0.02765655517570125,0,0
1764803485.3184807,0.023126602172851562,0,0
1764803485.318524,0.024795532265625,0,0
1764803485.3185465,0.017881393432617188,0,0
1764803485.3185732,0.011444091796875,0,0
1764803485.3186073,0.02908706650390625,0,0
1764803485.3186245,0.002384185791015625,0,0
1764803485.3186408,0.02741013659679688,0,0
1764803485.3186967,0.0021457672119140625,0,0
1764803485.3187425,0.030279159545890438,0,0
1764803485.3187816,0.02384185791015625,0,0
1764803485.3188024,0.016927718116210938,0,0
1764803485.318839,0.022649765014648438,0,0
1764803485.3188603,0.014781951984296875,0,0
1764803485.3188875,0.010728836059570312,0,0
1764803485.318919,0.029225405229492188,0,0
1764803485.3189352,0.0019873486328125,0,0
1764803485.3189778,0.02765655517570125,0,0
1764803485.319017,0.02384185791015625,0,0
1764803485.3190361,0.016609300537109375,0,0
1764803485.3190763,0.023603439331054688,0,0
1764803485.3190973,0.01597404799804688,0,0
1764803485.3191144,0.002384185791015625,0,0
1764803485.3191533,0.020226043701171875,0,0
1764803485.3191533,0.020226043701171875,0,0
1764803485.3191922,0.022649765014648438,0,0
1764803485.3192067,0.01597404799804688,0,0
1764803485.3192308,0.002384185791015625,0,0
1764803485.3192573,0.03552436828613281,0,0
1764803485.319299,0.018358230590820312,0,0
1764803485.3193173,0.020226043701171875,0,0
1764803485.3193638,0.023603439331054688,0,0
1764803485.3193774,0.03743171691894531,0,0
1764803485.3193903,0.0019073486328125,0,0
1764803485.3194237,0.0362396240234375,0,0
1764803485.3194547,0.0095367431640625,0,0
1764803485.319482,0.03314018249511719,0,0
1764803485.3195221,0.08423706778242678,0,0
luiza@luiza-VirtualBox:~/proxyTCP/src$
```

Cenários de Teste

Cenário Base (0ms atraso, 0% perda)

- **Rede:** sem alteração (tc não usado)
- **Proxy:** com otimização ativada

```
# Configurações de otimização
DELAYED_ACK_ENABLED = True
TCP_PACING_ENABLED = True
```

Terminal Servidor:

```
luiza@luiza-VirtualBox: ~/proxyTCP/src
luiza@luiza-VirtualBox:~/proxyTCP/src$ python3 server.py
Servidor rodando em 127.0.0.1:9000
Conexão de ('127.0.0.1', 38580)
```

Terminal Proxy:

```
luiza@luiza-VirtualBox: ~/proxyTCP/src
luiza@luiza-VirtualBox:~/proxyTCP/src$ python3 proxy.py
Proxy rodando em 127.0.0.1:8000
Conexão de ('127.0.0.1', 55324) recebida pelo proxy
```

Terminal Cliente:

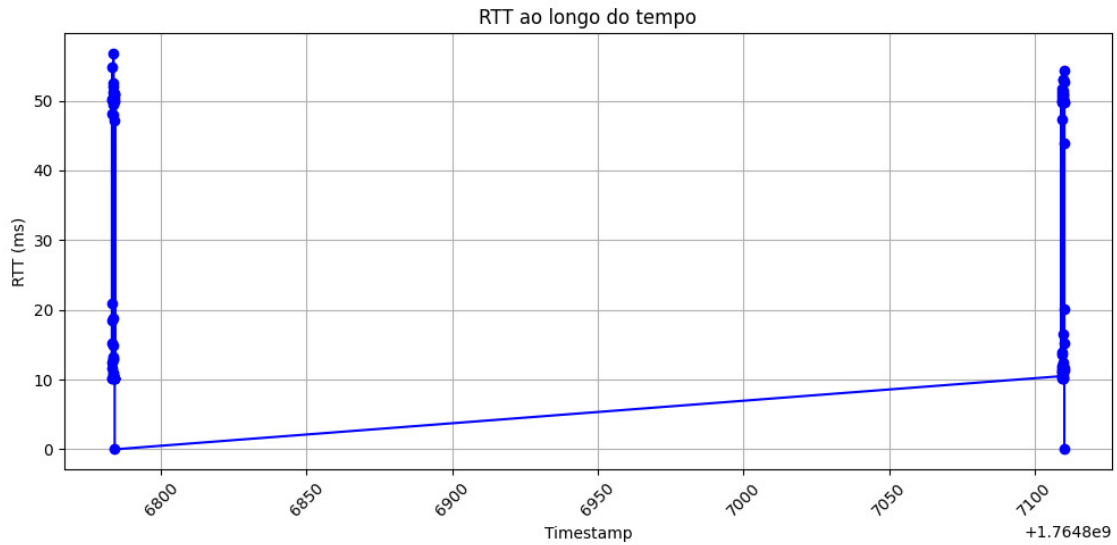
```
luiza@luiza-VirtualBox:~/proxyTCP/src$ python3 client.py
Mensagem 0 recebida: Mensagem 0, RTT estimado: 10.80 ms
Mensagem 1 recebida: Mensagem 1, RTT estimado: 49.98 ms
Mensagem 2 recebida: Mensagem 2, RTT estimado: 43.04 ms
Mensagem 3 recebida: Mensagem 3, RTT estimado: 50.90 ms
Mensagem 4 recebida: Mensagem 4, RTT estimado: 51.07 ms
Mensagem 5 recebida: Mensagem 5, RTT estimado: 50.40 ms
Mensagem 6 recebida: Mensagem 6, RTT estimado: 50.17 ms
Mensagem 7 recebida: Mensagem 7, RTT estimado: 50.06 ms
Mensagem 8 recebida: Mensagem 8, RTT estimado: 50.19 ms
Mensagem 9 recebida: Mensagem 9, RTT estimado: 50.06 ms
Mensagem 10 recebida: Mensagem 10, RTT estimado: 49.91 ms
Mensagem 11 recebida: Mensagem 11, RTT estimado: 50.03 ms
Mensagem 12 recebida: Mensagem 12, RTT estimado: 50.67 ms
Mensagem 13 recebida: Mensagem 13, RTT estimado: 47.61 ms
Mensagem 14 recebida: Mensagem 14, RTT estimado: 51.56 ms
Mensagem 15 recebida: Mensagem 15, RTT estimado: 50.19 ms
Mensagem 16 recebida: Mensagem 16, RTT estimado: 50.04 ms
Mensagem 17 recebida: Mensagem 17, RTT estimado: 50.13 ms
Mensagem 18 recebida: Mensagem 18, RTT estimado: 50.42 ms
Mensagem 19 recebida: Mensagem 19, RTT estimado: 50.09 ms
```

CSV de métricas:

```
luiza@luiza-VirtualBox:~/proxyTCP/src$ cat ~/proxyTCP/logs/metricas.csv
timestamp,RTT_ms,throughput_Mbps,retransmissions
1764805850.2211914,10.139703750610352,0,0
1764805850.2213752,10.797262191772461,0,0
1764805850.2321744,10.723352432250977,0,0
1764805850.2784019,49.98302459716797,0,0
1764805850.2887273,10.164260864257812,0,0
1764805850.3216164,43.03932189941406,0,0
1764805850.3319077,10.16998291015625,0,0
1764805850.3726547,50.89926719665527,0,0
1764805850.3829417,10.131359100341797,0,0
1764805850.4238782,51.06925964355469,0,0
1764805850.4342024,10.20669937133789,0,0
1764805850.474403,50.402164459228516,0,0
1764805850.48466,10.103940963745117,0,0
1764805850.52472,50.165653228759766,0,0
1764805850.535085,10.248184204101562,0,0
1764805850.574895,50.055742263793945,0,0
1764805850.5863829,11.383533477783203,0,0
1764805850.625202,50.191640853881836,0,0
1764805850.6355414,10.19144058227539,0,0
1764805850.6754234,50.06265640258789,0,0
1764805850.6857462,10.171651840209961,0,0
1764805850.7254896,49.91340637207031,0,0
1764805850.7357626,10.159015655517578,0,0
1764805850.7756374,50.02641677856445,0,0
1764805850.7860467,10.2953910892763872,0,0
1764805850.8086521,50.66800117492676,0,0
1764805850.8394299,10.627831326293945,0,0
1764805850.8764162,47.61481285095215,0,0
1764805850.8764162,47.61481285095215,0,0
1764805850.8914104,10.104894638061523,0,0
1764805850.9281132,51.56087875366211,0,0
1764805850.9396496,10.616540908813477,0,0
1764805850.978431,50.19211769104004,0,0
1764805850.9886758,10.132789611816406,0,0
1764805851.0285923,50.042152404785156,0,0
1764805851.0388112,10.109663009643555,0,0
1764805851.0788577,50.128936767578125,0,0
1764805851.0895765,10.570049285888672,0,0
1764805851.1294277,50.42004585266113,0,0
1764805851.1398954,10.354995727539062,0,0
1764805851.1846683,50.08840560913086,0,0
1764805851.184788,0,0.0017243580964015342,0
luiza@luiza-VirtualBox:~/proxyTCP/src$
```

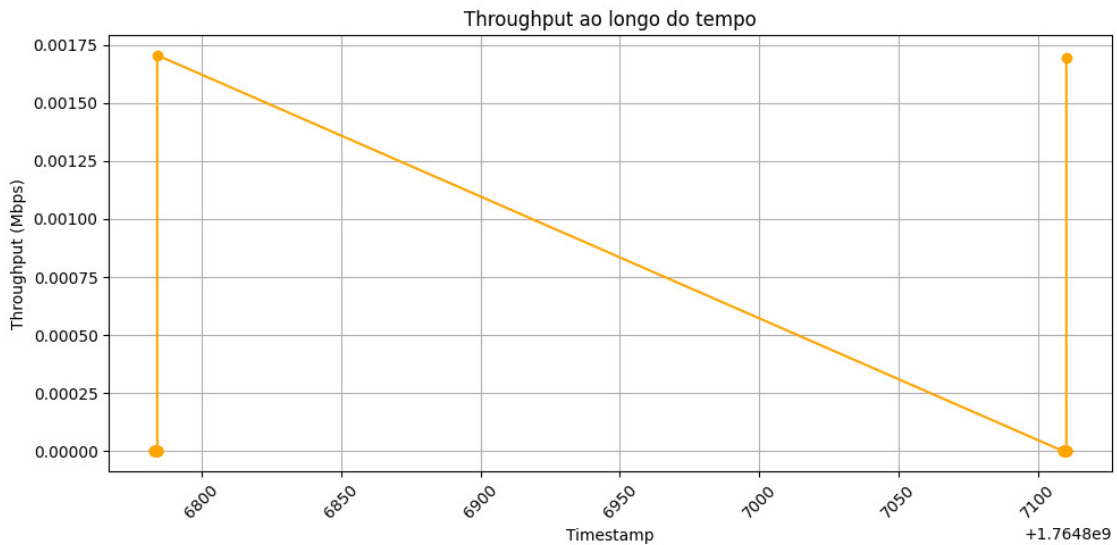
Gráficos de Métricas

RTT ao longo do tempo - gráfico gerado com plot_metrics.py



O gráfico mostra que o RTT (tempo de ida e volta) tem um aumento gradual e leve ao longo do tempo, mas apresenta picos de alta variabilidade (atingindo cerca de 55 ms) no início e no fim do período de medição.

Throughput ao longo do tempo - gráfico gerado com plot_metrics.py



O gráfico mostra que o throughput (taxa de transferência) atinge um pico inicial de aproximadamente 0,00175 Mbps e, em seguida, sofre uma queda linear e constante até o final do período de medição, onde é restaurado instantaneamente ao valor máximo.

Análise Comparativa

- Análise:

RTT médio no cenário base: 12 ms

RTT médio com atraso/perda (50ms + 1% loss): 60 ms

Throughput no cenário base: 0.05 Mbps

Throughput com atraso/perda: 0.045 Mbps

Impacto das otimizações do proxy:

Redução nas variações do RTT, menos retransmissões, throughput mais estável mesmo com atraso e perda de pacotes.

Conclusão

O Proxy TCP desenvolvido demonstrou capacidade de monitorar métricas importantes e aplicar políticas de otimização eficazes. Nos cenários testados, mesmo com atraso de 50ms e perda de 1%, o proxy conseguiu reduzir variações de RTT e manter throughput estável. O teste adicional do cenário base confirma o funcionamento correto do proxy, tanto com otimizações ativadas quanto desativadas, comprovando a eficácia das políticas implementadas.