

Trabalho 1 - Laboratório de Redes de Computadores

Aluno: Mauro Sachs Pereira

Implementação do Sistema

O sistema foi desenvolvido em Java e simula um protocolo de comunicação confiável sobre UDP, visando a transferência segura de arquivos entre dispositivos em rede. A aplicação é composta por dois papéis principais: cliente e servidor. O cliente envia comandos e arquivos utilizando pacotes do tipo FILE, CHUNK e END, enquanto o servidor recebe, valida e armazena os dados, respondendo com mensagens de confirmação (ACK) para garantir a entrega correta.

Para garantir confiabilidade sobre o protocolo UDP, foram implementadas rotinas de:

- **Timeout e retransmissão:** caso um ACK não seja recebido dentro do tempo esperado, a mensagem é reenviada.
- **Controle de duplicatas:** pacotes repetidos são descartados com base em identificadores únicos de sequência.
- **Verificação de integridade:** ao final da transferência, o servidor calcula o hash do arquivo recebido e o compara com o hash enviado pelo cliente para assegurar a consistência dos dados.

Toda a lógica de rede foi construída com DatagramSocket, e o sistema suporta múltiplos comandos via interface de linha de comando, como `devices`, `talk` e `sendfile`. A robustez da implementação foi verificada por meio de simulações de perda, duplicação, atraso, reordenação e corrupção de pacotes utilizando a ferramenta `netem`.

Cenários de teste

Para validar os mecanismos de confiabilidade implementados no protocolo desenvolvido, foram realizados testes simulando condições de perda de pacotes, duplicação, entrega fora de ordem e atrasos e pacotes corrompidos, utilizando `netem` para simular os cenários dentro da rede.

Os testes foram realizados utilizando o comando `sendfile` entre dois serviços.

Teste com perda de pacotes (30%)

Com 30% de perda simulada via netem, o protocolo demonstrou confiabilidade ao reenviar mensagens críticas como FILE e END após ausência de ACK. Os blocos CHUNK foram entregues corretamente, e duplicatas foram descartadas no servidor. A transferência foi concluída com sucesso, validando a robustez do protocolo mesmo sob perda significativa.

Logs

- **Device1:**

```
sendfile device2 pom.xml
[CLI] FILE enviado (tentativa 1)
[CLI] Timeout aguardando ACK...
[CLI] FILE enviado (tentativa 2)
[CLI] Timeout aguardando ACK...
[CLI] FILE enviado (tentativa 3)
[CLI] ACK recebido! Iniciando envio de blocos...
[CLI] CHUNK seq=0 enviado (tentativa 1)
[CLI] ACK recebido para CHUNK seq=0
[CLI] Progresso: 31% (750/2415 bytes)
[CLI] CHUNK seq=1 enviado (tentativa 1)
[CLI] ACK recebido para CHUNK seq=1
[CLI] Progresso: 62% (1500/2415 bytes)
[CLI] CHUNK seq=2 enviado (tentativa 1)
[CLI] ACK recebido para CHUNK seq=2
[CLI] Progresso: 93% (2250/2415 bytes)
[CLI] CHUNK seq=3 enviado (tentativa 1)
[CLI] ACK recebido para CHUNK seq=3
[CLI] Progresso: 100% (2415/2415 bytes)
[CLI] Todos os CHUNKs foram enviados com sucesso!
[CLI] END enviado (tentativa 1)
[CLI] Timeout aguardando ACK final...
[CLI] END enviado (tentativa 2)
[CLI] Timeout aguardando ACK final...
[CLI] END enviado (tentativa 3)
[CLI] ACK final recebido! Transferência concluída.
> [Server] Novo dispositivo detectado: device3 (172.20.0.12:9876)
```

- **Device2:**

```
[Server] FILE recebido: pom.xml (2415 bytes)
[Server] CHUNK 0 salvo (received_device2_pom.xml)
[Server] CHUNK 1 salvo (received_device2_pom.xml)
[Server] CHUNK 2 salvo (received_device2_pom.xml)
[Server] CHUNK 3 salvo (received_device2_pom.xml)
[Server] Arquivo received_device2_pom.xml validado com sucesso.
```

- **Tcpdump:**

```
23:25:18.526318 eth0 Out IP (tos 0x0, ttl 64, id 11193, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 60)
172.20.0.10.48324 > 172.20.0.11.9876: [bad udp cksum 0x5877 -> 0x7d5b] UDP, length 32
23:25:18.528486 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 46135, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 46)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.48324: [bad udp cksum 0x5869 -> 0xc5f1] UDP, length 18
23:25:18.528856 eth0 Out IP (tos 0x0, ttl 64, id 11197, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 1851)
172.20.0.10.38291 > 172.20.0.11.9876: [bad udp cksum 0x5c56 -> 0x9bb8] UDP, length 1823
23:25:18.559824 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 46147, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 46)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.38291: [bad udp cksum 0x5869 -> 0xf682] UDP, length 18
23:25:18.559797 eth0 Out IP (tos 0x0, ttl 64, id 11198, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 1851)
172.20.0.10.38291 > 172.20.0.11.9876: [bad udp cksum 0x5c56 -> 0xd952] UDP, length 1823
23:25:18.558716 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 46154, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 46)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.38291: [bad udp cksum 0x5869 -> 0xf682] UDP, length 18
23:25:18.561808 eth0 Out IP (tos 0x0, ttl 64, id 11202, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 1851)
172.20.0.10.38291 > 172.20.0.11.9876: [bad udp cksum 0x5c56 -> 0xdab9] UDP, length 1823
23:25:18.566439 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 46162, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 46)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.38291: [bad udp cksum 0x5869 -> 0xf682] UDP, length 18
23:25:18.572652 eth0 Out IP (tos 0x0, ttl 64, id 11204, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 271)
172.20.0.10.38291 > 172.20.0.11.9876: [bad udp cksum 0x594a -> 0x5a21] UDP, length 243
23:25:18.573897 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 46164, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 46)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.38291: [bad udp cksum 0x5869 -> 0xf682] UDP, length 18
23:25:20.611256 eth0 Out IP (tos 0x0, ttl 64, id 13122, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 111)
172.20.0.10.38291 > 172.20.0.11.9876: [bad udp cksum 0x58aa -> 0x949b] UDP, length 83
23:25:22.614993 eth0 Out IP (tos 0x0, ttl 64, id 13765, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 111)
172.20.0.10.38291 > 172.20.0.11.9876: [bad udp cksum 0x58aa -> 0x3496] UDP, length 83
23:25:22.615591 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 47983, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 46)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.38291: [bad udp cksum 0x5869 -> 0xf682] UDP, length 18
```

Atraso de Pacotes (2500ms)

Neste teste, foi simulado um atraso fixo de 2500ms nos pacotes enviados pelo device1. O ACK da mensagem FILE foi perdido por timeout, exigindo retransmissão. Alguns blocos também precisaram ser reenviados, mas a transferência foi concluída com sucesso após todas as confirmações.

O protocolo demonstrou resiliência, lidando corretamente com o atraso e finalizando a transferência de forma íntegra, sem perdas de dados.

Logs

- **Device1**

```
> sendfile device2 pom.xml
[CLI] FILE enviado (tentativa 1)
[CLI] Timeout aguardando ACK...
[CLI] FILE enviado (tentativa 2)
[CLI] ACK recebido! Iniciando envio de blocos...
[CLI] CHUNK seq=0 enviado (tentativa 1)
[CLI] CHUNK seq=0 enviado (tentativa 2)
[CLI] ACK recebido para CHUNK seq=0
[CLI] Progresso: 31% (750/2415 bytes)
[CLI] CHUNK seq=1 enviado (tentativa 1)
[CLI] CHUNK seq=1 enviado (tentativa 2)
[CLI] ACK recebido para CHUNK seq=1
[CLI] Progresso: 62% (1500/2415 bytes)
[CLI] CHUNK seq=2 enviado (tentativa 1)
[CLI] ACK recebido para CHUNK seq=2
[CLI] Progresso: 93% (2250/2415 bytes)
[CLI] CHUNK seq=3 enviado (tentativa 1)
[CLI] ACK recebido para CHUNK seq=3
[CLI] Progresso: 100% (2415/2415 bytes)
[CLI] Todos os CHUNKs foram enviados com sucesso!
[CLI] END enviado (tentativa 1)
[CLI] ACK final recebido! Transferência concluída.
```

- **Device2**

```
[Server] FILE recebido: pom.xml (2415 bytes)
[Server] FILE recebido: pom.xml (2415 bytes)
[Server] CHUNK 0 salvo (received_device2_pom.xml)
[Server] CHUNK 1 salvo (received_device2_pom.xml)
[Server] CHUNK 2 salvo (received_device2_pom.xml)
[Server] CHUNK 3 salvo (received_device2_pom.xml)
[Server] Arquivo received_device2_pom.xml validado com sucesso.
```

- **Tcpdump**

```

tcpdump: listening on any, link-type LINUX_SLL2 (Linux cooked v2), snapshot length 262144 bytes
23:37:41.832282 eth0 Out IP (tos 0x0, ttl 64, id 14305, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 60)
172.20.0.10.48626 > 172.20.0.11.9876: [bad udp cksum 0x5877 -> 0x7825!] UDP, length 32
23:37:41.832950 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 20880, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 46)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.48626: [bad udp cksum 0x5869 -> 0xc61f!] UDP, length 18
23:37:43.839070 eth0 Out IP (tos 0x0, ttl 64, id 15285, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 60)
172.20.0.10.48626 > 172.20.0.11.9876: [bad udp cksum 0x5877 -> 0x7825!] UDP, length 32
23:37:43.839893 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 21972, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 46)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.48626: [bad udp cksum 0x5869 -> 0xc61f!] UDP, length 18
23:37:44.329413 eth0 Out IP (tos 0x0, ttl 64, id 15730, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 1051)
172.20.0.10.50569 > 172.20.0.11.9876: [bad udp cksum 0x5c56 -> 0x5dc4!] UDP, length 1023
23:37:44.330032 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 22265, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 46)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.50569: [bad udp cksum 0x5869 -> 0xbe88!] UDP, length 18
23:37:46.336214 eth0 Out IP (tos 0x0, ttl 64, id 16092, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 1051)
172.20.0.10.50569 > 172.20.0.11.9876: [bad udp cksum 0x5c56 -> 0x5dc4!] UDP, length 1023
23:37:46.337512 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 22621, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 46)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.50569: [bad udp cksum 0x5869 -> 0xbe88!] UDP, length 18
23:37:46.840988 eth0 Out IP (tos 0x0, ttl 64, id 16303, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 1051)
172.20.0.10.50569 > 172.20.0.11.9876: [bad udp cksum 0x5c56 -> 0xa158!] UDP, length 1023
23:37:46.841895 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 23108, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 46)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.50569: [bad udp cksum 0x5869 -> 0xbe88!] UDP, length 18
23:37:48.840159 eth0 Out IP (tos 0x0, ttl 64, id 16646, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 1051)
172.20.0.10.50569 > 172.20.0.11.9876: [bad udp cksum 0x5c56 -> 0xa158!] UDP, length 1023
23:37:48.840732 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 24045, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 46)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.50569: [bad udp cksum 0x5869 -> 0xbe88!] UDP, length 18
23:37:48.843866 eth0 Out IP (tos 0x0, ttl 64, id 16648, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 1051)
172.20.0.10.50569 > 172.20.0.11.9876: [bad udp cksum 0x5c56 -> 0x12bf!] UDP, length 1023
23:37:48.846301 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 24050, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 46)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.50569: [bad udp cksum 0x5869 -> 0xbe88!] UDP, length 18
23:37:49.337045 eth0 Out IP (tos 0x0, ttl 64, id 17120, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 271)
172.20.0.10.50569 > 172.20.0.11.9876: [bad udp cksum 0x594a -> 0x2227!] UDP, length 243
23:37:49.337567 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 24205, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 46)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.50569: [bad udp cksum 0x5869 -> 0xbe88!] UDP, length 18
23:37:51.346894 eth0 Out IP (tos 0x0, ttl 64, id 17436, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 111)
172.20.0.10.50569 > 172.20.0.11.9876: [bad udp cksum 0x58aa -> 0x5ca1!] UDP, length 83
23:37:51.348960 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 25372, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 46)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.50569: [bad udp cksum 0x5869 -> 0xbe88!] UDP, length 18

```

Teste com duplicação de pacotes

Para validar a tolerância à duplicação de pacotes, foi simulado um ambiente com 100% de duplicação usando o netem. Mesmo com todas as mensagens sendo enviadas duas vezes, o protocolo operou corretamente: o cliente processou apenas o primeiro ACK de cada etapa, o servidor identificou e descartou duplicatas de FILE e CHUNK, e a transferência foi concluída com sucesso sem sobrescritas ou erros de integridade.

Logs:

- **Device1:**

```

> sendfile device2 pom.xml
[CLI] FILE enviado (tentativa 1)
[CLI] ACK recebido! Iniciando envio de blocos...
[CLI] CHUNK seq=0 enviado (tentativa 1)
[CLI] ACK recebido para CHUNK seq=0
[CLI] Progresso: 31% (752/2415 bytes)
[CLI] CHUNK seq=1 enviado (tentativa 1)
[CLI] ACK recebido para CHUNK seq=1
[CLI] Progresso: 62% (1504/2415 bytes)
[CLI] CHUNK seq=2 enviado (tentativa 1)
[CLI] ACK recebido para CHUNK seq=2
[CLI] Progresso: 93% (2256/2415 bytes)
[CLI] CHUNK seq=3 enviado (tentativa 1)
[CLI] ACK recebido para CHUNK seq=3
[CLI] Progresso: 100% (2415/2415 bytes)
[CLI] Todos os CHUNKs foram enviados com sucesso!
[CLI] END enviado (tentativa 1)
[CLI] ACK final recebido! Transferência concluída.

```

- **Device2:**

```
[Server] FILE recebido: pom.xml (2415 bytes)
[Server] FILE recebido: pom.xml (2415 bytes)
[Server] CHUNK 0 salvo (received_device2_pom.xml)
[Server] CHUNK 0 ja recebido, ignora: (received_device2_pom.xml)
[Server] CHUNK 1 salvo (received_device2_pom.xml)
[Server] CHUNK 1 ja recebido, ignora: (received_device2_pom.xml)
[Server] CHUNK 2 salvo (received_device2_pom.xml)
[Server] CHUNK 2 ja recebido, ignora: (received_device2_pom.xml)
[Server] CHUNK 3 salvo (received_device2_pom.xml)
[Server] CHUNK 3 ja recebido, ignora: (received_device2_pom.xml)
[Server] Arquivo received_device2_pom.xml validado com sucesso.
```

- **Tcpdump:**

```
tcpdump: listening on any, link-type LINUX_64 (Linux cooked v2), snapshot length 20224 bytes
21:44:34.479218 eth0 Out IP (tos 0x0, ttl 64, id 12820, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 58)
172.20.0.10.53633 > 172.20.0.11.9876: [bad udp cksum 0x5875 -> 0x90d3] UDP, length 38
21:44:34.479222 eth0 Out IP (tos 0x0, ttl 64, id 12820, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 58)
172.20.0.10.53633 > 172.20.0.11.9876: [bad udp cksum 0x5875 -> 0x90d3] UDP, length 38
21:44:34.483376 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 26268, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 44)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.53633: [bad udp cksum 0x5867 -> 0xebc0] UDP, length 16
21:44:34.483378 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 26268, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 44)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.53633: [bad udp cksum 0x5867 -> 0xebc0] UDP, length 16
21:44:34.484870 eth0 Out IP (tos 0x0, ttl 64, id 12824, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 1053)
172.20.0.10.54814 > 172.20.0.11.9876: [bad udp cksum 0x5c58 -> 0x019f] UDP, length 1025
21:44:34.484874 eth0 Out IP (tos 0x0, ttl 64, id 12824, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 1053)
172.20.0.10.54814 > 172.20.0.11.9876: [bad udp cksum 0x5c58 -> 0x019f] UDP, length 1025
21:44:34.485228 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 26269, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 44)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.53633: [bad udp cksum 0x5867 -> 0xebc0] UDP, length 16
21:44:34.485229 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 26269, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 44)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.53633: [bad udp cksum 0x5867 -> 0xebc0] UDP, length 16
21:44:34.487513 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 26272, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 44)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.54814: [bad udp cksum 0x5867 -> 0xe723] UDP, length 16
21:44:34.487514 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 26272, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 44)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.54814: [bad udp cksum 0x5867 -> 0xe723] UDP, length 16
21:44:34.487935 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 26273, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 44)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.54814: [bad udp cksum 0x5867 -> 0xe723] UDP, length 16
21:44:34.487936 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 26273, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 44)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.54814: [bad udp cksum 0x5867 -> 0xe723] UDP, length 16
21:44:34.489596 eth0 Out IP (tos 0x0, ttl 64, id 12825, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 1053)
172.20.0.10.54814 > 172.20.0.11.9876: [bad udp cksum 0x5c58 -> 0x5447] UDP, length 1025
21:44:34.489600 eth0 Out IP (tos 0x0, ttl 64, id 12825, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 1053)
172.20.0.10.54814 > 172.20.0.11.9876: [bad udp cksum 0x5c58 -> 0x5447] UDP, length 1025
21:44:34.491129 eth0 Out IP (tos 0x0, ttl 64, id 12826, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 1053)
172.20.0.10.54814 > 172.20.0.11.9876: [bad udp cksum 0x5c58 -> 0x1f4c] UDP, length 1025
21:44:34.491131 eth0 Out IP (tos 0x0, ttl 64, id 12826, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 1053)
172.20.0.10.54814 > 172.20.0.11.9876: [bad udp cksum 0x5c58 -> 0x1f4c] UDP, length 1025
21:44:34.491944 eth0 Out IP (tos 0x0, ttl 64, id 12827, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 261)
172.20.0.10.54814 > 172.20.0.11.9876: [bad udp cksum 0x5940 -> 0x7b37] UDP, length 233
21:44:34.491946 eth0 Out IP (tos 0x0, ttl 64, id 12827, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 261)
172.20.0.10.54814 > 172.20.0.11.9876: [bad udp cksum 0x5940 -> 0x7b37] UDP, length 233
21:44:34.498163 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 26283, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 44)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.54814: [bad udp cksum 0x5867 -> 0xe723] UDP, length 16
21:44:34.498165 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 26283, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 44)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.54814: [bad udp cksum 0x5867 -> 0xe723] UDP, length 16
21:44:34.498388 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 26284, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 44)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.54814: [bad udp cksum 0x5867 -> 0xe723] UDP, length 16
21:44:34.498389 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 26284, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 44)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.54814: [bad udp cksum 0x5867 -> 0xe723] UDP, length 16
21:44:34.499457 eth0 Out IP (tos 0x0, ttl 64, id 12829, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 109)
172.20.0.10.54814 > 172.20.0.11.9876: [bad udp cksum 0x58a8 -> 0x853c] UDP, length 81
21:44:34.499462 eth0 Out IP (tos 0x0, ttl 64, id 12829, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 109)
172.20.0.10.54814 > 172.20.0.11.9876: [bad udp cksum 0x58a8 -> 0x853c] UDP, length 81
21:44:34.508047 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 26287, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 44)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.54814: [bad udp cksum 0x5867 -> 0xe723] UDP, length 16
21:44:34.508048 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 26287, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 44)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.54814: [bad udp cksum 0x5867 -> 0xe723] UDP, length 16
21:44:34.502443 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 26289, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 44)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.54814: [bad udp cksum 0x5867 -> 0xe723] UDP, length 16
21:44:34.502444 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 26289, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 44)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.54814: [bad udp cksum 0x5867 -> 0xe723] UDP, length 16
21:44:34.502829 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 26290, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 44)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.54814: [bad udp cksum 0x5867 -> 0xe723] UDP, length 16
21:44:34.502831 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 26290, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 44)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.54814: [bad udp cksum 0x5867 -> 0xe723] UDP, length 16
21:44:34.510082 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 26294, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 44)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.54814: [bad udp cksum 0x5867 -> 0xe723] UDP, length 16
21:44:34.510084 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 26294, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 44)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.54814: [bad udp cksum 0x5867 -> 0xe723] UDP, length 16
21:44:34.517592 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 26296, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 44)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.54814: [bad udp cksum 0x5867 -> 0xe723] UDP, length 16
21:44:34.517594 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 26296, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 44)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.54814: [bad udp cksum 0x5867 -> 0xe723] UDP, length 16
21:44:34.517707 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 26297, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 44)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.54814: [bad udp cksum 0x5867 -> 0xe723] UDP, length 16
21:44:34.517708 eth0 In IP (tos 0x0, ttl 64, id 26297, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 44)
172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.54814: [bad udp cksum 0x5867 -> 0xe723] UDP, length 16
```

Teste com corrupção de pacotes

Para testar a resistência do protocolo a dados corrompidos, foi utilizado o comando `sudo tc qdisc replace dev veth35afdca root netem corrupt 50%`. Mesmo com 50% de corrupção, o protocolo detectou falhas, retransmitiu as mensagens afetadas e reconstruiu corretamente o arquivo, validando sua integridade com sucesso.

Logs:

- **Device1:**

```
[CLI] ACK final recebido! Transferência concluída.
> sendfile device2 pom.xml
[CLI] FILE enviado (tentativa 1)
[CLI] Timeout aguardando ACK...
[CLI] FILE enviado (tentativa 2)
[CLI] ACK recebido! Iniciando envio de blocos...
[CLI] CHUNK seq=0 enviado (tentativa 1)
[CLI] CHUNK seq=0 enviado (tentativa 2)
[CLI] CHUNK seq=0 enviado (tentativa 3)
[CLI] CHUNK seq=0 enviado (tentativa 4)
[CLI] ACK recebido para CHUNK seq=0
[CLI] Progresso: 31% (751/2415 bytes)
[CLI] CHUNK seq=1 enviado (tentativa 1)
[CLI] ACK recebido para CHUNK seq=1
[CLI] Progresso: 62% (1502/2415 bytes)
[CLI] CHUNK seq=2 enviado (tentativa 1)
[CLI] CHUNK seq=2 enviado (tentativa 2)
[CLI] CHUNK seq=2 enviado (tentativa 3)
[CLI] ACK recebido para CHUNK seq=2
[CLI] Progresso: 93% (2253/2415 bytes)
[CLI] CHUNK seq=3 enviado (tentativa 1)
[CLI] ACK recebido para CHUNK seq=3
[CLI] Progresso: 100% (2415/2415 bytes)
[CLI] Todos os CHUNKs foram enviados com sucesso!
[CLI] END enviado. Hash: baab6f5babc02db7eebcf89db55052d5726a83b67a1b34b64a8ab62165b037fe (tentativa 1)
[CLI] ACK final recebido! Transferência concluída.
```

- **Device2:**

```
[Server] FILE recebido: pom.xml (2415 bytes)
[Server] CHUNK 0 salvo (received_device2_pom.xml)
[Server] CHUNK 0 ja recebido, ignora: (received_device2_pom.xml)
[Server] CHUNK 0 ja recebido, ignora: (received_device2_pom.xml)
[Server] CHUNK 0 ja recebido, ignora: (received_device2_pom.xml)
[Server] CHUNK 1 salvo (received_device2_pom.xml)
[Server] CHUNK 2 salvo (received_device2_pom.xml)
[Server] CHUNK 2 ja recebido, ignora: (received_device2_pom.xml)
[Server] CHUNK 2 ja recebido, ignora: (received_device2_pom.xml)
[Server] CHUNK 3 salvo (received_device2_pom.xml)
[Server] Arquivo received_device2_pom.xml validado com sucesso.
Hash: baab6f5babc02db7eebcf89db55052d5726a83b67a1b34b64a8ab62165b037fe
```

- **Tcpdump:**

```
listening on veth2057077, link type EN10MB (Ethernet), snapshot length 20214 bytes
1746402052.352096 IP 172.20.0.10.43945 > 172.20.0.11.9876: UDP, length 31
1746402052.352804 IP 172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.43945: UDP, bad length 17 > 16
1746402054.355109 IP 172.20.0.10.43945 > 172.20.0.11.9876: UDP, length 31
1746402054.356354 IP 172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.43945: UDP, length 17
1746402054.358222 IP 172.20.0.10.56299 > 172.20.0.11.9876: UDP, length 1026
1746402054.361431 IP 172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.56299: UDP, length 17
1746402056.361453 IP 172.20.0.10.56299 > 172.20.0.11.9876: UDP, length 1026
1746402056.362033 IP 172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.56299: UDP, length 17
1746402057.382254 ARP, Request who-has 172.20.0.10 tell 172.20.0.11, length 28
1746402057.382264 ARP, Reply 172.20.0.10 is-at 02:42:ac:14:00:0a (oui Unknown), length 28
1746402058.364655 IP 172.20.0.10.56299 > 172.20.0.11.9876: UDP, length 1026
1746402058.365833 IP 172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.56299: UDP, length 17
1746402060.367803 IP 172.20.0.10.56299 > 172.20.0.11.9876: UDP, length 1026
1746402060.369518 IP 172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.56299: UDP, length 17
1746402060.370222 IP 172.20.0.10.56299 > 172.20.0.11.9876: UDP, length 1026
1746402060.371346 IP 172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.56299: UDP, length 17
1746402060.372421 IP 172.20.0.10.56299 > 172.20.0.11.9876: UDP, length 1026
1746402060.376958 IP 172.20.0.11.13972 > 172.20.0.10.56299: UDP, length 17
1746402061.478577 ARP, Request who-has 172.20.0.11 tell 172.20.0.10, length 28
1746402061.478645 ARP, Reply 172.20.0.11 is-at 02:42:ac:14:00:0b (oui Unknown), length 28
1746402062.373928 IP 172.20.0.10.56299 > 172.20.0.11.9876: UDP, length 1026
1746402062.375441 IP 172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.56299: UDP, length 17
1746402064.375249 IP 172.20.0.10.56299 > 172.20.0.11.9876: UDP, length 1026
1746402064.375945 IP 172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.56299: UDP, length 17
1746402064.376656 IP 172.20.0.10.56299 > 172.20.0.11.9876: UDP, length 238
1746402064.378791 IP 172.20.0.11.9876 > 172.20.0.10.56299: UDP, length 17
1746402064.386321 IP 172.20.0.10.56299 > 172.20.0.11.9876: UDP, length 82
```