



Universidade de Brasília  
Departamento de Ciências da Computação  
Engenharia de Computação  
Teleinformática e Redes II

# Selective Repeat

João Pedro Gomes Covalleski Marin Antonow, 221006351

Pedro Amorim de Gregori, 221029329

Álvaro Luz, 180115391

Professor: Jacir Luiz Bordim

Brasília  
2023

## 1. Objetivos

1. Trabalhar com uma arquitetura de rede em camadas e implementar funções que permitam uma melhor utilização do enlace utilizando técnicas de pipelining vistas no capítulo 4 (Camada de Transporte) do livro.
2. Seu trabalho é implementar o rdt\_4\_0, estendendo/modificando o código inicial fornecido (stop-and-wait) para que múltiplos pacotes possam fluir entre cliente e servidor.
3. Implementações possíveis:
  - (a) Go-back-N (mais simples)
  - (b) Selective Repeat (mais complexo, e por isso tem um bônus extra na nota final para o grupo que implementar de forma correta).
4. Após a execução/simulação, seu código deve fornecer as seguintes estatísticas:
  - (a) Vazão (camada de rede, incluindo cabeçalhos)
  - (b) Goodput (vazão na camada de aplicação)
  - (c) Total de pacotes transmitidos
  - (d) Total de retransmissões (para cada tipo de pacote utilizado)
  - (e) Total de pacotes corrompidos (para cada tipo de pacote utilizado)
  - (f) Tempo de simulação (tempo desde o início do envio até o último pacote enviado)
5. O código deve permitir o envio de múltiplas mensagens entre o cliente e servidor. O número de mensagens deve ser definido como argumento de linha do cliente.

## 2. Projeto

A nossa implementação consistiu em modificar o código-base proposto e, além de implementar o mecanismo de selective repeat para a transmissão de dados, elaborar um gráfico automático através dos recursos da biblioteca *matplotlib*, a fim de obter uma visualização pacote-por-pacote do throughput e do goodput referentes à transmissão.

## 3. Código

### 3.1. Cliente

Basicamente, o funcionamento do cliente consiste, previamente ao envio, em expandir o quantitativo de mensagens originais de acordo com o argumento de linha fornecido pelo usuário, resultando em um total de  $(n \cdot 5) + 5$  mensagens.

```
#0 código deve permitir o envio de multiplas mensagens entre o cliente e servidor.
# 0 número de mensagens deve ser definido como argumento de linha do cliente.
if __name__ == '__main__':
    parser = argparse.ArgumentParser(description='Quotation client talking to a Pig Latin server.')
    parser.add_argument('server', help='Server.')
    parser.add_argument('port', help='Port.', type=int)
    parser.add_argument('num_msg', help='Number of Messages.', type=int)
    args = parser.parse_args()
    messages = []

    msg_L = [
        'Microsoft is not evil, they just make really crappy operating systems - Linus Torvalds',
        'Real programmers can write assembly code in any language - Larry Wall',
        'It is hardware that makes a machine fast. It is software that makes a fast machine slow. -- Craig Bruce',
        'The art of debugging is figuring out what you really told your program to do rather than what you thought you told it to do. -- Andrew Singer',
        'The computer was born to solve problems that did not exist before. - Bill Gates']

    msg_L_aux = msg_L[:]
    totmsgbytes = 0

    #Aumentar numero de mensagens de acordo com o argumento de linha - total de msgs = n*5 + 5
    for _ in range(args.num_msg):
        msg_L.extend(msg_L_aux)

    timeout = 1000 # send the next message if not response
    rdt = RDT.RDT('client', args.server, args.port)
    in_order = {}
```

Figura 1. Cliente - Pré-envio

O evento posterior consiste em passar essas mensagens para a camada de transporte e enviá-las ao servidor, através do método `rdt_4_0_send`, passando como argumento a lista que contém todas as mensagens.

```
try:
    begin = time.time()
    #Printa todas as mensagens que vao ser enviadas para o servidor
    for message in msg_L:
        print('Client asking to change case: ' + message)

    # try to receive message before timeout
    rdt.rdt_4_0_send(msg_L)
    rdt.clear() #limpa as variaveis e afins do rdt

    time_of_last_data = time.time()
    send_time = time_of_last_data - begin
```

Figura 2. Cliente - Envio de Mensagens

Após a confirmação de que todas as mensagens foram recebidas pelo servidor, o cliente para de transmitir e passa a estar pronto para receber as mensagens convertidas em *Caps Lock* e armazená-las em uma lista, até que o caractere especial terminador de transmissão, `\0`, é recebido. Quando o cliente receber esse caractere, ele irá estabelecer um período de 2[s] para garantir que mais nenhuma mensagem seja recebida e, caso haja o recebimento, reenviar-se-á o ack referente à mensagem recebida. Após o timeout, o cliente organizará as mensagens e apresentará as estatísticas referentes à transmissão das mensagens.

```
print("Client: receiving messages")

while True:
    msg_S = None
    msg_seq = None
    while msg_S == None:
        (msg_seq, msg_S) = rdt.rdt_4_0_receive() #recebimento mensagem por mensagem
        if msg_S is None:
            if time_of_last_data + timeout < time.time():
                break
            else:
                continue
        time_of_last_data = time.time()

    # caso de receber o caractere especial para parar o recebimento de strings
    # crucial para o servidor parar de enviar e para o cliente saber quantas mensagens ha no total
    if(msg_S == "\0"):
        print("\nClient: received special message to stop receiving")
        timer = time.time() #tempo extra para garantir que o ack sera corretamente enviado para o servidor
        while (timer+2 > time.time()):
            (seq_L, msg_L) = rdt.rdt_4_0_receive()
            break

    if msg_seq not in in_order: #adiciona as mensagens recebidas fora de ordem
        in_order[msg_seq] = msg_S
```

Figura 3. Cliente - Recebimento de Mensagens

```

pkts = sum(rdt.network.pktsent) #soma de todos os bytes dos pacotes enviados

avg_throughput = pkts/send_time #average throughput

gpkts = sum(rdt.goodput) #soma de todos os bytes de dados dos pacotes enviados

avg_goodput = gpkts/send_time #average goodput

msg_convertidas = rdt.reorder(in_order) #reordenacao no sistema final das mensagens recebidas

#print(msg_convertidas)
for msg_S in msg_convertidas:
    print('\nClient: Received the converted frase to: ' + msg_S + '\n')

#overview das estatisticas
debug_stats(f"Simulation time = {(time.time()-begin):.2f}[s]")
debug_stats(f"Throughput = {avg_throughput:.2f}[Bps]")
debug_stats(f"Goodput = {avg_goodput:.2f}[Bps]")
debug_stats(f"Total of packets in the wire (ack+data+end) = {rdt.totalpackets+rdt.totalacks}")
debug_stats(f"Total of transmited packets = {rdt.totalpackets}")
debug_stats(f"Total of data packets = {rdt.totaldata}")
debug_stats(f"Total of ack packets = {rdt.totalacks}")
debug_stats(f"Total of end char needed = {rdt.endchar}")
debug_stats(f"Total of lost packets (data + ack) = {rdt.totallostpkts}")
debug_stats(f"Total of corrupted acks = {rdt.totalcorrupted_acks}")
debug_stats(f"Total of corrupted packets = {rdt.totalcorrupted}")
debug_stats(f"Total of reordered packets = {rdt.totalreordered}")
debug_stats(f"Total of retransmitted packets = {rdt.totalretransmitted}")

```

**Figura 4. Cliente - Reordenação e Estatísticas**

Há a disponibilização de gráficos adicionais de throughput e goodput por pacote, ou seja, o fornecimento da visualização do throughput e goodput de cada pacote transmitido.

```

#graficos do throughput por pacote enviado
pktsent = rdt.network.pktsent
timelist = rdt.network.timerlist
throughput = [(a / b)/1e3 for a, b in zip(pktsent,timelist)]
fig, (a1,a2) = plt.subplots(2,1)

plt.subplots_adjust(hspace=0.8)

a1.grid(True)
a1.scatter(timelist, throughput, c='red', edgecolors='black', linewidths=1,alpha=0.75)
for pkth, time in zip(throughput, timelist):
    a1.annotate('',xy=(time,pkth), xytext= (10,-10), textcoords='offset points')
a1.set_title("Throughput X Time - Client")
a1.set_ylabel("Throughput [kB/s]")
a1.set_xlabel("Time [s]")

#graficos do goodput por pacote enviado
a2.grid(True)
pkggoodput = rdt.goodput
timelist_goodput = rdt.timerlist
goodput = [(a/b)/1e3 for a,b in zip(pkggoodput,timelist_goodput)]

a2.scatter(timelist_goodput, goodput, c='red', edgecolors='black', linewidths=1,alpha=0.75)
for pkg, time2 in zip(goodput, timelist_goodput):
    a2.annotate('',xy=(time2,pkg), xytext= (10,-10), textcoords='offset points')
a2.set_title("Goodput X Time - Client")
a2.set_ylabel("Goodput [kB/s]")
#a2.set_yscale('log')
a2.set_xlabel("Time [s]")
plt.show()

```

**Figura 5. Cliente - Gráficos de throughput e goodput por pacote**

### 3.2. Servidor

O servidor, por sua vez, tem funcionamento análogo ao do cliente, mas papéis trocados: inicialmente, ele está programado para receber infinitas mensagens, pois não sabe quantas mensagens o cliente estará enviando. A cada mensagem recebida, esta se submeterá à função *upperCase* e será convertida em *Caps Lock*, além de ser armazenada em uma lista. No entanto, caso haja o recebimento do caractere especial `\0`, o servidor fará o mesmo procedimento descrito anteriormente: aguardar 2[s] para garantir que não haja o recebimento de nenhuma mensagem e, dado o timeout, parar de receber mensagens e começar a enviar as mensagens convertidas.

```
try:
    begin = time.time()
    while True:
        # try to receive message before timeout
        time_of_last_data = time.time()
        (seq_L,msg_L) = rdt.rdt_4_0_receive() #recebimento de mensagens
        if msg_L is None:
            if time_of_last_data + timeout < time.time():
                break
            else:
                continue
        time_of_last_data = time.time()

        # caso de receber o caractere especial para parar o recebimento de strings
        # crucial para o cliente parar de enviar e para o servidor saber quantas mensagens ha no total
        if(msg_L=="\0"):
            print("\nServer: received special message to stop converting")
            timer = time.time() #tempo extra para garantir que o ack sera corretamente enviado para o servidor
            while (timer+2 > time.time()):
                (seq_L,msg_L) = rdt.rdt_4_0_receive()
            break

        # convert and reply
        if(seq_L not in send_in_order): #adiciona as mensagens recebidas fora de ordem e converte em CAPS LOCK
            rep_msg_L = upperCase(msg_L)
            send_in_order[seq_L] = rep_msg_L
            print(f"\nmsgs_rcvs == {send_in_order}")
            print('\nServer: converted %s \nto %s\n' % (msg_L, rep_msg_L))
```

Figura 6. Servidor - Recebimento

O evento posterior consiste em passar essas mensagens convertidas para a camada de transporte e enviá-las ao cliente, através do método `rdt_4_0_send`, passando como argumento a lista que contém todas as mensagens convertidas. Assim como no cliente, serão disponibilizadas as estatísticas de envio de mensagens pelo lado servidor, baseando-se nas mesmas métricas adotadas no outro lado da comunicação.

```

#reordenacao no sistema final a conversao em caps lock das mensagens recebidas
server_rcv = rdt.reorder(send_in_order)
print("\nServer: sending converted messages")
rdt.clear() #limpeza das variaveis
begin = time.time()
rdt.rdt_4_0_send(server_rcv) #envio das mensagens convertidas
send_time = time.time() - begin #tempo de envio

pkts = sum(rdt.network.pktsent) #soma de todos os bytes dos pacotes enviados
avg_throughput = pkts/send_time #average throughput

gpkts = sum(rdt.goodput) #soma de todos os bytes de dados dos pacotes enviados
avg_goodput = gpkts/send_time #average goodput

#overview das estatisticas
debug_stats(f"Simulation time = {(time.time()-begin):.2f}[s]")
debug_stats(f"Throughput = {avg_throughput:.2f}[Bps]")
debug_stats(f"Goodput = {avg_goodput:.2f}[Bps]")
debug_stats(f"Total of packets in the wire (ack+data+end) = {rdt.totalpackets+rdt.totalacks}")
debug_stats(f"Total of transmited packets = {rdt.totalpackets}")
debug_stats(f"Total of data packets = {rdt.totaldata}")
debug_stats(f"Total of ack packets = {rdt.totalacks}")
debug_stats(f"Total of end char needed = {rdt.endchar}")
debug_stats(f"Total of lost packets (data + ack) = {rdt.totallostpkts}")
debug_stats(f"Total of corrupted acks = {rdt.totalcorrupted_acks}")
debug_stats(f"Total of corrupted packets = {rdt.totalcorrupted}")
debug_stats(f"Total of reordered packets = {rdt.totalreordered}")
debug_stats(f"Total of retransmitted packets = {rdt.totalretransmitted}")

```

**Figura 7. Servidor - Envio de Mensagens e overview das estatísticas**

Assim como no lado do cliente, serão disponibilizados o gráfico de throughput e goodput por pacote transmitido referente ao envio do servidor.

```

#graficos do throughput por pacote enviado
pktsent = rdt.network.pktsent
timelist = rdt.network.timerlist
throughput = [(a / b)/1e3 for a, b in zip(pktsent,timelist)]
fig, (a1,a2) = plt.subplots(2,1)

plt.subplots_adjust(hspace=0.8)

a1.grid(True)
a1.scatter(timelist, throughput, c='red', edgecolors='black', linewidths=1,alpha=0.75)
for pktth, time in zip(throughput, timelist):
    a1.annotate('',xy=(time,pktth), xytext= (10,-10), textcoords='offset points')
a1.set_title("Throughput X Time - Server")
a1.set_ylabel("Throughput [kB/s]")
a1.set_xlabel("Time [s]")

#graficos do goodput por pacote enviado
a2.grid(True)
pkgoodput = rdt.goodput
timelist_goodput = rdt.timerlist
goodput = [(a/b)/1e3 for a,b in zip(pkgoodput,timelist_goodput)]

a2.scatter(timelist_goodput, goodput, c='red', edgecolors='black', linewidths=1,alpha=0.75)
for pkg, time2 in zip(goodput, timelist_goodput):
    a2.annotate('',xy=(time2,pkg), xytext= (10,-10), textcoords='offset points')
a2.set_title("Goodput X Time - Server")
a2.set_ylabel("Goodput [kB/s]")
a2.set_xlabel("Time [s]")
plt.show()

```

**Figura 8. Servidor - Gráficos de throughput e goodput por pacote**

### 3.3. RDT

O RDT foi construído baseado em 2 métodos principais: `rdt_4_0_send` e `rdt_4_0_receiver`. O primeiro método recebe um conjunto de mensagens, transforma-os,

um-por-um, em pacotes e aplica a técnica *selective repeat* para melhor controle e performance do enlace para os pacotes enviados. O segundo método, por sua vez, tem por objetivo verificar o recebimento dos pacotes, avaliar o estado deles e enviar uma resposta que condiz com o estado verificado.

### 3.3.1. Observações

Para o desenvolvimento do trabalho, consideramos os seguintes códigos referentes às respostas advindas da camada de rede:

1. Um ACK de um pacote tem que ser uma string correspondente ao seu número de sequência. Ex: numSeq=0 recebe ack=0, e assim sucessivamente.
2. Um pacote corrompido vai ter número de sequência aleatório e sua mensagem será "N", similar ao NACK.

### 3.3.2. Sender

O `rdt_4_0_send` foi implementado baseado na técnica *selective repeat*; desse modo, foi necessária a criação de um algoritmo que aplicasse uma janela deslizante para controlar o envio das mensagens.

Inicialmente, há a transformação de todas as mensagens em pacotes, que são adicionados a uma lista *packets*. Além disso, cria-se um dicionário vazio nomeado *pack\_ack*, o qual possuirá suas chaves correspondentes ao número de sequência do pacote e seus valores correspondentes ao ACK recebido.

O tamanho da janela foi fixado em 5 pacotes e ela desliza somente quando o pacote de menor número de sequência recebe um ACK; por consequência e aplicação do SR, a próxima base da janela será o pacote com menor número de sequência que ainda não recebeu o ACK. Seguindo as fronteiras da janela, o código envia os pacotes e esperam por um ACK, no entanto, quando ocorre um evento de TIMEOUT no pacote, recebimento de NACK (Pacote ou Ack Corrompido) ou quando se verifica um erro de reordenamento dos pacotes, o programa reenvia o pacote que sofreu alguma interferência. Estas interferências estão sujeitas a mudanças de acordo com as probabilidades de atributos da classe Network, em que uma instância da mesma é atributo do RDT o qual estudamos.

O algoritmo foi implementado em um loop principal que verifica se todas as mensagens foram enviadas. Em caso negativo, ocorre uma iteração apenas através da janela deslizante, realizando os envios, as verificações de timeout e o recebimento das respostas.



```
1 while(len(pack_ack) != len(packets)):
2     for packet in packets[lowest_seq : lowest_seq + self.window_size]:
```

Figura 9. Loop principal

Se um pacote recebeu um ACK anteriormente e há o pacote e o ACK em *pack\_ack*, a iteração prossegue, pois não se faz necessário o reenvio, conforme a técnica SR.

```
1 if(packet.seq_num in pack_ack):
2     #selective repeate nao retransmite se ja recebi o ack
3     continue
```

Figura 10. Verifica se precisa enviar

Para a contagem da métrica de retransmissão e transmissão de pacotes, foi adicionado o código abaixo.

```
1 if(packet.seq_num in transmited):
2     self.totalretransmited += 1 #ja retransmiti o mesmo pacote
3 else:
4     transmited.append(packet.seq_num) #primeira vez transmitindo
```

Figura 11. Verifica se precisa enviar

O envio efetivo de mensagens se dá pela aplicação do método de envio de objeto da camada de rede, atributo da camada de transporte. Caso não haja resposta, computa-se um pacote ou ack perdido e continua a iteração. Caso haja resposta, segue-se no método.

```
self.network.udt_send(packet.get_byte_S())
response = ''
timer = time.time()

while response == '' and (timer + self.timeout > time.time()):
    response = self.network.udt_receive()

send_time = time.time() - timer #tempo de envio por pacote

#metricas pro calculo do throughput
self.network.timerlist.append(send_time)
self.network.pktsent.append(throughput_byte)

if response == '':
    #ack ou pkt nao recebido no receiver
    debug_log("SENDER: Packet Lost")
    self.totallostpkts += 1
    continue

debug_log("SENDER: " + response)
msg_length = int(response[:Packet.length_S_length])
self.byte_buffer = response[msg_length:]

self.totalpackets += 1 #pacotes com resposta
```

Figura 12. Envio Efetivo



Em caso de qualquer resposta e posteriormente à aplicação das métricas, tem-se a verificação da resposta, que se dá através de um conjunto de condicionais, começando pela verificação se a resposta está corrompida:

```
1 if not Packet.corrupt(response[:msg_length]):
2     #pacote nao foi corrompido
3     response_p = Packet.from_byte_S(response[:msg_length])
4     debug_log(response_p.msg_S)
```

Figura 13. Response not Corrupt

Quando recebido um NACK, o programa incrementa a contagem de pacotes corrompidos na transmissão, o que significa que o receptor do outro lado da comunicação recebeu um pacote corrompido.

```
1 if (response_p.msg_S == "N"):
2     #pacote corrompido no receiver
3     debug_log("SENDER: PACKET CORRUPTED")
4     self.byte_buffer = ''
5     self.totalcorrupted += 1
```

Figura 14. Pacote Corrompido

No caso de a resposta já estar no dicionário que computa os pacotes que receberam os ACKS, considera-se que o receptor está atrasado em relação ao emissor e, portanto, há erro de reordenamento na camada de rede do RDT. Como orientado pelo professor, calcula-se, ainda assim, o goodput, já que há cabeçalho de dados em questão.

```
elif response_p.seq_num in pack_ack:
    #resposta de pacote que ja tem ack
    if (pack_ack[response_p.seq_num] == f"{response_p.msg_S}"):
        debug_log("SENDER: Receiver behind sender, probably reordered")
        self.totalreordered += 1
        test = Packet(response_p.seq_num, f"{packet.seq_num}")
        self.network.udt_send(test.get_byte_S())
        self.goodput_bytes += goodput_byte
        self.goodput.append(goodput_byte)
        self.timerlist.append(send_time)
```

Figura 15. Reordenamento - Caso 1

Quando recebido um ACK, adiciona-se a chave (número de sequência do pacote transmitido) e o valor (ACK) ao dicionário *pack\_ack*. Além disso, programa calcula se a janela precisará ser deslocada, a posição para a qual ela deverá ou não ir e as métricas de goodput.

```

1 elif (response_p.msg_S == f"{packet.seq_num}"):
2     debug_log("NEW PACKET")
3     debug_log("SENDER: ACK received")
4
5     pack_ack[packet.seq_num] = response_p.msg_S
6
7     self.totalacks += 1
8     self.totaldata += 1
9
10    #metricas para calculo do goodput
11    self.goodput_bytes += goodput_byte
12    self.goodput.append(goodput_byte)
13    self.timerlist.append(send_time)
14
15    self.send_time += send_time

```

Figura 16. ACK recebido

```

1 if response_p.seq_num == packets[lowest_seq].seq_num:
2     for key in packets:
3         if key.seq_num not in pack_ack:
4             lowest_seq = key.seq_num
5             break

```

Figura 17. Controle da janela

No caso do pacote e o ACK não terem sido corrompidos, a resposta não conferir com o número de sequência do pacote transmitido e for uma resposta diferente das respostas já recebidas e confirmadas com ACK, também será considerado como um caso de reordenamento.

```

else:
    #se o pacote nao foi corrompido, o ack nao foi corrompido,
    #nao eh o ack do pacote e nao foi recebido ainda
    debug_log("SENDER: Receiver behind sender, probably reordered")
    self.totalreordered += 1
    test = Packet(response_p.seq_num, f"{packet.seq_num}")
    self.network.udt_send(test.get_byte_S())
    self.goodput_bytes += goodput_byte
    self.goodput.append(goodput_byte)
    self.timerlist.append(send_time)

self.byte_buffer = ''

```

Figura 18. Reordenamento - Caso 2

Para a sinalização do fim do envio das mensagens, o Sender envia um pacote com um caractere especial e espera obter alguma resposta do Receiver, seguindo o algoritmo acima, excetuando-se a parte da janela, pois só existe um pacote a ser enviado no momento. Desconsiderar-se-á o efeito do envio desse caractere para o cálculo da vazão e do goodput, dado que seu tamanho destoa das demais amostras e leva a resultados fora do esperado.

```
#envio do caractere especial para parar a conversao no receiver
while True:
    packet = Packet(999999999, "\0")
    self.network.udt_send(packet.get_byte_S())
    response = ''

    self.totalpackets += 1
    self.endchar += 1

    debug_log(f"SENDER: TRANSMITING PACKET - END CHAR -> {packet.msg_S}")

    timer = time.time()

    while response == '' and (timer + self.timeout > time.time()):
        response = self.network.udt_receive()

    send_time = time.time() - timer

    if response == '':
        debug_log("SENDER: 'End Char' Packet Lost")
        self.totallostpkts += 1
        continue

    msg_length = int(response[:Packet.length_S_length])
    self.byte_buffer = response[msg_length:]
```

```
if not Packet.corrupt(response[:msg_length]):
    response_p = Packet.from_byte_S(response[:msg_length])

    if (response_p.msg_S == "\0"):
        debug_log("SENDER: ACK RECEIVED")
        self.send_time += send_time
        break

    else:
        self.totalcorrupted += 1
        self.byte_buffer = ''

    self.byte_buffer = ''
else:
    self.totalcorrupted_acks += 1
    continue
```

Figura 19. End Char

Uma vez recebido o ACK referente ao caractere especial, finda-se a execução do método.

### 3.3.3. Receiver

O método `rdt.4.0_receiver` foi implementado para a recepção das mensagens, bufferização e envio de ACKS para o RDT Sender do outro lado da aplicação, funci-

onando de forma a verificar o recebimento das mensagens e elaborar uma resposta de acordo com os pacotes que recebe. Sendo assim, ela fica encarregada de receber as mensagens, enviar ACKs quando recebe pacotes em bom estado e enviar NACKs quando o pacote esta corrompido. A imagem abaixo mostra os passos iniciais do RDT receiver, que consistem em capturar uma mensagem advinda da camada de rede e inicializar um *pack\_ack* (buffer) para armazenar as mensagens já recebidas

```
def rdt_4_0_receive(self):
    self.byte_buffer = ''
    pack_ack = self.pack_ack
    ret_S = None
    ret_seq = None
    byte_S = self.network.udt_receive()
    self.byte_buffer += byte_S
    # keep extracting packets - if reordered, could get more than one
    while True:
        # check if we have received enough bytes
        if len(self.byte_buffer) < Packet.length_S_length:
            break # not enough bytes to read packet length
        # extract length of packet
        length = int(self.byte_buffer[:Packet.length_S_length])
        if len(self.byte_buffer) < length:
            break # not enough bytes to read the whole packet
```

**Figura 20. Rdt Receiver**

Ao receber uma mensagem, o código abaixo define qual deve ser a resposta a ser enviada para o Sender com o objetivo de manter o envio das mensagens fluida. Como é possível visualizar, um pacote corrompido receberá NACK, um caractere especial receberá a si mesmo como componente da mensagem e, aos demais casos, reenvia-se o pacote com a mensagem igual ao número de sequência do pacote recebido. Para os casos em que o pacote ainda não foi recebido, armazena-se em buffer. Caso já esteja em buffer, infere-se que aquele pacote não recebeu ACK no lado emissor.

```

1  if Packet.corrupt(self.byte_buffer):
2      if(Packet.corrupt(self.byte_buffer[0:length])):
3          # Pacote veio corrompido
4          debug_log("RECEIVER: Corrupt packet")
5          #Num seq Aleatorio, mensagem N
6          answer = Packet(0, "N")
7          self.network.udt_send(answer.get_byte_S())
8          break
9      debug_log("RECEIVER: Corrupt packet")
10     #Pacote veio corrompido
11     answer = Packet(Packet.from_byte_S(self.byte_buffer[0:length]).seq_num, "N")
12     self.network.udt_send(answer.get_byte_S())
13
14 else:
15     # create packet from buffer content
16     p = Packet.from_byte_S(self.byte_buffer[0:length])
17
18     if (p.msg_S == "\0"):
19         #Recebeu o caractere para parar de receber
20         debug_log("RECEIVER: END OF TRANSMISSION")
21         answer = Packet(p.seq_num, "\0")
22         self.network.udt_send(answer.get_byte_S())
23         #break
24
25     elif p.seq_num in pack_ack:
26         #ja recebeu esse pacote antes
27         debug_log(
28             'RECEIVER: Already received packet. ACK(n) again.')
29
30         answer = Packet(p.seq_num, f"{p.seq_num}")
31         self.network.udt_send(answer.get_byte_S())
32         #break
33
34     else:
35         debug_log(
36             'RECEIVER: Received new. Send ACK(n).')
37         # SEND ACK
38         answer = Packet(p.seq_num, f"{p.seq_num}")
39         self.network.udt_send(answer.get_byte_S())
40         pack_ack[p.seq_num] = p.seq_num
41         debug_log(f"{pack_ack}")

```

Figura 21. Controle da resposta

```

# Add contents to return string
ret_S = p.msg_S if (ret_S is None) else ret_S + p.msg_S
ret_seq = p.seq_num if (ret_seq is None) else ret_seq + p.seq_num
# remove the packet bytes from the buffer
self.byte_buffer = self.byte_buffer[length:]
# if this was the last packet, will return on the next iteration
# if(p.msg_S in pack_ack):
#     break

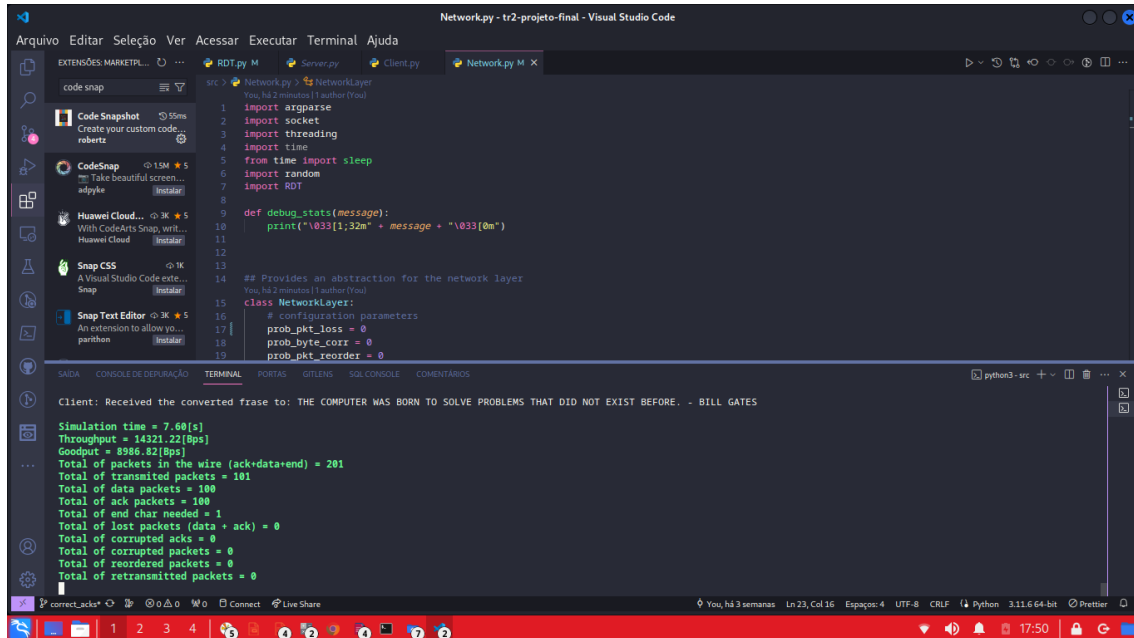
# remove the packet bytes from the buffer
self.byte_buffer = self.byte_buffer[length:]
# if this was the last packet, will return on the next iteration
if (ret_S):
    debug_log(f"RECEIVER: MSG_RECEIVED = {ret_S}")
return (ret_seq, ret_S)

```

Figura 22. Retorno do Método

### 3.4. Resultados:

Para efeitos de comparação, simularemos nossos resultados com o argumento de linha 19, que nos fornecerá 100 mensagens. Além disso, estabeleceremos um timeout de  $0.4[s]$ , o que agilizará a aplicação, mas pode a tornar um pouco mais propensa a erros.



```
src > Network.py > NetworkLayer
You, há 2 minutos | 1 author (You)
1 import argparse
2 import socket
3 import threading
4 import time
5 from time import sleep
6 import random
7 import RDT
8
9 def debug_stats(message):
10     print("\033[1;32m" + message + "\033[0m")
11
12
13
14 ## Provides an abstraction for the network layer
15 You, há 2 minutos | 1 author (You)
16
17 class NetworkLayer:
18     # configuration parameters
19     prob_pkt_loss = 0
20     prob_byte_corr = 0
21     prob_pkt_reorder = 0
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2439
2440
2441
2442
2443
2444
2445
2446
2447
2448
2449
2450
2451
2452
2453
2454
2455
2456
2457
2458
2459
2460
2461
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2470
2471
2472
2473
2474
2475
2476
2477
2478
2479
2480
2481
2482
2483
2484
2485
2486
2487
2488
2489
2490
2491
2492
2493
2494
2495
2496
2497
2498
2499
2500
2501
2502
2503
2504
2505
2506
2507
2508
2509
2510
2511
2512
2513
2514
2515
2516
2517
2518
2519
2520
2521
2522
2523
2524
2525
2526
2527
2528
2529
2530
2531
2532
2533
2534
2535
2536
2537
2538
2539
2540
2541
2542
2543
2544
2545
2546
2547
2548
2549
2550
2551
2552
2553
2554
2555
2556
2557
2558
2559
2560
2561
2562
2563
2564
2565
2566
2567
2568
2569
2570
2571
2572
2573
2574
2575
2576
2577
2578
2579
2580
2581
2582
2583
2584
2585
2586
2587
2588
2589
2590
2591
2592
2593
2594
2595
2596
2597
2598
2599
2600
2601
2602
2603
2604
2605
2606
2607
2608
2609
2610
2611
2612
2613
2614
2615
2616
2617
2618
2619
2620
2621
2622
2623
2624
2625
2626
2627
2
```

Como se pode ver acima, não há perda ou pacotes corrompidos/reordenados, o que confere com o esperado.

```

src > Network.py > NetworkLayer
You, há 18 horas | 1 author (You)
1 import argparse
2 import socket
3 import threading
4 import time
5 from time import sleep
6 import random
7 import RDT
8
9 def debug_stats(message):
10     print("\033[1;32m" + message + "\033[0m")
11
12
13
14 ## Provides an abstraction for the network layer
15 You, há 18 horas | 1 author (You)
16 class NetworkLayer:
17     # configuration parameters
18     prob_pkt_loss = 0.1
19     prob_byte_corr = 0
20     prob_pkt_reorder = 0

```

Client: Received the converted frase to: THE COMPUTER WAS BORN TO SOLVE PROBLEMS THAT DID NOT EXIST BEFORE. - BILL GATES

```

Simulation time = 24.14[s]
Throughput = 3116.75[Bps]
Goodput = 1607.00[Bps]
Total of packets in the wire (ack+data+end) = 201
Total of transmitted packets = 101
Total of data packets = 100
Total of ack packets = 100
Total of end char needed = 1
Total of lost packets (data + ack) = 21
Total of corrupted acks = 0
Total of corrupted packets = 0
Total of reordered packets = 0
Total of retransmitted packets = 21

```

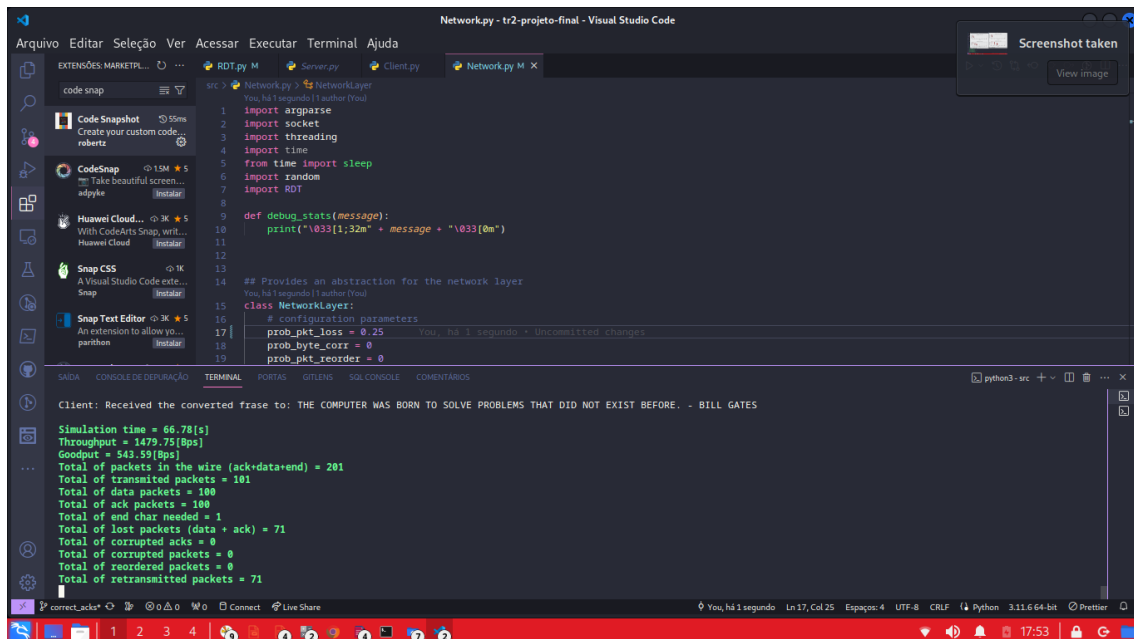
Figura 25. Simulação com 10% de Pkt Loss



Figura 26. Simulação com 10% de Pkt Loss

Como se pode verificar, houve perda de 21 dos 201 pacotes no total transmitidos no meio, o que significa um total de 10% dos pacotes, podendo variar entre, nessa

simulação em específico, ACKS ou packets, conferindo, novamente, com o esperado.



The screenshot shows a Visual Studio Code editor with a Python file named `Network.py`. The script defines a `NetworkLayer` class with parameters for packet loss and reordering. The terminal output shows the results of a simulation run:

```
Client: Received the converted frase to: THE COMPUTER WAS BORN TO SOLVE PROBLEMS THAT DID NOT EXIST BEFORE. - BILL GATES
Simulation time = 66.78[s]
Throughput = 1479.75[Bps]
Goodput = 543.59[Bps]
Total of packets in the wire (ack+data+end) = 201
Total of transmitted packets = 101
Total of data packets = 100
Total of ack packets = 100
Total of end char needed = 1
Total of lost packets (data + ack) = 71
Total of corrupted acks = 0
Total of corrupted packets = 0
Total of reordered packets = 0
Total of retransmitted packets = 71
```

Figura 27. Simulação com 25% de Pkt Loss

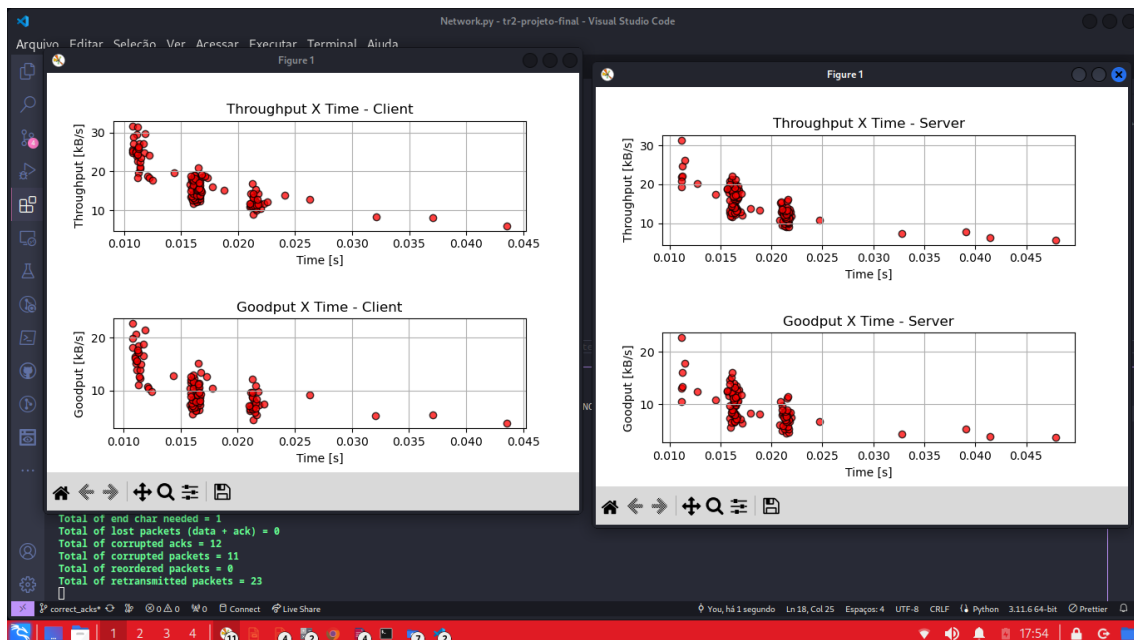
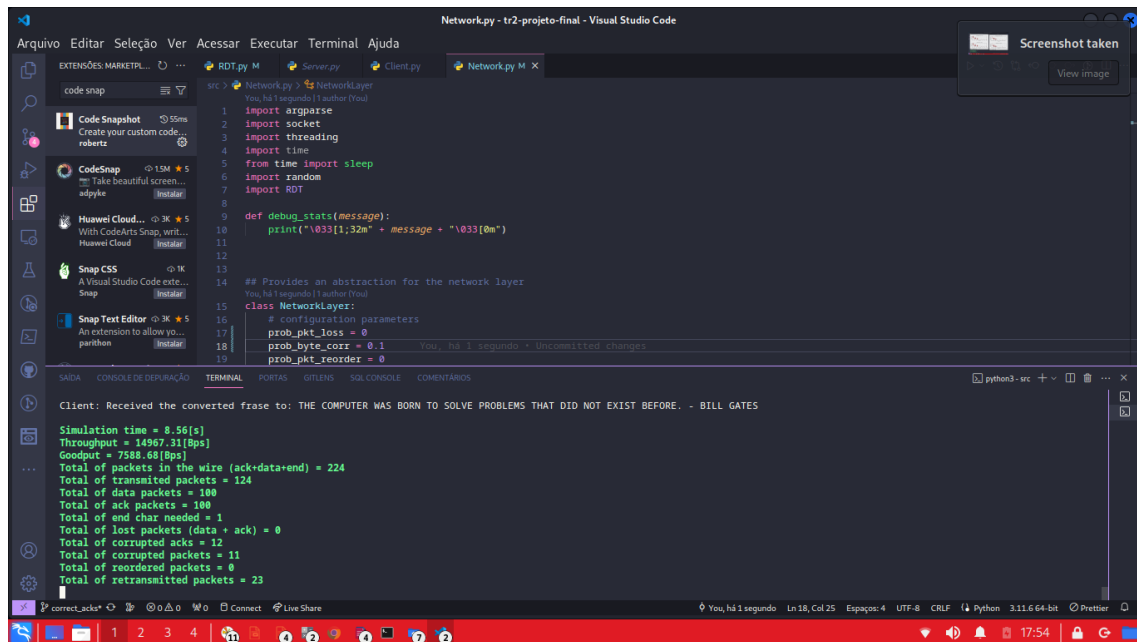


Figura 28. Simulação com 25% de Pkt Loss

Neste caso, houve a perda de 71 de 201 pacotes no total, o que significa cerca de 35% dos pacotes. É um valor um pouco acima do esperado, no entanto, não representa um quantitativo muito destoante do previsto, que seria de 51 pacotes perdidos. Porém,



na camada de rede, a probabilidade de perda pode ter afetado um pouco mais o sistema (algoritmo do código-base), o que pode ter prejudicado levemente os resultados.



```
src > Network.py > NetworkLayer
1 import argparse
2 import socket
3 import threading
4 import time
5 from time import sleep
6 import random
7 import RDT
8
9 def debug_stats(message):
10     print("\033[1;32m" + message + "\033[0m")
11
12
13
14 ## Provides an abstraction for the network layer
15 You, há 1 segundo (1 author (You
16
17 class NetworkLayer:
18     # configuration parameters
19     prob_pkt_loss = 0
20     prob_byte_corr = 0.1
21     prob_pkt_reorder = 0
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
```

Client: Received the converted frase to: THE COMPUTER WAS BORN TO SOLVE PROBLEMS THAT DID NOT EXIST BEFORE. - BILL GATES

Simulation time = 8.56[s]  
Throughput = 14967.31[Bps]  
Goodput = 7588.68[Bps]  
Total of packets in the wire (ack+data+end) = 224  
Total of transmitted packets = 124  
Total of data packets = 100  
Total of ack packets = 100  
Total of end char needed = 1  
Total of lost packets (data + ack) = 0  
Total of corrupted acks = 12  
Total of corrupted packets = 11  
Total of reordered packets = 0  
Total of retransmitted packets = 23

Figura 29. Simulação com 10% de Pkt Corrupt

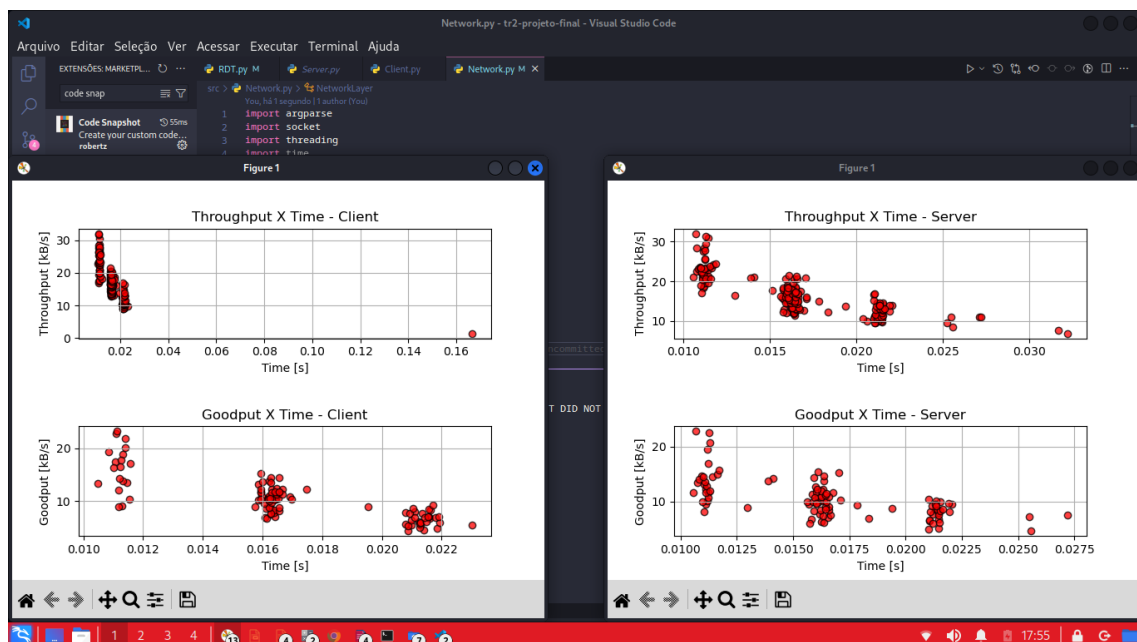
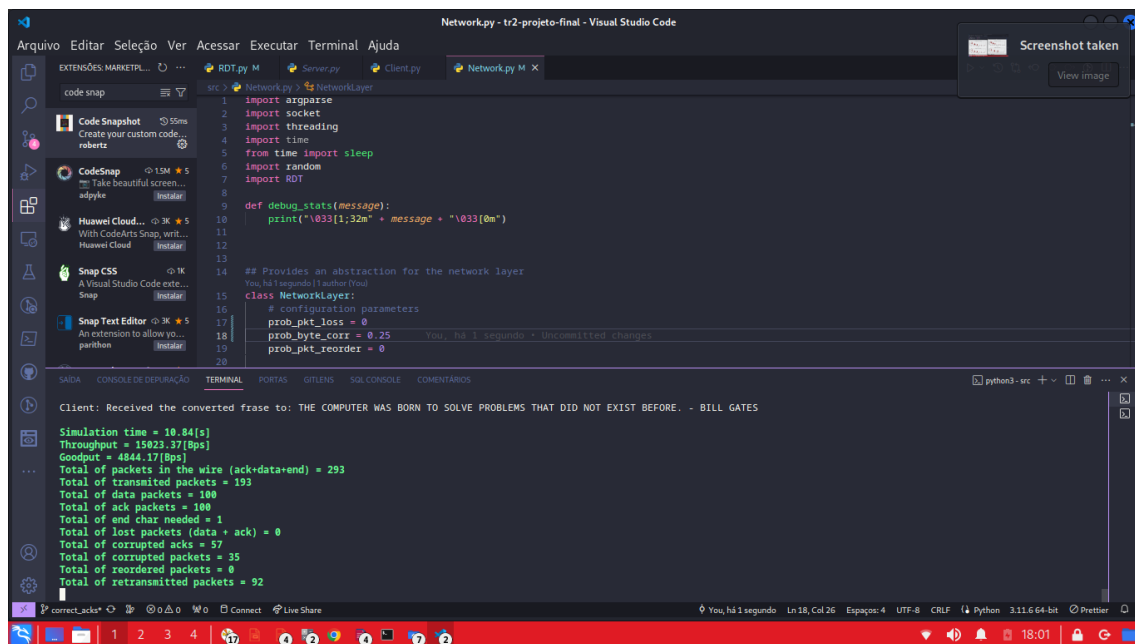
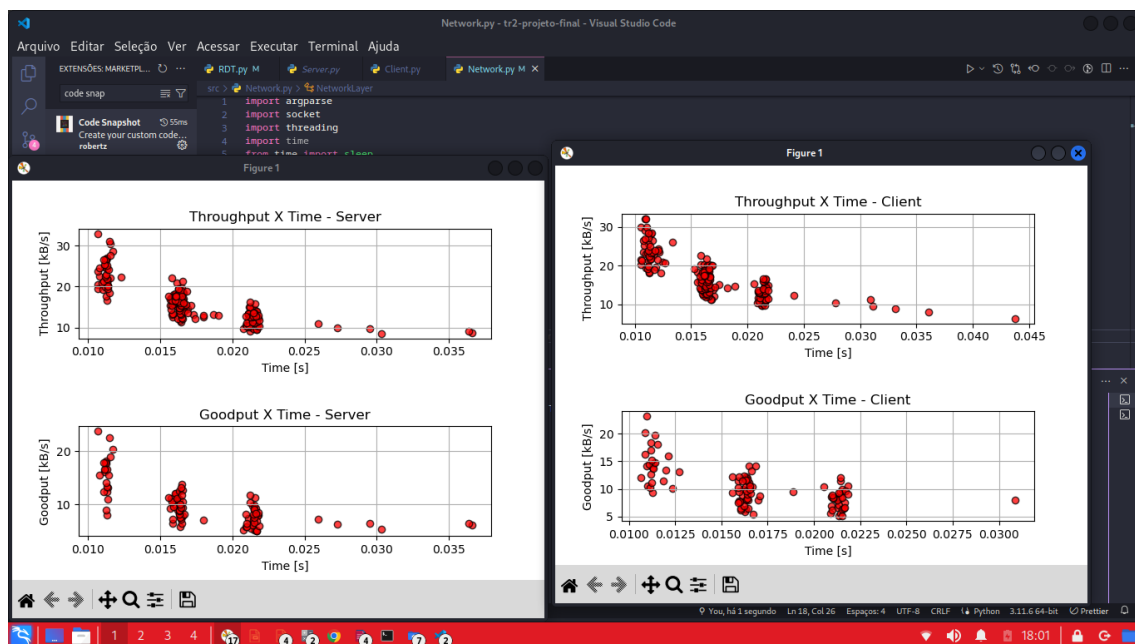


Figura 30. Simulação com 10% de Pkt Corrupt

No caso acima, houve, ao total, 23 pacotes corrompidos de 224, levando ao quantitativo de cerca de 10% de pacotes corrompidos, o que é conforme o esperado.



**Figura 31. Simulação com 25% de Pkt Corrupt**



**Figura 32. Simulação com 25% de Pkt Corrupt**

No caso de 25%, houve cerca de 92 pacotes corrompidos de um total de 293, representando cerca de 31% da amostragem total. Novamente, o valor foi um pouco acima do esperado, mas a aplicação pode ter sofrido efeitos probabilísticos na camada de rede que afetaram levemente os resultados finais.

### Extra: Estatísticas no Servidor

Assim como no cliente, implementamos as mesmas métricas de estatísticas no servidor, que serão disponibilizadas também ao término do programa.

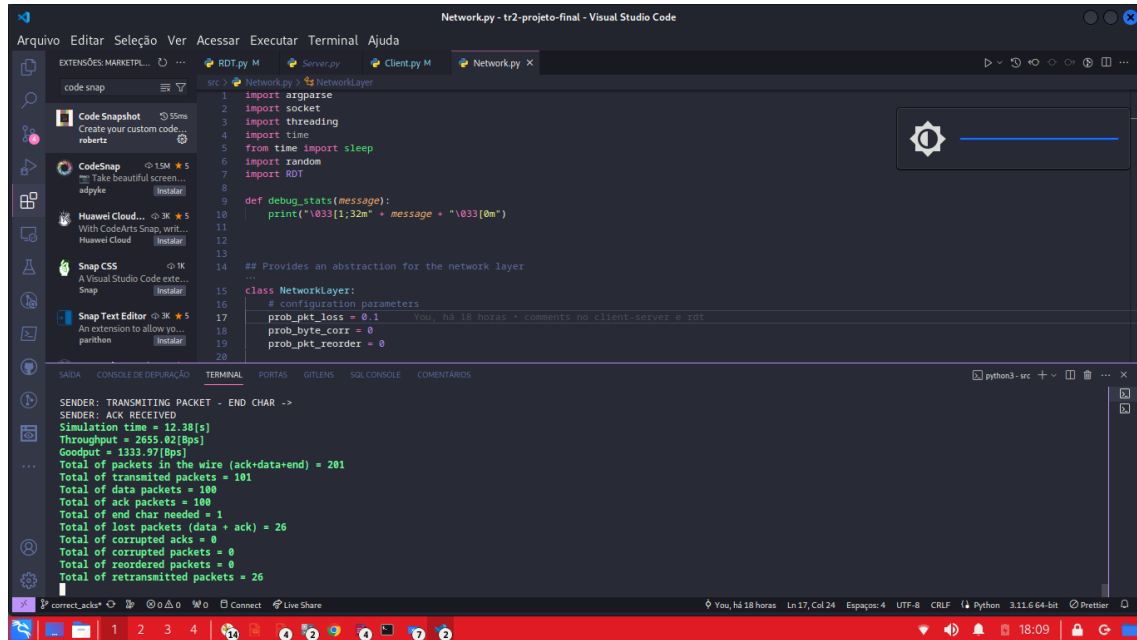


Figura 33. Simulação com 10% de Pkt Loss

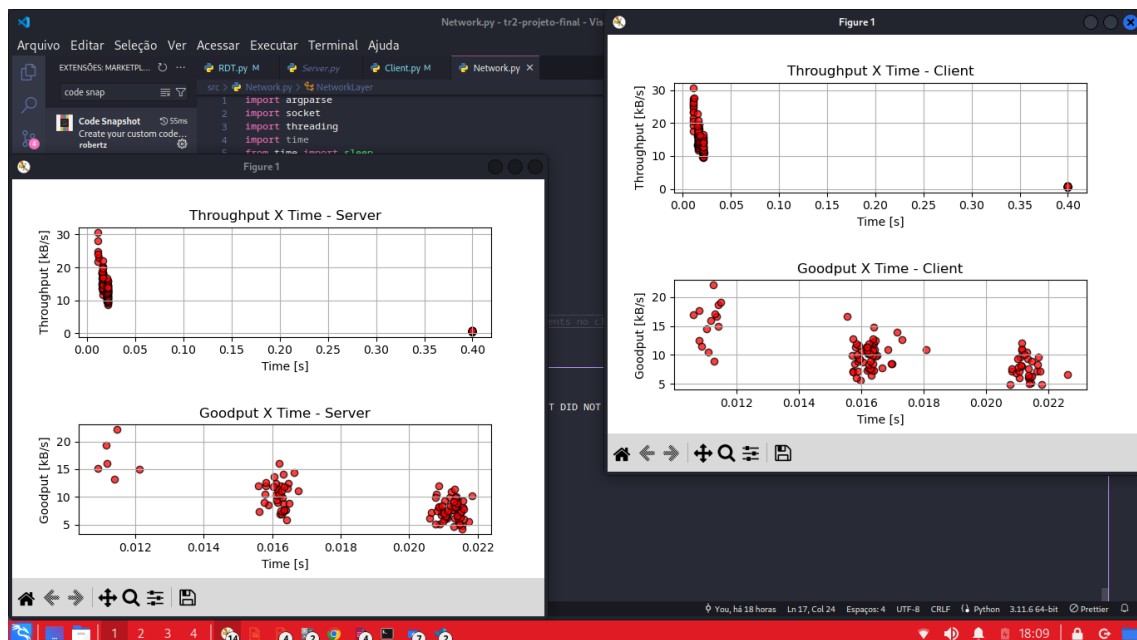


Figura 34. Simulação com 10% de Pkt Loss

Extra: Sliding Window

Não nos foi requisitado, mas iremos promover um exemplo da janela de acordo com seu espaçamento de 5 pacotes.

```

15 class NetworkLayer:
16     # configuration parameters
17     prob_pkt_loss = 0.1
18     prob_byte_corr = 0
19     prob_pkt_reorder = 0

```

SAÍDA CONSOLE DE DEBURAÇÃO TERMINAL PORTAS UTILIZADAS SQL CONSOLE COMENTÁRIOS python3 -src + -

NEW PACKET  
 SENDER: ACK received  
 SENDER: TRANSMITTING PACKET -> THE COMPUTER WAS BORN TO SOLVE PROBLEMS THAT DID NOT EXIST BEFORE. - BILL GATES  
 PACK\_ACK == (0: '0', 1: '1', 2: '2', 3: '3', 4: '4', 5: '5', 6: '6', 7: '7', 8: '8', 9: '9', 10: '10', 11: '11', 12: '12', 13: '13', 14: '14', 15: '15', 16: '16', 17: '17', 18: '18', 19: '19', 20: '20', 21: '21', 22: '22', 23: '23', 24: '24', 25: '25', 26: '26', 27: '27', 28: '28', 29: '29', 30: '30', 31: '31', 32: '32', 33: '33', 34: '34', 35: '35', 36: '36', 37: '37', 38: '38', 39: '39', 40: '40', 41: '41', 42: '42', 43: '43', 44: '44', 45: '45', 46: '46', 47: '47', 48: '48', 49: '49', 50: '50', 51: '51', 52: '52', 53: '53', 54: '54', 55: '55', 56: '56', 57: '57', 58: '58', 59: '59', 60: '60', 61: '61', 62: '62', 63: '63', 64: '64', 65: '65', 66: '66', 67: '67', 68: '68', 69: '69', 70: '70', 71: '71', 72: '72', 73: '73', 74: '74', 75: '75', 76: '76', 77: '77', 78: '78', 79: '79', 80: '80', 81: '81', 82: '82', 83: '83', 84: '84', 85: '85', 86: '86', 87: '87', 88: '88', 89: '89', 90: '90', 91: '91', 92: '92', 93: '93', 94: '94', 95: '95', 96: '96', 97: '97', 98: '98')

Figura 35. Sliding Window

Conforme a imagem acima, vê-se muitos tracejados vermelhos que indicam uma quebra da progressão aritmética do número de sequência, mas isto pode ser explicado pelo uso do Selective Repeat.

A primeira quebra ocorre na sequência de recebimento de ACKS 4,5,8. Isso quer dizer que a nova janela será 6,7,8,9,10, já que a base da janela (6) não foi recebida ainda, tampouco 7. Como o 8 já foi recebido, ele não será reenviado. Portanto, pode-se até enviar o 7, o 9 e o 10, mas a janela não progride sem o envio do 6, como se vê na simulação; o 9 é enviado antes mesmo do 6, que, após ser enviado, desloca a base da janela para 7, que ficará 7,8,9,10,11, e assim sucessivamente para os outros casos, comprovando o devido funcionamento da janela deslizante conforme o protocolo selective repeat.

### Extra: Packet Reorder

Não nos foi requisitado, mas promovemos uma simulação com packet reorder.

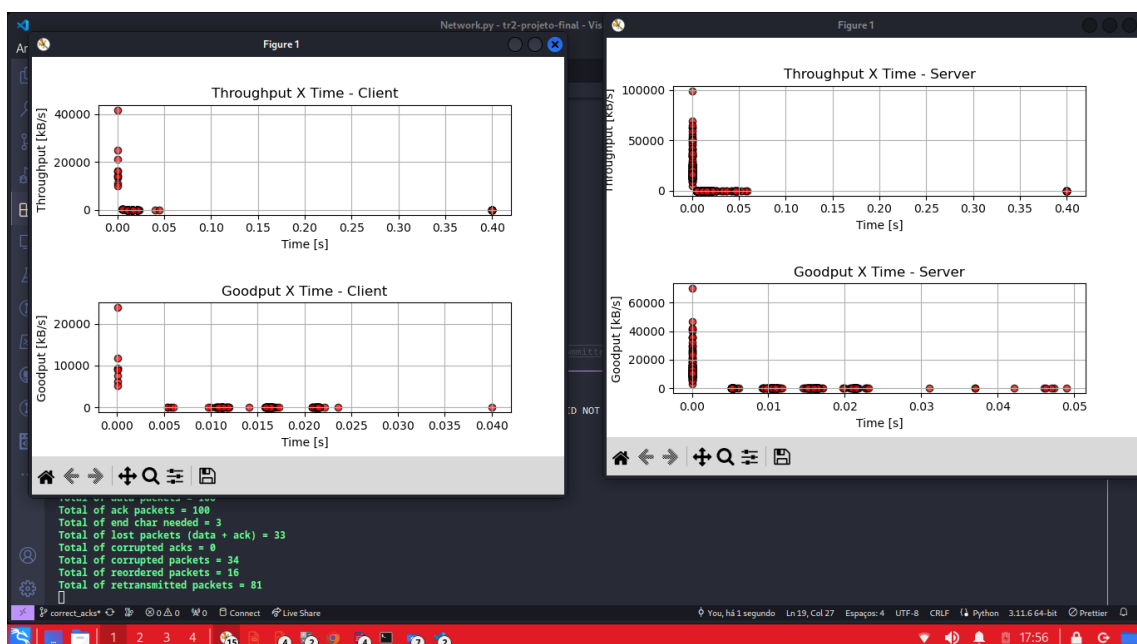


Figura 36. Simulação com 10% de Pkt Reorder

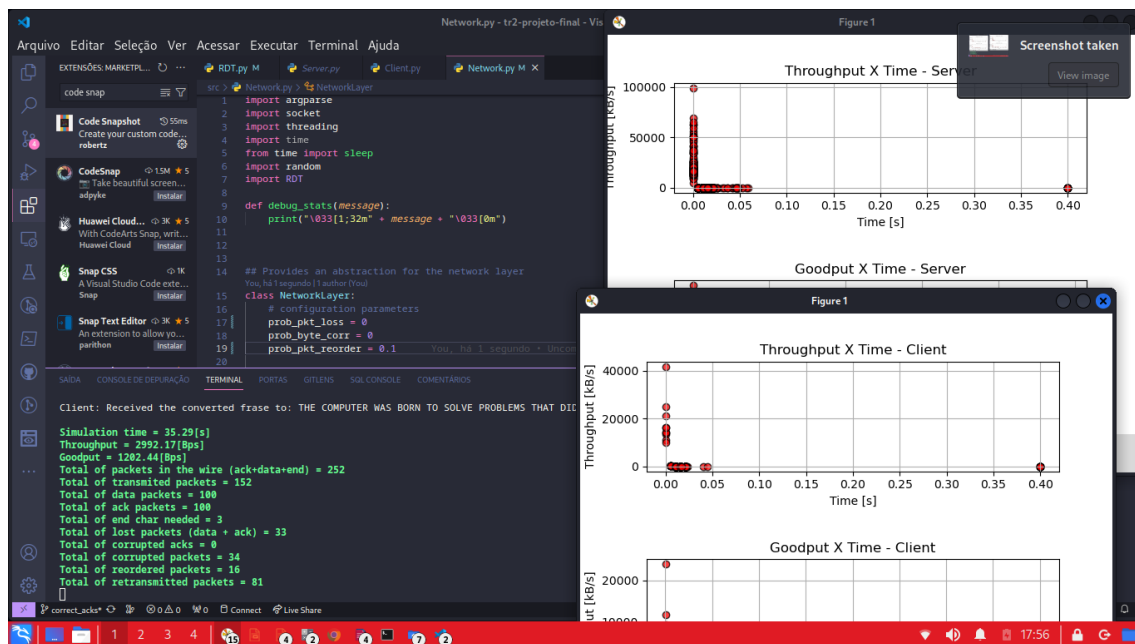


Figura 37. Simulação com 10% de Pkt Reorder

O valor de 16 amostras possivelmente reordenadas de um total de 252 representa cerca de 6%, ou seja, um pouco abaixo do esperado; contudo, deve-se salientar, novamente, o efeito prejudicial dos algoritmos do código-base no levantamento de estatísticas.

```
# reorder packets - either hold a packet back, or if one held back then send both
if random.random() < self.prob_pkt_reorder or self.reorder_msg_S:
    if self.reorder_msg_S is None:
        self.reorder_msg_S = msg_S
        return None
    else:
        msg_S += self.reorder_msg_S
        self.reorder_msg_S = None
# keep calling send until all the bytes are transferred
```

Figura 38. Algoritmo de Reordenação - Network

Como visto acima, a concatenação de strings leva, em muitos casos, à interpretação de que um pacote ou ack está corrompido, o que prejudica a interpretação deste por parte do RDT sender ou RDT receiver, causando alguns desvios na amostra, que interpretará, em alguns casos, como pacote corrompido. Além disso, a reordenação pode levar a uma resposta nula, o que será interpretado como Lost Packet. Dado esses fatos, considera-se, apesar disso, que o valor encontrado para os pacotes reordenados está dentro do esperado.

## 4. Conclusão

Os resultados do projeto ocorreram como o esperado para o selective repeat, visto que as métricas condizem com os resultados esperados causados pelas interferências no

envio das mensagens. O código apresenta um bom nível de eficiência para o envio e retorno das mensagens no quesito tempo, assim como, não apresenta timeouts desnecessários que poderiam causar overheads na transmissão. Seguindo essa ideia, é possível afirmar que os métodos utilizados para a formulação do RDT 4.0 garantiram uma boa segurança e efetividade da transmissão.

## **Referências**

- [Sah 2023] (2023). Sliding window simulator. <https://nikhilsahu.me/sliding-window-simulator/>.
- [Kurose 2016] Kurose (2016). *Computer Networking: A Top-Down Approach*.