U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Protocolo de Ligação de Dados

(1º Trabalho Laboratorial)

Redes de Computadores · L.EIC025

2022/2023 · 1º Semestre

Turma: 3LEIC04

Carlos Sousa	up202005954
Daniela Tomás	up202004946
Fábio Rocha	up202005478

1- Sumário

No âmbito da unidade curricular de Redes de Computadores, foi-nos proposta a realização de um protocolo de ligação de dados que consiste na transferência assíncrona de um ficheiro de um computador para outro através de um cabo série.

O principal objetivo do projeto foi concluído com sucesso, pois conseguimos implementar um protocolo de ligação de dados e testá-lo com uma aplicação que faz a transmissão de ficheiros como descrito no guião do trabalho.

2- Introdução

Com este relatório, pretendemos explicar de uma forma mais detalhada e organizada o funcionamento do protocolo de ligação de dados implementado para a transmissão e receção de ficheiros através de uma porta Série RS-232. Assim, estruturámos a documentação do trabalho da seguinte forma, para que a explicação seja a mais intuitiva possível:

- **Arquitetura**
  Demonstração dos blocos funcionais e interfaces.
- **Estrutura do código**
  Representação das APIs, as estruturas de dados usadas, as funções e a sua interação com a arquitetura.
- **Casos de uso principais**
  Identificação dos principais casos de uso e sequências da chamada de funções.
- **Protocolo de ligação lógica**
  Identificação dos principais aspetos funcionais e descrição da estratégia de implementação destes aspetos.
- **Protocolo de aplicação**
  Identificação dos principais aspetos funcionais e descrição da estratégia de implementação destes aspetos.
- **Validação**
  Descrição dos testes efetuados com apresentação quantificada dos resultados, se possível.
- **Eficiência do protocolo de ligação de dados**
  Caracterização estatística da eficiência do protocolo.
- **Conclusões**
  Síntese da informação apresentada nas secções anteriores e reflexão sobre os objetivos de aprendizagem alcançados.

3- Arquitetura

O projeto está dividido em duas camadas: camada de ligação de dados e camada de aplicação. A primeira camada é responsável pela delimitação e numeração de tramas, pelo estabelecimento e terminação da ligação às portas série e pelo controlo de erros e fluxo. A camada de aplicação depende da camada de ligação de dados e é, por sua vez, responsável por enviar e receber tramas e processar e transmitir pacotes de dados ou de controlo. Como a camada de aplicação está acima da camada de ligação de dados,

esta não conhece a estrutura interna do protocolo de ligação de dados, mas apenas o serviço que este oferece. Esse serviço pode ser acedido através de uma interface.

A interface do utilizador permite que o utilizador escolha a porta série, a função desempenhada pelo sistema (emissor ou recetor) e o ficheiro que pretende transferir entre os dois computadores. Esses dados interagem depois com a camada de aplicação.

4- Estrutura do código

4.1 – Camada de ligação de dados (link_layer.c e link_layer.h)

Esta camada é representada por uma estrutura onde é guardada a porta série a usar na ligação, a função (emissor ou recetor), a velocidade de transmissão, o número de tentativas em caso de falha e o atraso no tempo de propagação.

```
typedef enum
{
    LlTx,
    LlRx,
} LinkLayerRole;

typedef struct
{
    char serialPort[50];
    LinkLayerRole role;
    int baudRate;
    int nRetransmissions;
    int timeout;
} LinkLayer;
```

As principais funções desta camada são a seguintes:

- ***llopen* -** Abre uma conexão usando os parâmetros da *port* definida na estrutura.
- ***llwrite* -** Envia informação num *buffer*, com um determinado tamanho, e retorna o número de caracteres escritos.
- ***llread* -** Recebe a informação num pacote e retorna o número de caracteres lidos.
- ***llclose* -** Fecha a conexão previamente aberta.

```
// Open a connection using the "port" parameters defined in struct
linkLayer.
// Return "1" on success or "-1" on error.
int llopen(LinkLayer connectionParameters);

// Send data in buf with size bufSize.
// Return number of chars written, or "-1" on error.
int llwrite(const unsigned char *buf, int bufSize);
```

```
// Receive data in packet.
// Return number of chars read, or "-1" on error.
int llread(unsigned char *packet);

// Close previously opened connection.
// if showStatistics == TRUE, link layer should print statistics in the
console on close.
// Return "1" on success or "-1" on error.
int llclose(int showStatistics);
```

4.2 – Camada de aplicação (application_layer.c e application_layer.h)

Esta camada é constituída por apenas uma função (***applicationLayer***) que recebe alguns dados predefinidos e outros introduzidos pelo utilizador e usa-os para transferir e processar pacotes de dados e de controlo. A camada de ligação de dados é usada nesta função para comunicar e transferir os ficheiros de acordo com os parâmetros passados.

```
// Application layer main function.
// Arguments:
//   serialPort: Serial port name (e.g., /dev/ttyS0).
//   role: Application role {"tx", "rx"}.
//   baudrate: Baudrate of the serial port.
//   nTries: Maximum number of frame retries.
//   timeout: Frame timeout.
//   filename: Name of the file to send / receive.
void applicationLayer(const char *serialPort, const char *role, int
baudRate,
                      int nTries, int timeout, const char *filename);
```

5- Casos de uso principais

Este trabalho apresenta vários casos de uso, sendo estes a transmissão de um ficheiro entre dois computadores e a interface que permite ao emissor escolher que ficheiro enviar. Para correr o programa, o recetor deve executar o comando *make run_rx* e o emissor *make run_tx* dentro da pasta *code*.

No caso do emissor, a conexão entre os computadores é aberta a partir do ***llopen***, através da chamada do ***llopenT***. O pacote de controlo *start* é depois enviado e, a partir do ***llwrite***, o emissor chama a função ***header_frame*** que, por sua vez, chama a função ***stuffing***. Em seguida, o pacote de controlo *end* é enviado e a ligação entre os computadores é fechada com o ***llclose***.

No caso do recetor, a conexão entre os computadores é aberta a partir do ***llopen***, através da chamada do ***llopenR***. O pacote de controlo *start* é recebido e, a partir do

llread são recebidos os pacotes de dados. Em seguida, o pacote de controlo *end* é recebido e a ligação entre os computadores é fechada com o ***llclose***.

É importante também salientar que as funções ***state_machine*** e ***create_command_frame*** são chamadas algumas vezes tanto no emissor como no recetor e têm um papel fundamental nas sequências anteriormente descritas.

6- Protocolo de ligação lógica

6.1 - llopen

```
int llopen(LinkLayer connectionParameters);
```

O ***llopen*** tem como objetivo principal estabelecer a ligação entre o emissor e o recetor, abrindo a porta de conexão. Primeiramente, guarda as informações respetivas à porta corrente, limpa a estrutura do termios e dá setup do mesmo. Em seguida, descarta os dados escritos para o objeto referido por *fd* mas não transmitidos e dá set a uma nova porta. Finalmente, através do *LinkLayer.role* fazemos a distinção entre recetor e transmissor com as funções ***llopenR*** e ***llopenT***, respetivamente***.***

No caso do ***llopenR,*** começamos por inicializar o estado a *START* para termos a certeza de que este está a começar no estado inicial e o comando *set* a *FALSE*, para verificar se o recetor se encontra pronto para receber a trama. Seguidamente, os 128 bytes do file associado ao *fd* vão sendo lidos para dentro do *buffer* a cada vez que passa no ciclo. Após isso, percorrem o buffer e a respetiva máquina de estados, verificando a cada iteração se já se encontra no estado final, no campo de endereçamento e com o comando *set* igual a *TRUE*, para assim ter a capacidade de receber a trama. Por fim, cria uma trama de comando através da chamada da função ***create_command_frame,*** recebendo o respetivo campo de controlo das tramas de Supervisão, que é usado para organizar qualquer tipo de trama deste tipo e deste modo serem escritos os respetivos 5 bytes com o *command value CVUA* para confirmar que uma conexão foi estabelecida na camada de ligação de dados e que a transmissão é de modo assíncrono.

No caso do ***llopenT***, inicializamos um inteiro *ua* a *FALSE*, de forma a controlar a resposta *UA* dentro do ciclo. Quando esta se encontra a *TRUE* significa que a resposta UA já foi recebida. Entrando no ciclo, primeiramente é controlado se o *ua* se encontra a *FALSE* e o *alarm_count*, que conta as vezes que foi introduzido atraso na trama recebida, é menor que o número de transmissões do *LinkLayer,* sendo assim, a cada iteração é introduzido um atraso. Depois, é criada uma trama de comando através da chamada á função ***create_command_frame***, mas agora os argumentos passados são o *command value* de *set* (*CVSET)* responsável por indicar se é possível receber uma trama de informação e o campo de endereço (*A_T*).

6.2 - llwrite

```
```

```
int llwrite(const unsigned char *buf, int bufSize);
```

O ***llwrite*** é responsável pelo envio dos pacotes de informação, e é apenas chamada pelo transmissor. Assim, a função recebe como argumento um *buffer,* que contém a mensagem a ser enviada e o tamanho da mesma. Inicialmente, é aumentado o tamanho do buffer que vai ser usado para a escrita das tramas (*giant_buf)*, seguidamente a trama de informação é criada, protegida por um BCC próprio e o respetivo *byte stuffing* é feito, tudo através da função ***header_frame***. Com isto, a trama encontra-se pronta a ser enviada. De seguida, procedemos ao envio da mensagem. A resposta recebida pelo recetor pode ser de dois tipos, *CVRR* e *CVREJ*. Caso seja recebido *CVRR*, a transferência de informação ocorreu com sucesso e pode continuar a transferência, enviando a próxima trama. Caso seja recebido *CVREJ*, significa que ocorreu um erro ao ler a trama e que esta deve ser reenviada. Para que isto seja possível, à medida que as tramas são escritas o estado é alterado dentro da ***state_machine***. No caso de o estado ser *END* (estado final), o valor de comando (*control_value*) é comparado com os valores de *CVRR* e a *CVREJ* na função ***control_handler***, que troca o número de sequência N(S) ou o N(R) que é o próximo número de sequência esperado na direção oposta.

6.3 - llread

```
int llread(unsigned char *packet);
```

O ***llread*** é responsável por ler a trama de informação enviada pelo transmissor e realizar o *destuffing* de forma a ler a informação como era antes de realizado o *stuffing* (sem as *flags* de *escape*).

Por outro lado, enquanto o pacote ainda não foi recebido por completo, à medida que os bytes do *buffer* vão sendo lidos, a ***state_machine*** é percorrida. Depois são também invocadas funções de introdução de erros aleatórios no cabeçalho e dados. Desta forma, a função analisa a trama recebida da seguinte forma:

- se tiver entrado no estado de rejeição, é criada uma nova trama de supervisão e enviado um *REJ*;
- se estamos na presença de um duplicado, é descartado e enviado um *RR*;
- se a trama se trata de um *DISC* significa que o envio de tramas terminou.

6.3 - llclose

```
int llclose(int showStatistics);
```

A função ***llclose*** é responsável por terminar a ligação através da porta série. O comportamento desta função varia caso se trate de um recetor ou transmissor. Assim, no caso do recetor, espera pela trama de supervisão *DISC* e quando a recebe, envia

um *DISC* e espera por uma resposta *UA* final. No caso do transmissor, é enviada uma trama de supervisão *DISC*, recebe outro *DISC* do recetor e, por fim, envia um *UA*. A transmissão é depois fechada através da porta série.

7- Protocolo de aplicação

A camada de mais alto nível é a de aplicação que é responsável pela leitura e escrita do ficheiro a enviar ou receber e pelo envio e receção dos pacotes de dados e controle.

A ***aplicationLayer*** está dividida em dois blocos, e escolhe qual deles executa, dependendo se se trata do emissor ou do recetor. Ainda antes de executar um desses blocos, é chamada a função ***llopen***, para estabelecer a conexão.

- **Recetor**

No recetor é chamada a função ***llread***, responsável por receber e ler o pacote de dados, seguidamente codifica o tamanho, o valor e o tipo do ficheiro através da função ***tlv***:

- T (um octeto) – indica qual o parâmetro (0 – tamanho do ficheiro, 1 – nome do
- ficheiro, outros valores – a definir, se necessário)
- V (número de octetos indicado em L) – valor do parâmetro
- L (um octeto) – indica o tamanho em octetos do campo V (valor do parâmetro)

Após essa função, é calculado o tamanho dos pacotes de informação e calculado o número de sequência do pacote recebido *final_seq_num*. A partir daí é verificada a quantidade de bytes lidos e se já chegaram ao pacote final.

- **Emissor**

No emissor, para garantir que os dados que foram recebidos apresentam coesão, são feitas algumas verificações. Em primeiro lugar, os atributos do file são colocados no buffer, depois o emissor preparar as tramas de início (*packet[0] = START*) e as de fim (*packet[0] = END*). Posteriormente, é adicionado o cabeçalho ao *packet*, no qual fica a informação relativa ao tamanho de dados que o pacote transporta. A utilidade deste cabeçalho é provada pelo facto de este permitir verificação caso o *file* tenha sido corrompido.

8- Validação

- **Testes efetuados**

1. Envio de um ficheiro;
2. Envio de um ficheiro com pacotes de tamanhos diferentes;
3. Envio de um ficheiro com diferentes valores de *baudrate* (capacidade de ligação);
4. Envio de um ficheiro com *timeouts* diferentes;
5. Envio de um ficheiro com número de retransmissões diferentes;
6. Envio de ficheiros de tamanhos diferentes;
7. Interromper a ligação da porta série enquanto envia o ficheiro;
8. Introduzir ruído na porta série enquanto envia o ficheiro.

- **Resultados obtidos**

Todos os testes foram concluídos com sucesso, exceto os testes 6, 7 e 8 que falharam provavelmente devido a problemas de alocação de memória.

9- Eficiência do protocolo de ligação de dados

Nota: Todas as tabelas e gráficos encontram-se em Anexo II – Eficiência.

9.1 - Variação do tamanho dos pacotes

A eficiência aumenta com o aumento do tamanho dos pacotes, porque são necessários menos pacotes e, por isso, menos dados (e.g., cabeçalhos) são enviados.

9.2 - Variação do *baudrate*

Quanto maior a capacidade de ligação (*baudrate*) menor é a eficiência do protocolo.

9.3 - Variação do *timeout*

Quanto maior o tempo de propagação menor é a eficiência, porque o aumento do tempo faz com que as tramas demorem mais a ser enviadas e recebidas.

10- Conclusões

Podemos concluir que tanto o objetivo principal, que consiste no envio de um ficheiro entre dois computadores através do uso da porta série RS-232, como os restantes objetivos referentes à independência total de camadas foram concluídos.

Este trabalho contribuiu principalmente para uma melhor compreensão acerca da independência de camadas em sistemas e a forma como estes estão organizados. A camada de ligação de dados, para além de oferecer um serviço de comunicação fiável entre dois sistemas ligados por um canal de transmissão, transmite a informação sem que ocorra o processamento do respetivo conteúdo através de um mecanismo de controlo de fluxo e de erros. Por outro lado, a camada de aplicação é responsável pela transferência de um ficheiro usando o serviço fiável oferecido pelo protocolo de ligação de dados para envio de pacotes.

Em suma, baseando-nos nas características do nosso sistema, podemos afirmar com toda a convicção que adquirimos conhecimentos de extrema relevância ao longo da sua implementação. Quanto á funcionalidade dos nossos protocolos, temos confiança na respetiva aptidão do sistema.

11- Anexo I - Código Fonte

11.1 – Makefile

```
# Makefile to build the project
# NOTE: This file must not be changed.

# Parameters
CC = gcc
CFLAGS = -Wall

SRC = src/
INCLUDE = include/
BIN = bin/
CABLE_DIR = cable/

TX_SERIAL_PORT = /dev/ttyS10
RX_SERIAL_PORT = /dev/ttyS11

TX_FILE = penguin.gif
RX_FILE = penguin-received.gif

# Targets
.PHONY: all
all: $(BIN)/main $(BIN)/cable

$(BIN)/main: main.c $(SRC)/*.c
    $(CC) $(CFLAGS) -o $@ $^ -I$(INCLUDE)

$(BIN)/cable: $(CABLE_DIR)/cable.c
    $(CC) $(CFLAGS) -o $@ $^

.PHONY: run_tx
run_tx: $(BIN)/main
    ./$(BIN)/main $(TX_SERIAL_PORT) tx $(TX_FILE)

.PHONY: run_rx
run_rx: $(BIN)/main
    ./$(BIN)/main $(RX_SERIAL_PORT) rx $(RX_FILE)

.PHONY: run_cable
run_cable: $(BIN)/cable
    ./$(BIN)/cable

.PHONY: check_files
check_files:
    diff -s $(TX_FILE) $(RX_FILE) || exit 0
```

```
.PHONY: clean
clean:
    rm -f $(BIN)/main
    rm -f $(BIN)/cable
    rm -f $(RX_FILE)
```

11.2 – main.c

```
// Main file of the serial port project.
// NOTE: This file must not be changed.

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#include "application_layer.h"

#define BAUDRATE 9600
#define N_TRIES 3
#define TIMEOUT 4

// Arguments:
//   $1: /dev/ttySxx
//   $2: tx | rx
//   $3: filename
int main(int argc, char *argv[])
{
    if (argc < 4)
    {
        printf("Usage: %s /dev/ttySxx tx|rx filename\n", argv[0]);
        exit(1);
    }

    const char *serialPort = argv[1];
    const char *role = argv[2];
    const char *filename = argv[3];

    printf("Starting link-layer protocol application\n"
           "  - Serial port: %s\n"
           "  - Role: %s\n"
           "  - Baudrate: %d\n"
           "  - Number of tries: %d\n"
           "  - Timeout: %d\n"
           "  - Filename: %s\n",
           serialPort,
           role,
           BAUDRATE,
           N_TRIES,
           TIMEOUT,
```

```
            filename);

    applicationLayer(serialPort, role, BAUDRATE, N_TRIES, TIMEOUT,
filename);

    return 0;
}
```

11.3 – application_layer.c

```
// Application layer protocol implementation
#include <unistd.h>
#include <string.h>
#include <stdio.h>
#include "application_layer.h"
#include "link_layer.h"
#include "utils.h"
#include "alarm.h"
#include <stdlib.h>
#include <sys/stat.h>

unsigned char packet[PCK_SIZE+30];

void applicationLayer(const char *serialPort, const char *role, int
baudRate, int nTries, int timeout, const char *filename) {

    LinkLayer connectionParameters;
    strcpy(connectionParameters.serialPort, serialPort);

    if(strcmp(role,"rx") == 0) {
        connectionParameters.role = LlRx;
    }
    else if(strcmp(role,"tx") == 0) {
        connectionParameters.role = LlTx;
    }
    else {
        perror(role);
        exit(-1);
    }

    connectionParameters.baudRate = baudRate;
    connectionParameters.nRetransmissions = nTries;
    connectionParameters.timeout = timeout;

    printf("\n\t---- LLOPEN ----\n\n");


    if(llopen(connectionParameters) == -1) {
```

```
      perror("Error opening a connection using the port parameters");
      exit(-1);
    }

    if(connectionParameters.role == LlRx) {

        int file_size = 0, size_rx = 0;

        printf("\n\t---- LLREAD ----\n\n");

        int bytes = llread(packet);
        int type,length,*value;

        if(packet[0] == CTRLSTART) {
            int tlv_size = 1;
            while(tlv_size < bytes) {
                tlv_size += tlv(packet + tlv_size, &type, &length,
&value);
                if(type == 0){
                    file_size =* value;
                    //printf("File size: %d\n",file_size);
                }
            }

            FILE* file = fopen(filename, "wb");

            if(file == NULL) {
                perror("Cannot open the file\n");
                exit(-1);
            }
            else {
                printf("Control packet received\n");
            }

            int final_seq_num = 0;

            while(size_rx < file_size) {

                int bytes;
                if((bytes = llread(packet)) == -1){
                    perror("llread\n");
                    exit(-1);
                }

                if(packet[0] == CTRLEND){
                    perror("CTRL_END failed\n");
                    exit(-1);
                }
```

```
            if(packet[0] == CTRLDATA){
                if(bytes < 5) {
                    perror("CTRLDATA failed\n");
                    exit(-1);
                }
                else if(packet[1] != final_seq_num){
                    perror("final_seq_num failed\n");
                    exit(-1);
                }
                else{
                    unsigned long size = packet[3] + packet[2]*256;

                    if(bytes-4 != size) {
                        perror("Header deprecated\n");
                        exit(-1);
                    }

                    fwrite(packet + 4, 1, size, file);
                    size_rx += size;

                    printf("Packet %d received\n", final_seq_num);

                    final_seq_num++;
                }
            }
        }

        int bytes_read = llread(packet);

        if(bytes_read == -1) {
            perror("llread\n");
            exit(-1);
        }
        else if(bytes_read < 1) {
            perror("Short packet\n");
            exit(-1);
        }

        if(packet[0] != CTRLEND){
            printf("CTRLEND failed\n");
        }
        else{
            printf("Received end packet\n");
            printf("Transmission ending...\n");
        }
        fclose(file);
    }
    else {
        perror("Start packet failed\n");
```

```
            exit(-1);
        }
    }
    else if(connectionParameters.role == LlTx) {
        FILE* file = fopen(filename, "rb");

        if(file == NULL) {
            perror("Error openning the file\n");
            exit(-1);
        }

        struct stat st;
        int file_size = (stat(filename, &st) == 0) ? st.st_size : 0;

        packet[0] = CTRLSTART;
        packet[1] = 0;
        packet[2] = sizeof(long);

        printf("\n\t---- LLWRITE ----\n\n");

        *((long*)(packet + 3)) = file_size;

        if(llwrite(packet,10) == -1){
            perror("llwrite\n");
            exit(-1);
        }

        int bytes_tx = 0;
        unsigned char i = 0;
        do {
            unsigned long total_bytes;
            if(file_size-bytes_tx < PCK_SIZE) {
                total_bytes = fread(packet + 4, 1, file_size-bytes_tx,
file);
            }
            else {
                total_bytes = fread(packet + 4, 1, PCK_SIZE, file);
            }

            packet[0] = CTRLDATA;
            packet[1] = i;
            packet[2] = total_bytes >> 8;
            packet[3] = total_bytes % 256;

            if(llwrite(packet, total_bytes + 4) == -1){
                perror("llwrite\n");
                exit(-1);
                break;
            }
```

```
            printf("Packet %i sent\n",i);
            bytes_tx += total_bytes;
            i++;
        }while(bytes_tx < file_size);

        packet[0] = CTRLEND;
        if(llwrite(packet,1) == -1){
            perror("llwrite\n");
            exit(-1);
        }

        fclose(file);

    }

    printf("\n\t---- LLCLOSE ----\n\n");

    if(llclose(TRUE) == -1) {
        perror("llclose");
        exit(-1);
    }
}
```

11.4 – application_layer.h

```
// Application layer protocol header.
// NOTE: This file must not be changed.

#ifndef _APPLICATION_LAYER_H_
#define _APPLICATION_LAYER_H_

// Application layer main function.
// Arguments:
//   serialPort: Serial port name (e.g., /dev/ttyS0).
//   role: Application role {"tx", "rx"}.
//   baudrate: Baudrate of the serial port.
//   nTries: Maximum number of frame retries.
//   timeout: Frame timeout.
//   filename: Name of the file to send / receive.
void applicationLayer(const char *serialPort, const char *role, int
baudRate,
                      int nTries, int timeout, const char *filename);

#endif // _APPLICATION_LAYER_H_
```

11.5 – link_layer.c

```c
// Link layer protocol implementation

#include <termios.h>
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <fcntl.h>
#include <signal.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include "link_layer.h"
#include "state_machine.h"
#include "alarm.h"
#include "utils.h"

// MISC
#define _POSIX_SOURCE 1 // POSIX compliant source

struct termios oldtio;
struct termios newtio;

unsigned char buffer[MAX_PCK_SIZE], *giant_buf = NULL;
int giant_buf_size = 0;
unsigned char sflag = FALSE;

int fd;
int disc = FALSE;
LinkLayer cp;


////////////////////////////////////////////////
// LLOPEN
////////////////////////////////////////////////
int llopen(LinkLayer connectionParameters) {

    cp = connectionParameters;

    // Open serial port device for reading and writing and not as
control_valueling tty
    // because we don't want to get killed if linenoise sends CTRL-C.
    fd = open(cp.serialPort, O_RDWR | O_NOCTTY);

    if (fd < 0) {
        perror(cp.serialPort);
        exit(-1);
    }

    // Save current port settings
    if (tcgetattr(fd, &oldtio) == -1) {
        perror("Error getting new port settings.\n");
```

```
        exit(-1);
    }

    // Clear struct for new port settings
    bzero(&newtio, sizeof(newtio));

    newtio.c_cflag = cp.baudRate | CS8 | CLOCAL | CREAD;
    newtio.c_iflag = IGNPAR;
    newtio.c_oflag = 0;
    newtio.c_lflag = 0;
    newtio.c_cc[VTIME] = 0; // Inter-character timer unused
    newtio.c_cc[VMIN] = 1;  // Blocking read until 1 char received

    if(tcflush(fd, TCIOFLUSH) == -1) {
        perror("Error flushing the data.\n");
        exit(-1);
    }

    // Set new port settings
    if (tcsetattr(fd, TCSANOW, &newtio) == -1) {
        perror("Error setting new port settings.\n");
        exit(-1);
    }

    signal(SIGALRM,alarmHandler);

    switch(cp.role) {
         case LlRx:
            return llopenR(fd);
            break;
         case LlTx:
            return llopenT(fd,cp.nRetransmissions,cp.timeout);
            break;
         default:
            break;
    }

    return -1;
}

////////////////////////////////////////////////
// LLWRITE
////////////////////////////////////////////////
int llwrite(const unsigned char *buf, int bufSize) {

    if(giant_buf_size < bufSize*2 + 10) {
        giant_buf = (giant_buf_size == 0) ? malloc(bufSize*2 + 10) :
realloc(giant_buf, bufSize*2+10);
    }
```

```
    int fsize = header_frame(giant_buf, buf, bufSize, A_T,
control_handler(CVDATA, sflag));

    int bytes_written = write_cycle(fsize);

    int isReceivedP = FALSE;
    int nRetransmissions = 0;
    data = NULL;

    alarm_enabled = TRUE;
    alarm(cp.timeout);

    while(isReceivedP == FALSE){

        if(!alarm_enabled) {
            alarm_enabled = TRUE;
            alarm(cp.timeout);

            if(nRetransmissions > 0) {
                printf("Time-out\n");
                return -1;
            }
            else if(cp.nRetransmissions == nRetransmissions){
                printf("Number of retransmissions allowed exceeded\n");
                return -1;
            }

            bytes_written += write_cycle(fsize);

            nRetransmissions++;
        }

        int bytes_read;

        if((bytes_read = read(fd, buffer, MAX_PCK_SIZE)) == -1) {
            printf("Couldn't read (llwrite)\n");
            return -1;
        }

        int j = 0;
        do{
            state_machine(buffer[j]);
            if(fstate == END){
                if(address == A_T && (control_value ==
control_handler(CVRR, FALSE) || control_value == control_handler(CVRR,
TRUE))){
                    isReceivedP = TRUE;
                    if(control_value == control_handler(CVRR, sflag)) {
```

```
                        printf("Requesting next packet...\n");
                    }
                }
                if(address == A_T && control_value ==
control_handler(CVREJ, sflag)) {
                    printf("Requesting retransmission...\n");
                    nRetransmissions = 0;
                }
            }
            j++;
        }while(j < bytes_read && isReceivedP == FALSE && alarm_enabled);

    }

    if(sflag) {
        sflag = FALSE;
    }
    else {
        sflag = TRUE;
    }

    //printf("%d chars written\n",bytes_written);

    return bytes_written;
}

////////////////////////////////////////////////
// LLREAD
////////////////////////////////////////////////
int llread(unsigned char *packet) {

    if(giant_buf_size < MAX_PCK_SIZE){
        giant_buf = (giant_buf_size == 0)? malloc(MAX_PCK_SIZE):
realloc(giant_buf, MAX_PCK_SIZE);
    }

    int isReceivedP = FALSE;
    data = packet;
    int bytes_read;

    while(isReceivedP == FALSE){
        if((bytes_read = read(fd, giant_buf, MAX_PCK_SIZE)) == -1) {
            printf("Couldn't read (llread)\n");
            return -1;
        }
        int i = 0;
        do {
            state_machine(giant_buf[i]);
```

```
            if(address == A_T) {
                if(fstate == REJECT){
                    create_command_frame(buffer,((control_value ==
control_handler(CVDATA, FALSE)) ? control_handler(CVREJ,
FALSE):control_handler(CVREJ,TRUE)),A_T);
                    write(fd, buffer, 5);
                    printf("REJ sent\n");
                }
                else if(fstate == END) {
                    if(control_value == CVSET){
                        create_command_frame(buffer, CVUA, A_T);
                        write(fd, buffer, 5);
                        printf("UA sent\n");
                    }
                    else if(control_value == control_handler(CVDATA,
sflag)){
                        sflag = (sflag)? FALSE : TRUE;
                        create_command_frame(buffer,
control_handler(CVRR, sflag), A_T);
                        write(fd, buffer, 5);
                        printf("RR %i sent\n", sflag);
                        return size;
                    }
                    else {
                        create_command_frame(buffer,control_handler(CVRR,
sflag), A_T);
                        write(fd, buffer, 5);
                        printf("RR %i sent requesting
retransmission\n",sflag);
                    }
                }
            }

            if(control_value == CVDISC) {
                disc = TRUE;
                create_command_frame(buffer, (control_value ==
control_handler(CVDATA, FALSE) ? control_handler(CVREJ,
FALSE):control_handler(CVREJ, TRUE)), A_T);
                write(fd, buffer, 5);
                printf("DISC received\n");
                return -1;
                break;
            }

            i++;

        }while(i < bytes_read && !isReceivedP);
    }
    return -1;
```

```
}

////////////////////////////////////////////////
// LLCLOSE
////////////////////////////////////////////////
int llclose(int showStatistics) {
    signal(SIGALRM, alarmHandler);

    if(giant_buf_size > 0) {
        free(giant_buf);
    }

    if(cp.role == LlRx) {
        int bytes_read;

        while(disc == FALSE){
            if((bytes_read = read(fd, buffer, MAX_PCK_SIZE)) == -1) {
                printf("Couldn't read (llclose)\n");
                return -1;
            }
            int i = 0;
            do{
                state_machine(buffer[i]);
                if(fstate == END && address == A_T && control_value ==
CVDISC) {
                    disc = TRUE;
                }
                i++;
            }while(i < bytes_read && disc == FALSE);
        }
        if(disc == TRUE) {
            printf("DISC received\n");
        }

        create_command_frame(buffer, CVDISC, A_T);

        if(write(fd, buffer, 5) == -1) {
            printf("Couldn't write (llclose)\n");
            return -1;
        }

        printf("DISC sent\n");

        int ua = FALSE;

        while(ua == FALSE) {
            if((bytes_read = read(fd, buffer, MAX_PCK_SIZE)) == -1) {
                printf("Couldn't read (llclose)");
                return -1;
```

```
            }
            int i = 0;
            do{
                state_machine(buffer[i]);
                if(fstate == END && address == A_T && control_value ==
CVUA) {
                    ua = TRUE;
                }
                i++;
            }while(i < bytes_read && ua == FALSE);
        }
        if(ua == TRUE) {
            printf("UA received\n");
        }
    }
    else if(cp.role == LlTx) {
        int bytes_read, isDisc = FALSE;
        alarm_count = 0;

        while(alarm_count < cp.nRetransmissions && isDisc == FALSE){
            alarm(cp.timeout);
            alarm_enabled = TRUE;

            if(alarm_count > 0) {
                printf("Time-out.\n");
                return -1;
            }

            create_command_frame(buffer, CVDISC, A_T);
            printf("DISC sent\n");

            if(write(fd, buffer, 5) == -1) {
                printf("Couldn't write (llclose)\n");
                return -1;
            }

            while(alarm_enabled && isDisc == FALSE){
                if((bytes_read = read(fd, buffer, MAX_PCK_SIZE)) == -1) {
                    printf("Couldn't read (llclose)\n");
                    return -1;
                }
                int i = 0;
                do {
                    state_machine(buffer[i]);
                    if(fstate == END && address == A_T && control_value
== CVDISC) {
                        isDisc = TRUE;
                    }
```

```
                    if(fstate == END && address == A_T && (control_value
== control_handler(CVRR, FALSE) || control_value == control_handler(CVRR,
TRUE) || control_value == control_handler(CVREJ,FALSE) || control_value
== control_handler(CVREJ,TRUE))){
                        alarm_count = 0;
                    }
                    i++;
                }while(i < bytes_read && isDisc == FALSE);
            }
        }
        if(isDisc == TRUE) {
            printf("DISC received\n");
            create_command_frame(buffer, CVUA, A_T);
            write(fd, buffer, 5);
            printf("UA sent\n");
            sleep(1);
        }

    }

    if (tcsetattr(fd, TCSANOW, &oldtio) == -1) {
        printf("tcsetattr\n");
        return -1;
    }

    close(fd);
    return 1;
}
```

11.6 – link_layer.h

```
// Link layer header.
// NOTE: This file must not be changed.

#ifndef _LINK_LAYER_H_
#define _LINK_LAYER_H_

typedef enum
{
    LlTx,
    LlRx,
} LinkLayerRole;

typedef struct
{
    char serialPort[50];
    LinkLayerRole role;
    int baudRate;
```

```
    int nRetransmissions;
    int timeout;
} LinkLayer;

extern unsigned char buffer[128], *giant_buf;
extern int giant_buf_size;

typedef enum {CVRR, CVREJ, CVDATA} ControlV;
extern ControlV cv;
// SIZE of maximum acceptable payload.
// Maximum number of bytes that application layer should send to link
layer
#define MAX_PAYLOAD_SIZE 1000

// MISC
#define FALSE 0
#define TRUE 1

// Open a connection using the "port" parameters defined in struct
linkLayer.
// Return "1" on success or "-1" on error.
int llopen(LinkLayer connectionParameters);

// Send data in buf with size bufSize.
// Return number of chars written, or "-1" on error.
int llwrite(const unsigned char *buf, int bufSize);

// Receive data in packet.
// Return number of chars read, or "-1" on error.
int llread(unsigned char *packet);

// Close previously opened connection.
// if showStatistics == TRUE, link layer should print statistics in the
console on close.
// Return "1" on success or "-1" on error.
int llclose(int showStatistics);

#endif // _LINK_LAYER_H_
```

11.7 – state_machine.c

```
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include "state_machine.h"
#include "link_layer.h"
#include "utils.h"

unsigned char address;
```

```
unsigned char control_value;
unsigned char bcc;
unsigned char *data;
unsigned int size;
FState fstate;

void state_machine(unsigned char byte){
    switch (fstate){
        case REJECT:
        case END:
            fstate = START;
        case START:
            //printf("START\n");
            if(byte == F)  {
                fstate = FLAG;
            }
            break;

        case FLAG:
            //printf("FLAG\n");
            size = 0;
            if(byte != F) {
                if(byte == A_T || byte == A_R){
                    fstate = ADDRESS;
                    address = byte;
                }
                else {
                    fstate = START;
                }
            }
            break;

        case ADDRESS:
            //printf("ADDRESS\n");
            if(byte == F) {
                fstate = FLAG;
            }
            else if( byte == control_handler(CVREJ,FALSE) || byte ==
control_handler(CVRR,FALSE) || byte == control_handler(CVREJ,TRUE) ||
byte == control_handler(CVRR,TRUE)
            || byte == control_handler(CVDATA,FALSE) || byte ==
control_handler(CVDATA,TRUE) || byte == CVDISC || byte == CVSET || byte
== CVUA){
                control_value = byte;
                bcc = address ^ control_value;
                fstate = CONTROL;
            }
            else {
                fstate = START;
```

```
            }
            break;

        case CONTROL:
            //printf("CONTROL\n");
            if(byte == F) {
                fstate = FLAG;
            }
            else if(byte == bcc) {
                fstate = BCC1_OK;
            }
            else {
                fstate = START;
            }
            break;

        case BCC1_OK:
            //printf("BCC1_OK\n");
            if(byte == F){
                if(control_value == control_handler(CVDATA, FALSE) ||
control_value == control_handler(CVDATA, TRUE)) {
                    fstate = F;
                    break;
                }
                fstate = END;
            }
            else if(((control_value == control_handler(CVDATA, FALSE) ||
control_value == control_handler(CVDATA, TRUE)) && data != NULL)){
                size = 0;
                if(byte == ESC) {
                    bcc = 0;
                    fstate = ESCAPE;
                    break;
                }
                data[size] = byte;
                size++;
                bcc = byte;
                fstate = SUCCESS;
            }
            else {
             fstate = START;
            }
            break;

        case BCC2_OK:
            //printf("BCC2_OK\n");
            if(byte == F) {
                fstate = END;
            }
```

```
            else if(byte == 0) {
                data[size] = bcc;
                size++;
                bcc = 0;
                if(byte == ESC) {
                    data[size] = bcc;
                    size++;
                    bcc = 0;
                    fstate = ESCAPE;
                }
            }
            else {
                data[size] = bcc;
                size++;
                data[size] = byte;
                size++;
                bcc = byte;
                fstate = SUCCESS;
            }
            break;

        case SUCCESS:
            //printf("SUCCESS\n");
            if(byte == F) {
                fstate = REJECT;
            }
            else if(byte == ESC) {
                fstate = ESCAPE;
            }
            else if(byte == bcc) {
                fstate = BCC2_OK;
            }
            else {
                data[size] = byte;
                size++;
                bcc ^= byte;
            }
            break;

        case ESCAPE:
            //printf("ESCAPE\n");
            if(byte == F) {
                fstate = REJECT;
            }
            else if(byte == ESC_F) {
                if(bcc == F){
                    fstate = BCC2_OK;
                    break;
                }
```

```
                bcc ^= F;
                data[size] = F;
                size++;
                fstate = SUCCESS;
            }
            else if(byte == ESC_E) {
                if(bcc == ESC) {
                    fstate = BCC2_OK;
                    break;
                }
                bcc ^= ESC;
                data[size] = ESC;
                size++;
                fstate = SUCCESS;
            }
            else {
                fstate = START;
            }
            break;
    }
}
```

11.8 – state_machine.h

```
// Statemachine header.

#ifndef _STATEMACHINE_H_
#define _STATEMACHINE_H_

extern unsigned char address, control_value, bcc, *data;
extern unsigned int size;

typedef enum {START, FLAG, ADDRESS, CONTROL, BCC1_OK, BCC2_OK, SUCCESS,
ESCAPE, END, REJECT} FState;
extern FState fstate;

void state_machine(unsigned char byte);

#endif // _STATEMACHINE_H_
```

11. 9 – utils.c

```
#include "utils.h"
#include "state_machine.h"
#include "link_layer.h"
#include "alarm.h"
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
```

```c
#include <unistd.h>

int llopenR(int fd) {
    fstate = START;
    alarm_count = 0;
    int set = FALSE, byte;

    while(set == FALSE) {

        if((byte = read(fd, buffer, MAX_PCK_SIZE)) == -1) {
            perror("Couldn't read (llopen)\n");
            exit(-1);
        }
        int i = 0;
        do {
            state_machine(buffer[i]);
            if(fstate == END && address == A_T) {
                if(control_value == CVSET) {
                    set = TRUE;
                }
                else if(control_value == CVDISC) {
                    disc = TRUE;
                    printf("DISC Received\n");
                    return -1;
                }
            }
            i++;
        }while(i < byte && set == FALSE);
    }

    if(set == TRUE) {
        printf("Set Received\n");
    }

    create_command_frame(buffer, CVUA, A_T);

    write(fd, buffer, 5);

    printf("UA Sent\n");

    return 1;
}

int llopenT(int fd, int nRetransmissions, int timeout) {
        fstate = START;
        alarm_count = 0;
        int ua = FALSE, byte;

        while(ua == FALSE && alarm_count < nRetransmissions) {
```

```
            alarm(timeout);
            alarm_enabled = TRUE;

            if(alarm_count > 0) {
                printf("Time-out\n");
            }

            create_command_frame(buffer, CVSET, A_T);

            printf("SET sent\n");

            write(fd, buffer, 5);

            while(alarm_enabled && ua == FALSE){

                if((byte = read(fd, buffer, MAX_PCK_SIZE)) == -1) {
                    printf("Couldn't read (llopen)\n");
                    return -1;
                }

                int i = 0;

                do {
                    state_machine(buffer[i]);
                    if(fstate == END && address == A_T && control_value
== CVUA) {
                        ua = TRUE;
                    }
                    i++;
                }while(i < byte && ua == FALSE);
            }
        }

        if(ua == TRUE) {
            printf("UA Received\n");
            return 1;

        }
        return -1;
}

int stuffing(const unsigned char *buffer, int bufSize, unsigned char*
oct, unsigned char *bcc){
    int size = 0, i = 0;
    do{
        if(bcc != NULL) {
            *bcc ^= buffer[i];
        }
```

```
        if(buffer[i] == ESC) {
            oct[size++] = ESC;
            oct[size++] = ESC_E;
            return size;
        }

        else if(buffer[i] == F) {
            oct[size++] = ESC;
            oct[size++] = ESC_F;
            return size;
        }

        oct[size++] = buffer[i];
        i++;
    }while(i < bufSize);

    return size;
}

void create_command_frame(unsigned char* buf, unsigned char
control_value, unsigned char address){

    buf[0] = F;
    buf[1] = address;
    buf[2] = control_value;
    buf[3] = address ^ control_value;
    buf[4] = F;

}

int header_frame(unsigned char* buf, const unsigned char* data,unsigned
int data_size, unsigned char address, unsigned char control_value){

    buf[0] = F;
    buf[1] = address;
    buf[2] = control_value;
    buf[3] = address ^ control_value;

    int new_size = 0, i = 0;
    unsigned char bcc = 0;

    do{
        new_size += stuffing(data + i, 1, buf + new_size + HEADER_SIZE,
&bcc);
        i++;
    }while(i < data_size);

    new_size += stuffing(&bcc,1, buf + new_size + HEADER_SIZE, NULL);
    buf[new_size + HEADER_SIZE] = F;
```

```
    new_size += 5;

    return new_size;
}

int tlv(unsigned char *address, int* type, int* length, int** value){

    *type = address[0];
    *length = address[1];
    *value = (int*)(address + 2);

    return 2 + *length;
}

int write_cycle(int size) {
    int i = 0, wr;
    while(i < size) {
        if((wr = write(fd, giant_buf + i, size - i)) == -1) {
            perror("Couldn't write (llwrite).\n");
            exit(-1);
        }
        i += wr;
    }
    return i;
}

int control_handler(ControlV cv, int R_S) {
    switch (cv) {
        case CVRR:
            if(R_S % 2 != 0) {
                return 0b10000101;
            }
            else {
                return 0b00000101;
            }
            break;
        case CVREJ:
            if(R_S % 2 != 0){
                return 0b10000001;
            }
            else {
                return 0b00000001;
            }
            break;
        case CVDATA:
            if(R_S % 2 != 0) {
                return 0b01000000;
            }
```

```
            else {
                return 0b00000000;
            }
            break;
        default:
            break;
    }
    return -1;
}
```

11.10 – utils.h

```
#ifndef _UTILS_H_
#define _UTILS_H_

#include "link_layer.h"

#define F 0x7e
#define ESC 0x7d
#define ESC_F 0x5e
#define ESC_E 0x5d
#define A_T 0x03
#define A_R 0x01

#define HEADER_SIZE 4
#define PCK_SIZE 512
#define MAX_PCK_SIZE 128

#define CTRLDATA 1
#define CTRLSTART 2
#define CTRLEND 3
#define CVSET 0x03
#define CVDISC 0x0b
#define CVUA 0x07

extern int alarm_count;
extern int alarm_enabled;
extern int disc;
extern unsigned char buffer[MAX_PCK_SIZE];
extern int fd;

int llopenR(int fd);

int llopenT(int fd, int nRetransmissions, int timeout);

int stuffing(const unsigned char *buf, int bufSize, unsigned char* dest,
unsigned char *bcc);
```

```
void create_command_frame(unsigned char* buf, unsigned char
control_value, unsigned char address);

int header_frame(unsigned char* framebuf, const unsigned char* data,
unsigned int data_size, unsigned char address, unsigned char
control_value);

int tlv(unsigned char *address, int* type, int* length, int** value);

int write_cycle(int size);

int control_handler(ControlV cv, int R_S);

#endif // _UTILS_H
```

11.11 – alarm.c

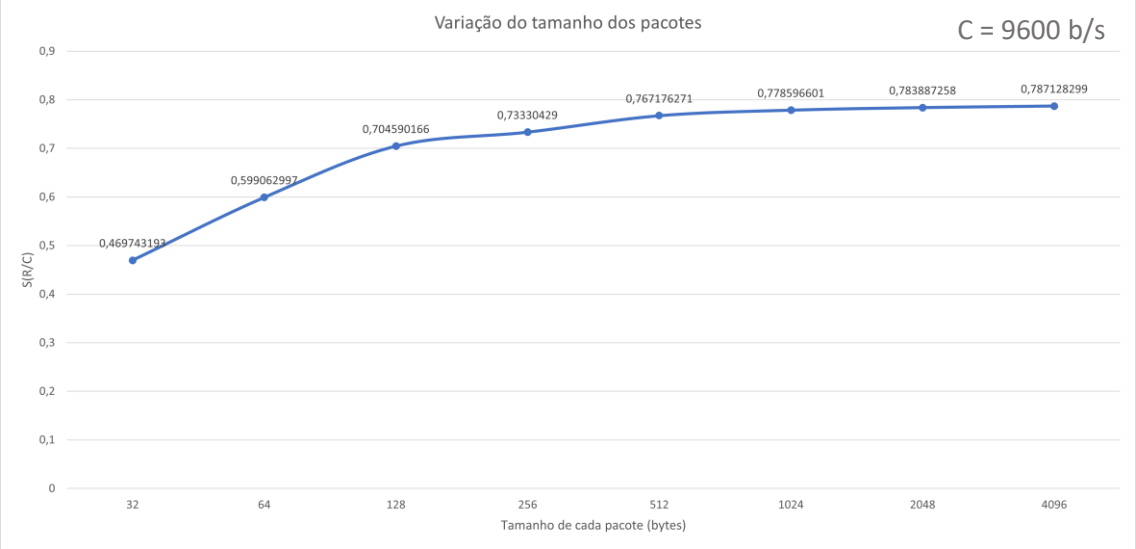
```
#include <unistd.h>
#include <signal.h>
#include <stdio.h>
#include "link_layer.h"
#include "alarm.h"

int alarm_enabled = FALSE;
int alarm_count = 0;

void alarmHandler(int signal) {
    alarm_enabled = FALSE;
    alarm_count++;

    printf("Alarm Counter: %d\n", alarm_count);
}

int setAlarm(int timeout) {
    (void)signal(SIGALRM, alarmHandler);

    while (alarm_count <= timeout) {
        if (alarm_enabled == FALSE) {
            alarm(timeout);
            alarm_enabled = TRUE;
        }
    }

    printf("------------------------\n");
    printf("Operation ending\n");
    printf("------------------------\n");

    return 0;
}
```

11.12 – alarm.h

```c
// Alarm header.

#ifndef _ALARM_H_
#define _ALARM_H_

void alarmHandler(int signal);
int setAlarm(int timeout);

extern int alarm_count;
extern int alarm_enabled;

#endif // _ALARM_H_
```

12- Anexo II – Eficiência

12.1 – Variação do tamanho dos pacotes

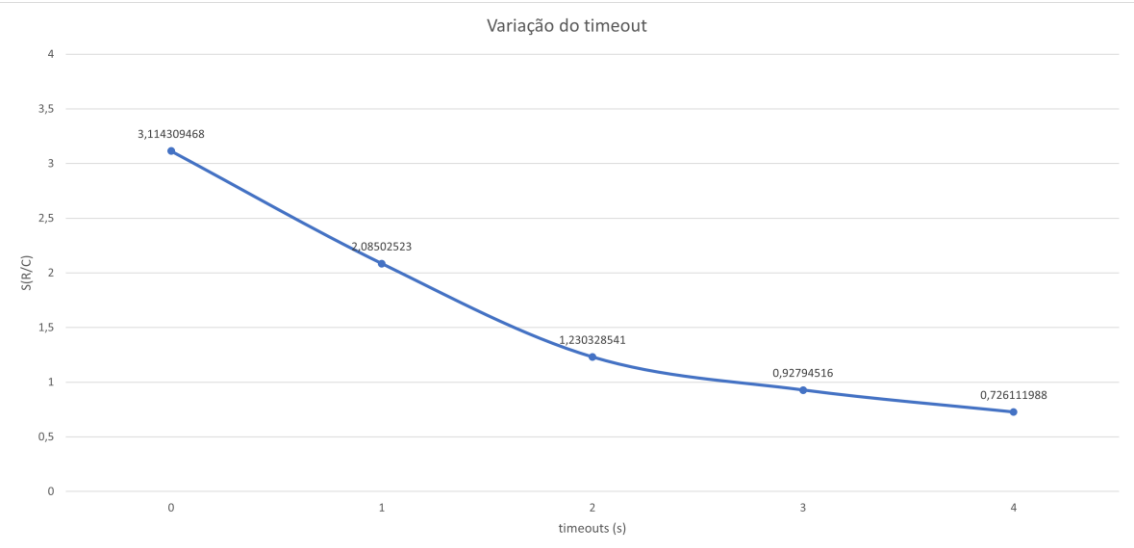


Tamanho de cada pacote(bytes)	Tempo (s)	R (bits/tempo)	S (R/C)
32	20,19823	4344,143026	0,452514899
64	16,56327	5297,504659	0,551823402
128	13,42891	6533,96292	0,680621138
256	12,92356	6789,460489	0,707235468
512	12,53882	6997,787671	0,728936216
1024	11,87824	7386,952949	0,769474266
2048	11,75369	7465,230068	0,777628132
4096	11,72253	7485,073615	0,779695168

12.2 – Variação do *baudrate*

Baudrate (bits)	Tempo (s)	R (bits/tempo)	S (R/C)
9600	12,61722	6954,305307	0,724406803
19200	6,64387	13206,76052	0,68785211
38400	3,74516	23428,63856	0,610120796
57600	3,02182	29036,80563	0,504111209
115200	2,15521	40712,50597	0,35340717

12.3 – Variação do *timeout*



***timeout* (s)**	**Tempo (s)**	**R (bits/tempo)**	**S (R/C)**
0	2,93484	29897,3709	3,114309468
1	4,38364	20016,24221	2,08502523
2	7,42891	11811,15399	1,230328541
3	9,84972	8908,273535	0,92794516
4	12,58759	6970,675086	0,726111988