

Redes de Computadores

Protocolo de Ligação de Dados

Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Gonçalo Teixeira

up201806562@fe.up.pt

Gonçalo Alves

up201806451@fe.up.pt

Índice

| | |
|---|----|
| Sumário | 2 |
| Introdução | 2 |
| Arquitetura | 3 |
| Estrutura de código | 4 |
| Writenoncanonical | 4 |
| Noncanonical | 4 |
| Macros | 4 |
| App_structs | 4 |
| Utils | 5 |
| Data_link | 5 |
| Files | 6 |
| App_writer | 6 |
| App_reader | 6 |
| Casos de uso principais | 6 |
| Protocolo de ligação lógica | 7 |
| llopen | 7 |
| llclose | 7 |
| llwrite | 7 |
| llread | 7 |
| Protocolo de aplicação | 7 |
| generate_control_packet | 8 |
| generate_data_packet | 8 |
| split_file | 8 |
| get_file_size | 8 |
| read_file | 8 |
| join_file | 8 |
| write_file | 8 |
| Validação | 8 |
| <i>Eficiência do protocolo de ligação de dados</i> | 8 |
| Variação do FER | 8 |
| Variação do tamanho das tramas l | 9 |
| Variação da capacidade da ligação (C) | 9 |
| Variação do atraso no processamento das tramas | 9 |
| Conclusões | 9 |
| Anexo I – Código fonte | 10 |

| | |
|--|----|
| app_reader.c..... | 10 |
| app_structs.h..... | 11 |
| app_writer.c..... | 13 |
| data_link.c..... | 15 |
| data_link.h..... | 25 |
| files.c..... | 27 |
| files.h..... | 28 |
| macros.h..... | 29 |
| noncanonical.c..... | 30 |
| noncanonical.h..... | 31 |
| utils.c..... | 32 |
| utils.h..... | 38 |
| writenoncanonical.c..... | 40 |
| writenoncanonical.h..... | 42 |
| Anexo II – Resultados em Ambiente Emulado (socat)..... | 43 |
| Anexo III – Resultados em ambiente de Laboratório..... | 47 |

Sumário

Este relatório foi elaborado no âmbito da unidade curricular de Redes e Computadores, e trata-se da implementação de um protocolo de transferência de dados. O trabalho consiste no desenvolvimento de uma aplicação capaz de transferir ficheiros de um computador para o outro através de uma porta série.

O trabalho foi concluído e a aplicação desenvolvida é capaz de transferir ficheiros sem perda de dados.

Introdução

O objetivo deste trabalho consistiu na implementação de um protocolo de ligação de dados, de acordo com o guião fornecido, e no teste do dito protocolo, através de uma aplicação de transferência de dados. Quanto ao relatório, o seu objetivo é detalhar a componente teórica do trabalho, com a estrutura descrita em baixo:

- **Arquitetura**
 - Descrição dos blocos funcionais e das interfaces implementadas
- **Estrutura do código**
 - Descrição das APIs, principais estruturas de dados e funções e as suas relações com a arquitetura
- **Casos de uso principais**
 - Identificação dos casos de uso
 - Sequências de chamada de funções
 -

- **Protocolo de ligação lógica**
 - Identificação dos principais aspetos funcionais
 - Descrição da estratégia de implementação destes, com a exibição de extratos de código
- **Protocolo de aplicação**
 - Identificação dos principais aspetos funcionais
 - Descrição da estratégia de implementação destes, com a exibição de extratos de código
- **Validação**
 - Descrição dos testes efetuados
 - Apresentação quantificada dos resultados
- **Eficiência do protocolo de ligação de dados**
 - Caracterização estatística da eficiência do protocolo, feita com recurso a medidas sobre o código desenvolvido
- **Conclusão**
 - Síntese da informação apresentada nas secções anteriores
 - Reflexão sobre os objetivos de aprendizagem alcançados.

Arquitetura

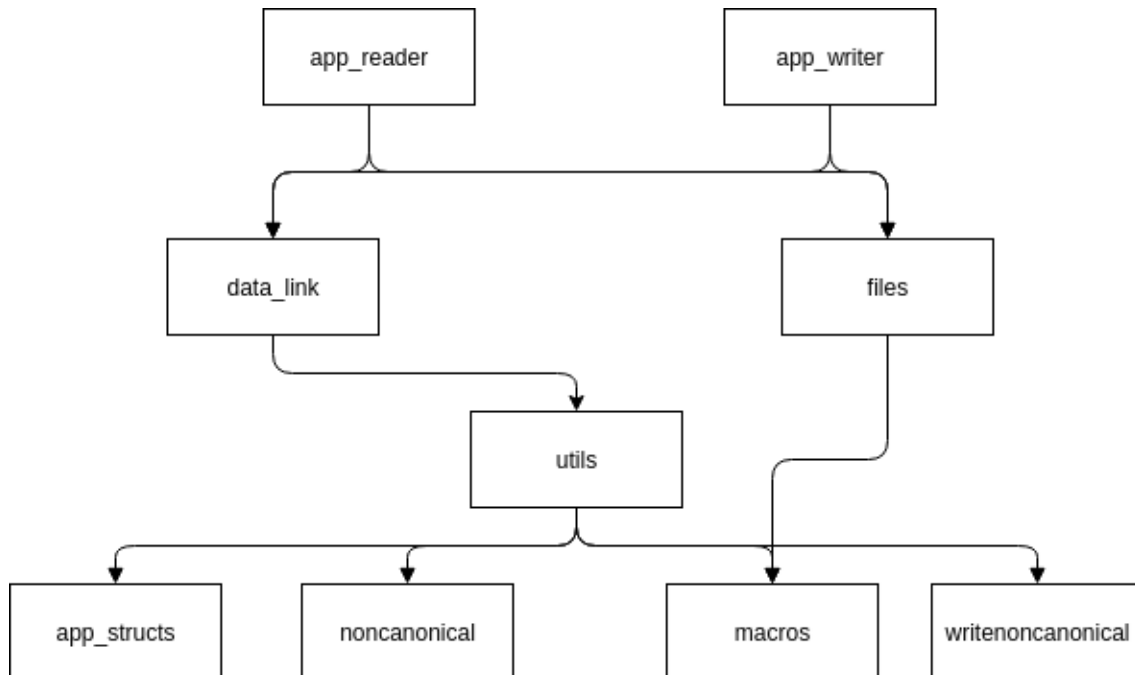
O trabalho está dividido em duas camadas: a camada do **de ligação de dados** e a camada da **aplicação**.

A camada de ligação de dados é responsável pelas interações com a porta de série, tal como: a abertura, o fecho, a leitura e a escrita desta. Além disso, a camada também é responsável pelo tratamento das tramas: delineação, *stuffing*, proteção e retransmissão destas.

A camada da aplicação é responsável pelo envio e receção de ficheiros, fazendo uso da interface da camada de ligação de dados. Além disso, a camada também é responsável pelo processamento do serviço: tratamento de cabeçalhos, distinção entre pacotes de controlo e de dados e numeração destes.

Estrutura de código

O código está dividido em diversos ficheiros de código, tendo uma hierarquia associada a estes, como se demonstra no diagrama seguinte:



Assim, a estrutura do código será feita de forma hierárquica, de baixo para cima.

Writenoncanonical

- **atende** – *Handler* do sinal **SIGALRM**;
- **open_writer** – Abre a porta série do emissor e implementa o *handler* do alarme;
- **close_writer** – Fecha a porta série do emissor;

Noncanonical

- **open_reader** – Abre a porta série do recetor;
- **close_reader** – Fecha a porta série do recetor;

Macros

O ficheiro `macros.h` contém, tal como o nome indica, macros importantes para o programa, entre as quais:

- **TRIES** – número de tentativas de escrita;
- **TIMEOUT** – número de segundos de espera por resposta;

App_structs

O ficheiro `app_structs.h` contém as estruturas de dados relevantes para o programa:

- **information_frame_t** – *Frame* contendo: *address*, *control*, *bcc*, *data*, *data_size*, *bcc2* e *raw_bytes*;
- **data_packet_t** – Pacote de dados contendo: *control*, *sequence*, *data_field_size*, *data*, *raw_bytes* e *raw_bytes_size*;
- **control_packet_t** – Pacote de dados contendo: *control*, *file_size*, *file_name*, *filesize_size*, *raw_bytes* e *raw_bytes_size*;
- **file_t** – Ficheiro contendo: *data*, *name* e *size*;

Utils

- **parse_control_packet** – Função que faz o *parse* de bytes para a estrutura **control_packet_t**;
- **parse_data_packet** – Função que faz o *parse* de bytes para a estrutura **data_packet_t**;
- **print_control_packet** – Função que imprime um pacote de controlo;
- **print_data_packet** – Função que imprime um pacote de dados. Além disso, permite mostrar todos os bytes de dados, através do uso de uma flag;
- **print_elapsed_time** – Função que imprime o tempo passado entre uma escrita e uma leitura;
- **verify_message** – Função que verifica erros numa trama de Informação, através do bcc;
- **print_message** – Função que imprime uma trama de Informação;
- **array_to_number** – Função que transforma um *array* num número de 8 bytes;
- **number_to_array** – Função que transforma um número de 8 bytes num *array*;
- **generateErrorBCC2** – Função que gera um byte anormal e insere-o num pacote;
- **generateErrorBCC1** – Função que gera um byte anormal e substitui-o pelo byte de flag ou de endereço;
- **generateDelay** – Função que gera um atraso;
- **generate_control_packet** – Função que cria um pacote de controlo;
- **generate_data_packet** – Função que cria um pacote de dados;

Data_link

- **send_supervision_frame** – Recebe uma porta e envia-lhe uma mensagem de controlo;
- **receive_supervision_frame** – Recebe uma porta e lê uma mensagem de controlo dela;
- **receive_acknowledgment** – Recebe uma mensagem de **ACK** e retorna o seu *byte* de controlo;
- **send_acknowledgment** – Envia uma mensagem de **ACK**;
- **receive_set** – Função que espera receber uma mensagem **SET** e envia **UA** de seguida;
- **send_set** – Função que envia uma mensagem **SET** e espera receber **UA** de seguida;
- **disconnect_writer** – Função que envia uma mensagem de **DISC**, espera receber **DISC** de volta e envia **UA**;
- **disconnect_reader** - Função que recebe uma mensagem de **DISC**, espera enviar **DISC** de volta e recebe **UA**;
- **llopen** – Função que abre a porta série do emissor/recetor e inicia a ligação de dados, retornando o descritor correspondente;
- **llclose** – Função que fecha a porta série do emissor/recetor e termina a ligação de dados;
- **llwrite** – Função que faz o *stuffing* de um pacote de dados e envia para o recetor, esperando receber uma mensagem de **ACK** de volta e procede de acordo com esta;
- **llread** – Função que lê uma mensagem do emissor, faz o *destuffing*, verifica a mensagem e envia uma mensagem **ACK** adequada;

Files

- **get_file_size** – Função que calcula o tamanho de um ficheiro, em bytes;
- **read_file** – Função que lê os dados de um ficheiro;
- **split_file** – Função que obtém bytes de um ficheiro entre um índice inicial e final, inclusive;
- **join_file** – Função que concatena pacotes;
- **write_file** – Função que cria uma cópia do ficheiro recebido;

App_writer

- **main** – Função responsável pela escrita de um ficheiro;

App_reader

- **main** – Função responsável pela leitura de um ficheiro;

Casos de uso principais

Os casos de uso principais da aplicação são: a interface, que permite a escolha do ficheiro que o emissor pretende enviar, e a transferência do ficheiro, através da porta série. De modo a compilar o programa, é necessário executar `make` na pasta “src”.

De modo a dar-se a transferência do ficheiro, o utilizador necessitará de introduzir o número da porta série a ser utilizada, como por exemplo **11**. Adicionalmente, caso se trate do emissor, também terá de inserir o ficheiro a ser enviado, como por exemplo **pinguim.gif**. Ex: Em duas consolas: (1ª - emissor) “./app_writer 11 pinguim.gif” / (2ª-recetor) “./app_reader 10”

A transmissão de dados dá-se pela seguinte ordem:

- Abertura da ligação entre os computadores;
- Geração dos pacotes **START** e **STOP**, para controlo;
- Escrita do pacote **START**;
- Escrita dos pacotes de dados;
- Escrita do pacote **STOP**;
- Fecho da ligação entre os computadores;

A receção de dados dá-se pela seguinte ordem:

- Abertura da ligação entre os computadores;
- Leitura e impressão do pacote **START**;
- Leitura e impressão dos pacotes de dados;
- Leitura e impressão do pacote **STOP**;
- Impressão da mensagem completa;
- Fecho da ligação entre os computadores;

Protocolo de ligação lógica

llopen

Esta função tem a responsabilidade de estabelecer a ligação entre o emissor e o recetor.

No caso do emissor, a porta série é aberta, é enviada uma mensagem **SET** e é esperada uma mensagem **UA**.

No caso do recetor, a porta de série é aberta, é recebida uma mensagem **SET** e é enviada uma mensagem **UA**.

llclose

Esta função tem a responsabilidade de fechar a ligação entre o emissor e o recetor.

No caso do emissor, é enviada uma mensagem **DISC**, posteriormente é recebida uma mensagem igual de volta, é enviada uma mensagem **UA** e a ligação termina.

No caso do recetor, é recebida uma mensagem **DISC**, de seguida é enviada essa mesma mensagem para o recetor, é esperada uma mensagem **UA** e a ligação é terminada.

llwrite

Esta função é responsável pelo envio de tramas.

Inicialmente, é composto o *header* da mensagem: *address*, *control* e *bcc1*. De seguida, é feito o *stuffing* da mensagem e a construção do *bcc2* (também com *stuffing*). Finalmente, a função irá enviar a mensagem completa para o emissor e esperar pela mensagem **ACK**. Dependendo desta, o emissor poderá: continuar a transmissão do ficheiro, passando para o próximo pacote; retransmitir o pacote acabado de enviar, devido a um erro. A retransmissão de um pacote também se pode dar quando o tempo de espera de uma resposta exceder o tempo máximo de espera, **TIMEOUT**.

llread

Esta função é responsável pela receção de tramas.

Inicialmente, é feita uma leitura da porta série, caractere a caractere. De seguida, é feito o *destuffing* da mensagem e esta é guardada numa estrutura de dados (**information_frame_t**). Finalmente, é feita uma verificação de erros e, dependendo do resultado desta, é enviada a mensagem adequada para o emissor.

Protocolo de aplicação

O protocolo de aplicação implementado tem como aspetos principais:

- Envio de pacotes de controlo **START** e **STOP**. Estes contêm o nome e o tamanho do ficheiro a ser enviado;
- Divisão do ficheiro em pacotes, no emissor, e a concatenação dos pacotes recebidos, no recetor;
- Encapsulamento de cada pacote de dados com um *header* contendo o número de sequência do pacote e o tamanho do pacote;
- Leitura do ficheiro a enviar, no emissor, e criação do ficheiro, no recetor.

Estas funcionalidades foram implementadas usando funções descritas a seguir.

[generate_control_packet](#)

Esta função retorna um pacote **START** ou **STOP**, recebendo como argumento um inteiro de modo a identificar o tipo de pacote. Estes pacotes serão enviados usando a função **llwrite**, pertencente ao protocolo de ligação de dados.

[generate_data_packet](#)

Esta função retorna um pacote de dados, recebendo como argumentos: dados de um ficheiro, tamanho dos dados e o número de sequência. Estes pacotes serão enviados usando a função **llwrite**, pertencente ao protocolo de ligação de dados.

[split_file](#)

Esta função retorna dados, recebendo como argumentos: o ficheiro de onde se quer obter os dados, o índice do primeiro byte a recolher e o índice do último byte a receber. Estes dados serão usados na função acima mencionada.

[get_file_size](#)

Esta função retorna o tamanho de um ficheiro, recebendo como argumento o descritor de um ficheiro.

[read_file](#)

Esta função retorna os dados de um ficheiro, recebendo como argumentos: o descritor de um ficheiro e o tamanho deste.

[join_file](#)

Esta função recebe como argumentos: um *array* onde se vão concatenar os pacotes, um pacote, o tamanho do pacote e o índice dos dados.

[write_file](#)

Esta função cria uma cópia do ficheiro recebido, recebendo com argumentos: o nome do ficheiro, os *bytes* deste e o seu tamanho.

[Validação](#)

Foram realizados os seguintes testes, todos com sucesso:

- Envio de ficheiros de vários tamanhos;
- Envio de um ficheiro com pacotes de vários tamanhos;
- Interrupção da ligação enquanto um ficheiro é enviado;
- Envio de um ficheiro com variação do *baudrate*;

[Eficiência do protocolo de ligação de dados](#)

Efetuamos testes em ambiente emulado (socat) e testes nos servidores da FEUP. Os resultados efetuados com uma porta série virtual encontram-se no Anexo II e os testes em ambiente real encontram-se no Anexo III. Os testes efetuados nos dois ambientes podem variar entre si, mas assumimos como referência os testes efetuados em ambiente real.

[Variação do FER](#)

Com o aumento de erros detetados nos BCCs, o programa torna-se menos eficiente. A curva do gráfico assemelha-se a uma função linear de declive negativo, o que nos leva a acreditar que a percentagem de erros nas tramas vai fazer diminuir linearmente a eficácia do programa.

Variação do tamanho das tramas I

Com o aumento do tamanho da trama I, o programa torna-se mais eficiente, o gráfico assemelha-se a um gráfico logarítmico, o que nos leva a querer que a eficácia vai crescer mas não linearmente, ou seja, a partir de um determinado momento o tamanho da trama I não irá influenciar tanto a eficácia do programa.

Variação da capacidade da ligação (C)

Com o aumento da Baudrate o programa torna-se mais eficiente, mas apenas até um determinado valor, a partir do qual deixa de influenciar tão drasticamente a eficácia do programa, o que nos leva a concluir que a Baudrate é um fator limitante até um determinado valor e depois deixa de afetar a eficácia do programa, ou afeta minimamente, uma vez que notamos uma ligeira descida na curva do gráfico depois de atingir um pico.

Variação do atraso no processamento das tramas

Com o aumento em fatores de 10 segundos notamos que a eficácia do programa é drasticamente afetada chegando até a atingir um valor de 0.006 para um atraso de 4 segundos (o teste foi efetuado com o TIMEOUT definido para 3 segundos).

Conclusões

O tema deste trabalho foi a criação de um protocolo de ligação de dados, que consiste em fornecer um serviço de comunicação de dados fiável entre dois sistemas ligados por um meio de transmissão, neste caso, um cabo série.

Adicionalmente, foi nos dado a conhecer a **independência entre camadas**, e cada um dos blocos funcionais da arquitetura da aplicação desenvolvida cumpre esta independência.

Na camada de ligação de dados não é feito qualquer processamento que incida sobre o cabeçalho dos pacotes a transportar em tramas de Informação. Ao nível da ligação de dados não existe qualquer distinção entre pacotes de controlo e de dados, nem é relevante (nem tida em conta) a numeração dos pacotes de dados.

Na camada de aplicação não são conhecidos os detalhes do protocolo de ligação de dados, mas apenas a forma como se acede ao serviço. O protocolo de aplicação desconhece a estrutura das tramas e o respetivo mecanismo de delineação, a existência de *stuffing* (e qual a opção adotada), o mecanismo de proteção das tramas, eventuais retransmissões de tramas de Informação, etc.

Concluindo, o protocolo de ligação de dados foi realizado com sucesso, tendo-se cumprido todos os objetivos, e o desenvolvimento deste contribuiu para um aprofundamento do conhecimento, tanto teórico como prático, deste tema.

Infelizmente, devido à situação atual, as condições de desenvolvimento e teste do trabalho não foram as melhores.

Anexo I – Código fonte

```
app_reader.c
#include "data_link.h"
#include "files.h"

file_t file;

int main(int argc, char *argv[]) {
    if (argc != 2) {
        printf("Usage: %s <number for serial port>\n", argv[0]);
        printf("\nExample: %s 11\t-\t\tfor '/dev/ttyS11'\n", argv[0]);
        exit(ERROR);
    }

    /* opens transmitter file descriptor on second layer */
    int receiver_fd = llopen(atoi(argv[1]), RECEIVER);
    /* in case there's an error oppening the port */
    if (receiver_fd == ERROR) {
        exit(ERROR);
    }

    char buffer[2*PACKET_SIZE];
    int size;

    int state = 0;

    printf("Packet Size: %d\n", PACKET_SIZE);

    // * START Control Packet
    while (state == 0) {
        memset(buffer, 0, sizeof(buffer));
        while ((size = llread(receiver_fd, buffer)) == ERROR) {
            printf("Error reading\n");
            llclose(receiver_fd, RECEIVER);
            return ERROR;
        }
        control_packet_t packet = parse_control_packet(buffer,
size);

        file.size = array_to_number(packet.file_size,
packet.filesize_size);
        file.name = packet.file_name;

        print_control_packet(&packet);
        if (packet.control == START) {
            state = 1;
        }
    }

    // * DATA Packets
    unsigned char *full_message = (unsigned char*) malloc
(file.size);
    int index = 0;
    int current_sequence = -1;
```

```

while (state == 1) {
    memset(buffer, 0, sizeof(buffer));
    while ((size = llread(receiver_fd, buffer)) == ERROR) {
        printf("Error reading\n");
    }
    if (buffer[0] == STOP) {
        state = 2;
        break;
    }
    data_packet_t data = parse_data_packet(buffer, size);

    if (data.control != DATA) continue;

    print_data_packet(&data, FALSE);
    join_file(full_message, data.data, data.data_field_size,
index);

    // * caso o numero de sequencia seja diferente do anterior
    // deve atualizar o index
    if (current_sequence != data.sequence) {
        current_sequence = data.sequence;
        index += data.data_field_size;
    }
}

// * STOP Control Packet
if (state == 2) {
    control_packet_t packet = parse_control_packet(buffer,
size);
    print_control_packet(&packet);

    char* name = (char*) malloc ((strlen(file.name) + 7) *
sizeof(char));
    sprintf(name, "cloned_%s", file.name);
    write_file(name, full_message, file.size);
    printf("Received file\n");
}

/* resets and closes the receiver fd for the port */
llclose(receiver_fd, RECEIVER);

return 0;
}

```

app_structs.h

```

/**
 * \addtogroup APPLICATIONLAYER
 * @{
 */

/**
 * @brief Information Frame Struct
 * This struct stores the bytes from an information frame
 */
typedef struct {

```

```

    unsigned char address;    /**< @brief The address byte */
    unsigned char control;    /**< @brief The control byte */
    unsigned char bcc1;       /**< @brief The BCC1 byte */
    unsigned char *data;       /**< @brief The data array */
    int data_size;             /**< @brief The data array size in
bytes */
    unsigned char bcc2;       /**< @brief The BCC2 byte */

    unsigned char *raw_bytes; /**< @brief The array containing
unprocessed bytes */
} information_frame_t;

/**
 * @brief Data Packet Struct
 * This struct stores the bytes from a data packet
 */
typedef struct {
    unsigned char control;    /**< @brief The control byte -
[DATA] */
    unsigned char sequence;   /**< @brief The sequence byte -
index on global data */
    int data_field_size;      /**< @brief The size of the data
array - [1..PACKET_SIZE] */
    unsigned char data[2*PACKET_SIZE]; /**< @brief The data array
*/

    unsigned char *raw_bytes; /**< @brief The array containing
unprocessed bytes */
    int raw_bytes_size;       /**< @brief The size of the
raw_bytes array */
} data_packet_t;

/**
 * @brief Control Packet Struct
 * This struct stores the bytes from a control packet
 */
typedef struct {
    unsigned char control;    /**< @brief The control byte -
[START; STOP] */
    unsigned char *file_size; /**< @brief File size in bytes
stored in an array */
    unsigned char *file_name; /**< @brief String for the
filename */
    unsigned int filesize_size; /**< @brief Size of the file_size
array */

    unsigned char *raw_bytes; /**< @brief The array containing
unprocessed bytes */
    int raw_bytes_size;       /**< @brief The size of the
raw_bytes array */
} control_packet_t;

/**
 * @brief File information Struct
 * This struct stores the file's information
 */

```

```

typedef struct {
    unsigned char* data; /**< @brief Data array, containing all
the bytes from the file */
    unsigned char* name; /**< @brief Name of the file */
    unsigned long size; /**< @brief Size of the file in bytes */
} file_t;

/** @} */

app_writer.c
#include "data_link.h"
#include "files.h"

extern int flag;

int main(int argc, char *argv[]) {
    if (argc != 3) {
        printf("Usage: %s <number for serial port> <filename>\n",
argv[0]);
        printf("\nExample: %s 11\t-\t\tfor '/dev/ttyS11'
pinguim.gif\n", argv[0]);
        return -1;
    }

    FILE *fp;
    file_t file;

    /* opens transmitter file descriptor on second layer */
    int transmitter_fd = llopen(atoi(argv[1]), TRANSMITTER);
    /* in case there's an error opening the port */
    if (transmitter_fd == ERROR) {
        exit(ERROR);
    }

    char* filename = argv[2];

    fp = fopen(filename, "rb");
    file.name = filename;
    file.size = get_file_size(fp);
    file.data = read_file(fp, file.size);

    control_packet_t c_packet_start =
generate_control_packet(START, &file);
    control_packet_t c_packet_stop = generate_control_packet(STOP,
&file);

    // sending control packet
    struct timespec start;
    clock_gettime(CLOCK_MONOTONIC_RAW, &start);

    print_control_packet(&c_packet_start);

    int size = llwrite(transmitter_fd, c_packet_start.raw_bytes,
c_packet_start.raw_bytes_size);
    if (size == ERROR) {

```

```

    printf("Error writing START Control Packet, aborting...\n");
    llclose(transmitter_fd, TRANSMITTER);
    free(c_packet_start.file_size);
    free(c_packet_start.raw_bytes);
    free(c_packet_stop.file_size);
    free(c_packet_stop.raw_bytes);
    free(file.data);
    return ERROR;
}
free(c_packet_start.file_size);
free(c_packet_start.raw_bytes);

unsigned long bytes_left = file.size;
int index_start;
int index_end = -1;
int sequence = 0;
while (bytes_left != 0 && index_end != file.size - 1) {
    usleep(STOP_AND_WAIT);

    index_start = index_end + 1;
    if (bytes_left >= PACKET_SIZE-1) {
        index_end = index_start + PACKET_SIZE-1;
    } else {
        index_end = index_start + bytes_left - 1;
    }
    bytes_left -= (index_end - index_start) + 1;

    unsigned char* frame = split_file(file.data, index_start,
index_end);
    data_packet_t data = generate_data_packet(frame, index_end -
index_start + 1, sequence++);
    //print_data_packet(&data, TRUE);

    printProgressBar(file.size-bytes_left,file.size);
    /* caso o write não seja bem sucedido tentar de novo */
    while ((size = llwrite(transmitter_fd, data.raw_bytes,
data.raw_bytes_size)) == ERROR) {
        usleep(STOP_AND_WAIT);
    }
    clearProgressBar();

    free(frame);
    free(data.raw_bytes);
    if (size == ERROR) {
        printf("Error writing Data Packet, aborting...\n");
        llclose(transmitter_fd, TRANSMITTER);
        return ERROR;
    }
}
printProgressBar(1,1);

usleep(STOP_AND_WAIT);
print_control_packet(&c_packet_stop);
size = llwrite(transmitter_fd, c_packet_stop.raw_bytes,
c_packet_stop.raw_bytes_size);
if (size == ERROR) {

```

```

    printf("Error writing STOP Control Packet, aborting...\n");
    llclose(transmitter_fd, TRANSMITTER);
    return ERROR;
}
free(c_packet_stop.file_size);
free(c_packet_stop.raw_bytes);

usleep(STOP_AND_WAIT);
print_elapsed_time(start);
/* resets and closes the receiver fd for the port */
llclose(transmitter_fd, TRANSMITTER);

return OK;
}

```

data_link.c

```
#include "data_link.h"
```

```
int reetransmit = 1;
```

```
extern int flag;
```

```
extern int conta;
```

```
int send_supervision_frame(int fd, unsigned char msg, unsigned
char address) {
```

```
    unsigned char mesh[5];
```

```
    mesh[0] = FLAG;
```

```
    mesh[1] = address;
```

```
    mesh[2] = msg;
```

```
    mesh[3] = mesh[1] ^ mesh[2];
```

```
    mesh[4] = FLAG;
```

```
    int err = write(fd, mesh, 5);
```

```
    if (!(err == 5))
```

```
        return ERROR;
```

```
    return OK;
```

```
}
```

```
unsigned char receive_acknowledgement(int fd) {
```

```
    // ! Remove comments if you want to debug the data being read
```

```
    int part = 0;
```

```
    unsigned char rcv_msg;
```

```
    unsigned char ctrl;
```

```
    unsigned char address;
```

```
    //printf("Reading ACK supervision frame...\n");
```

```
    while (part != 5) {
```

```
        int rd = read(fd, &rcv_msg, 1);
```

```
        if (rd == -1 && errno == EINTR) {
```

```
            //printf("READ failed\n");
```

```
            return 2;
```

```
        }
```

```
        switch (part) {
```

```
        case 0:
```

```
            if (rcv_msg == FLAG) {
```

```
                part = 1;
```

```
                // printf("FLAG: 0x%x\n",rcv_msg);
```

```
            }
```

```
            break;
```



```

    case 1:
        if (rcv_msg == A_1 || rcv_msg == A_3) {
            address = rcv_msg;
            part = 2;
            // printf("A: 0xx\n",rcv_msg);
        } else {
            if (rcv_msg == FLAG)
                part = 1;
            else
                part = 0;
        }
        break;
    case 2:
        if ((rcv_msg == C_RR0) || (rcv_msg == C_RR1) || (rcv_msg
== C_REJ0) ||
            (rcv_msg == C_REJ1)) {
            part = 3;
            // printf("Control: 0xx\n",rcv_msg);
            ctrl = rcv_msg;
        } else
            part = 0;
        break;
    case 3:
        if (rcv_msg == (address ^ ctrl)) {
            part = 4;
            // printf("Control BCC: 0xx\n",rcv_msg);
        } else
            part = 0;
        break;
    case 4:
        if (rcv_msg == FLAG) {
            part = 5;
            // printf("FINAL FLAG: 0xx\nReceived
Control\n",rcv_msg);
        } else
            part = 0;
        break;
    default:
        break;
    }
    return ctrl;
}

int receive_supervision_frame(int fd, unsigned char msg) {
    // ! Remove comments if you want to debug the data being read
    int part = 0;
    unsigned char rcv_msg;
    unsigned char address;

    printf("Reading supervision frame...\n");
    while (part != 5) {
        int rd = read(fd, &rcv_msg,1);
        if (rd == -1 && errno == EINTR) {
            printf("READ failed\n");
            return 2;
        }
    }
}

```

```

    }
    switch (part) {
    case 0:
        if (rcv_msg == FLAG) {
            part = 1;
            // printf("FLAG: 0x%x\n",rcv_msg);
        }
        break;
    case 1:
        if (rcv_msg == A_1 || rcv_msg == A_3) {
            address = rcv_msg;
            part = 2;
            // printf("A: 0x%x\n",rcv_msg);
        } else {
            if (rcv_msg == FLAG)
                part = 1;
            else
                part = 0;
        }
        break;
    case 2:
        if (rcv_msg == msg) {
            part = 3;
            // printf("Control: 0x%x\n",rcv_msg);
        } else
            part = 0;
        break;
    case 3:
        if (rcv_msg == (address ^ msg)) {
            part = 4;
            // printf("Control BCC: 0x%x\n",rcv_msg);
        } else
            part = 0;
        break;
    case 4:
        if (rcv_msg == FLAG) {
            part = 5;
            // printf("FINAL FLAG: 0x%x\nReceived
Control\n",rcv_msg);
        } else
            part = 0;
        break;
    default:
        break;
    }
}
return (part == 5) ? 0 : -1;
}

int receive_set(int fd) {
    if (receive_supervision_frame(fd, SET) == 0) {
        printf("Sending UA reply...\n");
        send_supervision_frame(fd, UA, A_3);
    }
    return 0;
}

```

```

int send_set(int fd) {
    //struct timespec start;
    do {
        //clock_gettime(CLOCK_MONOTONIC_RAW, &start);
        if (send_supervision_frame(fd, SET, A_3) == -1) {
            printf("Error writing SET\n");
            continue;
        }
        alarm(TIMEOUT); // activa alarma de 3s
        printf("Sent SET frame\n");
        flag = 0;
        printf("Receiving UA response...\n");
        while (!flag) {
            if (receive_supervision_frame(fd, UA) == 0) {
                retransmit = 0;
                break;
            }
        }

        if (flag)
            printf("Timed Out - Retrying\n");
        //print_elapsed_time(start);

    } while (conta < 4 && flag);

    alarm(RESET_ALARM);

    if (conta == 4) {
        retransmit = 2;
        printf("Gave up\n");
        return -1;
    }

    return 0;
}

int disconnect_writer(int fd) {
    //struct timespec start;
    do {
        //clock_gettime(CLOCK_MONOTONIC_RAW, &start);
        if (send_supervision_frame(fd, DISC, A_3) == -1) {
            printf("Error writing DISC\n");
            continue;
        }
    }
    alarm(TIMEOUT); // activa alarma de 3s
    printf("Sent DISC frame\n");
    flag = 0;
    printf("Receiving DISC response...\n");
    while (!flag) {
        if (receive_supervision_frame(fd, DISC) == 0) {
            retransmit = 0;
            break;
        }
    }
}

```

```

        if (flag)
            printf("Timed Out - Retrying\n");
        //print_elapsed_time(start);

    } while (conta < 4 && flag);

alarm(RESET_ALARM);

if (conta == 4) {
    reetransmit = 2;
    printf("Gave up\n");
    return -1;
}

printf("Sending UA ACK...\n");
return send_supervision_frame(fd, UA, A_1);
}

int disconnect_reader(int fd) {
    //struct timespec start;
    do {
        //clock_gettime(CLOCK_MONOTONIC_RAW, &start);
        alarm(TIMEOUT); // activa alarme de 3s
        flag = 0;
        printf("Receiving DISC from writer...\n");
        while (!flag) {
            if (receive_supervision_frame(fd, DISC) == 0) {
                reetransmit = 0;
                break;
            }
        }
        alarm(RESET_ALARM);
        printf("DISC received, sending DISC..\n");
        if (send_supervision_frame(fd, DISC, A_3) == -1) {
            printf("Error writing DISC\n");
            continue;
        }

        if (flag)
            printf("Timed Out - Retrying\n");
        //print_elapsed_time(start);

    } while (conta < 4 && flag);

    printf("Receiving UA...\n");

    return receive_supervision_frame(fd, UA);
}

int send_acknowledgement(int fd, int frame, int accept) {
    //printf("Sending acknowledgement...\n");
    if (frame == 0) {
        if (accept == 1) {
            // caso seja o frame 0 e seja aceite então pede o frame 1
            send_supervision_frame(fd, C_RR1, A_3);
        } else {

```

```

        send_supervision_frame(fd, C_REJ0, A_3);
    }
} else {
    if (accept == 1) {
        send_supervision_frame(fd, C_RR0, A_3);
    } else {
        send_supervision_frame(fd, C_REJ1, A_3);
    }
}
}
return 0;
}

int llopen(int port, int type) {
    char file[48];
    sprintf(file, "/dev/ttyS%d", port);

    int fd;
    if (type == TRANSMITTER) {
        if ((fd = open_writer(file)) == ERROR) {
            perror("llopen: error on open_writer");
            return ERROR;
        }
        if (send_set(fd) == ERROR) {
            perror("llopen: error sending SET");
            return ERROR;
        }
        return fd;
    }
    else if (type == RECEIVER) {
        if ((fd = open_reader(file)) == ERROR) {
            perror("llopen: error on open_reader");
            return ERROR;
        }
        if (receive_set(fd) == ERROR) {
            perror("llopen: error receiving SET");
            return ERROR;
        }
        return fd;
    }
    perror("llopen: type not valid");
    return ERROR;
}

int llclose(int fd, int type) {
    printf("\nDisconnecting...\n");
    if (type == TRANSMITTER) {
        if (disconnect_writer(fd) == ERROR) {
            perror("llclose: error disconnecting writer: ");
            return ERROR;
        }
        if (close_writer(fd) != ERROR) {
            printf("Writer Successfully Closed!\n");
            return OK;
        }
    } else {
        perror("llclose: writer not closed successfully: ");
        return ERROR;
    }
}

```

```

    }
}

else if (type == RECEIVER) {
    if (disconnect_reader(fd) == ERROR) {
        perror("llclose: error disconnecting reader: ");
        return ERROR;
    }
    if (close_reader(fd) != ERROR) {
        printf("Reader Successfully Closed!\n");
        return OK;
    } else {
        perror("llclose: reader not closed successfully: ");
        return ERROR;
    }
}
return ERROR;
}

int llwrite(int fd, char *buffer, int length) {
    //printf("Sending data...\n");
    // printf("Message: %s\n", buffer);
    //printf("Coding message...\n");
    information_frame_t frame; // to keep everything organized

    frame.address = A_3;

    /* C byte - Controls package, alternating between 0 and 1*/
    frame.control = (current_frame == 0) ? C_I0 : C_I1;

    frame.bcc1 = frame.address ^ frame.control;

    int size_info = length;
    //printf("SENT DATA_SIZE: %d\n", size_info);
    unsigned char *information_frame = (unsigned char *) malloc
(size_info * sizeof(unsigned char));
    unsigned char bcc = 0x00;
    int i = 0, n=0;
    for (int j = 0; j < length; j++) {
        /* Data stuffing and buffer size adjusting*/
        if (buffer[j] == ESCAPE) {
            n++;
            information_frame =
                (unsigned char *)realloc(information_frame,
++size_info);
            information_frame[i++] = ESCAPE;
            information_frame[i++] = ESCAPE_ESC;
        } else if (buffer[j] == FLAG) {
            n++;
            information_frame =
                (unsigned char *)realloc(information_frame,
++size_info);
            information_frame[i++] = ESCAPE;
            information_frame[i++] = ESCAPE_FLAG;
        } else
            information_frame[i++] = buffer[j];
    }
}

```

```

    bcc = buffer[j] ^ bcc;
}
frame.data = information_frame; /* saves the stuffed data-
buffer on the struct */
frame.data_size = i;           /* size of the suffed data-
buffer */
frame.bcc2 = bcc;              /* this BCC2 is not stuffed
yet and it will be displayed *unstuffed* */

/* Saving all data to be transmitted to .raw_bytes */
frame.raw_bytes = (unsigned char *)malloc((frame.data_size +
10));
int j = 0;
frame.raw_bytes[j++] = FLAG;
frame.raw_bytes[j++] = frame.address;
frame.raw_bytes[j++] = frame.control;
frame.raw_bytes[j++] = frame.bcc1;
for (int k = 0; k < frame.data_size; k++) {
    frame.raw_bytes[j++] = frame.data[k];
}
/* BCC2 stuffing*/
if (bcc == ESCAPE) {
    n++;
    frame.raw_bytes[j++] = ESCAPE;
    frame.raw_bytes[j++] = ESCAPE_ESC;
    //printf("STUFFED BCC\n");
} else if (bcc == FLAG) {
    n++;
    frame.raw_bytes[j++] = ESCAPE;
    frame.raw_bytes[j++] = ESCAPE_FLAG;
    //printf("STUFFED BCC\n");
} else
    frame.raw_bytes[j++] = bcc;

frame.raw_bytes[j++] = FLAG;

// ! remove next comment if you want to see the coded message
being written
//print_message(&frame, TRUE);
conta = 1;
int count = -1;
//printf("SENT DATA_SIZE AFTER STUFFING: %d\n", j);
//printf("STUFFED BYTES: %d\n", n);

do {
    if ((count = write(fd, frame.raw_bytes, j)) != ERROR) {
        //printf("Message sent! Waiting for ACK\n");
    } else {
        //printf("Message not sent!\n");
        free(information_frame);
        free(frame.raw_bytes);
        return ERROR;
        // adicionei esta linha, pq caso não escreva corretamente
        // deve retornar -1 para escrever de novo
    }
}

```

```

alarm(TIMEOUT);
flag = 0;

unsigned char ack = receive_acknowledgement(fd);
if (ack == C_REJ0 || ack == C_REJ1) {
    //printf("Received negative ACK\n");
    alarm(RESET_ALARM);
    free(information_frame);
    free(frame.raw_bytes);
    return ERROR;
}
// Retransmission
if ((ack == C_RR0 && current_frame == 0) ||
    (ack == C_RR1 && current_frame == 1)) {
    //printf("Received positive ACK (retransmission)\n");
    alarm(RESET_ALARM);
    // returns error but to the application only means it has
to
    // send the same frame again
    free(information_frame);
    free(frame.raw_bytes);
    return ERROR;
}

if ((ack == C_RR0 && current_frame == 1) ||
    (ack == C_RR1 && current_frame == 0)) {
    //printf("Received positive ACK\n");
    alarm(RESET_ALARM);
    current_frame = (current_frame == 0) ? 1 : 0; // changes
the current frame
    free(information_frame);
    free(frame.raw_bytes);
    return count;
} else {
    //printf("Timed out\nTrying again\n");
    alarm(RESET_ALARM);
}
//printf("Couldn't receive ACK in time\n");
} while (flag && conta < 4);
free(information_frame);
free(frame.raw_bytes);
return ERROR;
}

int llread(int fd, char *buffer) {
    information_frame_t information_frame;
    information_frame.raw_bytes = (unsigned char
*)malloc(sizeof(unsigned char));

    int i = 0;
    int part = 0;
    unsigned char rcv_msg;
    //printf("Reading...\n");

    // * lógica: processar os dados todos em raw bytes, depois
fazer o unstuffing,

```



```

// * e depois fazer o tratamento dos dados

/*
    part 0 - before first flag
    part 1 - between flag start and flag stop
    part 2 - after flag stop */
while (part != 2) {
    read(fd, &rcv_msg, 1);

    if (rcv_msg == FLAG && part == 0) {
        part = 1;
        continue;
    } else if (rcv_msg == FLAG && part == 1) {
        part = 2;
        break;
    }
    information_frame.raw_bytes[i++] = rcv_msg;
    information_frame.raw_bytes = (unsigned char
*)realloc(information_frame.raw_bytes, (i + 1));
}

int data_size = i;
//printf("RECEIVED DATA_SIZE: %d\n",data_size);
if(PROBABILITY_BCC1)
    generateErrorBCC1(information_frame.raw_bytes);
if(PROBABILITY_BCC2)
    generateErrorBCC2(information_frame.raw_bytes,data_size);

if(DELAY>0)
    generateDelay();

/* UNSTUFFING BYTES */
int j = 0, p = 0, n=0;
for (; j < i && p < i; j++) {
    if (information_frame.raw_bytes[p] == ESCAPE) {
        n++;
        --data_size;
        if (information_frame.raw_bytes[p + 1] == ESCAPE_ESC)
            information_frame.raw_bytes[j] = ESCAPE;
        else if (information_frame.raw_bytes[p + 1] ==
ESCAPE_FLAG)
            information_frame.raw_bytes[j] = FLAG;
        p += 2;
    } else {
        information_frame.raw_bytes[j] =
information_frame.raw_bytes[p];
        p++;
    }
}
information_frame.raw_bytes =
(unsigned char *)realloc(information_frame.raw_bytes,
data_size);
//printf("AHHHHHHHHHHH: %d\n",n);
information_frame.data =
(unsigned char *)malloc((data_size - 4) * sizeof(unsigned
char));

```

```

information_frame.address = information_frame.raw_bytes[0];
information_frame.control = information_frame.raw_bytes[1];
information_frame.bcc1 = information_frame.raw_bytes[2];
p = 0;
for (int byte = 3; byte < data_size - 1; byte++) {
    information_frame.data[p++] =
information_frame.raw_bytes[byte];
}
information_frame.bcc2 = information_frame.raw_bytes[data_size
- 1];
information_frame.data_size = data_size - 4;
//printf("DATA_SIZE: %d\n",data_size);

// ! remove *sleep* comments if you want to check what happens
when ACK is not received in time
// ! remove print_message comment if you want to see the data
byte-by-byte
int bccError = verify_message(&information_frame);
if (bccError == ERROR) {
    // sleep(15);
    send_acknowledgement(fd, current_frame, FALSE);
    //print_message(&information_frame, TRUE);
} else {
    // sleep(4);
    send_acknowledgement(fd, current_frame, TRUE);
    current_frame = (current_frame == 0) ? 1 : 0;
    //print_message(&information_frame, TRUE);
}

for (i = 0; i < information_frame.data_size; i++) {
    buffer[i] = information_frame.data[i];
}

free(information_frame.raw_bytes);
free(information_frame.data);
return (bccError == OK) ? information_frame.data_size : ERROR;
}

```

```

data_link.h
#include "utils.h"

/** \addtogroup MACROS
 * @{
 */
#define TRANSMITTER 0
#define RECEIVER 1
#define STOP_AND_WAIT 1
/** @} */

/**
 * \defgroup DATALINKLAYER
 * @{
 */

```

```

/**
 * current I-Frame
 */
static int current_frame = 0;

/**
 * @brief takes file descriptor (port) and sends a code msg in a
supervision frame
 */
int send_supervision_frame(int fd, unsigned char msg, unsigned
char address);

/**
 * receives a supervision frame with controll as msg
 */
int receive_supervision_frame(int fd, unsigned char msg);

/**
 * @brief Receives a ACK frame and returns it's control byte
 */
unsigned char receive_acknowledgement(int fd);

/**
 * @brief Method to send an ACK message
 * Takes a frame number (0, 1) and a flag (0, 1) and sends the
ACK value accordingly
 */
int send_acknowledgement(int fd, int frame, int accept);

/**
 * Reading Fucntion
 * @param fd Serial Port to be read
 */
int receive_set(int fd);

/**
 * @brief This function sends a SET Control frame and expects an
UA
 */
int send_set(int fd);

/**
 * @brief Disconnect method for writer
 * Sends DISC, expects DISC, sends UA to receiver
 */
int disconnect_writer(int fd);

/**
 * @brief Disconnect method for reader
 * Expects DISC, sends DISC, expects UA from emissor
 */
int disconnect_reader(int fd);

/**
 * @brief This function opens a port and starts the connection
 * @param port port number to be open

```

```

    * @param type RECEIVER or TRANSMITTER
    * @return file descriptor for the port
    */
int llopen(int port, int type);

/**
 * @brief Same as llopen but this one disconnects writer or
 * reader and closes the descriptor
 */
int llclose(int fd, int type);

/**
 * @brief Function to write a buffer to a file descriptor
 * This function takes the buffer and sends it through the port,
 * after the byte-stuffing
 * @returns -1 if error or number of bytes written for success
 */
int llwrite(int fd, char *buffer, int length);

/**
 * @brief Function to read a buffer from a file descriptor
 * This function reads a buffer from the port and returns the
 * number
 * @returns -1 if error or number of bytes read for success
 */
int llread(int fd, char *buffer);

/** @} */

```

files.c

```

#include "files.h"

unsigned long get_file_size(FILE* f) {
    fseek(f, 0, SEEK_END); // seek to end of file
    unsigned long size = ftell(f); // get current file pointer
    fseek(f, 0, SEEK_SET); // seek back to beginning of file
    // proceed with allocating memory and reading the file
    return size;
}

unsigned char* read_file(FILE* f, unsigned long filesize) {
    unsigned char* data = (unsigned char*) malloc (filesize);
    fread(data, sizeof(unsigned char), filesize, f);
    return data;
}

unsigned char* split_file(unsigned char* data, unsigned long
index_start, unsigned long index_end) {
    int range = index_end - index_start + 1;
    unsigned char* frame = (unsigned char*) malloc (range);

    for (int k = 0; k < range; k++) {
        frame[k] = data[index_start + k];
    }

    return frame;
}

```

```

}

void join_file(unsigned char* data, unsigned char* frame,
unsigned long size, int index) {
    for (int j = 0; j < size; j++) {
        data[index + j] = frame[j];
    }
}

void write_file(char* name, unsigned char* bytes, unsigned long
size) {
    FILE *fh = fopen (name, "wb");
    if (fh != NULL) {
        fwrite (bytes, sizeof (unsigned char), size, fh);
        fclose (fh);
    }
}

```

files.h

```

#include "macros.h"

/**
 * \addtogroup APPLICATIONLAYER
 * @{
 */

/**
 * @brief Method to calculate file's size in bytes
 */
unsigned long get_file_size(FILE* f);

/**
 * @brief Method to read all the bytes from a file
 */
unsigned char* read_file(FILE* f, unsigned long filesize);

/**
 * @brief Method to split a file's data
 * This method takes the data array, containing the file's data
 and returns the data from
 * index_start to index_end
 */
unsigned char* split_file(unsigned char* data, unsigned long
index_start, unsigned long index_end);

/**
 * @brief Method to join a frame to the data buffer
 * This method joins the frame to the data, starting on the
 position given by index
 */
void join_file(unsigned char* data, unsigned char* frame,
unsigned long size, int index);

/**
 * @brief Method to write bytes to a file with a given name
 */

```

```
void write_file(char* name, unsigned char* bytes, unsigned long
size);
```

```
/** @} */
```

```
macros.h
```

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>
#include <termios.h>
#include <time.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <signal.h>
#include <string.h>
#include <errno.h>
```

```
/** \addtogroup MACROS
 * @{
 */
```

```
#define BAUDRATE          B38400
#define MODEMDEVICE       "/dev/ttyS1"
#define _POSIX_SOURCE     1 /**< @brief POSIX compliant source */
#define FALSE            0
#define TRUE             1
#define OK                0
#define ERROR            -1
#define TRIES            3
#define TIMEOUT          3
#define RESET_ALARM      0
```

```
// Mesh Macros
```

```
#define FLAG              0x7E
#define A_3               0x03 /**< @brief Address for commands
given by the emissor and responses by the receiver */
#define A_1               0x01 /**< @brief Address for commands
given by the receiver and responses by the emissor */
#define SET               0x03
#define UA                0x07
#define DISC              0x0B
#define SET_BCC           A ^ SET
#define UA_BCC            A ^ UA
```

```
// Control Macros (there is another way of defining them)
```

```
#define C_I0              0x00 /**< @brief Control Flag for
Information Frame 0 */
#define C_I1              0x40 /**< @brief Control Flag for
Information Frame 1 */
#define C_RR0             0x05 /**< @brief Control Flag for ACK
Frame 0 */
#define C_RR1             0x85 /**< @brief Control Flag for ACK
Frame 1 */
```

```

#define C_REJ0          0x01  /**< @brief Control Flag for NACK
Frame 0 */
#define C_REJ1          0x81  /**< @brief Control Flag for NACK
Frame 1 */

//Byte Stuffing
#define ESCAPE          0x7D
#define ESCAPE_ESC      0x5D
#define ESCAPE_FLAG      0x5E

// packet Macros
#define DATA            0x1
#define START            0x2
#define STOP             0x3
#define FILE_SIZE        0x0
#define FILE_NAME        0x1
#define PACKET_SIZE      1024 /**< @brief Maximum packet size in
bytes */

// Progress Bar Macros
#define PROGRESS_BAR_SIZE 30
#define SEPARATOR_CHAR   '#'
#define EMPTY_CHAR       '.'
#define NUM_BACKSPACES    PROGRESS_BAR_SIZE + 9

// Error generating Macros
#define PROBABILITY_BCC1  0
#define PROBABILITY_BCC2  0
#define DELAY             0

/** @} */

noncanonical.c
/*Non-Canonical Input Processing*/
#include "noncanonical.h"

extern int retransmit;
static struct termios oldtio;
static struct termios newtio;

int open_reader(char *port) {
    int fd;

    /* top layer does the verification of the port name */

    /*
        Open serial port device for reading and writing and not as
        controlling tty
        because we don't want to get killed if linenoise sends CTRL-
        C.
    */

    fd = open(port, O_RDWR | O_NOCTTY);
    if (fd < 0) {
        perror(port);
        return -1;
    }

```

```

    }

    if (tcgetattr(fd, &oldtio) == -1) { /* save current port
settings */
        perror("tcgetattr");
        return -1;
    }

    bzero(&newtio, sizeof(newtio));
    newtio.c_cflag = BAUDRATE | CS8 | CLOCAL | CREAD;
    newtio.c_iflag = IGNPAR;
    newtio.c_oflag = 0;

    /* set input mode (non-canonical, no echo,...) */
    newtio.c_lflag = 0;

    newtio.c_cc[VTIME] = 1; /* inter-character timer unused */
    newtio.c_cc[VMIN] = 0; /* blocking read until 1 chars
received */

    /*
    VTIME e VMIN devem ser alterados de forma a proteger com um
temporizador a
    leitura do(s) proximo(s) caracter(es)
    */

    tcflush(fd, TCIOFLUSH);

    if (tcsetattr(fd, TCSANOW, &newtio) == -1) {
        perror("tcsetattr");
        return -1;
    }
    printf("New termios structure set\n");

    return fd;
}

int close_reader(int fd) {
    if (tcsetattr(fd, TCSANOW, &oldtio) == -1) {
        perror("tsetattr");
        return -1;
    }
    close(fd);
    return 0;
}

noncanonical.h
#include "macros.h"

/**
 * \addtogroup DATALINKLAYER
 * @{
 */

/**
 * @brief Opens the reader

```



```

    */
int open_reader(char *port);

/**
 * @brief Reset and close the reader
 */
int close_reader(int fd);

/** @} */

utils.c
#include "utils.h"

control_packet_t parse_control_packet(unsigned char *raw_bytes,
int size) {
    control_packet_t packet;
    memset(&packet, 0, sizeof(control_packet_t));
    packet.control = raw_bytes[0];

    char *name;
    int namesize = 0;

    unsigned char* filesize;
    int filesize_size = 0;

    for (int i = 1; i < size; i++) {
        if (raw_bytes[i] == FILE_SIZE) {
            int length = raw_bytes[++i];
            int offset = i + length;
            filesize = (unsigned char*) malloc (length);
            for (int k = 0; k < offset; k++) {
                filesize[k] = raw_bytes[++i];
                filesize_size++;
            }
            continue;
        }
        if (raw_bytes[i] == FILE_NAME) {
            int length = raw_bytes[++i];
            name = (unsigned char *) malloc (length);
            int offset = i + length;
            for (int j = 0; j < offset; j++) {
                name[j++] = raw_bytes[++i];
                namesize++;
            }
            continue;
        }
    }

    packet.file_name = (unsigned char*) malloc (namesize + 1);
    memcpy(packet.file_name, name, namesize);
    packet.file_name[namesize] = '\0';
    free(name);

    packet.filesize_size = filesize_size;
    packet.file_size = (unsigned char*) malloc (filesize_size);
    memcpy(packet.file_size, filesize, filesize_size);

```

```

    free(filesize);

    return packet;
}

data_packet_t parse_data_packet(unsigned char *raw_bytes, int
size) {
    data_packet_t packet;
    memset(&packet, 0, sizeof(data_packet_t));
    packet.raw_bytes_size = size;
    packet.control = raw_bytes[0];
    packet.sequence = raw_bytes[1];

    packet.data_field_size = (raw_bytes[2] << 8) | raw_bytes[3];

    for (int i = 0; i < packet.data_field_size; i++) {
        packet.data[i] = raw_bytes[4 + i];
    }

    return packet;
}

void print_control_packet(control_packet_t* packet) {
    printf("\n---- CONTROL PACKET ----\n");
    switch (packet->control) {
    case START:
        printf("Control: START (0x%x)\n", packet->control);
        break;
    case STOP:
        printf("Control: STOP (0x%x)\n", packet->control);
        break;
    default:
        break;
    }

    printf("Size: %ld %#lx\n", array_to_number(packet->file_size,
packet->filesize_size), array_to_number(packet->file_size,
packet->filesize_size));
    printf("Name: %s\n", packet->file_name);
    printf("-----\n");
}

void print_data_packet(data_packet_t* packet, int full_info) {
    printf("---- DATA PACKET ----\n");
    printf("Control: - (0x%x)\n", packet->control);
    printf("Data size: %d (0x%x)\n", packet->data_field_size,
packet->data_field_size);
    printf("Sequence: %d (0x%x)\n", packet->sequence, packet-
>sequence);

    if (full_info) {
        for (int i = 0; i < packet->data_field_size; i++) {
            printf("DATA[%d]: %c (0x%x)\n", i, packet->data[i],
packet->data[i]);
        }
    }
}

```

```

    printf("-----\n");
}

void print_message(information_frame_t* frame, int stuffed) {
    printf("Address: 0x%x\n", frame->address);
    printf("Control: 0x%x\n", frame->control);
    printf("BCC1: 0x%x\n", frame->bcc1);
    int j = 0;
    for (int i = 0; i < frame->data_size; i++) {
        if (frame->data[i] == ESCAPE && stuffed) {
            printf("DATA[%d]: 0x%x - ESCAPE\n", j++, frame->data[i++]);
            if (frame->data[i] == ESCAPE_ESC) {
                printf("DATA[%d]: 0x%x - ESCAPED ESCAPE\n", j++, frame->data[i]);
            } else if (frame->data[i] == ESCAPE_FLAG) {
                printf("DATA[%d]: 0x%x - ESCAPED FLAG\n", j++, frame->data[i]);
            } else {
                printf("DATA[%d]: 0x%x - %c (char)\n", j++, frame->data[i], frame->data[i]);
            }
        }
        printf("BCC2: 0x%x\n", frame->bcc2);
        printf("Message: %s - size: %d - strlen: %ld\n", frame->data, frame->data_size, strlen(frame->data));
    }

    int verify_message(information_frame_t* frame) {
        if (frame->bcc1 != (frame->control ^ frame->address)) {
            printf("Error in BCC1\n");
            return ERROR;
        }
        unsigned char bcc2 = 0x00;
        //printf("BCC2: 0x%x\tFRAME: 0x%x\tFRAME BCC2: 0x%x\n", bcc2, frame->data[0], frame->bcc2);
        for (int i = 0; i < frame->data_size; i++) {
            //printf("BCC2: 0x%x\tFRAME: 0x%x\n", bcc2, frame->data[i]);
            bcc2 ^= frame->data[i];
        }

        if (bcc2 != frame->bcc2) {
            printf("BCC2: 0x%x\tFRAME BCC2: 0x%x FRAME_DATA_SIZE: %d\n", bcc2, frame->bcc2, frame->data_size);
            printf("Error in BCC2\n");
            return ERROR;
        }

        return OK;
    }

    void clearProgressBar() {
        int i;

```

```

        for (i = 0; i < NUM_BACKSPACES; ++i) {
            fprintf(stdout, "\b");
        }
        fflush(stdout);
    }

void printProgressBar(int progress, int total) {
    int i, percentage = (int)((double)progress / total) *
100);
    int num_separators = (int)((double)progress / total) *
PROGRESS_BAR_SIZE);
    fprintf(stdout, "[");
    for (i = 0; i < num_separators; ++i) {
        fprintf(stdout, "%c", SEPARATOR_CHAR);
    }
    for (; i < PROGRESS_BAR_SIZE; ++i) {
        fprintf(stdout, "%c", EMPTY_CHAR);
    }
    fprintf(stdout, "] %2d%% ", percentage);
    fflush(stdout);
}

void print_elapsed_time(struct timespec start) {
    struct timespec end;
    clock_gettime(CLOCK_MONOTONIC_RAW, &end);
    double delta = (end.tv_sec - start.tv_sec) * 1000.0 +
                    (end.tv_nsec - start.tv_nsec) / 1000000.0;
    printf("Elapsed time: %f ms\n\n", delta);
}

unsigned long array_to_number(unsigned char* buffer, unsigned
int size) {
    unsigned long value = 0;
    int offset = 0;
    for (int i = 0; i < size; i++) {
        value |= buffer[i] << (8 * offset++);
    }

    return value;
}

unsigned int number_to_array(unsigned long num, unsigned char*
buffer) {
    unsigned int size = 0;

    for (int i = 0; i < sizeof(unsigned long); i++) {
        buffer[i] = (num >> (8 * i)) & 0xff;
        size += 1;
    }
    for (int i = sizeof(unsigned long) - 1; i != 0; i--) {
        if (buffer[i] != 0) break;
        size--;
    }

    return size;
}

```

```

}

void generateErrorBCC2(unsigned char *frame, int frameSize){
    int prob = (rand() % 100) + 1;

    if (prob <= PROBABILITY_BCC2){
        int i = (rand() % (frameSize - 5)) + 4; /* only considering
data and BCC2*/
        unsigned char randomAscii = (unsigned char)((rand() % 177));
        frame[i] = randomAscii;
    }
}

void generateErrorBCC1(unsigned char *frame){
    int prob = (rand() % 100) + 1;
    if (prob <= PROBABILITY_BCC1)
    {
        int i = (rand() % 2);
        unsigned char randomAscii = (unsigned char)((rand() % 177));
        frame[i] = randomAscii;
    }
}

void generateDelay() {
    usleep(DELAY*1e6);
}

control_packet_t generate_control_packet(int control, file_t*
file) {
    control_packet_t c_packet;
    c_packet.control = control;
    c_packet.file_name = file->name;

    unsigned char buf[sizeof(unsigned long)];
    int num = number_to_array(file->size, buf);

    c_packet.file_size = (unsigned char *)malloc(num);
    memcpy(c_packet.file_size, buf, num);
    c_packet.filesize_size = num;

    int i = 0;
    // control packet
    c_packet.raw_bytes = (unsigned char *)malloc(i + 1);
    c_packet.raw_bytes[i++] = c_packet.control;
    c_packet.raw_bytes = (unsigned char
*)realloc(c_packet.raw_bytes, (i + 1));
    // file size
    c_packet.raw_bytes[i++] = FILE_SIZE;
    c_packet.raw_bytes = (unsigned char
*)realloc(c_packet.raw_bytes, (i + 1));
    c_packet.raw_bytes[i++] = c_packet.filesize_size;

    for (int j = 0; j < c_packet.filesize_size; j++) {

```

```

        c_packet.raw_bytes = (unsigned char
*)realloc(c_packet.raw_bytes, (i + 1));
        c_packet.raw_bytes[i++] = c_packet.file_size[j];
    }
    c_packet.raw_bytes = (unsigned char
*)realloc(c_packet.raw_bytes, (i + 1));
    // file name
    c_packet.raw_bytes[i++] = FILE_NAME;
    c_packet.raw_bytes = (unsigned char
*)realloc(c_packet.raw_bytes, (i + 1));
    c_packet.raw_bytes[i++] = strlen(c_packet.file_name);
    c_packet.raw_bytes = (unsigned char
*)realloc(c_packet.raw_bytes, (i + 1));
    for (int j = 0; j < strlen(c_packet.file_name); j++) {
        c_packet.raw_bytes[i++] = c_packet.file_name[j];
        c_packet.raw_bytes = (unsigned char
*)realloc(c_packet.raw_bytes, (i + 1));
    }

    c_packet.raw_bytes_size = i;
    return c_packet;
}

data_packet_t generate_data_packet(unsigned char *buffer, int
size, int sequence) {
    data_packet_t d_packet;
    d_packet.control = DATA;
    d_packet.data_field_size = size;
    d_packet.sequence = sequence;

    int i = 0;
    // control
    d_packet.raw_bytes = (unsigned char *)malloc(i + 1);
    d_packet.raw_bytes[i++] = d_packet.control;
    d_packet.raw_bytes = (unsigned char
*)realloc(d_packet.raw_bytes, (i + 1));
    // sequence
    d_packet.raw_bytes[i++] = d_packet.sequence;
    d_packet.raw_bytes = (unsigned char
*)realloc(d_packet.raw_bytes, (i + 1));
    // size
    unsigned int x = (unsigned int)size;
    unsigned char high = (unsigned char)(x >> 8);
    unsigned char low = x & 0xff;
    d_packet.raw_bytes[i++] = high;
    d_packet.raw_bytes = (unsigned char
*)realloc(d_packet.raw_bytes, (i + 1));
    d_packet.raw_bytes[i++] = low;
    d_packet.raw_bytes = (unsigned char
*)realloc(d_packet.raw_bytes, (i + 1));
    // data
    for (int j = 0; j < size; j++) {
        d_packet.data[j] = buffer[j];
        d_packet.raw_bytes[i++] = buffer[j];
        d_packet.raw_bytes = (unsigned char
*)realloc(d_packet.raw_bytes, (i + 1));
    }

```

```

    }

    d_packet.raw_bytes_size = i;
    return d_packet;
}

utils.h
#include "macros.h"
#include "writenoncanonical.h"
#include "noncanonical.h"
#include "app_structs.h"

/**
 * \addtogroup UTILS
 * @{
 */

/**
 * @brief This function parses a buffer of raw bytes to a
control_packet_t
 * structure
 *
 * This method takes the raw_bytes and parses them into a
control packet
 */
control_packet_t parse_control_packet(unsigned char *raw_bytes,
int size);

/**
 * @brief This function parses a buffer of raw bytes to a
data_packet_t
 * structure
 *
 * This method takes the raw_bytes and parses them into a data
packet
 */
data_packet_t parse_data_packet(unsigned char *raw_bytes, int
size);

/**
 * @brief This function pretty-prints a control packet
 */
void print_control_packet(control_packet_t* packet);

/**
 * @brief This function pretty-prints a data packet
 */
void print_data_packet(data_packet_t* packet, int full_info);

/**
 * @brief Method to pretty-print the elapsed time between two
frames
 */
void print_elapsed_time(struct timespec start);

/**

```

```

    * @brief Method to verify an I-Frame
    *
    * Checks if there are errors on the BCC bytes
    * @returns 0 if no error or -1 for error
    */
int verify_message(information_frame_t* frame);

// Créditos ao grupo 4 da turma 3

/**
 * @brief Method to clear progress bar
 */
void clearProgressBar();
/**
 * @brief Method to print the progress bar
 */
void printProgressBar(int progress, int total);

/**
 * @brief Method to pretty-print an information frame details
 */
void print_message(information_frame_t* frame, int coded);

/**
 * @brief takes an array with length size, and converts it to an
8byte number
 *
 * array[0] = MSB ; array[size - 1] = LSB
 */
unsigned long array_to_number(unsigned char* buffer, unsigned
int size);

/**
 * @brief Method to convert a 8byte number into an 8 byte char
array
 *
 * array[0] = MSB ; array[return - 1] = LSB
 * @return array's size
 */
unsigned int number_to_array(unsigned long num, unsigned char*
buffer);

/**
 * @brief Method to generate error in BCC2
 *
 */
void generateErrorBCC2(unsigned char *frame, int frameSize);

/**
 * @brief Method to generate error in BCC1
 *
 */
void generateErrorBCC1(unsigned char *checkBuffer);

/**

```



```

    * @brief Method to generate delay in processing of received
    frame
    */
void generateDelay();
/**
 * @brief Method to generate a control packet (START or STOP)
 * @return control_packet_t structure
 */
control_packet_t generate_control_packet(int control, file_t*
file);

/**
 * @brief Method to generate a data packet
 *
 * This method takes a buffer with a given size and a sequence
    number and generates
 * a data_packet_t structure
 * @return data_packet_t structure
 */
data_packet_t generate_data_packet(unsigned char *buffer, int
size, int sequence);

/** @} */

```

writenoncanonical.c

```

/*Non-Canonical Input Processing*/
#include "writenoncanonical.h"

int flag = 1, conta = 1;
extern int retransmit;
static struct termios oldtio;
static struct termios newtio;

void atende() { // atende alarme
    printf("alarme # %d\n", conta);
    flag = 1;
    conta++;
}

int open_writer(char *port) {
    /* top level layer should verifiy ports name */

    /*
        Open serial port device for reading and writing and
        not as controlling
        tty
        because we don't want to get killed if linenoise sends
        CTRL-C.
    */

    int fd = open(port, O_RDWR | O_NOCTTY);
    if (fd < 0) {
        perror(port);
        return -1;
    }
}

```

```

if (tcgetattr(fd, &oldtio) == -1) {
    /* save current port settings */
    perror("tcgetattr");
    return -1;
}

bzero(&newtio, sizeof(newtio));
newtio.c_cflag = BAUDRATE | CS8 | CLOCAL | CREAD;
newtio.c_iflag = IGNPAR;
newtio.c_oflag = 0;

/* set input mode (non-canonical, no echo,...) */
newtio.c_lflag = 0;

newtio.c_cc[VTIME] = TIMEOUT; /* inter-character timer unused
*/
newtio.c_cc[VMIN] = 0;        /* blocking read 1 char received
*/

/*
    VTIME e VMIN devem ser alterados de forma a proteger
com um
    temporizador a
    leitura do(s) pr◊ximo(s) caracter(es)
*/

tcflush(fd, TCIOFLUSH);

if (tcsetattr(fd, TCSANOW, &newtio) == -1) {
    perror("tcsetattr");
    return -1;
}
/*struct sigaction action;
    sigemptyset(&action.sa_mask);
    action.sa_handler = atende;
    action.sa_flags = 0;
    sigaction(SIGALRM, &action, NULL);*/ // instala rotina que
atende interrupcao
    signal(SIGALRM, atende);
    siginterrupt(SIGALRM, 1);
    printf("New termios structure set\n");

    return fd;
}

int close_writer(int fd) {
    if (tcsetattr(fd, TCSANOW, &oldtio) == -1) {
        perror("tcsetattr");
        return -1;
    }

    close(fd);
    return 0;
}

```

```
writenoncanonical.h
#include "macros.h"

/**
 * \addtogroup DATALINKLAYER
 * @{
 */

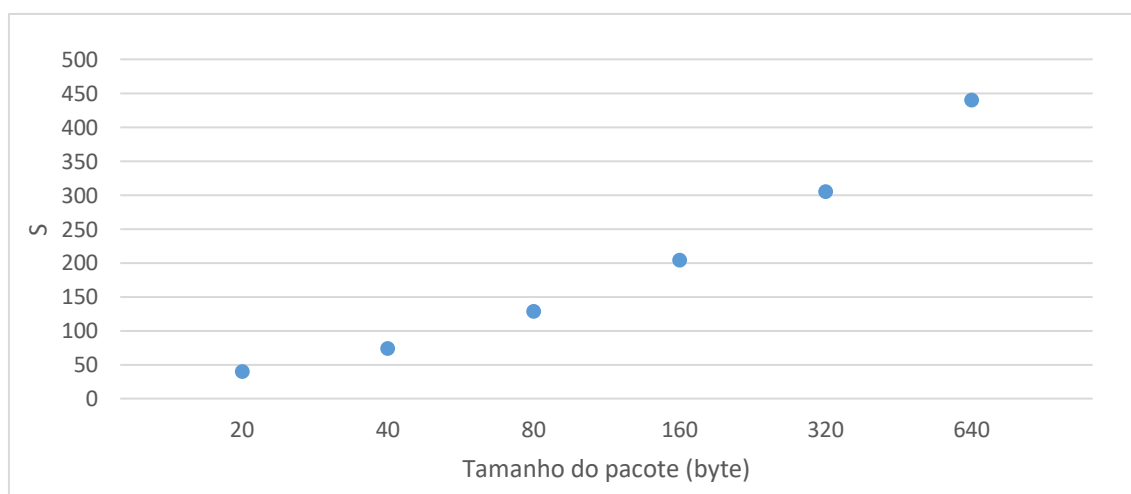
/**
 * function to open and set port
 */
int open_writer(char *port);

/**
 * function to reset and close port
 */
int close_writer(int fd);

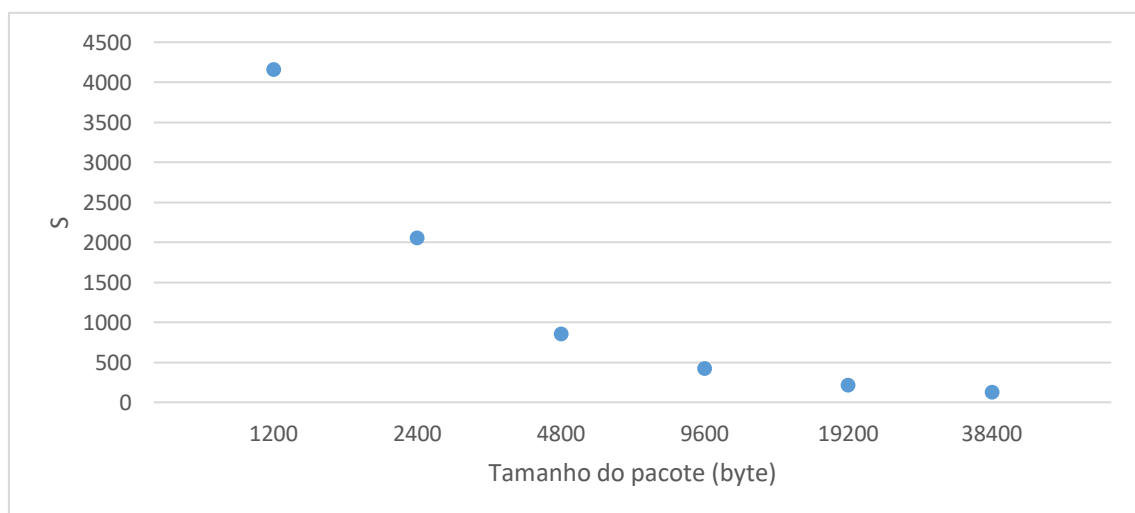
/** @} */
```

Anexo II – Resultados em Ambiente Emulado (socat)

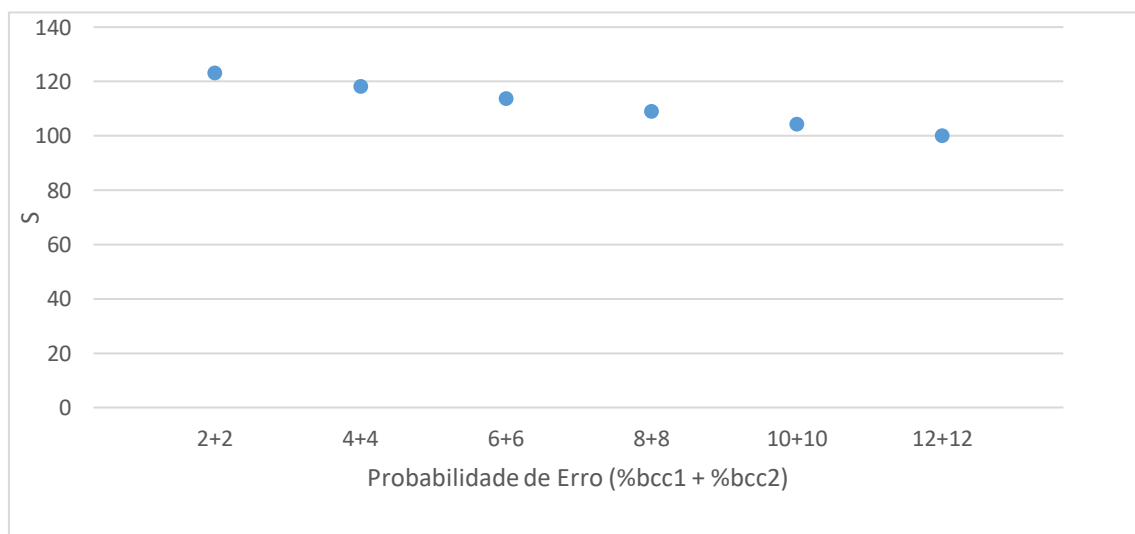
| N ^a de bytes | 3309702 | | | |
|--------------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|
| Baudrate | 38400 | | | |
| Tamanho do pacote (byte) | Tempo (s) | R (bits/s) | S (R/C) | S (média) |
| 10 | 32.8775408250 | 805340.5253 | 20.97240951 | 20.90135027 |
| | 33.093777789 | 800078.3739 | 20.83537432 | |
| | 32.99734114 | 802416.6519 | 20.89626698 | |
| 20 | 17.32165967 | 1528584.241 | 39.80688127 | 40.1104848 |
| | 16.86313914 | 1570147.514 | 40.88925819 | |
| | 17.39663861 | 1521996.093 | 39.63531492 | |
| 40 | 9.369149916 | 2826042.516 | 73.59485718 | 73.28307749 |
| | 9.510464306 | 2784050.825 | 72.50132358 | |
| | 9.349053823 | 2832117.185 | 73.7530517 | |
| 80 | 5.285104169 | 5009856.978 | 130.4650255 | 128.4879281 |
| | 5.440654181 | 4866623.593 | 126.7349894 | |
| | 5.375806843 | 4925328.75 | 128.2637695 | |
| 160 | 3.409024421 | 7766918.84 | 202.2635114 | 203.6454566 |
| | 3.34785441 | 7908831.376 | 205.9591504 | |
| | 3.401453491 | 7784206.39 | 202.7137081 | |
| 320 | 2.264595292 | 11691985.8 | 304.4787969 | 304.5733374 |
| | 2.263796473 | 11696111.52 | 304.5862374 | |
| | 2.263285685 | 11698751.15 | 304.6549777 | |
| 640 | 1.564099827 | 16928341.49 | 440.8422264 | 439.7445045 |
| | 1.585893333 | 16695710.52 | 434.7841281 | |
| | 1.554351042 | 17034514.91 | 443.6071591 | |



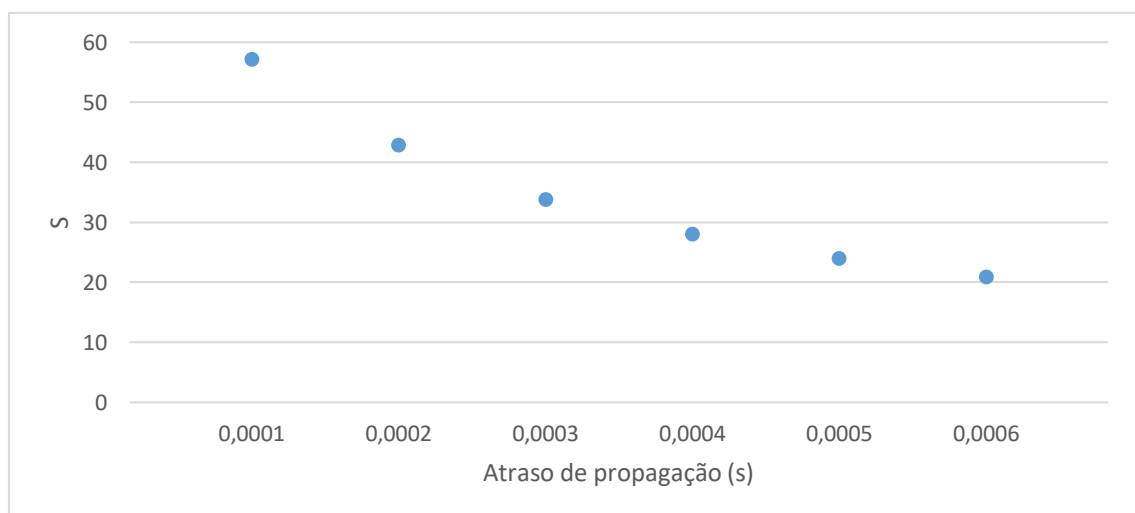
| | | | | |
|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| N ^a de bytes | 3309702 | | | |
| Tamanho do pacote (byte) | 80 | | | |
| Baudrate | Tempo (s) | R (bits/s) | S (R/C) | S (média) |
| 600 | 5.446173493 | 4861691.614 | 8102.819357 | 8107.761492 |
| | 5.458661425 | 4850569.387 | 8084.282311 | |
| | 5.423840766 | 4881709.686 | 8136.182809 | |
| 1200 | 5.330546552 | 4967148.442 | 4139.290368 | 4154.306764 |
| | 5.303102648 | 4992853.761 | 4160.711467 | |
| | 5.300291184 | 4995502.149 | 4162.918458 | |
| 2400 | 5.399015633 | 4904156.202 | 2043.398417 | 2051.796341 |
| | 5.406818799 | 4897078.483 | 2040.449368 | |
| | 5.325667571 | 4971698.974 | 2071.541239 | |
| 4800 | 5.41531813 | 4889392.528 | 1018.623443 | 849.2492831 |
| | 5.315436942 | 4981268.01 | 1037.764169 | |
| | 5.423690153 | 4881845.248 | 1017.051093 | |
| 9600 | 5.386113534 | 4915903.802 | 512.0733127 | 423.3129352 |
| | 5.486924366 | 4825584.286 | 502.6650298 | |
| | 5.391246562 | 4911223.35 | 511.5857656 | |
| 19200 | 5.393457829 | 4909209.794 | 255.6880101 | 211.1797406 |
| | 5.45962937 | 4849709.423 | 252.5890324 | |
| | 5.444188029 | 4863464.645 | 253.3054503 | |
| 38400 | 5.401877541 | 4901557.986 | 127.6447392 | 128.2127245 |
| | 5.35097642 | 4948184.018 | 128.8589588 | |
| | 5.405191045 | 4898553.22 | 127.5664901 | |



| | | | | |
|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| N ^a de bytes | 3309702 | | | |
| Tamanho do pacote (byte) | 80 | | | |
| Baudrate | 38400 | | | |
| Probabilidade de Erro (%bcc1 + %bcc2) | Tempo (s) | R (bits/s) | S (R/C) | S (méd) |
| 0+0 | 5.414071622 | 4890518.236 | 127.3572457 | 127.4972028 |
| | 5.393290746 | 4909361.881 | 127.8479656 | |
| | 5.417085144 | 4887797.643 | 127.286397 | |
| 2+2 | 5.6371184 | 4697012.573 | 122.3180358 | 123.1284581 |
| | 5.631430171 | 4701756.96 | 122.4415875 | |
| | 5.532734958 | 4785628.844 | 124.6257511 | |
| 4+4 | 5.789007976 | 4573774.317 | 119.1087062 | 118.2651449 |
| | 5.833020275 | 4539263.495 | 118.2099868 | |
| | 5.869427772 | 4511106.879 | 117.4767416 | |
| 6+6 | 6.022460681 | 4396478.018 | 114.4916151 | 113.8404209 |
| | 6.134936291 | 4315874.647 | 112.3925689 | |
| | 6.014818748 | 4402063.821 | 114.6370787 | |
| 8+8 | 6.39647259 | 4139408.968 | 107.7971085 | 108.9957732 |
| | 6.310871105 | 4195556.455 | 109.2592827 | |
| | 6.272313527 | 4221347.655 | 109.9309285 | |
| 10+10 | 6.631386477 | 3992772.264 | 103.9784444 | 104.3675619 |
| | 6.620821271 | 3999143.749 | 104.1443685 | |
| | 6.568128069 | 4031227.12 | 104.9798729 | |
| 12+12 | 6.995931339 | 3784716.39 | 98.56032265 | 100.1615929 |
| | 6.859194174 | 3860164.23 | 100.5251102 | |
| | 6.800056194 | 3893734.882 | 101.3993459 | |

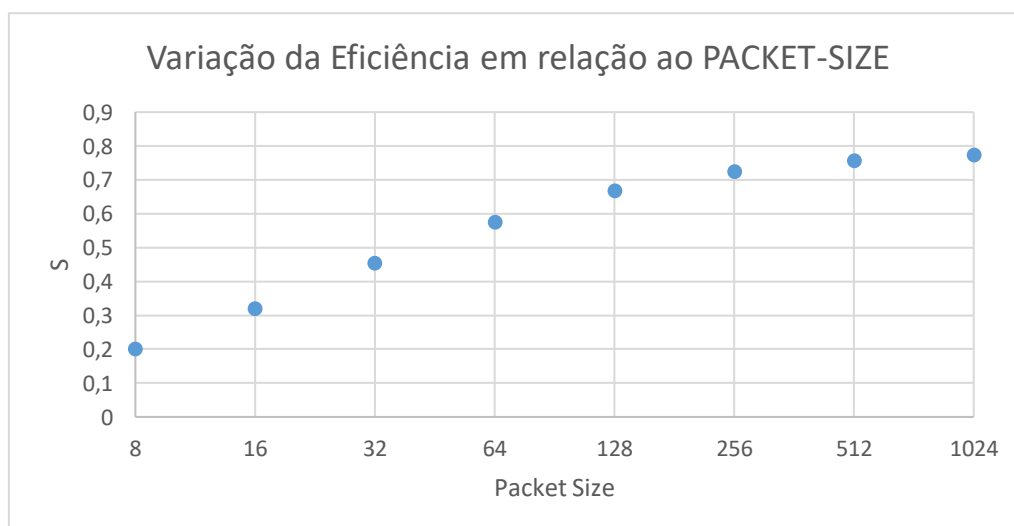


| | | | | |
|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| N ^a de bytes | 3309702 | | | |
| Tamanho do pacote (byte) | 80 | | | |
| Baudrate | 38400 | | | |
| Atraso de propagação (s) | Tempo (s) | R (bits/s) | S (R/C) | S (média) |
| 0 | 5.413779014 | 4890782.563 | 127.3641292 | 127.8881822 |
| | 5.340016754 | 4958339.5 | 129.1234245 | |
| | 5.421745195 | 4883596.526 | 127.1769929 | |
| 0.0001 | 11.99577542 | 2207245.056 | 57.48034001 | 57.07580946 |
| | 12.08446702 | 2191045.41 | 57.05847421 | |
| | 12.1633111 | 2176842.783 | 56.68861415 | |
| 0.0002 | 16.02523687 | 1652244.907 | 43.02721111 | 42.81513049 |
| | 16.12719695 | 1641799.011 | 42.75518258 | |
| | 16.16204407 | 1638259.114 | 42.66299777 | |
| 0.0003 | 20.40006409 | 1297918.275 | 33.79995509 | 33.77263124 |
| | 20.40083658 | 1297869.129 | 33.79867523 | |
| | 20.44888234 | 1294819.715 | 33.7192634 | |
| 0.0004 | 24.63699705 | 1074709.549 | 27.98722785 | 27.98460174 |
| | 24.66738437 | 1073385.634 | 27.95275088 | |
| | 24.61360465 | 1075730.937 | 28.0138265 | |
| 0.0005 | 28.84104608 | 918053.2471 | 23.90763664 | 23.92054387 |
| | 28.85447256 | 917626.0611 | 23.89651201 | |
| | 28.78103895 | 919967.3455 | 23.95748296 | |
| 0.0006 | 33.12978908 | 799208.7101 | 20.81272683 | 20.84779124 |
| | 33.0878775 | 800221.0476 | 20.83908978 | |
| | 33.00478017 | 802235.7933 | 20.89155712 | |

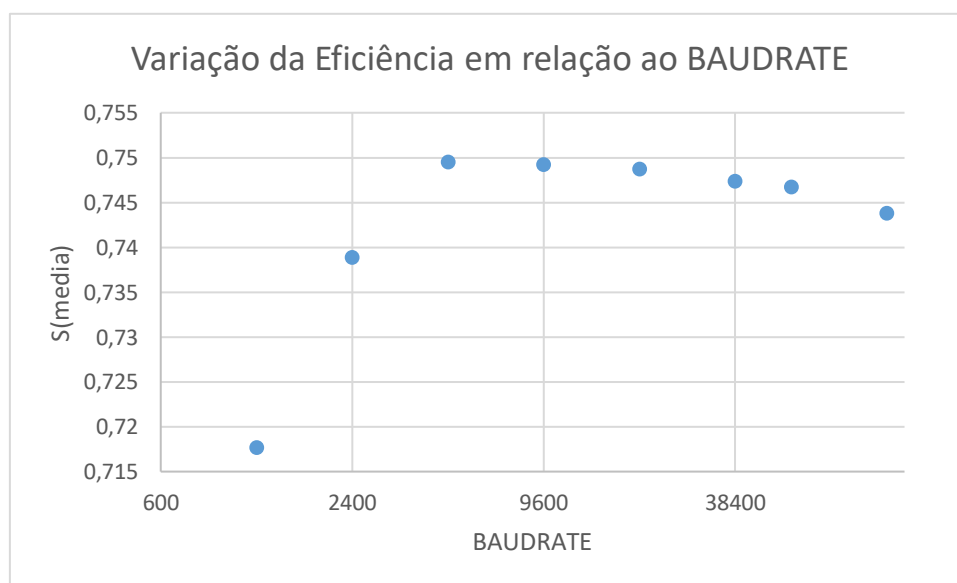


Anexo III – Resultados em ambiente de Laboratório

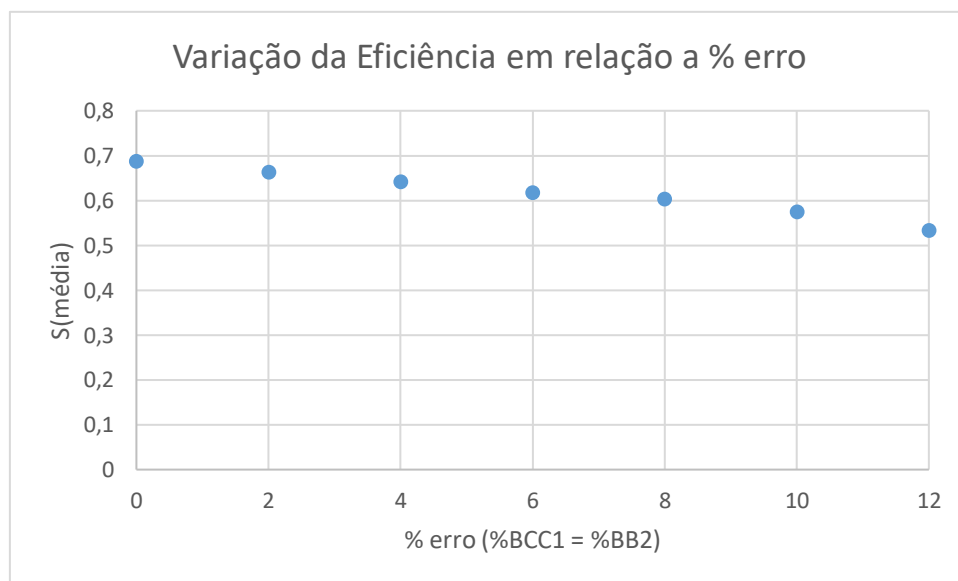
| Nº Bytes | 10968 | | | | |
|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Baudrate | 38400 | | | | |
| Tamanho do Pacote (byte) | Tempo (ms) | Tempo (s) | R (bits/s) | S (R/C) | S(media) |
| 8 | 11441.99315 | 11.44199315 | 7668.594 | 0.199702969 | 0.199653671 |
| | 11443.30931 | 11.44330931 | 7667.711993 | 0.19968 | |
| | 11449.15523 | 11.44915523 | 7663.796868 | 0.199578043 | |
| 16 | 7182.167579 | 7.182167579 | 12216.92463 | 0.318149079 | 0.318124175 |
| | 7183.123636 | 7.183123636 | 12215.29859 | 0.318106734 | |
| | 7182.898328 | 7.182898328 | 12215.68175 | 0.318116712 | |
| 32 | 5046.919794 | 5.046919794 | 17385.65374 | 0.4527514 | 0.45270126 |
| | 5047.566454 | 5.047566454 | 17383.42641 | 0.452693396 | |
| | 5047.950162 | 5.047950162 | 17382.10505 | 0.452658986 | |
| 64 | 3982.716447 | 3.982716447 | 22031.19433 | 0.573729019 | 0.573665759 |
| | 3984.113762 | 3.984113762 | 22023.46751 | 0.5735278 | |
| | 3982.637038 | 3.982637038 | 22031.6336 | 0.573740458 | |
| 128 | 3424.833772 | 3.424833772 | 25619.92956 | 0.667185666 | 0.667127015 |
| | 3425.187519 | 3.425187519 | 25617.28358 | 0.66711676 | |
| | 3425.383353 | 3.425383353 | 25615.81901 | 0.66707862 | |
| 256 | 3156.71057 | 3.15671057 | 27796.02312 | 0.723854769 | 0.723826016 |
| | 3157.141282 | 3.157141282 | 27792.23106 | 0.723756017 | |
| | 3156.656095 | 3.156656095 | 27796.50281 | 0.723867261 | |
| 512 | 3026.13398 | 3.02613398 | 28995.4115 | 0.755088841 | 0.755091102 |
| | 3025.991643 | 3.025991643 | 28996.77539 | 0.755124359 | |
| | 3026.249148 | 3.026249148 | 28994.30804 | 0.755060105 | |
| 1024 | 2955.072429 | 2.955072429 | 29692.67323 | 0.773246699 | 0.773247265 |
| | 2955.069635 | 2.955069635 | 29692.7013 | 0.77324743 | |
| | 2955.068728 | 2.955068728 | 29692.71042 | 0.773247667 | |



| Nº Bytes | 10968 | | | | |
|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Tamanho do Pacote (byte) | 256 | | | | |
| Baudrate | Tempo (ms) | Tempo (s) | R (bits/s) | S (R/C) | S(media) |
| 1200 | 101887.6863 | 101.8876863 | 861.1835559 | 0.717652963 | 0.717655833 |
| | 101887.0938 | 101.8870938 | 861.1885642 | 0.717657137 | |
| | 101887.0566 | 101.8870566 | 861.1888782 | 0.717657399 | |
| 2400 | 50964.36116 | 50.96436116 | 1721.673695 | 0.71736404 | 0.738871218 |
| | 48771.23196 | 48.77123196 | 1799.093369 | 0.749622237 | |
| | 48770.89756 | 48.77089756 | 1799.105704 | 0.749627377 | |
| 4800 | 24389.79043 | 24.38979043 | 3597.570888 | 0.749493935 | 0.749495768 |
| | 24389.72617 | 24.38972617 | 3597.580366 | 0.749495909 | |
| | 24389.67575 | 24.38967575 | 3597.587803 | 0.749497459 | |
| 9600 | 12199.00244 | 12.19900244 | 7192.719277 | 0.749241591 | 0.749243017 |
| | 12198.94964 | 12.19894964 | 7192.750409 | 0.749244834 | |
| | 12198.98561 | 12.19898561 | 7192.729201 | 0.749242625 | |
| 19200 | 6103.522296 | 6.103522296 | 14375.96125 | 0.748747982 | 0.748734591 |
| | 6103.298821 | 6.103298821 | 14376.48763 | 0.748775397 | |
| | 6104.07329 | 6.10407329 | 14374.66358 | 0.748680395 | |
| 38400 | 3059.717301 | 3.059717301 | 28677.15915 | 0.74680102 | 0.747363668 |
| | 3056.734519 | 3.056734519 | 28705.14252 | 0.747529753 | |
| | 3055.79236 | 3.05579236 | 28713.99286 | 0.747760231 | |
| 57600 | 2039.873855 | 2.039873855 | 43014.42454 | 0.746778204 | 0.746721054 |
| | 2040.32531 | 2.04032531 | 43004.9069 | 0.746612967 | |
| | 2039.890827 | 2.039890827 | 43014.06665 | 0.746771991 | |
| 115200 | 1024.019605 | 1.024019605 | 85685.8595 | 0.743800864 | 0.743809234 |
| | 1024.004519 | 1.024004519 | 85687.12186 | 0.743811822 | |
| | 1024.000119 | 1.024000119 | 85687.49004 | 0.743815018 | |



| | | | | | |
|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Nº Bytes | 10968 | | | | |
| Tamanho do pacote (byte) | 128 | | | | |
| Baudrate | 38400 | | | | |
| Probabilidade de Erro (%bcc1 = %bcc2) | Tempo (ms) | Tempo (s) | R (bits/s) | S (R/C) | S(media) |
| 0 | 3327.764236 | 3.327764236 | 26367.25254 | 0.686647202 | 0.686668161 |
| | 3327.651721 | 3.327651721 | 26368.14407 | 0.686670419 | |
| | 3327.572033 | 3.327572033 | 26368.77553 | 0.686686863 | |
| 2 | 3443.786043 | 3.443786043 | 25478.93478 | 0.663513927 | 0.663534493 |
| | 3443.596284 | 3.443596284 | 25480.3388 | 0.66355049 | |
| | 3443.655579 | 3.443655579 | 25479.90006 | 0.663539064 | |
| 4 | 3559.324758 | 3.559324758 | 24651.86685 | 0.641975699 | 0.642007889 |
| | 3559.326993 | 3.559326993 | 24651.85137 | 0.641975296 | |
| | 3558.78719 | 3.55878719 | 24655.5906 | 0.642072672 | |
| 6 | 3702.799986 | 3.702799986 | 23696.66208 | 0.617100575 | 0.617133545 |
| | 3702.534449 | 3.702534449 | 23698.36154 | 0.617144832 | |
| | 3702.472081 | 3.702472081 | 23698.76074 | 0.617155228 | |
| 8 | 3790.115 | 3.790115 | 23150.74872 | 0.602884081 | 0.602896097 |
| | 3790.254473 | 3.790254473 | 23149.89683 | 0.602861897 | |
| | 3789.748962 | 3.789748962 | 23152.98477 | 0.602942312 | |
| 10 | 3982.707229 | 3.982707229 | 22031.24532 | 0.573730347 | 0.573749521 |
| | 3982.542263 | 3.982542263 | 22032.1579 | 0.573754112 | |
| | 3982.472911 | 3.982472911 | 22032.54158 | 0.573764104 | |
| 12 | 4283.961599 | 4.283961599 | 20481.97631 | 0.5333848 | 0.533381262 |
| | 4283.738247 | 4.283738247 | 20483.04423 | 0.53341261 | |
| | 4284.270228 | 4.284270228 | 20480.50084 | 0.533346376 | |



| | | | | | |
|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Nº Bytes | 10968 | | | | |
| Tamanho do pacote (byte) | 128 | | | | |
| Baudrate | 38400 | | | | |
| Delay (s) | Tempo (ms) | Tempo (s) | R (bits/s) | S (R/C) | S(media) |
| 0.0001 | 3424.559 | 3.424559 | 25621.9852 | 0.667239198 | 0.667239453 |
| | 3424.715934 | 3.424715934 | 25620.8111 | 0.667208622 | |
| | 3424.398157 | 3.424398157 | 25623.18865 | 0.667270538 | |
| 0.001 | 3503.407837 | 3.503407837 | 25045.32846 | 0.652222095 | 0.652205605 |
| | 3503.394567 | 3.503394567 | 25045.42332 | 0.652224566 | |
| | 3503.686855 | 3.503686855 | 25043.33396 | 0.652170155 | |
| 0.01 | 4295.849505 | 4.295849505 | 20425.29653 | 0.531908764 | 0.531935179 |
| | 4295.535707 | 4.295535707 | 20426.78864 | 0.531947621 | |
| | 4295.523345 | 4.295523345 | 20426.84743 | 0.531949152 | |
| 0.1 | 12216.20637 | 12.21620637 | 7182.589861 | 0.187046611 | 0.187047983 |
| | 12216.01389 | 12.21601389 | 7182.703033 | 0.187049558 | |
| | 12216.12996 | 12.21612996 | 7182.634785 | 0.187047781 | |
| 1 | 91414.70188 | 91.41470188 | 959.8456068 | 0.024995979 | 0.024996028 |
| | 91414.4339 | 91.4144339 | 959.8484206 | 0.024996053 | |
| | 91414.43865 | 91.41443865 | 959.8483707 | 0.024996051 | |
| 4 | 352037.5063 | 352.0375063 | 249.2461696 | 0.006490786 | 0.006490786 |
| | 352037.0053 | 352.0370053 | 249.2465243 | 0.006490795 | |
| | 352037.9534 | 352.0379534 | 249.245853 | 0.006490777 | |

