U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

REDES DE COMPUTADORES

PROTOCOLO
DE
LIGAÇÃO DE DADOS

Henrique Silva – up202007242
Tiago Branquinho – up202005567

SUMÁRIO

Este relatório foi elaborado no âmbito do primeiro trabalho prático da unidade curricular “Redes de Computadores”, pertencente à Licenciatura em Engenharia Informática e Computação. Neste trabalho foi-nos proposta a transferência de dados usando uma aplicação que recorresse a um protocolo de ligação de dados fiável, mesmo em condições de interrupção e de adição de “ruído” à transmissão. Este trabalho foi implementado em C, no sistema operativo Linux, usando portas série RS-232.

Conclui-se que a proposta foi cumprida com sucesso pois todos os objetivos estabelecidos foram alcançados.

INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho divide-se em duas partes, uma relativa ao protocolo de ligação de dados e outra à aplicação em si. O objetivo do protocolo de ligação de dados é fornecer um serviço de comunicação de dados fiável entre dois sistemas ligados por um canal de transmissão, neste caso uma porta de série. O objetivo da aplicação é desenvolver um protocolo de aplicação muito simples para transferência de um ficheiro, usando um serviço fiável oferecido pelo protocolo de ligação de dados.

O objetivo do relatório é documentar o código, explicando a nossa implementação em função do guião que nos foi apresentado. O relatório tem a seguinte estrutura:

- Arquitetura – Esclarecimento sobre os blocos funcionais e interfaces.
- Estrutura do código – Explicitação das *APIs*, das principais estruturas de dados e funções, e da sua relação com a arquitetura.
- Casos de uso principais – Identificação destes e das suas sequências de chamada de funções.
- Protocolo de ligação lógica – Identificação dos seus principais aspetos funcionais e descrição da estratégia de implementação dos mesmos, apresentando extratos de código.
- Protocolo de aplicação – Identificação dos seus principais aspetos funcionais e descrição da estratégia de implementação dos mesmos, apresentando extratos de código.
- Validação – Descrição dos testes efetuados, (com apresentação quantificada dos resultados)
- Eficiência do protocolo de ligação de dados – Caracterização da mesma, efetuada recorrendo a estatísticas medidas sobre o código desenvolvido. Comparação desta com a de um *protocolo Stop&Wait*.
- Conclusões – Síntese da informação apresentada e reflexão dos objetivos de aprendizagem alcançados.

ARQUITETURA

O trabalho segue uma arquitetura em camadas, já que é possível identificar duas camadas independentes: a da aplicação, e a da ligação de dados.

A camada da ligação de dados é a responsável pelo estabelecimento da ligação, garantindo a integridade do protocolo. Assim, é a responsável pela comunicação direta com a porta de série, gerindo a abertura, fecho, leitura e escrita na mesma. É nesta camada que ocorre a verificação de erros, garantindo-se assim a fiabilidade da transferência. A camada da ligação de dados oferece serviços à camada da aplicação, e, deste modo, é a de mais baixo nível deste projeto.

A camada da aplicação é a responsável pelo envio e receção de ficheiros, estando dividida em dois blocos, o emissor e o recetor. Esta camada acede aos serviços fornecidos pela camada de ligação de dados, invocando funções da mesma. Deste modo, é considerada a de mais alto nível deste projeto.

ESTRUTURA DO CÓDIGO

A camada da ligação de dados é representada por uma estrutura de ligação de dados. Esta estrutura contém o dispositivo associado à porta de série, a velocidade de transmissão, o número de tentativas em caso de falha, o valor do temporizador e a entidade que está a usufruir dos seus serviços, recetor ou emissor, que é representada por uma enumeração **– Anexo 2.1**.

As principais funções da camada de ligação de dados são llopen(), que abre uma conexão entre o recetor e o emissor, llread(), que permite a leitura de um pacote, llwrite(), que permite o envio de um pacote, llclose(), que fecha a conexão, permitindo a impressão de estatísticas referentes à mesma e, por fim, int set_up_port() e int close_port(), que permitem a abertura e o fecho da porta de série, respetivamente. As duas últimas encontram-se no ficheiro *port_operations.c* **– *Anexo 1.9 e 2.2***, enquanto as restantes se encontram no ficheiro *link_layer.c* **– Anexo 1.4 e 2.2**.

A camada da aplicação é representada por uma estrutura de aplicação. Esta estrutura contém o descritor correspondente à porta de série e o estado, recetor ou emissor **– Anexo 2.3**.

As principais funções da camada da aplicação são receiveFile(), sendFile(), buildDataPacket(), parseDataPacket(), buildControlPacket(), parseControlPacket(), e applicationLayer(), a função principal. Esta última, para além de preencher a estrutura LinkLayer, vai invocar, de acordo com o *status*, sendFile(), que permite enviar um ficheiro através da porta de série, ou receiveFile(), que permite a receção de um ficheiro através da porta de série. As funções de *parse* são invocadas pelo recetor, enquanto as de *build* são invocadas pelo emissor **– Anexo 2.4**.

CASOS DE USO PRINCIPAIS

O utilizador pode escolher as configurações, o nome do ficheiro a ser enviado e o nome com que se deverá criar no recetor através da consola. Em alternativa pode recorrer ao *Makefile* existente, iniciando o sistema na configuração padrão.

No caso do emissor, o sistema irá invocar a função sendFile(), que, primeiramente, tenta abrir o ficheiro a ser lido. Em seguida, é invocada a função llopen(), de forma a estabelecer uma conexão entre o emissor e o recetor, através do envio de uma trama SET e receção de uma trama UA. Em seguida, é invocada a função buildControlPacket(), que cria um *control packet*, que contém a indicação de inicio de transmissão. Esse *packet* é posteriormente enviado para o recetor, através a função llwrite(). Após este início, é implementado um ciclo que vai lendo porções do ficheiro, criando *data packets* que as contêm, e enviando esses *packets*, recorrendo à função llwrite(). Seguidamente, envia um *control packet* criado pela função buildControlPacket() que sinaliza o final da transmissão. Por fim é invocada a função llclose(), de forma a fechar a conexão com o recetor.

No caso do recetor, o sistema irá invocar a função receiveFile(), que invoca a função llopen(), desta vez recebendo a trama SET e enviando a trama UA. Em seguida, é invocada a função llread() de forma a receber o *control packet* enviado pelo emissor, que posteriormente é processado, através da função parseControlPacket(). Depois disso, o ficheiro a ser criado é aberto, e é implementado um ciclo que vai recebendo e processando *data packets* através da função llread() e parseDataPacket(), respetivamente e, por fim, adicionando a informação presente nesses *packets* ao novo ficheiro criado. Seguidamente, é invocada a função llread() de forma a receber o *control packet* enviado pelo emissor, que posteriormente é processado através da função parseControlPacket(). Por fim, é invocada a função llclose(), de forma a fechar a conexão com o emissor.

PROTOCOLO DE LIGAÇÃO LÓGICA

No protocolo de ligação lógica, foram implementadas quatro funções: llopen(), llwrite(), llread() e llclose(). Estas funções servem como interface para o protocolo de aplicação utilizar as funcionalidades do protocolo de ligação lógica, e lidam com as quatro fases da transferência de dados. Começando pelo llopen(), onde é estabelecida a ligação entre o emissor e o recetor, seguem-se llwrite(), onde é enviada uma trama de informação até ser recebida uma resposta de confirmação, e llread(), onde é recebida uma trama de informação e enviada uma resposta de confirmação, e por fim llclose(), onde é finalizada a ligação entre o emissor e o recetor. As leituras de cada trama são feitas através de uma máquina de estados, que as recebe byte a byte, mudando o estado consoante o byte recebido, de modo a que apenas se chega ao estado final se a trama recebida tiver um formato válido.

A função llopen() começa por estabelecer ligação com a porta de série indicada, armazenar as informações enviadas pelo protocolo de aplicação e instalar o *alarm handler* **– Anexo 3.1**. Após realizadas as operações iniciais, esta função procederá de formas diferentes consoante o parâmetro *role*. Caso se trate do emissor será enviada uma trama SET e ficará a aguardar por uma resposta UA para confirmação **– Anexo 3.2**. Caso se trate do recetor, este aguardará por receber uma trama SET enviando por sua vez uma resposta UA após a sua receção para confirmação **– Anexo 3.3**.

A função llwrite() será apenas chamada pelo emissor para enviar tramas e é composta por diversos passos. Em primeiro ocorre a criação de uma trama de informação utilizando a função createIFrame() **– Anexo 3.4**. Em seguida, realiza-se o *stuffing* da trama utilizando a função stuffIFrame() **– Anexo 3.5**. Depois disso, ocorre o envio da trama utilizando a função

sendFrame() **– Anexo 3.6**. Por fim, ocorre a receção de uma resposta RR ou REJ utilizando a função readSFrame() **– Anexo 3.7**. Caso se trate de uma resposta RR o programa sairá da função. Caso se trate de uma resposta REJ será repetido o processo até receber uma resposta positiva. Se nunca for recebida uma resposta positiva irá eventualmente ocorrer um *timeout* após um número definido de tentativas, desencadeado pelo *alarm handler,* que manipula as variáveis globais que controlam o loop, *relay* e *stop* **– Anexo 3.8**.

A função llread() será apenas chamada pelo recetor para receber tramas e é composta por diversos passos, retornando o número de bytes da trama recebida. Em primeiro ocorre a leitura de uma trama de informação utilizando a função readIFrame() **– Anexo 3.9**, e em seguida, a realização do *unstuffing* da trama utilizando a função unstuffIFrame() **– Anexo 3.10**. Depois disso, ocorre a verificação do BCC2 e do *sequence number*, e determinação da resposta consoante estes :RR caso o BCC2 esteja correto independentemente do *sequence number* ou caso o BCC2 esteja incorreto e se trate de uma trama duplicada, REJ caso o BCC2 esteja incorreto e se trate de uma nova trama **– Anexo 3.11**. Finalmente ocorre a criação de uma trama de supervisão, tendo em conta a resposta adequada, utilizando a função createSFrame() **– Anexo 3.12**, e o envio dessa trama **– Anexo 3.13**.

A função llclose() procederá de forma diferente dependendo do parâmetro *role*. Caso se trate do emissor, será enviada uma trama de supervisão DISC, ficando a aguardar por outra trama de supervisão DISC enviada pelo recetor. Aquando da receção desta última trama será enviada uma resposta UA para confirmação **– Anexo 3.14**. Caso se trate do recetor, este aguardará por receber uma trama de supervisão DISC, enviando por sua vez outra trama de supervisão DISC após a sua receção, ficando a aguardar por uma resposta UA para confirmação **– Anexo 3.15**. No caso do recetor serão ainda impressas as estatísticas referentes à transferência de dados **– Anexo 3.16**.

PROTOCOLO DE APLICAÇÃO

No protocolo de aplicação, foram implementadas sete funções: buildDataPacket(), parseDataPacket(), buildControlPacket(), parseControlPacket(), sendFile(), receiveFile() e applicationLayer(). A função applicationLayer() será responsável pela distinção entre o emissor e recetor, chamando as funções sendFile() ou receiveFile(), respetivamente. Na função sendFile() serão chamadas as funções de construção de *packets*, buildDataPacket() e buildControlPacket(), e na função receiveFile() serão chamadas as funções de *parsing* de *packets*, parseDataPacket() e parseControlPacket().

A função applicationLayer() será responsável por armazenar os dados que mais tarde serão passados ao protocolo de ligação de dados e por distinguir o emissor do recetor **– Anexo 4.1**.

A função sendFile(), que retornará 0 caso a operação tenha sido bem-sucedida e 1 caso contrário, que será apenas chamada pelo emissor e é composta por diversos passos. Em primeiro ocorre a abertura do ficheiro que será enviado, utilizando a função openFile() **– Anexo 4.2**. Em seguida, ocorre o estabelecimento da ligação entre portas de série utilizando a função llopen() **– Anexo 4.3**. Depois disso, ocorre a construção e envio do *control packet* inicial utilizando a função buildControlPacket() e a função llwrite(), respetivamente **– Anexo 4.4**. Segue-se a criação e envio de tramas enquanto houver informação no ficheiro **– Anexo 4.5** e, após isso, a construção e envio do *control packet* final **– Anexo 4.6**. Por fim, a ligação

entre as portas de série é fechada usando a função llclose() **– Anexo 4.7** e o ficheiro enviado é fechado **– Anexo 4.8**.

A função receiveFile(), que retornará 0 caso a operação tenha sido bem-sucedida e 1 caso contrário, será apenas chamada pelo recetor e é composta por diversos passos. Em primeiro ocorre o estabelecimento da ligação entre portas de série utilizando a função llopen() **– Anexo 4.3**. Em seguida, ocorre a leitura do *control packet* inicial utilizando a função llread() **– Anexo 4.9**. Após isso, o *control packet* é *parsado*, utilizando a função parseControlPacket() **– Anexo 4.10**. Depois ocorre a abertura do ficheiro de destino utilizando a função openFile() **– Anexo 4.11**, seguida pela leitura e *parsing* de cada cada trama recebida até ao *control packet* final, inclusive **– Anexo 4.12**. Seguidamente o ficheiro de destino é fechado utilizando a função closeFile() **– Anexo 4.13**, o *control packet* final é *parsado* utilizando a função parseControlPacket() **– Anexo 4.14** e ocorre a verificação de que o ficheiro original e o ficheiro de destino são idênticos **– Anexo 4.15**. Por fim a ligação entre as portas de série é fechada utilizando a função llclose() **– Anexo 4.16**.

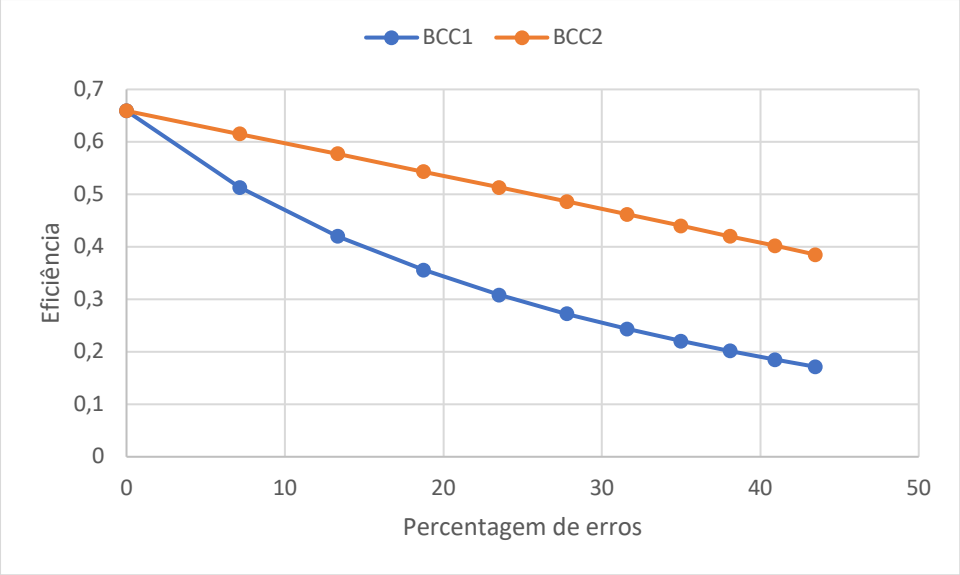
VALIDAÇÃO

De forma a verificar a integridade do programa foram efetuados diversos testes, consistindo o mais simples no envio de um ficheiro sem interrupções. Foi também testado o envio de um ficheiro com a ligação interrompida em vários momentos da transferência, o envio de um ficheiro numa ligação com ruído em vários momentos da transferência, e por fim, o envio de um ficheiro com diferentes tamanhos para as tramas de informação.

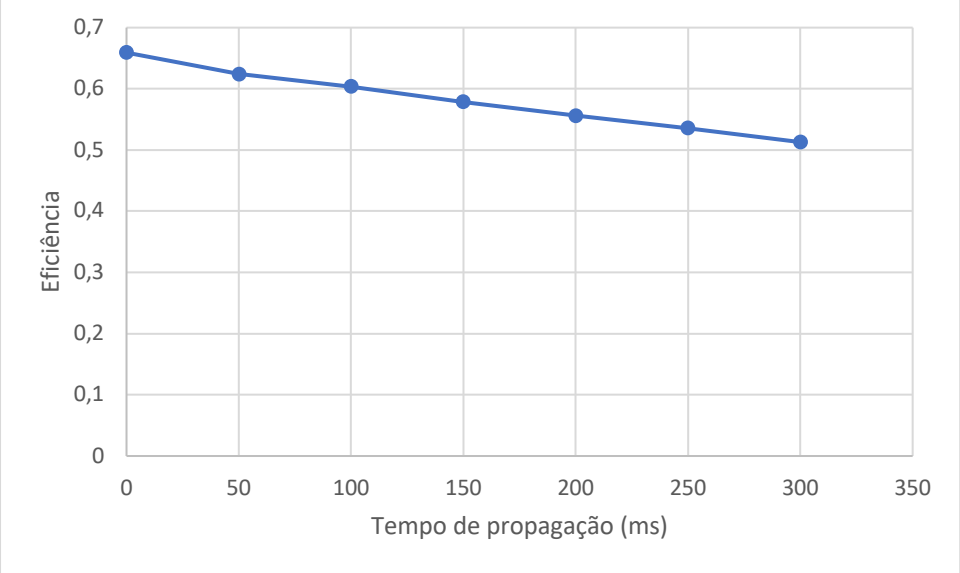
Todos os testes realizados foram concluídos com sucesso, estando o projeto desenvolvido completamente funcional.

Para testar a eficiência do protocolo de dados foram desenhados testes que foram executados mais do que uma vez para melhor precisão estatística. O ficheiro utilizado para o efeito de teste foi *penguin.gif* e o tamanho máximo de pacote informação definido foi de 1024B.

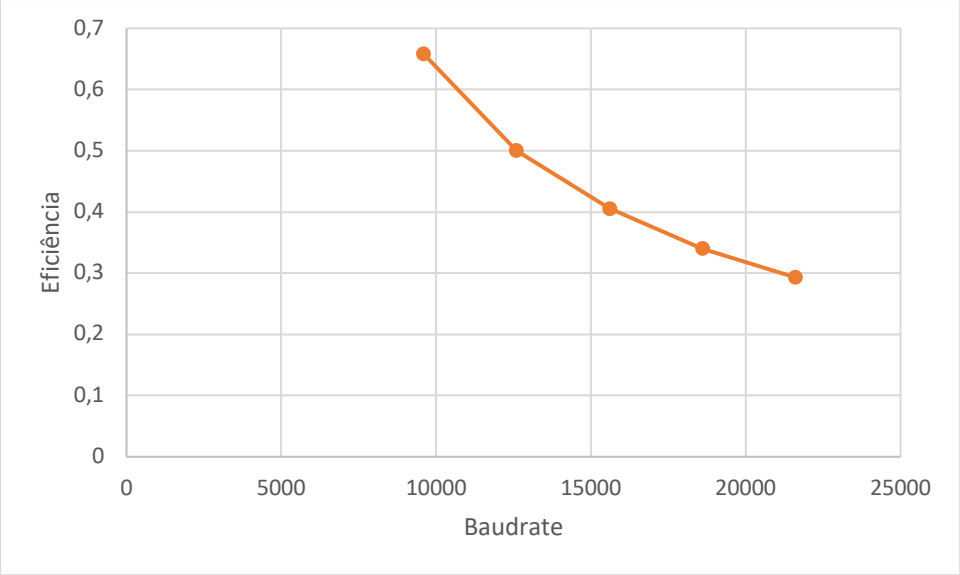
Variando a percentagem de erros nos blocos BCC1 e BCC2 foram detetados resultados distintos. Isto pode ser explicado pelo facto de que, quando existe um erro no BCC1 irá ocorrer um *timeout* após 3 segundos, enquanto no BCC2 a trama será imediatamente reenviada. Assim, podemos verificar que nos dois casos o aumento da percentagem de erros na trama implica diminuições significativas na eficiência, sendo estas mais acentuadas no caso de erros no BCC1.



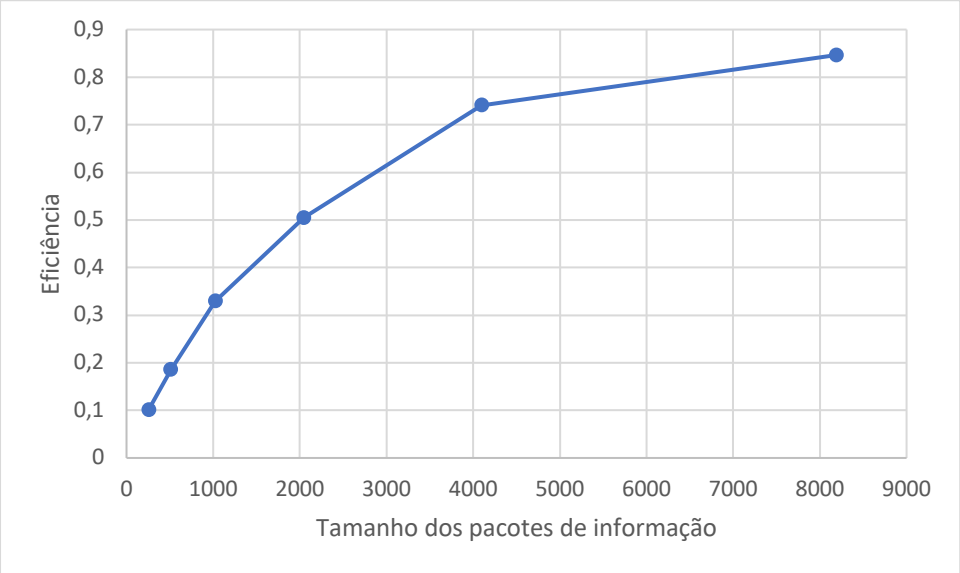
Variando o tempo de propagação de cada trama, utilizando a função usleep(), foi possível concluir que quanto maior o tempo de propagação menor a eficiência.



Variando a capacidade de transferência do protocolo, ao alterar a macro *BAUDRATE*, podemos observar que quando esta aumenta a eficiência diminui.



Variando o tamanho dos pacotes de informação, ao alterar a macro *MAX_DATA_SIZE*, podemos constatar que quando esta aumenta a eficiência também aumenta. Os valores do gráfico apresentado foram obtidos considerando um *Baudrate* de 19200, ao contrário de todos os outros, em que o *Baudrate* considerado era de 9600. Este novo valor é necessário quando os pacotes de informação transferidos são maiores.



CONCLUSÕES

A realização deste projeto permitiu-nos obter uma melhor compreensão de um protocolo de transferência de dados, nomeadamente ao nível da máquina de estados, construção de tramas e independência entre camadas. Concluímos também que o trabalho realizado cumpriu todas as expectativas ao superar todos os testes e ao distinguir corretamente a camada de ligação de dados da camada de aplicação.

ANEXOS

ANEXO 1 – Código fonte

1.1 – Ficheiro main.c.

```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;
}
```

1.2 – Ficheiro cable.c.

```c
// Virtual cable program to test serial port.
// Creates a pair of virtual Tx / Rx serial ports using "socat".
//
// Author: Manuel Ricardo [mricardo@fe.up.pt]
// Modified by: Eduardo Nuno Almeida [enalmeida@fe.up.pt]

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

// Baudrate settings are defined in <asm/termbits.h>, which is
// included by <termios.h>
#define BAUDRATE B38400
#define _POSIX_SOURCE 1 // POSIX compliant source
#define FALSE 0
#define TRUE 1

#define BUF_SIZE 2048

typedef enum
{
    CableModeOn,
    CableModeOff,
    CableModeNoise,
} CableMode;

// Returns: serial port file descriptor (fd).
int openSerialPort(const char *serialPort, struct termios *oldtio, struct termios
*newtio)
{
    int fd = open(serialPort, O_RDWR | O_NOCTTY);

    if (fd < 0)
        return -1;

    // Save current port settings
    if (tcgetattr(fd, oldtio) == -1)
        return -1;

    memset(newtio, 0, sizeof(*newtio));
    newtio->c_cflag = BAUDRATE | CS8 | CLOCAL | CREAD;
    newtio->c_iflag = IGNPAR;
    newtio->c_oflag = 0;
    newtio->c_lflag = 0;
```

```
    newtio->c_cc[VTIME] = 1; // Inter-character timer unused
    newtio->c_cc[VMIN] = 0;  // Read without blocking
    tcflush(fd, TCIOFLUSH);

    if (tcsetattr(fd, TCSANOW, newtio) == -1)
        return -1;

    return fd;
}

// Add noise to a buffer, by flipping the byte in the "errorIndex" position.
void addNoiseToBuffer(unsigned char *buf, size_t errorIndex)
{
    buf[errorIndex] ^= 0xFF;
}

int main(int argc, char *argv[])
{
    printf("\n");

    system("socat -dd PTY,link=/dev/ttyS10,mode=777
PTY,link=/dev/emulatorTx,mode=777 &");
    sleep(1);
    printf("\n");

    system("socat -dd PTY,link=/dev/ttyS11,mode=777
PTY,link=/dev/emulatorRx,mode=777 &");
    sleep(1);

    printf("\n\n"
           "Transmitter must open /dev/ttyS10\n"
           "Receiver must open /dev/ttyS11\n"
           "\n"
           "The cable program is sensible to the following interactive commands:\n"
           "--- on           : connect the cable and data is exchanged (default
state)\n"
           "--- off          : disconnect the cable disabling data to be
exchanged\n"
           "--- noise        : add fixed noise to the cable\n"
           "--- end          : terminate the program\n"
           "\n");

    // Configure serial ports
    struct termios oldtioTx;
    struct termios newtioTx;

    int fdTx = openSerialPort("/dev/emulatorTx", &oldtioTx, &newtioTx);

    if (fdTx < 0)
    {
        perror("Opening Tx emulator serial port");
```

```
        exit(-1);
    }

    struct termios oldtioRx;
    struct termios newtioRx;

    int fdRx = openSerialPort("/dev/emulatorRx", &oldtioRx, &newtioRx);

    if (fdRx < 0)
    {
        perror("Opening Rx emulator serial port");
        exit(-1);
    }

    // Configure stdin to receive commands to this program
    int oldf = fcntl(STDIN_FILENO, F_GETFL, 0);
    fcntl(STDIN_FILENO, F_SETFL, oldf | O_NONBLOCK);

    unsigned char tx2rx[BUF_SIZE] = {0};
    unsigned char rx2tx[BUF_SIZE] = {0};
    char rxStdin[BUF_SIZE] = {0};

    CableMode cableMode = CableModeOn;
    volatile int STOP = FALSE;

    printf("Cable ready\n");

    while (STOP == FALSE)
    {
        // Read from Tx
        int bytesFromTx = read(fdTx, tx2rx, BUF_SIZE);

        if (bytesFromTx > 0)
        {
            if (cableMode == CableModeOff)
            {
                printf("bytesFromTx=%d > bytesToRx=CONNECTION OFF\n", bytesFromTx);
            }
            else
            {
                if (cableMode == CableModeNoise)
                {
                    addNoiseToBuffer(tx2rx, 0);
                }

                int bytesToRx = write(fdRx, tx2rx, bytesFromTx);
                printf("bytesFromTx=%d > bytesToRx=%d\n", bytesFromTx, bytesToRx);
            }
        }

        // Read from Rx
```

```
        int bytesFromRx = read(fdRx, rx2tx, BUF_SIZE);

        if (bytesFromRx > 0)
        {
            if (cableMode == CableModeOff)
            {
                printf("bytesToTx=CONNECTION OFF < bytesFromRx=%d\n", bytesFromRx);
            }
            else
            {
                if (cableMode == CableModeNoise)
                {
                    addNoiseToBuffer(rx2tx, 0);
                }

                int bytesToTx = write(fdTx, rx2tx, bytesFromRx);
                printf("bytesToTx=%d < bytesFromRx=%d\n", bytesToTx, bytesFromRx);
            }
        }

        // Read commands from STDIN to control the cable mode
        int fromStdin = read(STDIN_FILENO, rxStdin, BUF_SIZE);
        if (fromStdin > 0)
        {
            rxStdin[fromStdin - 1] = '\0';

            if (strcmp(rxStdin, "off") == 0 || strcmp(rxStdin, "0") == 0)
            {
                printf("CONNECTION OFF\n");
                cableMode = CableModeOff;
            }
            else if (strcmp(rxStdin, "on") == 0 || strcmp(rxStdin, "1") == 0)
            {
                printf("CONNECTION ON\n");
                cableMode = CableModeOn;
            }
            else if (strcmp(rxStdin, "noise") == 0 || strcmp(rxStdin, "2") == 0)
            {
                printf("CONNECTION NOISE\n");
                cableMode = CableModeNoise;
            }
            else if (strcmp(rxStdin, "end") == 0)
            {
                printf("END OF THE PROGRAM\n");
                STOP = TRUE;
            }
        }
    }

    // Restore the old port settings
    if (tcsetattr(fdRx, TCSANOW, &oldtioRx) == -1)
```

```
    {
        perror("tcsetattr");
        exit(-1);
    }

    if (tcsetattr(fdTx, TCSANOW, &oldtioTx) == -1)
    {
        perror("tcsetattr");
        exit(-1);
    }

    close(fdTx);
    close(fdRx);

    system("killall socat");

    return 0;
}
```

1.3 – Ficheiro application_layer.c.

```
// Application layer protocol implementation

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

#include "application_layer.h"
#include "link_layer.h"
#include "file.h"
#include "frame.h"

LinkLayer linklayer;

// BUILDERS CALLED BY WRITER AND PARSERS CALLED BY READER

int buildDataPacket(unsigned char *packet, int sequenceNumber, unsigned char *data,
int dataLength)
{
    int shift = 4;

    packet[0] = CTRL_DATA;

    packet[1] = (unsigned char)sequenceNumber;

    unsigned char l1, l2;
    util_get_MSB(dataLength, &l2);
    util_get_LSB(dataLength, &l1);

    packet[2] = (unsigned char)l2;

    packet[3] = (unsigned char)l1;
```

```
    for (int i = 0; i < dataLength; i++)
        packet[i + shift] = data[i];

    return dataLength + shift; // returns len of buffer
}

int parseDataPacket(unsigned char *packet, unsigned char *data, int
*sequenceNumber)
{
    if (packet[0] != CTRL_DATA)
    {
        return 1;
    }
    *sequenceNumber = (int)packet[1];

    int size;
    int shift = 4;

    util_join_bytes(&size, packet[2], packet[3]);

    for (int i = 0; i < size; i++)
    {
        data[i] = packet[i + shift];
    }
    return 0;
}

int buildControlPacket(unsigned char *packet, unsigned char control, int fileSize,
const char *fileName)
{
    packet[0] = control;

    packet[1] = TYPE_FILE_SIZE;

    int byteCount;

    get_size_in_bytes(fileSize, &byteCount);

    packet[2] = byteCount;

    int fileSizeStart = 3;

    for (int i = byteCount - 1; i > 0; i--)
    {
        packet[fileSizeStart + i] = (unsigned char)(fileSize);
        fileSize = fileSize >> 8;
    }

    packet[3 + byteCount] = TYPE_FILE_NAME;
```

```
    int filenameSize = strlen(fileName) + 1;
    packet[4 + byteCount] = (unsigned char)filenameSize;

    int fileNameStart = 5 + byteCount;

    for (int i = 0; i < filenameSize; i++)
    {
        packet[fileNameStart + i] = fileName[i];
    }
    return 5 + byteCount + filenameSize + 1; // returns len of buffer
}

int parseControlPacket(unsigned char *packet, int *fileSize, unsigned char
*fileName)
{

    if (packet[0] != CTRL_START && packet[0] != CTRL_END)
    {
        return 1;
    }

    int lengthFileSize, lengthFileName, fileNameStart;
    *fileSize = 0;


    if (packet[1] == TYPE_FILE_SIZE)
    {
        lengthFileSize = (int)packet[2];
        for (int i = 0; i < lengthFileSize; i++)
        {
            *fileSize = *fileSize | (unsigned char)packet[3 + i];
            if (i != lengthFileSize - 1)
            {
                *fileSize = *fileSize << 8;
            }
        }
    }
    else
    {
        return 1;
    }

    fileNameStart = 5 + lengthFileSize;

    if (packet[fileNameStart - 2] == TYPE_FILE_NAME)
    {

        lengthFileName = (int)packet[4 + lengthFileSize];

        for (int i = 0; i < lengthFileName; i++)
        {
```

```
            fileName[i] = packet[fileNameStart + i];
        }
    }
    else
    {
        return 1;
    }

    return 0;
}

int sendFile(const char *filename, char *serialPort)
{
    FILE *file = openFile(filename, "r");
    if (file == NULL)
    {
        printf("ERROR OPENING FILE!\n");
        return 1;
    }
    if (llopen(linklayer) == -1)
    {
        return 1;
    }

    int fileSize = getFileSize(file);
    unsigned char cSPacket[MAX_PACK_SIZE];
    int packetSize = buildControlPacket(cSPacket, START_TRANSFER, fileSize,
filename);

    if (llwrite(cSPacket, packetSize) == -1)
    {
        if (closeFile(file))
        {
            return 1;
        }
        return 1;
    }

    unsigned char data[MAX_DATA_SIZE];
    int bytesRead;
    int n = 0;
    unsigned char dPacket[MAX_PACK_SIZE];

    while (!feof(file))
    {
        bytesRead = readBytesFromFile(file, data);
        if (bytesRead != MAX_DATA_SIZE && !feof(file))
        {
            printf("ERROR READING\n");
            if (closeFile(file))
            {
```

```
                return 1;
            }
            return 1;
        }
        packetSize = buildDataPacket(dPacket, getSequenceNumber(n), data,
bytesRead);
        n++;
        if (llwrite(dPacket, packetSize) == -1)
        {
            if (closeFile(file))
            {
                return 1;
            }
            return 1;
        }
    }
    unsigned char cEPacket[MAX_PACK_SIZE];

    packetSize = buildControlPacket(cEPacket, END_TRANSFER, fileSize, filename);

    if (llwrite(cEPacket, packetSize) == -1)
    {
        return 1;
    }

    if (llclose(1) == -1)
    {
        return 1;
    }

    if (closeFile(file))
    {
        return 1;
    }
    return 0;
}

int receiveFile(char *filename, char *serialPort){
    unsigned char cPacket[MAX_PACK_SIZE];
    unsigned char packetFilename[255];
    int fileSize = 0;
    int packetSize;

    if(llopen(linklayer) == -1){
        return 1;
    }

    if((packetSize = llread(cPacket)) < 0){
        printf("Error reading control packet");
        return 1;
    }
```

```
    if(parseControlPacket(cPacket, &fileSize, packetFilename) != 0 || cPacket[0] !=
START_TRANSFER){
        printf("Error parsing control packet\n");
        return 1;
    }

    FILE *file = openFile(filename, "w");
    if(file == NULL){
        return 1;
    }

    int n = 0;
    int sequenceNumber;
    unsigned char dPacket[MAX_PACK_SIZE];
    unsigned char data[MAX_DATA_SIZE];
    do
    {
        packetSize = llread(dPacket);
        if(packetSize < 0){
            closeFile(file);
            return 1;
        }

        if(dPacket[0] == CTRL_DATA){
            if(parseDataPacket(dPacket, data, &sequenceNumber)){
                closeFile(file);
                return 1;
            }
            if(sequenceNumber != getSequenceNumber(n)){
                printf("Different sequence numbers\n");
                closeFile(file);
                return 1;
            }
            n++;
        }
        if(dPacket[0] != CTRL_END){
            if((writeBytesToFile(file, data, packetSize - 4) != packetSize - 4)){
                closeFile(file);
                return 1;
            }
        }
    } while (dPacket[0] != CTRL_END);
    closeFile(file);

    int newFileSize = 0;
    unsigned char newFileName[255];
    if((parseControlPacket(dPacket, &newFileSize, newFileName) != 0) || dPacket[0]
!= END_TRANSFER)
    {
        printf("Error parsing control packet\n");
```

```
        return 1;
    }

    if((fileSize != newFileSize) || (strcmp(newFileName, packetFilename) != 0)){
        printf("Files aren't the same\n");
        return 1;
    }

    if(llclose(1) == -1){
        printf("Error closing file\n");
        return 1;
    }
    return 0;
}

void applicationLayer(const char *serialPort, const char *role, int baudRate,
                      int nTries, int timeout, const char *filename)
{
    strcpy(linklayer.serialPort, serialPort);
    if(strcmp(role, "tx") == 0)
        linklayer.role = LlTx;
    else if(strcmp(role, "rx") == 0)
        linklayer.role = LlRx;
    else{
        perror("Role not defined\n");
    }
    linklayer.baudRate = baudRate;
    linklayer.nRetransmissions = nTries;
    linklayer.timeout = timeout;

    if (linklayer.role == LlTx)
    {
        if((sendFile(filename, serialPort) != 0)){
            printf("Error sending file\n");
        }
    }
    else if(linklayer.role == LlRx)
    {
        if((receiveFile(filename, serialPort) != 0)){
            printf("Error receiving file\n");
        }
    }
    else{
        perror("Role not defined");
    }
}
```

1.4 – Ficheiro link_layer.c.

```
// Link layer protocol implementation
```

```c
#include "unistd.h"
#include <sys/times.h>
#include <stdio.h>

#include "link_layer.h"
#include "frame.h"
#include "port_operations.h"

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

int fd;
char *serialPort;
LinkLayerRole role;
int baudRate;
int nRetransmissions;
int timeout;
unsigned char frame[MAX_SIZE_FRAME];
unsigned int frameLength;
int seqNumber;
extern int currentRetransmission, relay, stop;
int bitsReceived = 0;
struct timeval start, end;

////////////////////////////////////////////////
// LLOPEN
////////////////////////////////////////////////
int llopen(LinkLayer connectionParameters)
{
    serialPort = connectionParameters.serialPort;
    role = connectionParameters.role;
    baudRate = connectionParameters.baudRate;
    nRetransmissions = connectionParameters.nRetransmissions;
    timeout = connectionParameters.timeout;

    if((fd = set_up_port(serialPort)) == -1){
        printf("Couldn't open port communication");
        return -1;
    }

    alarmHandlerInstaller();

    frameLength = BUF_SIZE_SF;

    if(connectionParameters.role == LlTx){

        unsigned char responseBuffer[BUF_SIZE_SF];

        if (createSFrame(frame, FIELD_A_T_INIT, SET) != 0){
            close_port(fd);
            return -1;
```

```
        }

        if (sendFrame(frame, fd, frameLength) == -1){
            close_port(fd);
            return -1;
        }

        printf("SET sent\n");

        stop = FALSE;
        int bytesRead = -1;
        currentRetransmission = 0;
        relay = FALSE;

        alarm(timeout);

        unsigned char controlByte[1] = {UA};
        while(!stop){
            bytesRead = readSFrame(responseBuffer, fd, controlByte, 1,
FIELD_A_T_INIT);

            if(relay){
                sendFrame(frame, fd, frameLength);
                relay = FALSE;
            }

            if(bytesRead >= 0){
                alarm(0);
                stop = TRUE;
            }
        }

        if(bytesRead == -1){
            printf("Couldn't read UA. Closing file\n");
            close_port(fd);
            return -1;
        }

        printf("UA received\n");

        return 1;
    }

    if(connectionParameters.role == LlRx){

        unsigned char controlByte[1] = {SET};

        if (readSFrame(frame, fd, controlByte, 1, FIELD_A_T_INIT) != 0){
            close_port(fd);
            return -1;
        }
```

```
        printf("SET received\n");

        if(createSFrame(frame, FIELD_A_T_INIT, UA) != 0){
            close_port(fd);
            return -1;
        }

        if(sendFrame(frame, fd, frameLength) < 0){
            close_port(fd);
            return -1;
        }
        printf("UA sent\n");

        gettimeofday(&start, NULL);

        return 1;
    }

    perror("Invalid role");
    close_port(fd);
    return -1;
}

////////////////////////////////////////////////
// LLWRITE
////////////////////////////////////////////////
int llwrite(const unsigned char *buf, int bufSize)
{
    unsigned char responseBuf[BUF_SIZE_SF];

    unsigned char controlByte;

    if(seqNumber == 0){
        controlByte = NS0;
    }
    else{
        controlByte = NS1;
    }

    if(createIFrame(frame, controlByte, buf, bufSize) != 0){
        close_port(fd);
        return -1;
    }

    int length;
    int frameSize = bufSize + 6;

    if((length = stuffIFrame(frame, frameSize)) < 0){
        close_port(fd);
        return -1;
    }
```

```
    frameLength = length;
    int bytesWritten;
    int finished = FALSE;

    while(!finished){
        if((bytesWritten = sendFrame(frame, fd, frameLength)) == -1){
            close_port(fd);
            return -1;
        }

        printf("Information sent\n");

        int bytesRead = -1;
        stop = FALSE;
        currentRetransmission = 0;
        relay = FALSE;

        alarm(timeout);

        unsigned char controlBytes[2];

        if(controlByte == 0){
            controlBytes[0] = RR1;
            controlBytes[1] = REJ0;
        }
        else{
            controlBytes[0] = RR0;
            controlBytes[1] = REJ1;
        }

        while(!stop){
            bytesRead = readSFrame(responseBuf, fd, controlBytes, 2,
FIELD_A_T_INIT);

            if(relay){
                if(sendFrame(frame, fd, frameLength) < 0){
                    printf("Troubles resending. Closing file\n");
                    close_port(fd);
                    return -1;
                }
                relay = FALSE;
            }

            if (bytesRead >= 0){
                alarm(0);
                stop = TRUE;
            }
        }

        if (bytesRead < 0){
```

```
            printf("Troubles reading. Closing file\n");
            close_port(fd);
            return -1;
        }
        else if(bytesRead == 0){
            finished = TRUE;
        }
        else{
            finished = FALSE;
        }

        printf("Response read\n");
    }

    if(seqNumber == 0){
        seqNumber = 1;
    }
    else{
        seqNumber = 0;
    }

    return bytesWritten - 6;
}

////////////////////////////////////////////////
// LLREAD
////////////////////////////////////////////////
int llread(unsigned char *packet)
{
    unsigned char controlBytes[2];
    controlBytes[0] = NS0;
    controlBytes[1] = NS1;
    int packetSize, bytesRead, bufferFull = FALSE;

    while(!bufferFull){

        bytesRead = readIFrame(frame, fd, controlBytes, 2, FIELD_A_T_INIT);

        if((packetSize = unstuffIFrame(frame, bytesRead)) < 0){
            printf("Troubles unstuffing. Closing file\n");
            close_port(fd);
            return -1;
        }

        int controlByte;
        if(frame[2] == NS0){
            controlByte = 0;
        }
        else if(frame[2] == NS1){
            controlByte = 1;
        }
```

```
        else{
            printf("Control byte wrongly defined. Closing file\n");
            close_port(fd);
            return -1;
        }

        int responseByte;
        if (frame[packetSize - 2] == dataBCC(&frame[4], packetSize - 6)){
            if(controlByte != seqNumber){
                if(controlByte == 0){
                    seqNumber = 1;
                    responseByte = RR1;
                }
                else{
                    seqNumber = 0;
                    responseByte = RR0;
                }
            }
            else{
                for (int i = 0; i < packetSize - 6; i++){
                    packet[i] = frame[4 + i];
                }

                bufferFull = TRUE;

                if(controlByte == 0){
                    seqNumber = 1;
                    responseByte = RR1;
                }
                else{
                    seqNumber = 0;
                    responseByte = RR0;
                }
            }
        }
        else{
            if(controlByte != seqNumber){
                if(controlByte == 0){
                    seqNumber = 1;
                    responseByte = RR1;
                }
                else{
                    seqNumber = 0;
                    responseByte = RR0;
                }
            }
            else{
                if(controlByte == 0){
                    seqNumber = 0;
                    responseByte = REJ0;
                }
```

```
                else{
                    seqNumber = 1;
                    responseByte = REJ1;
                }
            }
        }

        if((createSFrame(frame, FIELD_A_T_INIT, responseByte)) != 0){
            printf("Troubles sending response. Closing file\n");
            close_port(fd);
            return -1;
        }

        frameLength = BUF_SIZE_SF;

        if(sendFrame(frame, fd, frameLength) < 0){
            printf("Troubles sending response. Closing file\n");
            close_port(fd);
            return -1;
        }

        printf("Response sent\n");
    }

    bitsReceived += (packetSize - 6) * 8;
    return packetSize - 6;
}

////////////////////////////////////////////////
// LLCLOSE
////////////////////////////////////////////////
int llclose(int showStatistics)
{
    if(role == LlTx){

        if((createSFrame(frame, FIELD_A_T_INIT, DISC)) != 0){
            printf("Troubles sending command. Closing file\n");
            close_port(fd);
            return -1;
        }

        frameLength = BUF_SIZE_SF;
        if(sendFrame(frame, fd, frameLength) < 0){
            printf("Troubles sending command. Closing file\n");
            close_port(fd);
            return -1;
        }

        printf("DISC sent\n");

        stop = FALSE;
```

```
        int bytesRead = -1;
        currentRetransmission = 0;
        relay = FALSE;

        alarm(timeout);

        unsigned char controlByte[1] = {DISC};
        while(!stop){

            if((bytesRead = readSFrame(frame, fd, controlByte, 1, FIELD_A_R_INIT))
< 0){
                printf("Error reading DISC\n");
                return -1;
            }

            if(relay){
                sendFrame(frame, fd, frameLength);
                relay = FALSE;
            }

            if(bytesRead >= 0){
                alarm(0);
                stop = TRUE;
            }
        }

        if(bytesRead < 0){
            printf("Troubles reading command. Closing file\n");
            close_port(fd);
            return -1;
        }

        printf("DISC received\n");

        if((createSFrame(frame, FIELD_A_R_INIT, UA)) != 0){
            printf("Troubles sending response. Closing file\n");
            close_port(fd);
            return -1;
        }

        if(sendFrame(frame, fd, frameLength) < 0){
            printf("Troubles sending response. Closing file\n");
            close_port(fd);
            return -1;
        }

        printf("UA sent\n");
    }
    else if(role == LlRx){
        unsigned char controlByteCommand[1] = {DISC};
```

```
        if (readSFrame(frame, fd, controlByteCommand, 1, FIELD_A_T_INIT) != 0){
            printf("Troubles receiving command. Closing file\n");
            close_port(fd);
            return -1;
        }

        printf("DISC received\n");

        if(createSFrame(frame, FIELD_A_R_INIT, DISC) != 0){
            printf("Troubles sending command. Closing file\n");
            close_port(fd);
            return -1;
        }

        if(sendFrame(frame, fd, frameLength) < 0){
            printf("Troubles sending command. Closing file\n");
            close_port(fd);
            return -1;
        }
        printf("DISC sent\n");

        stop = FALSE;
        int bytesRead = -1;
        currentRetransmission = 0;
        relay = FALSE;
        frameLength = BUF_SIZE_SF;

        alarm(timeout);

        unsigned char controlByteResponse[1] = {UA};
        while(!stop){

            if((bytesRead = readSFrame(frame, fd, controlByteResponse, 1,
FIELD_A_R_INIT)) < 0){
                printf("Error reading UA\n");
                return -1;
            }

            if(relay){
                sendFrame(frame, fd, frameLength);
                relay = FALSE;
            }

            if(bytesRead >= 0){
                alarm(0);
                stop = TRUE;
            }
        }

        if(bytesRead < 0){
            printf("Troubles reading response. Closing file\n");
```

```
            close_port(fd);
            return -1;
        }

        printf("UA received\n");

        gettimeofday(&end, NULL);
        double time_spent = ((end.tv_sec - start.tv_sec) * 1e6 + (end.tv_usec -
start.tv_usec)) * 1e-6;

        if(showStatistics == TRUE){
            printf("Bits Received =  %d\n", bitsReceived);
            printf("Time spent =  %f\n", time_spent);
            double R =  bitsReceived/time_spent;
            double S = R / baudRate;

            printf("Debit received = %lf\n", R);
            printf("Efficiency S = %lf\n", S);
        }
    }
    else{
        perror("Invalid role");
        close_port(fd);
        return -1;
    }

    if(close_port(fd) < 0){
        return -1;
    }

    return 1;
}
```

1.5 – Ficheiro alarm.c.

```
#include "alarm.h"

int currentRetransmission, relay = FALSE, stop = FALSE;
extern int nRetransmissions, timeout;

void alarmHandler(int signal){
    if(nRetransmissions > currentRetransmission){
        relay = TRUE;
        alarm(timeout);
        currentRetransmission++;
        printf("Timeout or invalide value: resending...\n");
    }

    else{
        printf("Timeout or invalide value: number of tries exceeded!\n");
        stop = TRUE;
```

```
    }
}
```

1.6 – Ficheiro auxiliar.c.

```c
#include "auxiliar.h"


int util_get_LSB (int val, unsigned char *lsb) {
  *lsb = (unsigned char) val;
  return 0;
}

int util_get_MSB (int val, unsigned char *msb) {
  *msb = (unsigned char) (val >> 8);
  return 0;
}

int util_join_bytes (int *ret, unsigned char msb, unsigned char lsb) {
  *ret = msb;
  *ret = *ret << 8;
  *ret = *ret | lsb;
  return 0;
}

int get_size_in_bytes (int fileSize, int *byteCount){
  *byteCount = fileSize / BYTE_SIZE;
  if(fileSize % BYTE_SIZE > 0){
    byteCount++;
  }
  return 1;
}

unsigned char headerBCC(unsigned char address, unsigned char control){
  return address ^ control;
}

unsigned char dataBCC(const unsigned char *data, int dataSize){
  unsigned char dataInit = data[0];
  for(int i = 1; i < dataSize; i++){
    dataInit = dataInit ^ data[i];
  }
  return dataInit;
}

int stuffIFrame (unsigned char *frame, int frameSize){
  unsigned char cpy[frameSize];
  int flagByteNo = frameSize - 1;
  int shift = 0;

  for(int i = 0; i < frameSize; i++){
    cpy[i] = frame[i];
```

```
  }

  for(int i = 4; i < frameSize + shift; i++){  // only stuff data field of I FRAME
    if(cpy[i] == FLAG && i != flagByteNo){
      frame[i + shift] = FLAG_STUF1;
      frame[i+1 + shift] = FLAG_STUF2;
      shift++;
    }
    else if(cpy[i] == ESC_BYTE){
      frame[i + shift] = ESC_BYTE_STUF1;
      frame[i + 1 + shift] = ESC_BYTE_STUF2;
      shift++;
    }
    else{
      frame[i + shift] = cpy[i];
    }
  }
  return frameSize + shift; // return new len
}

int unstuffIFrame (unsigned char *frame, int frameSize){
  unsigned char cpy[frameSize];
  int flagByteNo = frameSize - 2;
  int shift = 0;

  for(int i = 0; i < frameSize; i++){
    cpy[i] = frame[i];
  }

  for(int i = 4; i < frameSize; i++){  // only stuff data field of I FRAME
    if(cpy[i] == FLAG_STUF1 && cpy[i+1] == FLAG_STUF2 && i != flagByteNo){
      frame[i + shift] = FLAG;
      shift--;
      i++;
    }
    else if(cpy[i] == ESC_BYTE_STUF1 && cpy[i+1] == ESC_BYTE_STUF2){
      frame[i + shift] = ESC_BYTE;
      shift--;
      i++;
    }
    else{
      frame[i + shift] = cpy[i];
    }
  }
  return frameSize + shift;   // return new len
}

int readByte(unsigned char* byte, int fd) {

    if(read(fd, byte, sizeof(unsigned char)) <= 0)
        return -1;
```

```
    return 0;
}

void alarmHandlerInstaller() {
    struct sigaction action;
    action.sa_handler = alarmHandler;

    if(sigemptyset(&action.sa_mask) == -1){
      perror("sigemptyset");
      exit(-1);
    }

    action.sa_flags = 0;

    if(sigaction(SIGALRM, &action, NULL) != 0){
      perror("sigaction");
      exit(-1);
    }
}

int getSequenceNumber (int number){
  return number % 255;
}
```

1.7 – Ficheiro file.c.

```
#include "file.h"

FILE* openFile(const char *name, char* mode){
    FILE *ret;
    ret = fopen(name, mode);
    if(ret == NULL){
        printf("ERROR OPENING FILE\n");
    }
    return ret;
}

int closeFile(FILE *file){
    return fclose(file);
}

int getFileSize(FILE *file){
    fseek(file, 0L, SEEK_END);
    int fileSize = (int)ftell(file);
    rewind(file);
    return fileSize;
}

int readBytesFromFile(FILE *file, unsigned char* dest){
    return fread(dest, sizeof(unsigned char), MAX_DATA_SIZE, file);
```

```
}
int writeBytesToFile(FILE *file, unsigned char* source, int len){
    return fwrite(source, sizeof(unsigned char), len, file);
}
```

1.8 – Ficheiro frame.c.

```
#include "frame.h"

extern int currentRetransmission, relay, stop;

int sendFrame(unsigned char* frame, int fd, int length) {

  int bytesWritten;
  if( (bytesWritten = write(fd, frame, length)) <= 0){
      return -1;
  }

  sleep(1);

  return bytesWritten;
}

int createIFrame(unsigned char* frame, unsigned char control, const unsigned char*
data, int dataSize) {

  frame[0] = FLAG;

  frame[1] = FIELD_A_T_INIT;

  frame[2] = control;

  frame[3] = headerBCC(FIELD_A_T_INIT, control);

  for(int i = 0; i < dataSize; i++) {
    frame[i + 4] = data[i];
  }

  frame[dataSize + 4] = dataBCC(data, dataSize);

  frame[dataSize + 5] = FLAG;

  return 0;
}

int createSFrame(unsigned char* frame, unsigned char address, unsigned char
control) {

  frame[0] = FLAG;

  frame[1] = address;
```

```
  frame[2] = control;

  frame[3] = headerBCC(address, control);

  frame[4] = FLAG;

  return 0;
}

int readSFrame(unsigned char* frame, int fd, unsigned char* controlBytes, int
controlBytesLength, unsigned char addressByte) {

    state_machine_st *sm = create_state_machine(controlBytes, controlBytesLength,
addressByte);

    unsigned char byte;
    while(sm->state != STOP && stop != TRUE && !relay) {
        if(readByte(&byte, fd) == 0){
          event_handler(sm, byte, frame, SUPERVISION);
        }
    }

    int ret = sm->controlByteIndex;

    destroy_st(sm);

    if(stop == TRUE || relay)
      return -1;

    return ret;

}

int readIFrame(unsigned char* frame, int fd, unsigned char* controlBytes, int
controlBytesLength, unsigned char addressByte) {

    state_machine_st *sm = create_state_machine(controlBytes, controlBytesLength,
addressByte);

    unsigned char byte;

    while(sm->state != STOP) {
        if(readByte(&byte, fd) == 0)
          event_handler(sm, byte, frame, INFORMATION);
    }

    int ret = sm->dataLength;

    destroy_st(sm);
```

```
    return ret + 5;

}
```

1.9 – Ficheiro port_operations.c.

```
1  #include "port_operations.h"
2
3  struct termios oldtio;
4  struct termios newtio;
5
6  int set_up_port(char *serialPortName){
7
8      // Open serial port device for reading and writing, and not as controlling
   tty
9      // because we don't want to get killed if linenoise sends CTRL-C.
10     int fd = open(serialPortName, O_RDWR | O_NOCTTY);
11
12     if (fd < 0)
13     {
14         perror(serialPortName);
15         return(-1);
16     }
17
18     // Save current port settings
19     if (tcgetattr(fd, &oldtio) == -1)
20     {
21         perror("tcgetattr");
22         return(-1);
23     }
24
25     // Clear struct for new port settings
26     memset(&newtio, 0, sizeof(newtio));
27
28     newtio.c_cflag = BAUDRATE | CS8 | CLOCAL | CREAD;
29     newtio.c_iflag = IGNPAR;
30     newtio.c_oflag = 0;
31
32     // Set input mode (non-canonical, no echo,...)
33     newtio.c_lflag = 0;
34     newtio.c_cc[VTIME] = 0; // Inter-character timer unused
35     newtio.c_cc[VMIN] = 5;  // Blocking read until 5 chars received
36
37     // VTIME e VMIN should be changed in order to protect with a
38     // timeout the reception of the following character(s)
39
40     // Now clean the line and activate the settings for the port
41     // tcflush() discards data written to the object referred to
42     // by fd but not transmitted, or data received but not read,
43     // depending on the value of queue_selector:
44     //   TCIFLUSH - flushes data received but not read.
45     tcflush(fd, TCIOFLUSH);
```

```
46
47      // Set new port settings
48      if (tcsetattr(fd, TCSANOW, &newtio) == -1)
49      {
50          perror("tcsetattr");
51          return(-1);
52      }
53
54      return fd;
55  }
56
57  int close_port(int fd){
58
59      sleep(1);
60
61      if (tcsetattr(fd, TCSANOW, &oldtio) == -1){
62          perror("tcsetattr");
63          return(-1);
64      }
65
66      close(fd);
67
68      return 0;
69  }
70
```

1.10 – Ficheiro state_machine.c.

```
#include "state_machine.h"


int isControlByte(unsigned char byte, state_machine_st* sm) {
  for (int i = 0; i < sm->controlBytesLength; i++) {
    if (sm->controlBytes[i] == byte)
      return i;
  }

  return -1;
}


void change_state(state_machine_st* sm, state_st st) {
    sm->state = st;
}


state_machine_st* create_state_machine(unsigned char* controlBytes, int
controlBytesLength, unsigned char addressByte) {
    state_machine_st* sm = malloc(sizeof(state_machine_st));
    change_state(sm, START);
    sm->controlBytes = controlBytes;
    sm->controlBytesLength = controlBytesLength;
    sm->addressByte = addressByte;
```

```
    sm->dataLength = 0;
    return sm;
}


void event_handler(state_machine_st* sm, unsigned char byte, unsigned char* frame,
int mode) {

    static int i = 0;

    if(mode ==  SUPERVISION){
      switch(sm->state) {

      case START:
          if (byte == FLAG) {
              change_state(sm, FLAG_RCV);
              frame[0] = byte;
          }
          break;

      case FLAG_RCV:
          if (byte == FLAG)
              break;
          else if (byte == sm->addressByte) {
              change_state(sm, A_RCV);
              frame[1] = byte;
          }
          else
              change_state(sm, START);
          break;

      case A_RCV:
          if (byte == FLAG){
                change_state(sm, FLAG_RCV);
            }
          else {
              int n;
              if ((n = isControlByte(byte, sm))>=0){
                change_state(sm, C_RCV);
                sm->controlByteIndex = n;
                frame[2] = byte;
              }
              else
                change_state(sm, START);
          }
          break;

      case C_RCV:
          if (byte == headerBCC(frame[1], frame[2])){
              change_state(sm, BCC_OK);
              frame[3] = byte;
```

```
        }

        else if (byte == FLAG)
            change_state(sm, FLAG_RCV);
        else
            change_state(sm, START);
        break;

    case BCC_OK:
        if (byte == FLAG){
            change_state(sm, STOP);
            frame[4] = byte;
        }
        else
            change_state(sm, START);
        break;

    default:
        break;

  }
}

  else if(mode == INFORMATION){

  switch(sm->state) {

      case START:
          i = 0;
          if (byte == FLAG) {
              change_state(sm, FLAG_RCV);
              frame[i++] = byte;
          }
          break;

      case FLAG_RCV:
          if (byte == FLAG)
              break;
          else if (byte == sm->addressByte) {
              change_state(sm, A_RCV);
              frame[i++] = byte;
          }
          else {
              change_state(sm, START);
              i = (int) START;
          }
          break;

      case A_RCV:
          if (byte == FLAG) {
              change_state(sm, FLAG_RCV);
```

```
                i = (int) FLAG_RCV;
            }
            else {
              if (isControlByte(byte, sm) >= 0){
                change_state(sm, C_RCV);
                frame[i++] = byte;
              }
              else {
                change_state(sm, START);
                i = (int) START;
              }
            }
            break;

        case C_RCV:
            if (byte == headerBCC(frame[1], frame[2])){
                change_state(sm, BCC_OK);
                frame[i++] = byte;
            }
            else if (byte == FLAG){
                change_state(sm, FLAG_RCV);
                i = (int) FLAG_RCV;
            }
            else{
                change_state(sm, START);
                i = (int) START;
            }
            break;

        case BCC_OK:
            if(byte ==  FLAG){
              frame[i] = byte;
              change_state(sm, STOP);
              sm->dataLength = i-4;
            }
            else{
              frame[i++] = byte;
            }
            break;


        default:
            break;

    }
  }


}


void destroy_st(state_machine_st* sm) {
```

```
  free(sm);
}
```

ANEXO 2 – Estrutura do código

2.1 – Estrutura da ligação de dados.

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

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

2.2 – Principais funções da camada da ligação de dados.

```
int llopen(LinkLayer connectionParameters);

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

int llread(unsigned char *packet);

int llclose(int showStatistics);

int set_up_port(char *serialPortName);

int close_port(int fd);
```

2.3 – Estrutura da camada da aplicação.

```
       struct applicationLayer {
    int fileDescriptor;
    int status;
};
```

2.4 – Principais funções da camada da aplicação.

```
int buildDataPacket(unsigned char *packet, int sequenceNumber, unsigned char *data,
int dataLength);
int parseDataPacket(unsigned char *packet, unsigned char *data, int
*sequenceNumber);
```

```
int buildControlPacket(unsigned char *packet, unsigned char control, int fileSize,
const char *fileName);

int parseControlPacket(unsigned char *packet, int *fileSize, unsigned char
*fileName);

int sendFile(const char *filename, char *serialPort);

int receiveFile(char *filename, char *serialPort);

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

ANEXO 3 – Protocolo de ligação lógica

3.1 – Operações iniciais da função llopen().

```
serialPort = connectionParameters.serialPort;
    role = connectionParameters.role;
    baudRate = connectionParameters.baudRate;
    nRetransmissions = connectionParameters.nRetransmissions;
    timeout = connectionParameters.timeout;

    if((fd = set_up_port(serialPort)) == -1){
        printf("Couldn't open port communication");
        return -1;
    }

    alarmHandlerInstaller();
```

3.2 – Função llopen() – emissor.

```
if(connectionParameters.role == LlTx){

        unsigned char responseBuffer[BUF_SIZE_SF];

        if (createSFrame(frame, FIELD_A_T_INIT, SET) != 0){
            close_port(fd);
            return -1;
        }

        if (sendFrame(frame, fd, frameLength) == -1){
            close_port(fd);
            return -1;
        }

        printf("SET sent\n");

        stop = FALSE;
```

```
        int bytesRead = -1;
        currentRetransmission = 0;
        relay = FALSE;

        alarm(timeout);

        unsigned char controlByte[1] = {UA};
        while(!stop){
            bytesRead = readSFrame(responseBuffer, fd, controlByte, 1,
FIELD_A_T_INIT);

            if(relay){
                sendFrame(frame, fd, frameLength);
                relay = FALSE;
            }

            if(bytesRead >= 0){
                alarm(0);
                stop = TRUE;
            }
        }

        if(bytesRead == -1){
            printf("Couldn't read UA. Closing file\n");
            close_port(fd);
            return -1;
        }

        printf("UA received\n");

        return 1;
    }
```

3.3 – Função llopen() – recetor

```
if(connectionParameters.role == LlRx){

        unsigned char controlByte[1] = {SET};

        if (readSFrame(frame, fd, controlByte, 1, FIELD_A_T_INIT) != 0){
            close_port(fd);
            return -1;
        }
        printf("SET received\n");

        if(createSFrame(frame, FIELD_A_T_INIT, UA) != 0){
            close_port(fd);
            return -1;
        }
```

```
        if(sendFrame(frame, fd, frameLength) < 0){
            close_port(fd);
            return -1;
        }
        printf("UA sent\n");

        gettimeofday(&start, NULL);

        return 1;
    }
```

3.4 – Função llwrite() - criação de uma trama de informação.

```
if(createIFrame(frame, controlByte, buf, bufSize) != 0){
        close_port(fd);
        return -1;
    }
```

3.5 – Função llwrite() – stuffing da trama de informação.

```
if((length = stuffIFrame(frame, frameSize)) < 0){
        close_port(fd);
        return -1;
    }
```

3.6 – Função llwrite() – envio da trama de informação.

```
 if((bytesWritten = sendFrame(frame, fd, frameLength)) == -1){
            close_port(fd);
            return -1;
    }
```

3.7 – Função llwrite() - receção de uma resposta.

```
bytesRead = readSFrame(responseBuf, fd, controlBytes, 2, FIELD_A_T_INIT);
```

3.8 – Função llwrite() – processamento da resposta recebida.

```
while(!stop){
            bytesRead = readSFrame(responseBuf, fd, controlBytes, 2,
FIELD_A_T_INIT);

            if(relay){
                if(sendFrame(frame, fd, frameLength) < 0){
                    printf("Troubles resending. Closing file\n");
                    close_port(fd);
                    return -1;
                }
                relay = FALSE;
            }

            if (bytesRead >= 0){
```

```
                alarm(0);
                stop = TRUE;
            }
        }
```

3.9 – Função llread() - leitura de uma trama de informação.

```
bytesRead = readIFrame(frame, fd, controlBytes, 2, FIELD_A_T_INIT);
```

3.10 – Função llread() - unstuffing uma trama de informação.

```
if((packetSize = unstuffIFrame(frame, bytesRead)) < 0){
            printf("Troubles unstuffing. Closing file\n");
            close_port(fd);
            return -1;
        }
```

3.11 – Função llread() – construção de uma resposta de acordo com o BBC2 e com o sequence number.

```
if (frame[packetSize - 2] == dataBCC(&frame[4], packetSize - 6)){
            if(controlByte != seqNumber){
                if(controlByte == 0){
                    seqNumber = 1;
                    responseByte = RR1;
                }
                else{
                    seqNumber = 0;
                    responseByte = RR0;
                }
            }
            else{
                for (int i = 0; i < packetSize - 6; i++){
                    packet[i] = frame[4 + i];
                }

                bufferFull = TRUE;

                if(controlByte == 0){
                    seqNumber = 1;
                    responseByte = RR1;
                }
                else{
                    seqNumber = 0;
                    responseByte = RR0;
                }
            }
        }
        else{
            if(controlByte != seqNumber){
                if(controlByte == 0){
                    seqNumber = 1;
```

```
                    responseByte = RR1;
                }
                else{
                    seqNumber = 0;
                    responseByte = RR0;
                }
            }
            else{
                if(controlByte == 0){
                    seqNumber = 0;
                    responseByte = REJ0;
                }
                else{
                    seqNumber = 1;
                    responseByte = REJ1;
                }
            }
        }
```

3.12 – Função llread() – criação de uma trama de supervisão em função da resposta.

```
if((createSFrame(frame, FIELD_A_T_INIT, responseByte)) != 0){
            printf("Troubles sending response. Closing file\n");
            close_port(fd);
            return -1;        }
```

3.13 – Função llread() – envio da trama de supervisão.

```
if(sendFrame(frame, fd, frameLength) < 0){
           printf("Troubles sending response. Closing file\n");
           close_port(fd);
           return -1;
       }
```

3.14 – Função llclose() – emissor.

```
if(role == LlTx){

        if((createSFrame(frame, FIELD_A_T_INIT, DISC)) != 0){
            printf("Troubles sending command. Closing file\n");
            close_port(fd);
            return -1;
        }

        frameLength = BUF_SIZE_SF;
        if(sendFrame(frame, fd, frameLength) < 0){
            printf("Troubles sending command. Closing file\n");
            close_port(fd);
            return -1;
        }
```

```
        printf("DISC sent\n");

        stop = FALSE;
        int bytesRead = -1;
        currentRetransmission = 0;
        relay = FALSE;

        alarm(timeout);

        unsigned char controlByte[1] = {DISC};
        while(!stop){

            if((bytesRead = readSFrame(frame, fd, controlByte, 1,
FIELD_A_R_INIT)) < 0){
                printf("Error reading DISC\n");
                return -1;
            }

            if(relay){
                sendFrame(frame, fd, frameLength);
                relay = FALSE;
            }

            if(bytesRead >= 0){
                alarm(0);
                stop = TRUE;
            }
        }

        if(bytesRead < 0){
            printf("Troubles reading command. Closing file\n");
            close_port(fd);
            return -1;
        }

        printf("DISC received\n");

        if((createSFrame(frame, FIELD_A_R_INIT, UA)) != 0){
            printf("Troubles sending response. Closing file\n");
            close_port(fd);
            return -1;
        }

        if(sendFrame(frame, fd, frameLength) < 0){
            printf("Troubles sending response. Closing file\n");
            close_port(fd);
            return -1;
        }
```

```
        printf("UA sent\n");
    }
```

3.15 – Função llclose() – recetor.

```
else if(role == LlRx){
        unsigned char controlByteCommand[1] = {DISC};

        if (readSFrame(frame, fd, controlByteCommand, 1, FIELD_A_T_INIT) !=
0){
            printf("Troubles receiving command. Closing file\n");
            close_port(fd);
            return -1;
        }

        printf("DISC received\n");

        if(createSFrame(frame, FIELD_A_R_INIT, DISC) != 0){
            printf("Troubles sending command. Closing file\n");
            close_port(fd);
            return -1;
        }

        if(sendFrame(frame, fd, frameLength) < 0){
            printf("Troubles sending command. Closing file\n");
            close_port(fd);
            return -1;
        }
        printf("DISC sent\n");

        stop = FALSE;
        int bytesRead = -1;
        currentRetransmission = 0;
        relay = FALSE;
        frameLength = BUF_SIZE_SF;

        alarm(timeout);

        unsigned char controlByteResponse[1] = {UA};
        while(!stop){

            if((bytesRead = readSFrame(frame, fd, controlByteResponse, 1,
FIELD_A_R_INIT)) < 0){
                printf("Error reading UA\n");
                return -1;
            }

            if(relay){
                sendFrame(frame, fd, frameLength);
```

```
                relay = FALSE;
            }

            if(bytesRead >= 0){
                alarm(0);
                stop = TRUE;
            }
        }

        if(bytesRead < 0){
            printf("Troubles reading response. Closing file\n");
            close_port(fd);
            return -1;
        }

        printf("UA received\n");
```

3.16 – Função llclose() – estatísticas – recetor.

```
        gettimeofday(&end, NULL);
        double time_spent = ((end.tv_sec - start.tv_sec) * 1e6 + (end.tv_usec
- start.tv_usec)) * 1e-6;

        if(showStatistics == TRUE){
            printf("Bits Received =  %d\n", bitsReceived);
            printf("Time spent =  %f\n", time_spent);
            double R =  bitsReceived/time_spent;
            double S = R / baudRate;

            printf("Debit received = %lf\n", R);
            printf("Efficiency S = %lf\n", S);
        }
    }
```

ANEXO 4 – Protocolo de aplicação

4.1 – Função applicationLayer.

```
    strcpy(linklayer.serialPort, serialPort);
    if(strcmp(role, "tx") == 0)
        linklayer.role = LlTx;
    else if(strcmp(role, "rx") == 0)
        linklayer.role = LlRx;
    else{
        perror("Role not defined\n");
    }
    linklayer.baudRate = baudRate;
    linklayer.nRetransmissions = nTries;
    linklayer.timeout = timeout;
```

```
    if (linklayer.role == LlTx)
    {
        if((sendFile(filename, serialPort) != 0)){
            printf("Error sending file\n");
        }
    }
    else if(linklayer.role == LlRx)
    {
        if((receiveFile(filename, serialPort) != 0)){
            printf("Error receiving file\n");
        }
    }
    else{
        perror("Role not defined");
    }
```

4.2 – Função sendFile() – abertura do ficheiro.

```
FILE *file = openFile(filename, "r");
    if (file == NULL)
    {
        printf("ERROR OPENING FILE!\n");
        return 1;
    }
```

4.3 – Função sendFile() e receiveFile() – estabelecimento ligação.

```
if (llopen(linklayer) == -1)
    {
        return 1;
    }
```

4.4 – Função sendFile() – construção e envio o control packet inicial.

```
    int fileSize = getFileSize(file);
    unsigned char cSPacket[MAX_PACK_SIZE];
    int packetSize = buildControlPacket(cSPacket, START_TRANSFER, fileSize,
filename);
if (llwrite(cSPacket, packetSize) == -1)
    {
        if (closeFile(file))
        {
            return 1;
        }
        return 1;
    }
```

4.5 – Função sendFile() – criação de tramas.

```
while (!feof(file))
    {
        bytesRead = readBytesFromFile(file, data);
```

```
        if (bytesRead != MAX_DATA_SIZE && !feof(file))
        {
            printf("ERROR READING\n");
            if (closeFile(file))
            {
                return 1;
            }
            return 1;
        }
        packetSize = buildDataPacket(dPacket, getSequenceNumber(n),
data,bytesRead);
        n++;
        if (llwrite(dPacket, packetSize) == -1)
        {
            if (closeFile(file))
            {
                return 1;
            }
            return 1;
        }
    }
```

4.6 – Função sendFile() construção e envio o control packet final.

```
unsigned char cEPacket[MAX_PACK_SIZE];

    packetSize = buildControlPacket(cEPacket, END_TRANSFER,
fileSize,filename);

    if (llwrite(cEPacket, packetSize) == -1)
    {
        return 1;
    }
```

4.7 – Função sendFile() – fecho da ligação.

```
if (llclose(1) == -1)
    {
        return 1;
    }
```

4.8 – Função sendFile() – fehco do ficheiro.

```
if (closeFile(file))
    {
        return 1;
    }
    return 0;
```

4.9 – Função receiveFile() – leitura do control packet inicial.

```
if((packetSize = llread(cPacket)) < 0){
        printf("Error reading control packet");
```

```
        return 1;
    }
```

4.10 – Função receiveFile() – parsing do control packet inicial.

```
if(parseControlPacket(cPacket, &fileSize, packetFilename) != 0 ||
cPacket[0] != START_TRANSFER){
        printf("Error parsing control packet\n");
        return 1;
    }
```

4.11 – Função receiveFile() – abertura do ficheiro de destino.

```
FILE *file = openFile(filename, "w");
    if(file == NULL){
        return 1;
    }
```

4.12 – Função receiveFile() – Leitura e parsing das tramas recebidas até ao control packet final.

```
if((packetSize = llread(cPacket)) < 0){
int n = 0;
    int sequenceNumber;
    unsigned char dPacket[MAX_PACK_SIZE];
    unsigned char data[MAX_DATA_SIZE];
    do
    {
        packetSize = llread(dPacket);
        if(packetSize < 0){
            closeFile(file);
            return 1;
        }

        if(dPacket[0] == CTRL_DATA){
            if(parseDataPacket(dPacket, data, &sequenceNumber)){
                closeFile(file);
                return 1;
            }
            if(sequenceNumber != getSequenceNumber(n)){
                printf("Different sequence numbers\n");
                closeFile(file);
                return 1;
            }
            n++;
        }
        if(dPacket[0] != CTRL_END){
            if((writeBytesToFile(file, data, packetSize - 4) != packetSize -
4)){
                closeFile(file);
                return 1;
            }
```

```
        }
    } while (dPacket[0] != CTRL_END);
```

4.13 – Função receiveFile() – fecho do ficheiro de destino.

```
closeFile(file);
```

4.14 – Função receiveFile() – parsing do control packet final.

```
    int newFileSize = 0;
    unsigned char newFileName[255];
    if((parseControlPacket(dPacket, &newFileSize, newFileName) != 0)
||dPacket[0] != END_TRANSFER)
    {
        printf("Error parsing control packet\n");
        return 1;
    }
```

4.15 – Função receiveFile() verificação da igualdade dos ficheiros.

```
if((fileSize != newFileSize) || (strcmp(newFileName, packetFilename) != 0)){
        printf("Files aren't the same\n");
        return 1;
    }
```

4.16 – Função receiveFile() – fecho da ligação.

```
if(llclose(1) == -1){
        printf("Error closing file\n");
        return 1;
    }
```