**Universidade de Coimbra**
Faculdade de Ciências e Tecnologia

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA INFORMÁTICA**
Redes de Comunicação

# Ficha 3 – Programação com *sockets* (TCP e UDP)

Ano Letivo de 2024/2025

## 1 – Introdução

Nesta ficha iremos começar a abordar a construção de aplicações que fazem uso dos serviços de comunicação da camada de transporte, em particular dos protocolos TCP e UDP. Para o desenvolvimento das suas aplicações deverá utilizar um o Linux.

**Avaliação da Ficha**

- Esta Ficha vale **1 valor** (em 20).
- Deverá submeter as suas respostas aos Exercícios 2 e 4 via Moodle, até ao dia 21/mar.

## 2 – Programação com *sockets* (TCP)

A programação com *sockets* surgiu no sistema operativo BSD Unix 4.1c, em 1980, e representa na atualidade o modelo de programação de rede utilizado em virtualmente todos os sistemas operativos (Windows, Unix e macOS, entre outros). Existem dois tipos principais de *sockets*: os Unix *sockets* (FIFOs/Pipes no sistema de ficheiros) e os *sockets* Internet, sendo neste últimos que iremos focar a nossa atenção nesta ficha prática.

O Protocolo TCP (Transmission Control Protocol**)** é um dos protocolos principais da Internet, garantindo a entrega ordenada e livre de erros dos pacotes transmitidos. Tal como o UDP, o TCP atua na camada de transporte e recorre aos serviços do Protocolo IP (Internet Protocol) na camada de rede para transmissão da informação. A figura seguinte apresenta um modelo genérico de interação (comunicação) entre um cliente e um servidor com TCP:

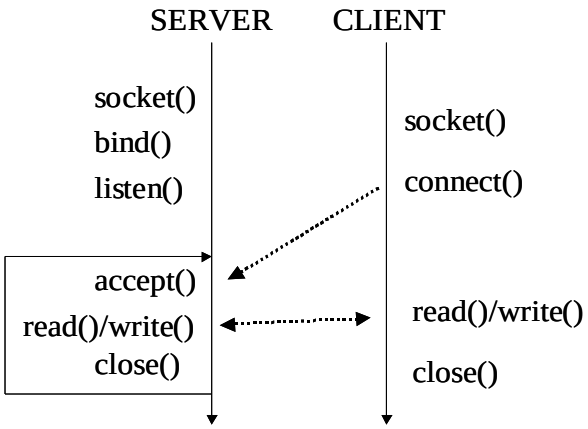



**Figura 1 - Utilização de *sockets* na comunicação com TCP**

## *Descrição das funções necessárias*

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

/* Cria um novo socket. Ver página de manual no Linux: "man socket" */
int socket(int domain, int type, int protocol)

domain:       Domínio no qual o socket será usado
              (processos Unix / internet)
              (AF_UNIX, AF_INET, AF_INET6, ...)
type:         Tipo de ligação (orientada a ligações ou datagrama)
              (SOCK_STREAM, SOCK_DGRAM, ...)
protocol:     Forma de comunicação (0 para protocolo por omissão,
              IPPROTO_TCP para TCP, IPPROTO_UDP para UDP)

              Protocolos por default:
              Domínio AF_INET e tipo SOCK_STREAM: TCP
              Domínio AF_INET e tipo SOCK_DGRAM: UDP

DEVOLVE:      "Descritor de socket"
```

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

/* Associa um socket a um determinado endereço. Página de manual no Linux:
"man 2 bind" */
int bind(int fd, const struct sockaddr *address, socklen_t address_len)

fd:           "Descritor de socket"
address:      Ponteiro para o endereço a associar ao socket
address_len:  Dimensão da estrutura de dados indicada em <address>

DEVOLVE:      0 para sucesso, -1 para erro

Internet Sockets:

struct sockaddr_in {
      short             sin_family;  // AF_INET
      u_short           sin_port;    // porto a associar
      struct in_addr    sin_addr;    // INADDR_ANY = qualquer
                                     //    endereço do host
      char              sin_zero;    // padding, deixar em branco
```

```
}

struct in_addr {
    unsigned long s_addr;
};
```

**Nota:**

2) Endereços especiais:
**INADDR_ANY** – (0.0.0.0) - quando especificado na função *bind*, o socket ficará ligado a todas as interfaces locais da máquina
**INADDR_LOOPBACK** - (127.0.0.1) – refere sempre o localhost via o interface de loopback

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

/* Aguardar pela recepção de ligações. Ver página de manual no Linux: "man listen" */
int listen(int fd, int backlog)
```

fd: "Descritor de *socket*"
backlog: Quantos clientes são mantidos em espera (a aguardar o *accept*) antes de haver recusa de ligação (com a mensagem "Connection Refused")

DEVOLVE: 0 para sucesso, -1 para erro

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

/* Aceita uma ligação. Ver página de manual: "man 2 accept" */
int accept(int fd, const struct sockaddr *address,
       socklent_t* address_len)
```

fd: "Descritor de *socket*"
address: Estrutura de dados que vai ser preenchida com informação sobre a ligação que está a ser estabelecida
address_len: Comprimento do *buffer* <address>. No final da chamada irá conter o tamanho (em octetos) da estrutura <address>

DEVOLVE: "Descritor de *socket*" da ligação aceite, -1 em caso de erro

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

/* Inicia uma ligação num socket. Ver página de manual: "man connect" */
int connect(int fd, const struct sockaddr *address,
       socklen_t address_len)
```

fd: "Descritor de *socket*"
address: Endereço do servidor ao qual se pretende ligar
address_len: Dimensão da estrutura <address>

DEVOLVE: 0 para ligação estabelecida, -1 no caso contrário

### *Descrição de funções auxiliares*

Consultar mais detalhes na página do manual do Linux: "`man <nome_função>`".

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

/* Converte nome para endereço. Pág. de manual no Linux:"man gethostbyname" */
struct hostent * gethostbyname(const char* name)

DEVOLVE:     Estrutura com o endereço Internet correspondente ao nome
```

**Estrutura hostent:**

O mapeamento entre o nome do *host* e o endereço é representado pela estrutura *struct hostent*:

```
struct hostent {
          char  *h_name;            // nome oficial do host
          char  **h_aliases;        // lista de aliases
          int   h_addrtype;         // hostaddrtype(ex.: AF_INET6)
          int   h_length;           // comprimento doendereço
          char  **h_addr_list;      // lista de end. terminada com null
};

/*1st addr, net byte order*/
#define h_addr h_addr_list[0]

The h_addr definition is for backward compatibility, and is the first address
in the list of addresses in the hostent structure.
```

**Nota:**

Na arquitetura i80x86 a ordem dos bytes é a *little-endian* (primeiro é armazenado na memória o byte menos significativo), enquanto as comunicações em rede utilizam (enviam) primeiro os bytes mais significativos (*big-endian*).

```
#include <arpa/inet.h> ou <netinet/in.h>
uint32_t htonl(uint32_t hostlong);
uint16_t htons(uint16_t hostshort);
uint32_t ntohl(uint32_t netlong);
uint16_t ntohs(uint16_t netshort);
```

**htonl**() – (*host to network long*) converte um inteiro sem sinal da ordem de bytes do *host* para a ordem de bytes da rede.

**htons**() – (*host to network short*) converte um inteiro *short* sem sinal da ordem de bytes do *host* para a ordem de bytes da rede.

**ntohl**() – (*network to host long*) converte um inteiro sem sinal da ordem de bytes da rede para a ordem de bytes do *host*.

**ntohs**() – (*network to host short*) converte um inteiro *short* sem sinal *netshort* da ordem de bytes da rede para a ordem de bytes do *host*.

```
#include <arpa/inet.h>

/* Converte um endereço IPv4 para uma string com o formato xxx.xxx.xxx.xxx =>
n(network) to p(presentation)*/
const char *inet_ntop(int af, const void *src, char *dst, socklen_t size);

af:   família AF_INET (para IPv4) ou AF_INET6 (para IPv6)
src:  ponteiro para uma estrutura struct in_addr ou struct in6_addr
dst:  string destino
size: tamanho máximo da string destino (o comprimento máximo é de
      INET_ADDRSTRLEN e INET6_ADDRSTRLEN)

/*  Converte uma string com o endereço IP num valor para a estrutura struct
in_addr ou struct in6_addr => p(presentation) to n(network) */
int inet_pton(int af, const char *src, void *dst);
```

### ***Exemplo TCP (servidor e cliente)*** (código fonte incluído nos materiais da Ficha)

```
/*****************************************************************************
 * SERVIDOR no porto 9000, à escuta de novos clientes. Quando surgem
 * novos clientes os dados por eles enviados são lidos e descarregados no ecran.
 *****************************************************************************/
#include <sys/socket.h>
#include <sys/types.h>
#include <netinet/in.h>
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <netdb.h>
#include <string.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/wait.h>

#define SERVER_PORT 9000
#define BUF_SIZE 1024

void process_client(int fd);
void erro(char *msg);

int main() {
  int fd, client;
  struct sockaddr_in addr, client_addr;
  int client_addr_size;

  bzero((void *) &addr, sizeof(addr));
  addr.sin_family = AF_INET;
  addr.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY);
  addr.sin_port = htons(SERVER_PORT);

  if ( (fd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0)) < 0) erro("na funcao socket");
  if ( bind(fd,(struct sockaddr*)&addr,sizeof(addr)) < 0) erro("na funcao bind");
  if( listen(fd, 5) < 0) erro("na funcao listen");
  client_addr_size = sizeof(client_addr);

  while (1) {
    //clean finished child processes, avoiding zombies
    //must use WNOHANG or would block whenever a child process was still working
    while(waitpid(-1,NULL,WNOHANG)>0);
    // wait for new connection
    client = accept(fd,(struct sockaddr *)&client_addr, (socklen_t *)&client_addr_size);
    if (client > 0) {
      if (fork() == 0) {
        close(fd);
        process_client(client);
        exit(0);
      }
    close(client);
    }
  }
  return 0;
}

void process_client(int client_fd){
       int nread = 0;
       char buffer[BUF_SIZE];

       do {
              nread = read(client_fd, buffer, BUF_SIZE-1);
              buffer[nread] = '\0';
              printf("%s", buffer);
              fflush(stdout);
       } while (nread > 0);
       close(client_fd);
}

void erro(char *msg){
       printf("Erro: %s\n", msg);
       exit(-1);
}
```

```
/*********************************************************************
 * CLIENTE liga ao servidor (definido em argv[1]) no porto especificado
 * (em argv[2]), escrevendo a palavra predefinida (em argv[3]).
 * USO: >cliente <enderecoServidor>  <porto>  <Palavra>
 *********************************************************************/
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <unistd.h>
#include <netdb.h>

void erro(char *msg);

int main(int argc, char *argv[]) {
  char endServer[100];
  int fd;
  struct sockaddr_in addr;
  struct hostent *hostPtr;

  if (argc != 4) {
       printf("cliente <host> <port> <string>\n");
       exit(-1);
  }

  strcpy(endServer, argv[1]);
  if ((hostPtr = gethostbyname(endServer)) == 0)
       erro("Não consegui obter endereço");

  bzero((void *) &addr, sizeof(addr));
  addr.sin_family = AF_INET;
  addr.sin_addr.s_addr = ((struct in_addr *)(hostPtr->h_addr))->s_addr;
  addr.sin_port = htons((short) atoi(argv[2]));

  if((fd = socket(AF_INET,SOCK_STREAM,0)) == -1)
       erro("socket");
  if( connect(fd,(struct sockaddr *)&addr,sizeof (addr)) < 0)
       erro("Connect");
  write(fd, argv[3], 1 + strlen(argv[3]));
  close(fd);
  exit(0);
}

void erro(char *msg){
       printf("Erro: %s\n", msg);
       exit(-1);
}
```

**Notas:**

- Um endereço associado a um *socket* TCP fica indisponível durante algum tempo após o *socket* ser fechado. Isto só não acontece se usarmos a *flag* SO_REUSEADDR (ver a função `setsockopt()` ). Esta *flag* permite que vários *sockets* possam estar associados a um mesmo endereço. Não é aconselhado o uso desta *flag*, exceto em casos especiais.

- Devem sempre fechar o *socket* antes de terminar o programa.

- Uma solução alternativa em caso de erro no *bind*, é mudar o número do porto em utilização no servidor.

## *Exercícios de programação com sockets TCP:*

### Exercício 1: (exercício não avaliado)

Modifique as aplicações cliente e servidor apresentadas, de modo a obter as seguintes funcionalidades:
- O servidor escreve na consola o endereço IP e o porto do cliente que lhe está a ligar; dá também um número a cada cliente novo que liga;
- O servidor devolve ao cliente uma mensagem de texto com o endereço IPv4, o porto do qual o cliente está a ligar e o número de clientes que já estabeleceram ligação.

Exemplo:

**Servidor**

```
user@user-virtualbox$ ./servidor
** New message received **
Client 1 connecting from (IP:port) 127.0.0.1:58511 says "Bom dia!"
** New message received **
Client 2 connecting from (IP:port) 127.0.0.1:59023 says "Olá!"
```

**Cliente:**

```
user@user-virtualbox$ ./cliente 127.0.0.1 9000 "Bom dia!"
Received from server:
Server received connection from (IP:port) 127.0.0.1:58511; already received 1 connections!

user@user-virtualbox$ ./cliente 127.0.0.1 9000 "Olá!"
Received from server:
Server received connection from (IP:port) 127.0.0.1:59023; already received 2 connections!
```

### Exercício 2:

Com este exercício pretende-se simular o processo de obtenção, por parte de um cliente, do endereço IP registado para um determinado nome de domínio.

Modifique as aplicações cliente e servidor fornecidas, de modo a construir um servidor e cliente com as funcionalidades descritas de seguida.

Devera ter um servidor e admitir ligações de vários clientes simultaneamente. Quando um cliente inicia a ligação, o servidor envia ao cliente a mensagem seguinte:

| Bem-vindo ao servidor de nomes do DEI. Indique o nome de domínio |
|---|

O cliente envia um nome de domínio com o formato seguinte: www.dei.uc.pt

De seguida, o servidor deve procurar o nome de domínio num ficheiro de texto e responder ao cliente com o endereço IP associado, com uma mensagem como a seguinte:

| O nome de domínio www.dei.uc.pt tem associado o endereço IP 193.137.203.227 |
|---|

Caso o nome não seja encontrado no ficheiro, o servidor deverá responder da seguinte forma:

| O nome de domínio www.dei.uc.pt não tem um endereço IP associado |
|---|

O cliente pode continuar a enviar nomes de domínio e o servidor devera continuar a responder. Quando o cliente quiser fechar a sessão, devera enviar a mensagem seguinte:

| SAIR |
|---|

Quando o servidor recebe a mensagem “SAIR”, o servidor devera responder com a mensagem seguinte:

```
Até logo!
```

O servidor deverá poder aceitar ligações (pedidos) de vários clientes em simultâneo, e terminar a sua execução com Ctrl+C.

O formato do ficheiro de texto deve ser como de seguida:

```
www.dei.uc.pt 193.137.203.227
microsoft.com 20.112.52.29
meo.com 3.33.139.32
autenticacao.gov.pt 62.28.186.215
```

# Programação com *sockets* (UDP)

Ao contrário do que acontece com o TCP (*Transmission Control Protocol*), no protocolo UDP (*User Datagram Protocol*) não existem ligações, sendo que consequentemente não é necessário manter informação de estado relativamente a associações entre computadores. Isto significa que um servidor UDP não aceita ligações e, da mesma forma, um cliente UDP não tem a necessidade de estabelecer uma ligação ao servidor. Os pacotes UDP são enviados isoladamente entre sistemas, sem quaisquer garantias em relação à sua entrega ou à sua ordenação na chegada ao sistema de destino.

## *Descrição das funções principais*

- Na criaçao do *socket* o tipo (*socket_type*) deve indicar a utilização de *datagrams* em vez de *data streams*:

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

/* Cria um novo socket */
int socket(int domain, int type, int protocol)

domain:      Domínio no qual o socket será usado
             (processos Unix / internet)
             (AF_UNIX ou AF_INET)

type:        Tipo de ligação (orientada a ligações ou utilizando datagramas,
             SOCK_STREAM ou SOCK_DGRAM)

protocol:    Forma de comunicação (0 para protocolo por omissão)

             Protocolo por default:
             Domínio AF_INET e tipo SOCK_DGRAM: UDP

DEVOLVE:     Descritor de socket
```

- Para além da criação do *socket* propriamente dito, é necessário utilizar a função *bind* no servidor para definir a porta a utilizar, após o que o servidor pode receber pacotes UDP de vários clientes.
- Um programa pode utilizar as funções *sendto* e *recvfrom* (entre outras) para enviar ou receber pacotes UDP de outro computador. Estas funções recebem ou devolvem o endereço e porto do outro computador:

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

/* Recebe uma mensagem através de um socket */
int recvfrom(int sockfd, void *buf, int len, int flags,
       struct sockaddr *src_addr, socklen_t *addrlen)

sockfd:      socket onde é recebida a mensagem.
buf:         buffer para armazenamento da mensagem.
len:         número máximo de bytes a ler (de acordo com o tamanho do buffer).
flags:       controlo da operação de leitura (utilizar comando "man recvfrom"
             no linux para mais informação).
src_addr:    estrutura para armazenamento do endereço de origem da mensagem.
addrlen:     tamanho do endereço de origem da mensagem.

A função devolve: em caso de sucesso o número de bytes (tamanho da mensagem
UDP) recebidos.
```

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

/* Envia uma mensagem */
int sendto(int sockfd, void *buf, int len, int flags,
       struct sockaddr *dest_addr, socklen_t addrlen)

Parâmetros:         semelhantes aos da função anterior (ver página de manual
                    com o comando "man sendto" no Linux).
A função devolve: em caso de sucesso o número de bytes enviados.
```

### *Exemplo (implementação servidor UDP)* (código fonte incluído nos materiais da Ficha)

Apresenta-se a seguir um exemplo de um programa servidor que recebe mensagens UDP:

```
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include <arpa/inet.h>
#include <sys/socket.h>
#include <unistd.h>

#define BUFLEN 512    // Tamanho do buffer
#define PORT 9876     // Porto para recepção das mensagens

void erro(char *s) {
       perror(s);
       exit(1);
}

int main(void ){
       struct sockaddr_in si_minha, si_outra;

       int s, recv_len;
       socklen_t slen = sizeof(si_outra);
       char buf[BUFLEN];

       // Cria um socket para recepção de pacotes UDP
       if((s=socket(AF_INET, SOCK_DGRAM, IPPROTO_UDP)) == -1){
              erro("Erro na criação do socket");
       }

       // Preenchimento da socket address structure
       si_minha.sin_family = AF_INET;
       si_minha.sin_port = htons(PORT);
       si_minha.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY);

       // Associa o socket à informação de endereço
       if(bind(s,(struct sockaddr*)&si_minha, sizeof(si_minha)) == -1){
              erro("Erro no bind");
       }

       // Espera recepção de mensagem (a chamada é bloqueante)
       if((recv_len=recvfrom(s,buf,BUFLEN,0,(struct sockaddr *)&si_outra,
              (socklen_t *)&slen)) == -1){
              erro("Erro no recvfrom");
       }

       // Para ignorar o restante conteúdo (anterior do buffer)
       buf[recv_len]='\0';

       // Envia para a consola a mensagem recebida
       printf("Recebi uma mensagem do sistema com o endereço %s e o porto %d\n",
                     inet_ntoa(si_outra.sin_addr), ntohs(si_outra.sin_port));
       printf("Conteúdo da mensagem: %s\n" , buf);

       // Fecha socket e termina programa
       close(s);
       return 0;
}
```

## *Exercícios (programação com sockets UDP e Wireshark):*

### Exercício 3: (exercício não avaliado):

Utilize a aplicação do exemplo anterior e o programa "netcat" como cliente para envio de mensagens UDP. Valide o envio da mensagem pelo cliente e a sua correta recepção no servidor.

Síntaxe de utilização (no Linux):

```
nc <-u> <Endereço IP servidor> <Porto>
```

Exemplo:

**Servidor**

```
user@user-virtualbox$ ./servidor
Recebi uma mensagem do sistema com o endereço 127.0.0.1 e o porto 42806
Conteúdo da mensagem: Bom dia!
```

**Cliente:**

```
user@user-virtualbox$ nc -u localhost 9876
Bom dia!
```

### Exercício 4:

Utilizando o servidor do exemplo anterior, altere-a na medida do necessário, e desenvolva o cliente associado, para criar um conversor de base de números. O cliente envia um número em base decimal e o servidor responde com a conversão a base binaria e hexadecimal.

Exemplo:

O Cliente envia:

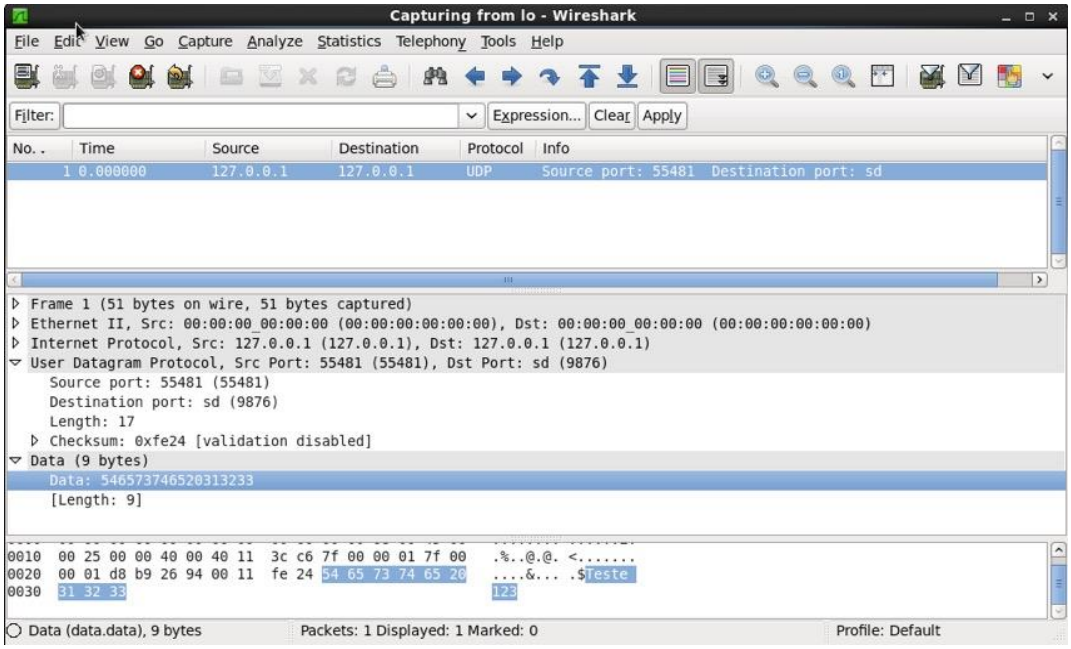
```
25
```

O Servidor responde:

```
Número em binário: 0001 1001
Número em hexadecimal: 0x19
```

### Exercício 5:

Utilizando um *network sniffer* como o *wireshark* (http://www.wireshark.org/) observe as mensagens UDP e TCP trocadas entre o cliente e o servidor, bem como o seu conteúdo e restante informação. A fig. seguinte apresenta um exemplo de utilização do *wireshark* com esse propósito.




Notas:

- Caso a aplicação *wireshark* não esteja instalada poderá instalar o respetivo package recorrendo ao comando seguinte: "`sudo apt-get install wireshark`".

- Para executar (chamar) o *wireshark* executar o comando "`sudo wireshark`" (o `sudo` executa o programa em modo de administrador, por forma a garantir que tem acesso a todas as interfaces de rede).