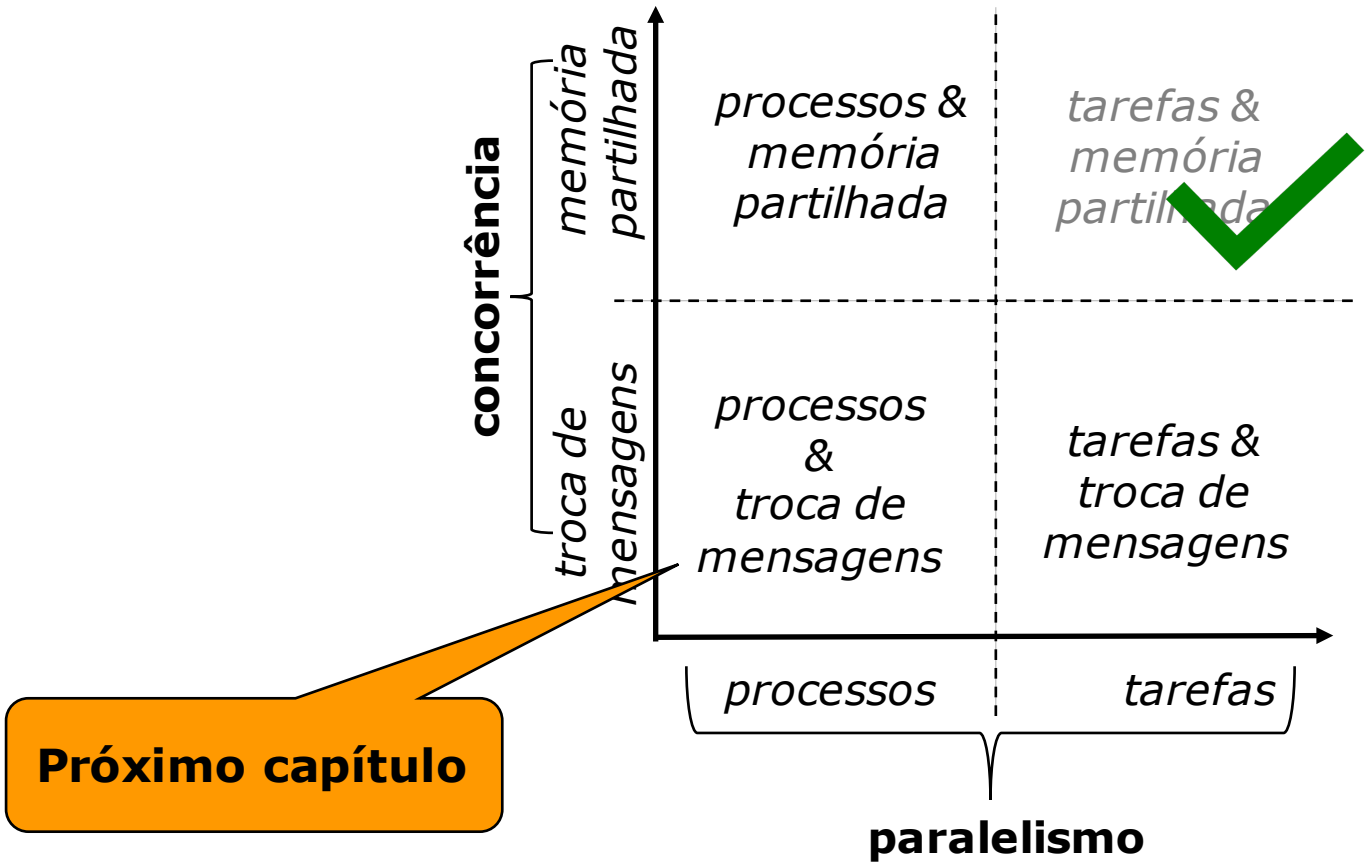
O que construímos até agora...

A abstração de processo

A possibilidade de ter paralelismo e partilha de dados dentro do processo

Combinações de modelos de paralelismo e coordenação



Comunicação por Troca de Mensagem entre Processos

Canal de comunicação

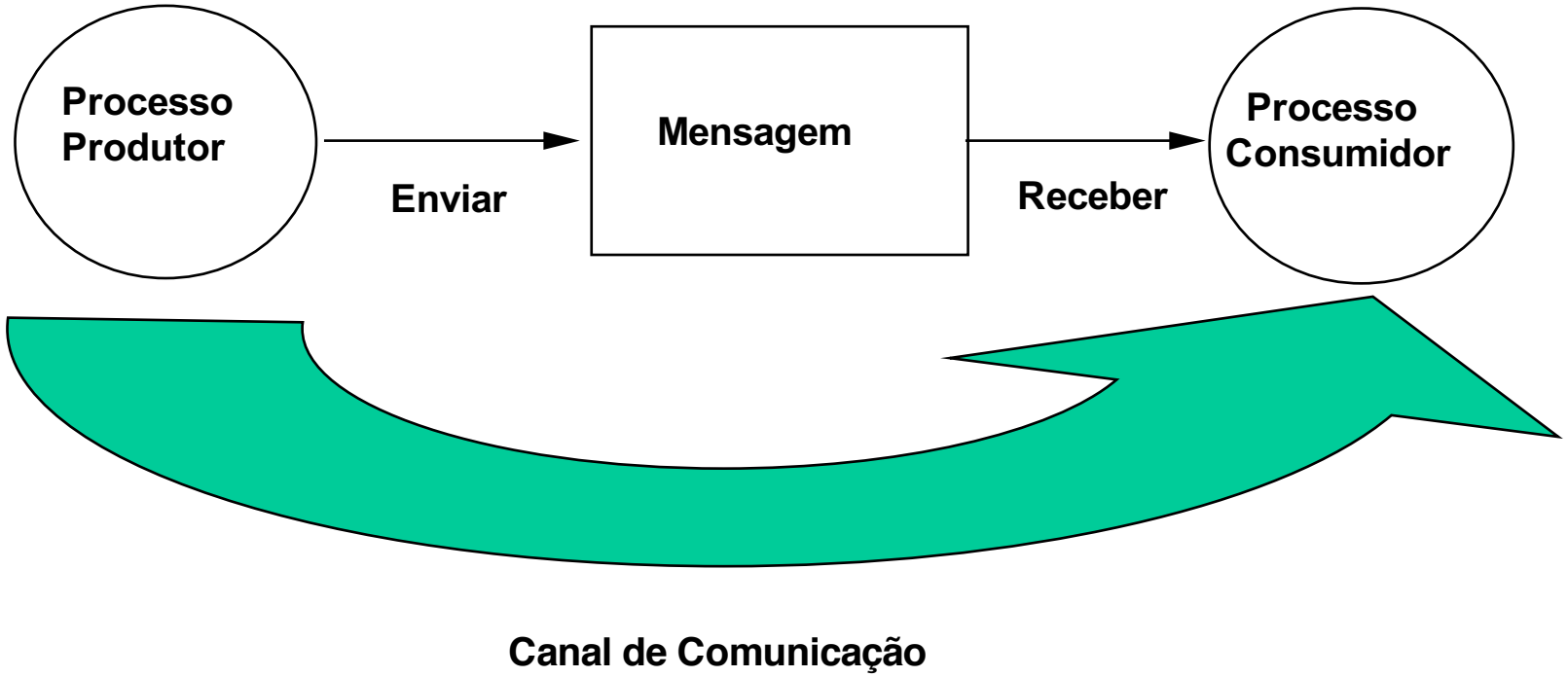
Arquitetura da comunicação

Modelos de comunicação

Sistemas Operativos

2018 - 2019

Comunicação por Troca de Mensagem entre Processos

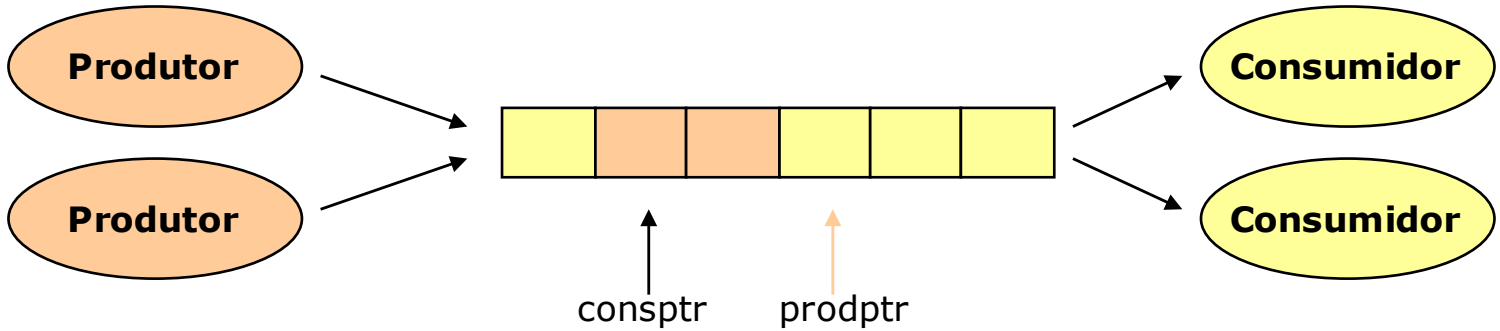


Exemplos

- A comunicação entre processos pode realizar–se no âmbito:
  - de uma única aplicação,
  - entre aplicações numa mesma máquina
  - entre máquinas interligadas por uma redes de dados
- Exemplos:
  - servidores de base de dados,
  - browser e servidor WWW,
  - cliente e servidor SSH,
  - cliente e servidor de e-mail,
  - nós BitTorrent

Como implementar comunicação entre processos?

Exemplo de implementação de um canal de comunicação (solução para o problema do Produtor – Consumidor)



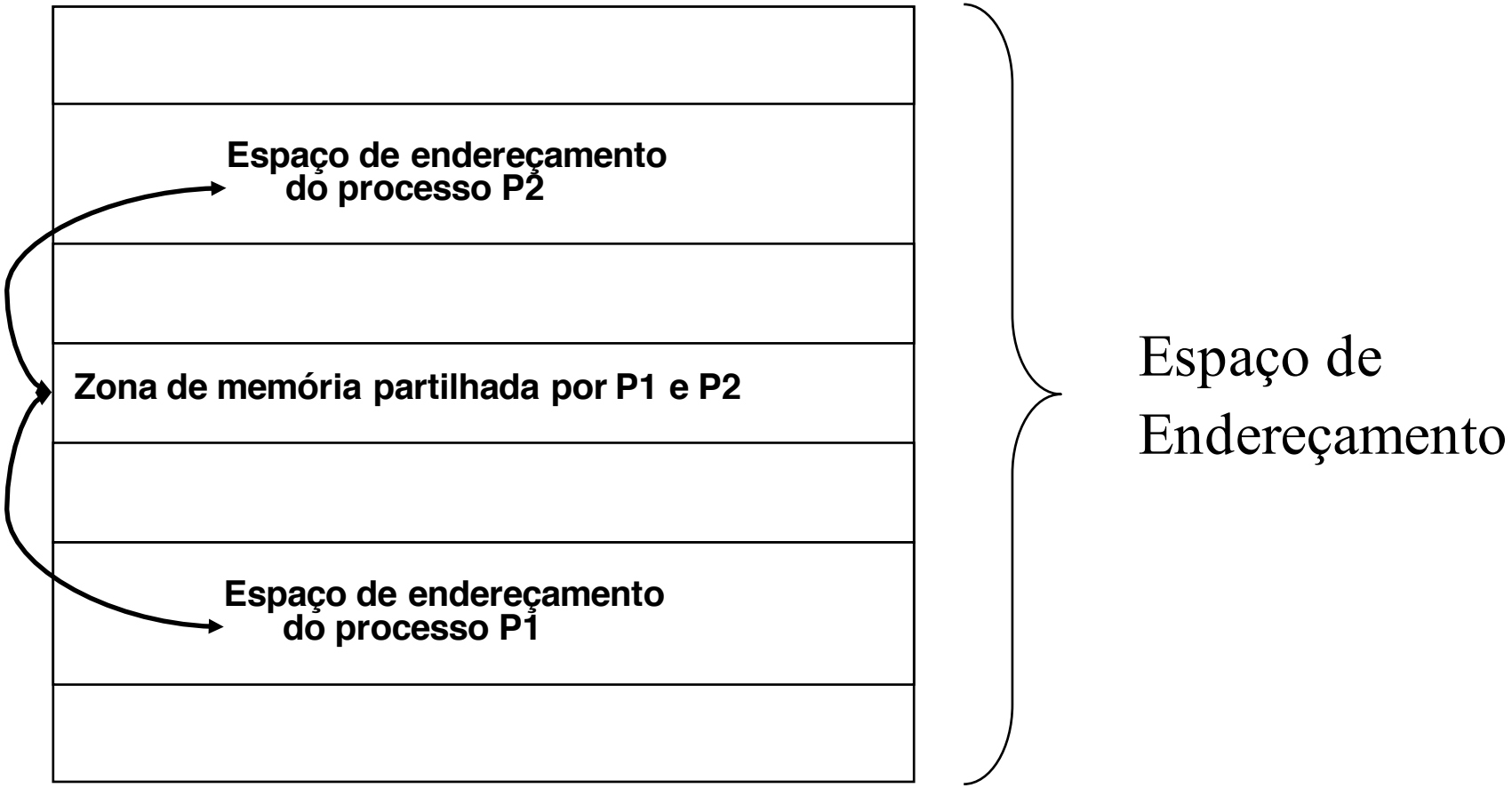

```
int buf[N];
int prodptr=0, consptr=0;
trinco_t trinco_p, trinco_c;
semaforo_t pode_prod = criar_semaforo(N),
           pode_cons = criar_semaforo(0);

produtor()
{
  while(TRUE) {
    int item = produz();
    esperar(pode_prod);
    fechar(trinco_p);
    buf[prodptr] = item;
    prodptr = (prodptr+1) % N;
    abrir(trinco_p);
    assinalar(pode_cons);
  }
}
```

```
consumidor()
{
  while(TRUE) {
    int item;
    esperar(pode_cons);
    fechar(trinco_c);
    item = buf[consptr];
    consptr = (consptr+1) % N;
    abrir(trinco_c);
    assinalar(pode_prod);
    consome(item);
  }
}
```

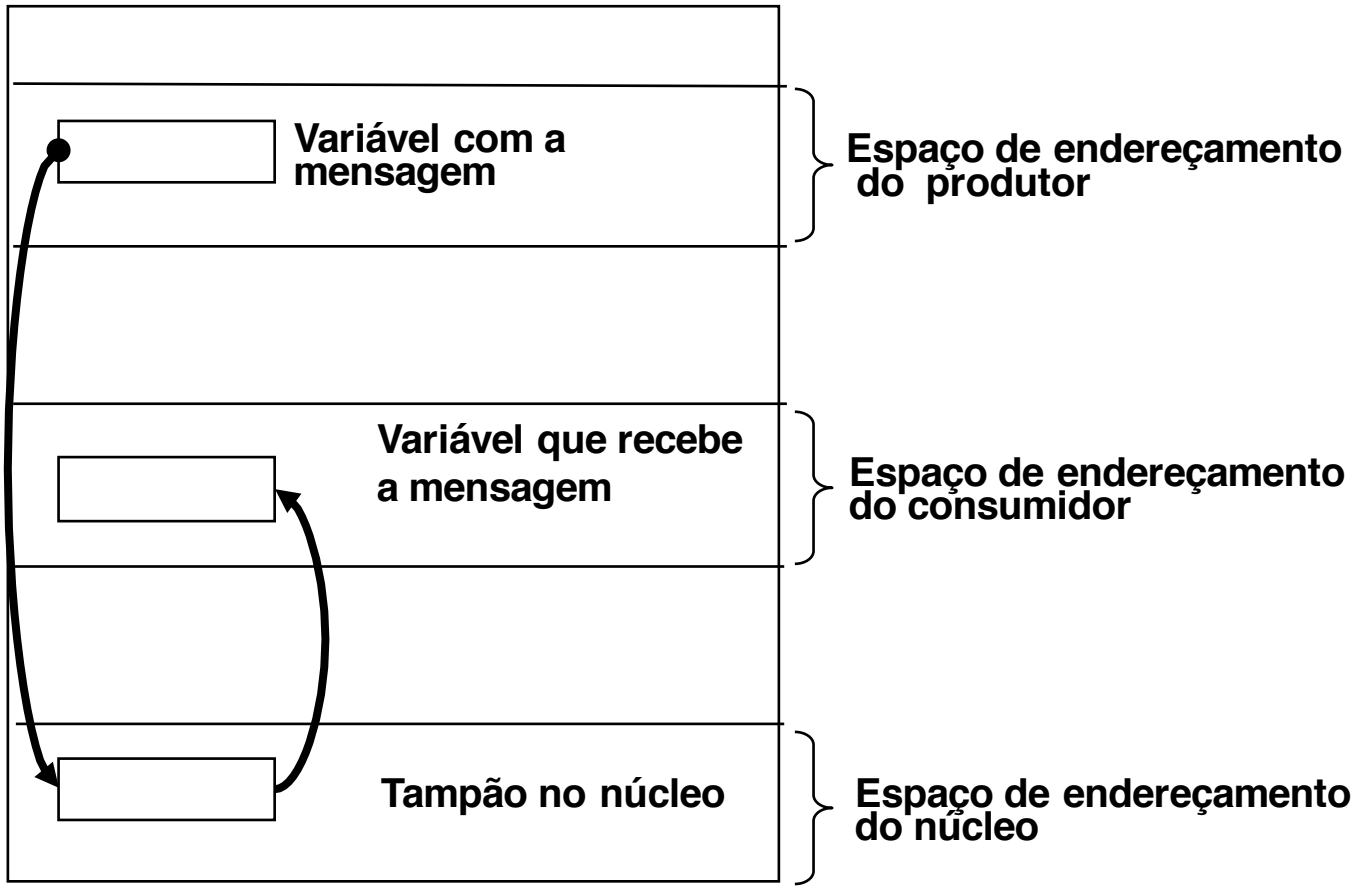
Implementação do Canal de Comunicação

- O canal de comunicação pode ser implementado a dois níveis:
  - **No núcleo do sistema operativo**: os dados são enviados/recebidos por chamadas sistema
  - **No *user level:*** os processos acedem a uma zona de **memória partilhada** entre ambos os processos comunicantes
    - Veremos mais à frente como isto é possível

Arquitetura da Comunicação: por memória partilhada



Arquitetura da Comunicação: cópia através do núcleo



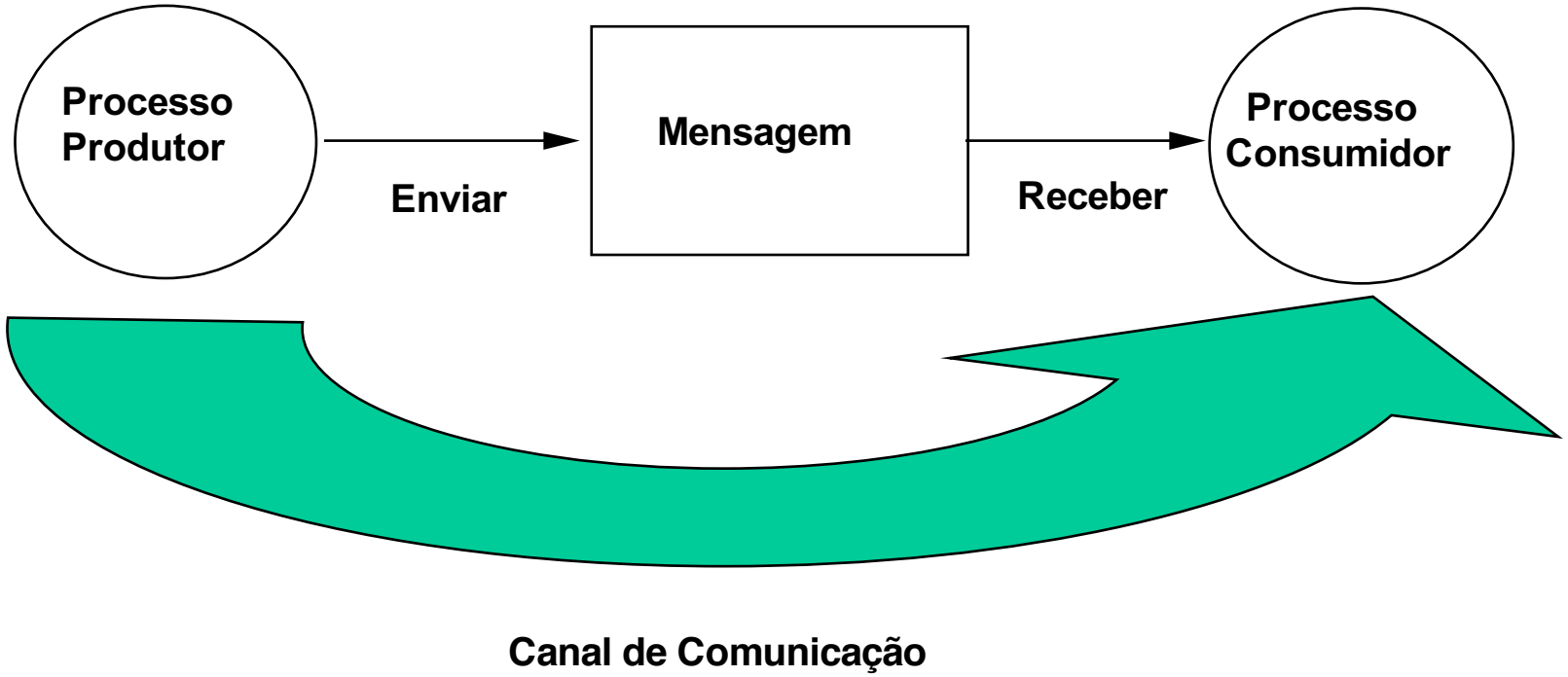
Daqui para a frente consideraremos apenas canais de comunicação implementados pelo núcleo do SO

Objecto de Comunicação do Sistema

- `IdCanal = CriarCanal(Nome)`
- `IdCanal = AssociarCanal (Nome)`
- `EliminarCanal (IdCanal)`
- `Enviar (IdCanal, Mensagem, Tamanho)`
- `Receber (IdCanal, *Buffer, TamanhoMax)`

Não são necessários mecanismos de sincronização adicionais porque são implementados pelo núcleo do sistema operativo

Comunicação entre Processos



- generalização do modelo de cooperação entre processos

Características do Canal

- Nomes dos objectos de comunicação
- Tipo de ligação entre o emissor e o receptor
- Estrutura das mensagens
- Capacidade de armazenamento
- Sincronização
  - no envio
  - na recepção
- Segurança – protecção envio/recepção
- Fiabilidade

Ligação

- Antes de usar um canal de comunicação, um processo tem de saber se existe e depois indicar ao sistema que se pretende associar
- Este problema decompõe-se em dois
  - Nomes dos canais de comunicação
  - Funções de associação e respectivo controlo de segurança

Nomes dos objectos de comunicação: duas alternativas

- Dar nomes explícitos aos canais (*o mais frequente*)
  - O espaço de nomes é gerido pelo sistema operativo
    - Muitas vezes baseia-se na gestão de nomes do sistema de ficheiros
  - Pode assumir diversas formas: cadeias de caracteres, números inteiros, endereços estruturados, endereços de transporte das redes
    - Enviar (IdCanal, mensagem)
    - Receber (IdCanal, *buffer)
- Os processos terem implicitamente associado um canal de comunicação
  - Canal implicitamente identificado pelos identificadores dos processos
    - Enviar (IdProcessoConsumidor, mensagem)
    - Receber (IdProcessoProdutor, *buffer)
  - Pouco frequente – ex.: enviar mensagens para janelas em Windows

Ligação – função de associação

- Para usar um canal já existente um processo tem de se lhe associar
- Esta função é muito semelhante ao *open* de um ficheiro
- Tal como no *open* o sistema pode validar os direitos de utilização do processo, ou seja, se o processo pode enviar (escrever) ou receber (ler) mensagens

Sincronização: envio de mensagem

- Assíncrona: o cliente envia o pedido e continua a execução
- Síncrona (*rendez-vous*): o cliente fica bloqueado até que o processo servidor leia a mensagem
- Cliente/servidor: o cliente fica bloqueado até que o servidor envie uma mensagem de resposta

Sincronização: recepção de mensagem

- Assíncrona: testa se há mensagens e retorna
- Síncrona: bloqueante na ausência de mensagens (a mais frequente)

Sincronização:
Capacidade de armazenamento de informação do canal

- Um canal pode ou não ter capacidade para memorizar várias mensagens
  - Maior capacidade permite desacoplar os ritmos de produção e consumo de informação, tornando mais flexível a sincronização

Estrutura da informação trocada

- Fronteiras das mensagens
  - mensagens individualizadas
  - sequência de octetos (*byte stream*, vulgarmente usada nos sistemas de ficheiros e interfaces de E/S)

- Formato
  - Opacas para o sistema - simples sequência de octetos
  - Estruturada - formatação imposta pelo sistema
  - Formatada de acordo com o protocolo das aplicações

Sequência de octetos vs. mensagens individuais

- Interface mensagens individuais
  - *receber* devolve uma mensagem que foi enviada numa chamada à função *enviar*
  - Se houver N chamadas à função *enviar*, para enviar N mensagens, é necessário N chamadas à função *receber*
  - Ou seja, as fronteiras de cada mensagem são preservadas
- Interface sequência de octetos:
  - Bytes das mensagens enviadas são acumulados no canal, suas fronteiras são esquecidas
  - Chamada à função *receber* pode devolver conteúdo vindo de múltiplas chamadas a *enviar*
  - Ou seja, fronteiras entre mensagens são perdidas no canal

Direccionalidade da comunicação

- Unidireccional - o canal apenas permite enviar informação num sentido que fica definido na sua criação
  - Normalmente neste tipo de canais são criados dois para permitir a comunicação bidireccional
- Bidireccional - o canal permite enviar mensagens nos dois sentidos

Resumo do Modelo Computacional

- IDCanal = **CriarCanal** (Nome, Dimensão)
- IDCanal = **AssociarCanal** (Nome, Modo)
- **EliminarCanal** (IDCanal)
- **Enviar** (IDCanal, Mensagem, Tamanho)
- **Receber** (IDCanal, buffer, TamanhoMax)

Unix– Modelo Computacional - IPC

pipes

sockets

IPC sistema V

Mecanismos de Comunicação em Unix

- No Unix houve uma tentativa de uniformização da interface de comunicação entre processos com a interface dos sistemas de ficheiros.

- Para perceber os mecanismos de comunicação é fundamental conhecer bem a interface com o sistema de ficheiros.

Sistema de Ficheiros

- Sistema de ficheiros hierarquizado

- Tipos de ficheiros:
  - Normais – sequência de octetos (bytes) sem uma organização em registos (records)
  - Ficheiros especiais – periféricos de E/S, pipes, sockets
  - Ficheiros directório

- Quando um processo se começa a executar o sistema abre três ficheiros especiais
  - `stdin` – input para o processo (fd – 0)
  - `stdout` – output para o processo (fd – 1)
  - `stderr` – periférico para assinalar os erros (fd – 2)

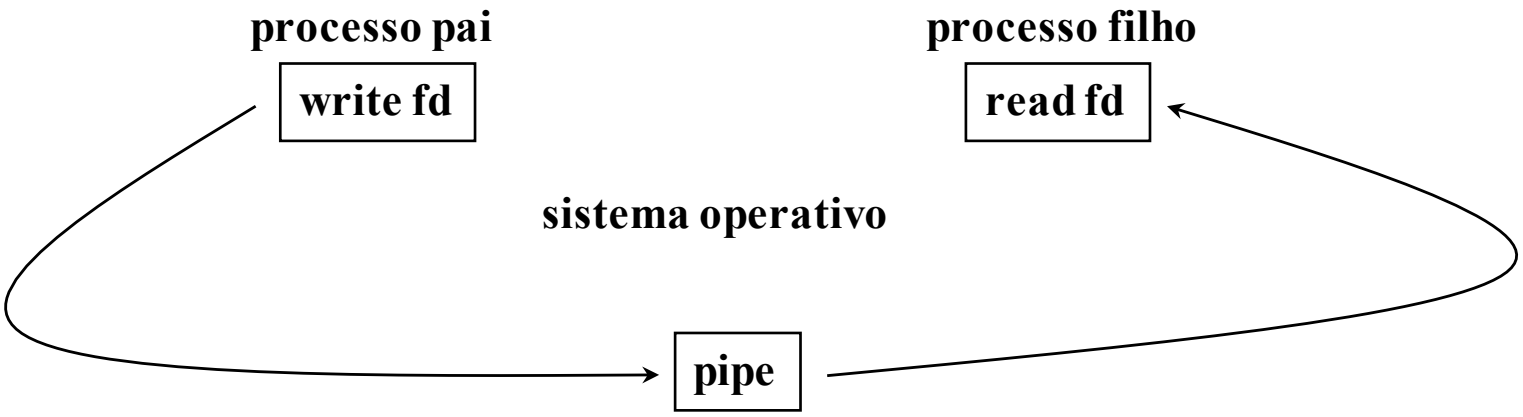
- Um file descriptor é um inteiro usado para identificar um ficheiro aberto (os valores variam de zero até máximo dependente do sistema)

IPC no UNIX

- Mecanismo inicial:
  - pipes
- Extensão dos pipes:
  - pipes com nome
- Evolução do Unix BSD 4.2:
  - sockets
- Unix sistema V:
  - regiões de memória partilhada
  - semáforos
  - caixas de correio

Pipes

- Mecanismo original do Unix para para comunicação entre processos.
- Têm uma interface idêntica à dos ficheiros
- Constitui um dos conceitos unificadores na estrutura do interpretador de comandos
- Canal (*byte stream*) ligando dois processos
- Permite um fluxo de informação unidireccional, um processo escreve num pipe e o correspondente lê na outra extremidade – modelo um para um
- Não tem nome lógico associado
- As mensagens são sequências de bytes de qualquer dimensão



Pipes (2)

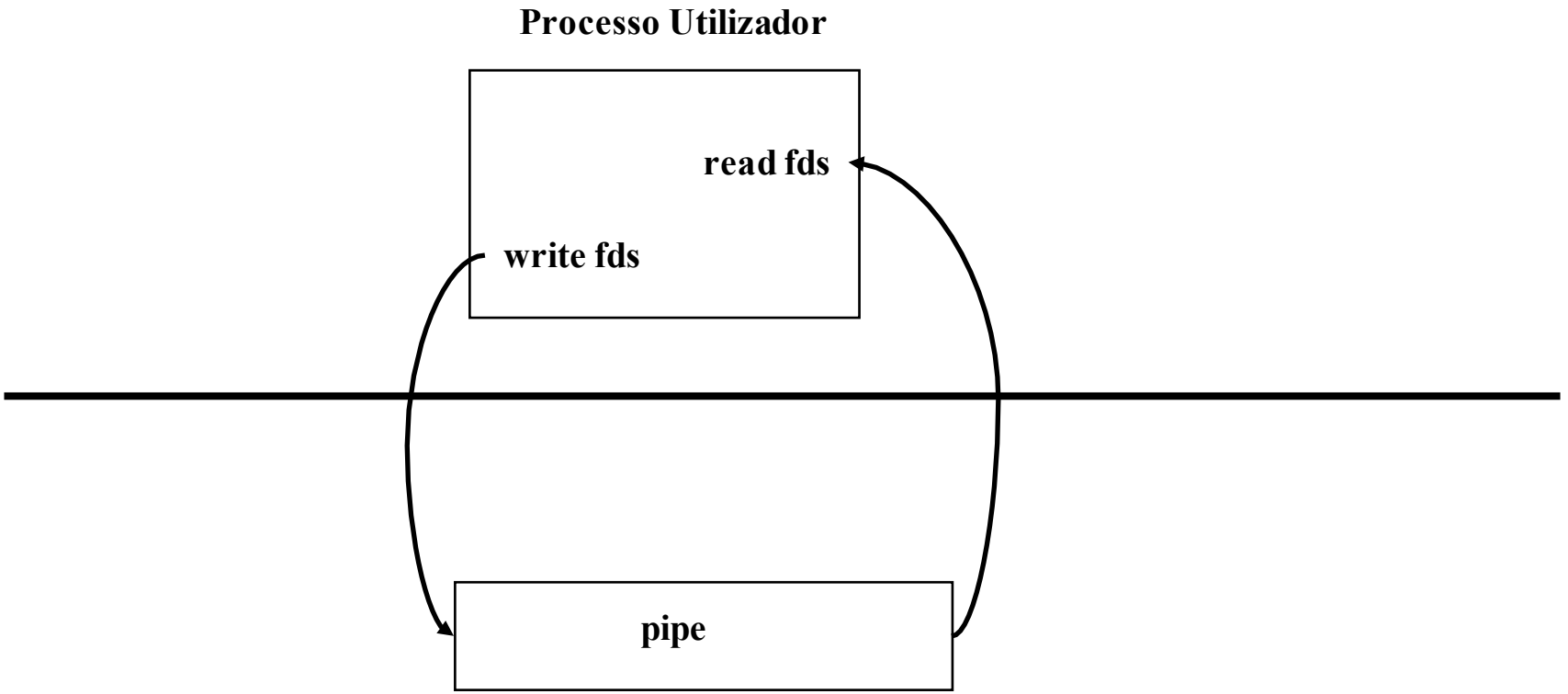
```
int pipe (int *fds);

   fds[0] – descritor aberto para leitura
   fds[1] – descritor aberto para escrita
```

- Os descritores de um pipe são análogos ao dos ficheiros
- As operações de read e write sobre ficheiros são válidas para os pipes
- Os descritores são locais a um processo podem ser transmitidos para os processos filhos através do mecanismo de herança
- O processo fica bloqueado quando escreve num pipe cheio
- O processo fica bloqueado quando lê de um pipe vazio

Pipes (3)

```
char msg[] = "utilizacao de pipes";

main() {
    char tampao[1024];
    int fds[2];

    pipe(fds);

    for (;;) {
       write (fds[1], msg, sizeof (msg));
       read (fds[0], tampao, sizeof (msg)));
    }
}
```

Pipes (4)



Comunicação pai-filho

```
#include <stdio.h>
#include <fnctl.h>

#define TAMSG 100
char msg[] = "mensagem de teste";
char tmp[TAMSG];

main() {
   int fds[2], pid_filho;

   if (pipe (fds) < 0) exit(-1);
   if (fork () == 0) {
      /* processo filho*/
      /* lê do pipe */
      read (fds[0], tmp, sizeof (msg));
      printf ("%s\n", tmp);
      exit (0);
   }
```

```
 else {
      /* processo pai */
      /* escreve no pipe */
    write (fds[1], msg, sizeof (msg));
    pid_filho = wait();
   }
}
```

DUP – System Call

NAME
dup - duplicate an open file descriptor

SYNOPSIS
#include <unistd.h>
int dup(int fildes);

DESCRIPTION
The dup() function returns a new file descriptor having the following in common with the original open file descriptor fildes:

- same open file (or pipe)
- same file pointer (that is, both file descriptors share one file pointer)
- same access mode (read, write or read/write)

The new file descriptor is set to remain open across exec functions (see fcntl(2)).
The file descriptor returned is the lowest one available.
The dup(fildes) function call is equivalent to: fcntl(fildes, F_DUPFD, 0)

Redireccionamento de Entradas/Saídas

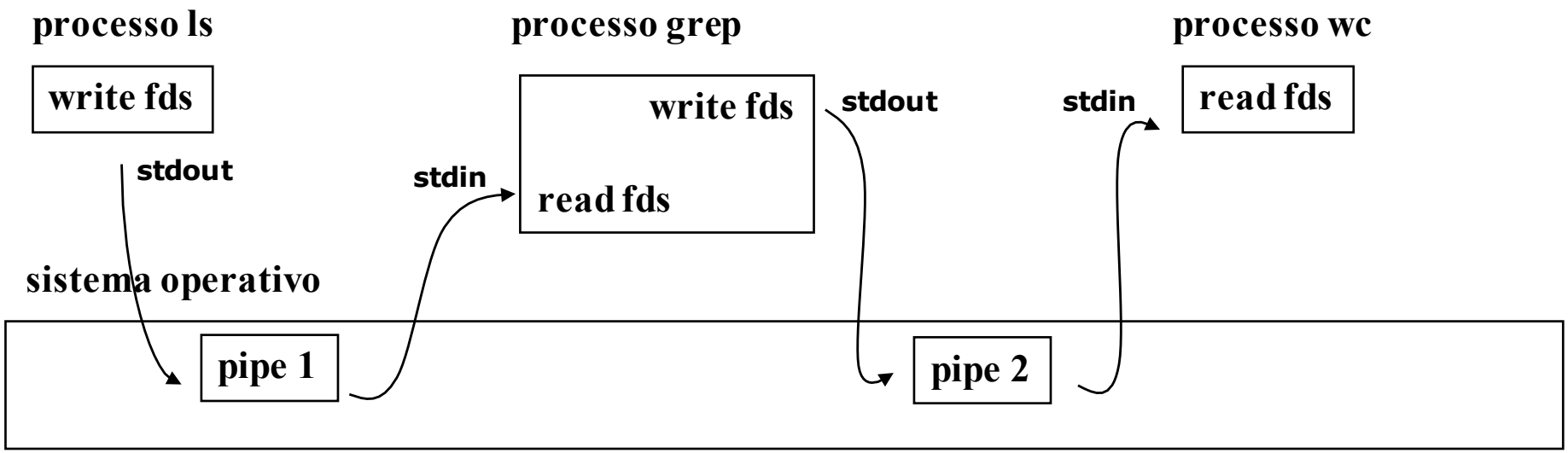
```
#include <stdio.h>
#include <fnctl.h>

#define TAMSG 100
char msg[] = "mensagem de teste";
char tmp[TAMSG];

main() {
   int fds[2], pid_filho;

   if (pipe (fds) < 0) exit(-1);
   if (fork () == 0) {
   /* processo filho */
   /* liberta o stdin (posição zero) */
      close (0);

/* redirecciona o stdin para o pipe de
  leitura */
      dup (fds[0]);
```

```
/* fecha os descritores não usados pelo
   filho */
      close (fds[0]);
      close (fds[1]);

/* lê do pipe */
      read (0, tmp, sizeof (msg));
      printf ("%s\n", tmp);
      exit (0);
    }
    else {
      /* processo pai */
      /* escreve no pipe */
     write (fds[1], msg, sizeof (msg));
     pid_filho = wait();
    }
 }
```

Redireccionamento de Entradas/Saídas no Shell

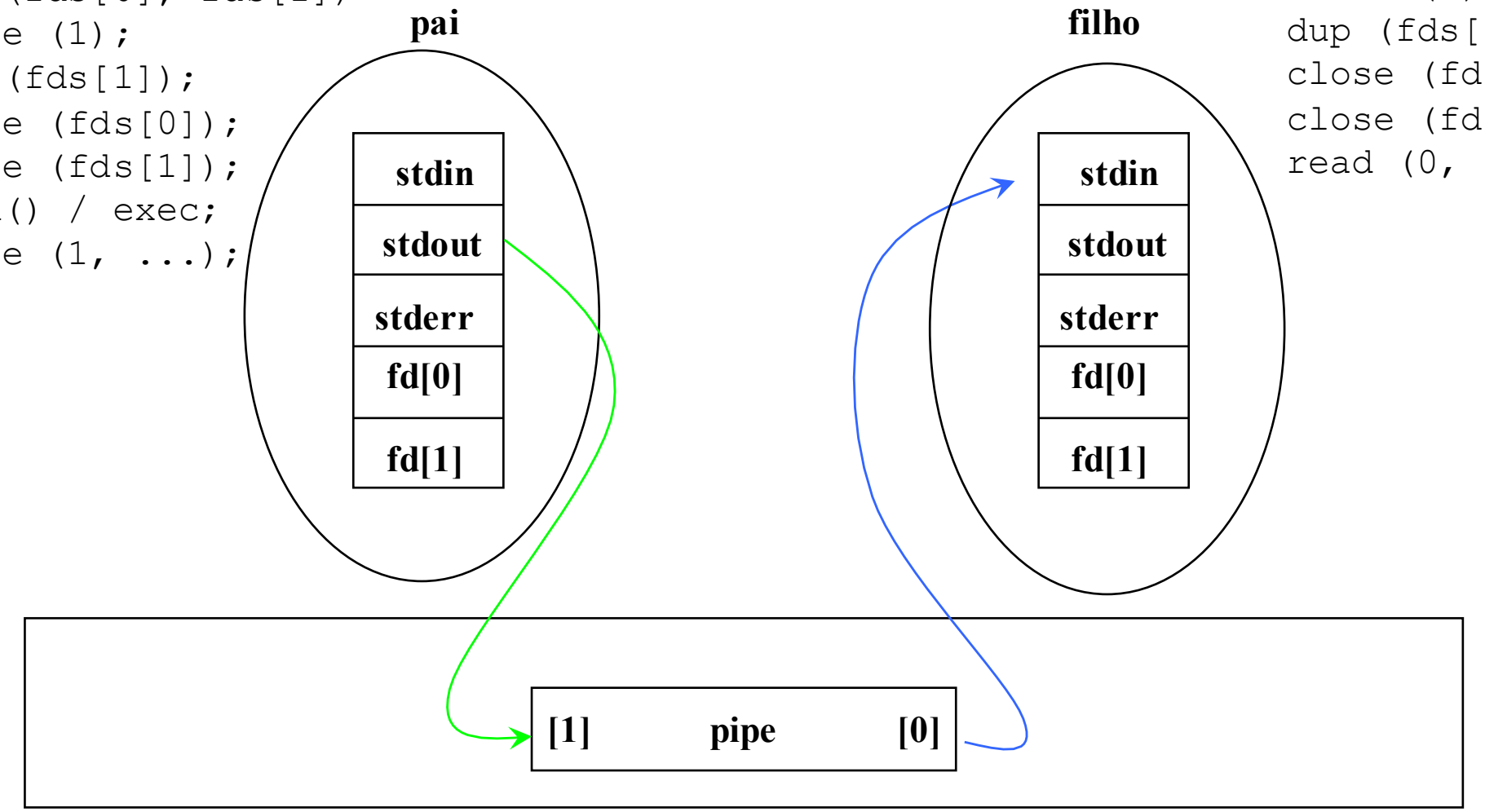
exemplo:

ls –la | grep xpto | wc



Redireccionamento de Entradas/Saídas (2)

```
pipe(fds[0], fds[1])
close (1);
dup (fds[1]);
close (fds[0]);
close (fds[1]);
fork() / exec;
write (1, ...);
```




```
close (0)
dup (fds[0]);
close (fds[0]);
close (fds[1]);
read (0, ...);
```

Named Pipes ou FIFO

- Para dois processos (que não sejam pai e filho) comunicarem é preciso que o pipe seja identificado por um nome

- Atribui-se um nome lógico ao pipe. **O espaço de nomes usado é o do sistema de ficheiros**

- Um **named pipe** comporta-se externamente como um ficheiro, existindo uma entrada na directoria correspondente

- Um **named pipe** pode ser aberto por processos que não têm qualquer relação hierárquica

Named Pipes

- Um named pipe é um canal :
  - Unidireccional
  - Interface sequência de caracteres (*byte stream*)
  - Identificado por um nome de ficheiro
    - Entre os restantes ficheiros do sistema de ficheiros
    - Ao contrário dos restantes ficheiros, named pipe **não é persistente**

Named Pipes: como usar

- Cria um named pipe no sistema de ficheiros
  - Usando função mkfifo
- Um processo associa-se com a função open
  - Processo que abra uma extremidade do canal bloqueia até que pelo menos 1 processo tenha aberto a outra extremidade
- Eliminado com a função unlink
- Leitura e envio de informação feitos com API habitual do sistema de ficheiros (read, write, etc)

```c
/* Cliente */
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>
#define TAMMSG  1000

void produzMsg (char *buf) {
   strcpy (buf, "Mensagem de teste");
}

void trataMsg (buf) {
  printf ("Recebeu: %s\n", buf);
}

main() {
   int fcli, fserv;
   char buf[TAMMSG];

  if ((fserv = open ("/tmp/servidor",
  O_WRONLY)) < 0) exit  (-1);
   if ((fcli = open ("/tmp/cliente",
  O_RDONLY)) < 0) exit (-1);

   produzMsg (buf);
   write (fserv, buf, TAMMSG);
   read (fcli, buf, TAMMSG);
   trataMsg (buf);

  close (fserv);
  close (fcli);
}
```

```c
/* Servidor */
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>

#define TAMMSG  1000

main () {
    int fcli, fserv, n;
    char buf[TAMMSG];

    unlink("/tmp/servidor");
    unlink("/tmp/cliente");

    if (mkfifo ("/tmp/servidor", 0777) < 0)
   exit (-1);
    if (mkfifo ("/tmp/cliente", 0777) < 0)
   exit (-1);

    if ((fserv = open ("/tmp/servidor",
   O_RDONLY)) < 0) exit  (-1);
    if ((fcli = open ("/tmp/cliente",
   O_WRONLY)) < 0) exit (-1);

    for (;;) {
        n = read (fserv, buf, TAMMSG);
        if (n <= 0) break;
        trataPedido (buf);
        n = write (fcli, buf, TAMMSG);
    }
    close (fserv);
    close (fcli);
    unlink("/tmp/servidor");
    unlink("/tmp/cliente");
}
```

Sockets

- Interface de programação para comunicação entre processos introduzida no Unix 4.2 BSD

- Objectivos:
  - independente dos protocolos
  - transparente em relação à localização dos processos
  - compatível com o modelo de E/S do Unix
  - eficiente

Domínio e Tipo de Sockets

- Domínio do socket - define a família de protocolos associada a um socket:
  - Internet: família de protocolos Internet
  - Unix: comunicação entre processos da mesma máquina
  - outros…

- Tipo do socket - define as características do canal de comunicação:
  - stream: canal com ligação, bidireccional, fiável, interface tipo sequência de octetos
  - datagram: canal sem ligação, bidireccional, não fiável, interface tipo mensagem
  - raw: permite o acesso directo aos níveis inferiores dos protocolos (ex: IP na família Internet)

Domínio e Tipo de Sockets (2)

- Relação entre domínio, tipo de socket e protocolo:

tipo / domínio	AF_UNIX	AF_INET	AF_NS
SOCK_STREAM	SIM	TCP	SPP
SOCK_DGRAM	SIM	UDP	IDP
SOCK_RAW	-	IP	SIM
SOCK_SEQPACKET	-	-	SPP

Interface Sockets: definição dos endereços

```
/* ficheiro <sys/socket.h> */
struct sockaddr {
   /* definição do dominio (AF_XX) */
   u_short family;

   /* endereço específico do dominio*/
   char sa_data[14];
};
```

```
/* ficheiro <sys/un.h> */
struct sockaddr_un {
  /* definição do domínio (AF_UNIX) */
  u_short family;

  /* nome */
  char sun_path[108];
};
```

```
/* ficheiro <netinet/in.h> */
struct in_addr {
  u_long addr; /* Netid+Hostid */
};

struct sockaddr_in {
   u_short sin_family; /* AF_INET */

   /* número do porto - 16 bits */
   u_short sin_port;

   struct in_addr sin_addr; /* Netid+Hostid */

   /* não utilizado*/
   char sin_zero[8];
};
```

struct sockaddr_un

family
pathname (up to 108 bytes)

struct sockaddr_in

family
2-byte port
4-byte net ID, host ID
(unused)

Interface Sockets: criação de um socket e associação de um nome

- Criação de um socket:

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
int socket (int dominio, int tipo, int protocolo);
```

  - domínio: AF_UNIX, AF_INET
  - tipo: SOCK_STREAM, SOCK_DGRAM
  - protocolo: normalmente escolhido por omissão
  - resultado: identificador do socket (sockfd)

- Um socket é criado sem nome

- A associação de um nome (endereço de comunicação) a um socket já criado é feito com a chamada bind:

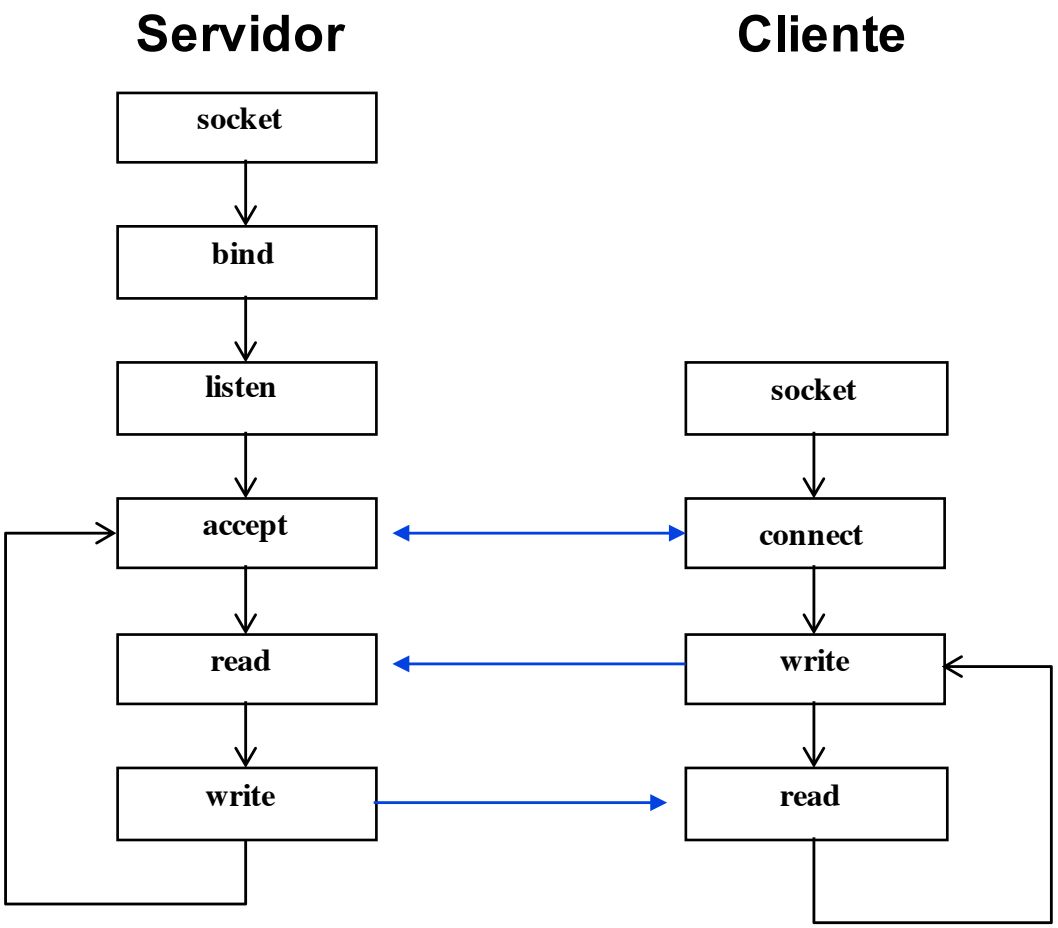
```
int bind(int sockfd, struct sockaddr *nome, int dim)
```

Sockets com e sem Ligação

- Sockets com ligação:
  - Modelo de comunicação tipo diálogo
  - Canal com ligação, bidireccional, fiável, interface tipo sequência de octetos

- Sockets sem ligação:
  - Modelo de comunicação tipo correio
  - Canal sem ligação, bidireccional, não fiável, interface tipo mensagem

Sockets com Ligação



Sockets com Ligação

- listen - indica que se vão receber ligações neste socket:
  - int listen (int sockfd, int maxpendentes)

- accept - aceita uma ligação:
  - espera pelo pedido de ligação
  - cria um novo socket
  - devolve:
    - identificador do novo socket
    - endereço do interlocutor
  - int accept(int sockfd, struct sockaddr *nome, int *dim)

- connect - estabelece uma ligação com o interlocutor cujo endereço é nome:
  - int connect (int sockfd, struct sockaddr *nome, int dim)

unix.h e inet.h

unix.h

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

#define UNIXSTR_PATH  "/tmp/s.unixstr"
#define UNIXDG_PATH  "/tmp/s.unixdgx"
#define UNIXDG_TMP   "/tmp/dgXXXXXXX"
```

inet.h

```
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>
#include <netdb.h>
#include <arpa/inet.h>

#define SERV_UDP_PORT  6600
#define SERV_TCP_PORT  6601

/* endereço do servidor */
#define SERV_HOST_ADDR "193.136.128.20"

/* nome do servidor */
#define SERV_HOSTNAME  "mega"
```

Exemplo

- Servidor de eco
- Sockets no domínio Unix
- Sockets com ligação

Servidor STREAM AF_UNIX

```
/* Recebe linhas do cliente e reenvia-as para o cliente */
#include "unix.h"

main(void) {
    int sockfd, newsockfd, clilen, childpid, servlen;
    struct sockaddr_un cli_addr, serv_addr;

    /* Cria socket stream */
    if ((sockfd = socket(AF_UNIX,SOCK_STREAM,0) ) < 0)
         err_dump("server: can't open stream socket");
    /* Elimina o nome, para o caso de já existir.
    unlink(UNIXSTR_PATH);
    /* O nome serve para que os clientes possam identificar o servidor */
    bzero((char *)&serv_addr, sizeof(serv_addr));
    serv_addr.sun_family = AF_UNIX;
    strcpy(serv_addr.sun_path, UNIXSTR_PATH);
    servlen = strlen(serv_addr.sun_path) + sizeof(serv_addr.sun_family);
    if (bind(sockfd, (struct sockaddr *) &serv_addr, servlen) < 0)
         err_dump("server, can't bind local address");

    listen(sockfd, 5);
```

Servidor STREAM AF_UNIX (2)

```
  for (;;) {
    clilen = sizeof(cli_addr);
    newsockfd = accept(sockfd,(struct sockaddr *) &cli_addr, &clilen);
    if (newsockfd < 0) err_dump("server: accept error");

    /* Lança processo filho para tratar do cliente */
    if ((childpid = fork()) < 0) err_dump("server: fork error");
    else if (childpid == 0) {
      /* Processo filho.
      Fecha sockfd já que não é utilizado pelo processo filho
      Os dados recebidos do cliente são reenviados para o cliente */
      close(sockfd);
      str_echo(newsockfd);
      exit(0);
    }

/* Processo pai. Fecha newsockfd que não utiliza */
    close(newsockfd);
  }
}
```

Servidor STREAM AF_UNIX (3)

```
#define MAXLINE 512
/* Servidor do tipo socket stream. Reenvia as linhas recebidas para o cliente*/

str_echo(int sockfd)
{
    int n;
    char line[MAXLINE];

    for (;;) {
       /* Lê uma linha do socket */
       n = readline(sockfd, line, MAXLINE);
       if (n == 0) return;
       else if (n < 0) err_dump("str_echo: readline error");

       /* Reenvia a linha para o socket. n conta com o \0 da string,
          caso contrário perdia-se sempre um caracter! */
       if (writen(sockfd, line, n) != n)
          err_dump("str_echo: writen error");
    }
}
```

Cliente STREAM AF_UNIX

```
/* Cliente do tipo socket stream.
#include "unix.h"
main(void) {
   int sockfd, servlen;
   struct sockaddr_un serv_addr;

/* Cria socket stream */
   if ((sockfd= socket(AF_UNIX, SOCK_STREAM, 0) ) < 0)
        err_dump("client: can't open stream socket");
/* Primeiro uma limpeza preventiva */
   bzero((char *) &serv_addr, sizeof(serv_addr));
/* Dados para o socket stream: tipo + nome que
   identifica o servidor */
   serv_addr.sun_family = AF_UNIX;
   strcpy(serv_addr.sun_path, UNIXSTR_PATH);
   servlen = strlen(serv_addr.sun_path) +
             sizeof(serv_addr.sun_family);
```

Cliente STREAM AF_UNIX(2)

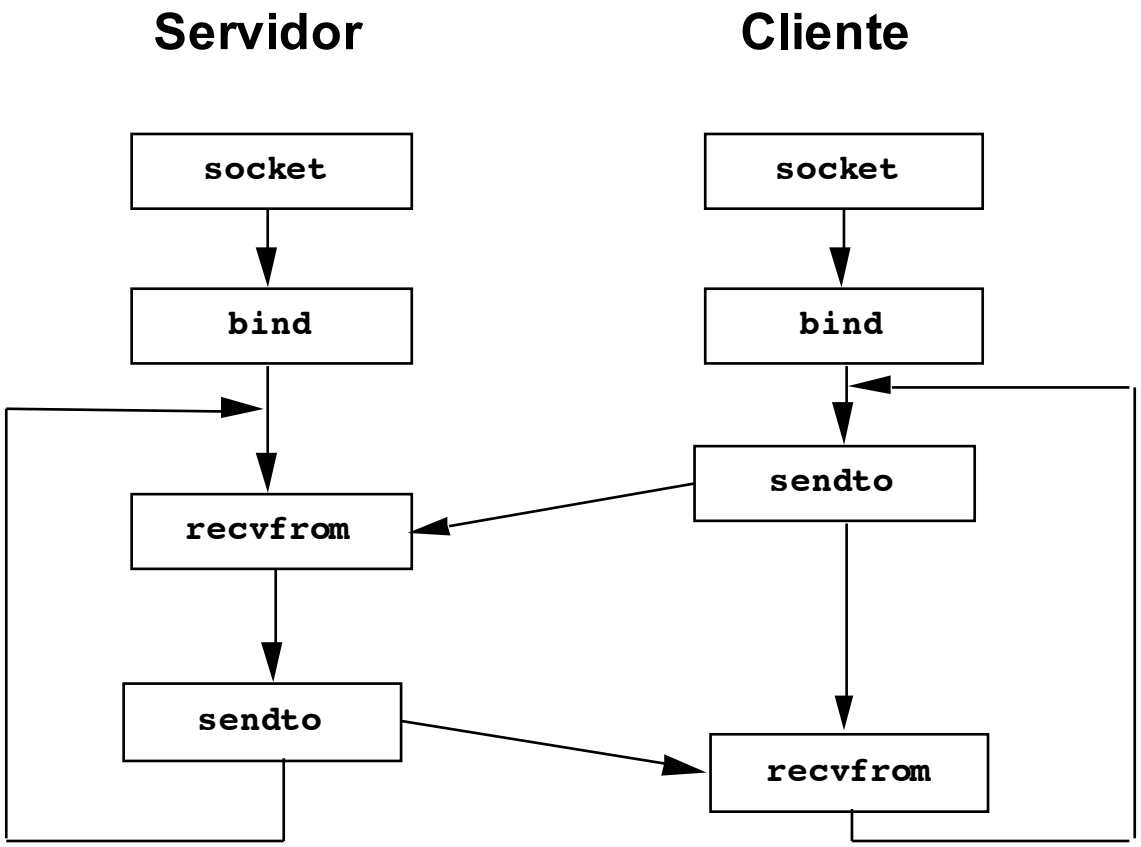
```
/* Estabelece uma ligação. Só funciona se o socket tiver sido criado e
   o nome associado*/

    if(connect(sockfd, (struct sockaddr *) &serv_addr, servlen) < 0)
        err_dump("client: can't connect to server");

   /* Envia as linhas lidas do teclado para o socket */
    str_cli(stdin, sockfd);

   /* Fecha o socket e termina */
   close(sockfd);
   exit(0);
}
```

Cliente STREAM AF_UNIX (3)

```
#include <stdio.h>
#define MAXLINE 512

/*Lê string de fp e envia para
sockfd. Lê string de sockfd e envia
para stdout*/

str_cli(fp, sockfd)
FILE *fp;
int sockfd;
{
  int n;
  char sendline[MAXLINE],
  recvline[MAXLINE+1];

  while(fgets(sendline, MAXLINE, fp)
          != NULL) {
```

```
    /* Envia string para sockfd.
    Note-se que o \0 não é enviado */
    n = strlen(sendline);
    if (writen(sockfd, sendline, n) != n)
      err_dump("str_cli:written error on socket");

    /* Tenta ler string de sockfd.
    Note-se que tem de terminar a string com \0 */
    n = readline(sockfd, recvline, MAXLINE);
    if (n<0) err_dump("str_cli:readline error");
    recvline[n] = 0;

    /* Envia a string para stdout */
    fputs(recvline, stdout);
  }
  if (ferror(fp))
    err_dump("str_cli: error reading file");
}
```

Sockets sem Ligação



Sockets sem Ligação

- sendto: Envia uma mensagem para o endereço especificado

```
int sendto(int sockfd, char *mens, int dmens,
      int flag, struct sockaddr *dest, int *dim)
```

- recvfrom: Recebe uma mensagem e devolve o endereço do emissor

```
int recvfrom(int sockfd, char *mens, int dmens,
      int flag, struct sockaddr *orig, int *dim)
```

Cliente DGRAM AF_UNIX

```
#include "unix.h"
main(void) {
    int sockfd, clilen, servlen;
    char *mktemp();
    struct sockaddr_un cli_addr, serv_addr;

    /* Cria socket datagram */
    if(( sockfd = socket(AF_UNIX, SOCK_DGRAM, 0) ) < 0)
         err_dump("client: can't open datagram socket");
    /* O nome temporário serve para ter um socket para resposta do
    servidor */
    bzero((char *) &cli_addr, sizeof(cli_addr));
    cli_addr.sun_family = AF_UNIX;
    mktemp(cli_addr.sun_path);
    clilen = sizeof(cli_addr.sun_family) + strlen(cli_addr.sun_path);

    /* Associa o socket ao nome temporário */
    if (bind(sockfd, (struct sockaddr *) &cli_addr, clilen) < 0)
         err_dump("client: can't bind local address");
```

Cliente DGRAM AF_UNIX(2)

```
    /* Primeiro uma limpeza preventiva!
    bzero((char *) &serv_addr, sizeof(serv_addr));

    serv_addr.sun_family = AF_UNIX;
    strcpy(serv_addr.sun_path, UNIXDG_PATH);
    servlen=sizeof(serv_addr.sun_family) +
                    strlen(serv_addr.sun_path);

    /* Lê linha do stdin e envia para o servidor. Recebe a linha do
       servido e envia-a para stdout */
    dg_cli(stdin, sockfd, (struct sockaddr *) &serv_addr, servlen);

    close(sockfd);
    unlink(cli_addr.sun_path);
    exit(0);
}
```

Cliente DGRAM AF_UNIX (3)

```
#include <stdio.h>
#define MAXLINE 512

/* Cliente do tipo socket datagram.
   Lê string de fp e envia para sockfd.
   Lê string de sockfd e envia para stdout */

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

dg_cli(fp, sockfd, pserv_addr, servlen)
FILE *fp;
int sockfd;
struct sockaddr *pserv_addr;
int servlen;
{
   int n;
   static char sendline[MAXLINE], recvline[MAXLINE+1];
   struct sockaddr x;
   int xx = servlen;
```

Cliente DGRAM AF_UNIX (4)

```
while (fgets(sendline, MAXLINE, fp) != NULL) {
     n = strlen(sendline);

     /* Envia string para sockfd. Note-se que o  \0 não é enviado */
     if (sendto(sockfd, sendline, n, 0, pserv_addr, servlen) != n)
         err_dump("dg_cli: sendto error on socket");

     /* Tenta ler string de sockfd. Note-se que tem de
         terminar a string com \0 */
     n = recvfrom(sockfd, recvline, MAXLINE, 0,
                  (struct sockaddr *) 0, (int *) 0);
     if (n < 0) err_dump("dg_cli: recvfrom error");
     recvline[n] = 0;

     /* Envia a string para stdout */
     fputs(recvline, stdout);
  }
  if (ferror(fp)) err_dump("dg_cli: error reading file");
}
```

Servidor DGRAM AF_UNIX

```
/* Servidor do tipo socket datagram. Recebe linhas do cliente e devolve-as para o
   cliente */
#include "unix.h"
main (void) {
    int sockfd, servlen;
    struct sockaddr_un serv_addr, cli_addr;

    /* Cria socket datagram */
    if ((sockfd = socket(AF_UNIX, SOCK_DGRAM, 0)) < 0)
         err_dump("server: can't open datagram socket");

    unlink(UNIXDG_PATH);
    /* Limpeza preventiva*/
    bzero((char *) &serv_addr, sizeof(serv_addr));
    serv_addr.sun_family = AF_UNIX;
    strcpy(serv_addr.sun_path, UNIXDG_PATH);
    servlen = sizeof(serv_addr.sun_family) + strlen(serv_addr.sun_path);
    /* Associa o socket ao nome */
    if (bind(sockfd, (struct sockaddr *) &serv_addr, servlen) < 0)
         err_dump("server: can't bind local address");

    /* Fica à espera de mensagens do client e reenvia-as  para o cliente */
    dg_echo(sockfd, (struct sockaddr *) &cli_addr, sizeof(cli_addr));
 }
```

Servidor DGRAM AF_UNIX (3)

```
#define MAXLINE 512

/* Servidor do tipo socket datagram.
   Manda linhas recebidas de volta
   para o cliente */

#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#define MAXMESG 2048

/* pcli_addr especifica o cliente */

dg_echo(sockfd, pcli_addr, maxclilen)
int sockfd;
struct sockaddr *pcli_addr;
int maxclilen;
{
```

```
   int n, clilen;
   char mesg[MAXMESG];

   for (;;) {
      clilen = maxclilen;

      /* Lê uma linha do socket */
      n = recvfrom(sockfd, mesg, MAXMESG,
                   0, pcli_addr, &clilen);
      if (n < 0)
         err_dump("dg_echo:recvfrom error");

      /*Manda linha de volta para o socket */
      if (sendto(sockfd, mesg, n, 0,
                 pcli_addr, clilen) != n)
         err_dump("dg_echo: sendto error");
   }
}
```

Servidor TCP AF_INET

(e.g. see http://www.linuxhowtos.org/C_C++/socket.htm)

```
/* A simple server in the internet domain using TCP
   The port number is passed as an argument */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>

void error(const char *msg) {
    perror(msg);
    exit(1);
}


int main(int argc, char *argv[]) {
     int sockfd, newsockfd, portno;
     socklen_t clilen;
     char buffer[256];
     struct sockaddr_in serv_addr, cli_addr;
     int n;

if (argc < 2) {
         fprintf(stderr,"ERROR, no port provided\n");
         exit(1);
     }
```

```
sockfd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0);
if (sockfd < 0) error("ERROR opening socket");

bzero((char *) &serv_addr, sizeof(serv_addr));
portno = atoi(argv[1]);
serv_addr.sin_family = AF_INET;
serv_addr.sin_addr.s_addr = INADDR_ANY;
serv_addr.sin_port = htons(portno);
```

```
if (bind(sockfd, (struct sockaddr *) &serv_addr,
         sizeof(serv_addr)) < 0) error("ERROR on binding");
```

```
listen(sockfd,5);
```

```
clilen = sizeof(cli_addr);
newsockfd = accept(sockfd, (struct sockaddr *) &cli_addr, &clilen);
if (newsockfd < 0) error("ERROR on accept");
```

```
bzero(buffer,256);
n = read(newsockfd,buffer,255);
if (n < 0) error("ERROR reading from socket");
printf("Here is the message: %s\n",buffer);

n = write(newsockfd,"I got your message",18);
if (n < 0) error("ERROR writing to socket");
close(newsockfd);
close(sockfd);

return 0;
}
```

ClienteTCP AF_INET

(e.g. see http://www.linuxhowtos.org/C_C++/socket.htm)

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <string.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>
#include <netdb.h>

void error(const char *msg) {
    perror(msg);
    exit(0);
}

int main(int argc, char *argv[]) {
    int sockfd, portno, n;
    struct sockaddr_in serv_addr;
    struct hostent *server;
    char buffer[256];

    if (argc < 3) {
       fprintf(stderr,"usage %s hostname
                port\n", argv[0]);
       exit(0);
    }

    portno = atoi(argv[2]);
    sockfd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0);
    if (sockfd < 0)
        error("ERROR opening socket");
    server = gethostbyname(argv[1]);

    if (server == NULL) {
        fprintf(stderr,"ERROR, no such host\n");
        exit(0);
    }

    bzero((char *) &serv_addr, sizeof(serv_addr));
    serv_addr.sin_family = AF_INET;
    bcopy((char *)server->h_addr,
          (char *)&serv_addr.sin_addr.s_addr,
          server->h_length);
    serv_addr.sin_port = htons(portno);

    if (connect(sockfd,(struct sockaddr *) &serv_addr,sizeof(serv_addr)) < 0)
        error("ERROR connecting");
    printf("Please enter the message: ");

    bzero(buffer,256);
    fgets(buffer,255,stdin);
    n = write(sockfd,buffer,strlen(buffer));

    if (n < 0) error("ERROR writing to socket");
    bzero(buffer,256);
    n = read(sockfd,buffer,255);
    if (n < 0) error("ERROR reading from socket");

    printf("%s\n",buffer);
    close(sockfd);
    return 0;
}
```

Espera Múltipla com Select

```
#include <sys/select.h>
#include <sys/time.h>
int select (int maxfd, fd_set* leitura, fd_set*
  escrita, fd_set* excepcao,  struct timeval* alarme)
```

select:

- espera por um evento
- bloqueia o processo até que um descritor tenha um evento associado ou expire o alarme
- especifica um conjunto de descritores onde espera:
  - receber mensagens
  - receber notificações de mensagens enviadas (envios assíncronos)
  - receber notificações de acontecimentos excepcionais

Select

- exemplos de quando o select retorna:
  - Os descritores (1,4,5) estão prontos para leitura
  - Os descritores (2,7) estão prontos para escrita
  - Os descritores (1,4) têm uma condição excepcional pendente
  - Já passaram 10 segundos

Espera Múltipla com Select (2)

```
struct timeval {
    long tv_sec; /* seconds /*
    long tv_usec; /* microseconds /*
}
```

- esperar para sempre → parâmetro efectivo é null pointer
- esperar um intervalo de tempo fixo → parâmetro com o tempo respectivo
- não esperar → parâmetro com o valor zero nos segundos e microsegundos

- as condições de excepção actualmente suportadas são:
  - chegada de dados out-of-band
  - informação de controlo associada a pseudo-terminais

Manipulação do fd_set

- Definir no select quais os descritores que se pretende testar
  - void FD_ZERO (fd_set* fdset) - clear all bits in fdset
  - void FD_SET (int fd, fd_set* fd_set) - turn on the bit for fd in fdset
  - void FD_CLR (int fd, fd_set* fd_set) - turn off the bit for fd in fdset
  - int FD_ISSET (int fd, fd_set* fd_set) - is the bit for fd on in fdset?
- Para indicar quais os descritores que estão prontos, a função select modifica:
  - fd_set* leitura
  - fd_set* escrita
  - fd_set* excepcao

Servidor com Select

```
/* Servidor que utiliza sockets stream e
    datagram em simultâneo.
   O servidor recebe caracteres e envia-os
    para stdout */

#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/time.h>
#include <sys/socket.h>
#include <sys/un.h>
#include <errno.h>

#define MAXLINE 80
#define MAXSOCKS 32

#define ERRORMSG1 "server: cannot open stream
    socket"
#define ERRORMSG2 "server: cannot bind stream
    socket"
#define ERRORMSG3 "server: cannot open
    datagram socket"
#define ERRORMSG4 "server: cannot bind
    datagram socket"
#include "names.h"
```

```
int main(void) {
  int strmfd,dgrmfd,newfd;
  struct sockaddr_un
   servstrmaddr,servdgrmaddr,clientaddr;
  int len,clientlen;
  fd_set testmask,mask;

  /* Cria socket stream */
  if((strmfd=socket(AF_UNIX,SOCK_STREAM,0))<0){
    perror(ERRORMSG1);
    exit(1);
  }
  bzero((char*)&servstrmaddr,
        sizeof(servstrmaddr));
  servstrmaddr.sun_family = AF_UNIX;
  strcpy(servstrmaddr.sun_path,UNIXSTR_PATH);
  len = sizeof(servstrmaddr.sun_family)
        +strlen(servstrmaddr.sun_path);
  unlink(UNIXSTR_PATH);
  if(bind(strmfd,(struct sockaddr *)&servstrmaddr,
   len)<0)
  {
    perror(ERRORMSG2);
    exit(1);
  }
```

Servidor com Select (2)

```
 /*Servidor aceita 5 clientes  no socket stream*/
  listen(strmfd,5);

/* Cria socket datagram */
  if((dgrmfd = socket(AF_UNIX,SOCK_DGRAM,0)) < 0) {
    perror(ERRORMSG3);
    exit(1);
  }

/*Inicializa socket datagram: tipo + nome */
  bzero((char *)&servdgrmaddr,sizeof(servdgrmaddr));
  servdgrmaddr.sun_family = AF_UNIX;
  strcpy(servdgrmaddr.sun_path,UNIXDG_PATH);
   len=sizeof(servdgrmaddr.sun_family)+
                  strlen(servdgrmaddr.sun_path);

  unlink(UNIXDG_PATH);
  if(bind(dgrmfd,(struct sockaddr*)&servdgrmaddr, len)<0)
  {
    perror(ERRORMSG4);
    exit(1);
  }
```

```
/*
 - Limpa-se a máscara
 - Marca-se os 2 sockets - stream e datagram.
 - A mascara é limpa pelo sistema de cada vez que existe um evento no socket.
 - Por isso é necessário utilizar uma mascara auxiliar
*/
  FD_ZERO(&testmask);
  FD_SET(strmfd,&testmask);
  FD_SET(dgrmfd,&testmask);
```

Servidor com Select (3)

```
for(;;) {
  mask = testmask;

  /* Bloqueia servidor até que se dê um evento. */
  select(MAXSOCKS,&mask,0,0,0);

  /* Verificar se chegaram clientes para o socket stream */
  if(FD_ISSET(strmfd,&mask)) {
  /* Aceitar o cliente e associa-lo a newfd. */
    clientlen = sizeof (clientaddr);
    newfd = accept(strmfd,(struct sockaddr*)&clientaddr, &clientlen);
    echo(newfd);
    close(newfd);
  }

  /* Verificar se chegaram dados ao socket datagram. Ler dados */
  if(FD_ISSET(dgrmfd,&mask))
    echo(dgrmfd);
  /*Voltar ao ciclo mas não esquecer da mascara! */
  }
}
```

Modelos de Comunicação

Modelos de Comunicação

- Com as funções do modelo computacional poderíamos criar qualquer tipo de estrutura de comunicação entre os processos.

- Contudo existem algumas que, por serem mais frequentes, correspondem a padrões que os programadores utilizam ou que o sistema operativo oferece directamente como canais nativos

Modelos de Comunicação

- Um-para-Um (fixo)- Mestre/escravo:
  - O processo consumidor (escravo) tem a sua acção totalmente controlada por um processo produtor (mestre)
  - A ligação entre produtor consumidor é fixa

- Um-para-Muitos - Difusão:
  - Envio da mesma informação a um conjunto de processos consumidores

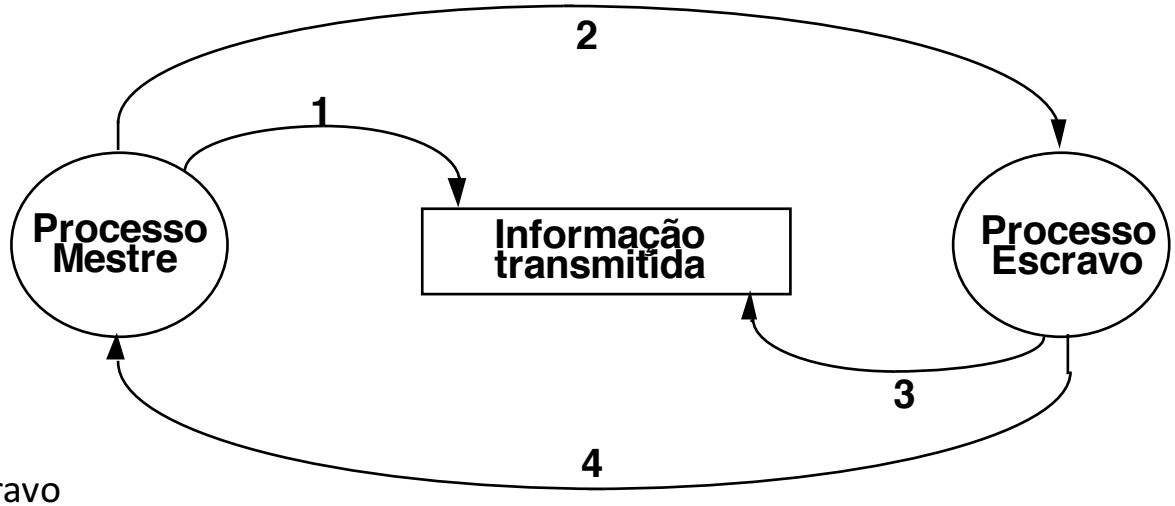
- Muitos-para-Um (caixa de correio, canal sem ligação):
  - Transferência assíncrona de informação (mensagens), de vários processos produtores, para um canal de comunicação associado a um processo consumidor
  - Os produtores não têm qualquer controlo sobre os consumidores/receptores

- Um-para-Um de vários (diálogo, canal com ligação):
  - Um processo pretende interactuar com outro, negoceiam o estabelecimento de um canal dedicado, mas temporário, de comunicação entre ambos.
  - Situação típica de cliente servidor

- Muitos-para-Muitos
  - Transferência assíncrona de informação (mensagens) de vários processos produtores para um canal de comunicação associado a múltiplos processos consumidor

Comunicação Mestre-Escravo

- o mestre não necessita de autorização para utilizar o escravo
- a actividade do processo escravo é controlada pelo processo mestre
- a ligação entre emissor e receptor é fixa



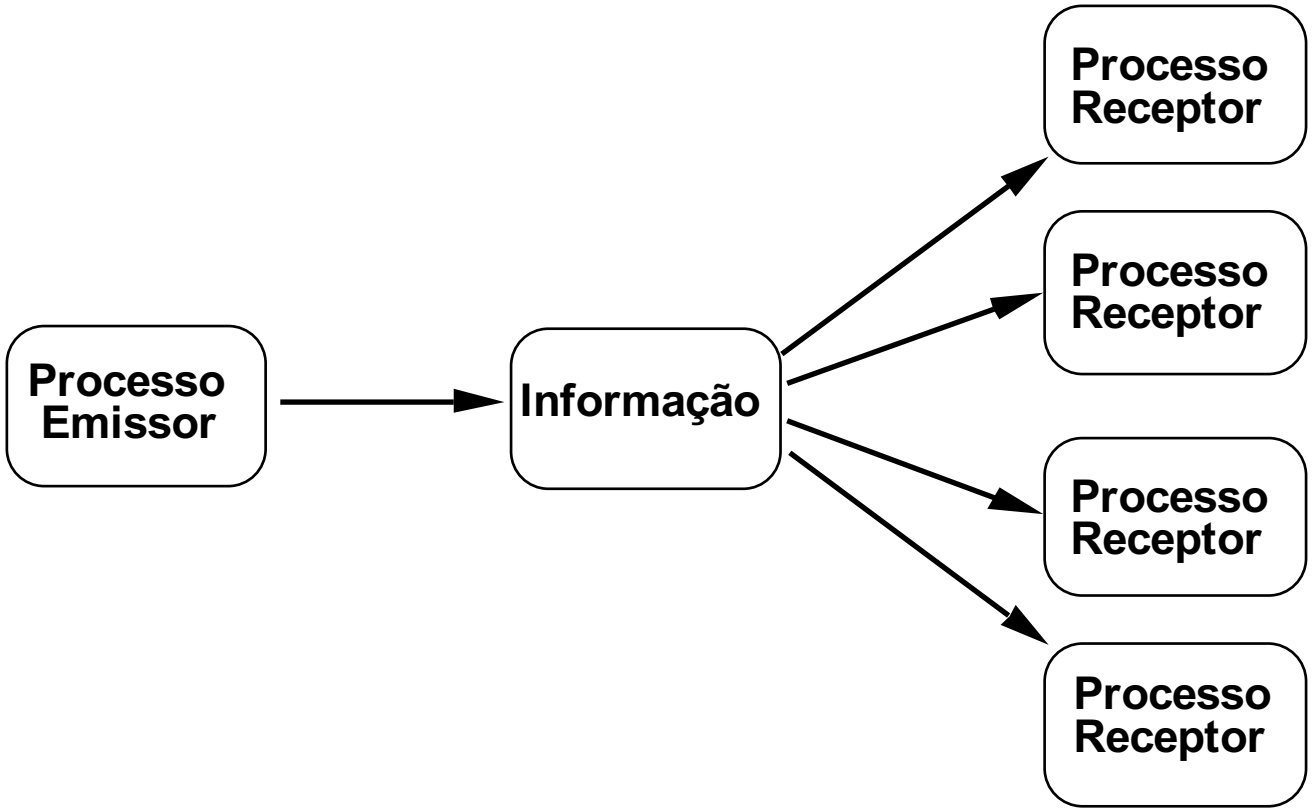
- Etapas:
  - 1 - informação para o processo escravo
  - 2 - assinalar ao escravo a existência de informação para tratar
  - 3 - leitura e eventualmente escrita de informação para o processo mestre
  - 4 - assinalar ao mestre o final da operação

Mestre Escravo com Memória Partilhada

```
#define DIMENSAO 1024
char* adr;
int Mest, Esc;
semaforo SemEscravo, SemMestre;

main() {
  SemEscravo = CriarSemaforo(0);
  SemMestre = CriarSemaforo(0);
  Mest = CriarProcesso(Mestre);
  Esc  = CriarProcesso(Escravo);
}
```

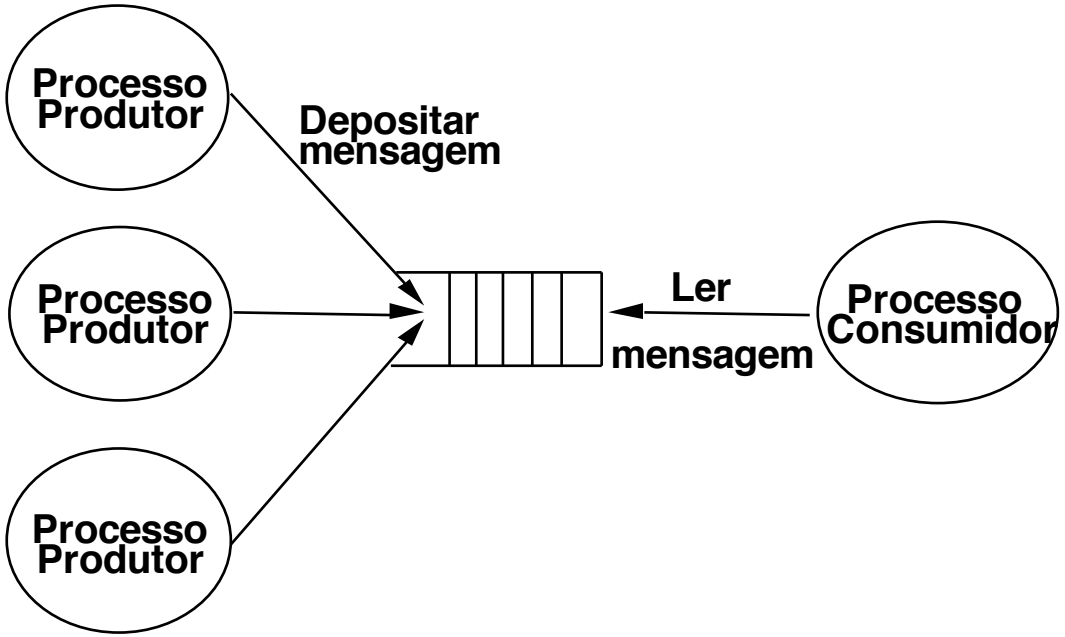
```
void Mestre () {
   adr = CriarRegiao ("MemPar", DIM);

   for (; ;) {
      ProduzirInformação();
      EscreverInformação();
      Assinalar (SemEscravo);
      /* Outras acções */
      Esperar (SemMestre);
   }
}

void Escravo() {
   adr = AssociarRegiao ("MemPar", DIM);

   for (; ;) {
      Esperar (SemEscravo);
      TratarInformação();
      Assinalar (SemMestre);
   }
}
```

Um-para-Muitos ou Difusão da Informação



Muitos-para-Um ou Correio (canal sem ligação)

- os processos emissores não controlam directamente a actividade do receptor ou receptores
- a ligação efectua-se indirectamente através das caixas de correio não existe uma ligação directa entre os processos
- a caixa de correio permite memorizar as mensagens quando estas são produzidas mais rapidamente do que consumidas




```
idCC = CriarCCorreio (Nome, parametros)
idCC = AssociarCCorreio (Nome, modo)
       EliminarCCorreio (Nome)
```

Programação da Caixa de Correio

cliente

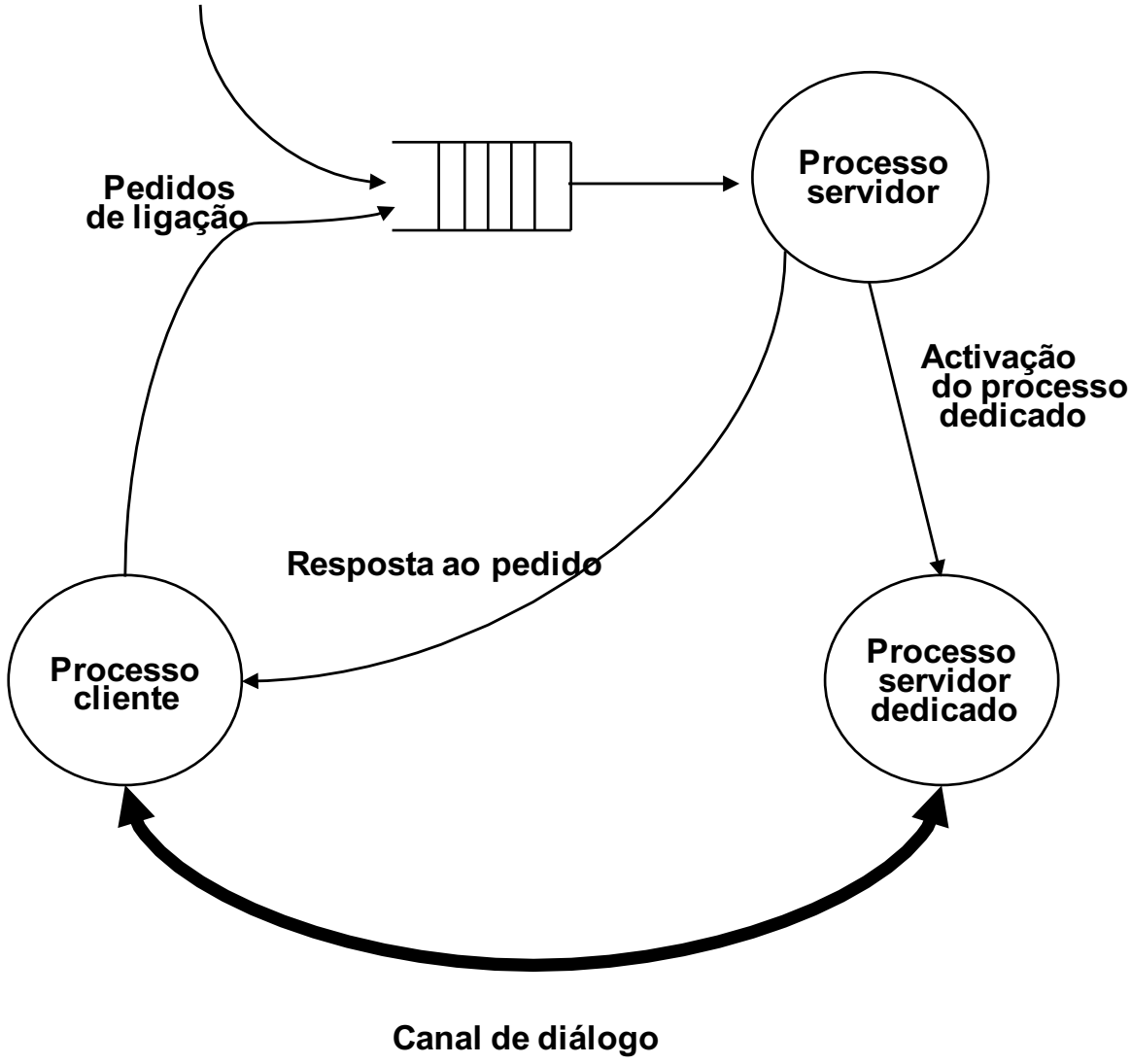
```
#define NMax 10

typedef char TMensagem[NMax];
IdCC CCliente, CServidor;
TMensagem Mens;

/* Cria a mensagem de pedido do serviço o qual
   contém  o identificador da caixa de correio de resposta */
void PreencheMensagem(TMensagem MS) { … }

/* Processa a mensagem de resposta */
void ProcessaResposta(TMensagem MS) { … }

void main() {
   CCliente=CriarCorreio("Cliente");
   CServidor=AssociarCorreio("Servidor");

   for (;;) {
      PreencheMensagem (Mens);
      Enviar (CServidor, Mens);
      Receber (CCliente, Mens);
      ProcessaReposta (Mens);
    }
}
```

servidor

```
#define NMAX  10
#define NCNome  64

typedef char TMensagem[NMAX];
typedef char Nome[NCNome];
IdCC CResposta, CServidor;
TMensagem Mens;
Nome NomeCliente;

/* Trata a mensagem e devolve o nome da caixa de
   correio do cliente enviada na mensagem inicial */
void TrataMensagem (TMensagem Ms, Nome NomeCliente) { … }

void main () {
  Cservidor=CriarCorreio("Servidor");

  for (;;) {
     Receber (Cservidor, Mens);
     TrataMensagem (Mens, NomeCliente);
     CResposta=AssociarCCorreio (NomeCliente);
     Enviar (CResposta, Mens);
     EliminarCC(CResposta);
  }
}
```

Um-para-Um de vários ou Canal com ligação - Modelo de Diálogo

- É estabelecido um canal de comunicação entre o processo cliente e o servidor
- O servidor pode gerir múltiplos clientes, mas dedica a cada um deles uma actividade independente
- O servidor pode ter uma política própria para atender os clientes



Diálogo

Servidor

- Primitiva para Criação de Canal

```
IdCanServidor = CriarCanal (Nome);
```

- Primitivas para Aceitar/Desligar/Eliminar Ligações

```
IdCanal= AceitarLigacao (IdCanServidor);
Desligar (IdCanal);
Eliminar (Nome);
```

Cliente

- Primitivas par Associar/Desligar ao Canal

```
IdCanal:= PedirLigacao (Nome);
Desligar (IdCanal);
```

Modelo de Diálogo - Canal com ligação

Cliente

```
IdCanal Canal;
int Ligado;

void main() {
  while (TRUE){
      Canal=PedirLigacao("Servidor");
      Ligado = TRUE;

     while (Ligado) {
                  ProduzInformacao(Mens);
                  Enviar(Canal, Mens);
                  Receber(Canal, Mens);
                  TratarInformacao(Mens);
      }
      TerminarLigacao(Canal);
  }
  exit(0);
}
```

Servidor

```
IdCanal CanalServidor, CanalDialogo;

void main() {
    CanalPedido=CriarCanal("Servidor");

    for (;;) {
        CanalDialogo=AceitarLigacao(CanalPedido);
        CriarProcesso(TrataServico, CanalDialogo);
    }
}
```

Muitos-para-muitos

- Transferência assíncrona de informação (mensagens) de vários processos produtores para um canal de comunicação associado a múltiplos processos consumidor