Comunicação por Troca de Mensagem entre Processos

Introdução

Pipes

Named pipes

Sistemas Operativos

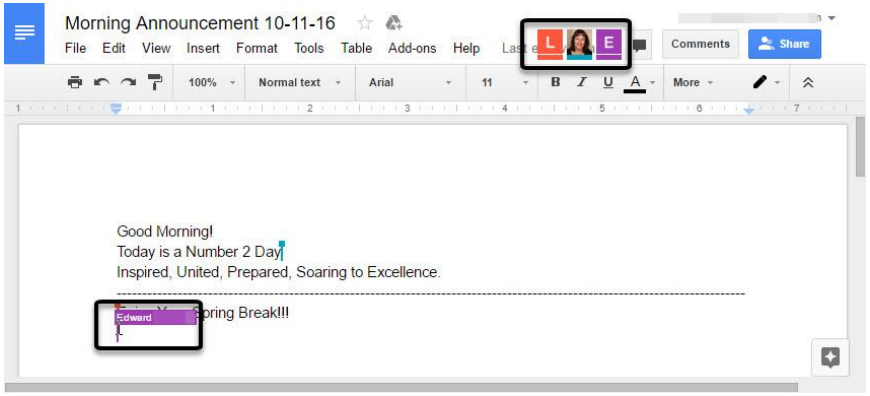
Dois paradigmas para programação concorrente

- Por memória partilhada
  - Tarefas partilham dados (no *heap*/amontoado)
  - Troca de dados é feita escrevendo e lendo da memória partilhada
  - Sincronização recorre a mecanismos adicionais (p.e., trincos, semaforos,…).
- Por troca de mensagens
  - Cada tarefa trabalha exclusivamente sobre dados privados
  - Tarefas transmitem dados trocando mensagens
  - Mensagens também servem para sincronizar tarefas

Analogia:
Edição concorrente de um documento

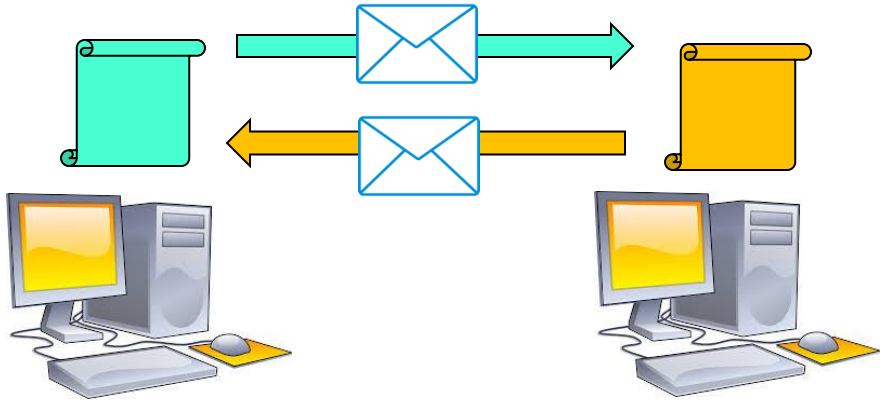
Memória partilhada

- Google docs
  - Única cópia online do documento
  - As alterações de um editor são imediatamente aplicadas ao documento partilhado e visíveis logo aos outros editores



Troca de mensagens

- Cada editor mantem uma cópia privada do documento no seu computador
- Alterações enviadas por email e aplicadas independentemente



Porquê diferentes paradigmas?

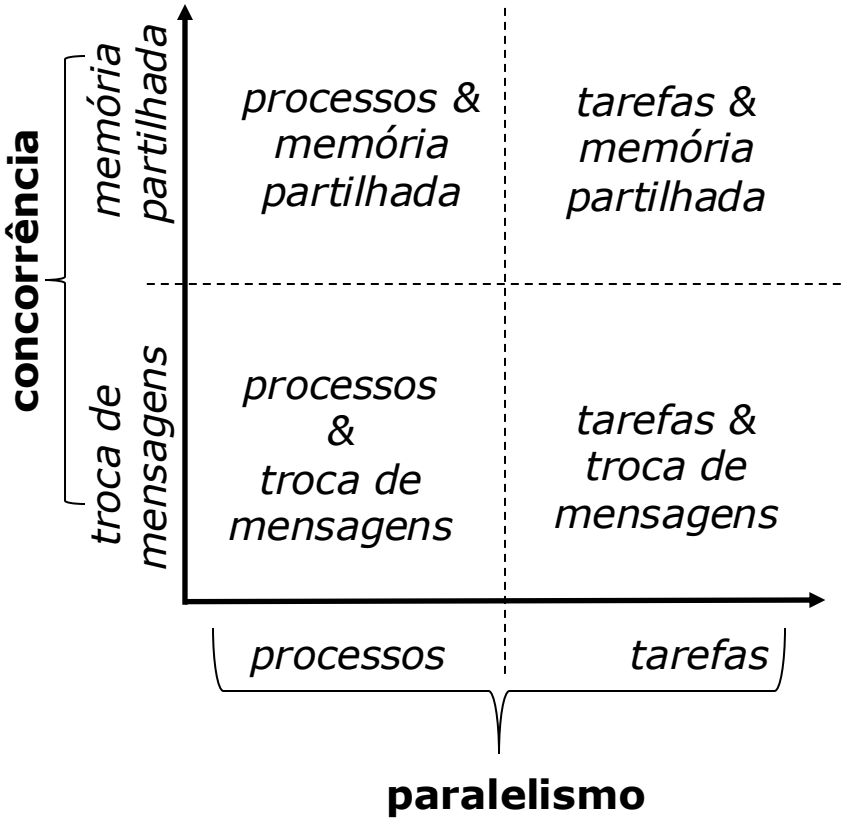
- Historicamente:
  - Algumas arquiteturas só permitiam que programas a correr em CPUs distintos trocassem mensagens
    - Cada CPU com a sua memória privada, interligados por alguma rede
  - Outras suportavam memória partilhada
    - E.g. CPUs podiam aceder à mesma memória RAM através de protocolo de coerência de cache

Porquê diferentes paradigmas?

- Estilos diferentes de programação, com virtudes e defeitos:
  - Diferentes ambientes de programação mais apropriados para cada paradigma
  - Preferências de cada programador
  - Alguns problemas mais fáceis de resolver eficientemente num paradigma que noutro

Combinações de modelos de paralelismo e coordenação

- Dois modelos de paralelismo:
  1. por tarefa
  2. por processo
- Dois modelos de concorrência:
  1. por troca de mensagens
  2. por memória partilhada
- Os modelos de paralelismo e concorrência podem ser combinados!
  - resultado: 4 alternativas

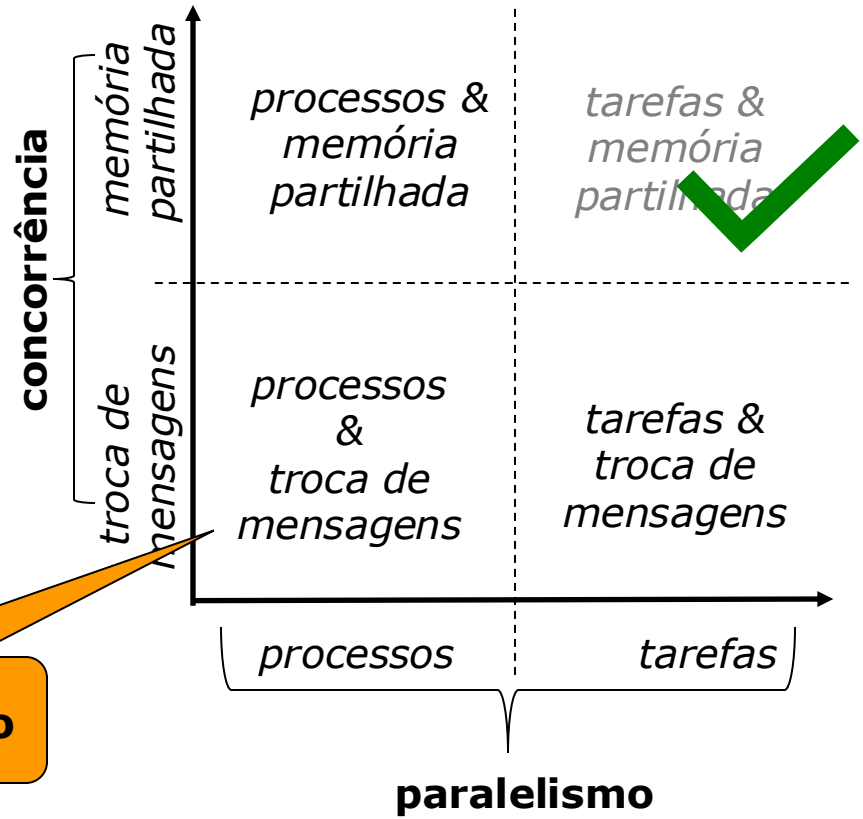


O que construímos até agora...

A abstração de processo

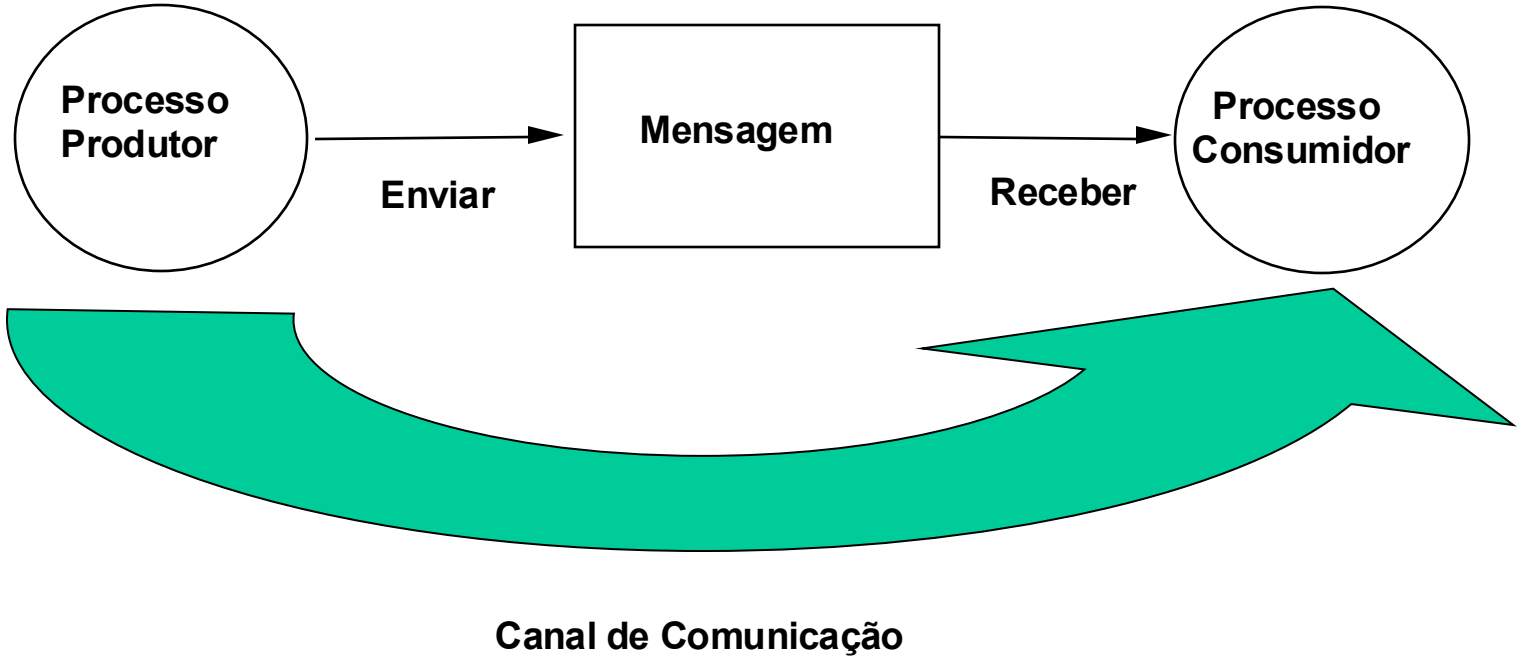
A possibilidade de ter paralelismo e **partilha de dados** dentro do processo

Combinações de modelos de paralelismo e coordenação



Próximo capítulo

Comunicação por Troca de Mensagem entre Processos

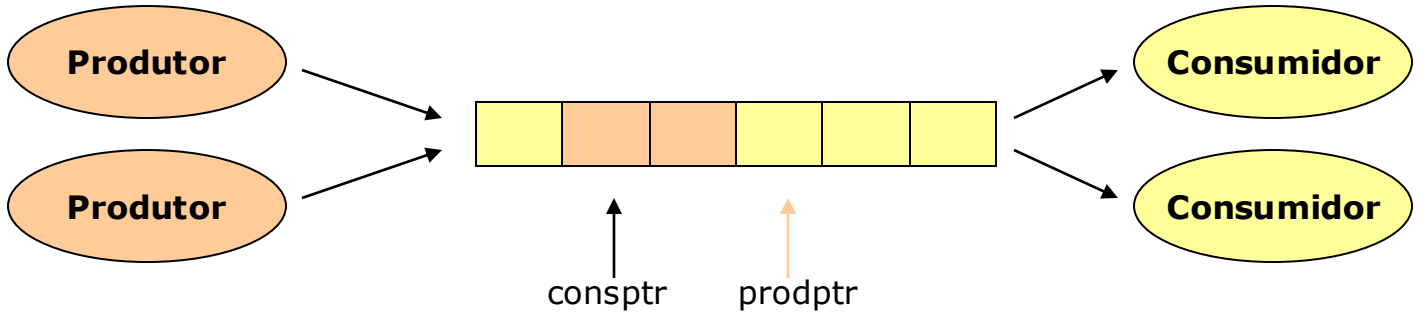


Exemplos

- 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?

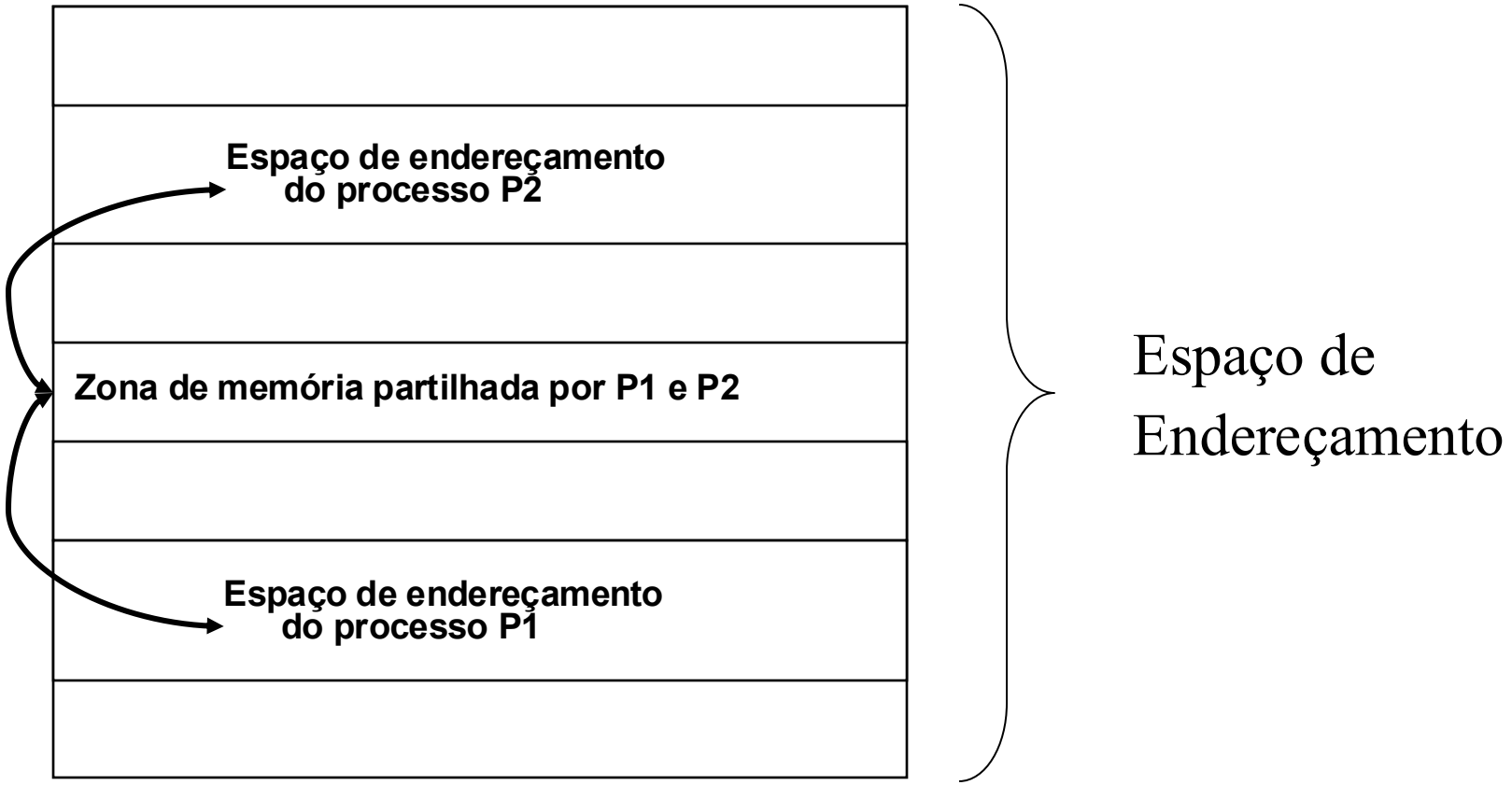
Exemplo de implementação de um canal de comunicação (solução para o problema do Produtor – Consumidor)



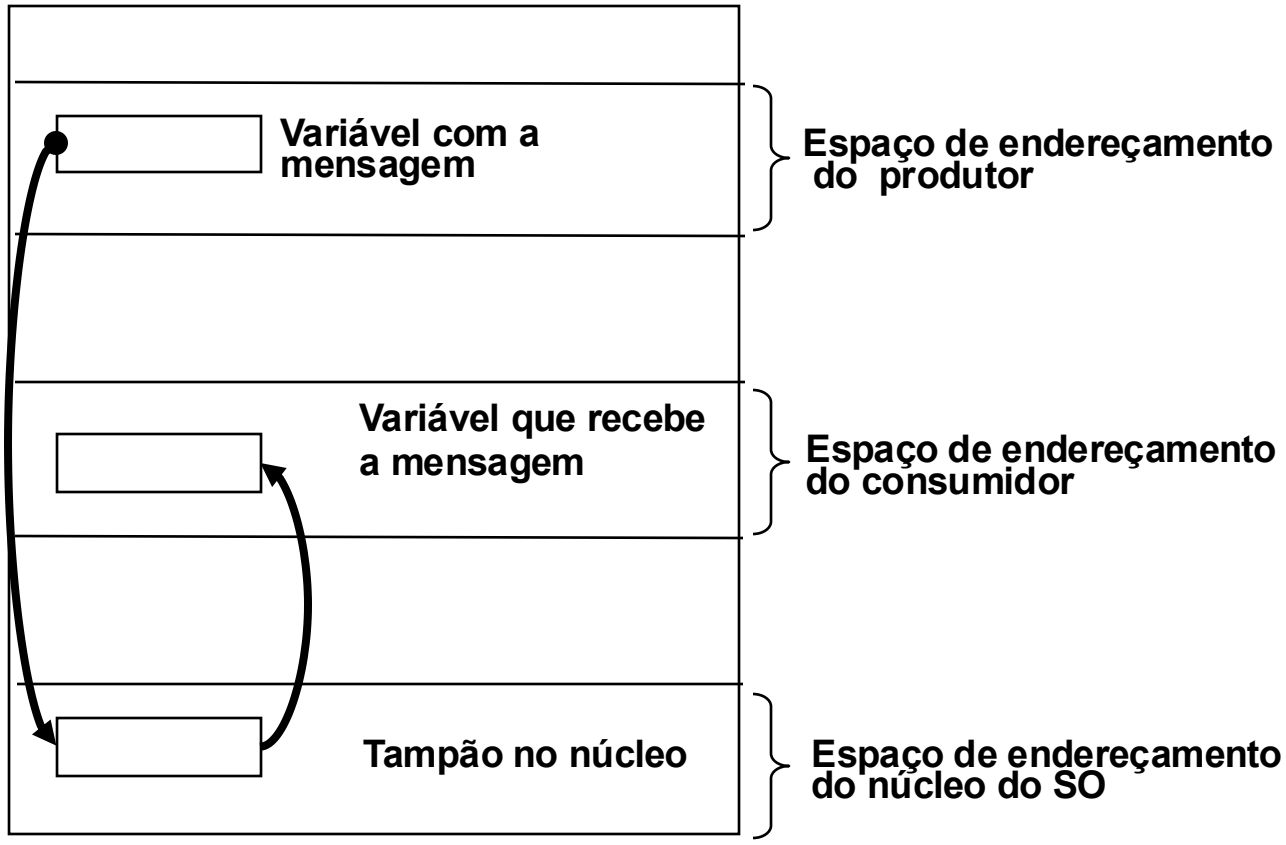
Implementação do Canal de Comunicação

- 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

Arquitetura da Comunicação: por memória partilhada



Arquitetura da Comunicação: cópia através do núcleo



Inicialmente, consideraremos apenas canais de comunicação implementados pelo núcleo do SO

Unix– Modelo Computacional - IPC

pipes

signals

IPC no UNIX

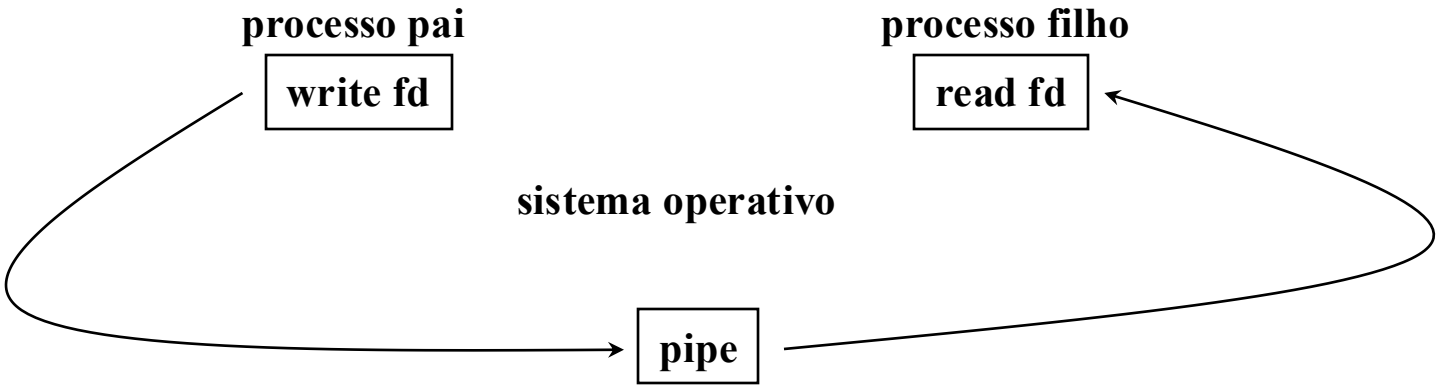
- Mecanismo inicial:
  - pipes

- Extensão dos pipes:
  - pipes com nome

- Gestão de eventos assíncronos:
  - signals (System V e BSD)

Pipes

- Mecanismo original do Unix para comunicação entre processos.
- Canal *byte stream* ligando dois processos, unidirecional
- Não tem nome externo
  - Os descritores são internos a um processo
  - Podem ser transmitidos para os processos filhos através do mecanismo de herança
- Os descritores de um pipe são análogos ao dos ficheiros
  - As operações de read e write sobre ficheiros são válidas para os pipes
  - O processo fica bloqueado quando escreve num pipe cheio
  - O processo fica bloqueado quando lê de um pipe vazio



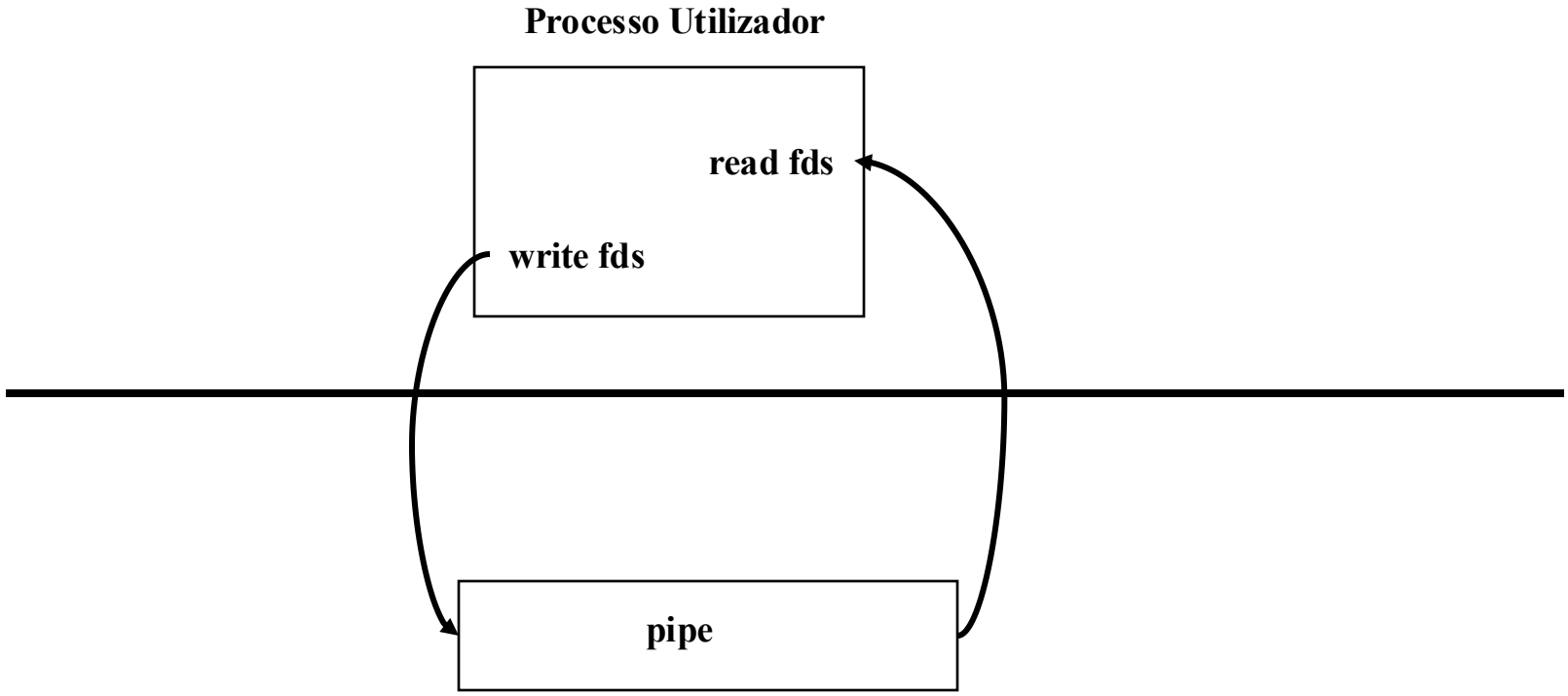
Criação de um pipe

```
int pipe (int *fds);

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

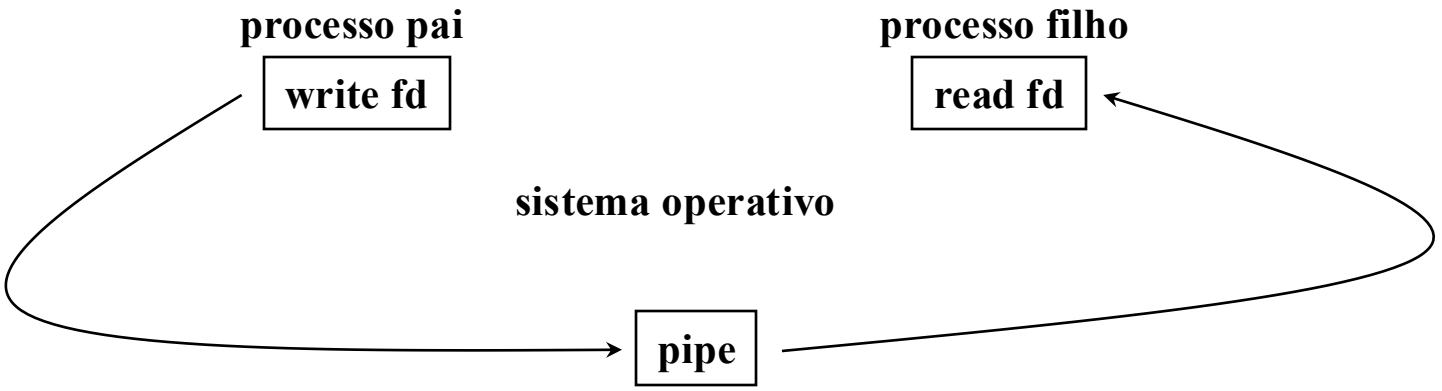
Criar e usar pipe (Exemplo inútil)

```
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 (tampao));
    }
}
```

Criar e usar pipe (exemplo inútil!)



Como partir do exemplo (inútil) anterior para conseguir comunicação de processo pai para filho?



Como veremos mais adiante, no *fork* o processo filho herda o contexto núcleo do pai pelo que aí se encontram todos os ficheiros abertos e consequentemente os *pipes* que o pai criou

Criar e usar pipe
(Exemplo útil: 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*/
        close(fds[1]);
      /* lê do pipe */
      read (fds[0], tmp, sizeof (msg));
      printf ("%s\n", tmp);
      exit (0);
   }
```

```
 else {
      /* processo pai */
        close(fds[0]);
      /* escreve no pipe */
    write (fds[1], msg, sizeof (msg));
    pid_filho = wait();
   }
}
```

Questões relacionadas com os *file descriptors*

- Os *file descriptors* do processo pai e do filho permitiriam ambos ler e escrever, mas esta não é a utilização habitual porque seria impossível estabelecer uma sincronização entre as leituras e escritas

- O canal torna-se unidireccional fechando as extremidades não utilizadas

- É boa pratica fechá-las sempre porque o numero de *file descriptor*s de um processo é limitado

- Fechar a extremidade de escrita de um pipe permite também desbloquear processos bloqueados na extremidade de leitura:
  - Neste caso é gerado um *End-Of-File*(`EOF`) que permite sair do *read*
    - Relembrar que a read nos pipes é bloqueante!

Redirecção de entradas/saídas com pipes

Relembrar ficheiros e Entradas/Saídas

- No Unix os ficheiros normais são meros vectores de *bytes,* portanto idênticos às interfaces dos periféricos habituais como o teclado ou o ecrã

- 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), normalmente idêntico ao `stdout`

- Desta forma, sem efectuar qualquer operação, o processo pode receber *inputs* e efectuar *outputs* como estamos todos habituados na programação

Tabela de Ficheiros Abertos

- Como sabemos, as funções sistema sobre os ficheiros usam geralmente para designar o ficheiro um *file descriptor* cujo valor é obtido tipicamente no *open*

- Os *file descriptors* são inteiros que referenciam a tabela de ficheiros abertos do processo

- A tabela de ficheiros abertos é um simples vector (finito) que é gerido pelo núcleo, preenchendo e libertando registos à medida que os ficheiro são abertos ou fechados

A chamada sistema *dup*

- A função `int dup(int fd)` cria um novo *file descriptor* para um ficheiro aberto já existente.

- O novo *file descriptor* é um duplicado totalmente idêntico ao original:
  - o mesmo *file pointer* (posição de leitura/escrita)
  - o mesmo modo de acesso (*read, write or read/write*)

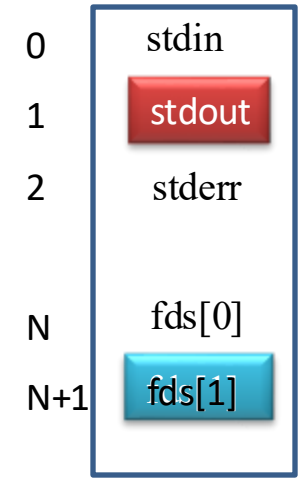
o novo *file descriptor* é o que o núcleo encontra livre com o **número mais baixo** na tabela de ficheiros abertos

File descriptors e dup

- Quando executamos `pipe()` , a chamada devolve 2 *file descriptors* um para cada extremidade

- Se, por exemplo, fecharmos o `stdout` e executarmos `dup()` da extremidade de escrita do *pipe* esta irá ocupar a posição 1 da tabela que entretanto tinha ficado vazia

```
int fds[2];


pipe(fds);


/* outras operações como criação de processo filho */


close(STDOUT_FILENO);
dup (fds[1])
```



Redireccionamento de Entradas/Saídas

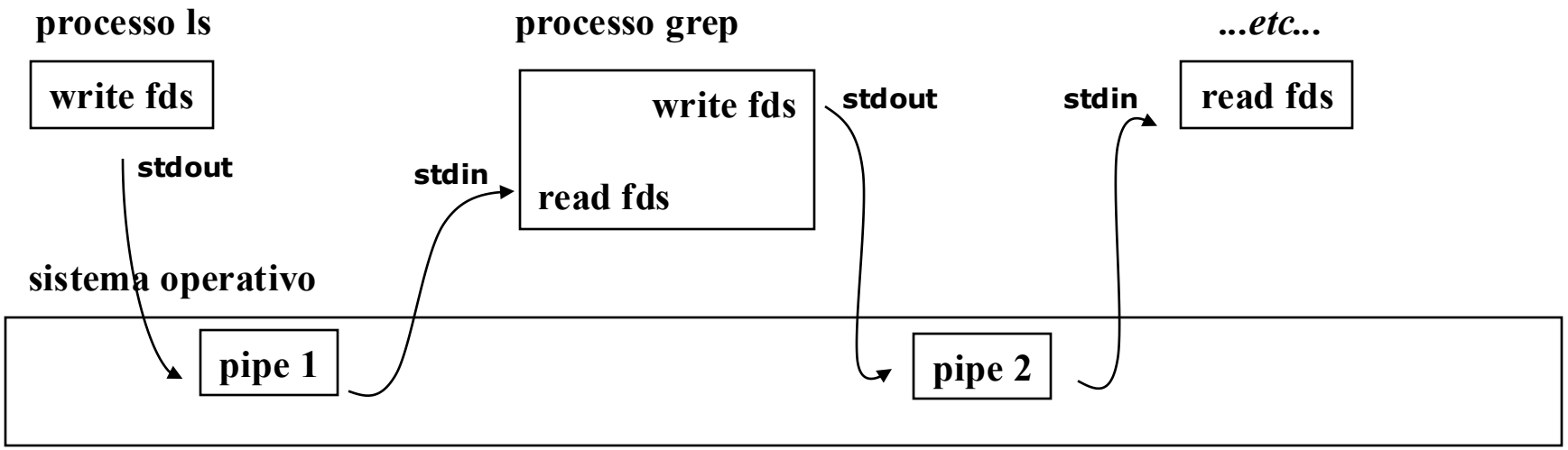
```
#include <stdio.h>
#include <fnctl.h>

#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 | *...etc...*

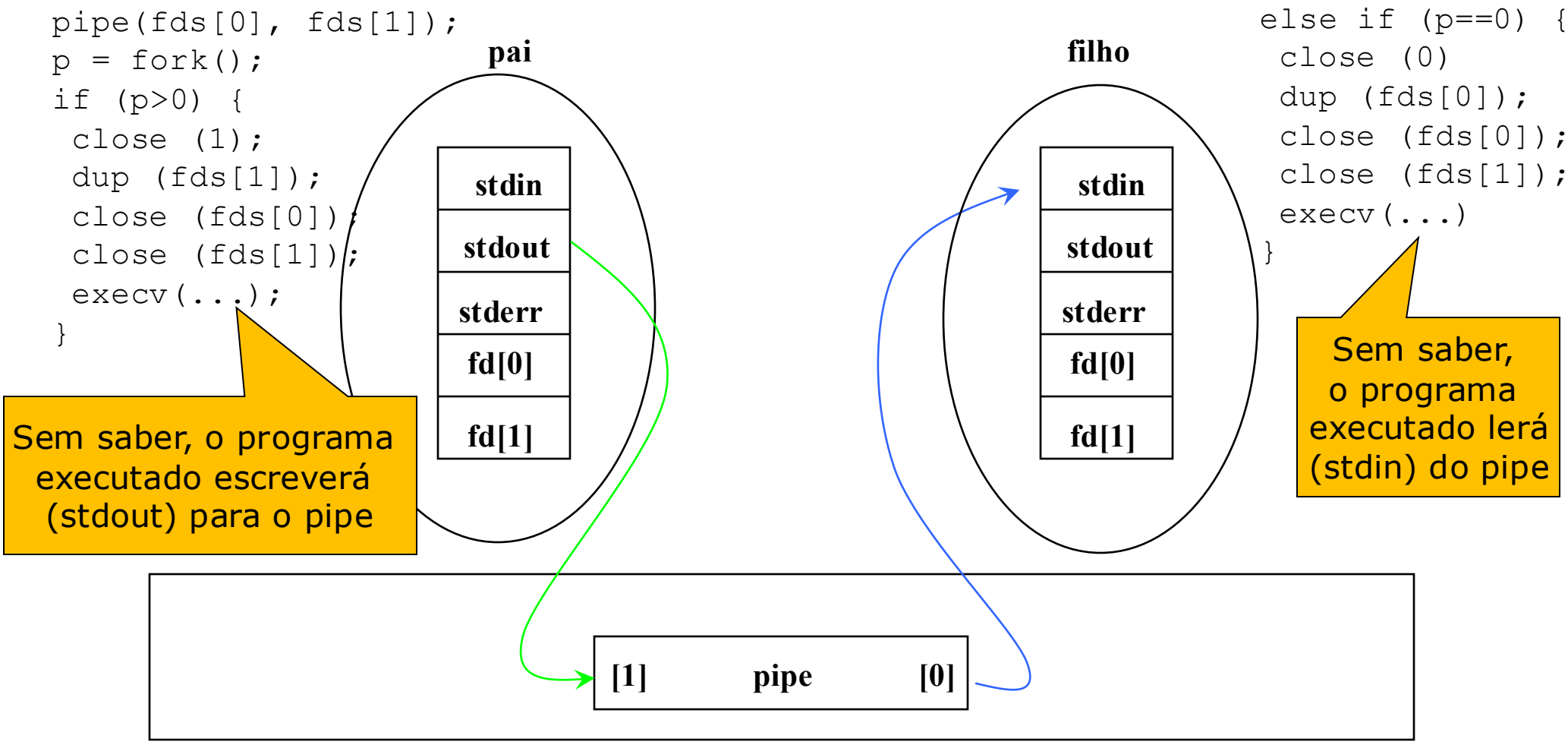


Como implementar a situação acima?

Redireccionamento de Entradas/Saídas (2)

```
pipe(fds[0], fds[1]);
p = fork();
if (p>0) {
 close (1);
 dup (fds[1]);
 close (fds[0]);
 close (fds[1]);
 execv(...);
}
```

```
else if (p==0) {
 close (0)
 dup (fds[0]);
 close (fds[0]);
 close (fds[1]);
 execv(...)
}
```



Reutilização

- A possibilidade de reutilização de programas já existentes, é muito interessante

- É importante perceber que nada foi modificado nos programas dos comandos que foram executados deste modo. **O código é absolutamente o mesmo** (nem poderia deixar de ser uma vez que nada compilamos)

- Reutilizar código existente é um dos objectivos mais difíceis em Engenharia de Software, o Unix encontrou uma forma muito eficaz de o fazer

IPC no UNIX

- Mecanismo inicial:
  - pipes

- Extensão dos pipes:
  - pipes com nome

- Gestão de eventos assíncronos:
  - signals (System V e BSD)

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, usando o **espaço de nomes 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
  - Tal como um ficheiro tem um dono e permissões de acesso

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**

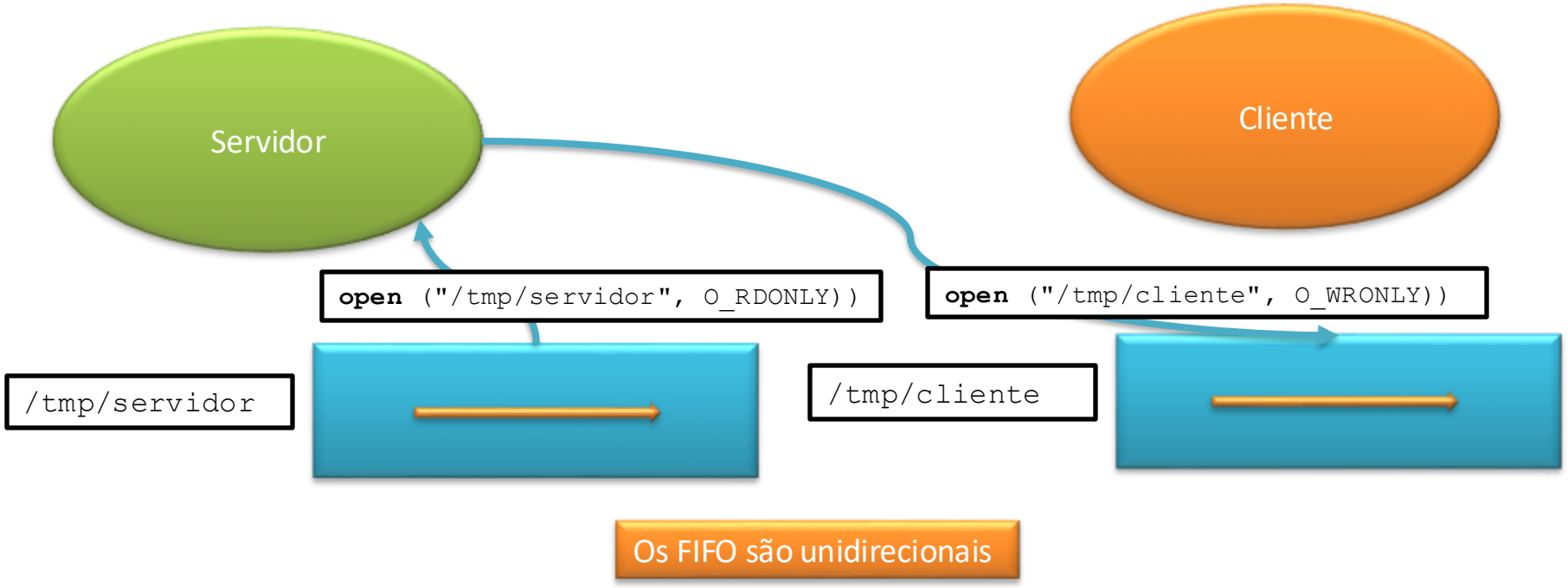
Named Pipes: como usar

- Criar 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");
}
```

Servidor cria o Canal de IPC

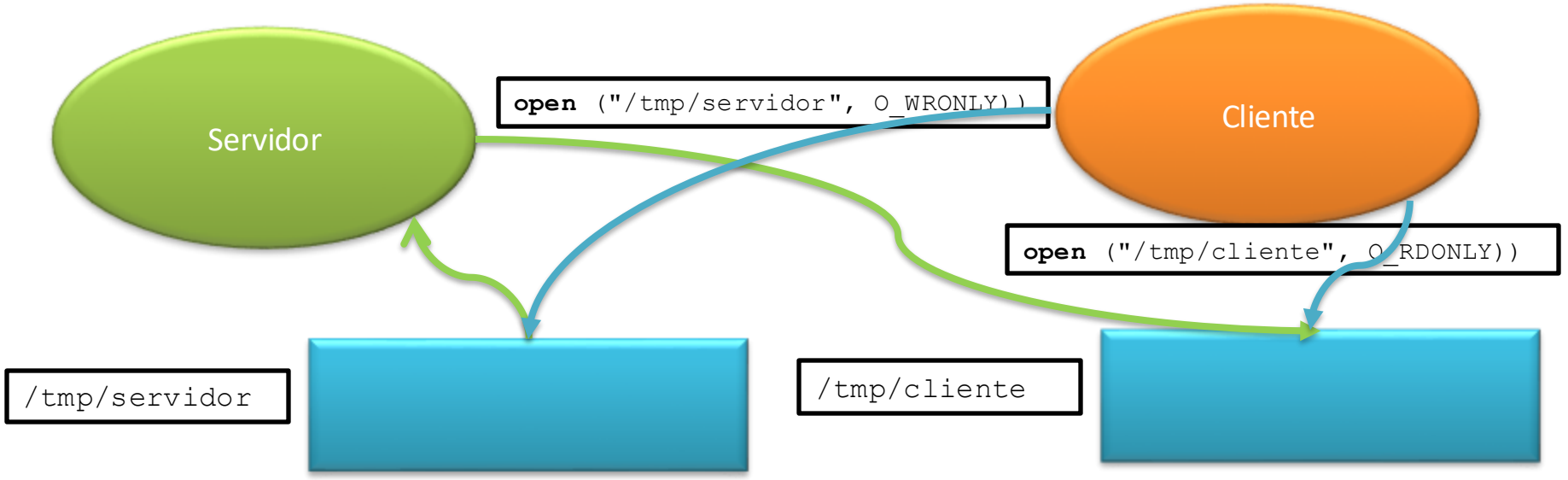


Semântica da abertura do FIFO

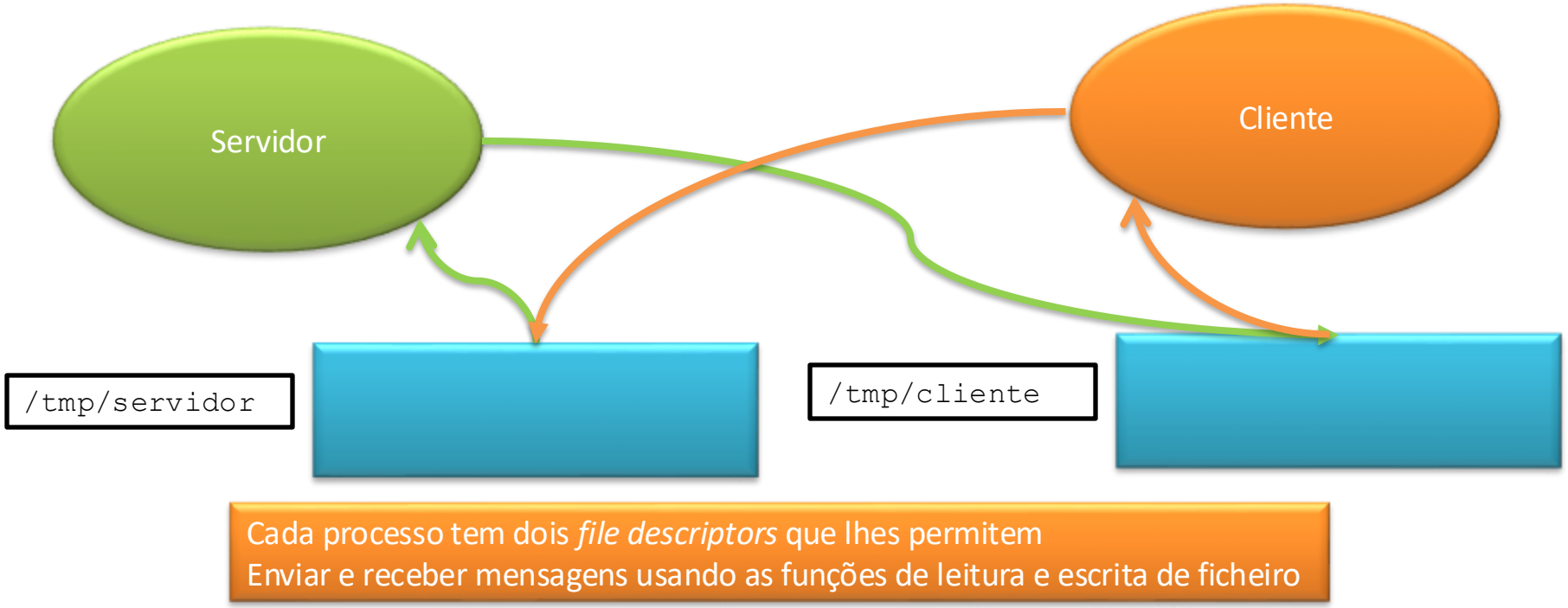
- Sincronização na abertura é diferente dos ficheiros. Devido a semântica de que um *pipe* é para dois processo comunicarem, se apenas um processo faz `open` do *pipe* (leitor ou escritor) ficará bloqueado até o outro abrir (há a possibilidade de não bloquear com uma *flag* especifica)

- Se já houver outros processos a usar o *pipe* o `open` retorna de imediato

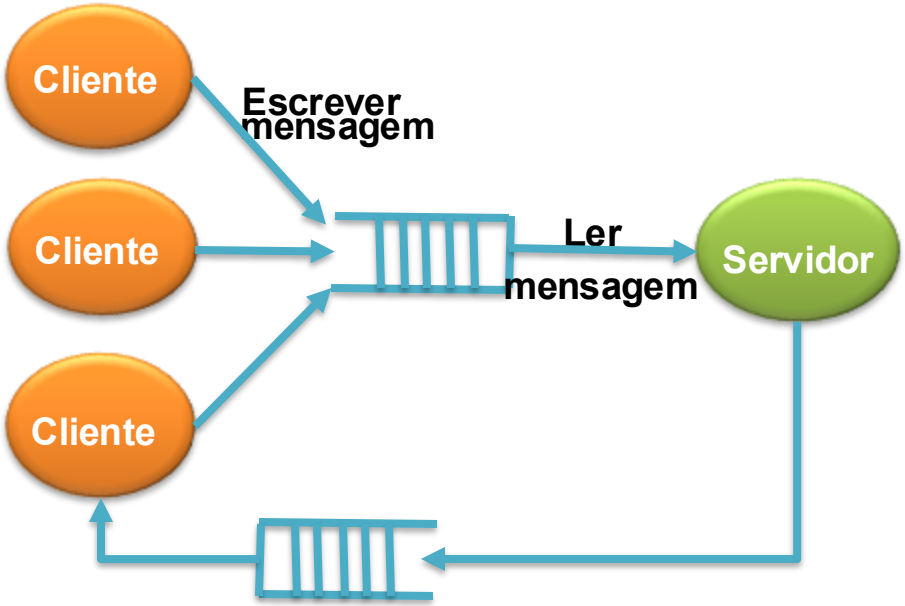
Cliente associa-se ao canal



Canal estabelecido

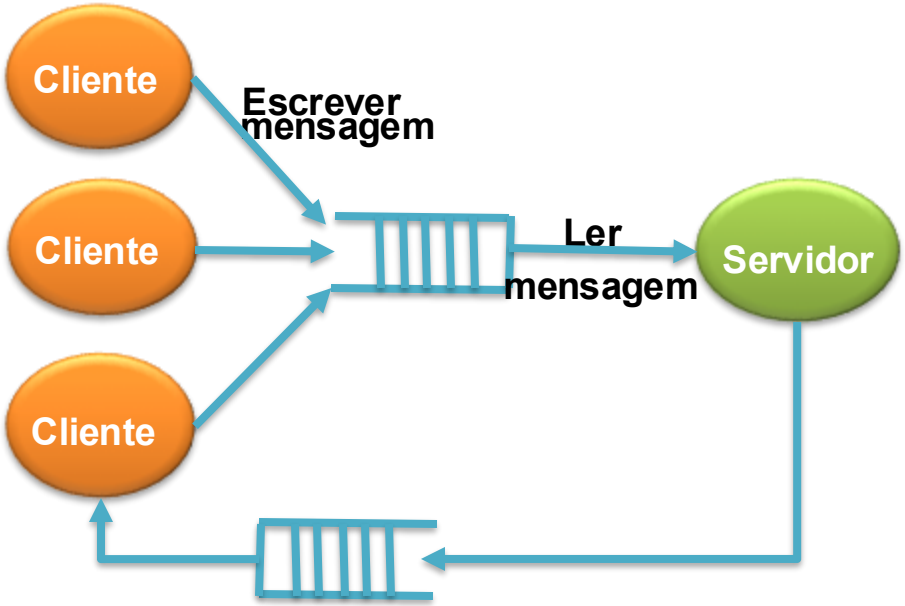


Como criar um cliente–servidor com FIFOs



- O servidor cria um FIFO
- Cada cliente envia uma mensagem para o servidor
- Cada cliente terá um FIFO para receber as mensagens de resposta

Problemas!



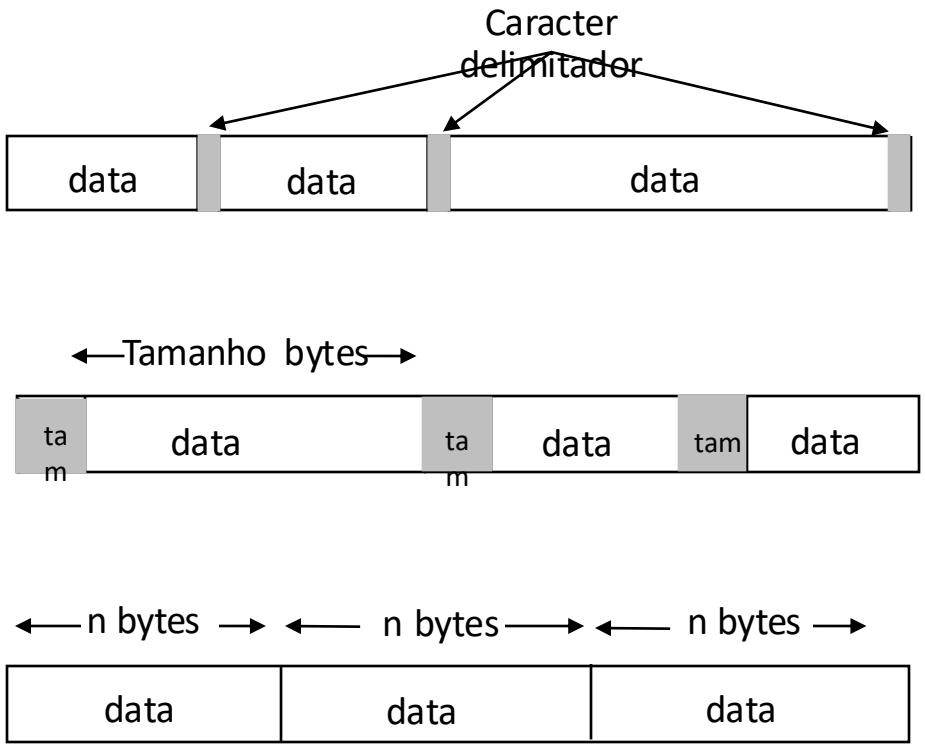
1. Como é que os clientes sabem o nome do FIFO do servidor?
2. Como distinguir as mensagens uma vez que o *pipe* é *bytestream*
3. O servidor tem de conhecer os nomes dos FIFOS dos clientes.
   - Conceptualmente, o servidor poderia responder para um FIFO único,...
   - mas a concorrência na leitura dos diferentes clientes tornaria a comunicação aleatória!

Gestão de Nomes

- Problema clássico nos sistemas cliente servidor
- Uma solução típica é o FIFO do servidor ter um nome pré-estabelecido (*well known name*). É a solução adotada nos exemplos, colocando na diretoria `/tmp` por portabilidade (em termos de segurança não é recomendável em aplicações reais, colocar acesso a servidor em diretorias publicas deste tipo).
- Pode haver um gestor de nomes, solução mais complexas e que repõe o problema anterior no endereço do servidor de nomes…
- Existe também um problema de gestão de nomes nos clientes que têm de enviar ao servidor o nome do FIFO de resposta. Podem fazê-lo enviando na mensagem ou existindo uma convenção de nomes em que o PID do processo entra na geração do nome

Formatação das mensagens

- Como o canal é *bytestream* podemos:
  - Colocar um caracter como delimitador ex.: *newline*. Implica que a mensagem tem de ser lida caracter a caracter para detetar o delimitador
  - Mensagens com cabeçalho que indique o tamanho da mensagem. O servidor lê o cabeçalho e depois pode efetuar uma leitura da restante informação. Se houver qualquer problema com o tamanho nos cabeçalhos o sistema fica dessincronizado
  - Mensagens de tamanho fixo. Geralmente desperdiça espaço das mensagens e limita mensagens grandes



IPC no UNIX

- Mecanismo inicial:
  - pipes
- Extensão dos pipes:
  - pipes com nome
- Gestão de eventos assíncronos:
  - signals (System V e BSD)

Signals

Signals

- Dois propósitos distintos:
  - Mecanismo usado pelo núcleo do SO para notificar um processo de que ocorreu um dado evento relevante
    - Exemplos: CTRL-C, *timeout*, acesso inválido a memória, etc.
  - Mecanismo limitado de comunicação entre processos
    - Permite a um processo notificar outro que ocorreu um dado evento
    - Exemplo: processo servidor notifica outros processos para que iniciem procedimento de terminação
- Em ambos os casos, o **evento** é tratado de forma **assíncrona** pelo processo

Eventos Assíncronos

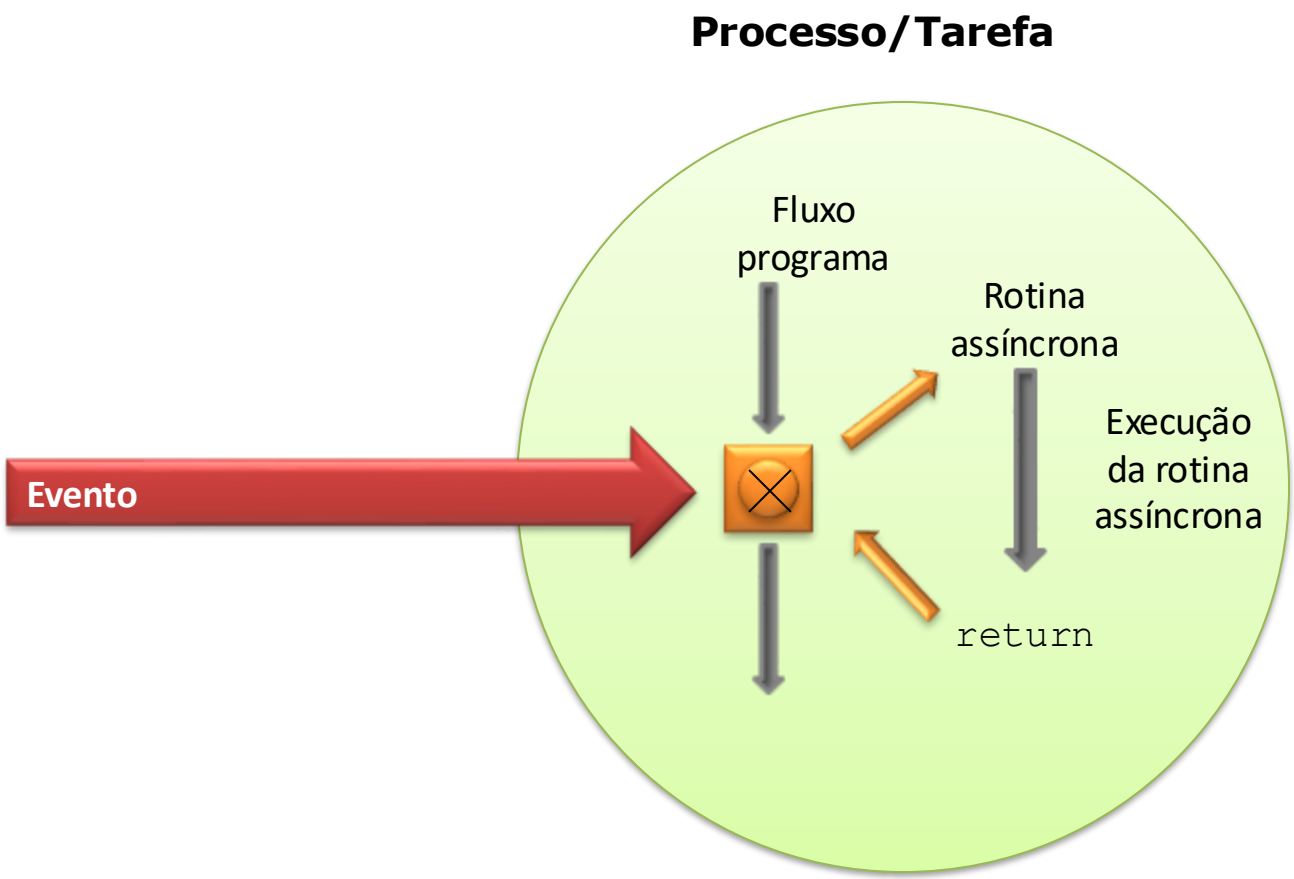
- Rotinas Assíncronas para Tratamento de acontecimentos assíncronos e excepções

Rotinas Assíncronas

- Certos acontecimentos devem ser tratados pelas aplicações, embora não seja possível prever a sua ocorrência
  - Ex: Ctrl-C
  - Ex: Acção desencadeada por um timeout

- Como tratá-los na programação sequencial?

Modelo de Eventos

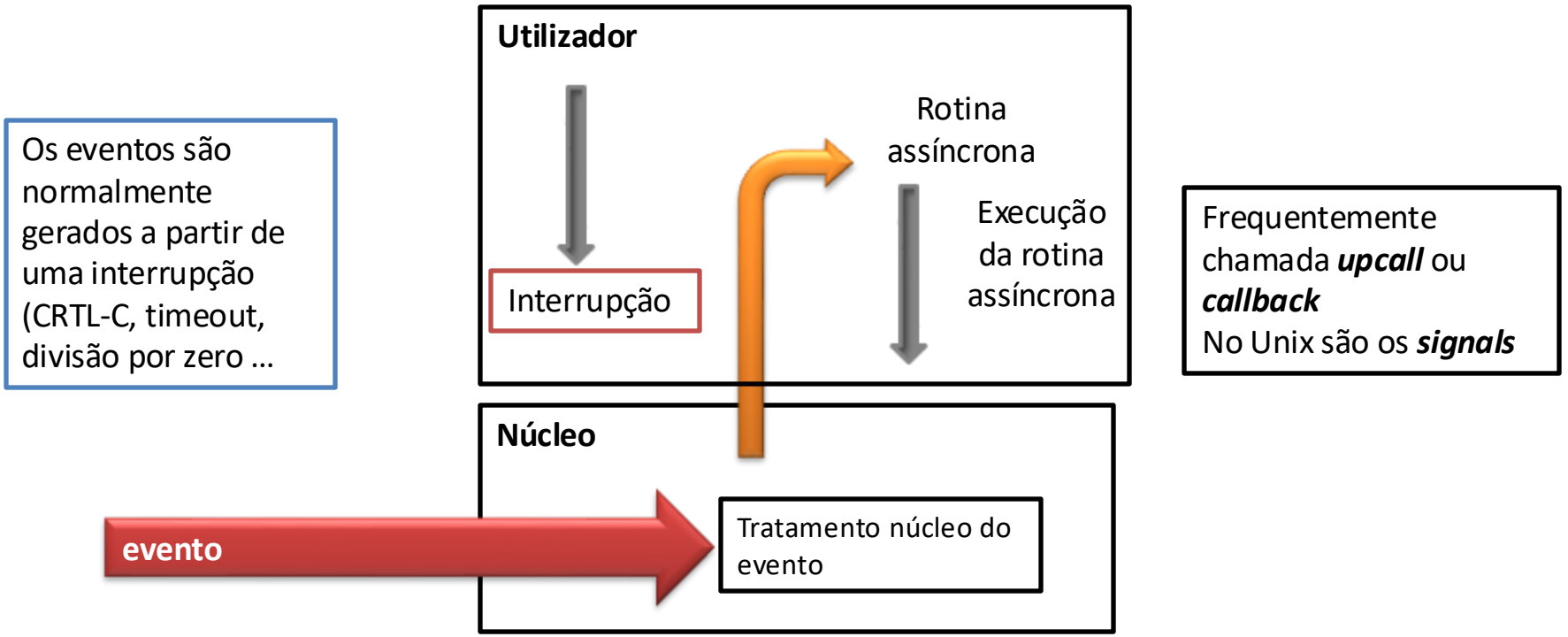


Parecido com outro conceito ?

Semelhante a interrupções

- O tratamento de eventos assíncronos é semelhante às interrupções, muitas vezes são designadas ***software interrupts***
- Mas, já foi frisado que as interrupções são executadas em modo núcleo e não no código utilizador
- Se fossem rotinas de interrupção não poderiam ser rotinas normais incluídas nos programas

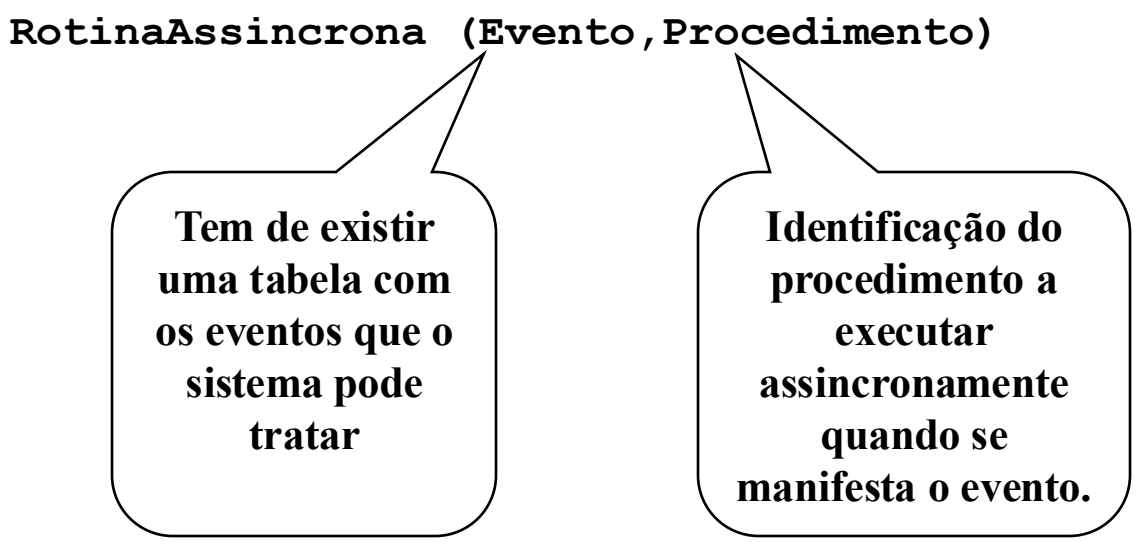
Relação dos eventos com as interrupções



Que problemas temos de resolver

- O que faz o núcleo se o evento não for tratado?
- Como sabe o núcleo qual rotina invocar na *upcall*?
- Como colocar a rotina em execução?
- Durante a execução de uma *upcall* podem ocorrer outros eventos, permitir *upcalls* sucessivas?
- Se o processo receber múltiplos *signals* são todos tratados?

Rotinas Assíncronas



Signals
Acontecimentos Assíncronos em Unix

Signal	Causa
SIGALRM	O relógio expirou
SIGCHLD	Um dos processos filhos alterou o seu estado (terminou, suspendeu ou retomou a execução)
SIGFPE	Divisão por zero
SIGINT	O utilizador carregou na tecla para interromper o processo (normalmente o CNTL-C
SIGQUIT	O utilizador quer terminar o processo e provocar um core dump
SIGKILL	Signal para terminar o processo. Não pode ser tratado
SIGPIPE	O processo escreveu para um pipe que não tem receptores
SIGSEGV	Acesso a uma posição de memória inválida
SIGTERM	O utilizador pretende terminar ordeiramente o processo
SIGUSR1	Definido pelo utilizador
SIGUSR2	Definido pelo utilizador

Exceção

Interação com o terminal

Desencadeado por interrupção HW

Explicitamente desencadeado por outro processo para notificar de algum acontecimento relacionado com a aplicação (forma limitada de IPC)

- Há mais, definidos em signal.h

Tratamento por omissão

- Cada signal tem um tratamento por omissão, que pode ser:
  - Terminar o processo
  - Terminar o processo e criar ficheiro “core”
  - Ignorar signal
  - Suspender o processo
  - Continuar o processo suspenso

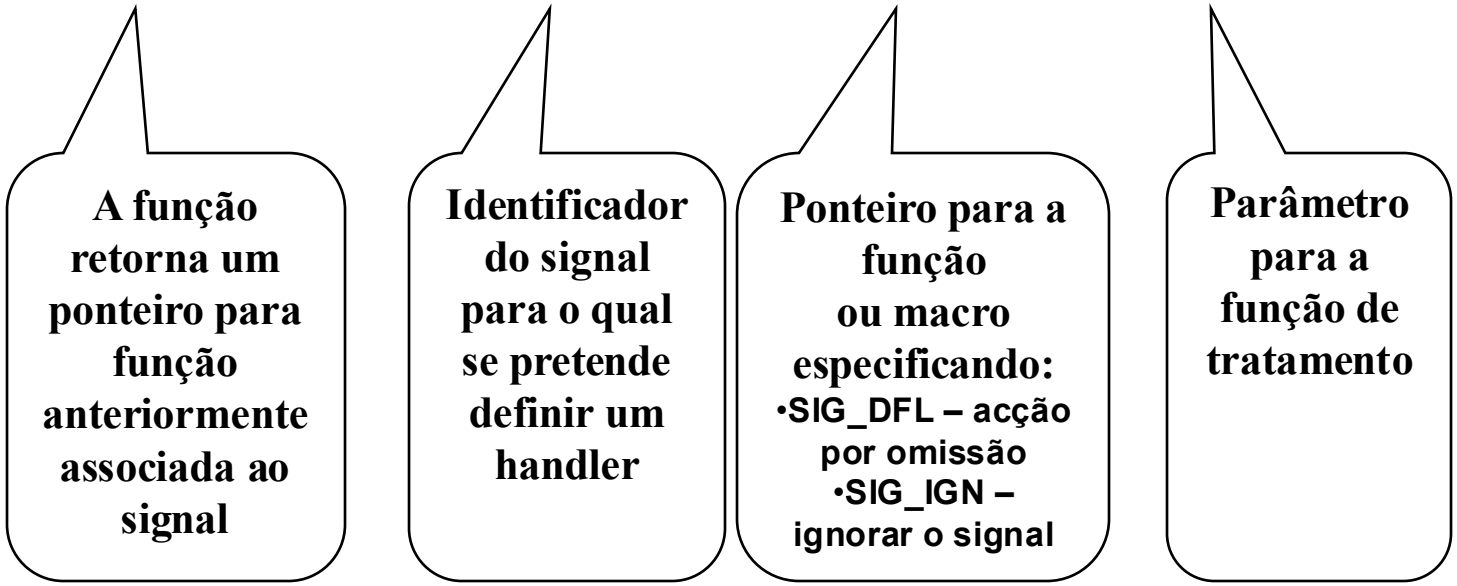
Redefinir o tratamento de um Signal

- Função signal permite mudar o tratamento de um signal:
  - Mudar para outro tratamento pré-definido (slide anterior)
  - Associar uma rotina do programa para tratar o signal

- O signal SIGKILL não pode ser redefinido. Porquê?

Redefinir o tratamento de um Signal: Chamada Sistema “Signal”

```
void (*signal (int sig, void (*func)(int))) (int);
```



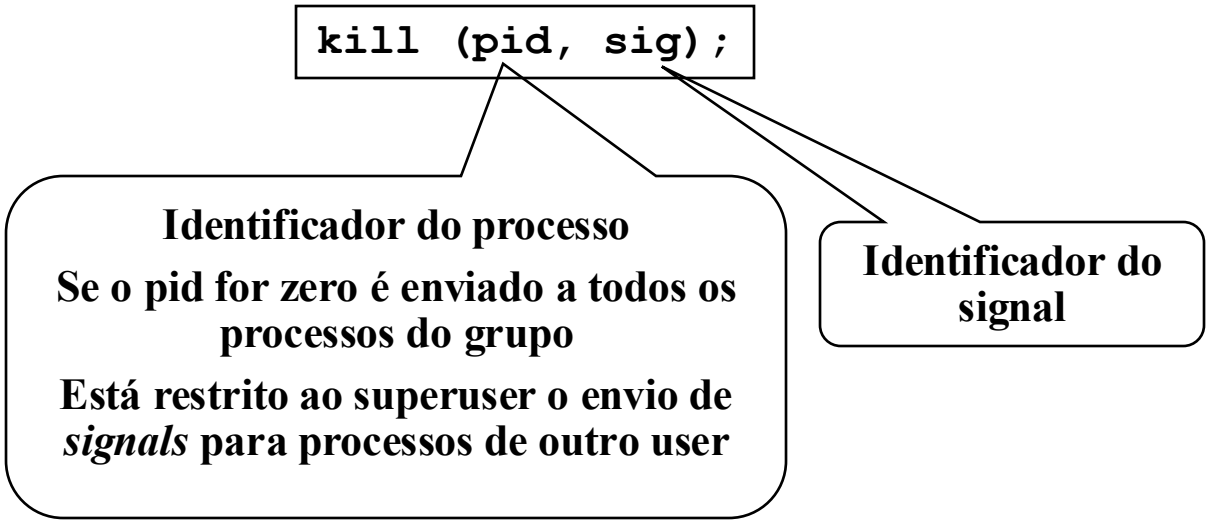
Exemplo do tratamento de um Signal

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

void apanhaCTRLC (int s) {
  char ch;
  printf("Quer de facto terminar a execucao?\n");
  ch = getchar();
  if (ch == 's') exit(0);
  else {
    printf ("Entao vamos continuar\n");
    signal (SIGINT, apanhaCTRLC);
  }
}

int main () {
  signal (SIGINT, apanhaCTRLC);
  printf("Associou uma rotina ao signal SIGINT\n");
  for (;;)
    sleep (10);
}
```

Invocar printf/getchar num sig_handler não é seguro, como veremos mais a frente!

Chamada Sistema Kill

- Envia um signal ao processo
- Nome enganador. Porquê?



Outras funções associadas aos signals

- unsigned alarm (unsigned int segundos);
  - o *signal* SIGALRM é enviado para o processo depois de decorrerem o número de segundos especificados. Se o argumento for zero, o envio é cancelado.
- pause();
  - aguarda a chegada de um *signal*
- unsigned sleep (unsigned int segundos);
  - A função chama *alarm* e bloqueia-se à espera do *signal*
- int raise(int sig)
  - o signal especificado em input é enviado para o próprio processo

Quando é que o processo trata

- O *signal* não é tratado imediatamente apenas quando o processo for novamente escolhido para se executar, na passagem de modo núcleo a modo utilizador o despacho testa se há *signals* pendentes para o processo

- Enquanto não for tratado, o *signal* é memorizado no contexto do processo e está no estado pendente

- O núcleo não efetua uma contagem dos *signals,* apenas regista que enquanto não for tratado há um pendente, mesmo que tenha recebidos vários signals idênticos. Portanto, não se pode programar assumindo que o processo recebe todos os *signals*

Diferentes semânticas dos signals: Unix System V e Unix BSD

- System V:
  - A associação de uma rotina a um *signal* é apenas efetiva para uma ativação
    - Depois de receber o *signal*, o tratamento passa a ser novamente o por omissão (necessário associar de novo)
    - Entre o lançamento de rotina de tratamento e a nova associação → tratamento por omissão
    - Preciso restabelecer a associação na primeira linha da rotina de tratamento
      - Problema se houver receção sucessiva de signals
- BSD (e nas versões de Linux mais recentes, desde glibc2):
  - Associação *signal*-rotina **não** é desfeita após ativação
  - A receção de um novo signal é inibida durante a execução da rotina de tratamento

Diferentes semânticas dos signals: Como conseguir código portável?

- Não associar *signals* a rotinas
  - Associar apenas a SIG_DFL ou SIG_IGN

ou

- Usar função *sigaction*
  - Ver detalhes nas *man pages*

ou

- Em plataformas Linux, para ter a certeza de obter semântica BSD, usar bsd_signal

Dificuldades com programação usando *signals*: funções não reentrantes

- Um signal pode interromper o processo em qualquer altura!
  - inclusive em alturas “criticas” em que o estado do processo se encontra parcialmente atualizado
- Portanto o *signal handler* deve executar exclusivamente funções cuja correção é garantida independentemente do estado em que se encontra processo:
  - são chamadas **funções reentrantes**

Exemplo de funções não reentrantes: malloc

- Durante uma chamada a malloc/free, as listas de áreas já alocadas são alteradas
- Um *signal* pode ser recebido durante uma chamada à malloc, i.e., enquanto estas listas estão a ser manipuladas
- Neste caso, se o *signal handler* invoca também malloc, o resultado é imprevisível:
  - chamadas à malloc pelo sig_handler podem observar estados inconsistentes!

Outros exemplos de funções não reentrantes

- Funções do stdio.h, como printf, scanf, getc:
  - num *sig handler* é recomendado usar write e read, que são reentrantes
- Funções da pthread, como pthread_mutex_lock:
  - antes de aceder a áreas de memória partilhada com o sig_handler, o processo deve bloquear a receção de signals
  - Trata-se de uma solução cara e complexa...
  - ...portanto, é boa prática minimizar a partilha de memória entre o processo principal e sig_handlers

Funções “async-signal-safe”

- A lista das funções que podem ser chamadas a partir dum signal pode ser obtida na página de manual do signal(7)
- Estas funções são também chamadas “***async-signal-safe***” e incluem:
  - funções reentrantes
  - funções cuja execução não pode ser interrompidas por *signals* (pois os bloqueiam durante a própria execução)

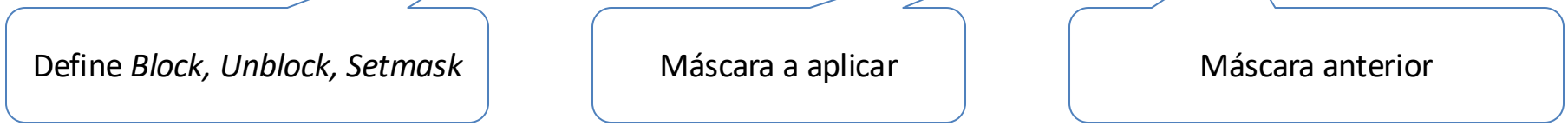
Exemplo do tratamento de um Signal usando apensa funções async-signal-safe

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

void apanhaCTRLC (int s) {
  char ch;
  char* str1="Quer de facto terminar a execucao?\n";
  char* str2="Entao vamos continuar\n";
  write (1,str1, strlen(str1));
  read(0,&ch,1);
  if (ch == 's') exit(0);
  else {
    write (2,str2, strlen(str2));
    signal (SIGINT, apanhaCTRLC);
  }
}

int main () {
  signal (SIGINT, apanhaCTRLC);
  printf("Associou uma rotina ao signal SIGINT\n");
  for (;;)
    sleep (10);
}
```

Mascarar os *signals*

- É possível programaticamente mascarar os *signals* durante a execução de um segmento de código por exemplo para garantir que não há concorrência entre o programa e o handler

```
int sigprocmask(int how, const sigset_t *restrict set,
                         sigset_t *restrict oldset);)
```



Pipes e signals

- Quando se escreve para um *pipe* ou FIFO que não tem leitor (ex.: o processo cliente pode entretanto ter terminado) é enviado o *signal* `sigpipe` que se não tiver tratamento, termina o processo por omissão.

- No servidor é recomendável ignorar o *signal* para que o processo não termine quando tenta escrever para o FIFO de um cliente que por qualquer razão já não existe

- A exceção pode ser tratada porque o `write`, nesta situação, dá um erro de `EPIPE` que pode permitir ao servidor descartar esse cliente

Signals em processos multi-tarefa

Processo com múltiplas tarefas recebe um signal associado a uma função de tratamento.

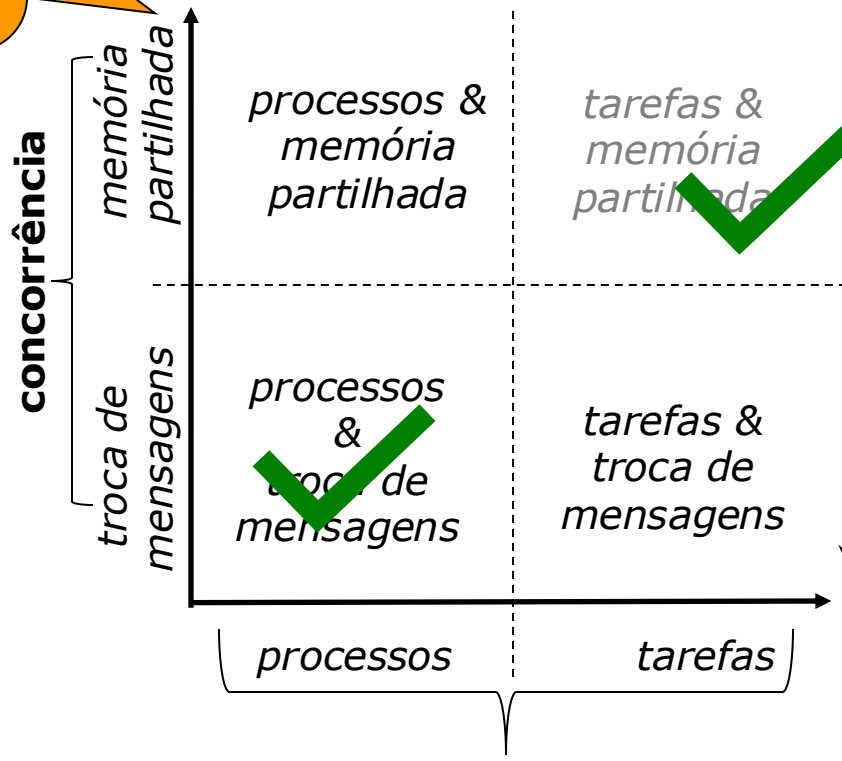
Qual das tarefas é interrompida para executar a função?

- Por omissão, o OS escolhe uma qualquer tarefa do processo
- Podemos usar função pthread_sigmask para impor que determinadas tarefas não tratem aquele signal
  - Basta cada tarefa chamar pthread_sigmask para bloquear o signal

Combinações de modelos de paralelismo e coordenação

Restantes slides dão pistas sobre esta possibilidade

Mas está fora da matéria

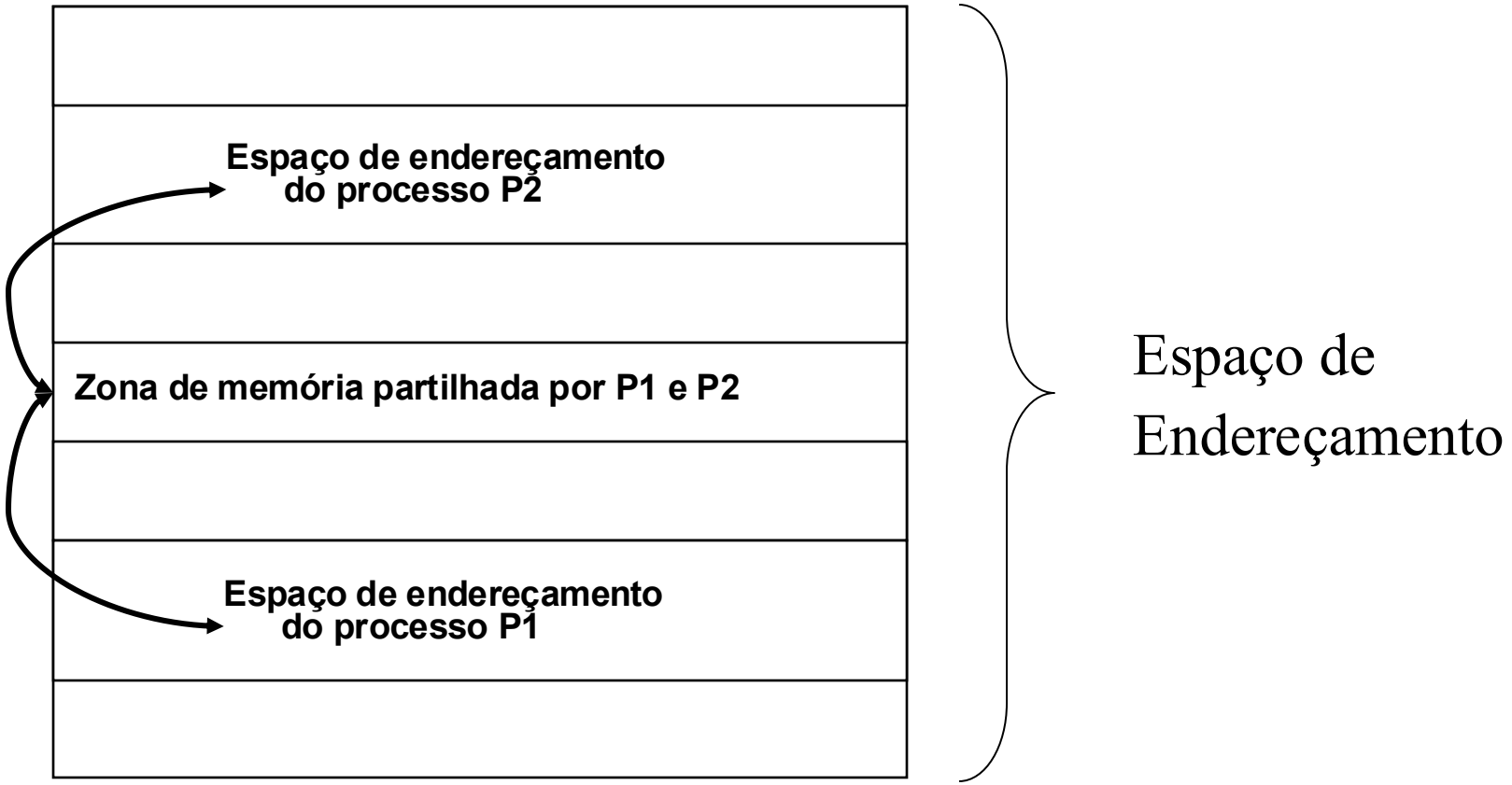


Existem várias bibliotecas (em *user level*) que suportam este caso

[Final da matéria avaliada deste capítulo]

Restantes slides apenas para referência
opcional (fora da matéria)

Arquitetura da Comunicação: por memória partilhada



Memória Partilhada: em teoria

- `Apont = CriarRegião (Nome, Tamanho)`
- `Apont = AssociarRegião (Nome)`
- `EliminarRegião (Nome)`

São necessários mecanismos de sincronização para:

- **Garantir exclusão mútua sobre a zona partilhada**
- **Sincronizar a cooperação dos processos produtor e consumidor (ex. produtor-consumidor ou leitores-escritores)**

Memória Partilhada: na prática em sistemas Unix/Linux

- Duas principais implementações:
  - Segmentos de memória partilhada do *System V*
    - Historicamente mais populares
  - Mapeamento de ficheiros do *BSD*
    - Adoptado nas interfaces standard POSIX

Segmentos de Memória Partilhada (*System V*)

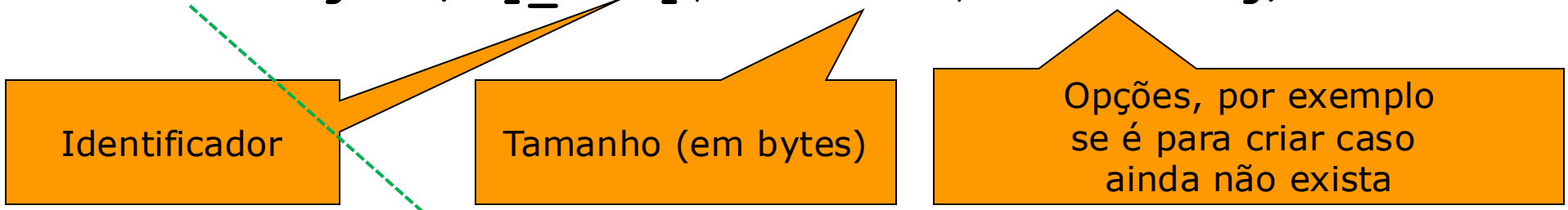
Modelo de programação no *System V*

- cada objeto é identificado por uma key
- o espaço de nomes é separado do sistema de ficheiros
- os nomes são locais a uma máquina
- as permissões de acesso são idênticas às de um ficheiro (r/w para *user/group/other*)
- os processos filho herdam os objetos abertos

Segmentos de memória partilhada (System V)

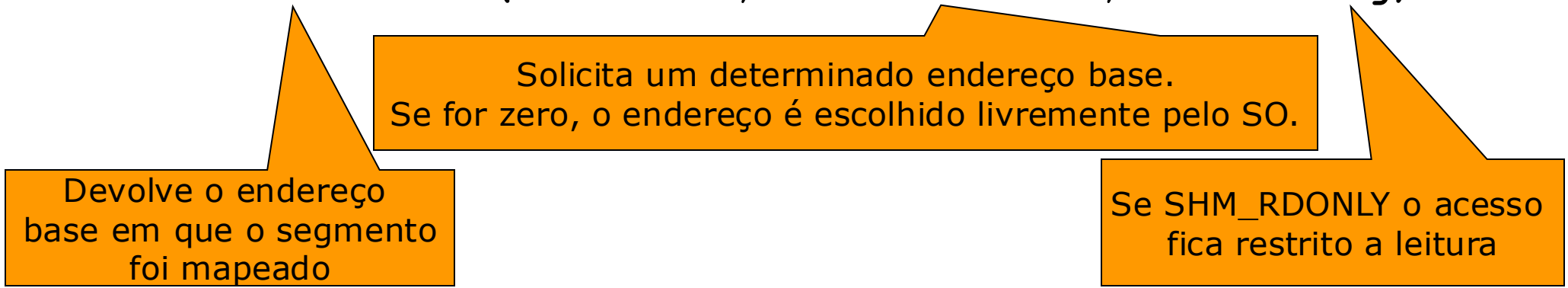
- criar/abrir um segmento:

```
int shmget (key_t key, int size, int shmflg)
```



- associar um segmento ao espaço de endereçamento do processo:

```
char* shmat (int shmid, char *shmaddr, int shmflg)
```



Segmentos de memória partilhada (System V), cont.

- eliminação da associação:

```
int shmdt (char *shmaddr);
```

Exemplo: Memória Partilhada

```
/* produtor */

#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/shm.h>

#define CHAVEMEM 10
int  IdRegPart;
int *Apint;
int i;
```

```
main () {
 IdRegPart = shmget (CHAVEMEM, 1024, 0777| IPC_CREAT);
 if (IdRegPart<0) perror(" shmget:");

 printf (" criou uma regiao de identificador %d \n",
          IdRegPart);

 Apint = (int *)shmat (IdRegPart, (char *) 0, 0);
 if (Apint == (int *) -1) perror("shmat:");

 for (i = 0; i<256; i++) *Apint++ = i;
}
```

Exemplo: Memória Partilhada

```
/* consumidor*/

#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/shm.h>

#define CHAVEMEM 10

int IdRegPart;
int *Apint;
int i;
```

```
main() {
  IdRegPart = shmget (CHAVEMEM, 1024, 0777);
  if (IdRegPart <0)
     perror("shmget:");

  Apint=(int*)shmat(IdRegPart, (char *)0, 0);
  if(Apint == (int *) -1)
     perror("shmat:");

  printf(" mensagem na regiao de memoria partilhada \n");
  for (i = 0; i<256; i++)
     printf ("%d ", *Apint++);

  printf (" \n liberta a regiao partilhada \n");
   shmctl (IdRegPart, 0, IPC_RMID,0);
}
```

Mapeamento de ficheiros (BSD, POSIX)

Alternativa para partilha de memória entre processos

Diferenças importantes em relação a segmentos partilhados em System V

- Identificador de segmento partilhado entre processos passa a ser um **nome de ficheiro**
  - Em vez de uma chave numérica
- Mapeamento com sistema de ficheiros permite programar com estruturas de dados em ficheiros sem usar read/write/etc.
  - Basta mapear ficheiro em memória, ler e alterar diretamente
  - Alterações são propagadas para o ficheiro automaticamente
- Além de outras diferenças... (ver man pages)

Mapeamento de ficheiros (BSD, POSIX)

- Mapear ficheiro em memória

Endereço base desejado

Tamanho do segmento

Acesso pretendido (PROT_READ, etc)

```
void *mmap(void *addr, size_t length, int prot,
           int flags, int fd, off_t offset);
```

offset dentro do ficheiro

Opções várias, incluindo:
Segmento poder ser partilhado com outros processos

(Opcional)
Ficheiro previamente aberto (com open) cujo conteúdo é mapeado no segmento.
Permite a outros processos partilharem este segmento de memória, com open+mmap do mesmo ficheiro.

- Remover mapeamento: **`munmap`**

Recapitulando...

Dificuldades com programação em memória partilhada (I)

- *malloc, free* não funcionam sobre os segmentos partilhados
  - Tipicamente, o programador tem de gerir manualmente a memória
- Uso de ponteiros dentro da região partilhada é delicado
  - Exemplo: numa lista mantida em memória partilhada, o que acontece se diferentes processos seguem o ponteiro para o primeiro elemento da lista?
  - Só funciona corretamente se todos os processos mapearem o segmento partilhado no mesmo endereço base!

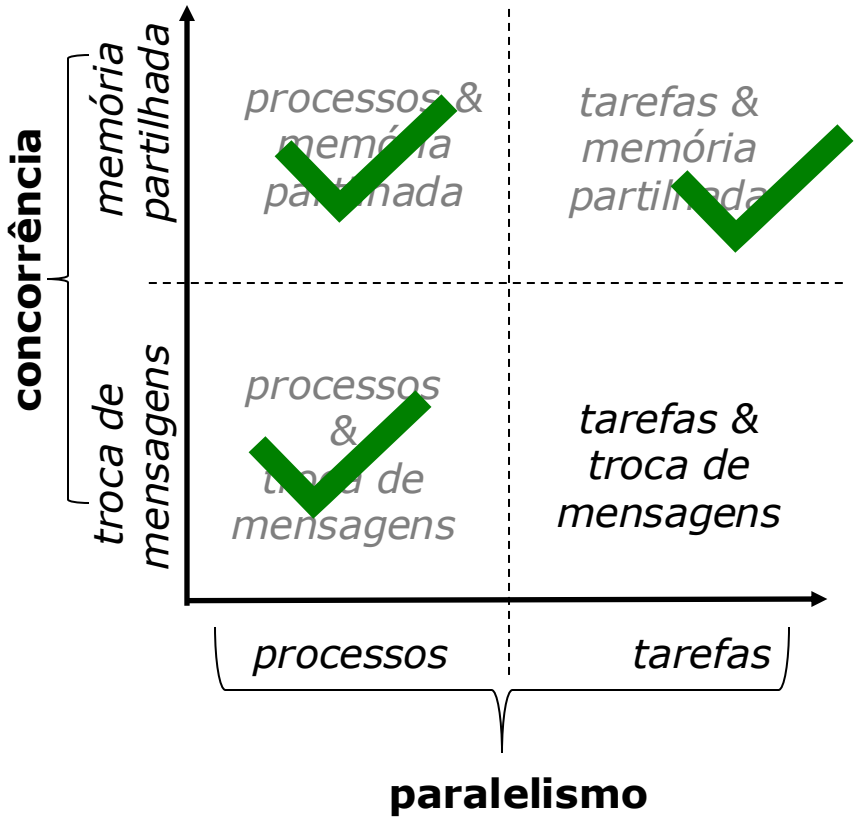
Dificuldades com programação em memória partilhada (II)

- Dados no segmento partilhado podem ser acedidos concorrentemente, logo precisamos de **sincronização entre processos**
  - Mecanismos de sincronização que estudámos podem ser inicializados com opção multi-processo
    - Exemplo: opção `_POSIX_THREAD_PROCESS_SHARED` de `pthread_mutex_t`
  - Outros mecanismos foram propostos para este caso:
    - Exemplo: semáforos System V
- Sincronização entre processos traz desafios não triviais que não existiam entre tarefas
  - Exemplo: processo adquiriu mutex sobre variável partilhada mas *crasha* sem libertar o mutex

Então o que é melhor para comunicar entre processos? Memória partilhada vs. canal de comunicação do SO

- Memória partilhada:
  - programação complexa
  - a sincronização tem de ser explicitamente programada
  - mecanismo mais eficiente (menos cópias)
- Canal de comunicação do SO:
  - fácil de utilizar (?)
  - sincronização implícita
  - velocidade de transferência limitada pelas duas cópias da informação e pelo uso das chamadas sistema para Enviar e Receber

Combinações de modelos de paralelismo e coordenação



Tarefas e trocas de mensagens

- Modelo computacional apropriado em caso de:
  - problemas cuja paralelização é mais simples usando troca de mensagens que memória partilhada
    - evita-se intencionalmente partilha de memória para evitar problemas de sincronização
  - implementações portáveis em que com o mesmo código pretendemos executar na mesma máquina ou máquinas distribuídas
- Várias alternativas possíveis pela implementação do mecanismo de troca de mensagens:
  - nível SO:
    - p.e., (Unix) sockets, anonymous pipes
  - nível aplicação, p.e. :
    - "queue" implementada em memória partilhada e sincronizada usando mutexes/semáforos

Sockets

Sockets

- Interface de programação para comunicação entre processos introduzida no Unix 4.2 BSD (1983)

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

O que é um socket?

- Um socket é uma extremidade de um canal de comunicação
- Num exemplo com dois processos, A e B, a comunicar, existirão (pelo menos) **dois sockets**
  - Um socket local a A
  - Um socket local a B
- Cada socket pode ter um nome (*socket address*) associado
  - Para permitir que outros processos o referenciem
- Contraste: como era com pipes?

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)

Nome de um socket (*socket address*)

```
/* 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)
```

Antes de avançarmos, o objetivo para hoje…

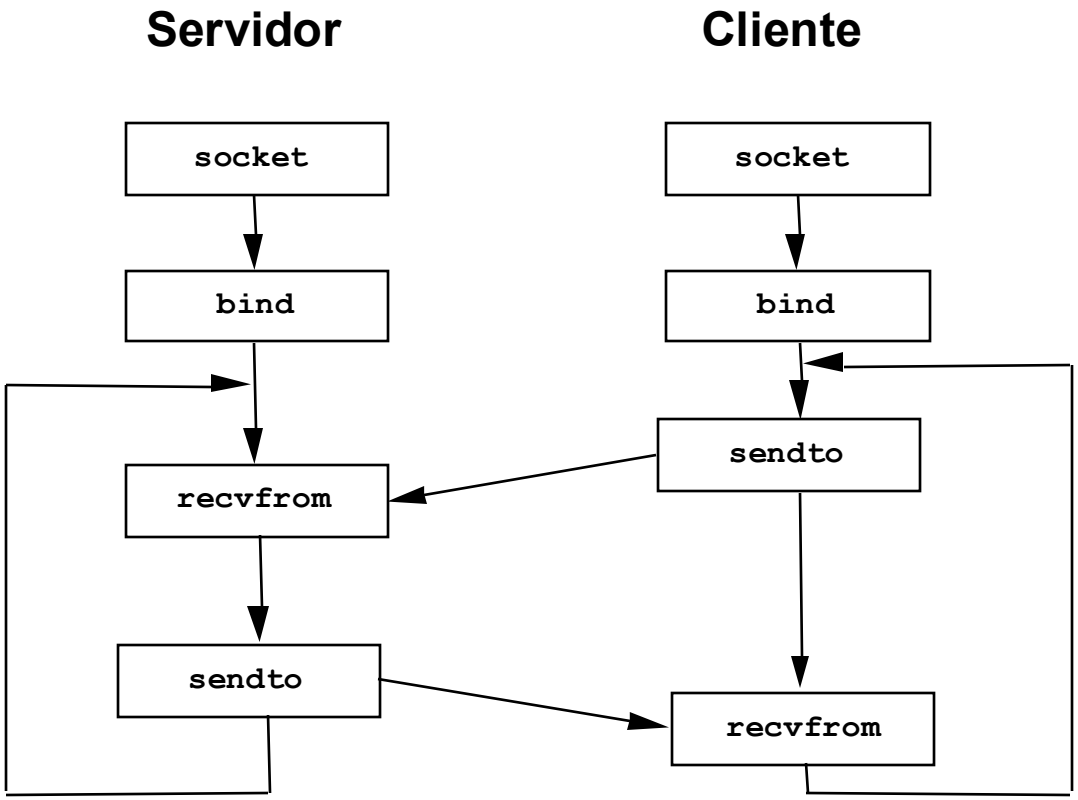
- Aplicação cliente-servidor
  - Usando sockets UNIX (cliente e servidor na mesma máquina)
  - Experimentando com ambos os tipos de socket
- Comportamento:
  - Cliente string com seu nome ao servidor
  - Servidor responde com frase simpática

Relembrando: tipos de socket

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

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

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)
```

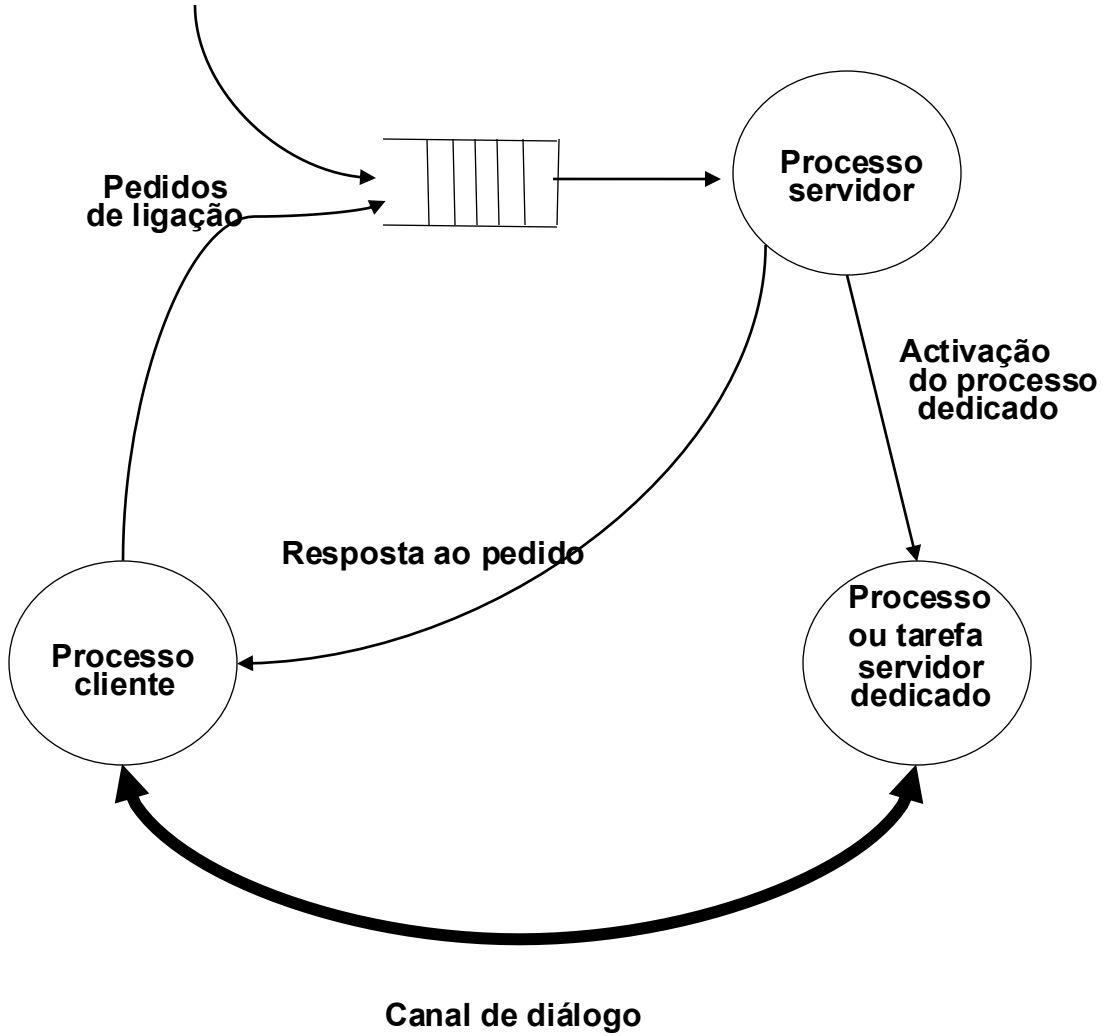
Sockets com e sem Ligação

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

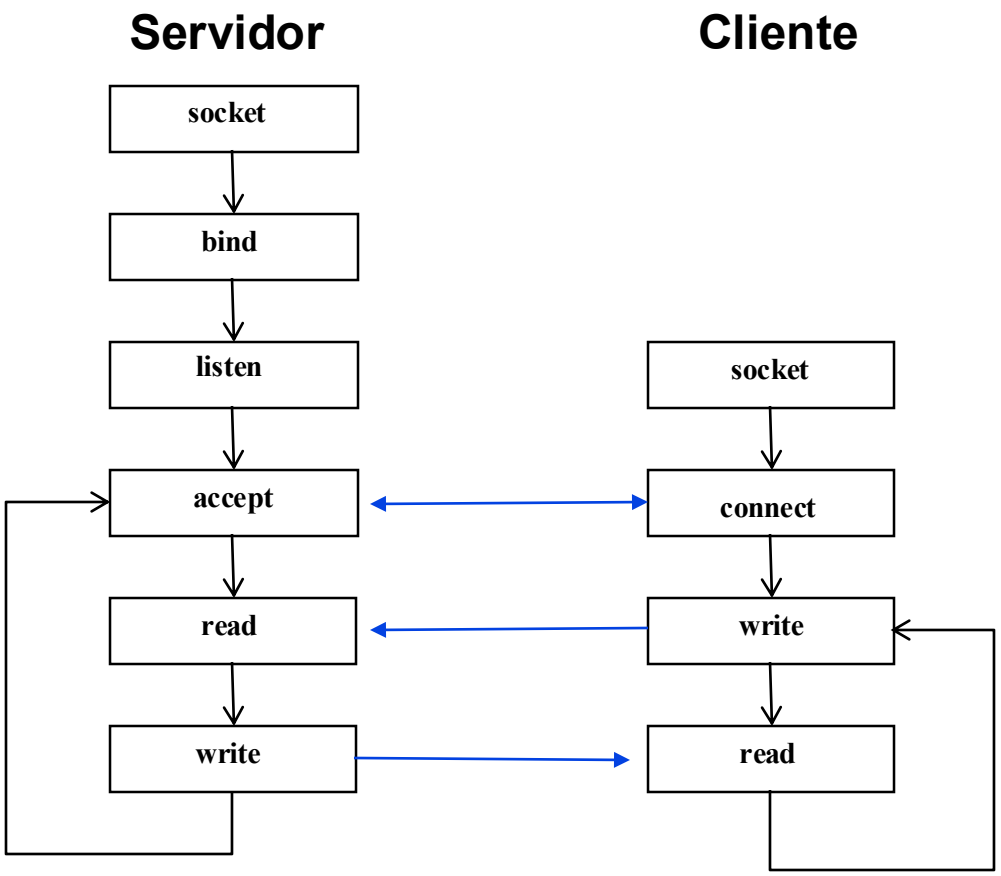
- Sockets sem ligação:
  - Modelo de comunicação tipo correio
  - Canal sem ligação, bidireccional, não fiável, interface tipo mensagem

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



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)

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! */
  }
}
```