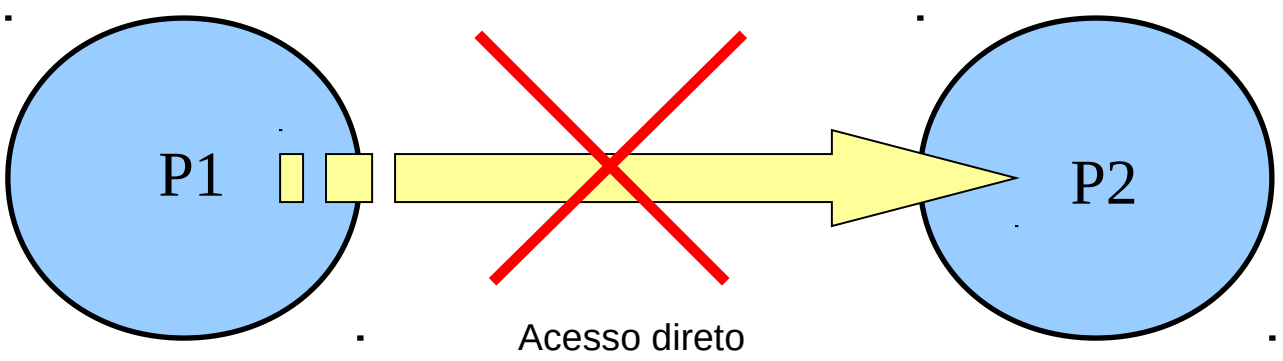
Inter-process Communication (IPC)

Comunicação entre processos (1)

Introdução,
Tubos (*Pipes*) e Filas (*FIFO*)

Comunicação entre Processos (1)

- Os sistemas operacionais implementam mecanismos que asseguram a independência entre processos.
- Processos executam em cápsulas autônomas
  - A execução de um processo não afeta os outros.
- Hardware oferece proteção de memória.
  - Um processo não acessa o espaço de endereçamento do outro.

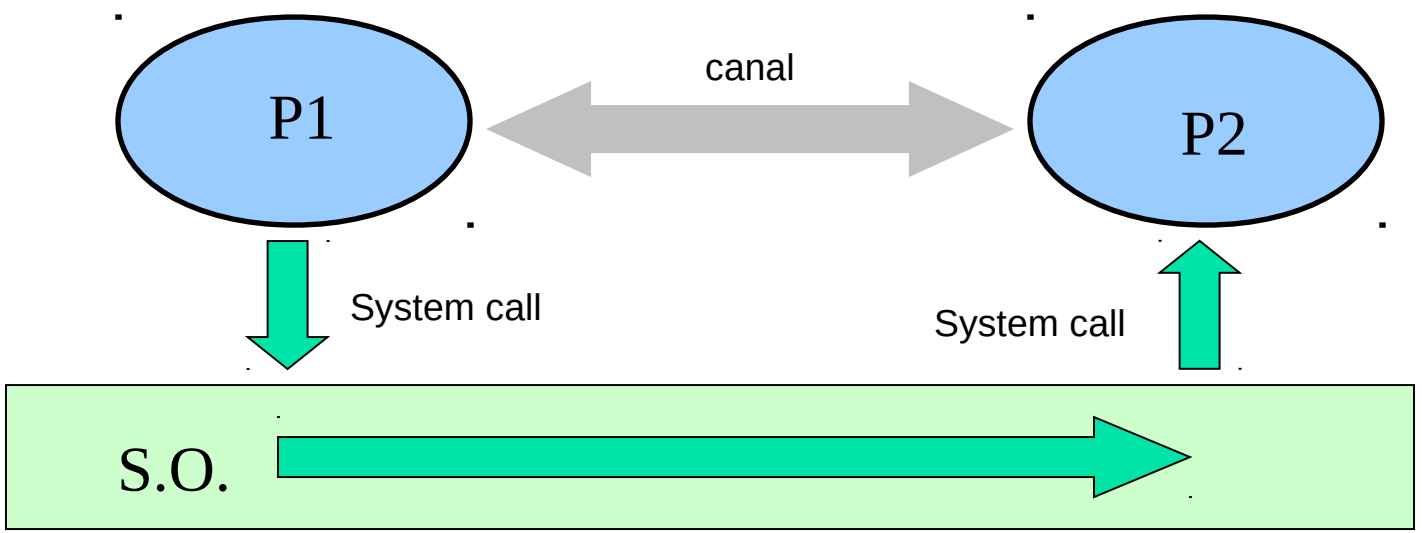


Comunicação entre Processos (2)

- Processos, entretanto, interagem e cooperam na execução de tarefas. Em muitos casos, processos precisam trocar informação de forma controlada para
  - dividir tarefas e aumentar a velocidade de computação;
  - aumentar da capacidade de processamento (rede);
  - atender a requisições simultâneas.
- Solução: S.O. fornece mecanismos que permitem aos processos comunicarem-se uns com os outros (IPC).
- *IPC - Inter-Process Communication*
  - conjunto de mecanismos de troca de informação entre múltiplas threads de um ou mais processos.
  - Necessidade de coordenar o uso de recursos (sincronização).

Comunicação entre Processos (3)

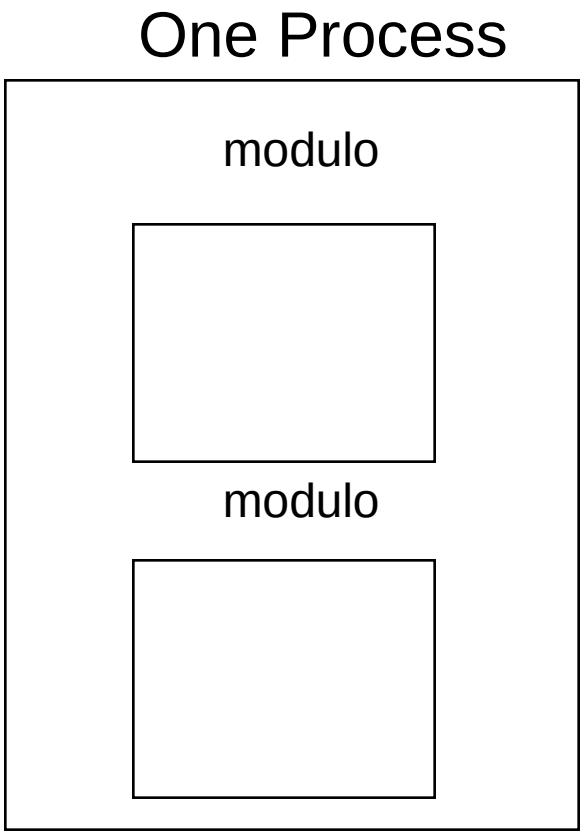
- Ao fornecer mecanismos de IPC, o S.O implementa "canais" de comunicação (implícitos ou explícitos) entre processos.



Comunicação entre Processos (4)

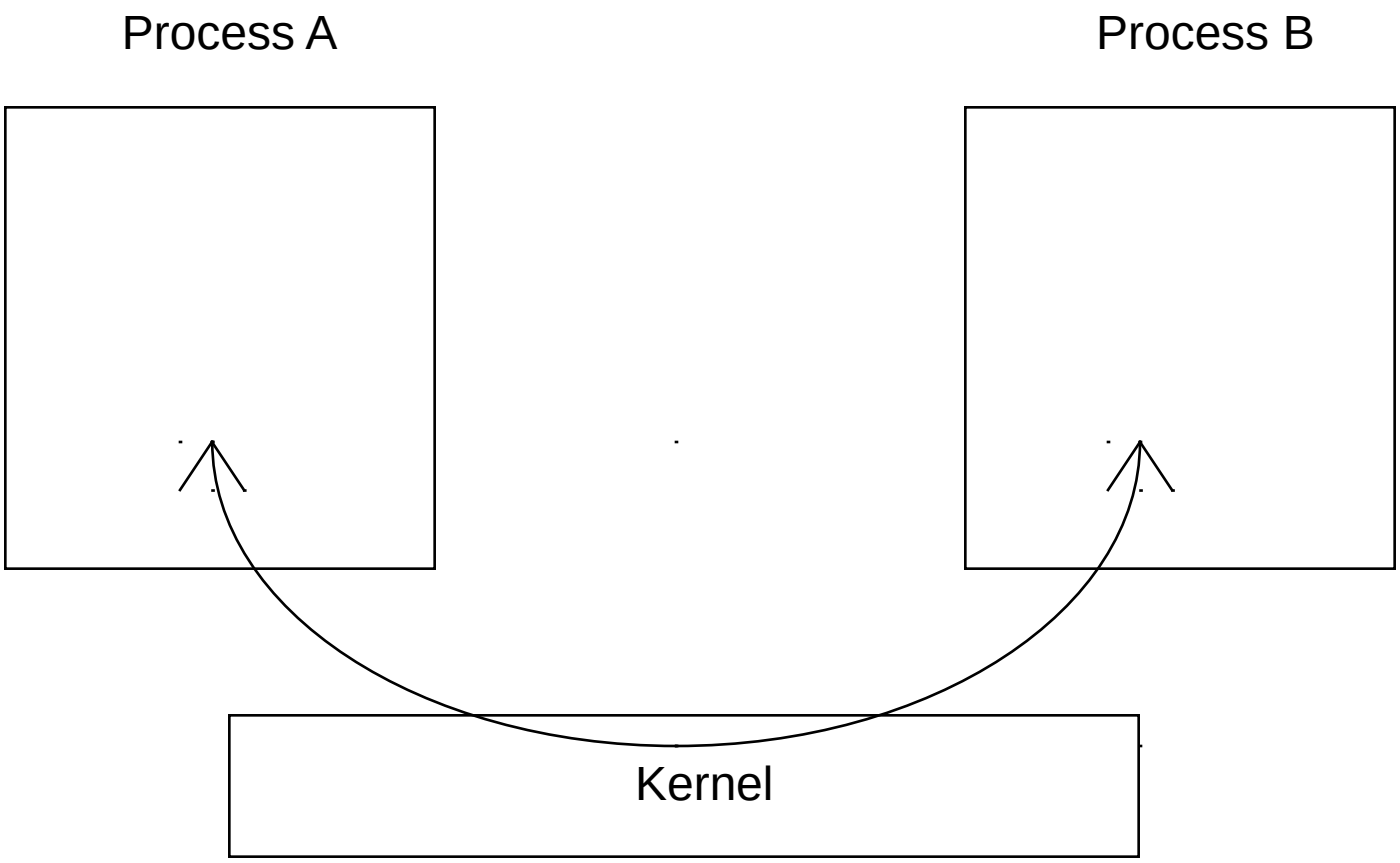
- Características desejáveis para IPC
  - Rápida
  - Simples de ser utilizada e implementada
  - Possuir um modelo de sincronização bem definido
  - Versátil
  - Funcione igualmente em ambientes distribuídos
- Sincronização é uma das maiores preocupações em IPC
  - Permitir que o *sender* indique quando um dado foi transmitido.
  - Permitir que um *receiver* saiba quando um dado está disponível .
  - Permitir que ambos saibam o momento em que podem realizar uma nova IPC.

IPC x Comunicação Interna

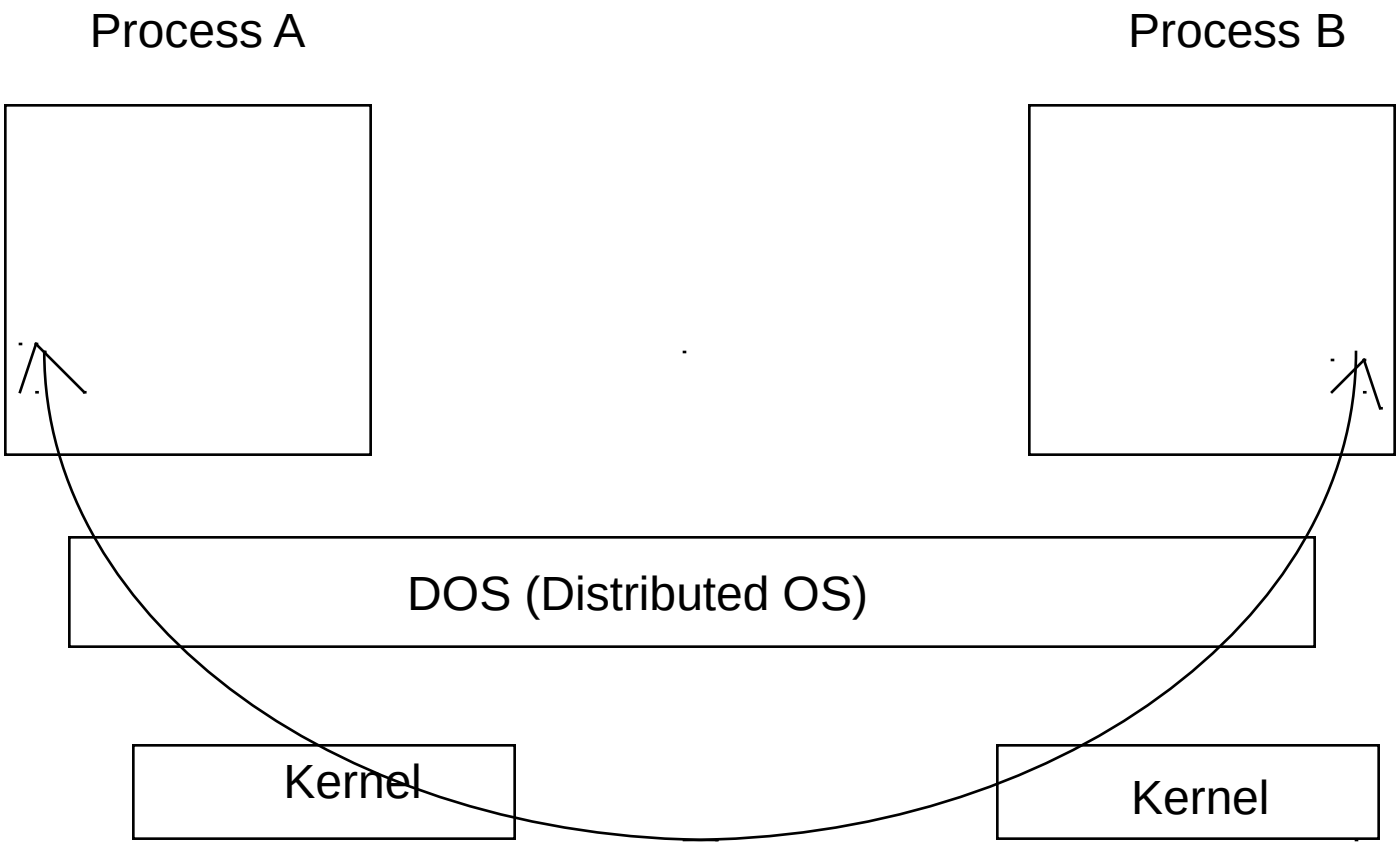


- Mecanismos de Comunicação Internos:
  - Variáveis globais
  - Chamadas de função
    - Parâmetros
    - resultados

IPC – Um Computador



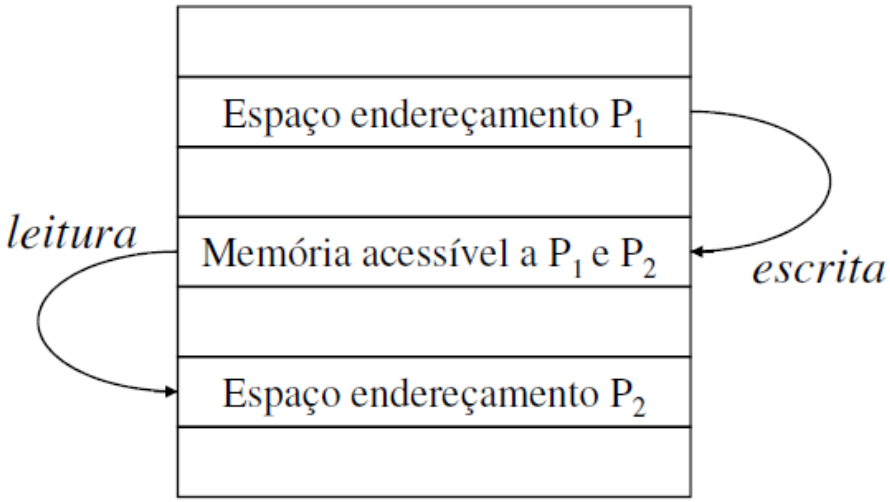
IPC – Dois Computadores



Mecanismos de IPC

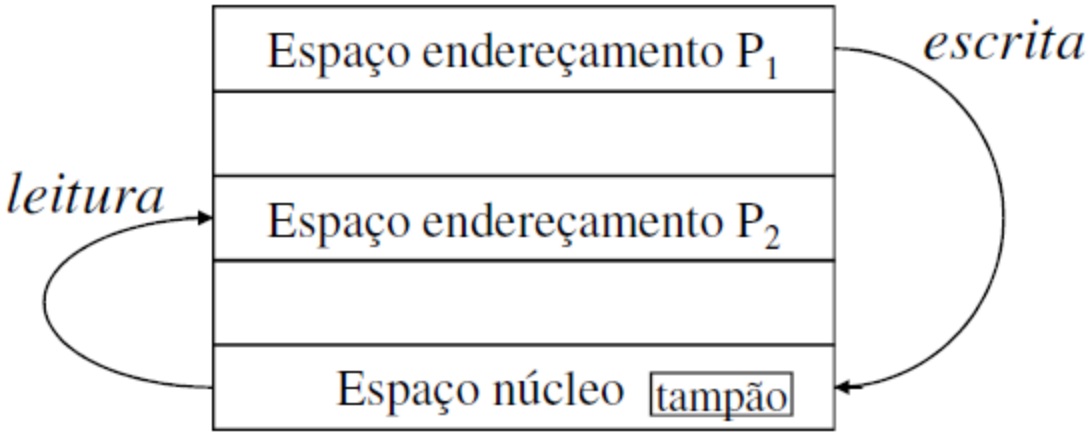
- Fundamentalmente, existem duas abordagens:
  - Suportar alguma forma de espaço de endereçamento compartilhado.
    - Shared memory (memória compartilhada)
  - Utilizar comunicação via núcleo do S.O., que ficaria então responsável por transportar os dados de um processo a outro. São exemplos:
    - Pipes e Sinais (ambiente centralizado)
    - Troca de Mensagens (ambiente distribuído)
    - RPC – Remote Procedure Call (ambiente distribuído)

Comunicação via Memória Compartilhada



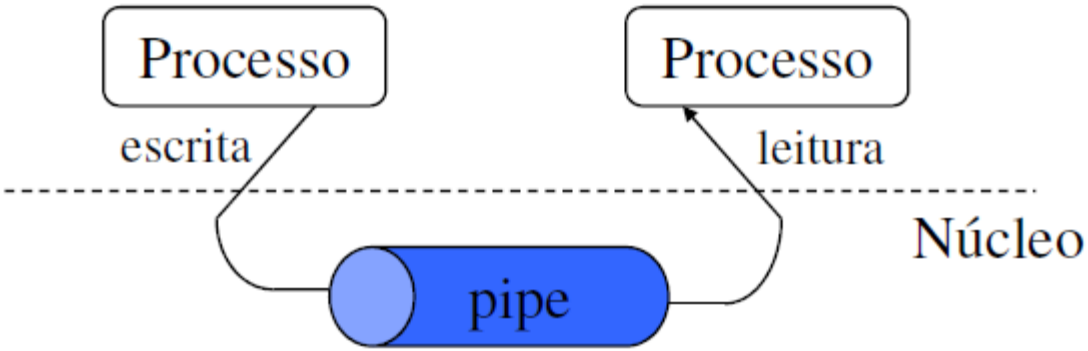
- Vantagens:
  - Mais eficiente (rápida), já que não exige a cópia de dados para alguma estrutura do núcleo.
- Inconveniente:
  - Problemas de sincronização.

Comunicação via Núcleo



- Vantagens:
  - Pode ser realizada em sistemas com várias CPUs.
  - Sincronização implícita.
- Inconveniente:
  - Mais complexa e demorada (uso de recursos adicionais do núcleo).

Tubos (Pipes) (1)



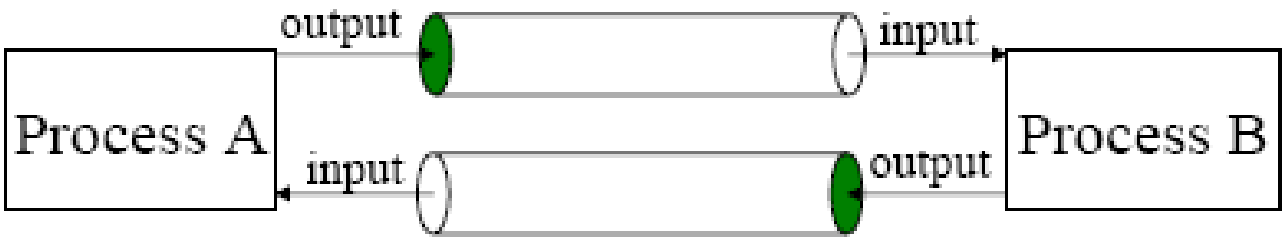
- No UNIX, os *pipes* constituem o mecanismo original de comunicação unidirecional entre processos.
- São um mecanismo de I/O com duas extremidades, correspondendo, na verdade, a filas de caractereres tipo FIFO.
- As extremidades são implementadas via descritores de arquivos (vide adiante).

Tubos (Pipes) (2)

- Um *pipe* tradicional caracteriza-se por ser:
  - Anônimo (não tem nome).
  - Temporário: dura somente o tempo de execução do processo que o criou.
- Vários processos podem fazer leitura e escrita sobre um mesmo *pipe*, mas nenhum mecanismo permite diferenciar as informações na saída do *pipe.*
- A capacidade do *pipe* é limitada
  - Se uma escrita é feita e existe espaço no pipe, o dado é colocado no *pipe* e a chamada retorna imediatamente.
  - Se a escrita sobre um *pipe* continua mesmo depois dele estar cheio, ocorre uma situação de bloqueio (que permanece até que algum outro processo leia e, consequentemente, abra espaço no *pipe*).

Tubos (Pipes) (3)

- É impossível fazer qualquer movimentação no interior de um *pipe*.
- Com a finalidade de estabelecer um diálogo entre dois processos usando *pipes*, é necessário a abertura de um *pipe* em cada direção.

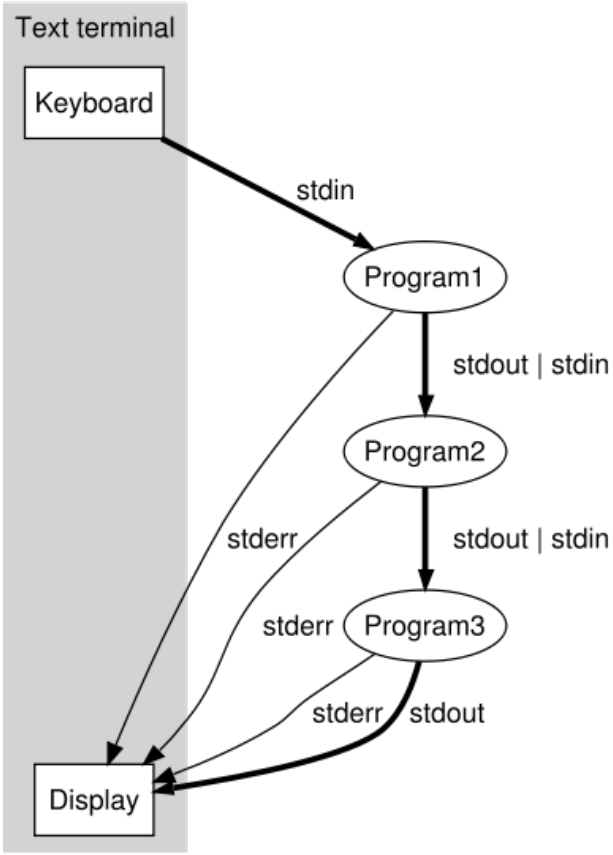


Uso de Pipes

- who | sort | lpr
  - output of *who* is input to *sort*
  - output of *sort* is input to *lpr*

```
curl "http://en.wikipedia.org/wiki/Pipeline_(Unix)" | \
sed 's/[^a-zA-Z ]/ /g' | \
tr 'A-Z ' 'a-z\n' | \
grep '[a-z]' | \
sort -u | \
comm -23 - /usr/dict/words
```

(1) **curl** obtains the HTML contents of a web page. (2) **sed** removes all characters which are not spaces or letters from the web page's content, replacing them with spaces. (3) **tr** changes all of the uppercase letters into lowercase and converts the spaces in the lines of text to newlines (each 'word' is now on a separate line). (4) **grep** removes lines of whitespace. (5) **sort** sorts the list of 'words' into alphabetical order, and removes duplicates. (6) Finally, **comm** finds which of the words in the list are not in the given dictionary file (in this case, /usr/dict/words).

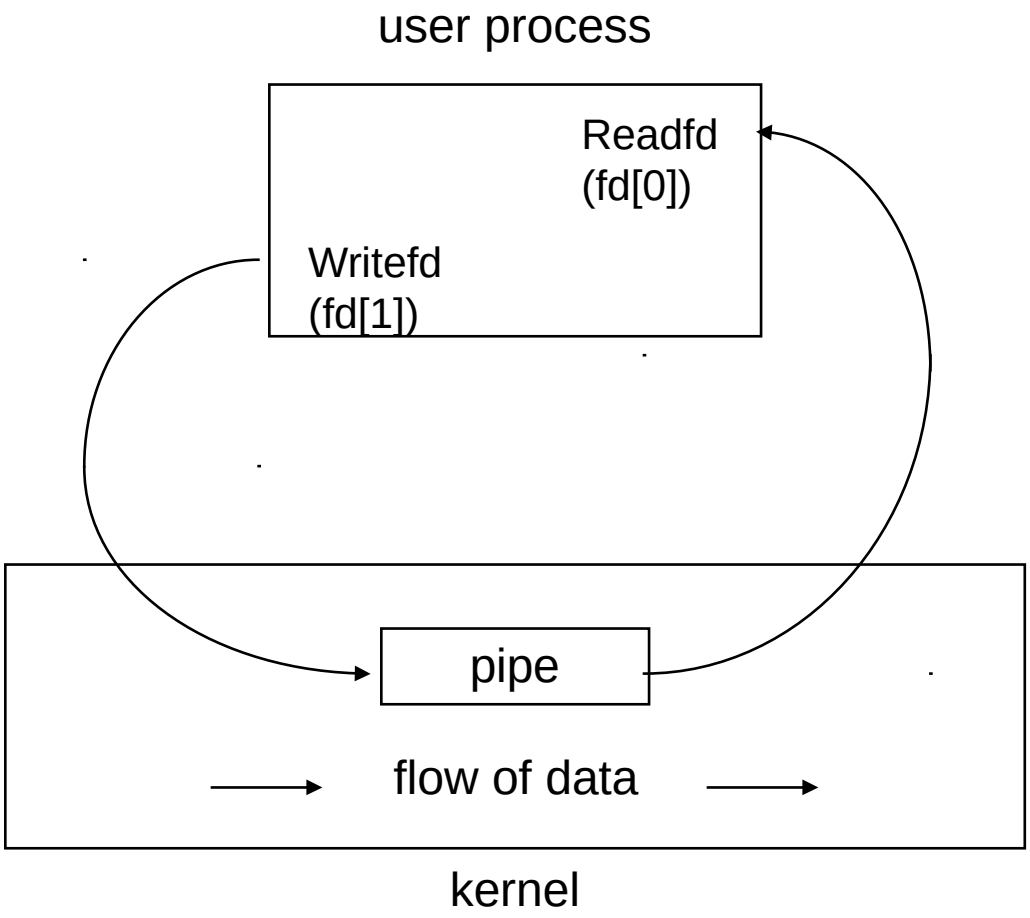


Criação de Pipes (1)

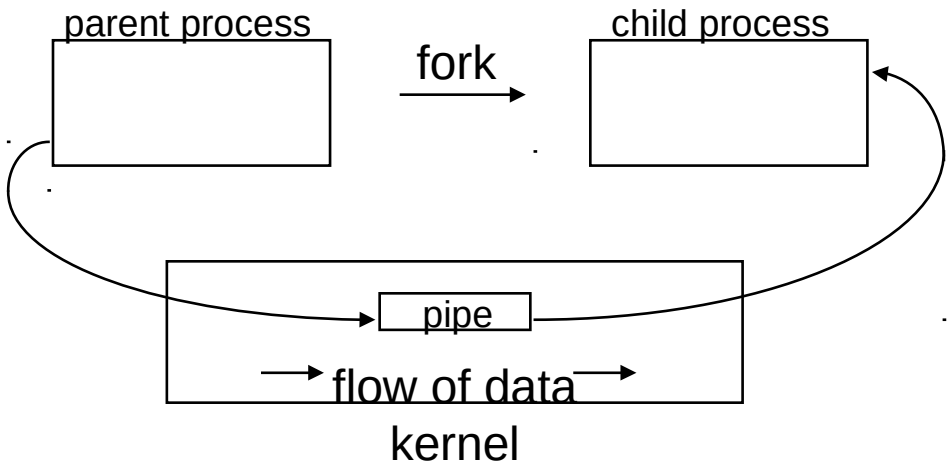
- *Pipes* constituem um canal de comunicação entre processos pai-filho.
  - Os *pipes* são definidos antes da criação dos processos descendentes.
  - Os *pipes* podem ligar apenas processos com antepassado comum.
- Um *pipe* é criado pela chamada de sistema:

  POSIX:
  ```
  #include <unistd.h>
  int pipe(int fd[2])
  ```
- São retornados dois descritores:
  - `Descritor fd[0] - aberto para leitura`
  - `Descritor fd[1] - aberto para escrita.`

Criação de Pipes (2)

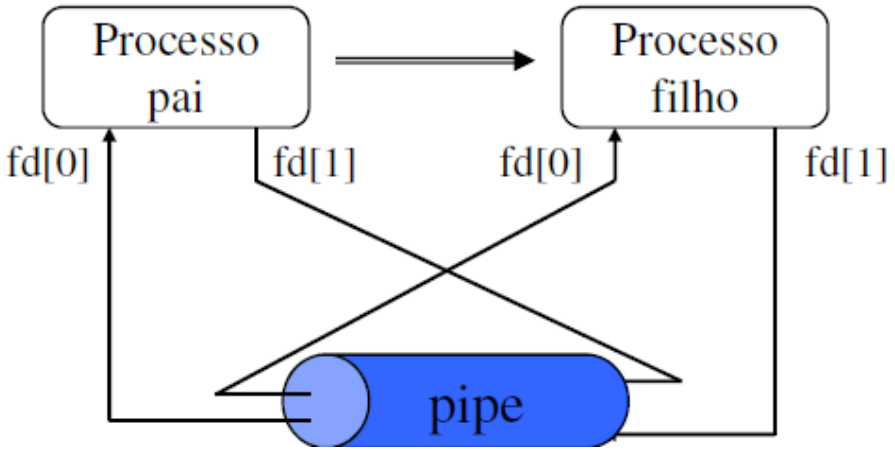


Criação de Pipes (3)



- Um *pipe* criado em um único processo é quase sem utilidade. Normalmente, depois do *pipe*, o processo chama fork(), criando um canal e comunicação entre pai e filho.

Criação de Pipes (4)



- Quando um processo faz um *fork()* depois de criado o *pipe*, o processo filho recebe os mesmos descritores de leitura e escrita do pai. Cada um dos processos deve fechar a extremidade não aproveitada do *pipe*.

Fechamento de Pipes

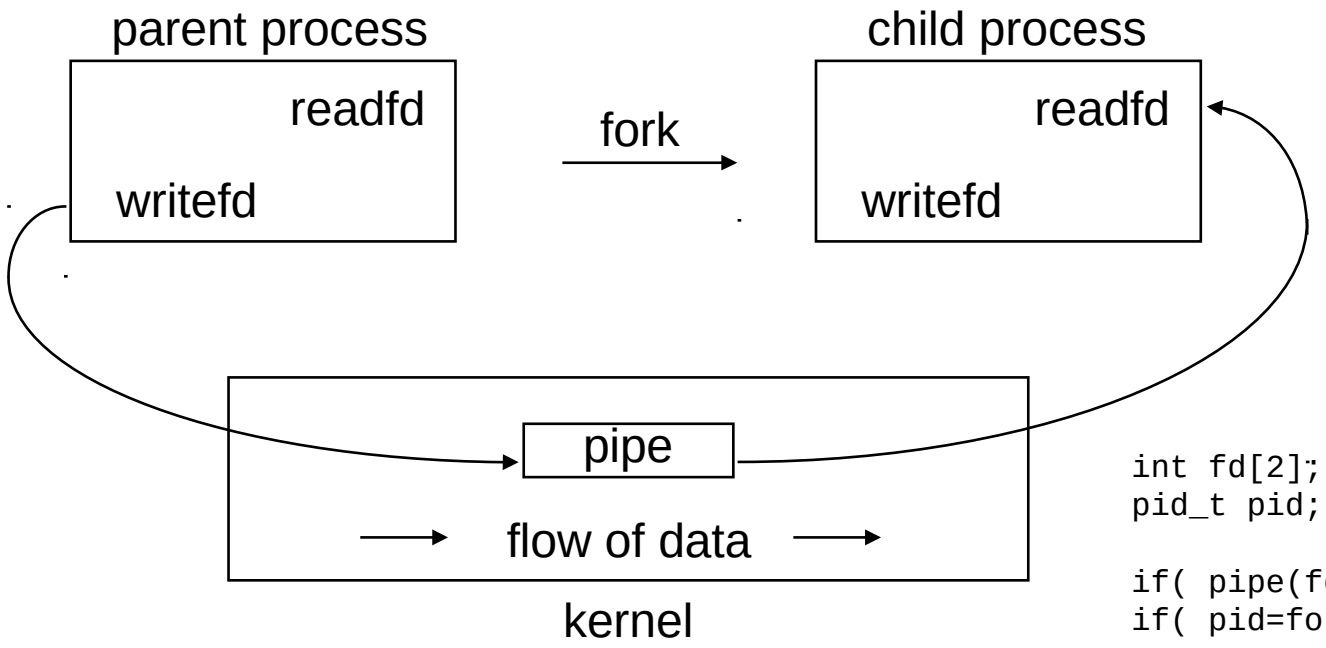
- Depois de usados, ambos os descritores devem ser fechados pela chamada do sistema:

```
POSIX:#include <unistd.h>
   int close (int);
```

- Quando todos os descritores associados a um *pipe* são fechados, todos os dados residentes no *pipe* são perdidos.
- Em caso de sucesso retorna 0 . Em caso de erro retorna -1, com causa de erro indicada na variável de ambiente `int errno`.
- Exemplo:

```
int fd[2];
if (pipe(fd)==0) {
…
close(fd[0]); close(fd[1]);
}
```

Comunicação Pai-Filho Unidirecional

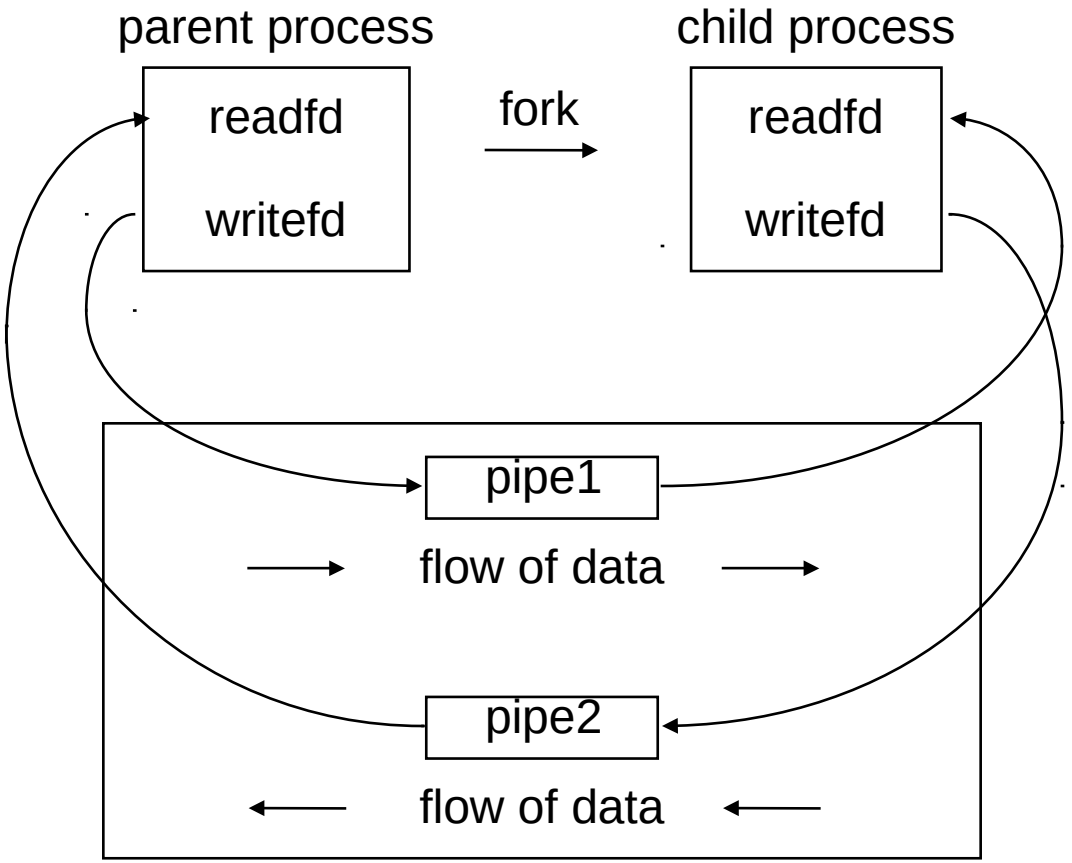



```
int fd[2];
pid_t pid;

if( pipe(fd)<0 ) exit(1);
if( pid=fork()<0 ) exit(1);

if ( pid==0 ) { /* processo filho */
   close( fd[1] );
   …
}
if ( pid>0 ) { /* processo pai */
   close( fd[0] );
   …
}
```

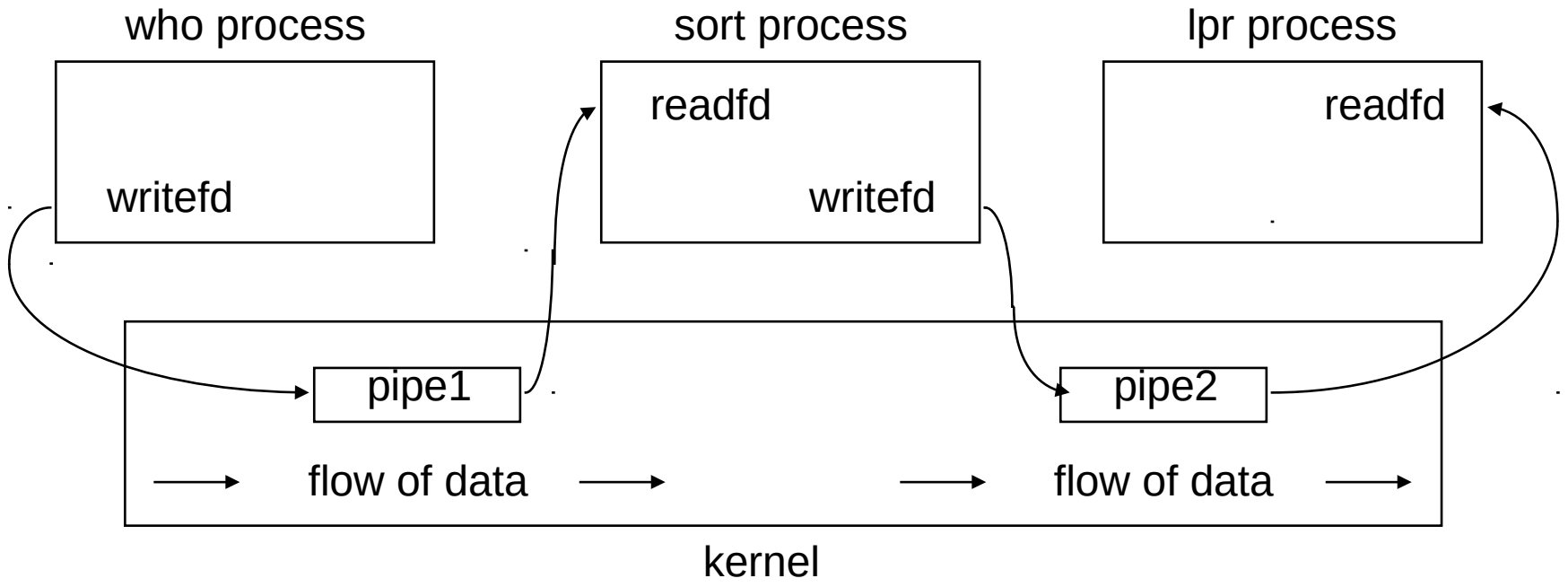
- Processo pai cria o *pipe*.
- Processo pai faz o *fork()*.
- Os descritores são herdados pelo processo filho.
- Pai fecha fd[0]
- Filho fecha fd[1]

Comunicação Pai-Filho Bi-Direcional

- Ex: pai envia *filename* para o filho. Filho abre e lê o arquivo, e retorna o conteúdo para o pai.
  - Pai cria pipe1 e pipe2.
  - Pai fecha descritor de leitura de pipe1.
  - Pai fecha descritor de escrita de pipe2.
  - Filho fecha descritor de escrita de pipe1.
  - Filho fecha descritor de leitura de pipe2.



who | sort | lpr



- Processo *who* escreve no *pipe1*.
- Processo *sort* lê do *pipe1* e grava no *pipe2*.
- Processo *lpr* lê do *pipe2*.

Escrita e Leitura em Pipes (1)

- A comunicação de dados em um *pipe* (leitura e escrita) é feita pelas seguintes chamadas de sistema:

```
POSIX:#include <unistd.h>
  ssize_t read(int, char *, int);
  ssize_t write(int, char *, int);
```

  - 1º parâmetro: descritor de arquivo.
  - 2º parâmetro: endereço dos dados.
  - 3º parâmetro: número de bytes a comunicar.
- A função retorna o número de bytes efetivamente comunicados.

Escrita e Leitura em Pipes (2)

- Regras aplicadas aos processos escritores:
  - Escrita para descritor fechado resulta na geração do sinal SIGPIPE
  - Escrita de dimensão inferior a _POSIX_PIPE_BUF é atômica (i.e., os dados não são entrelaçados).
  - No caso do pedido de escrita ser superior a _POSIX_PIPE_BUF, os dados podem ser entrelaçados com pedidos de escrita vindos de outros processos.
    - O número de bytes que podem ser temporariamente armazenados por um *pipe* é indicado por `_POSIX_PIPE_BUF` (512B, definido em `<limits.h>`).
- Regras aplicadas aos processos leitores:
  - Leitura para descritor fechado retorna valor 0.
  - Processo que pretende ler de um *pipe* vazio fica bloqueado até que um processo escreva os dados.

Fila (FIFO, Named Pipe)

- Trata-se de uma extensão do conceito de *pipe*.
  - *Pipes* só podem ser usados por processos que tenham um ancestral comum.
  - Filas (FIFOs – First In First Out), também designados de “tubos nomeados” (“*named pipes*”), permitem a comunicação entre processos não relacionados.
- As Filas:
  - são referenciadas por um identificador dentro do sistema de arquivos
  - persistem além da vida do processo
  - são mantidas no sistema de arquivos até serem apagadas (ou seja, precisam ser eliminadas quando não tiverem mais uso).
- Normalmente são implementadas através de arquivos especiais (tipo: pipe).
  - Um processo abre a Fila para escrita, outro para leitura.

Criação de Filas (1)

- Uma fila é criada pela chamada de sistema:

```
POSIX: #include <sys/stat.h>
   int mkfifo(char *,mode_t);
```

  - 1º parâmetro: nome do arquivo.
  - 2º parâmetro: identifica as permissões de acesso, iguais a qualquer arquivo, determinados por OU de grupos de bits.
- As permissões de acesso também podem ser indicados por 3 dígitos octais, cada um representando os valores binários de rwx (Read,Write,eXecute).
  - Exemplo: modo 644 indica permissões de acesso:
    - Dono: 6 = 110 (leitura e escrita)
    - Grupo e Outros: 4 = 100 (leitura)

Criação de Filas (2)

- Uma fila também pode ser criada, via shell, por meio do comando:

```
#mkfifo [-m modo] fichID
```

- Exemplo 1:

```
[rgc@asterix]$ mkfifo -m 644 tubo
[rgc@asterix]$ ls -l tubo
prw-r--r-- 1 rgc docentes 0 2008-10-11 15:56 tubo
[rgc@asterix]$
```

OBS: **p** indica que “tubo” é um arquivo do tipo named pipe

- Exemplo 2:

```
#mkfifo teste
#cat < teste /* o pipe fica esperando até obter algum dado */
Em outra tela execute:
# ls > teste /* a saída do comando ls será redirecionada para o
pipe nomeado “teste” */
```

Eliminação de Filas

- Uma fila é eliminada pela seguinte chamada ao sistema:

```
POSIX:#include <unistd.h>
    int unlink(char *);
```

  - 1º parâmetro: nome do arquivo.

- Uma fila também é eliminada via shell, usando o comando:

```
#rm fichID
```

Abertura de Filas (1)

- Antes de ser usada, a fila tem de ser aberta pela chamada de sistema:

```
POSIX: #include <sys/types.h>
       #include <sys/stat.h>
       #include <fcntl.h>
       int open(char *,int);
```

  - 1º parâmetro: nome do arquivo.
  - 2º parâmetro : formado por bits que indicam:
    - Modos de acesso: `O_RDONLY` (leitura apenas) ou `O_WRONLY` (escrita apenas)
    - Opções de abertura: `O_CREAT` (criado se não existir)
    - `O_NONBLOCK` (operação de E/S não são bloqueadas)
  - O valor de retorno é o descritor da fila (positivo) ou erro (-1).

Abertura de Filas (2)

- Regras aplicadas na abertura de filas:
  - Se um processo tentar abrir uma fila em modo de leitura, e nesse instante não houver um processo que tenha aberto a fila em modo de acesso de escrita, o processo fica bloqueado, exceto se:
    - a opção `O_NONBLOCK` tiver sido indicada no momento da leitura (nesse caso, é devolvido o valor -1 e `errno` fica com valor `ENXIO`).
  - Se um processo tentar abrir uma fila em modo de escrita, e nesse instante não houver um processo que tenha aberto a fila em modo de acesso de leitura, o processo fica bloqueado, exceto se:
    - a opção `O_NONBLOCK` tiver sido indicada no momento da escrita (nesse caso, é devolvido o valor -1 e `errno` fica com valor `ENXIO`).

Leitura e Escrita em Filas (1)

- A comunicação em uma fila é feita pelas mesmas chamadas de sistema dos *pipes*:

```
POSIX: #include <unistd.h>
   ssize_t read(int, char *,int);
   ssize_t write(int, char *,int);
```

- Regras aplicadas aos processos escritores:
  - Escrita para uma fila que ainda não foi aberta para leitura gera o sinal `SIGPIPE` (ação por omissão de terminar o processo. Se ignorado `read` retorna -1 com `errno` igual a `EPIPE`).
  - Após o último processo escritor tiver encerrado a fila, os processos leitores recebem `EOF`.