

Sistemas Operacionais II

Comunicação entre Processos

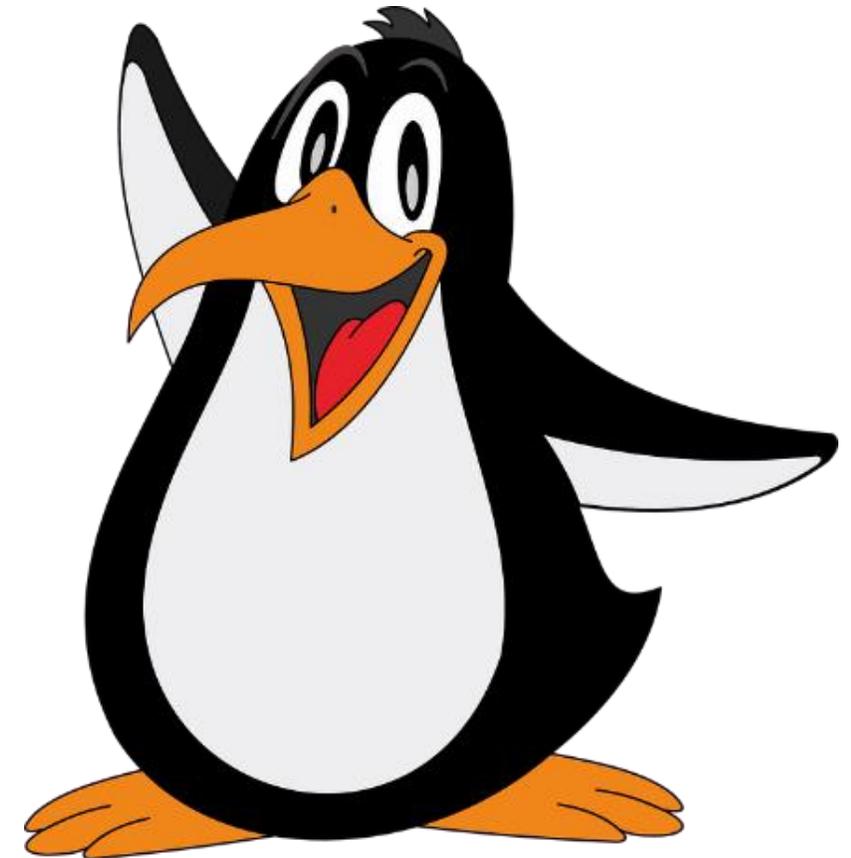
Fabricio Breve
fabricio.breve@unesp.br
<https://www.fabricio breve.com>





Sumário

- Introdução à Comunicação entre Processos
- Memória Compartilhada
- Semáforos de Processos
- Memória Mapeada





Comunicação entre Processos

- Nas aulas sobre processos, vimos como obter o status de saída de um processo filho.
 - Esta é a forma mais simples de comunicação entre processos;
- Mas não vimos nenhuma forma de comunicação com o processo filho **enquanto ele está executando**;
- Também não vimos como fazer a comunicação entre dois processos que **não tem uma relação de pai e filho**.
- Na aula de hoje veremos meios de fazer comunicação entre processos que superam essas limitações.



Comunicação entre Processos

- Exemplos de comunicação entre processos:
 - Um navegador Web requisita uma página de um servidor Web, que envia uma página HTML.
 - Normalmente utilizando *sockets*.
 - Imprimir nomes de arquivos com **ls** | **lpr**
 - O *shell* cria um processo **ls** e um processo **lpr** separados, conectando-os com um *pipe*, representado por |
 - O processo **ls** escreve dados no *pipe*, e o **lpr** lê dados do *pipe*



Comunicação entre Processos

- Discutiremos cinco tipos de comunicação entre processos:
 - **Memória compartilhada** permite que processos se comuniquem simplesmente lendo e escrevendo para uma localização especial de memória.
 - **Memória mapeada** é similar a memória compartilhada, exceto por estar associada com um arquivo no sistema de arquivos.
 - **Pipes** permitem comunicação sequencial de um processo para um processo relacionado.
 - **FIFOs** são similares a *pipes*, exceto que processos não relacionados podem se comunicar, pois o *pipe* tem um nome no sistema de arquivos.
 - **Sockets** suportam comunicação entre processos não relacionados mesmo em diferentes computadores.



Comunicação entre Processos

- Os vários tipos de comunicação entre processos **se diferem** pelos seguintes critérios:
 - Restrição à comunicação:
 - Entre processos relacionados (processos com um ancestral comum);
 - Entre processos não relacionados compartilhando o mesmo sistema de arquivos;
 - Qualquer computador conectado na rede.
 - Limitar a comunicação a somente escrever ou ler dados.
 - A quantidade de processos que podem se comunicar.
 - Se os processos se comunicando são sincronizados automaticamente
 - Por exemplo: um processo de leitura poderia parar até que dados estivessem disponíveis para leitura.



MEMÓRIA COMPARTILHADA



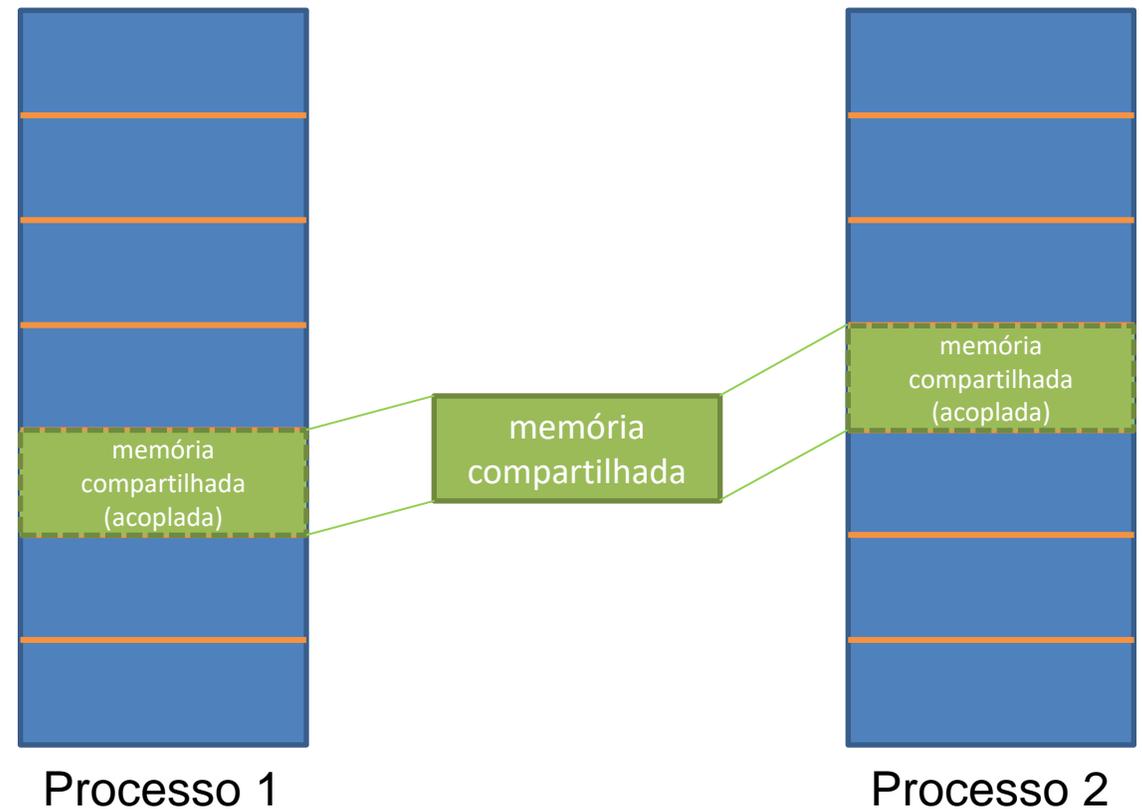
Memória compartilhada

- Um dos mais simples métodos de comunicação entre processos é usar memória compartilhada.
- Memória compartilhada permite que dois ou mais processos acessem a mesma memória, como se ambos tivessem chamado **malloc** e este tivesse retornado ponteiros para o mesmo endereço de memória real.
- Quando um processo muda algo que está na memória compartilhada, todos os outros processos veem a modificação.



Comunicação Rápida Local

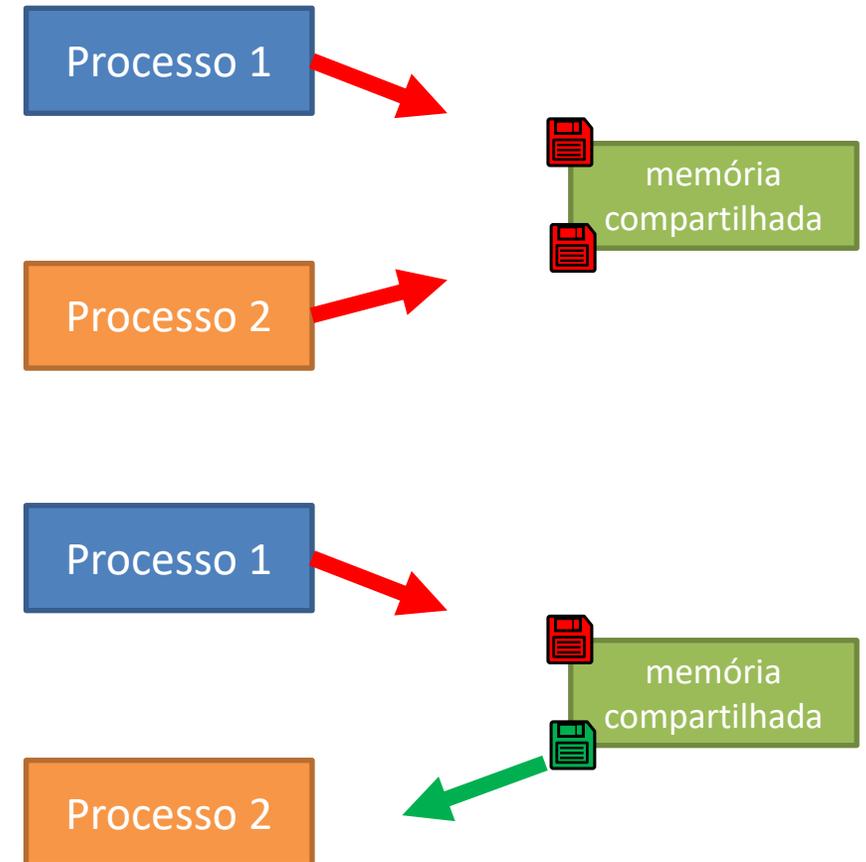
- Memória compartilhada é a forma mais rápida de comunicação entre processos.
 - Todos os processos compartilham a mesma memória.
 - Acesso a tal memória é tão rápido quanto o acesso à memória não compartilhada de processos.
 - Não é necessário utilizar chamadas de sistema ou entrar no núcleo.
 - Evita a cópia desnecessária de dados.





Comunicação Rápida Local

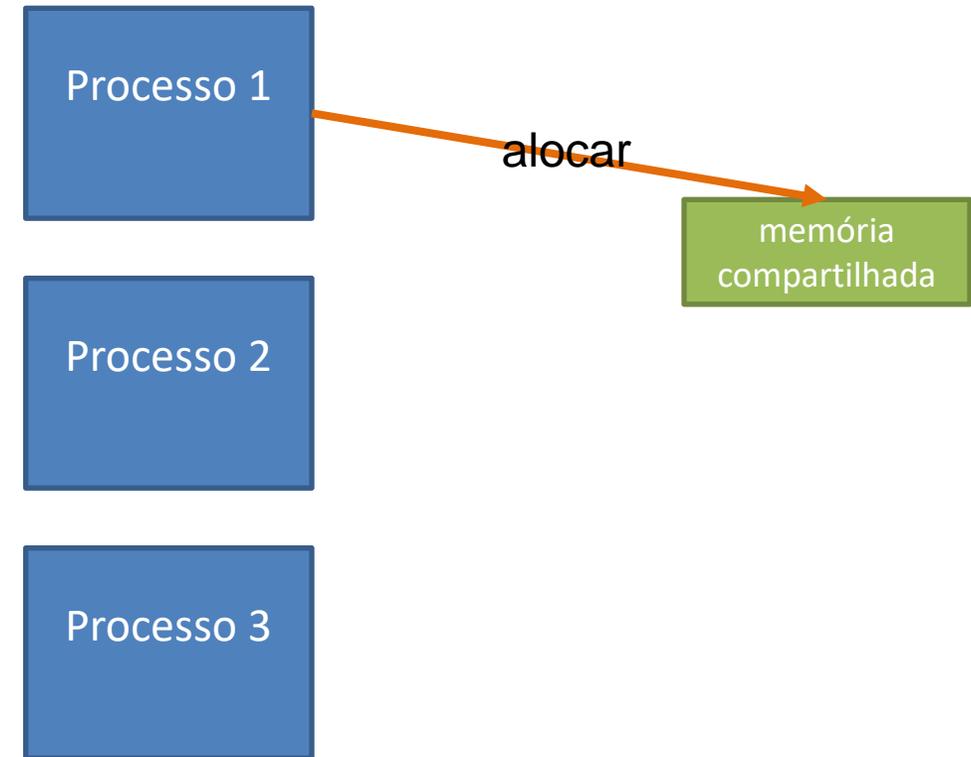
- O núcleo não sincroniza o acesso à memória compartilhada, portanto você deve fornecer seus próprios meios de sincronização.
 - Por exemplo:
 - Um processo não deve ler da memória antes que os dados sejam escritos lá.
 - Dois processos não podem escrever ao mesmo tempo na mesma localização de memória.
 - Uma solução para evitar tais condições de corrida é usar semáforos, como veremos mais adiante.





O Modelo de Memória

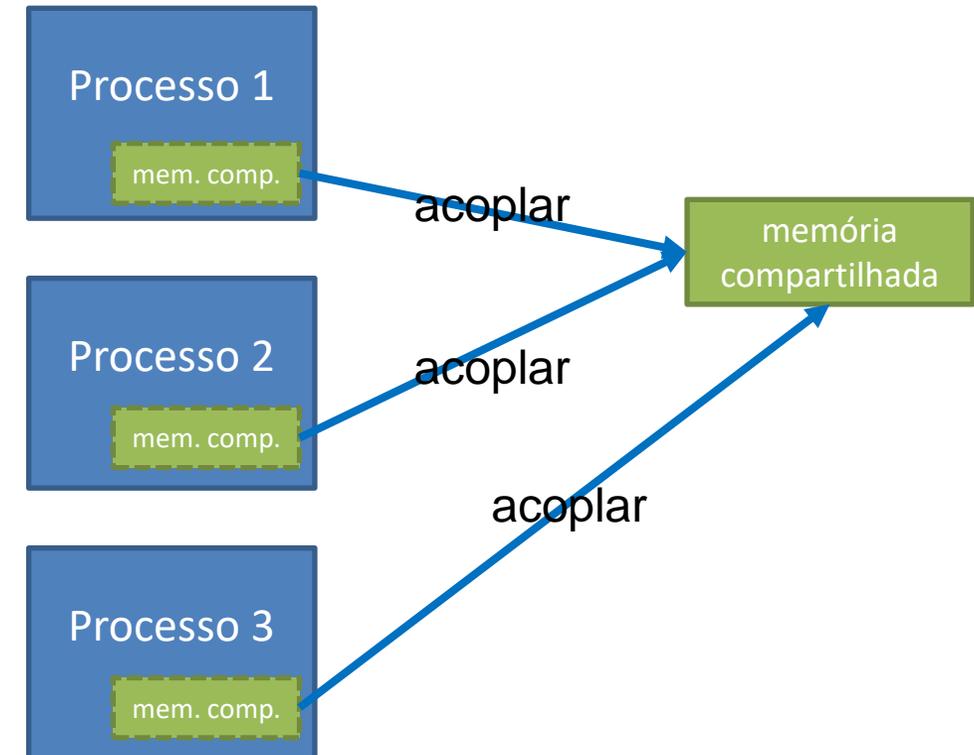
- Para usar um segmento de memória compartilhada, **um processo** precisa **alocar** o segmento.
- Então **cada processo** que deseja acessar o segmento, deve **acoplá-lo**.
- Após finalizar o uso do segmento, **cada processo desacopla** o segmento.
- Em algum momento, **um processo** precisa **desalocar** o segmento.





O Modelo de Memória

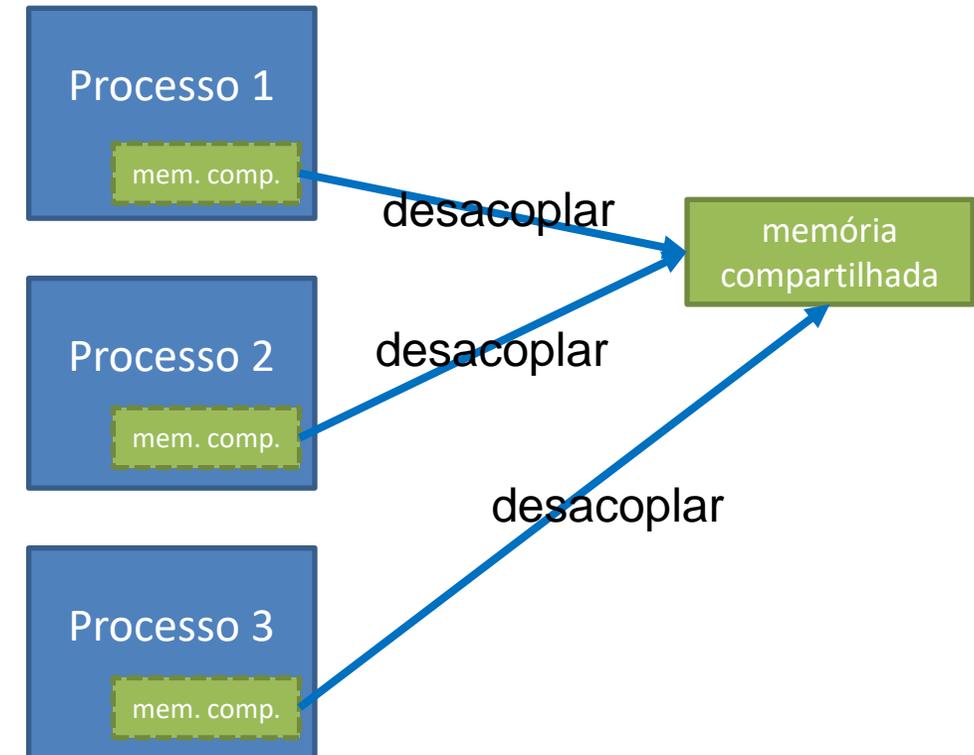
- Para usar um segmento de memória compartilhada, **um processo** precisa **alocar** o segmento.
- Então **cada processo** que deseja acessar o segmento, deve **acoplá-lo**.
- Após finalizar o uso do segmento, **cada processo desacopla** o segmento.
- Em algum momento, **um processo** precisa **desalocar** o segmento.





O Modelo de Memória

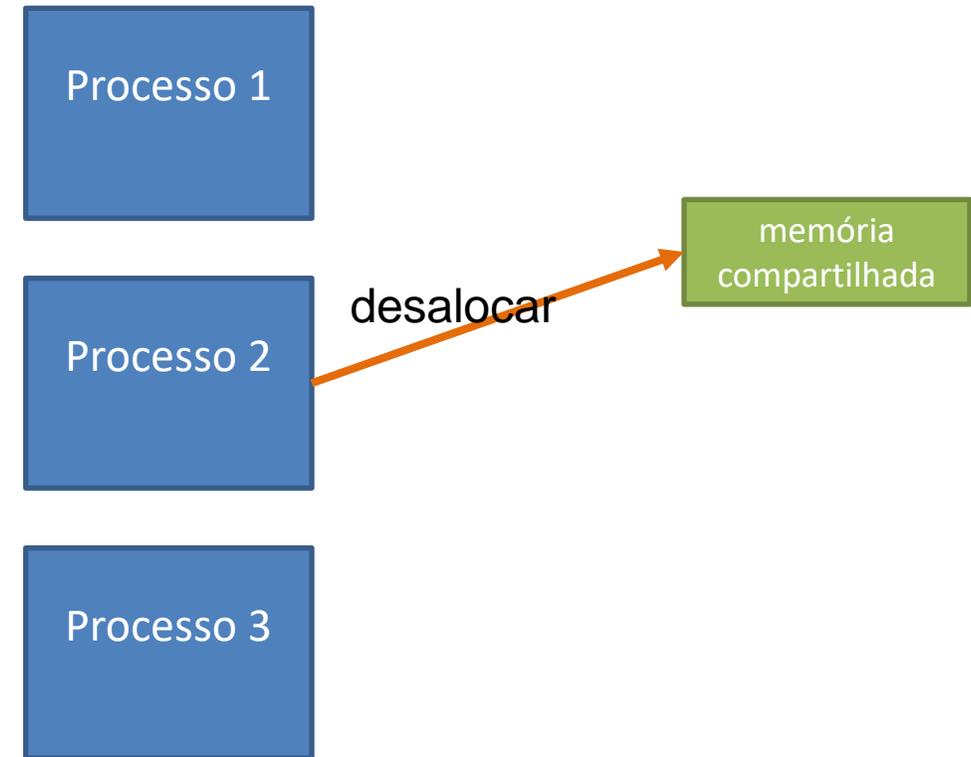
- Para usar um segmento de memória compartilhada, **um processo** precisa **alocar** o segmento.
- Então **cada processo** que deseja acessar o segmento, deve **acoplá-lo**.
- Após finalizar o uso do segmento, **cada processo desacopla** o segmento.
- Em algum momento, **um processo** precisa **desalocar** o segmento.





O Modelo de Memória

- Para usar um segmento de memória compartilhada, **um processo** precisa **alocar** o segmento.
- Então **cada processo** que deseja acessar o segmento, deve **acoplá-lo**.
- Após finalizar o uso do segmento, **cada processo desacopla** o segmento.
- Em algum momento, **um processo** precisa **desalocar** o segmento.





O Modelo de Memória

- Para usar um segmento de memória compartilhada, **um processo** precisa **alocar** o segmento.
- Então **cada processo** que deseja acessar o segmento, deve **acoplá-lo**.
- Após finalizar o uso do segmento, **cada processo desacopla** o segmento.
- Em algum momento, **um processo** precisa **desalocar** o segmento.

Processo 1

Processo 2

Processo 3



O Modelo de Memória

- Entender o modelo de memória do Linux ajuda a explicar a alocação e o acoplamento de processos.
 - No Linux, a memória virtual de cada processo é dividida em páginas.
 - Cada processo mantém um mapa de seus endereços de memória para estas páginas virtuais de memória, que contém os dados reais.
 - Apesar de cada processo ter seus próprios endereços, múltiplos mapeamentos de processos podem apontar para a mesma página, permitindo o compartilhamento de memória.



O Modelo de Memória

- Alocar um novo segmento de memória compartilhada faz páginas de memória virtual serem criadas.
- Como todos os processos desejam acessar o mesmo segmento compartilhado, apenas um processo deve alocar o novo segmento.
- Alocar um segmento existente não cria novas páginas, mas retorna um identificador para páginas existentes.
- Para um processo usar um segmento de memória compartilhado, ele deve acoplá-lo, o que adiciona entradas no mapa de sua memória virtual para o segmento de página compartilhado.



O Modelo de Memória

- Quando termina com o segmento, tais entradas de mapeamento são removidas.
- Quando mais nenhum processo quer acesso a estes segmentos de memória, **exatamente um** processo precisa desalocar as páginas de memória virtual.
- Todo os segmentos de memória são alocados como múltiplos do *tamanho de página* do sistema, que é o número de *bytes* em uma página de memória.
 - Em sistemas Linux, o tamanho da página é normalmente 4KB, mas você deve obter esse valor chamando a função **getpagesize**.



Alocação

- Um processo aloca um segmento de memória usando **shmget** (“Shared Memory GET”)
 - Argumentos:
 1. Chave
 - Inteiro que especifica qual segmento criar.
 - Processos não relacionados podem acessar o mesmo segmento compartilhado especificando o mesmo valor de chave.
 - Infelizmente, outros processos podem escolher a mesma chave fixa, o que levaria a conflitos.
 - » Use a constante especial **IPC_PRIVATE** como chave para garantir que um novo segmento de memória seja criado.
 2. Número de *bytes* no segmento
 - Como os segmentos são alocados usando páginas, o número real de *bytes* alocados é um múltiplo do tamanho de página (arredondado para cima)
 3. Terceiro argumento no próximo slide



Alocação

- O terceiro argumento de **shmget** é um conjunto de *flags* que especificam opções.
 - Algumas *flags*:
 - **IPC_CREAT** – Indica que o novo segmento deve ser criado. Permite a criação de um novo segmento enquanto especifica um valor chave.
 - **IPC_EXCL** – Sempre usada com **IPC_CREAT**, causa uma falha em **shmget** se a chave de segmento especificada já existe, de modo que o processo chamador possa fazer os arranjos para ter um segmento exclusivo.
 - Se esta *flag* não for fornecida e a chave de um segmento existente for usada, **shmget** retorna o segmento existente em vez de criar um novo.
 - *Flags* de modo – valor feito de 9 bits indicando permissões oferecidas ao dono, ao grupo e outros para controlar acesso ao segmento. *Bits* de execução são ignorados. Uma maneira fácil de especificar permissões é usar constantes definidas em `<sys/stat.h>` e documentadas na sessão 2 da página de manual de **stat**.
 - Exemplo: **S_IRUSR** e **S_IWUSR** especificam permissões de leitura e escrita para o dono do segmento de memória compartilhada, e **S_IROTH** e **S_IWOTH** especificam permissões de leitura e escrita para outros.



Alocação

- Exemplo:
 - Usando **shmget** para criar um segmento de memória compartilhada (ou acesso a um existente, se **shm_key** estiver em uso) que pode ser lido e gravado pelo dono, mas não por outros usuários:
 - `int segment_id = shmget (shm_key, getpagesize (), IPC_CREAT | S_IRUSR | S_IWUSR);`
 - Se a chamada for bem sucedida, **shmget** retorna um identificador de segmento. Se o segmento de memória compartilhada já existe, as permissões de acesso são verificadas e uma checagem é feita para garantir que o segmento não está marcado para destruição.

Acoplamento e desacoplamento

- Para tornar o segmento de memória compartilhada disponível, um processo precisa usar **shmat** (“Shared Memory ATtach”).
 - Argumentos:
 1. Identificador de segmento **SHWID** retornado por **shmget**.
 2. Ponteiro que especifica onde no espaço de endereços do seu processo você quer mapear a memória compartilhada
 - Se você especificar NULL, o Linux irá escolher um endereço disponível.
 3. Uma *flag*, como por exemplo:
 - **SHM_RND** indica que o endereço especificado no segundo argumento deve ser arredondado para baixo para um múltiplo do tamanho de página. Se esta *flag* não for especificada, você mesmo precisa arredondar o tamanho de página que está passando para **shmat**.
 - **SHM_RDONLY** indica que o segmento será apenas lido, não escrito.

Acoplamento e desacoplamento

- Se a chamada a **shmat** for bem sucedida, ela retorna o endereço do segmento compartilhado acoplado.
 - Filhos criados com chamadas para **fork** herdam os segmentos de memória acoplados.
 - Eles podem desacoplar os segmentos de memória compartilhados, se desejarem.
- Quando você terminar de usar o segmento de memória compartilhado, o segmento deve ser desacoplado usando **shmdt** (“SHared Memory DeTach”).
 - Passe a ele o endereço retornado por **shmat**.
 - Se o segmento for desalocado e este for o último processo usando-o, ele é removido.
 - Chamadas para **exit** ou qualquer uma da família **exec** automaticamente desacoplam segmentos.

Controlando e Desalocando Memória Compartilhada

- A chamada **shmctl** (“SHared Memory ConTrol”) retorna informação sobre o segmento de memória compartilhado e pode modificá-lo.
 - O primeiro argumento é o identificador do segmento de memória compartilhado.
 - Para obter informação sobre o segmento de memória compartilhado, passe **IPC_STAT** como segundo argumento e um ponteiro para uma estrutura **shmid_ds** como terceiro argumento.
 - Para remover um segmento, passe **IPC_RMID** como segundo argumento, e **NULL** como terceiro argumento. O segmento é removido quando o último processo acoplado a ele se desacoplar.

Controlando e Desalocando Memória Compartilhada

- Cada segmento de memória compartilhado deve ser explicitamente desalocado usando **shmctl** quando terminar de ser utilizado, evitando violar o limite de segmentos de memória compartilhada do sistema.
 - Chamar **exit** e **exec** desacopla segmentos de memória, mas não os desaloca.
 - Veja a página de manual de **shmctl** para uma descrição de outras operações que você pode realizar com segmentos de memória compartilhados.

```

#include <stdio.h>
#include <sys/shm.h>
#include <sys/stat.h>

int main ()
{
    int segment_id;
    char* shared_memory;
    struct shmid_ds shmbuffer;
    int segment_size;
    const int shared_segment_size = 0x6400;

    /* Alocar o segmento de memória compartilhado. */
    segment_id = shmget (IPC_PRIVATE, shared_segment_size,
                        IPC_CREAT | IPC_EXCL | S_IRUSR | S_IWUSR);

    /* Acoplar o segmento de memória compartilhado. */
    shared_memory = (char*) shmat (segment_id, 0, 0);
    printf ("Memória compartilhada acoplada no endereço %p\n", shared_memory);
    /* Determinar o tamanho do segmento. */
    shmctl (segment_id, IPC_STAT, &shmbuffer);
    segment_size = shmbuffer.shm_segsz;
    printf ("Tamanho do segmento: %d\n", segment_size);
    /* Escrever uma string no segmento de memória compartilhado. */
    sprintf (shared_memory, "Olá, mundo.");
    /* Desacoplar o segmento de memória compartilhado. */
    shmdt (shared_memory);

    /* Reacoplar o segmento de memória compartilhado, em um diferente endereço. */
    shared_memory = (char*) shmat (segment_id, (void*) 0x5000000, 0);
    printf ("Memória compartilhada reacoplada no endereço %p\n", shared_memory);
    /* Imprimir a string da memória compartilhada. */
    printf ("%s\n", shared_memory);
    /* Desacoplar o segmento de memória compartilhada. */
    shmdt (shared_memory);

    /* Desalocar o segmento de memória compartilhada. */
    shmctl (segment_id, IPC_RMID, 0);

    return 0;
}

```

shm.c

Exemplo de uso de memória compartilhada



Veja em execução:
<https://youtu.be/1Dk10onDp3g>



Depurando

- O comando **ipcs** fornece informações sobre comunicações entre processos em andamento. Use a flag **-m** para obter informações sobre memória compartilhada.
 - Exemplo: o código a seguir ilustra um segmento de memória compartilhado numerado como 163845, em uso

```
fabricio@fabricio-virtual-machine:~/so2/aula8$ ipcs -m
- Segmentos da memória compartilhada -
chave      shmid      proprietário perms      bytes      nattch      status
0x00000000 163845     fabricio   777       30492      2           dest
```

- Se este segmento de memória foi erroneamente deixado para trás por um programa, você pode usar o comando **ipcrm** para removê-lo
 - Exemplo:
 - **ipcrm shm 163845**



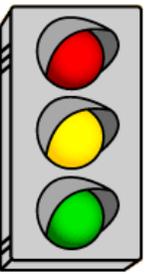
Prós e Contras

- Segmentos de memória compartilhados permitem comunicação bidirecional rápida entre qualquer número de processos.
 - Cada usuário pode ler e escrever, mas o programa precisa estabelecer e seguir algum protocolo que evite condições de corrida, como sobrescrever informações antes que sejam lidas.
 - Infelizmente o Linux não garante acesso exclusivo mesmo que você crie um novo segmento de memória compartilhada com **IPC_PRIVATE**.
 - Além disso, para que múltiplos processos usem o mesmo segmento compartilhado, eles precisam fazer arranjos para usarem a mesma chave.

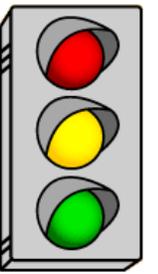


SEMÁFOROS DE PROCESSOS

Semáforos de Processos



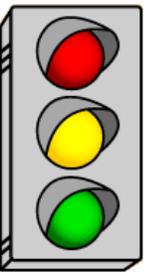
- Como mencionado anteriormente, processos precisam coordenar o acesso à memória compartilhada.
- Como visto na aula anterior, semáforos são contadores que permitem sincronizar múltiplas *threads*.
- O Linux oferece uma implementação distinta de semáforos para ser usada para sincronizar processos.
 - Chamados de semáforos de processos.
 - São alocados, usados e desalocados como segmentos de memória compartilhados.
 - Apesar de um único semáforo ser suficiente para a maioria dos usos, semáforos de processos vem em conjuntos.



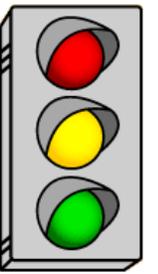
Alocação e Desalocação

- As chamadas **semget** e **semctl** alocam e desalocam semáforos.
 - Análogos a **shmget** e **shmctl** para memória compartilhada.
 - Chame **semget** com uma chave especificando um conjunto de semáforos, a quantidade de semáforos no conjunto, e as *flags* de permissão como em **shmget**.
 - O valor de retorno é um identificador de conjunto de semáforos.
 - Você pode obter o identificador de um conjunto de semáforos existentes especificando a chave correta.
 - Nesse caso, a quantidade de semáforos pode ser definida como zero.

Alocação e Desalocação



- Semáforos continuam existindo mesmo após todos os processos que estavam usando-os terem terminado.
- O último processo a usar um conjunto de semáforos deve removê-lo explicitamente para garantir que o sistema operacional não fique sem semáforos.
 - Para tanto, invoque **semctl** com o identificador do semáforo, o número de semáforos no conjunto, **IPC_RMID** como terceiro argumento, e qualquer valor do tipo **union semun** como quarto argumento (que será ignorado).
 - O *user ID* do processo chamador deve ser o mesmo do alocador do semáforo (ou o chamador deve ser *root*).
 - Ao contrário de segmentos de memória, remover um conjunto de semáforos faz com que o Linux desaloque-os imediatamente.



```
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/sem.h>
#include <sys/types.h>

/* Devemos definir union semun nós mesmos. */

union semun {
    int val;
    struct semid_ds *buf;
    unsigned short int *array;
    struct seminfo *__buf;
};

/* Obtenha um ID de semáforo binário, alocando-o se necessário. */

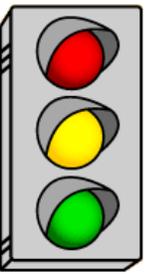
int binary_semaphore_allocation (key_t key, int sem_flags)
{
    return semget (key, 1, sem_flags);
}

/* Desalocar um semáforo binário. Todos os usuários devem ter terminado seu
uso. Retorna -1 se falhar. */

int binary_semaphore_deallocate (int semid)
{
    union semun ignored_argument;
    return semctl (semid, 1, IPC_RMID, ignored_argument);
}
```

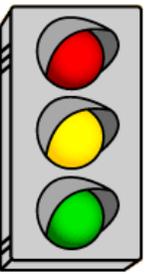
sem_all_deall.c

Alocando e
desalocando um
semáforo binário



Inicializando Semáforos

- Alocar e inicializar semáforos são duas operações separadas. Para inicializar um semáforo, use **semctl** com zero como segundo argumento e **SETALL** como terceiro argumento. Para o quarto argumento, você deve criar um objeto **union semun** e apontar o seu campo *array* para valores **unsigned short**. Cada valor é usado para inicializar um semáforo.



```
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/sem.h>

/* Devemos definir union semun nós mesmos. */

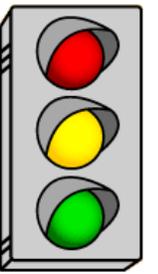
union semun {
    int val;
    struct semid_ds *buf;
    unsigned short int *array;
    struct seminfo *__buf;
};

/* Inicializar um semáforo binário com o valor de um. */

int binary_semaphore_initialize (int semid)
{
    union semun argument;
    unsigned short values[1];
    values[0] = 1;
    argument.array = values;
    return semctl (semid, 0, SETALL, argument);
}
```

sem_init.c

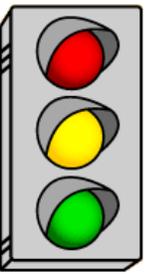
Inicializando um
Semáforo Binário



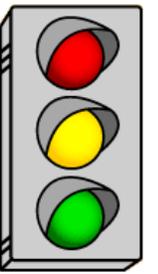
Operações **Wait** e **Post**

- Cada semáforo tem um valor não-negativo e suporta operações **wait** e **post**.
- A chamada de sistema **semop** implementa ambas as operações.
 - Argumentos:
 - Identificador do conjunto de semáforos.
 - *Array* de elementos **struct sembuf** que especifica a operação a ser realizada.
 - Comprimento do *array*.

Operações Wait e Post



- Os campos de **struct sembuf** são:
 - **sem_num** é o número do semáforo no conjunto de semáforos no qual a operação será realizada.
 - **sem_op** é um inteiro que especifica a operação do semáforo.
 - Se positivo, o número é adicionado ao valor do semáforo imediatamente.
 - Se negativo, o valor absoluto do número é subtraído do valor do semáforo
 - Se isto for tornar o valor do semáforo negativo, a chamada bloqueia até que o semáforo se torne tão grande quanto o valor de **sem_op**
 - **sem_flg** é um valor de *flag*
 - Use **IPC_NOWAIT** para evitar o bloqueio da operação
 - A operação falha em vez de bloquear
 - Use **SEM_UNDO** para que o Linux automaticamente desfça a operação no semáforo quando o processo sair
 - Também funciona em termos anormais



```
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/sem.h>

/* Espera em um semáforo binário. Bloqueia até que o valor do semáforo seja
   positivo, então o decrementa em um. */

int binary_semaphore_wait (int semid)
{
    struct sembuf operations[1];
    /* Usa o primeiro (e único) semáforo. */
    operations[0].sem_num = 0;
    /* Decrementa em 1. */
    operations[0].sem_op = -1;
    /* Permite desfazer. */
    operations[0].sem_flg = SEM_UNDO;

    return semop (semid, operations, 1);
}

/* Incrementa um semáforo binário: incrementa seu valor em um. Este
   retorna imediatamente. */

int binary_semaphore_post (int semid)
{
    struct sembuf operations[1];
    /* Usa o primeiro (e único) semáforo. */
    operations[0].sem_num = 0;
    /* Incrementa em 1. */
    operations[0].sem_op = 1;
    /* Permite desfazer. */
    operations[0].sem_flg = SEM_UNDO;

    return semop (semid, operations, 1);
}
```

sem_pv.c

Operações Wait e Post para
um Semáforo Binário

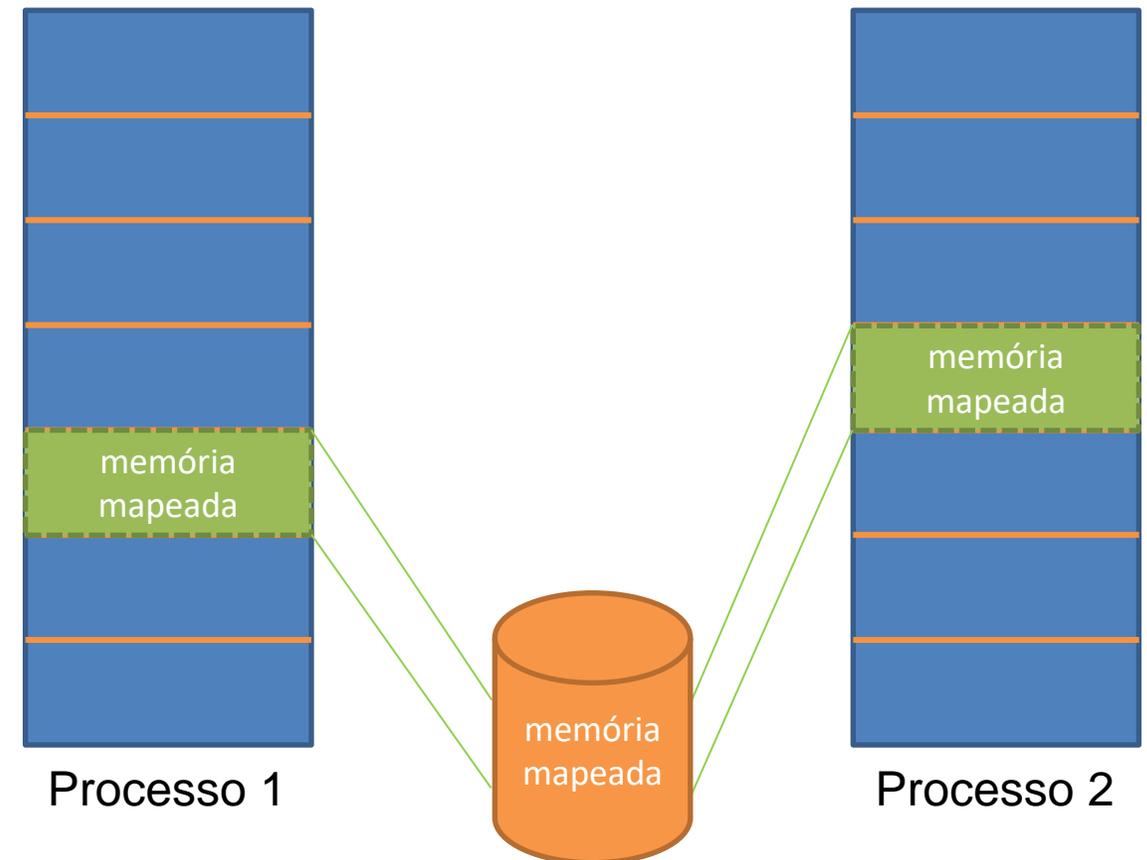
MEMÓRIA MAPEADA





Memória Mapeada

- A memória mapeada permite que diferentes processos se comuniquem através de um arquivo compartilhado.
 - Forma uma associação entre um arquivo e a memória de um processo.
 - O Linux divide o arquivo em pedaços do tamanho de páginas e então os copia para páginas de memória virtual para que sejam disponibilizados no espaço de endereços de um processo.
 - Dessa forma, o processo pode ler e gravar o conteúdo do arquivo com acessos ordinários à memória.





Memória Mapeada

- Você pode imaginar a memória mapeada como um *buffer* que armazena o conteúdo completo de um arquivo, com operações para ler o arquivo completo para o *buffer* e gravar do *buffer* para o arquivo caso haja modificações.
 - O Linux cuida das operações de leitura e escrita para você.
- Além de comunicação entre processos, memória mapeada também tem outros usos, que veremos mais adiante.



Mapeando um Arquivo Comum

- Para mapear um arquivo comum para a memória de um processo, use a chamada **mmap**
 - (“Memory MAPped”, pronuncia-se “em-map”).
 - Argumentos:
 1. Endereço em que o Linux mapeará o arquivo no espaço de endereços do processo. O valor NULL permite ao Linux escolher um endereço livre.
 2. Tamanho do mapa em *bytes*.
 3. Especifica a proteção na faixa de endereços mapeados. *Bits* conectados por “ou”: **PROT_READ**, **PROT_WRITE**, e **PROT_EXEC**, correspondendo a proteções de leitura, escrita e execução, respectivamente.
 4. *Flag* de opções adicionais. (próximo slide)
 5. Descritor de arquivos aberto para o arquivo a ser mapeado.
 6. Deslocamento do início do arquivo para o ponto onde deve ser iniciado o mapeamento. Pode-se mapear todo ou parte do arquivo, selecionando o deslocamento e o tamanho de maneira adequada.



Mapeando um Arquivo Comum

- O valor de *flag* é uma sequência de *bits* conectados por “ou” das seguintes restrições:
 - **MAP_PRIVATE**
 - Escritas para a faixa de memória não serão escritas no arquivo anexado, mas em uma cópia privada do arquivo, que outros processos não podem ver.
 - **MAP_SHARED**
 - Escritas são imediatamente refletidas no arquivo em vez de serem armazenadas em apenas em *buffer*. É o modo utilizado para comunicação entre processos.
 - MAP_PRIVATE e MAP_SHARED não podem ser usados simultaneamente.
 - Há outras restrições disponíveis no Linux (não compatíveis com POSIX).



Mapeando um Arquivo Comum

- Retorno de **mmap**:
 - Se a chamada foi bem sucedida, retorna um ponteiro para o início da memória.
 - Se falhou, retorna **MAP_FAILED**.
- Quando terminar de usar um mapeamento de memória, libere-o com **munmap**, passando o endereço inicial e o comprimento da região de memória mapeada.
 - O Linux automaticamente desmapeia regiões mapeadas quando um processo termina.



Exemplos

- Para ilustrar mapeamentos de memória, veremos dois exemplos:
 - O primeiro gera um número aleatório e o escreve para um arquivo de memória mapeada.
 - O segundo lê o número, imprime-o, e o substitui no arquivo de memória mapeada pelo dobro do valor.
- Ambos recebem como argumento o nome do arquivo a ser mapeado.



```
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <fcntl.h>
#include <sys/mman.h>
#include <sys/stat.h>
#include <time.h>
#include <unistd.h>
#define FILE_LENGTH 0x100

/* Retorna um valor aleatório uniforme na faixa [baixo,alto]. */

int random_range (unsigned const low, unsigned const high)
{
    unsigned const range = high - low + 1;
    return low + (int) (((double) range) * rand () / (RAND_MAX + 1.0));
}

int main (int argc, char* const argv[])
{
    int fd;
    void* file_memory;

    /* Semeie o gerador de números aleatórios. */
    srand (time (NULL));

    /* Prepare um arquivo grande o suficiente para armazenar um inteiro sem sinal. */
    fd = open (argv[1], O_RDWR | O_CREAT, S_IRUSR | S_IWUSR);
    lseek (fd, FILE_LENGTH+1, SEEK_SET);
    write (fd, "", 1);
    lseek (fd, 0, SEEK_SET);

    /* Crie o mapeamento de memória. */
    file_memory = mmap (0, FILE_LENGTH, PROT_WRITE, MAP_SHARED, fd, 0);
    close (fd);
    /* Escreva um inteiro aleatório para a área de memória mapeada. */
    sprintf((char*) file_memory, "%d\n", random_range (-100, 100));
    /* Libere a memória (desnecessário, visto que o programa termina). */
    munmap (file_memory, FILE_LENGTH);

    return 0;
}
19/04/ }
```

mmap-write.c

Escreve um
número aleatório
para um arquivo de
memória mapeada



Mapeando um Arquivo Comum

- `fd = open (argv[1], O_RDWR | O_CREAT, S_IRUSR | S_IWUSR);`
 - O terceiro argumento especifica que o arquivo deve ser aberto para escrita e leitura.
- `lseek (fd, FILE_LENGTH+1, SEEK_SET);`
 - Usado para garantir que o arquivo é grande o suficiente para armazenar um inteiro.
 - Em seguida é usado novamente para retornar ao início do arquivo.



```
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <fcntl.h>
#include <sys/mman.h>
#include <sys/stat.h>
#include <unistd.h>
#define FILE_LENGTH 0x100

int main (int argc, char* const argv[])
{
    int fd;
    void* file_memory;
    int integer;

    /* Abre um arquivo. */
    fd = open (argv[1], O_RDWR, S_IRUSR | S_IWUSR);
    /* Cria o mapeamento de memória. */
    file_memory = mmap (0, FILE_LENGTH, PROT_READ | PROT_WRITE,
                       MAP_SHARED, fd, 0);
    close (fd);

    /* Lê o inteiro, imprime-o, e dobra-o. */
    sscanf (file_memory, "%d", &integer);
    printf ("Valor: %d\n", integer);
    sprintf ((char*) file_memory, "%d\n", 2 * integer);
    /* Libera a memória (desnecessário, visto que o programa termina). */
    munmap (file_memory, FILE_LENGTH);

    return 0;
}
```

mmap-read.c

Lê um inteiro do
Arquivo de
Memória Mapeada,
e o Dobra



Veja em execução:
<https://youtu.be/epCn0oqA1RE>



Mapeando um Arquivo Comum

- Dessa vez não é necessário usar **lseek**, pois assumimos que o arquivo é grande o suficiente para armazenar um inteiro sem sinal.
- Note que **sscanf** e **sprintf** são usados para ler e escrever os inteiros como *strings* no arquivo de memória.
 - Porém não é necessário que o conteúdo dos arquivos de memória mapeada sejam texto. Também é possível ler e escrever qualquer binário arbitrário.

Acesso Compartilhado a um Arquivo

- Diferentes processos podem se comunicar usando regiões de memória mapeada associadas com o mesmo arquivo.
 - Especifique a *flag* **MAP_SHARED** para que qualquer escrita sejam transferidas imediatamente para o arquivo correspondente e fiquem visíveis para outros processos.
 - Se a *flag* não for especificada, o Linux pode armazenar as escritas em *buffer* antes de transferi-las para o arquivo.

Acesso Compartilhado a um Arquivo

- Uma outra alternativa é forçar o Linux a incorporar as escritas armazenadas em *buffer* ao arquivo em disco chamando **msync**
 - Os primeiros dois argumentos especificam a região de memória mapeada (nome, tamanho).
 - O terceiro argumento pode receber estas flags:
 - **MS_ASYNC** – A atualização é agendada, mas não necessariamente executa antes do retorno da chamada.
 - **MS_SYNC** – A atualização é imediata, a chamada a **msync** bloqueia até que seja feita.
 - **MS_INVALIDATE** – Todos os outros mapeamentos são invalidados para que possam ver os valores atualizados.

Acesso Compartilhado a um Arquivo

- Exemplo:
 - Para atualizar um arquivo de memória no endereço `mem_addr` de tamanho `mem_length bytes`, chame:
 - `msync (mem_addr, mem_length, MS_SYNC | MS_INVALIDATE);`
- Da mesma forma que com segmentos de memória, usuários de regiões de memória mapeada devem estabelecer e seguir um protocolo para evitar condições de corrida.
 - Por exemplo, um semáforo pode ser usado para evitar que mais de um processo acesse o mapeamento de memória ao mesmo tempo.
 - Outra alternativa é usar uma trava de escrita ou leitura no arquivo.



Mapeamentos Privados

- Especificando **MAP_PRIVATE** para **mmap** cria uma região de “cópia-na-escrita”.
 - Outros processo que mapeiam a mesma região não verão as mudanças.
 - O processo escreve para uma cópia privada da página.
 - Todas as leituras e escritas subsequentes usarão tal página



Outros usos para mmap

- **mmap** pode ser usado para outras finalidades, além de comunicação entre processos.
- Exemplos:
 - Substituto de **read** e **write**.
 - Em vez de escrever explicitamente conteúdo de arquivos na memória, um mapeamento pode ser usado e o programa utilizará operações simples de leitura.
 - Em alguns programas, o mapeamento de memória é mais conveniente e mais rápido que usar operações explícitas de entrada/saída.
 - Salvar estruturas de dados em arquivo.
 - Estruturas de dados podem ser gravadas em arquivos e restauradas nas próximas execuções do programa.
 - Mapear **/dev/zero**.
 - Fonte infinita de *bytes* θ na leitura.
 - Escritas são descartadas.

Exercício 1

- Faça um programa que realize as seguintes operações (nesta ordem):
 - Crie um segmento de memória compartilhada ou de memória mapeada e armazene nele o número 2 em uma variável numérica de ponto flutuante.
 - Crie um processo filho, que herdará esse segmento.
 - Ambos o processo pai e o processo filho devem executar simultaneamente um *loop* de 1.000.000 de iterações em que realizem as seguintes operações em sequência:
 - Elevar o valor da variável numérica ao quadrado e armazenar o resultado na mesma variável;
 - Tirar a raiz quadrada da variável numérica e armazenar o resultado na mesma variável;
 - Imprimir o valor atual da memória compartilhada (ou mapeada) com pelo menos 4 casas decimais.
- Apareceu algum valor diferente de 2?
 - Se sim. Por que?
 - Se não. Poderia acontecer? Por que?
- Com qual valor a variável ficou ao final das iterações dos dois processos?

Atenção: Coloque as respostas dos exercícios 1 e 2 e os respectivos códigos-fontes no *Google Classroom*.

Exercício 2

- Refaça o exercício anterior garantindo que não existam condições de corrida.
- Como você implementou tal garantia?
- Apareceu algum valor diferente de 2?
 - Se sim. Por que?
 - Se não. Poderia acontecer? Por que?
- Com qual valor a variável ficou ao final das iterações dos dois processos?

Atenção: Coloque as respostas dos exercícios 1 e 2 e os respectivos códigos-fontes no *Google Classroom*.

Referências Bibliográficas

1. [NEMETH, Evi.; SNYDER, Garth; HEIN, Trent R.; *Manual Completo do Linux: Guia do Administrador*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007. Cap. 4.](#)
2. [DEITEL, H. M.; DEITEL, P. J.; CHOFFNES, D. R.; *Sistemas Operacionais: terceira edição*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. Cap. 20.](#)
3. [MITCHELL, Mark; OLDHAM, Jeffrey; SAMUEL, Alex; *Advanced Linux Programming*. New Riders Publishing: 2001. Cap. 5.](#)
4. [TANENBAUM, Andrew S.; *Sistemas Operacionais Modernos*. 3ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. Cap. 10.](#)

