

## Comunicação entre Processos

### *IPC- Interprocess communication*

- designação de um conjunto de mecanismos através do qual dois ou mais processos comunicam entre si

A comunicação entre processos é suportada por todos os sistemas UNIX. Contudo, diferentes sistemas UNIX implementam diferentes métodos de *IPC*.

#### O UNIX suporta:

- Para processos correndo na mesma máquina
  - » Pipes e FIFOs
  - » Mensagens
  - » Semáforos
  - » Memória partilhada
- Para processos correndo em máquinas diferentes
  - » Sockets
  - » TLI - Transport Layer Interface
  - » XTI - X/Open Transport Interface (baseado em TLI)

Os métodos de *IPC* definidos no standard Posix.1b são mensagens, semáforos e memória partilhada, mas a sua sintaxe é diferente da do System V.



FEUP

MIEIC  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

## Métodos de *IPC* do UNIX System V

### *Pipes & FIFOs*

- Permitem que processos a correr na mesma máquina troquem dados entre si, através de um *pipeline*.

### Mensagens

- Permitem que processos a correr na mesma máquina troquem dados entre si, através de uma fila de mensagens.

### Memória partilhada

- Permite que vários processos a correr na mesma máquina partilhem uma região de memória comum.

### Semáforos & *Mutexes*


- Fornecem mecanismos para que os processos/*threads* sincronizem as suas acções.



FEUP

MIEIC  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

## A seguir ...

- Filas de mensagens
  - Semáforos
  - Memória partilhada
- 
- ~~System V - IPC~~
  - Posix



FEUP

MIEIC  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

## Métodos POSIX para IPC

Os métodos *IPC* estão definidos na norma POSIX.1003.1b .

Os métodos POSIX para *IPC* são os mesmos do *System V*:

- filas de mensagens
- semáforos
- memória partilhada

A sintaxe das primitivas POSIX que suportam estes métodos é totalmente diferente das do *System V* .

Para compilar programas que usem estas primitivas é necessário *linkar* com a biblioteca *realtime* (*librt.a*)

```
gcc prog1.c -o prog1 -lrt -Wall
```



FEUP

MIEIC  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

## Filas de mensagens

### Primitivas:

```
#include <mqueue.h>
```

```
mqd_t mq_open(char* name, int flags, mode_t mode, struct mq_attr* attrp);
int mq_send(mqd_t mqid, const char* msg, size_t len, unsigned priority);
int mq_receive(mqd_t mqid, char* buf, size_t len, unsigned* prio);
int mq_close(mqd_t mqid);
int mq_notify(mqd_t mqid, const struct mq_sigevent* sigvp);
int mq_getattr(mqd_t mqid, struct mq_attr* attrp);
int mq_setattr(mqd_t mqid, struct mq_attr* attrp, struct mq_attr* oattrp);
```

### LINUX:

- Estas primitivas só estão disponíveis a partir da versão 2.6.6-rc1 do *kernel* do Linux, precisando ainda, para funcionamento correcto, de uma *user-space library*
- O comando `uname -r` permite saber qual a versão do *kernel*



FEUP

MIEIC

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

## Semáforos

A norma POSIX suporta 2 tipos de semáforos:

- semáforos com nome (*named semaphores*)
  - podem ser partilhados por vários processos
- semáforos sem nome (*unnamed semaphores*)
  - podem ser partilhados por vários processos que têm acesso a memória comum; para isso, o objecto semáforo tem de ser criado em memória partilhada

### named semaphores

```
sem_open()
```

### unnamed semaphores

```
sem_init()
```

```
sem_wait()
sem_trywait()
sem_post()
sem_getvalue()
```

```
sem_close()
sem_unlink
```

```
sem_destroy()
```



FEUP

MIEIC

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

## Semáforos

### Primitivas:

```
#include <semaphore.h>

sem_t* sem_open(char* name, int flags, mode_t mode, unsigned value);

int sem_unlink(char* name);

int sem_init(sem_t* sem, int pshared, unsigned value);

int sem_close(sem_t* sem);

int sem_destroy(sem_t* sem);

int sem_getvalue(sem_t* sem, int* sval);

int sem_wait(sem_t* sem);

int sem_trywait(sem_t* sem);

int sem_post(sem_t* sem);
```

#### NOTA:

name deve ser da forma /some\_name  
com "/" no início



FEUP

MIEIC

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

## Semáforos

**PRODUTOR-  
-CONSUMIDOR**  
com *buffer* de  
tamanho 1



```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <pthread.h>
#include <semaphore.h>
#define SHARED 0 /* sem. is shared between threads */

void *Producer(void *); /* the two threads */
void *Consumer(void *);

sem_t empty, full; /* the global semaphores */
int data; /* shared buffer */
int numIters;

int main(int argc, char *argv[]) {
    pthread_t pid, cid;
    numIters = atoi(argv[1]);
    sem_init(&empty, SHARED, 1); /* sem empty = 1 */
    sem_init(&full, SHARED, 0); /* sem full = 0 */

    printf("Main started.\n");
    pthread_create(&pid, NULL, producer, NULL);
    pthread_create(&cid, NULL, consumer, NULL);
    pthread_join(pid, NULL);
    pthread_join(cid, NULL);
    printf("Main done.\n");
    return 0;
}
```



FEUP

MIEIC

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

```
/* Put items (1, ..., numItems) into the data buffer and sum them */
void *producer(void *arg) {
    int total=0, produced;
    printf("Producer running\n");
    for (produced = 1; produced <= numItems; produced++) {
        sem_wait(&empty);
        data = produced;
        total = total+data;
        sem_post(&full);
    }
    printf("Producer: total produced is %d\n",total);
    return NULL;
}

/* Get values from the data buffer and sum them */
void *consumer(void *arg) {
    int total = 0, consumed;
    printf("Consumer running\n");
    for (consumed = 1; consumed <= numItems; consumed++) {
        sem_wait(&full);
        total = total+data;
        sem_post(&empty);
    }
    printf("Consumer: total consumed is %d\n",total);
    return NULL;
}
```

```
> gcc pc.c -o pc -lpthread -lrt -Wall
> ./pc 20
Main started.
Producer running
Consumer running
Producer: total produced is 210
Consumer: total consumed is 210
Main done.
```



FEUP

MIEIC  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

## Memória partilhada

### Primitivas:

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

int shm_open(const char *name, int oflag, mode_t mode);
int shm_unlink(const char *name);
```

### NOTA:

- `shm_open()` não permite especificar o tamanho da região de memória partilhada
- o tamanho tem de ser especificado numa chamada `ftruncate()` subsequente
- para juntar e retirar a região de mem. partilhada do espaço de endereçamento de um processo é necessário usar as chamadas `mmap()` e `munmap()`



FEUP

MIEIC  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

## Memória partilhada

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

int      ftruncate(int fd, off_t length);

#include <sys/mman.h>

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

int      munmap(void *start, size_t length);
```



FEUP

MIEIC  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

## Exemplo

```
// POSIX shared memory & semaphore - usage example
// writer.c
// Program that writes a digit sequence in shared memory
// and waits for a reader (reader.c) to read it
// The reader must write an '*'
// at the beginning of the shared memory region
// for signaling the writer that the shared memory can be removed
// (another semaphore could have been used instead)
// JAS
// gcc writer.c -lrt -Wall -o writer

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <fcntl.h> // For O_* constants
#include <semaphore.h>
#include <sys/mman.h>
#include <sys/types.h>

#define SHM_SIZE 10

//names should begin with '/'
char SEM_NAME[] = "/sem1";
char SHM_NAME[] = "/shm1";

int main()
{
    int shmfd;
    char *shm, *s;
    sem_t *sem;
    int i, n;
    long int sum = 0;
```

Utilizando mem. partilhada  
e  
semáforo(s)  
para comunicação entre  
dois processos

**ESCRITOR**

```
//create the shared memory region
shmfd = shm_open(SHM_NAME,O_CREAT|O_RDWR,0600);
if(shmfd<0)
{ ... }
if (ftruncate(shmfd,SHM_SIZE) < 0)
{ ... }
//attach this region to virtual memory
shm = (char *) mmap(0,SHM_SIZE,PROT_READ|PROT_WRITE,MAP_SHARED,shmfd,0);
if(shm == MAP_FAILED)
{ ... }

//create & initialize semaphore
sem = sem_open(SEM_NAME,O_CREAT,0600,0);
if(sem == SEM_FAILED)
{ ... }
```

CONT →

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

```
//write into shared memory region
s = shm;
for(i=0; i<SHM_SIZE-1; i++)
{
    n = i % 10; sum = sum + n;
    *s++ = (char) ('0' + n);
}
*s = (char) 0;

printf("sum = %ld\n", sum);

sem_post(sem);
```

```
//this loop could be replaced by semaphore use
//TO DO by students

printf("Busy waiting for 'reader' to read shared
memory ...\n");
while(*shm != '**')
{
    sleep(1);
}

//close and remove shared memory region and semaphore
sem_close(sem);
sem_unlink(SEM_NAME);

if (munmap(shm, SHM_SIZE) < 0)
{ ... }
if (shm_unlink(SHM_NAME) < 0)
{ ... }

exit(0);
}
```



FEUP

MIEIC

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

## Exemplo

```
// POSIX shared memory & semaphore - usage example
// reader.c
// Program that reads a digit sequence
// written in shared memory by a writer (writer.c)
// After reading, this program writes an '**'
// at the beginning of the shared memory region
// signaling to the writer that the region can be removed
// (another semaphore could have been used instead)
// JAS
// gcc reader.c -lrt -Wall -o reader
```

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <fcntl.h> // For O_* constants
#include <semaphore.h>
#include <sys/mman.h>
#include <sys/mman.h>
#include <sys/types.h>

#define SHM_SIZE 10

//names should begin with '/'
char SEM_NAME[] = "/sem1";
char SHM_NAME[] = "/shm1";
```

```
int main()
{
    int shmfd;
    char *shm, *s, ch;
    sem_t *sem;
    long int sum = 0;
```

```
//open the shared memory region
shmfd = shm_open(SHM_NAME, O_RDWR, 0600);
if (shmfd < 0)
{ ... }

//attach this region to virtual memory
shm = (char *) mmap(0, SHM_SIZE, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_SHARED, shmfd, 0);
if (shm == MAP_FAILED)
{ ... }

//open existing semaphore
sem = sem_open(SEM_NAME, 0, 0600, 0);
if (sem == SEM_FAILED)
{ ... }

//wait for writer to stop writing
sem_wait(sem);
```

Utilizando mem. partilhada  
e  
semáforo(s)  
para comunicação entre  
dois processos

LEITOR

FEUP

CONT →

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

```
//read the message
s = shm;
for (s=shm; *s!=0; s++)
{
    ch = *s;
    putchar(ch);
    sum = sum + (ch - '0');
}
printf("sum = %ld\n", sum);

//once done, signal exiting of reader
//could be replaced by semaphore use (TO DO by students)

*shm = '*';

//close semaphore and unmap shared memory region
sem_close(sem);

if (munmap(shm, SHM_SIZE) < 0)
{ ... }

exit(0);
}
```





## Sincronização de *threads*

A sincronização de *threads* pode ser feita recorrendo a:

- **semáforos** (ver cap. anterior)
- **mutexes**
  - podem ser vistos como semáforos inicializados em 1 servindo fundamentalmente p/ garantir a exclusão mútua de secções críticas
- **condition variables** (variáveis de condição)
  - permitem que um *thread* aceda a uma secção crítica apenas quando se verificar uma determinada condição sem necessidade de ficar a ocupar o processador para testar essa condição; enquanto ela não se verificar o *thread* fica bloqueado

Estes 2 últimos mecanismos de sincronização foram introduzidos pela norma POSIX que definiu a *API* de utilização de *threads*.



## *Mutexes*

Sequência típica de utilização de um *mutex*:

- Criar e inicializar a variável do *mutex*.
- Vários *threads* tentam trancar (*lock*) o *mutex*.
- Só um deles consegue. Esse passa a ser o dono do *mutex*.
- O dono do *mutex* executa as instruções da secção crítica.
- O dono do *mutex* destranca (*unlock*) o *mutex*.
- Outro *thread* adquire o *mutex* e repete o processo.
- ...
- Finalmente, o *mutex* é destruído



## Mutexes - Inicialização

Um *mutex* é uma variável de tipo `pthread_mutex_t`.

Antes de poder ser usado, um *mutex* tem de ser inicializado.

Há 2 formas alternativas de fazer a inicialização.

Inicialização estática, quando a variável é declarada:

```
pthread_mutex_t mymutex = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
```

Inicialização dinâmica, invocando `pthread_mutex_init()`:

```
int pthread_mutex_init ( pthread_mutex_t *mutex,  
                        const pthread_mutexattr_t *attr);
```

`mutex`

- apontador p/ a variável que representa o *mutex*

`attr`

- permite especificar os atributos do *mutex* a criar; ver `pthread_mutexattr_init()`
- se igual a `NULL` é equivalente a inicialização estática (por omissão)



FEUP

MIEIC  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

## Mutexes - Lock e Unlock

```
int pthread_mutex_lock (pthread_mutex_t *mutex);  
int pthread_mutex_trylock (pthread_mutex_t *mutex);  
int pthread_mutex_unlock (pthread_mutex_t *mutex);  
int pthread_mutex_destroy (pthread_mutex_t *mutex);
```

`pthread_mutex_lock`

- tenta adquirir o *mutex*;  
se ele já estiver *locked*, bloqueia o *thread* que executou a chamada  
até que o *mutex* esteja *unlocked*

`pthread_mutex_trylock`

- se o *mutex* ainda não estiver *locked*, faz o *lock*
- se o *mutex* estiver *locked*, não bloqueia o *thread* e retorna `EBUSY`

`pthread_mutex_unlock`

- faz o *unlock* do *mutex*
- retorna erro se o *mutex* já estiver *unlocked*  
ou estiver na posse de outro *thread*  
(NOTA: *lock* e *unlock* de um dado *mutex* têm de ser feitos pelo mesmo *thread*)

`pthread_mutex_destroy`

- destrói o *mutex*



FEUP

MIEIC  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

M  
u  
t  
e  
x  
e  
s

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

#define MAXPOS 10000000 /* nr. max de posições */
#define MAXTHRS 100 /* nr. max de threads */
#define min(a, b) (a)<(b)?(a):(b)
int npos;
pthread_mutex_t mut=PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER; /* mutex para a sec.crit. */
int buf[MAXPOS], pos=0, val=0; /* variáveis partilhadas */

void *fill(void *);
void *verify(void *);

int main(int argc, char *argv[]) {
    int k, nthr, count[MAXTHRS]; /* array para contagens */
    pthread_t tidf[MAXTHRS], tidv; /* tid's dos threads */
    if (argc != 3) {
        printf("Usage: fillver <nr_pos> <nr_thrs>\n");
        return 1;
    }
    npos = min(atoi(argv[1]), MAXPOS); /* nr. efectivo de posições */
    nthr = min(atoi(argv[2]), MAXTHRS); /* nr. efectivo de threads */
    for (k=0; k<nthr; k++) {
        count[k] = 0; /* criação dos threads fill() */
        pthread_create(&tidf[k], NULL, fill, &count[k]);
    }
    for (k=0; k<nthr; k++) {
        pthread_join(tidf[k], NULL); /* espera pelos threads fill() */
        printf("count[%d] = %d\n", k, count[k]);
    }
    pthread_create(&tidv, NULL, verify, NULL);
    pthread_join(tidv, NULL); /* thread-verificador */
    return 0;
}
```

continua

```
void *fill(void *nr)
{
    while (1) {
        pthread_mutex_lock(&mut);
        if (pos >= npos) {
            pthread_mutex_unlock(&mut);
            return NULL;
        }
        buf[pos] = val;
        pos++; val++;
        pthread_mutex_unlock(&mut);
        *(int *)nr += 1;
    }
}

void *verify(void *arg)
{
    int k;
    for (k=0; k<npos; k++)
        if (buf[k] != k) /* detecta valores errados */
            printf("buf[%d] = %d\n", k, buf[k]);
    return NULL;
}
```

```
> fillver 10000000 5
count[0] = 2802585
count[1] = 2469019
count[2] = 1361699
count[3] = 1765168
count[4] = 1601529
```



FEUP

MIEIC

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

## Condition variables

- **Mutexes**
  - permitem a sincronização no acesso aos dados
  - são usados para trancar (*lock*) o acesso
- **Condition variables**
  - permitem a sincronização com base no valor dos dados
  - são usadas para esperar

Sem *condition variables*,  
um programa que quisesse esperar que uma certa condição se verificasse teria de estar continuamente a testar (possivelmente numa secção crítica)  
o valor da condição (*polling*), consumindo, assim, tempo de processador.

As *condition variables*  
permitem fazer este teste sem *busy-waiting*.

Uma *condition variable* é sempre usada conjuntamente com um *mutex*.



FEUP

MIEIC  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Espera pela condição ( $x == y$ ) em *busy-waiting*:

```
...  
while (1) {  
    pthread_mutex_lock(&mut);  
    if (x == y)  
        break;  
    pthread_mutex_unlock(&mut);  
}  
  
/* ...  
   SECÇÃO CRÍTICA  
   ...  
*/  
  
pthread_mutex_unlock(&mut);  
...
```



FEUP

MIEIC  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

**Espera pela condição ( $x == y$ ) usando variáveis de condição:***Thread A*

```
...
pthread_mutex_lock(&mut);
while (x != y)
    pthread_cond_wait(&var,&mut);

/* SECÇÃO CRÍTICA */
pthread_mutex_unlock(&mut);
...
```

*Thread B*

```
...
pthread_mutex_lock(&mut);

/* MODIFICA O VALOR DE x E/OU y */
pthread_cond_signal(&var);
pthread_mutex_unlock(&mut);
...
```

Se ( $x != y$ ) `pthread_cond_wait` bloqueia o *thread A* e simultaneamente (de forma indivisível) liberta o *mutex* `mut`.

Quando a *thread B* sinalizar a variável de condição `var`, o *thread A* é desbloqueado; `pthread_cond_wait()` só retorna depois de *A* ter readquirido o *mutex* `mut`, tendo, para isso, de "competir" com outras *threads* que necessitem do *mutex*.

Quando a *thread A* readquirir o *mutex* isso não significa que a condição ( $x==y$ , neste caso) ainda seja verdadeira. Daí a necessidade do ciclo `while`, na *thread A*.



FEUP

MIEIC  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

***Condition variables* - Inicialização**

Uma *condition variable* é uma variável de tipo `pthread_cond_t`.

Antes de poder ser usada, uma *condition variable* tem de ser inicializada e tem de ser criado um *mutex* associado.

Inicialização estática, quando a variável é declarada:

```
pthread_cond_t mycondvar = PTHREAD_COND_INITIALIZER;
```

Inicialização dinâmica, invocando `pthread_cond_init()`:

```
int pthread_cond_init ( pthread_cond_t *cvar,
                      const pthread_condattr_t *attr);
```

`cvar`

- apontador p/ a *condition variable*

`attr`

- permite especificar os atributos do *condition variable* a criar;  
ver `pthread_condattr_xxx()`
- se igual a `NULL` é equivalente a inicialização estática (por defeito)



FEUP

MIEIC  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

## Condition variables - wait e signal

```
int pthread_cond_wait (pthread_cond_t *cvar, pthread_mutex_t *mutex);
int pthread_cond_signal (pthread_cond_t *cvar);
int pthread_cond_broadcast (pthread_cond_t *cvar);
int pthread_cond_destroy (pthread_cond_t *cvar);
```

### pthread\_cond\_wait

- bloqueia o *thread* que fez a chamada até que a condição especificada seja "assinalada"
- deve ser chamada após `pthread_mutex_lock()`
- durante o bloqueio o *mutex* é libertado

### pthread\_cond\_signal

- usada para "assinalar" ou "acordar" outro *thread* (MANUAL: "desbloqueia pelo menos 1 *thread*") que está à espera da condição

### pthread\_cond\_broadcast

- desbloqueia todos os *threads* que nesse momento estiverem bloqueados na variável cvar (os *threads* desbloqueados "lutarão" pela aquisição do *mutex* de acordo com a política de escalonamento, como se cada um tivesse executado `pthread_mutex_lock()`; prosseguirá o que obtiver o *mutex*)

### pthread\_cond\_destroy

- destrói a *condition variable*

**NOTA:** `pthread_cond_signal` e `pthread_cond_broadcast` não têm qualquer efeito se não houver processos bloqueados em *cvar*



FEUP

MIEIC  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

## Condition variables

```
int x = 0, y = 10;
pthread_mutex_t mut = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
pthread_cond_t cvar = PTHREAD_COND_INITIALIZER;
```

```
void *test(void *a)
{
    while (1) {
        pthread_mutex_lock(&mut);
        while (x != y)
            pthread_cond_wait(&cvar, &mut);
        printf("x = y = %d\n", x);
        x = 0;
        y = y + 10;
        pthread_mutex_unlock(&mut);
    }
}
```

```
void *incr(void *a)
{
    while (1) {
        pthread_mutex_lock(&mut);
        x = x + 1;
        if (x == y)
            pthread_cond_signal(&cvar);
        pthread_mutex_unlock(&mut);
    }
}
```



FEUP

MIEIC  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

## Condition variables

### Problema do PRODUTOR-CONSUMIDOR

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <pthread.h>
```

```
#define BUFSIZE 8
#define NUMITEMS 100
```

```
int buffer[BUFSIZE];
int bufin = 0;
int bufout = 0;
int items = 0;
int slots = 0;
```

```
pthread_mutex_t
buffer_lock = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
int sum = 0;
pthread_cond_t slots_cond = PTHREAD_COND_INITIALIZER;
pthread_cond_t items_cond = PTHREAD_COND_INITIALIZER;
pthread_mutex_t slots_lock = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
pthread_mutex_t items_lock = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
```

```
int main(void){
    pthread_t prodtid, constid;
    int i, total;
    slots = BUFSIZE;
    total = 0;
    for (i = 1; i <= NUMITEMS; i++)
        total += i;
    printf("The checksum is %d\n", total);
    if (pthread_create(&constid, NULL, consumer, NULL)){
        perror("Could not create consumer");
        exit(EXIT_FAILURE);
    }
    if (pthread_create(&prodtid, NULL, producer, NULL)){
        perror("Could not create producer");
        exit(EXIT_FAILURE);
    }
    pthread_join(prodtid, NULL);
    pthread_join(constid, NULL);
    printf("The threads produced the sum %d\n", sum);
    exit(EXIT_SUCCESS); //EXIT_SUCCESS e EXIT_FAILURE <- stdlib.h
}
```

continua

FEUP

MIEIC  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

```
void put_item(int item){
    pthread_mutex_lock(&buffer_lock);
    buffer[bufin] = item;
    bufin = (bufin + 1) % BUFSIZE;
    pthread_mutex_unlock(&buffer_lock);
    return;
}
```

```
void get_item(int *itemp){
    pthread_mutex_lock(&buffer_lock);
    *itemp = buffer[bufout];
    bufout = (bufout + 1) % BUFSIZE;
    pthread_mutex_unlock(&buffer_lock);
    return;
}
```

```
void *producer(void * arg1){
    int i;
    for (i = 1; i <= NUMITEMS; i++) {
        /* acquire right to a slot */
        pthread_mutex_lock(&slots_lock);
        while (!(slots > 0))
            pthread_cond_wait(&slots_cond, &slots_lock);
        slots--;
        pthread_mutex_unlock(&slots_lock);
        put_item(i);
        /* release right to an item */
        pthread_mutex_lock(&items_lock);
        items++;
        pthread_cond_signal(&items_cond);
        pthread_mutex_unlock(&items_lock);
    }
    pthread_exit(NULL);
}
```

```
void *consumer(void *arg2){
    int myitem;
    int i;
    for (i = 1; i <= NUMITEMS; i++) {
        pthread_mutex_lock(&items_lock);
        while(!(items > 0))
            pthread_cond_wait(&items_cond, &items_lock);
        items--;
        pthread_mutex_unlock(&items_lock);
        get_item(&myitem);
        sum += myitem;
        pthread_mutex_lock(&slots_lock);
        slots++;
        pthread_cond_signal(&slots_cond);
        pthread_mutex_unlock(&slots_lock);
    }
    pthread_exit(NULL);
}
```

FEUP

The checksum is 5050  
The threads produced the sum 5050

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

## Notas finais

- Os *mutexes* e as *condition variables* poderão ser partilhados entre processos se forem criados em memória partilhada e inicializados com um atributo em que se inclua a propriedade `PTHREAD_PROCESS_SHARED`
- Em Linux os *threads* são implementados através da chamada `clone()` a qual cria um processo-filho do processo que a invocou partilhando parte do contexto do processo-pai.
- As funções invocadas num *thread* têm de ser *thread-safe*
  - » as funções *thread-unsafe* são, tipicamente, funções não reentrantes que guardam resultados em variáveis partilhadas
  - » em Unix, algumas chamadas de sistema que são *thread-unsafe* têm versões *thread-safe* (têm o mesmo nome acrescido de `_r`)

