Sincronização

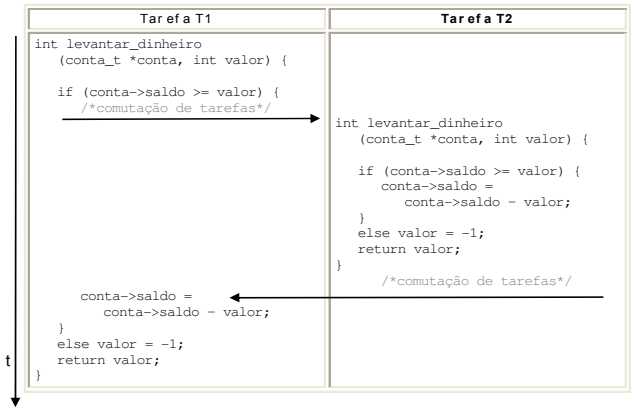
Parte I – Primitivas de Sincronização

Problema da Exclusão Mútua

```
struct {
   int saldo;
   /* outras variáveis,ex. nome do titular, etc. */
} conta_t;

int levantar_dinheiro (conta_t* conta, int valor) {
   if (conta->saldo >= valor)
      conta->saldo = conta->saldo - valor;
   else
      valor = -1; /* -1 indica erro ocorrido */
   return valor;
}
```

- Problema se for multi-tarefa?

Problema da execução concorrente



Os programas em linguagem máquina têm acções mais elementares

;assumindo que a variável conta->saldo está na posição SALDO da memória
;assumindo que variável valor está na posição VALOR da memória

```
mov AX, SALDO ;carrega conteúdo da posição de memória
              ;SALDO para registo geral AX
mov BX, VALOR ;carrega conteúdo da posição de memória
              ;VALOR para registo geral BX
sub  AX, BX   ;efectua subtracção AX = AX - BX
mov SALDO, AX  ;escreve resultado da subtracção na
               ;posição de memória SALDO
```

Secção crítica

Em programação concorrente sempre que se testam ou se modificam estruturas de dados partilhadas é necessário efectuá-lo dentro de uma secção critica.

Secção Crítica

```
int levantar_dinheiro (ref *conta, int valor)
{
  fechar(); /* lock() */
  if (conta->saldo >= valor) {
    conta->saldo = conta->saldo – valor;
  } else valor = -1
  abrir(); /* unlock */
  return valor;
}
```

Secção crítica (executada em exclusão mútua)

Secção Crítica: Propriedades

- Exclusão mútua
- Progresso (liveness)
  - Ausência de interblocagem (deadlock)
  - Ausência de míngua (starvation)

Departamento de Engenharia Informática

Secção Crítica: Implementações

- Algorítmicas
- Hardware
- Sistema Operativo

Proposta #1

```
int trinco = ABERTO;

fechar() {
  while (trinco == FECHADO) ;
  trinco = FECHADO;
}

abrir() {
  trinco = ABERTO;
}
```

Qual a propriedade que não é garantida?

Departamento de Engenharia Informática

Proposta #2

```
int t1_quer_entrar = FALSE, t2_quer_entrar = FALSE;

t1_fechar() {
  while (t2_quer_entrar == TRUE) ;
  t1_quer_entrar = TRUE;
}

t1_abrir() {
  t1_quer_entrar = FALSE;
}

/* t2 -> simetrico */
```

Qual a propriedade que não é garantida?

Proposta #3

```
int t1_quer_entrar = FALSE, t2_quer_entrar = FALSE;

t1_fechar() {
  t1_quer_entrar = TRUE;
  while (t2_quer_entrar == TRUE) ;
}

t1_abrir() {
  t1_quer_entrar = FALSE;
}

/* t2 -> simetrico */
```

Qual a propriedade que não é garantida?

Porque motivo é garantida a exclusão mútua?

Proposta #4

```
int tar_prio = 1;

t1_fechar() {
  tar_prio = 2;
  while (tar_prio == 2) ;
}

t1_abrir() {
}

/* t2 -> simetrico */
```

Qual a propriedade que não é garantida?

Algoritmo Peterson

```
int t1_quer_entrar = FALSE;
int t2_quer_entrar = FALSE;
int tar_prio = 1;
t1_fechar()
{
    t1_quer_entrar = TRUE;
    tar_prio = 2;
    while (t2_quer_entrar &&
           tar_prio == 2)
      ;
}
t1_abrir()
{
    t1_quer_entrar = FALSE;
}
```

```
t2_fechar()
{
    t2_quer_entrar = TRUE;
    tar_prio = 1;
    while (t1_quer_entrar &&
           tar_prio == 1)
      ;
}
t2_abrir()
{
    t2_quer_entrar = FALSE;
}
```

Porque motivo é garantida a ausência de "starvation"?

Algoritmo de Bakery

```
int choosing[N]; // Inicializado a FALSE
int ticket[N];   // Inicializado a 0
fechar(int i)
{
  int j;
  choosing[i] = TRUE;
  ticket[i] = 1 + maxn(ticket);
  choosing[i] = FALSE;

  for (j=0; j<N; j++) {
    if (j==i) continue;
    while (choosing[j]) ;

    while (ticket[j] &&
           ((ticket[i] > ticket[j])||
           (ticket[i] == ticket[j] && i > j)))
      ;
  }
}
abrir(int i)
{
    ticket[i] = 0;
}
```

- Pi inidica que está a escolher a senha
- Escolhe uma senha maior que todas as outras
- Anuncia que escolheu já a senha

- Pi verifica se tem a menor senha de todos os Pjb

- Se Pj estiver a escolher uma senha, espera que termine

- Neste ponto, Pj ou já escolheu uma senha, ou ainda não escolheu
- Se escolheu, Pi vai ver se é menor que a sua
- Se não escolheu, vai ver a de Pi e escolher uma senha maior

- Se o ticket de Pi for menor, Pi entra
- Se os tickets forem iguais, entra o que tiver o menor identificador

Conclusões sobre as Soluções Algorítmicas

- Complexas → Latência
- Só contemplam **espera activa**
- Solução: Introduzir instruções hardware para facilitar a solução

Soluções com suporte do hardware

- Abrir( ) e Fechar( ) usam instruções especiais oferecidas pelos processadores
  - Inibição de interrupções
  - Exchange (xchg no Intel IA)
  - Test-and-set (cmpxchg no Intel IA)

Exclusão mútua com inibição de interrupções

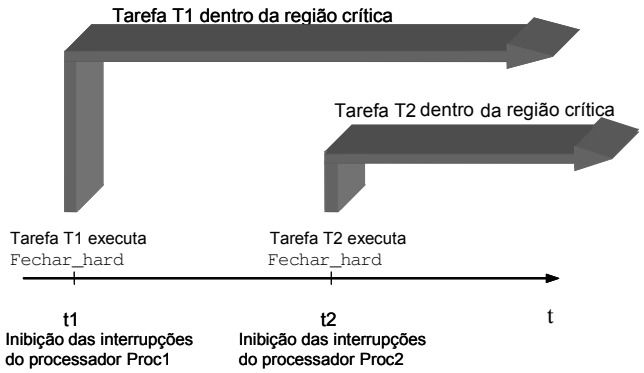
```
int mascara;
```

```
Fechar_hard () {
  mascara = mascarar_int ();
}
```

```
Abrir_hard () {
  repoe_int (mascara);
}
```

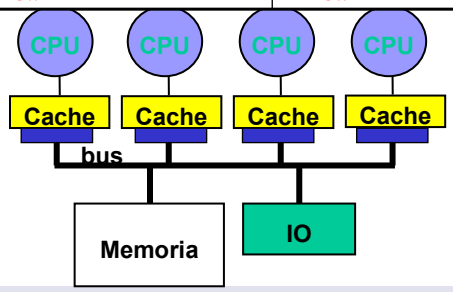
- Este mecanismo só deve ser utilizado dentro do sistema operativo em secções críticas de muito curta duração
  - Inibição das interrupções impede que se executem serviços de sistema (I/O, etc)
  - Se o programa se esquecer de chamar abrir(), as interrupções ficam inibidas e o sistema fica parado
- Não funciona em multiprocessadores

Inibição das interrupções não funciona em multiprocessadores



O problema da atomicidade com multiprocessadores

	P1	P2
Instante 1	P1 inibe as suas interrupções e entra na secção crítica	
Instante 2		P2 inibe as suas interrupções e entra na secção crítica
Instante 3	P1 na secção crítica **ERRO!!**	P2 na secção crítica **ERRO!!**



Exclusão mútua com exchange

```
int trinco = FALSE;

fechar()
{
    li R1, trinco   ;        guarda em R1 o endereço do trinco
    li R2, #1
l1: exch R2, 0(R1);          faz o exchange
    bnez R2, l1     ;        se estava a 0 entra, senão repete
}

abrir()
{
    trinco = FALSE;
}
```

Exclusão mútua com exchange

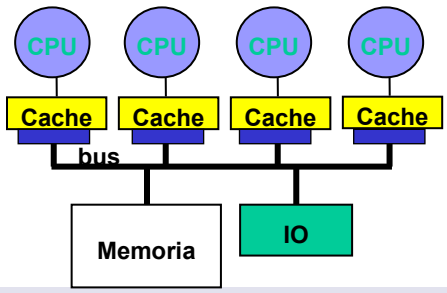
```
int trinco = FALSE;

fechar()
{
    li R1, trinco   ;        guar[illegible] o endereço do trinco
    li R2, #1
l1: exch R2, 0(R1);          faz o exchange
    bnez R2, l1     ;        se estava a 0 entra, senão repete
}

abrir()
{
    trinco = FALSE;
}
```

- O exchange corresponde às seguintes operações **executadas de forma atómica**
  - lw Rt, 0(R1)
  - sw 0(R1), R2
  - mov R2, Rt
- A atomicidade é conseguida mantendo o bus trancado entre o Load e o Store

- R2 contém o valor que estava no trinco
  - Se era 0, o trinco estava livre
    - O processo entra
    - O exchange deixou o trinco trancado
  - Se não era 0, significa que o trinco estava trancado
    - O processo fica em espera activa até que encontre o trinco aberto

Exchange em multiprocessadores

	P1	P2
Instante 1	P1 inicia exchange e tranca o bus	
Instante 2	P1 completa exchange e tranca a secção crítica	P2 tenta fazer exchange mas bloqueia-se a tentar obter o bus
Instante 3	P1 entra secção crítica	P2 verifica que o trinco está trancado e fica em espera activa



Exclusão mútua com test-and-set

```
int trinco = FALSE;

fechar()
{
    li R1, trinco;        guarda em R1 o endereço do trinco
l1: tst R2, 0(R1);        faz o test-and-set
    bnez R2, l1   ;       se não estava set entra, senão repete
}
abrir()
{
trinco = FALSE;
}
```


Exclusão mútua com test-and-set

```
int trinco = FALSE;

fechar()
{
    li R1, trinco;        guarda em R1 o endereço do trinco
l1: tst R2, 0(R1);        faz o test-and-set
    bnez R2, l1   ;       se não estava set entra, senão repete
}
abrir()
{
trinco = FALSE;
}
```

- O test-and-set corresponde às seguintes operações **executadas de forma atómica**
  - lw R2, 0(R1)
  - sw 0(R1), #1
- A atomicidade é conseguida mantendo o bus trancado entre o Load e o Store

- R2 contém o valor que estava no trinco
  - Se era 0, o trinco estava livre
    - O processo entra
    - O test-and-set deixou o trinco trancado
  - Se não era 0, significa que o trinco estava trancado
    - O processo fica em espera activa até que encontre o trinco aberto

Conclusões sobre as Soluções com Suporte do Hardware

- Oferecem os mecanismos básicos para a implementação da exclusão mútua, mas...
- Não podem ser usadas directamente por programas em modo utilizador (ex: inibição de interrupções)
- Só contemplam espera activa

Departamento de Engenharia Informática

Soluções com Suporte do SO

- Primitivas de sincronização são chamadas ao SO
  - Software trap (interrupção SW)
  - Comutação para modo núcleo
  - Estruturas de dados e código de sincronização prentence ao núcleo
  - Usa o suporte de hardware (exch. / test-and-set)
- Veremos duas primitivas de sincronização
  - Trincos
  - Semáforos

Estruturas de dados associados aos Trincos

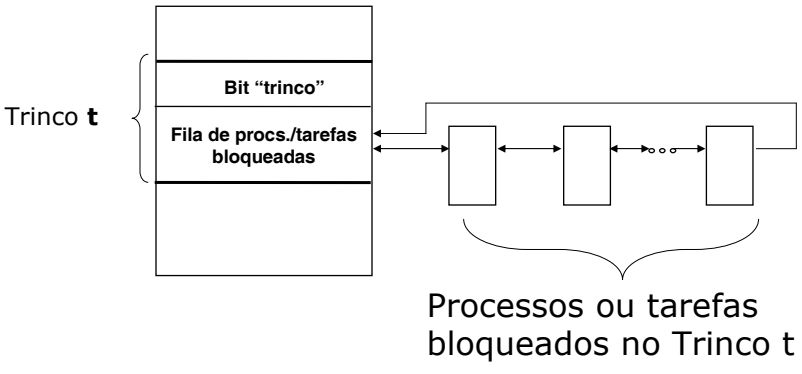
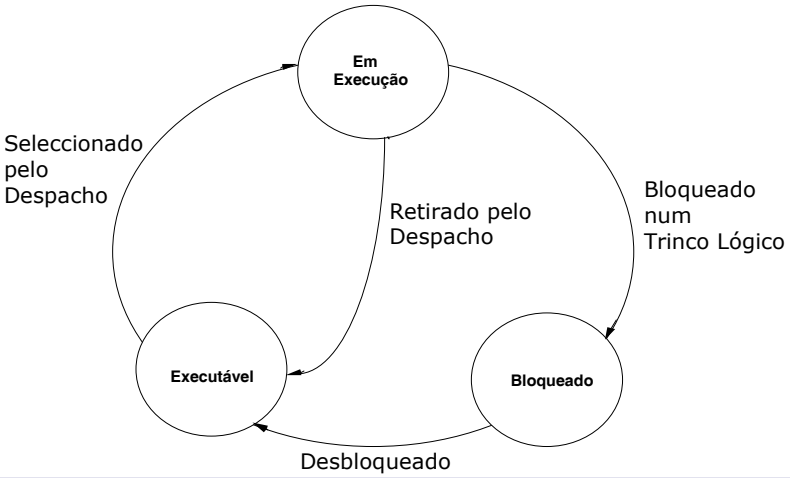


Diagrama de Estado dos Processos / Tarefas



Funções do trinco (*mutex*)

```
t.var=ABERTO; // trinco inicialmente ABERTO
t.numTarefasBloqueadas = 0;

Fechar_mutex (trinco_t t) {

    if (t.var == FECHADO){
        numTarefasBloqueadas++;

        bloqueia_tarefa();
        }
    else {
        t.var = FECHADO;

        }
}
Abrir_mutex (trinco_t t) {

    if (numTarefasBloqueadas > 0)
        {desbloqueia_tarefa();
         numTarefasBloqueadas--;
        }
    else t.var = ABERTO;
```

- Retirar tarefa de execução
- Salvaguardar o seu contexto
- Marcar o seu estado como bloqueada
- Colocar a estrutura de dados que descreve a tarefa na fila de espera associada ao trinco
- Invocar o algoritmo de escalonamento

- Existem tarefas bloqueadas
- Marcar o estado de uma delas como "executável"
- Retirar a estrutura de dados que descreve a tarefa da fila de espera associada ao trinco

- Este programa concorrente está errado!
- É necessário assegurar que variáveis partilhadas são acedidas em exclusão mútua

Departamento de Engenharia Informática

Funções do trinco (*mutex*)

```
trinco_t = t;
t.var=ABERTO; // trinco inicialmente ABERTO
t.numTarefasBloqueadas = 0;

Fechar_mutex (trinco_t t) {
    Fechar_hard(t);
    if (t.var == FECHADO){
        numTarefasBloqueadas++;
        Abrir_hard(t);
        bloqueia_tarefa();
        }
    else {
        t.var = FECHADO;
        Abrir_hard(t);
        }
}
Abrir_mutex (trinco_t t) {
    Fechar_hard(t);
    if (numTarefasBloqueadas > 0)
        {desbloqueia_tarefa();
         numTarefasBloqueadas--;
        }
    else t.var = ABERTO;
    Abrir_hard(t)
}
```

- É necessário assegurar exclusão mútua no acesso aos atributos do trinco

Qual a diferença entre a exclusão mútua no acesso aos atributos do trinco e a exclusão mútua que o trinco assegura?

Alocador de memória – exemplo de programação concorrente

```
#define MAX_PILHA 100
char* pilha[MAX_PILHA];
int topo = MAX_PILHA-1;

char* PedeMem() {
 ptr = pilha[topo];
 topo--;
 return ptr;
}

void DevolveMem(char* ptr) {
 topo++;
 pilha[topo]= ptr;
}
```

O programa está errado porque as estruturas de dados não são actualizadas de forma atómica

Alocador de Memória com secção crítica

```
#define MAX_PILHA 100
char* pilha[MAX_PILHA];
int topo = MAX_PILHA-1;
trinco_t t = ABERTO;

char* PedeMem() {
  Fechar_mutex(mutex);
  ptr = pilha[topo];
  topo--;
  Abrir_mutex(mutex);
  return ptr;
}

void DevolveMem(char* ptr) {
  Fechar_mutex(mutex);
  topo++;
  pilha[topo]= ptr;
  Abrir_mutex(mutex);
}
```

Um trinco é criado sempre no estado ABERTO

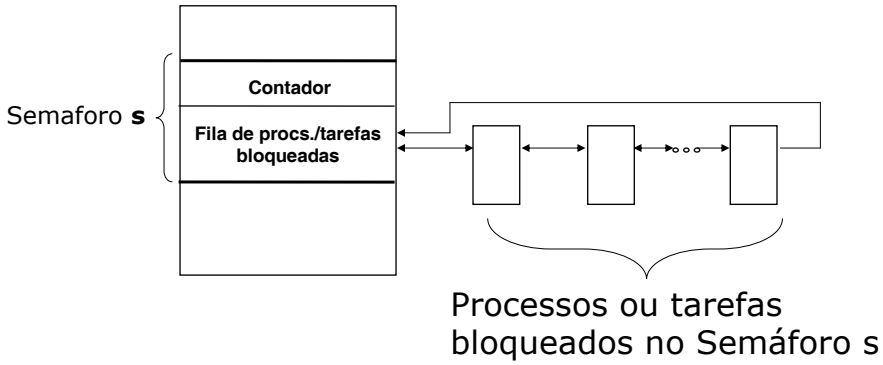
No início da secção crítica, os processos têm que chamar **Fechar_mutex**
Se o trinco estiver FECHADO, o processo espera que o processo abandone a secção crítica. Se estiver ABERTO, passa-o ao estado FECHADO. Estas operações executam-se **atomicamente**.

No fim da secção crítica, os processos têm que chamar **abrir_mutex**
Passa o trinco para o estado ABERTOou desbloqueia um processo que esteja à sua espera de entrar na secção crítica

Trincos – Limitações

- Trincos não são suficientemente expressivos para resolver alguns problemas de sincronização
  - Ex: Bloquear tarefas se a pilha estiver cheia
  - Necessário um "contador de recursos" → só bloqueia se o número de pedidos exceder um limite

Semáforos



- Nunca fazer paralelo com semáforo de trânsito

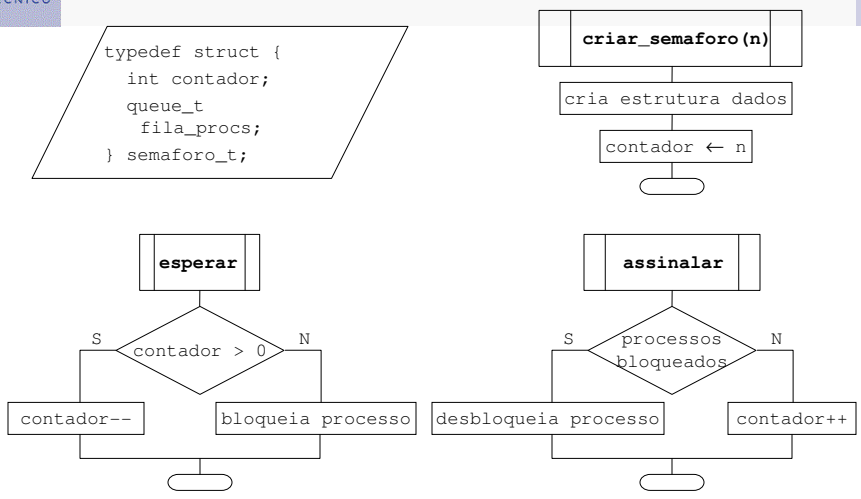
Semáforos: Primitivas

- `s = criar_semaforo(num_unidades)`
  - cria um semáforo e inicializa o contador
- `esperar(s)`
  - bloqueia o processo se o contador for menor ou igual a zero; senão decrementa o contador
- `assinalar(s)`
  - se houver processos bloqueados, liberta um; senão, incrementa o contador

- Todas as primitivas se executam atomicamente
- `esperar()` e `assinalar()` podem ser chamadas por processos diferentes.

Departamento de Engenharia Informática

Semáforos: Primitivas



Semáforos (exemplo)

Alocador de memória com O semáforo SemMem a controlar a existência de memória livre

```
#define MAX_PILHA 100
char* pilha[MAX_PILHA];
int topo = MAX_PILHA-1;
  semáforo_t SemMem;
  semáforo_t mutex;

char* PedeMem() {
   Esperar(SemMem);
   Esperar(mutex);

   ptr = pilha[topo];
   topo--;
   Assinalar(mutex);
   return ptr;
}

void DevolveMem(char* ptr) {
   Esperar(mutex);
   topo++;
   pilha[topo]= ptr;
   Assinalar(mutex);
   Assinalar(SemMem);
}
```

```
main(){
/*...*/
  semExMut = CriarSemaforo(1);
  semMem = CriarSemaforo(MAX_PILHA);
}
```

O semáforo é inicializado com o valor dos recursos disponíveis

Departamento de Engenharia Informática

Semáforos (exemplo)

Alocador de memória com O semáforo SemMem a controlar a existência de memória livre

```
#define MAX_PILHA 100
char* pilha[MAX_PILHA];
int topo = MAX_PILHA-1;
  semáforo_t SemMem;
  semáforo_t mutex;

char* PedeMem() {
   Esperar(SemMem);
   Esperar(mutex);

   ptr = pilha[topo];
   topo--;
   Assinalar(mutex);
   return ptr;
}

void DevolveMem(char* ptr) {
   Esperar(mutex);
   topo++;
   pilha[topo]= ptr;
   Assinalar(mutex);
   Assinalar(SemMem);
}
```

```
main(){
/*...*/
  semExMut = CriarSemaforo(1);
  semMem = CriarSemaforo(MAX_PILHA);
}
```

Interblocagem
A troca das operações sobre os semáforos cria uma situação de erro

Semáforos: Variantes

- Genérico: `assinalar()` liberta um processo qualquer da fila
- FIFO: `assinalar()` liberta o processo que se bloqueou há mais tempo
- Semáforo com prioridades: o processo especifica em `esperar()` a prioridade, `assinalar()` liberta os processos por ordem de prioridades
- Semáforo com unidades: as primitivas `esperar()` e `assinalar()` permitem especificar o número de unidades a esperar ou assinalar

Interface POSIX: Mutexes

```
int pthread_mutex_init(pthread_mutex_t *mutex,
                       pthread_mutexattr_t *attr);
int pthread_mutex_lock(pthread_mutex_t *mutex);
int pthread_mutex_unlock(pthread_mutex_t *mutex);
int pthread_mutex_trylock(pthread_mutex_t *mutex);
int pthread_mutex_timedlock(pthread_mutex_t *mutex,
                            const struct timespec *timeout);
```

Exemplo:

```
pthread_mutex_t count_lock;

pthread_mutex_init(&count_lock, NULL);
pthread_mutex_lock(&count_lock);
count++;
pthread_mutex_unlock(&count_lock);
```

```
#include <stdio.h>
#include <pthread.h>
#define MAX_PILHA 100
char * pilha[MAX_PILHA];
int topo = MAX_PILHA-1;
pthread_mutex_t semExtMut; /* semáforo exclusão mútua */

char* PedeMem()
{
  char* ptr;

  pthread_mutex_lock(&semExtMut);
  if (topo >= 0) { /* verificar se há memória livre */
    ptr = pilha[topo]; /* devolve bloco livre */
  topo--;
  }
  else {ptr = NULL /* indica erro */}
  pthread_mutex_unlock(&semExtMut);
  return ptr;
}
void DevolveMem(char * ptr)
{
  pthread_mutex_lock(&semExtMut);
  topo++;
  pilha[topo] = ptr;
  pthread_mutex_unlock(&semExtMut);
}
int main(int argc, char *argv[]) {
  pthread_mutex_init(&semExtMut, NULL); /* attr default */
  /* programa */
  pthread_mutex_destroy(&semExtMut);
  return 0;
}
```

Alocador com secção critica Programado com mutex da biblioteca Posix

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Interface POSIX: Semáforos

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

Exemplo:

sem_t sharedsem;
sem_init(&sharedsem, 0, 1);
sem_wait(&sharedsem);
count++;
sem_post(&sharedsem);
```