Laboratório de Pesquisa em Redes e Multimídia

Threads

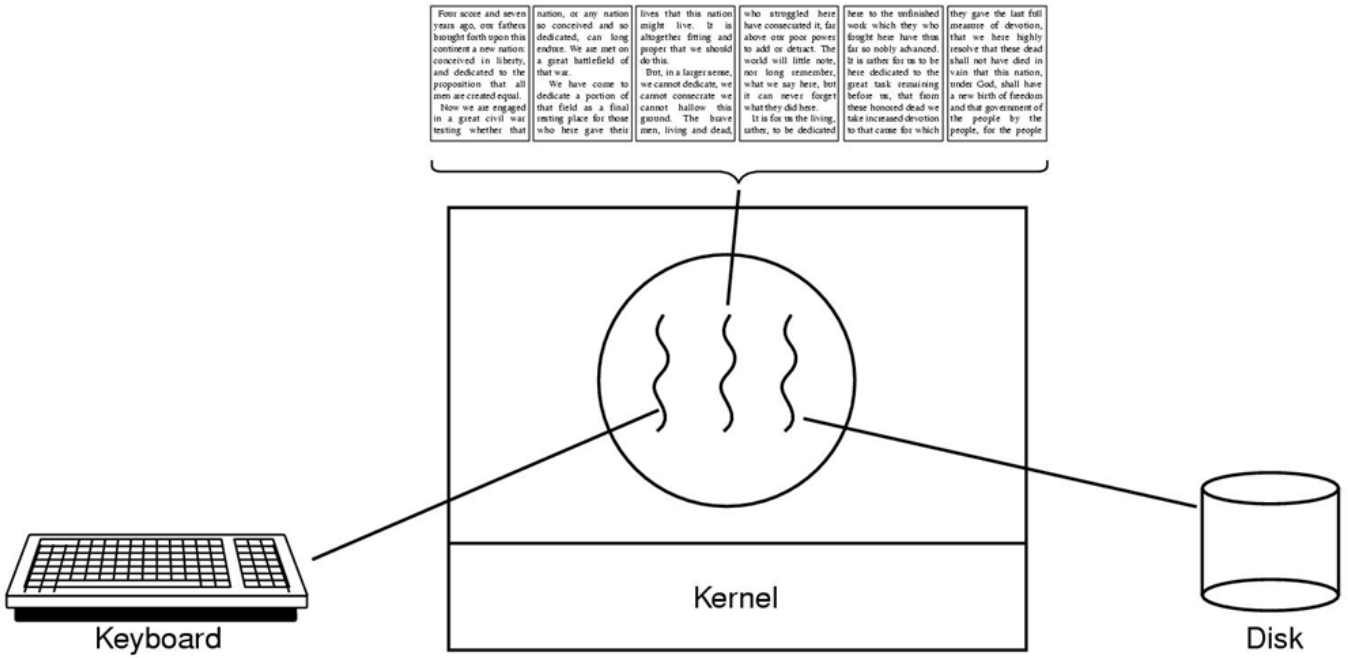
Universidade Federal do Espírito Santo
Departamento de Informática

Fluxos de Execução

- Um programa seqüencial consiste de um único fluxo de execução, o qual realiza uma certa tarefa computacional.
  - A maioria dos programas simples tem essa característica: só possuem um único fluxo de execução. Por conseguinte, não executam dois trechos de código "simultaneamente".
- Grande parte do software de maior complexidade escrito hoje em dia faz uso de mais de uma linha de execução.

Exemplos de Programas MT (1)

- Editor de Texto
  - Permite que o usuário edite o arquivo enquanto ele ainda está sendo carregado do disco.
  - Processamento assíncrono (salvamento periódico).



Exemplos de Programas MT (2)

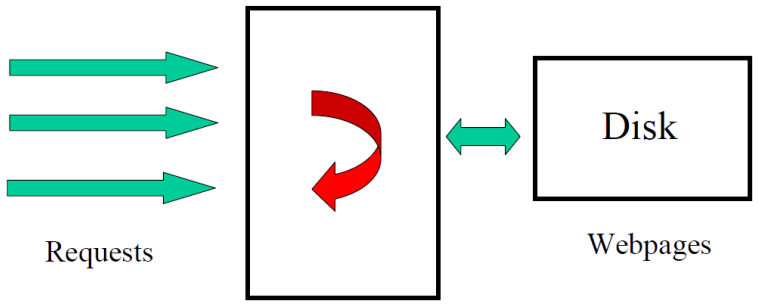
- Navegador (browser)
  - Consegue fazer o *download* de vários arquivos ao mesmo tempo, gerenciando as diferentes velocidades de cada servidor e, ainda assim, permitindo que o usuário continue interagindo, mudando de página enquanto os arquivos estão sendo carregados.
- Programas numéricos (ex: multiplicação de matrizes):
  - Cada elemento da matriz produto pode ser calculado independentemente dos outros; portanto, podem ser facilmente calculados por threads diferentes.

$$\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}\begin{pmatrix} e & f \\ g & h \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a.e+b.g & a.f+b.h \\ c.e+d.g & c.f+d.h \end{pmatrix}$$

Exemplos de Programas MT (3)

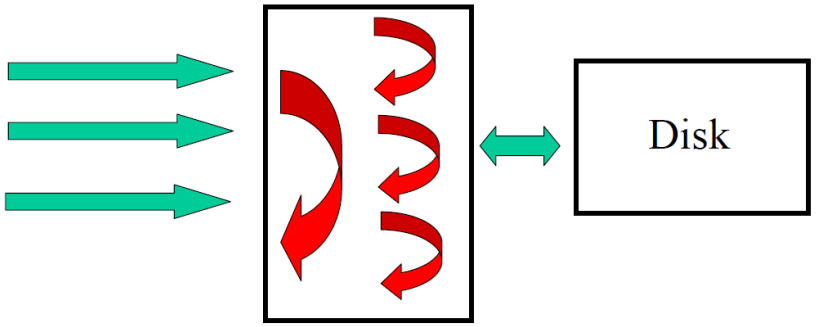
- Servidor Web

Single Threaded Web Server



Cannot overlap Disk I/O with listening for requests

Multi Threaded Web Server



Threads (1)

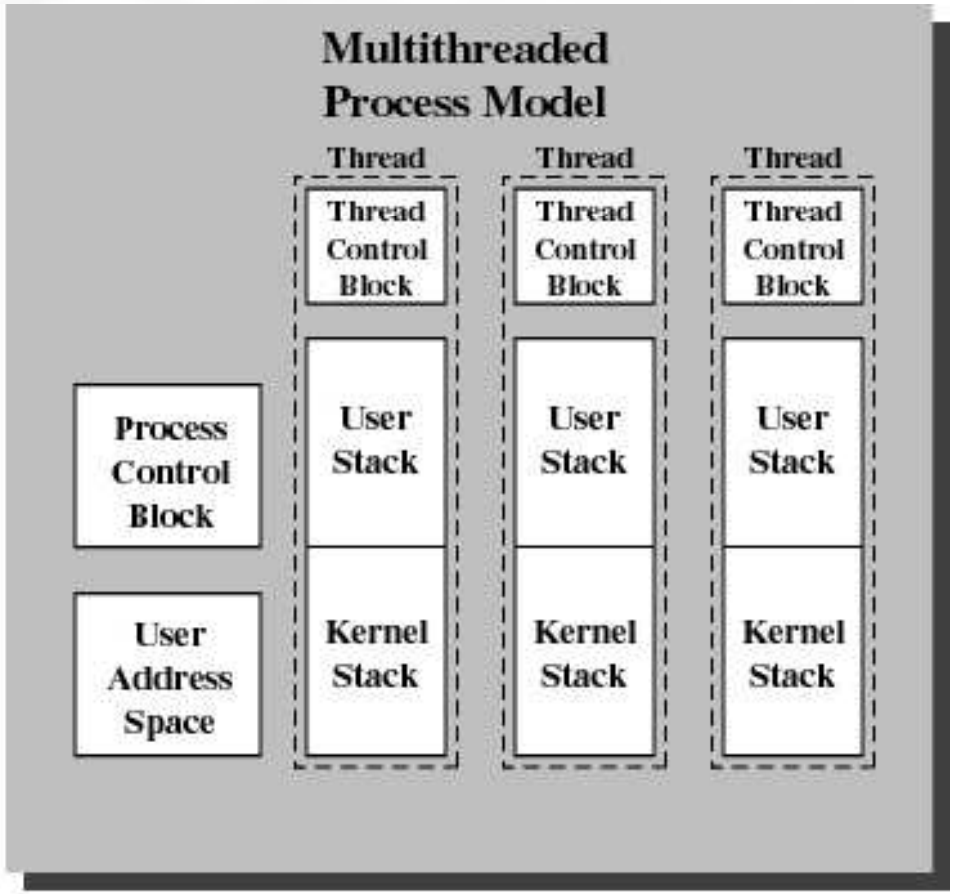
- Thread:
  - Thread = "fluxo", "fio".
  - Fluxo de execução dentro de um processo (seqüência de instruções a serem executadas dentro de um programa).
- Thread é uma abstração que permite que uma aplicação execute mais de um trecho de código simultaneamente. (ex: um método).
  - Processos permitem ao S.O. executar mais de uma aplicação ao mesmo tempo.
- Um programa *multithreading* pode continuar executando e respondendo ao usuário mesmo se parte dele está bloqueada ou executando uma tarefa demorada.

Threads (2)

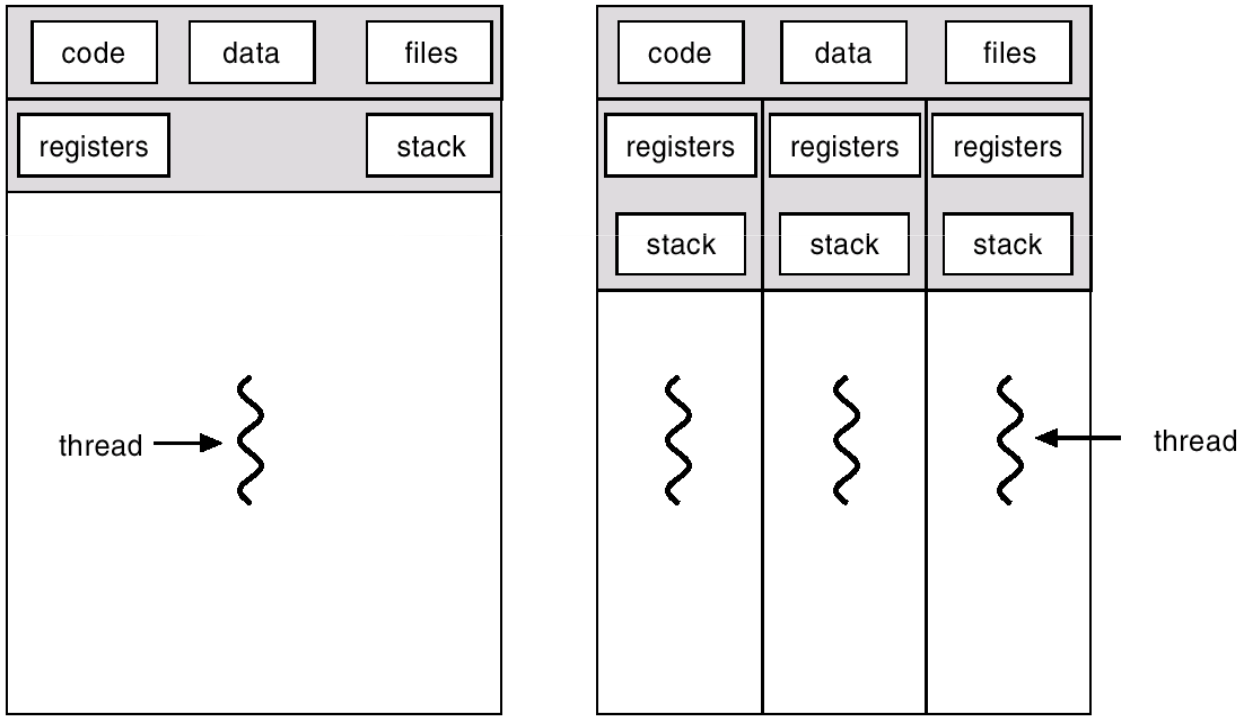
- Uma tabela de *threads*, denominada *Task Control Block,* é mantida para armazenar informações individuais de cada fluxo de execução.
- Cada thread tem a si associada:
  - Thread ID
  - Estado dos registradores, incluindo o PC
  - Endereços da pilha
  - Máscara de sinais
  - Prioridade
  - Variáveis locais e variáveis compartilhadas com as outras *threads*
  - Endereços das *threads* filhas
  - Estado de execução (pronta, bloqueada, executando)

Threads (3)

- Estrutura de um processo com multithreading

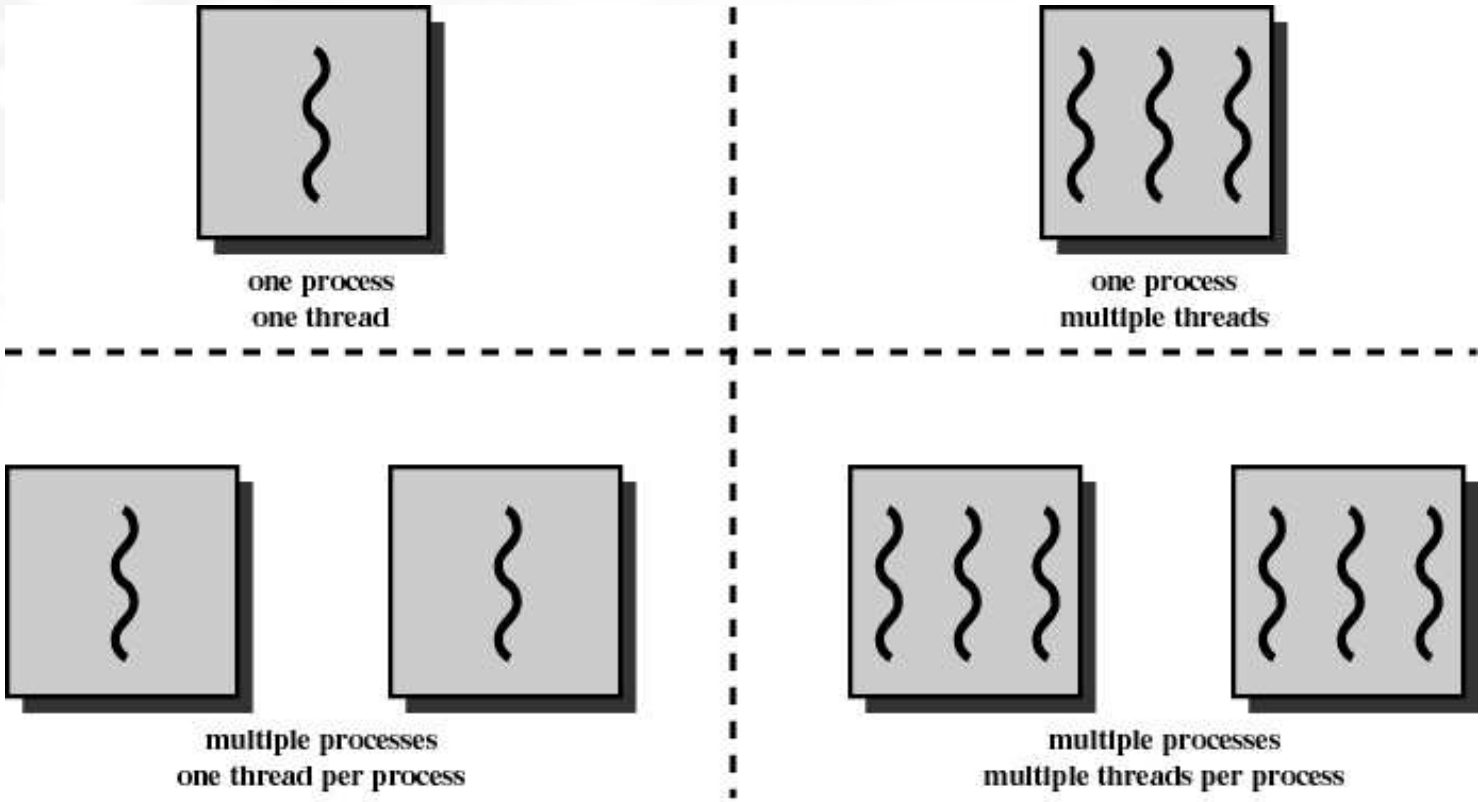


Threads (4)

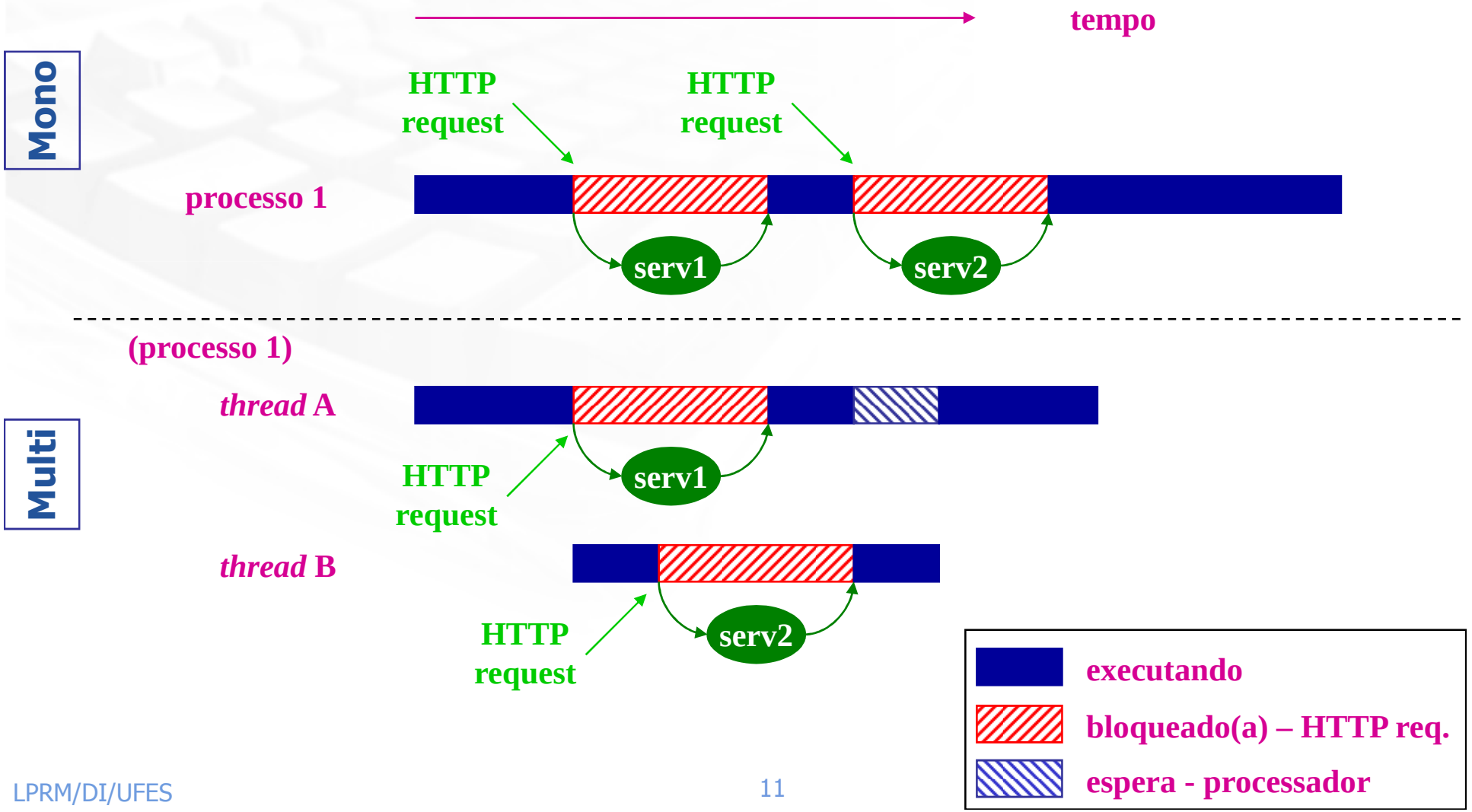

code
data
files
registers
stack
thread
code
data
files
registers
registers
registers
stack
stack
stack
thread

Threads (5)

- Multiprogramação x multithreading



Exemplo


tempo
Mono
HTTP request
HTTP request
processo 1
serv1
serv2
(processo 1)
Multi
thread A
HTTP request
serv1
thread B
HTTP request
serv2
executando
bloqueado(a) – HTTP req.
espera - processador

Threads e Processos (1)

- Existem duas características fundamentais que são usualmente tratadas de forma independente pelo S.O:
  - **Propriedade de recursos** ("*resource ownership*")
    - Trata dos recursos alocados aos processos, e que são necessários para a sua execução.
      - Ex: memória, arquivos, dispositivos de E/S, etc.
  - **Escalonamento** ("*scheduling / dispatching*")
    - Relacionado à unidade de despacho do S.O.
    - Determina o fluxo de execução (trecho de código) que é executado pela CPU.

Threads e Processos (2)

- Tradicionalmente o processo está associado a:
  - um programa em execução
  - um conjunto de recursos
- Em um S.O. que suporta múltiplas threads:
  - Processos estão associados somente à propriedade de recursos
  - *Threads* estão associadas às atividades de execução (ou seja, *threads* constituem as unidades de escalonamento em sistemas *multithreading*).

S.O. Multithreading

- Multithreading refere-se à habilidade do *kernel* do S.O. em suportar múltiplas threads concorrentes em um mesmo processo.
- Exemplos:
  - MS-DOS: suporta uma única *thread*.
  - Unix "standard": suporta múltiplos processos, mas apenas uma *thread* por processo.
  - Windows 2k, Linux, Solaris: suportam múltiplas *threads* por processo.
- Em um ambiente *multithreaded*:
  - processo é a unidade de alocação e proteção de recursos;
  - processo tem um espaço de endereçamento virtual (imagem);
  - processo tem acesso controlado a outros processos, arquivos e outros recursos;
  - *thread* é a unidade de escalonamento;
  - *threads* compartilham o espaço de endereçamento do processo.

Vantagens das Threads sobre Processos (1)

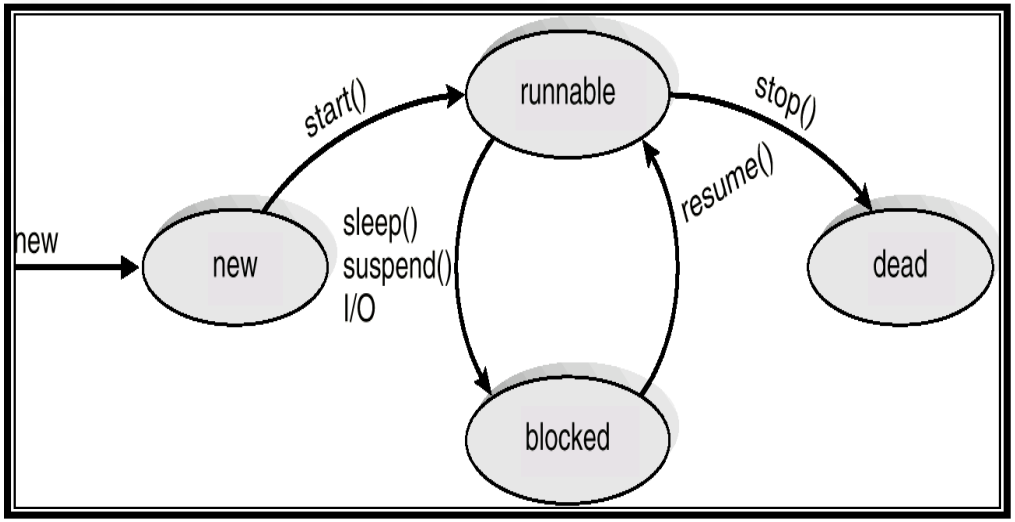
- A criação e terminação de uma *thread* é mais rápida do que a criação e terminação de um processo pois elas não têm quaisquer recursos alocados a elas.
  - (S.O. Solaris) Criação = 30:1
- A comutação de contexto entre *threads* é mais rápida do que entre dois processos, pois elas compartilham os recursos do processo.
  - (S.O. Solaris) Troca de contexto = 5:1
- A comunicação entre *threads* é mais rápida do que a comunicação entre processos, já que elas compartilham o espaço de endereçamento do processo.
  - O uso de variáveis globais compartilhadas pode ser controlado através de primitivas de sincronização (monitores, semáforos, etc).

Vantagens das Threads sobre Processos (2)

- É possível executar em paralelo cada uma das *threads* criadas para um mesmo processo usando diferentes CPUs.
- Primitivas de sinalização de fim de utilização de recurso compartilhado também existem. Estas primitivas permitem "acordar" um ou mais *threads* que estavam bloqueadas.

Estados de uma Thread (1)

- Estados fundamentais: executando, pronta e bloqueada.
- Não faz sentido associar o estado "suspenso" com *threads* porque tais estados são conceitos relacionados a processos (swap in/swap out).



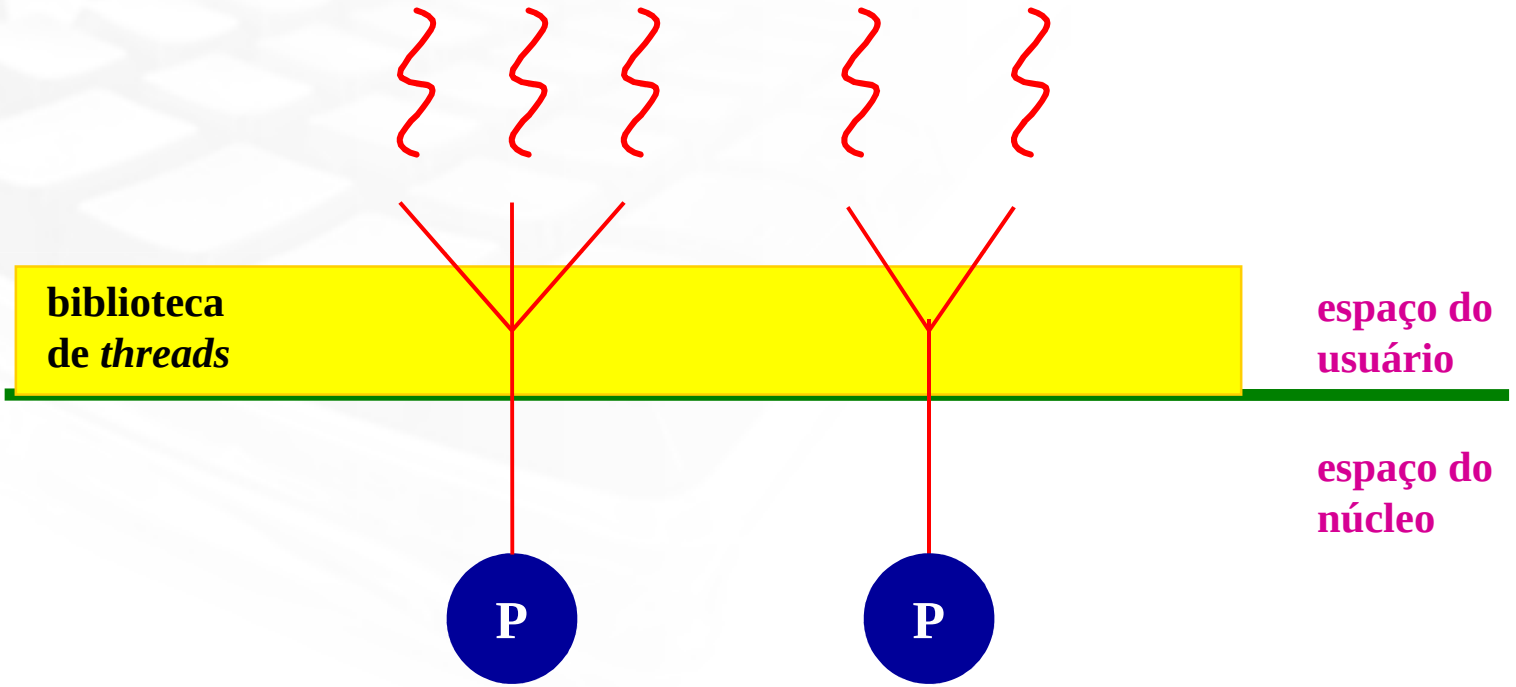
Estados de uma Thread (2)

- O que acontece com as *threads* de um processo quando uma delas bloqueia?
- Suspender um processo implica em suspender todas as *threads* deste processo?
- O término de um processo implica no término de todas as *threads* do processo.

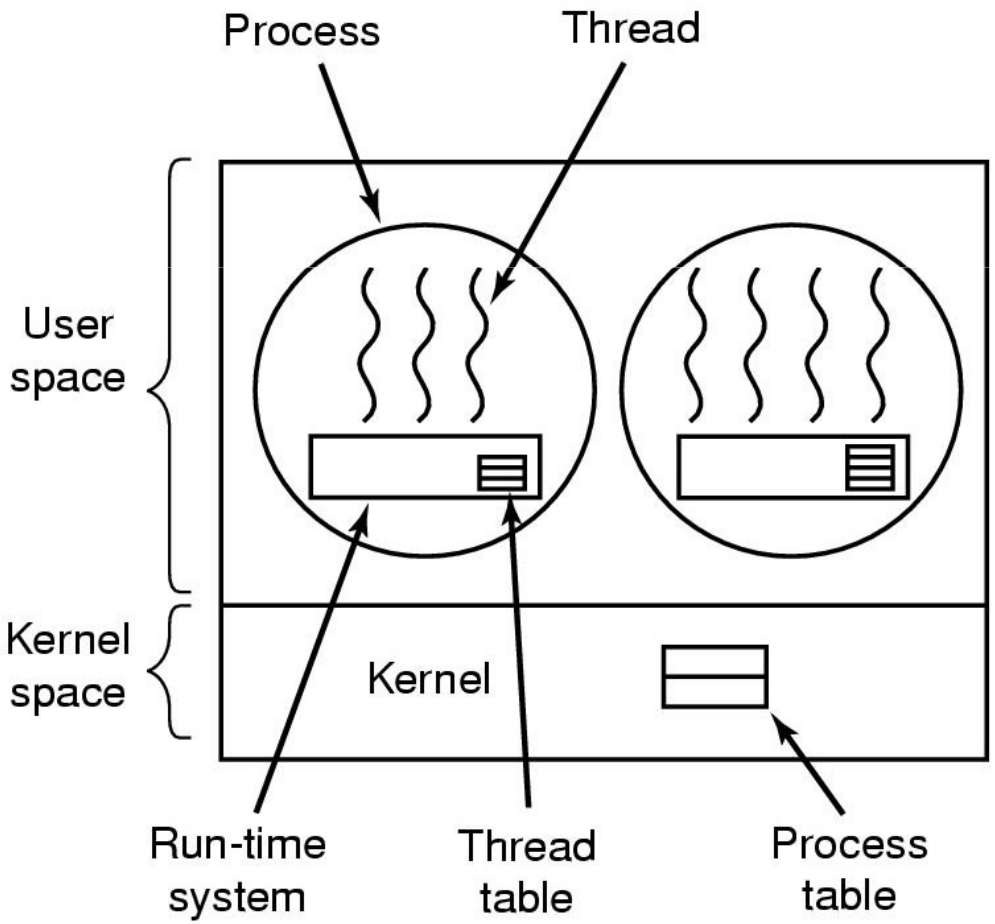
Tipos de Threads

- A implementação de *threads* pode ser feita de diferentes maneiras, sendo as duas principais:
  - *User-level threads (ULT)* – nível de usuário
  - *Kernel-level threads (KLT)* – nível de *kernel*
- A abstração *Lightweight process* (LWP), implementada no S.O. Solaris, será discutida adiante.

User-level Threads - ULT (1)



User-level Threads - ULT (2)



User-level Threads - ULT (3)

- O gerenciamento das *threads* é feito no espaço de endereçamento de usuário, por meio de uma biblioteca de *threads*.
  - A biblioteca de *threads* é um conjunto de funções no nível de aplicação que pode ser compartilhada por todas as aplicações.
- Como o *kernel* desconhece a existência de *threads*, o S.O. não precisa oferecer apoio para *threads.* É, portanto, é mais simples.

User-level Threads - ULT (4)

- A biblioteca de *threads* pode oferecer vários métodos de escalonamento. Assim, a aplicação pode escolher o melhor algoritmo para ela.
- Exemplos:
  - POSIX *Pthreads,* Mach *C-threads* e Solaris *threads*.

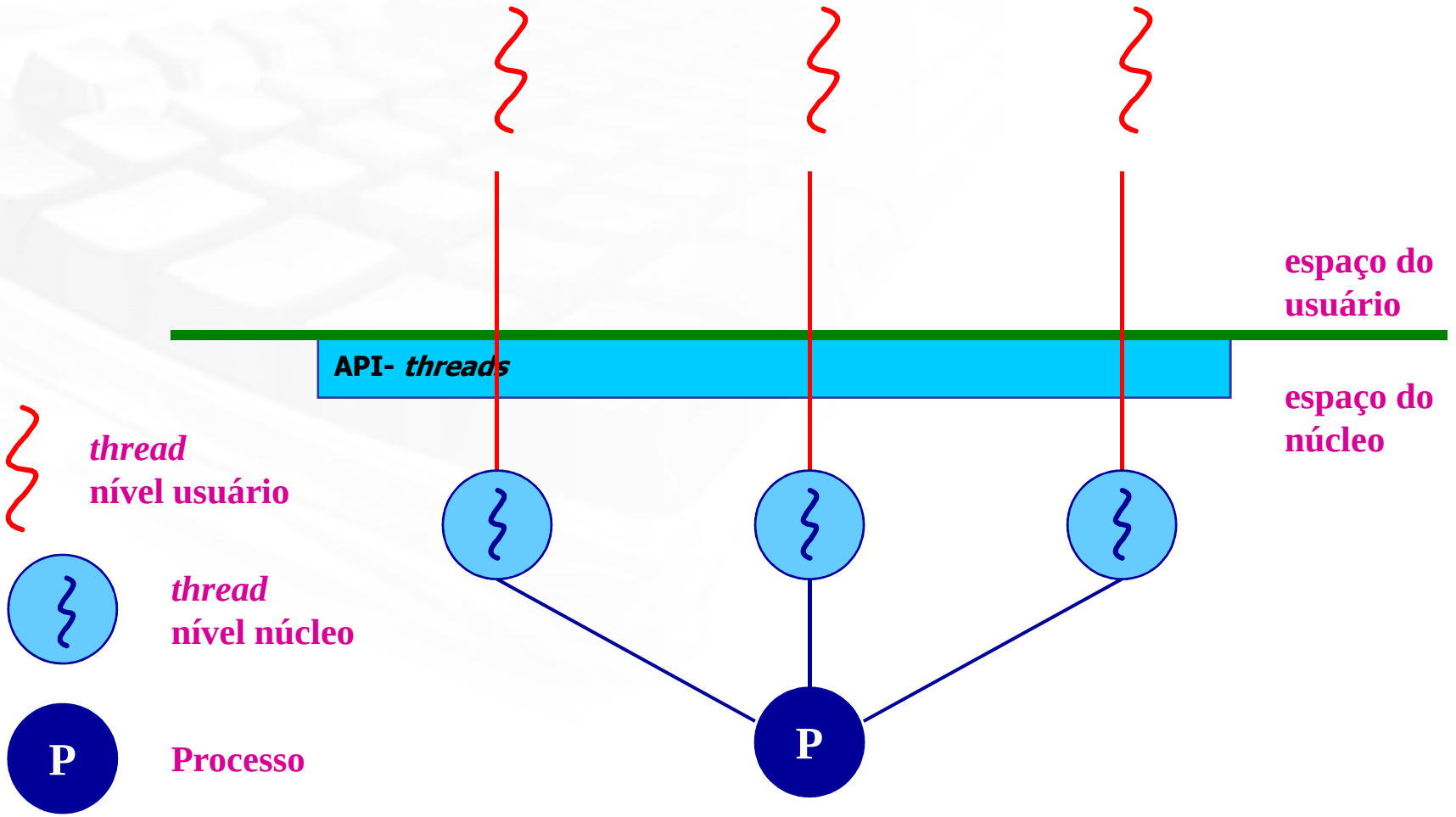
Benefícios das ULT

- O chaveamento das *threads* não requer privilégios de *kernel* porque todo o gerenciamento das estruturas de dados das *threads* é feito dentro do espaço de endereçamento de um único processo de usuário.
  - Economia de duas trocas de contexto: user-to- kernel e kernel-to-user.
- O escalonamento pode ser específico da aplicação.
  - Uma aplicação pode se beneficiar mais de um escalonador Round Robin, enquanto outra de um escalonador baseado em prioridades.
- ULTs podem executar em qualquer S.O. As bibliotecas de código são portáveis.

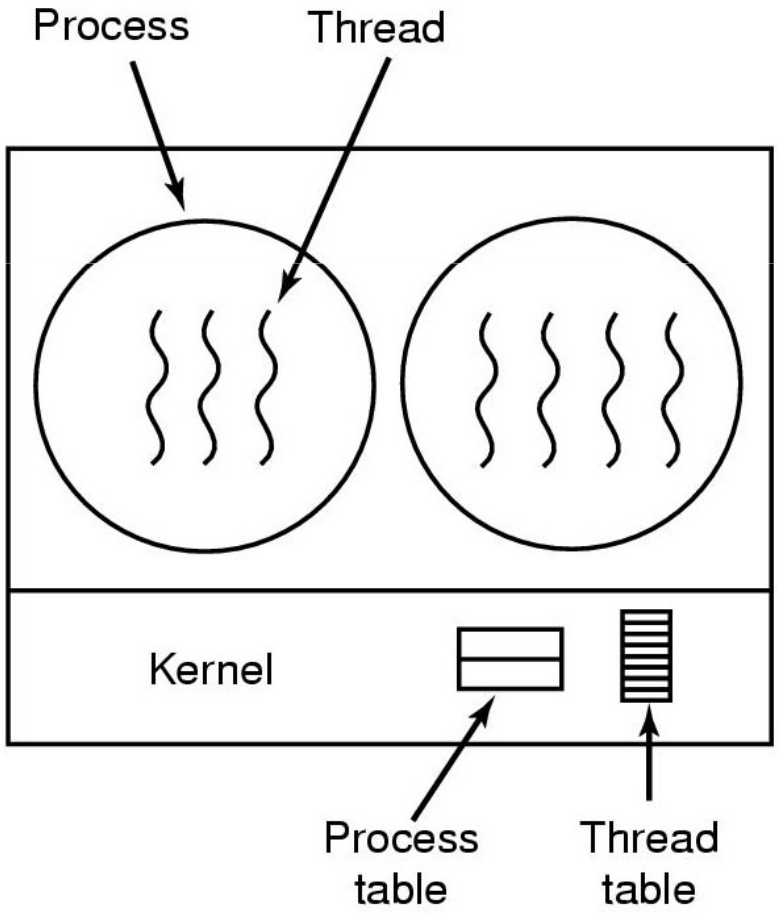
Desvantagens das ULT

- Muitas das chamadas ao sistema são bloqueantes e o kernel bloqueia processos – neste caso todos as threads do processo podem ser bloqueados quando uma ULT executa uma SVC .
- Num esquema ULT puro, uma aplicação multithreading não pode tirar vantagem do multiprocessamento.
  - O kernel vai atribuir o processo a apenas um CPU; portanto, duas threads dentro do mesmo processo não podem executar simultaneamente numa arquitectura com múltiplos processadores.

Kernel-level Threads - KLT (1)



Kernel-level Threads - KLT (2)



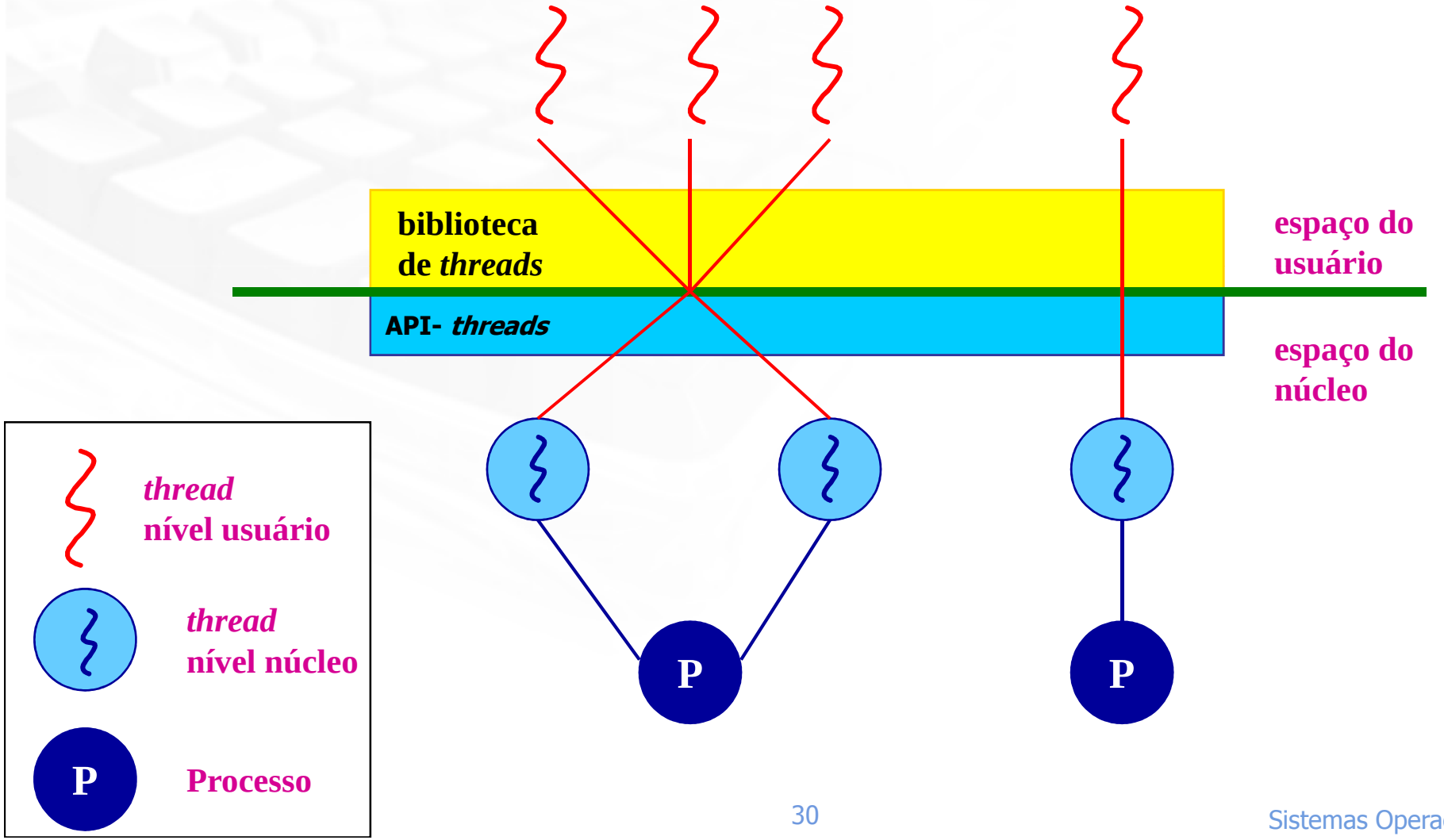
Kernel-level Threads – KLT (3)

- O gerenciamento das *threads* é feito pelo *kernel*.
  - O *kernel* pode melhor aproveitar a capacidade de multiprocessamento da máquina, escalonando as várias threads do processo em diferentes processadores.
- O chaveamento das *threads* é feito pelo núcleo e o escalonamento é "*thread-basis*".
  - O bloqueio de uma *thread* não implica no bloqueio das outras *threads* do processo.
- O *kernel* mantém a informação de contexto para processo e *threads.*

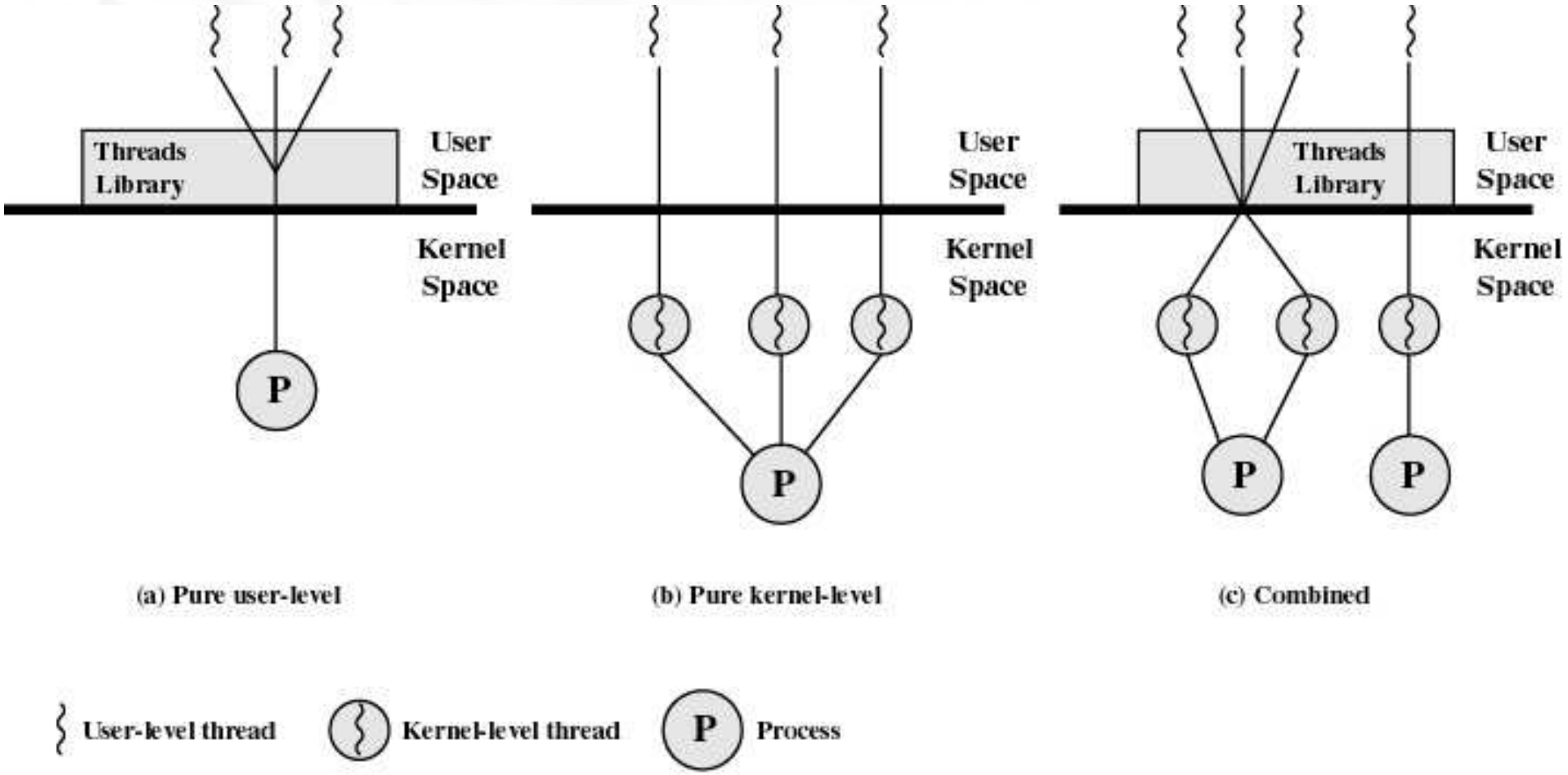
Kernel-level Threads – KLT (4)

- O usuário enxerga uma API para *threads* do núcleo; porém, a transferência de controle entre *threads* de um mesmo processo requer chaveamento para modo *kernel*.
  - Ações do *kernel* geralmente tem um custo que pode ser significativo.
- Windows 2K, Linux, e OS/2 são exemplos desta abordagem.

Combinando Modos

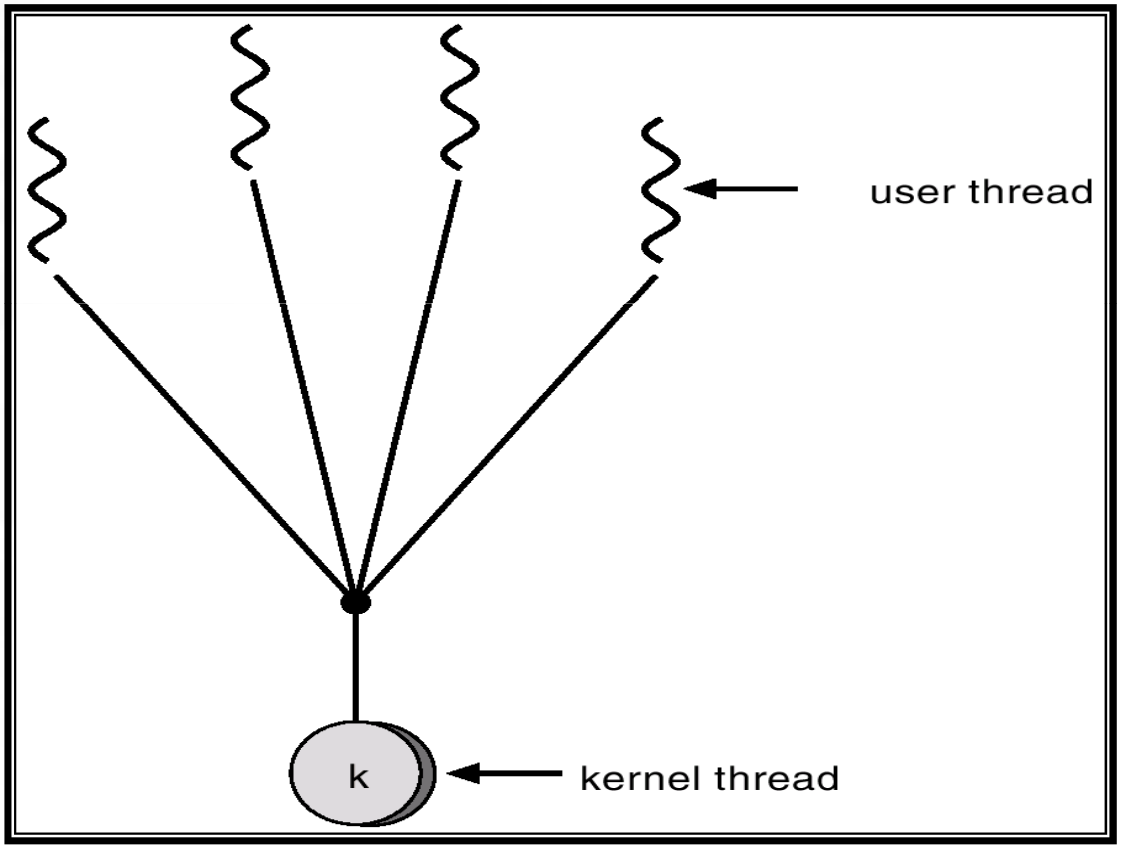


Resumindo ...


Threads Library
User Space
Kernel Space
P
(a) Pure user-level
User Space
Kernel Space
P
(b) Pure kernel-level
Threads Library
User Space
Kernel Space
P
P
(c) Combined
User-level thread
Kernel-level thread
P
Process

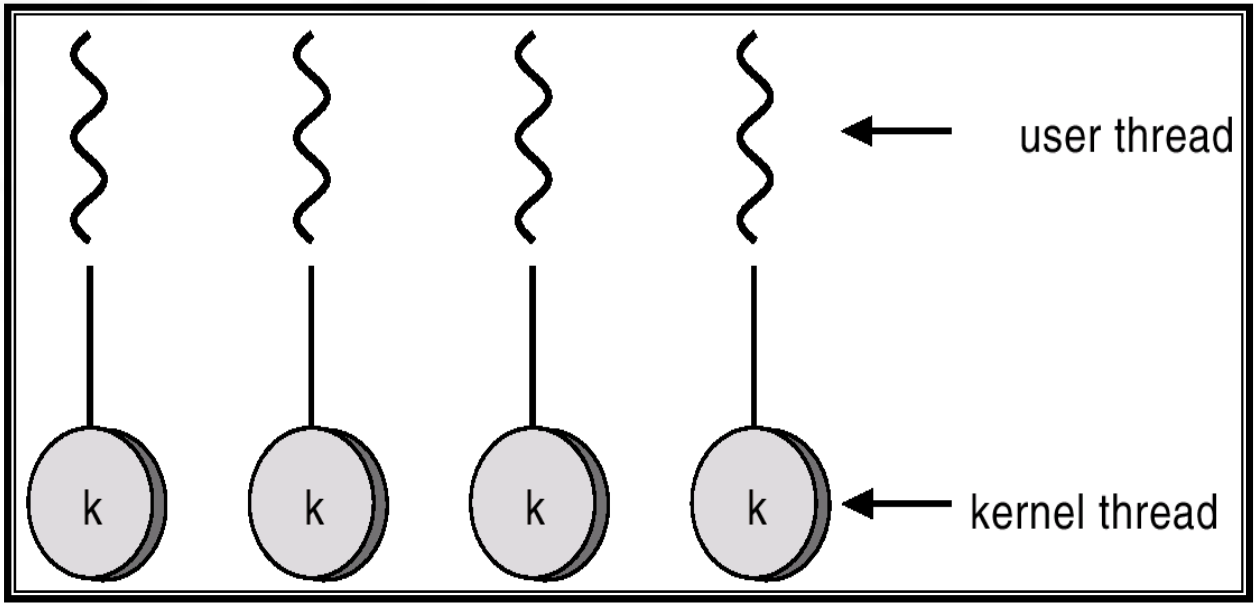
Resumindo... Modelo M:1

- Muitas *user-level threads* mapeadas em uma única *kernel thread*.
- Modelo usado em sistemas que não suportam *kernel threads*.



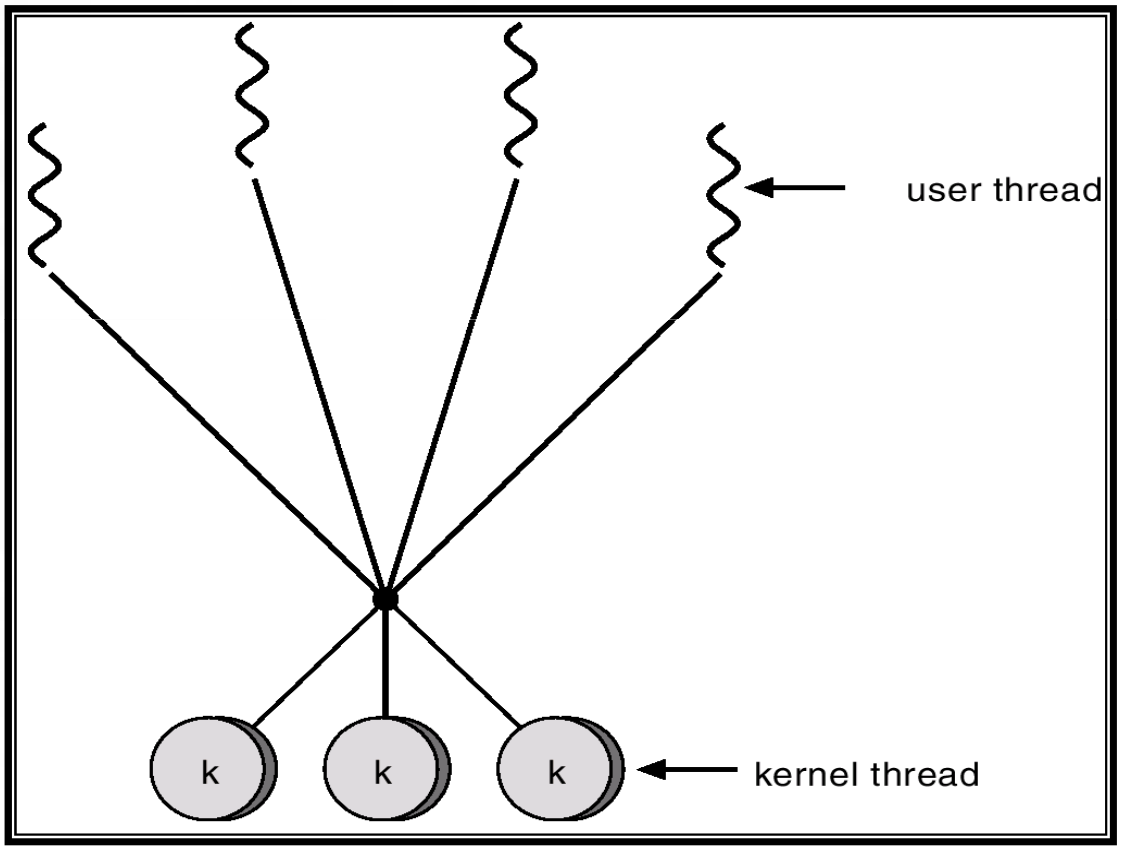
Resumindo ... Modelo 1:1

- Cada *user-level thread* é mapeada em uma única *kernel thread*.
- Exemplos: Windows 95/98/NT/2000 e OS/2



Resumindo... Modelo M:n

- Permite que diferentes *user-level threads* de um processo possam ser mapeadas em *kernel threads* distintas.
- Permite ao S.O. criar um número suficiente de *kernel threads*.
- Exemplos: Solaris 2, Tru64 UNIX's, Windows NT/2000 com o *ThreadFiber* package.



Comparando Abordagens

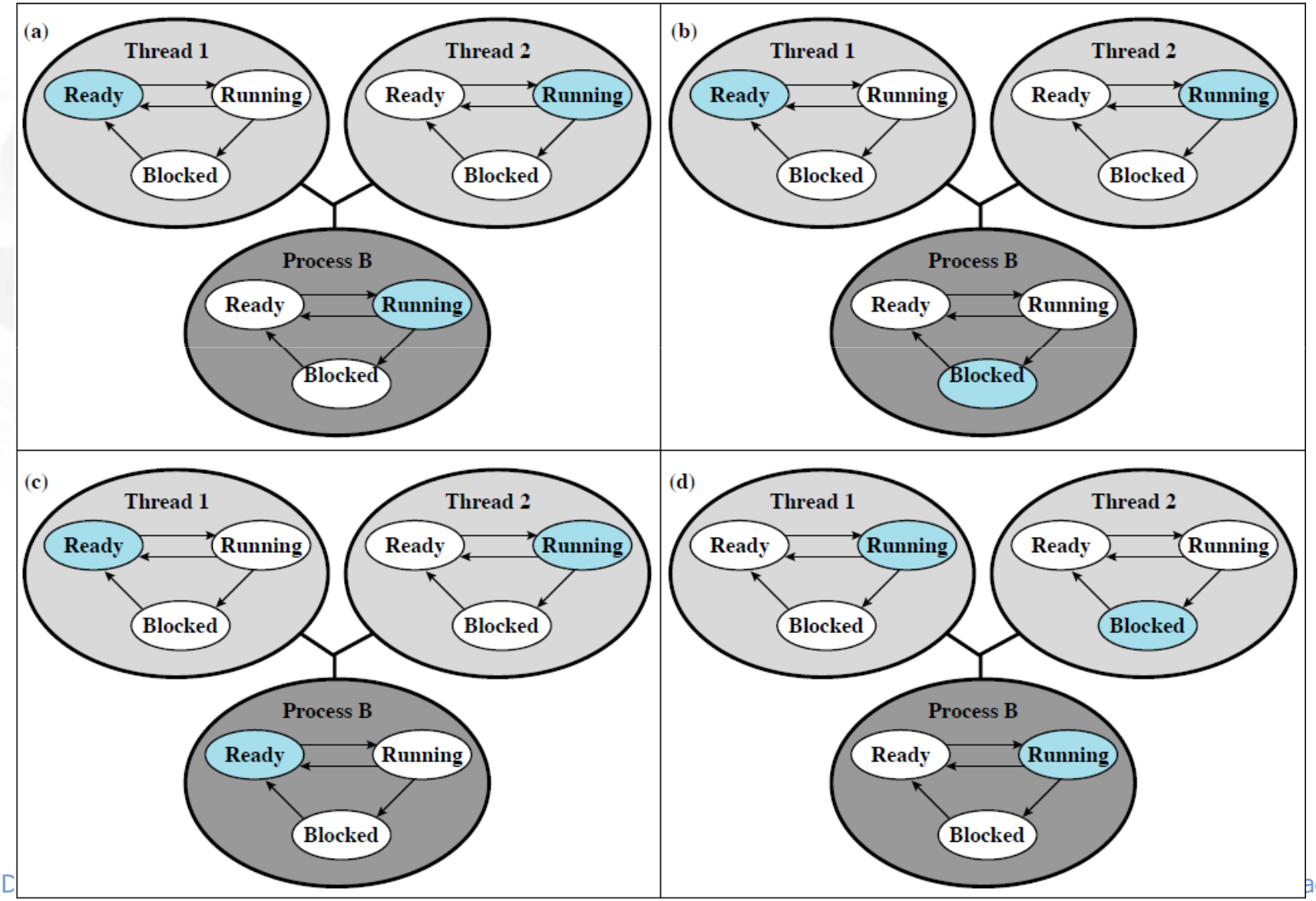
Latências de operação (μs)

Operação	*Threads*: nível usuário	*Threads*: nível núcleo	Processos
Fork nulo	34	948	11.300
Signal-wait	37	441	1.840

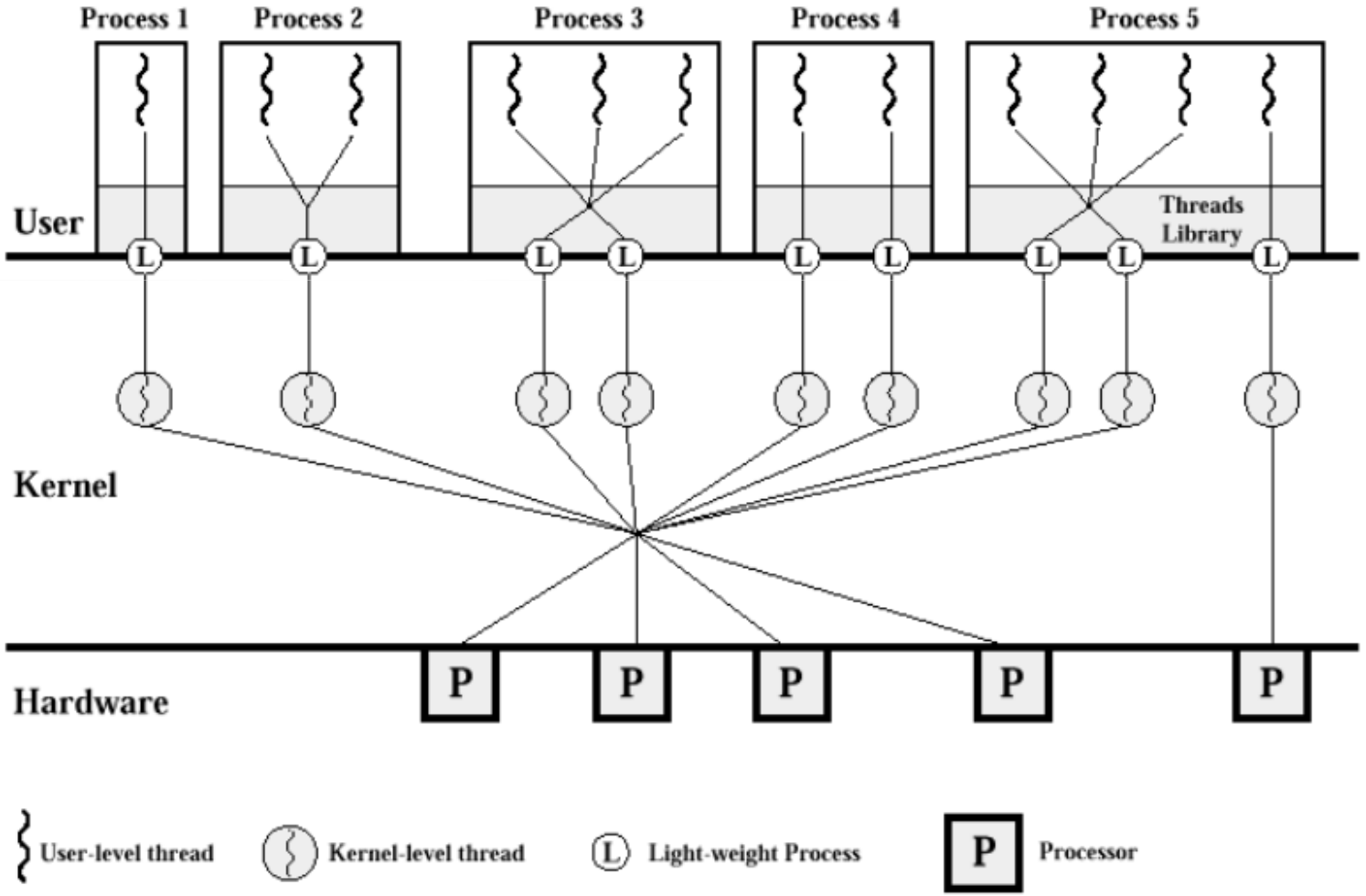
Obs.:

1. VAX monoprocessador executando SO tipo Unix
2. chamada de procedimento neste VAX: ≈ 7μs
3. *trap* ao núcleo: ≈ 17μs

Relacionamento entre Estados de ULT e Processos



Modelo de Multithreading do S.O. Solaris (1)



Modelo de Multithreading do S.O. Solaris (2)

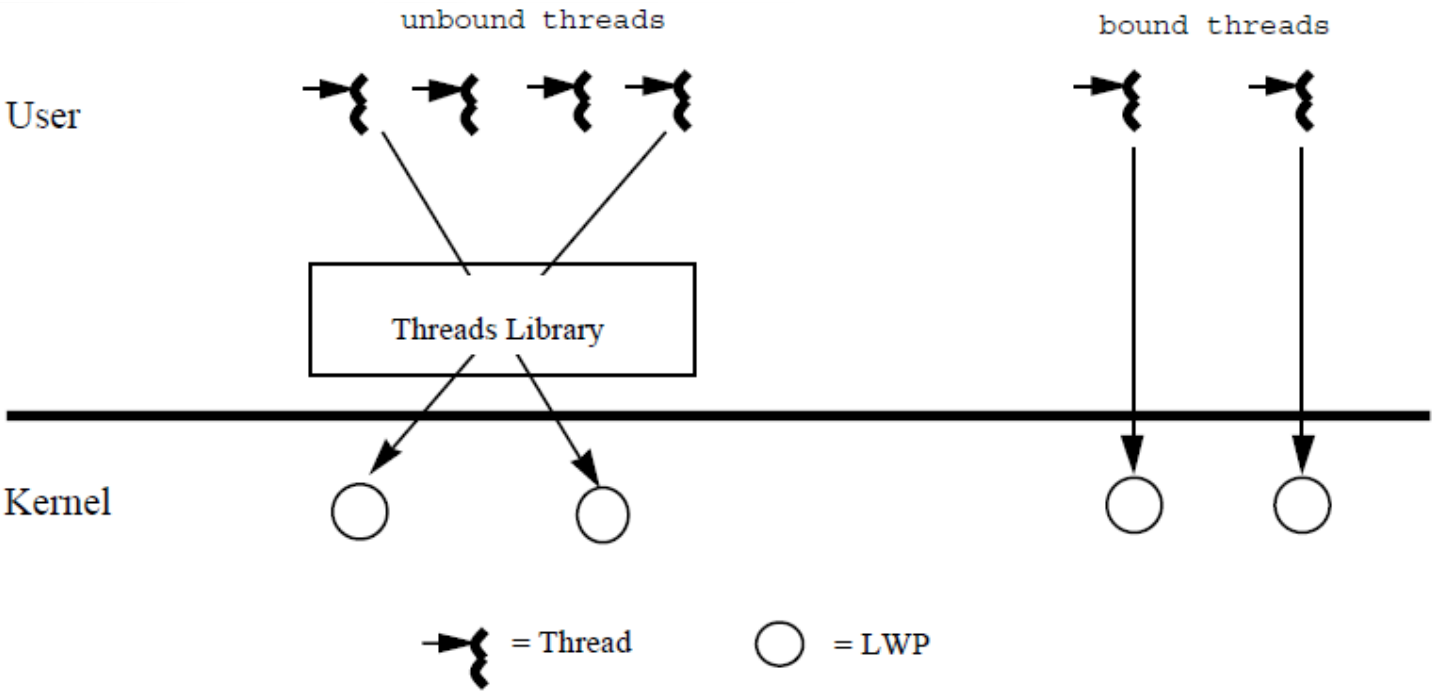
- LWP (*Lightweight Processes*) são ULT com suporte do *kernel* , isto é, requerem suporte de KLT para serem implementadas.
- LWP constituem uma abstração de alto nível baseadas em KLT.
  - Assim como rotinas da biblioteca *stdio* (ex: `fopen()` e `fread()`), usam as funções `open()` e `read()` do *kernel*, ULT podem usar uma abstração de alto nível (as LWP) como interface de acesso às *threads* de *kernel*.
- LWP são recursos do *kernel*, executam código de *kernel* e SVCs. Eles formam uma ponte entre os níveis de usuário e o de *kernel*.

Modelo de Multithreading do S.O. Solaris (3)

- Um sistema não pode suportar um grande número de LWP visto que cada um consome significativos recursos do kernel.
- Cada processo contém um ou mais LWP's, cada um dos quais podendo rodar uma ou mais *threads*.
- LWP são escalonados independentemente e compartilham o espaço de endereços e outros recursos do processo.

Modelo de Multithreading do S.O. Solaris (4)

- *Bound threads* são threads que estão permanentemente "attached" (conectadas) a um LWP.
- *Unbound threads* são *threads* cujas trocas de contexto são feitas de maneira muito rápida, sem o suporte de kernel. É a *thread* default no Solaris.



Bibliotecas de Threads (1)

- A interface para suporte à programação *multithreading* é feita via bibliotecas:
  - *libpthread* (padrão POSIX/IEEE 1003.1c)
  - *libthread* (Solaris).
- POSIX Threads ou *pthreads* provê uma interface padrão para manipulação de *threads*, que é independente de plataforma (Unix, Windows, etc.).

Bibliotecas de Threads (2)

- Uma biblioteca de threads contém código para:
  - criação e sincronização de *threads*
  - troca de mensagens e dados entre *threads*
  - escalonamento de *threads*
  - salvamento e restauração de contexto
- Na compilação:
  - Incluir o arquivo *pthreads.h*
  - "Linkar" a biblioteca *lpthread*

```
$ gcc -o simple -lpthread simple_threads.c
```

Biblioteca Pthreads – Algumas Operações

POSIX function	description
pthread_cancel	terminate another thread
pthread_create	create a thread
pthread_detach	set thread to release resources
pthread_equal	test two thread IDs for equality
pthread_exit	exit a thread without exiting process
pthread_kill	send a signal to a thread
pthread_join	wait for a thread
pthread_self	find out own thread ID

Thread APIs vs. System calls para Processos

Pthread API	*system calls for process*
`Pthread_create()`	`fork(), exec*()`
`Pthread_exit()`	`exit(), _exit()`
`Pthread_self()`	`getpid()`
`sched_yield()`	`sleep()`
`pthread_kill()`	`kill()`
`Pthread_cancel()`	
`Pthread_sigmask()`	`sigmask()`

Criação de Threads: pthread_create() (1)

- A função `pthread_create()` é usada para criar uma nova *thread* dentro do processo.

```
int pthread_create(
   pthread_t *restrict thread,
   const pthread_attr_t *restrict attr,
   void *(*start_routine)(void *),
   void *restrict arg);
```

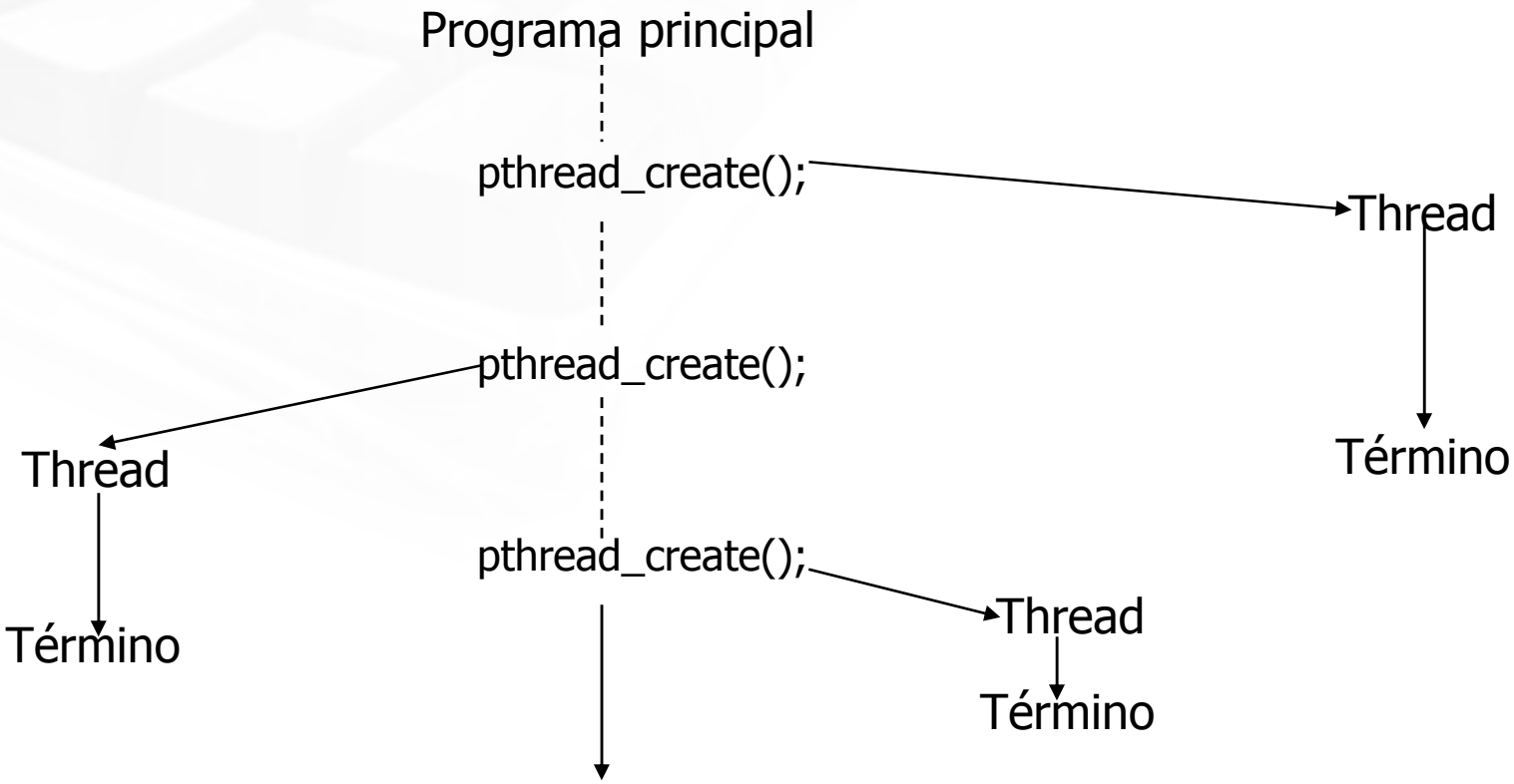
- `pthread_t *thread` – ponteiro para um objeto que recebe a identificação da nova *thread*.
- `pthread_attr_t *attr` – ponteiro para um objeto que provê os atributos para a nova *thread*.
- `start_routine` – função com a qual a *thread* inicia a sua execução
- `void *arg` – arqumentos inicialmente passados para a função

Criação de Threads: pthread_create() (2)

- Quando se cria uma nova *thread* é possível especificar uma série de atributos e propriedades através de uma variável do tipo `pthread_attr_t`.
- Os atributos que afetam o comportamento da *thread* são definidos pelo parâmetro `attr`. Caso o valor de `attr` seja NULL, o comportamento padrão é assumido para a *thread* :
  - (i) *unbound*; (ii) *nondettached*; (iii) pilha e tamanho de pilha padrão; (iv) prioridade da *thread* criadora.
- Os atributos podem ser modificados antes de serem usados para se criar uma nova *thread*. Em especial, a política de escalonamento, o escopo de contenção, o tamanho da pilha e o endereço da pilha podem ser modificados usando as funções `attr_setxxxx()`.

Threads Desunidas ("Detached Threads")

- Pode ser que uma *thread* não precise saber do término de uma outra por ela criada. Neste caso, diz-se que a *thread* criada é *detached* (desunida) da *thread* mãe.



Atributos de Threads: pthread_attr_init() (1)

- Para se alterar os atributos de uma *thread*, a variável de atributo terá de ser previamente inicializada com o serviço `pthread_attr_init()` e depois modificada através da chamada de serviços específicos para cada atributo usando as funções `attr_setxxxx()`.
- Por exemplo, para criar um *thread* já no estado de *detached*:

```
…
pthread_attr_init(&attr);
pthread_attr_setdetachstate(&attr,PTHREAD_CREATE_DETACHED);
pthread_create(&tid, &attr, …, …);
…
pthread_attr_destroy(&attr);
…
```

Atributos de Threads: pthread_attr_init() (2)

```
int pthread_attr_init(pthread_attr_t *attr);
int pthread_attr_destroy(pthread_attr_t *attr);
int pthread_attr_setstacksize(pthread_attr_t *attr, int size);
int pthread_attr_getstacksize(pthread_attr_t *attr, int *size);
int pthread_attr_setstackaddr(pthread_attr_t *attr, int addr);
int pthread_attr_getstackaddr(pthread_attr_t *attr, int *addr);
int pthread_attr_setdetachstate(pthread_attr_t *attr, int state);
int pthread_attr_getdetachstate(pthread_attr_t *attr, int *state);
int pthread_attr_setscope(pthread_attr_t *attr, int scope);
int pthread_attr_getscope(pthread_attr_t *attr, int *scope);
int pthread_attr_setinheritsched(pthread_attr_t *attr, int sched);
int pthread_attr_getinheritsched(pthread_attr_t *attr, int *sched);
int pthread_attr_setschedpolicy(pthread_attr_t *attr, int policy);
int pthread_attr_getschedpolicy(pthread_attr_t *attr, int *policy);
int pthread_attr_setschedparam(pthread_attr_t *attr,
struct sched_param *param);
int pthread_attr_getschedparam(pthread_attr_t *attr,struct sched_param *param);
```

Finalizando uma Thread: pthread_exit()

- A invocação da função `phtread_exit()` causa o término da *thread* e libera todos os recursos que ela detém.

```
void pthread_exit(void *value_ptr);
```

- `value_ptr` – valor retornado para qualquer *thread* que tenha se bloqueado aguardando o término desta *thread.*

- Não há necessidade de se usar essa função na *thread* principal, já que ela retorna automaticamente.

Esperando pelo Término da Thread: pthread_join() (1)

- A função `phtread_join()` suspende a execução da *thread* chamadora até que a *thread* especificada no argumento da função acabe.
- A *thread* especificada deve ser do processo corrente e não pode ser *detached*.

```
int pthread_join(thread_t tid, void **status)
```

- `tid` – identificação da *thread* que se quer esperar pelo término.
- `*status` – ponteiro para um objeto que recebe o valor retornado pela *thread* acordada.

Esperando pelo Término da Thread: pthread_join() (2)

- Múltiplas *threads* não podem esperar pelo término da mesma *thread*. Se elas tentarem, uma retornará com sucesso e as outras falharão com erro ESRCH.
- Valores de retorno:
  - `ESRCH` – `tid` não é uma thread válida, undetached do processo corrente.
  - `EDEADLK` – `tid` especifica a *thread* chamadora.
  - `EINVAL` – o valor de `tid` é inválido.

Retornando a Identidade da Thread: pthread_self()

- A função `pthread_self()` retorna um objeto que é a identidade da *thread* chamadora.

```
#include <pthread.h>

pthread_t pthread_self(void);
```

Exemplo 1

OBS: %gcc –o tread-create.c -lpthread

```
#include <stdio.h>
#include <pthread.h>
int global;
void *thr_func(void *arg);
int main(void)
{
        pthread_t tid;
        global = 20;
        printf("Thread principal: %d\n", global);
        pthread_create(&tid, NULL, thr_func, NULL);
        pthread_join(tid, NULL);
        printf("Thread principal: %d\n", global);
        return 0;
}
void *thr_func(void *arg)
{
        global = 40;
        printf("Novo thread: %d\n", global);
        return NULL;
}
```

Exemplo 2

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

/* Prints x's to stderr. The parameter is unused. Does not return. */
void* print_xs (void* unused)
{
  while (1)
    fputc ('x', stderr);
  return NULL;
}

/* The main program. */

int main ()
{
  pthread_t thread_id;
  /* Create a new thread. The new thread will run the print_xs function. */
  pthread_create (&thread_id, NULL, &print_xs, NULL);
  /* Print o's continuously to stderr. */
  while (1)
    fputc ('o', stderr);
  return 0;
}
```

Exemplo 3

```
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#define NUM_THREADS 5

void *PrintHello(void *threadid) {
        int tid;
        tid = (int)threadid;
        printf("Hello World! It's me, thread #%d!\n", tid);
        pthread_exit(NULL);
}
int main (int argc, char *argv[]) {
        pthread_t threads[NUM_THREADS];
        int rc, t;
        for(t=0; t<NUM_THREADS; t++){
                printf("In main: creating thread %d\n", t);
                rc = pthread_create(&threads[t], NULL, PrintHello, (void *)t);
                if (rc) {
                        printf("ERROR code is %d\n", rc);
                        exit(-1);
                }
        }
        pthread_exit(NULL);
}
```

Exemplo 4

```
#include <pthread.h>
pthread_attr_t tattr;
pthread_t tid;
extern void *start_routine(void *arg);
void *arg;
int ret;

/* default behavior*/
ret = pthread_create(&tid, NULL, start_routine, arg);

/* initialized with default attributes */
ret = pthread_attr_init(&tattr);

/* default behavior specified*/
ret = pthread_create(&tid, &tattr, start_routine, arg);
```

Exemplo 5

```
int main (int argc, char *argv[])
{
  pthread_t thread[100];
  int err_code, i=0;
  char *filename;

  printf ("Enter thread name at any time to create thread\n");
  while (1) {
   filename = (char *) malloc (80*sizeof(char));
   scanf ("%s", filename);
   printf("In main: creating thread %d\n", i);
   err_code = pthread_create(&thread[i],NULL,PrintHello,(void *)filename);
   if (err_code){
      printf("ERROR code is %d\n", err_code);
      exit(-1);
    }
    else i++;
  }
  pthread_exit(NULL);
}
```

Exemplo 6

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <pthread.h>
void* function(void* arg) {
  printf( "This is thread %d\n", pthread_self() );
  sleep(5);
  return (void *)99;
}
int main(void) {
  pthread_t t2;
  void *result;
  pthread_attr_init( &attr );
  pthread_create( &t2, &attr, function, NULL );
  pthread_join(t2,&result);
  printf("Thread t2 returned %d\n", result);
  return 0;
}
```

Outros Exemplos:

Exemplo 1: Duas threads são criadas e para cada uma é passada uma variável do tipo inteiro. A primeira thread soma o valor 30 à variável, a segunda thread decrementa a variável de 10.

Exemplo 2: Uso de mutex para controlar o acesso a uma variavél compartilhada.

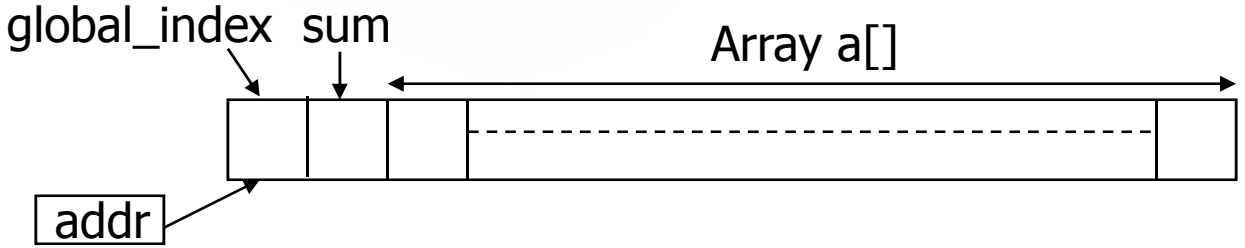
Exercício: Soma

- Somar os elementos de um array `a[1000]`

```
int sum, a[1000]
sum = 0;
for (i = 0; i < 1000; i++)
   sum = sum + a[i];
```

Exemplo: Soma

- São criadas `n` *threads*. Cada uma obtém os números de uma lista, os soma e coloca o resultado numa variável compartilhada `sum`
- A variável compartilhada `global_index` é utilizada por cada *thread* para selecionar o próximo elemento de `a`
- Após a leitura do índice, ele é incrementado para preparar para a leitura do próximo elemento
- Estrutura de dados utilizada:



```
#define array_size 1000
#define no_threads 10

int a[array_size];
int global_index = 0;
int sum = 0;
pthread_mutex_t mutex1;

void * slave ( void  *nenhum )
{
   int local_index, partial_sum =0;
   do   {
      pthread_mutex_lock(&mutex1);
        local_index = global_index;
        global_index++;
      pthread_mutex_unlock(&mutex1);
      if (local_index < array_size)
        partial_sum += *(a+local_index);
   } while (local_index < array_size);

    pthread_mutex_lock(&mutex1);
        sum+= partial_sum;
   pthread_mutex_unlock(&mutex1);
   return(NULL);
}
```

```
main()
{
   int i;
   pthread_t  thread [no_threads] ;

   pthread_mutex_init(&mutex1, NULL);
   for (i = 0; i < array_size; i++)
      a[i] = i+1;

 for (i = 0; i < no_threads; i++)
   if (pthread_create(&thread[i], NULL, slave, NULL)
                                                    != 0)
    {
         perror("Pthread_create falhou");
         exit(1);
     }

for (i = 0; i < no_threads; i++)
      if (pthread_join(thread[i], NUL) != 0)
      {
         perror("Pthread_join falhou");
         exit(1);
      }

  printf("A soma é %d \n", sum)
}
```

Acesso a Dados Compartilhados: Mutexes

- A biblioteca *pthreads* fornece funções para acesso exclusivo a dados compartilhados através de *mutexes*.
- O mutex garante três coisas:
  - Atomicidade: o travamento de um *mutex* é sempre uma operação atômica, o que significa dizer que o S.O. ou a biblioteca de *threads* garante que se uma *thread* alocou (travou) o *mutex*, nenhuma outra *thread* terá sucesso se tentar travá-lo ao mesmo tempo.
  - Singularidade: se uma *thread* alocou um *mutex*, nenhuma outra será capaz de alocá-lo antes que a *thread* original libere o travamento.
  - Sem espera ocupada: se uma *thread* tenta travar um *mutex* que já está travado por uma primeira *thread*, a segunda *thread* ficará suspensa até que o travamento seja liberado. Nesse momento, ela será acordada e continuará a sua execução, tendo o *mutex* travado para si.

Criando e Inicializando um Mutex

```
pthread_mutex_lock ( &mutex1);

<seção crítica>

pthread_mutex_unlock( &mutex1 );
```

Threads - O uso de mutex (1)

- Initialization

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

- Destroy

```
int pthread_mutex_destroy(pthread_mutex_t *mutex);
```

- Lock request

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

- Lock release

```
int pthread_mutex_unlock(pthread_mutex_t *mutex);
```

Threads - O uso de mutex (2)

```
pthread_mutex_t meu_mutex = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
int somatotal=0;

void *realiza_soma(void *p){
        int resultado=0, i;
        int meu_id = ((ARGS *)p)->id;

        /* soma N numeros aleatorios entre 0 e MAX */
        for(i=0 ; i<N ; i++)
                resultado += rand()%MAX;

        /* armazena a soma parcial */
        pthread_mutex_lock(&meu_mutex);
        somatotal += resultado;
        pthread_mutex_unlock(&meu_mutex);
        printf("\nThread %d: parcial %d",meu_id,resultado);

        pthread_exit((void *)0);
}
```

Threads - O uso de variáveis de condição (1)

- Initialization

```
pthread_cond_t cond= PTHREAD_COND_INITIALIZER;
int  pthread_cond_init(pthread_cond_t *cond,
                       const pthread_condattr_t *attr);
```

- Waiting on condition variable

```
int pthread_cond_wait(pthread_cond_t *cond, pthread_mutex_t  *mutex);
int pthread_cond_timedwait(pthread_cond_t *cond, pthread_mutex_t *mutex,
                           const struct timespec *abstime);
```

- Waking condition variable waiters

```
int pthread_cond_signal(pthread_cond_t *cond);
int pthread_cond_broadcast(pthread_cond_t *cond);
```

- Destory
  - int pthread_cond_destroy(pthread_cond_t *cond);

Threads - O uso de variáveis de condição (1)

Variáveis condicionais	Pthread_cond_init Pthread_cond_destroy Pthread_cond_wait Pthread_cond_timedwait Pthread_cond_signal Pthread_cond_broadcast

- A API de pthreads implementa as funções *pthread_cond_wait* e *pthread_cond_signal* sobre uma variável declarada como *pthread_cond_t*.
- Esta variável tem, necessariamente, que trabalhar associada a um mutex

Threads - O uso de variáveis de condição (2)

- Procedimento básico para implementar variáveis de condição

Thread Principal	Thread A	Thread B
Declara mutex		
Declara cond		
Inicializa mutex		
Inicializa cond		
Cria A e B		
	Realiza Trabalho	Realiza Trabalho
	Trava o mutex	
	Verifica condição	
	Chama wait destravando mutex	
		Satisfaz a condição
		Sinaliza
		Destrava Mutex
	Acorda travando mutex	Continua
	Faz trabalho na S.Crítica	
	Destrava mutex	
	Continua	

Trava o mutex

Threads - O uso de variáveis de condição (3)

```
int recurso=42;
pthread_mutex_t meu_mutex;
pthread_cond_t minha_cond;

void *produtor(){
        /* espera um pouco para permitir
         * o consumidor iniciar primeiro */
        sleep(3);

        /* executa seção crítica */
        pthread_mutex_lock(&meu_mutex);
        recurso = rand();
        pthread_cond_signal(&minha_cond);
        pthread_mutex_unlock(&meu_mutex);

        pthread_exit(NULL);
}


void *consumidor(){
        pthread_mutex_lock(&meu_mutex);
        pthread_cond_wait(&minha_cond, &meu_mutex);
        printf("Valor do recurso: %d\n",recurso);
        pthread_mutex_unlock(&meu_mutex);
}
```

Esta função realiza 3 operações atomicamente:

1. destrava o mutex
2. espera, propriamente, ser sinalizado
3. trava o mutex

Linux Threads

- No Linux as *threads* são referenciadas como *tasks* (tarefas).
- Implementa o modelo de mapeamento um-para-um.
- A criação de threads é feita através da SVC (chamada ao sistema) *clone()*.
- *Clone()* permite à tarefa filha compartilhar o mesmo espaço de endereçamento que a tarefa pai (processo).
  - Na verdade, é criado um novo processo, mas não é feita uma cópia, como no fork();
  - O novo processo aponta p/ as estruturas de dados do pai

Linux Threads

- No Linux as *threads* são referenciadas como *tasks* (tarefas).
- Implementa o modelo de mapeamento um-para-um.
- A criação de threads é feita através da SVC (chamada ao sistema) *clone()*.
- *Clone()* permite à tarefa filha compartilhar o mesmo espaço de endereçamento que a tarefa pai (processo).
  - Na verdade, é criado um novo processo, mas não é feita uma cópia, como no fork();
  - O novo processo aponta p/ as estruturas de dados do pai

Java Threads

- Threads em Java podem ser criadas das seguintes maneiras:
  - Estendendo a classe Thread
  - Implementando a interface Runnable.
- As threads Java são gerenciadas pela JVM.
- A JVM só suporta um processo
  - Criar um novo processo em java implica em criar uma nova JVM p/ rodar o novo processo

Referências

- Silberschatz A. G.; Galvin P. B.; Gagne G.; "Fundamentos de Sistemas Operacionais", 6a. Edição, Editora LTC, 2004.
  - Capítulo 5
- A. S. Tanenbaum, "Sistemas Operacionais Modernos", 3a. Edição, Editora Prentice-Hall, 2010.
  - Seção 2.2
- Deitel H. M.; Deitel P. J.; Choffnes D. R.; "Sistemas Operacionais", 3ª. Edição, Editora Prentice-Hall, 2005
  - Capítulo 4