FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA

Fundamentos de Sistemas de Operação

LEI - 2023/2024

Vitor Duarte
Mª. Cecília Gomes

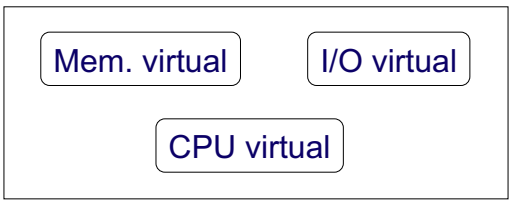
1

Aula 7

- Processos leves: fluxos de execução (*execution threads*)
- OSTEP: cap. 26.0, 26.1, 26.2, 27.1, 27.2

2

Máquina virtual de um processo



- O SO gere e mapeia na máquina real
  - Mem. Virtual → mapa de memória
  - CPU virtual → *time-sharing*
  - I/O virtual → exemplo: canais de I/O

Multiplas tarefas num programa

- Um programa pode compreender várias tarefas:
  - Facilidade no desenvolvimento (Modularidade)
  - Estas podem ser operações independentes (ou quase)
    - Não têm ordem entre elas
    - Se uma bloquear outras podem continuar (Multiprogramação interna)
  - Aceleração das computações (paralelismo)
    - Tirando partido de vários CPUs
- Mas o estado e recursos devem ser comums:
  - Com uso de processos a comunicação entre estes será enorme
  - Os recursos deviam manter-se partilhados: memória, I/O, etc.

Processos

- Multiprocessamento → processos
  - Múltiplos programas
  - Instâncias do mesmo programa
- Unidade de gestão de recursos
  - memória: dados, código e *stack*
    - estado da memória: mapa de memória e seu conteúdo
  - comunicação (I/O): ficheiros, IPC, outras abstrações…
    - estado das comunicações: canais de I/O, etc…
- Unidade de execução concorrente
  - sequência (fio ou fluxo) de execução de instruções (*execution thread*)
    - estado de execução: estado do CPU, contexto no *Stack*
- *Porque não ter vários estados de execução num processo?*

NOVA FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA

5

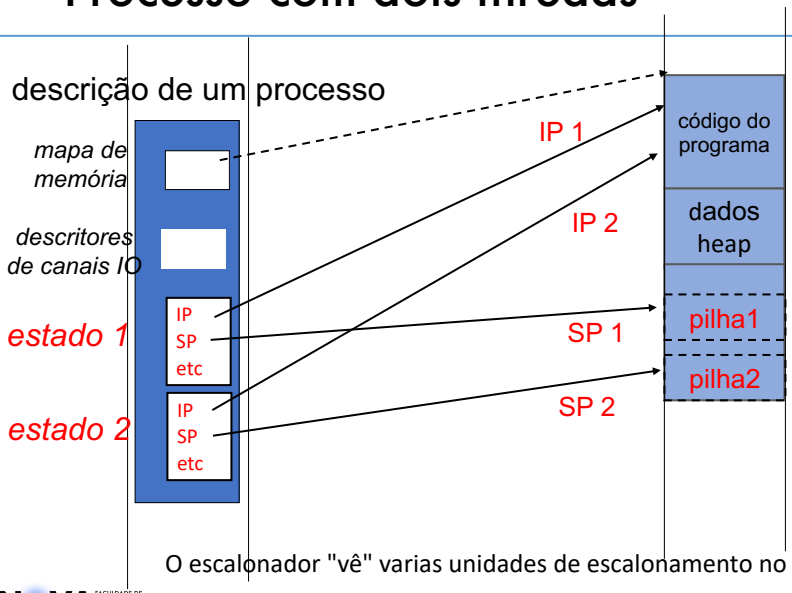
Threads concorrentes

- Cada processo é criado com um fio/fluxo de execução (*execution thread*)
  - este executa a partir do `fork()`
- Multiprocessamento interno a um processo
  - criando novos fios de execução
  - ou seja, várias execuções dentro do mesmo processo
    - vários estados de CPU (vários IP, etc)
    - vários Stacks → chamada de funções e variáveis locais por thread
  - todos os recursos do processo se mantém partilhados
    - memória, I/O, etc.

NOVA FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA

6 cada thread filho tem uma pilha associada ⇒ cada um tem o seu stackpointer
↓
mesmo código

Processo com dois threads



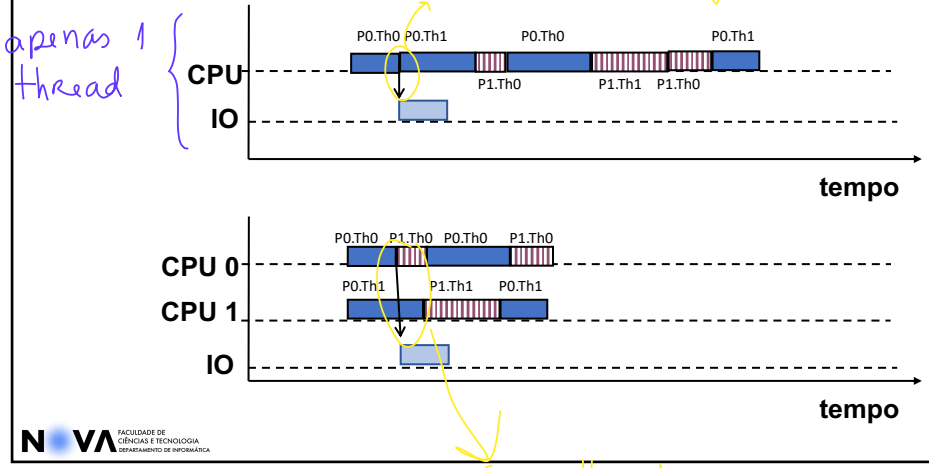
O escalonador "vê" varias unidades de escalonamento no processo

NOVA FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA

7

Múltiplos processos/threads

- Escalonamento entre *threads*: trocar CPU entre os vários *threads* READY de vários processos, mantendo o(s) CPU(s) ocupado(s)



NOVA FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA

8

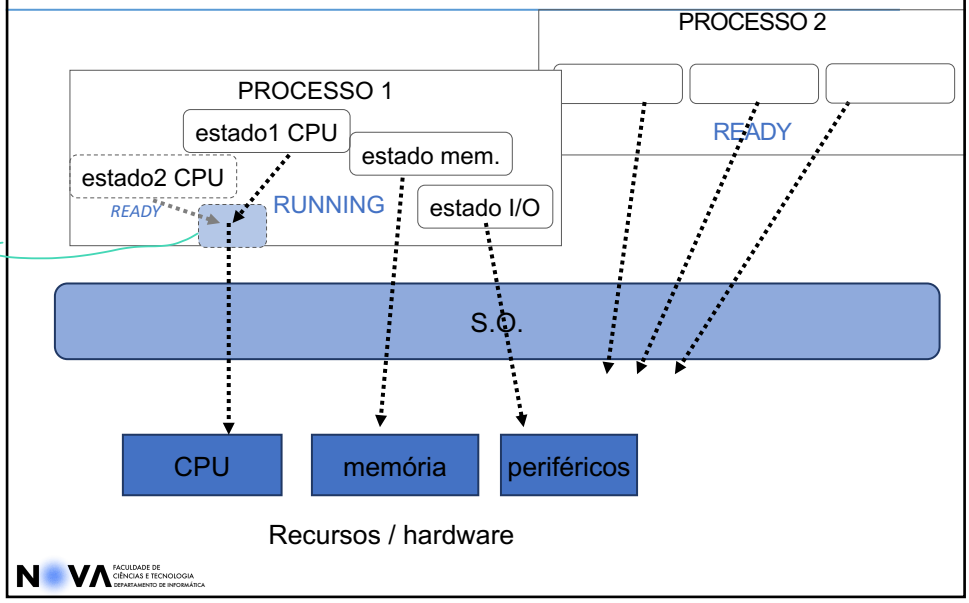
Modelos de implementação

- Nível do processo / biblioteca (N:1)
  - o código do processo passa a incluir um mini-sistema que suporta os threads desse processo
  - o escalonamento de threads é interno ao processo sem usar o SO, assim como as sincronizações, etc…
- Nível do kernel (1:1)
  - o SO suporta a noção de threads em processo
  - o escalonador do SO também gere os threads
- Híbrido (N:M)
  - vários threads do kernel (LWP), cada um suportando vários threads de nível do processo
  - possivelmente com o mapeamento configurável

NOVA FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA

9

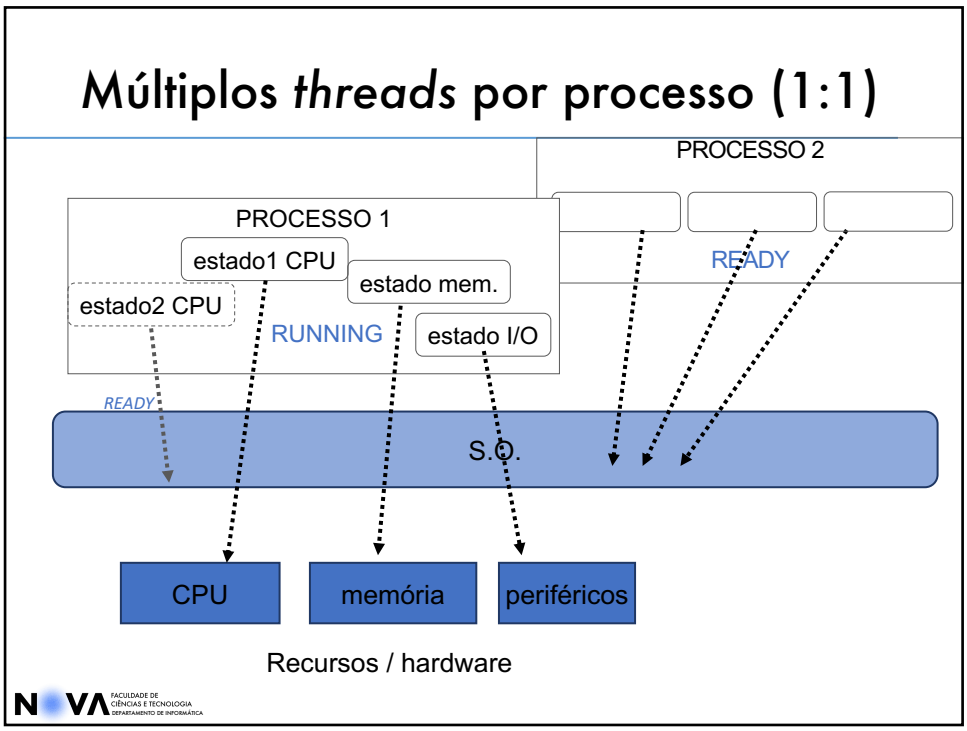
Múltiplos *threads* por processo (N:1)



biblioteca que diz qual é o estado que vou executar

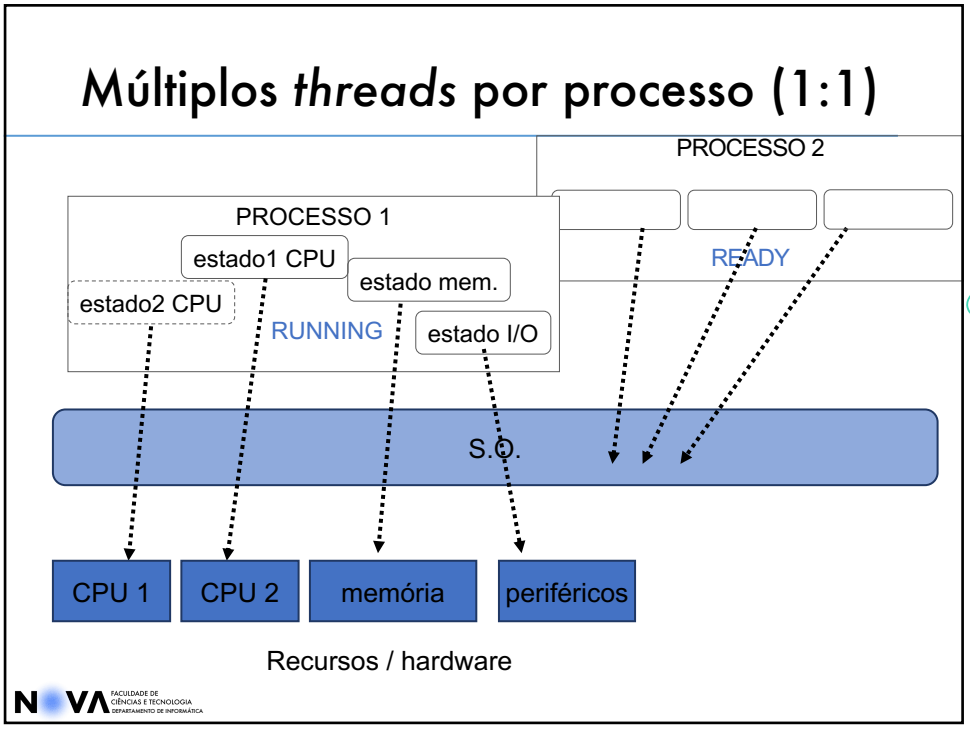
NOVA FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA

10



O próprio processo sabe de todos os estados e o SO gera os processos e os threads

11



Se houver + que 1 CPU o SO gere qual processo / thread vai para qual

12

Comparação threads vs processos

- Criação de um novo thread
  - muito mais fácil e rápida
- Comutação de contexto entre threads no mesmo processo
  - muito mais fácil e rápido
- Partilha de informação
  - toda a memória e I/O pode ser partilhado
  - muito mais fácil e rápido
- Concorrência
  - é necessário gerir a concorrência (agora tudo é partilhado…)
  - pode ser mais difícil… *mas pode ser rápido…*

API Posix: Criar novos *threads*

- Nota: API *threads* pode não ser sempre chamadas ao SO

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

- Criar um novo *thread*:

```
int pthread_create( pthread_t *tid,
                    pthread_attr_t *attr,
                    void *(*start)(void *),
                    void *arg )
```

identificador do novo thread (nº inteiros)

o novo thread começa por executar a função start com os argumentos em *arg

  - novo thread começa chamando a função **`start(arg)`**
    - novo estado de CPU e novo Stack seguido de call *start*
  - retorna 0 ou nº de erro (não segue convenção do SO)

Argumentos do novo *thread*

- Exemplo, criar um *thread* e passar-lhe um `int`:

```
void *thmain( int *arg )
{…}
…
int arg=10;
…
pthread_create(&td, NULL, thmain, &arg)
…
```

- **td** fica com identificador do novo thread
- O novo *thread* começa a execução como:
  thmain(&arg)

NOVA FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA

15

Terminação/retorno do thread

```
void *thmain( int *arg )
{  long *result = malloc(sizeof(long));
  . . .
   pthread_exit( result );
  // ou return result;
}
```

- aguardando a terminação de **thmain**:

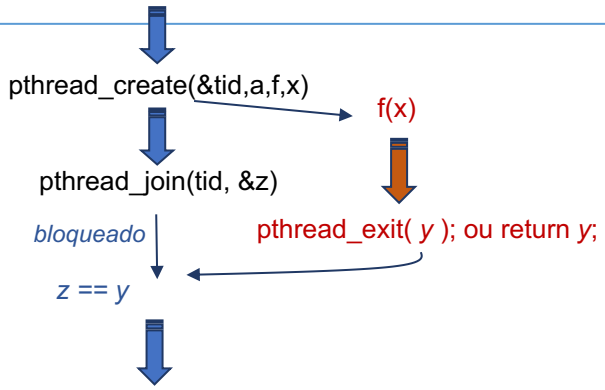
```
long *th_result;
pthread_join( tid, &th_result );
...
```

o thread em que chamei esta função - join fica à espera que o thread (tid) termine para continuar

NOVA FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA

16

Vida de um thread



- **`pthread_join()`** aguarda pela terminação de um *joinable thread* (e pode receber um valor de retorno)

NOVA FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA

17

Atributos (pthread_attr_t)

- Definem um conjunto de características:
  - tipo de escalonamento, prioridade, stamanho do stack, "detach"...
  - variável do tipo pthread_attr_t representa um conjunto de atributos e é manipulada com funções:

```
pthread_attr_init(),
pthread_attr_destroy()
pthread_attr_set*(), pthread_attr_get*()
```

  - Exemplo, para o atributo *detached state*:

```
int pthread_attr_setdetachstate(set, val)
int pthread_attr_getdetachstate(set)
```

NOVA FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA

18

exemplo – *thread detached*

- Não se pretende e não será necessário fazer o join ao thread

```
pthread_attr_t  att;

pthread_attr_init( &att );
pthread_attr_setdetachstate(&att,
                PTHREAD_CREATE_DETACHED);
pthread_create(&td, &att, thmain, &arg);
pthread_attr_destroy( &att );
```

- alternativa para este exemplo, após a criação:

```
pthread_detach(td)
```


Compilação

perror( ),

- Estas funções não são sempre chamadas ao SO (a implementação varia com cada sistema)
  - **Não reportam** os erros via `errno` (depois de retornar -1), mas diretamente pelo retorno da função, sendo 0 se não há erro

- Podem não fazer parte do **`libc`**
  - podem estar numa **`libpthread`**
  - Exemplo de compilação:

```
cc -o prog prog.c -pthread
```

quando se compila tem que se informar que queremos compilar o programa com todas as funcionalidades dos threads

(liga com biblioteca de threads e escolhe uma implementação alternativa de algumas funções do libC)

Chamadas p/ threads vs processos

- pthread_create
- *"attributes"*
- pthread_exit
  - ou return
- pthread_join
- pthread_self

- fork/execve
- *environment e outros atributos*
- exit
  - ou return
- waitpid
- getpid

NOVA FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA

21

Threads e variáveis

- Todo o espaço de memória do processo é de todos os *threads*
- Tipicamente:
  - As variáveis globais, estáticas ou criadas dinamicamente (heap), são partilhadas por todos os *threads*
  - As variáveis locais, criadas no *frame* da função (stack), são do respectivo *thread*

NOVA FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA

22

Exemplo (ostep 26.3)

```
int max;
volatile int counter=0;

void *
mythread(void *arg){
 int i;
 for (i=0; i<max; i++){
   counter = counter+1;
 }
 return NULL;
}
```

```
int
main(int argc, char *argv[]){
  max = atoi(argv[1]);
  pthread_t p1, p2;
  pthread_create(&p1, NULL,
                 mythread, "A");
  pthread_create(&p2, NULL,
                 mythread, "B");
  pthread_join(p1, NULL);
  pthread_join(p2, NULL);
  printf("main: done\n
         [counter: %d]\n
         [should: %d]\n",
          counter, max*2);
  return 0;
}
```


Problema

- Detalhe (objdump –dS):

```
8048829: a1 48 a0 04 08
804882e: 83 c0 01
8048831: a3 48 a0 04 08
```

```
counter = counter + 1;
mov    0x804a048,%eax
add    $0x1,%eax
mov    %eax,0x804a048
```

Código executado dentro dos threads

- Um escalonamento possível:

Thread A

```
mov    0x804a048,%eax
```

Thread B

```
mov    0x804a048,%eax
add    $0x1,%eax
mov    %eax,0x804a048
. . .
```

1→2

```
add    $0x1,%eax
mov    %eax,0x804a048
. . .
```

1→2

não está atualizado com o valor modificado pelo outro thread

Perde-se um incremento, em vez de se passar de 1→3, passou-se de 1→2

O que pode correr mal?

- Existem ações concorrentes . . .
  - Devido a interrupções
  - Devido ao escalonamento ou paralelismo
  - Devido a sinais
- Produzem resultados errados se partilharem recursos
  - Variáveis, IO, ...
- O SO é o primeiro exemplo que um sistema com ações concorrentes
  - Muitos dos problemas e suas soluções ocorrem na sua implementação

NOVA FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA

25

Ações concorrentes

- Threads/processos concorrentes: dados dois threads P e Q:
  - uma vez iniciado P, pode-se iniciar Q, sem ter de esperar pelo fim de P, ou vice-versa.
  - A execução concorrente de P com Q define um conjunto de **várias sequências possíveis**. Exemplo considerando apenas um CPU:

P: { **p1; p2**} e Q: {**q1; q2**}

p1; **p2**; **q1**; **q2** ← equivale a P; Q

p1; **q1**; **p2**; **q2**

p1; **q1**; **q2**; **p2**

q1; **q2**; **p1**; **p2** ← equivale a Q; P

q1; **p1**; **q2**; **p2**

q1; **p1**; **p2**; **q2**

NOVA FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA

26

Correção de um programa concorrente

- Programa concorrente: especifica múltiplos processos ou threads concorrentes
- A sua execução tem de produzir resultados corretos em TODAS as execuções possíveis.
  - Fácil: se threads INDEPENDENTES.
  - Difícil: se os threads DEPENDEM uns dos outros
    - Comunicam ou sincronizam-se
  - *Ao repetir a execução de um MESMO programa com os MESMOS dados, os resultados podem ser DIFERENTES?*
  - *Se nunca vir um resultado diferente não significa que o programa esteja correto!*

NOVA FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA

27

Regiões Críticas

- Regiões Críticas: Regiões de código que envolvem recursos partilhados executadas concorrentemente
- É necessário sincronizar as ações concorrentes que interferem
  - Impor uma ordem ou impedir certas ordens
- Recorre-se à programação de protocolos de acesso à região crítica
  - Recorrendo ao auxílio de entidades externas (p.e. SO)
  - Recorrendo a algoritmos e/ou instruções específicas
  - Exemplo: optar pela exclusão mútua no uso do recurso, criando operações indivisíveis ou atómicas

NOVA FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA

28