Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UTFPR – Campus Curitiba

Orientação a Objetos
-
Programação em C++

Grupo de Slides 18 – Parte B: Introdução à *Multithreading.*

Introdução à *Multithreading*: execução concorrente de tarefas.

Exemplos usando a 'biblioteca' pthread que é de acordo com POSIX.

Prof. Jean Marcelo SIMÃO

Aluno monitor em 2010: Vagner Vengue

POSIX Threads (Pthreads)

Obs.: Material inicial elaborado por Murilo S. Holtman no 2o Semestre de 2007. O Holtman era então aluno da disciplina em questão e estagiário em projeto do Professor da disciplina. Em 2010, o material foi melhorado e atualizado pelo monitor Vagner Vengue

POSIX Threads (Pthreads)

- Uma padronização desenvolvida pelo comitê POSIX (*Portable Operating System Interface*) para tornar os programas que utilizam *threads* **portáveis entre várias plataformas.**

- Inclui suporte à criação e controle de *threads* e a alguns objetos de sincronização básicos.

Elementos Básico de *threading* na 'biblioteca' Pthreads

pthread_create e *pthread_exit*

- `pthread_create()` cria uma nova *thread*, que pode (ou não) começar a executar imediatamente após a chamada ter sido concluída.

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

- `pthread_exit()` é chamada no contexto de uma *thread* criada por `pthread_create()` e faz com que essa *thread* seja finalizada.

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

Exemplos de implementação de *threads*

(utilizando Pthreads)

Exemplo 01

```
#include <iostream>
using namespace std;

#include <pthread.h>

bool thread_ligada = true;

pthread_t minha_thread;

// função passada como parâmetro para nova
// thread;
void* escreveAlgo(void *p)
{
    while ( thread_ligada )
    {
    cout << "Executando thread..."
         << endl;
    }

    // termina a thread;
    pthread_exit(&minha_thread);
}
```

```
int main()
{
    cout << "Digite ENTER para iniciar e parar
    a thread..." << endl;

    cin.get(); // aguarda um ENTER do usuário;
    thread_ligada = true;

    // inicia uma nova thread, passando como
    parâmetro a thread e a função que se deseja
    executar;
    pthread_create(&minha_thread, NULL,
          escreveAlgo, NULL);

    // cout << "Digite ENTER para
    finalizar..." << endl;

    cin.get(); // aguarda um ENTER do usuário;

    // informa a thread que ela deve parar;
    thread_ligada = false;

    return 0;
}
```

Exemplo 01


cmd.exe
Executando thread...
Executando thread...
Executando thread...
Executando thread...
Executando thread...
Executando thread...
Executando thread...
Executando thread...
Executando thread...
Executando thread...
Executando thread...
Executando thread...
Executando thread...
Executando thread...
Executando thread...
Executando thread...
Executando thread...
Executando thread...
Executando thread...
Executando thread...
Executando thread...
Executando thread...
Executa
n
E:\Novos\Exemplo01_Pthreads>

Elementos Básico de *threading* na 'biblioteca' Pthreads

join e *detach*

- Uma thread pode aguardar pela finalização de outra *thread* através de `pthread_join()`.

```
int pthread_join(
                        pthread_t thread,
                        void **value_ptr
                  );
```

- `pthread_detach()` avisa à implementação subjacente que a *thread* especificada deve ser liberada assim que terminar.

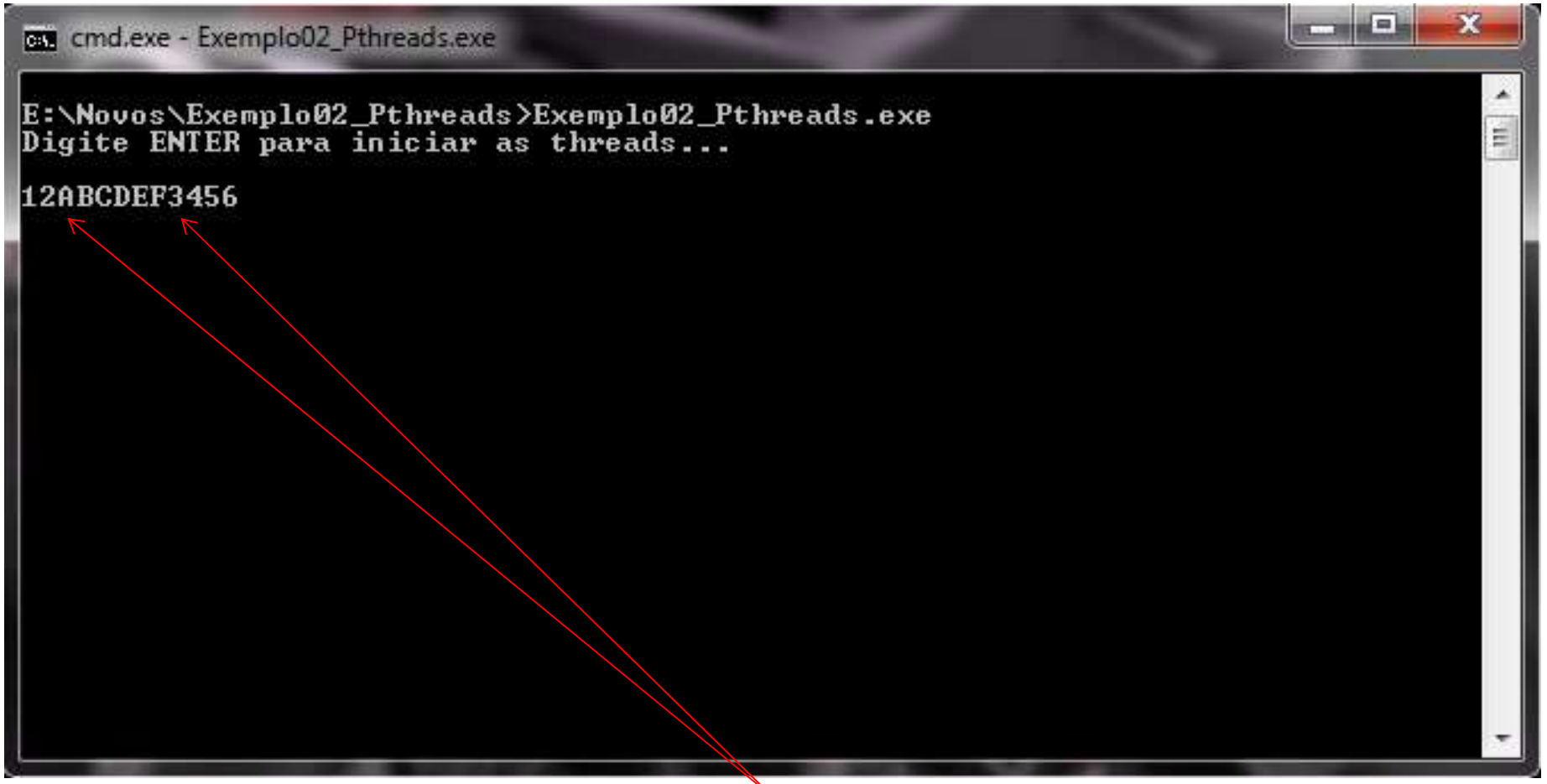
```
int pthread_detach (
                        pthread_t *thread
                   );
```

Exemplo 02 (Região Crítica)

```
#include <iostream>
using namespace std;
#include <pthread.h>

pthread_t thread_1;
pthread_t thread_2;
// função passada para a thread_1;
void* tarefa_1(void *p) {

    //------------------------ REGIÃO CRÍTICA
    for (char* s = "123456"; *s != '\0'; s++){
          cout << *s;
    }
    //----------------------------------------
}
// função passada para a thread_2;
void* tarefa_2(void* p) {

    //------------------------ REGIÃO CRÍTICA
    for (char* s = "ABCDEF"; *s != '\0'; s++){
          cout << *s;
    }
    //----------------------------------------
}
```

```
int main()
{
    cout << "Digite ENTER para iniciar as
    threads..." << endl;
    cin.get(); // aguarda um ENTER do usuário;

    // inicia as duas threads, passando como
    parâmetro a thread e a função que cada uma
    deve executar;
    pthread_create(&thread_1, NULL,
          tarefa_1, NULL);
    pthread_create(&thread_2, NULL,
          tarefa_2, NULL);

    // faz com que a thread principal espere a
    'thread_1' e a 'thread_2' acabarem;
    pthread_join(thread_1, NULL);
    pthread_join(thread_2, NULL);

    cin.get(); // aguarda um ENTER do usuário;
    return 0;
}
```

Exemplo 02 (Região Crítica)



- Como o Console (recurso) é compartilhado pelas duas *threads*, os textos se misturam, alterando o resultado correto.

Mutexes (Pthreads)

Revisando:

- São utilizados para **exclusão mutua**, ou seja, permitem que apenas uma *thread* por vez acesse um recurso.

- Se uma *thread* tenta acessar um recurso que outra *thread* está bloqueando, é impedida e libera o processador para que outras *threads* executem. Isso garante que uma *thread* não desperdice processamento porque está aguardando por um recurso bloqueado por outra *thread*.

Mutexes (Pthreads)

- Um mutex permite acesso de uma *thread* por vez a um recuso através de uma trava mutualmente exclusiva (***mut****ually* ***ex****clusive*).
- A função `pthread_mutex_init()` e a função `pthread_mutex_destroy()` respectivamente criam e liberam um objeto mutex.

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

int pthread_mutex_destroy ( pthread_mutex_t *mutex );
```

- Mutexes devem ter sido inicializados antes de serem utilizados (no contexto das *threads)* pelas seguintes funções:

```
int pthread_mutex_lock       ( pthread_mutex_t *mutex );

int pthread_mutex_trylock    ( pthread_mutex_t *mutex );

int pthread_mutex_unlock     ( pthread_mutex_t *mutex );
```

Exemplo 03 (Mutex)

```
#include <iostream>
#include <pthread.h>
using namespace std;

pthread_t thread_1;
pthread_t thread_2;
pthread_mutex_t meu_mutex;

// função passada para a thread 1;
void* tarefa_1(void *p)
{
    //------------------------- REGIÃO CRÍTICA
    pthread_mutex_lock(&meu_mutex);
    for (char* s = "123456"; *s != '\0'; s++)
    {
          cout << *s;
    }
    pthread_mutex_unlock(&meu_mutex);
    //-----------------------------------------
}
```

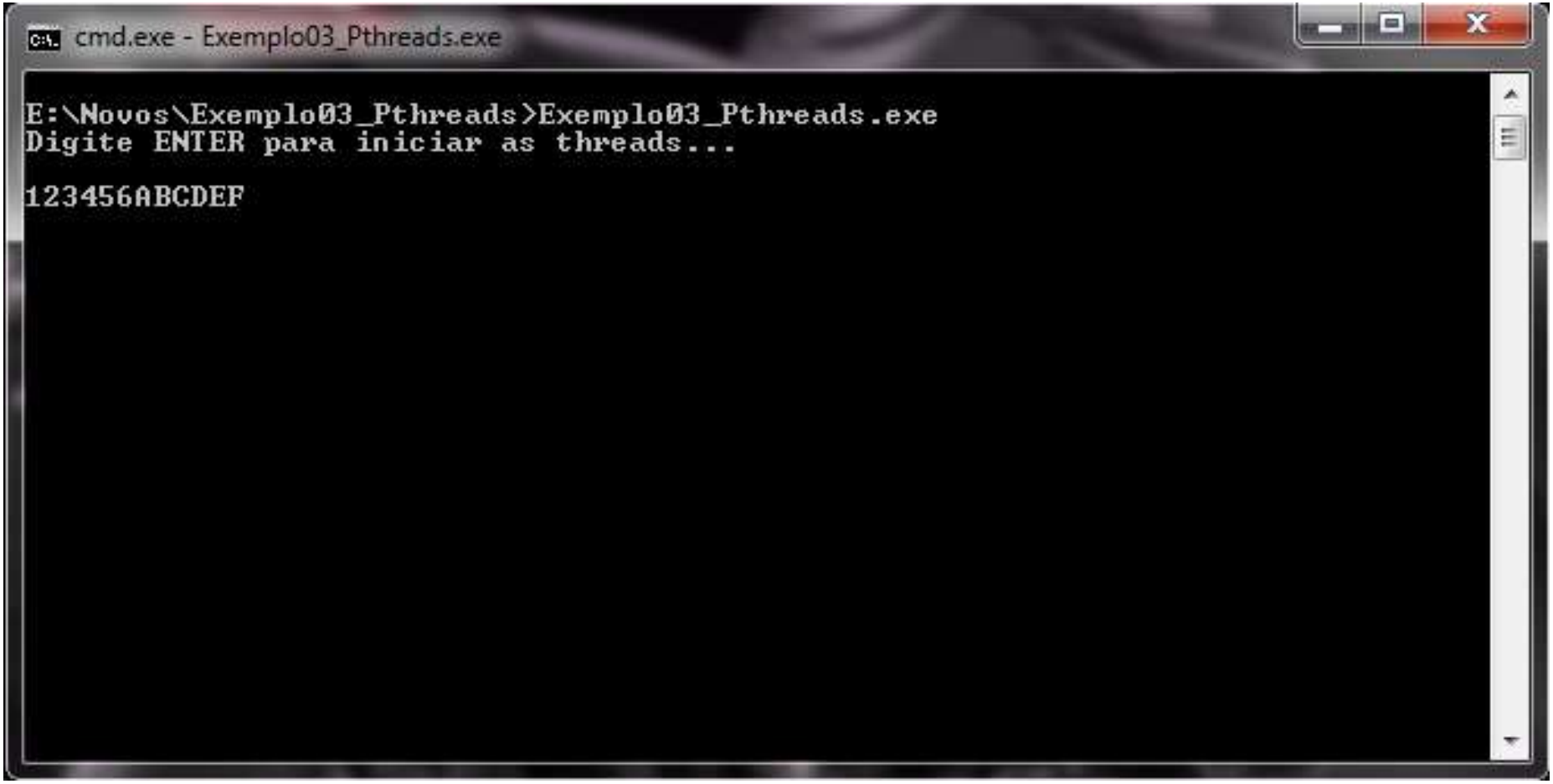
```
// função passada para a thread 2;
void* tarefa_2(void* p)
{
    //------------------------- REGIÃO CRÍTICA
    pthread_mutex_lock(&meu_mutex);
    for (char* s = "ABCDEF"; *s != '\0'; s++)
    {
          cout << *s;
    }
    pthread_mutex_unlock(&meu_mutex);
    //-----------------------------------------
}
```

- Com um objeto de Mutex, pode-se sincronizar as *threads*, pois ele só permite que uma *thread* por vez acesse o recurso que está sendo compartilhado.

Exemplo 03 (Mutex)

```
int main()
{
    cout << "Digite ENTER para iniciar as threads..." << endl;
    cin.get(); // aguarda um ENTER do usuário;

    pthread_mutex_init(&meu_mutex, NULL);

    // inicia as duas threads, passando como parâmetro
    // a thread e a função que cada uma deve executar;
    pthread_create(&thread_1, NULL, tarefa_1, NULL);
    pthread_create(&thread_2, NULL, tarefa_2, NULL);

    // faz com que a thread principal espere a 'thread_1' e a 'thread_2'
    acabarem;
    pthread_join(thread_1, NULL);
    pthread_join(thread_2, NULL);

    pthread_mutex_destroy(&meu_mutex);

    cin.get(); // aguarda um ENTER do usuário;
    return 0;
}
```

Exemplo 03 (Mutex)

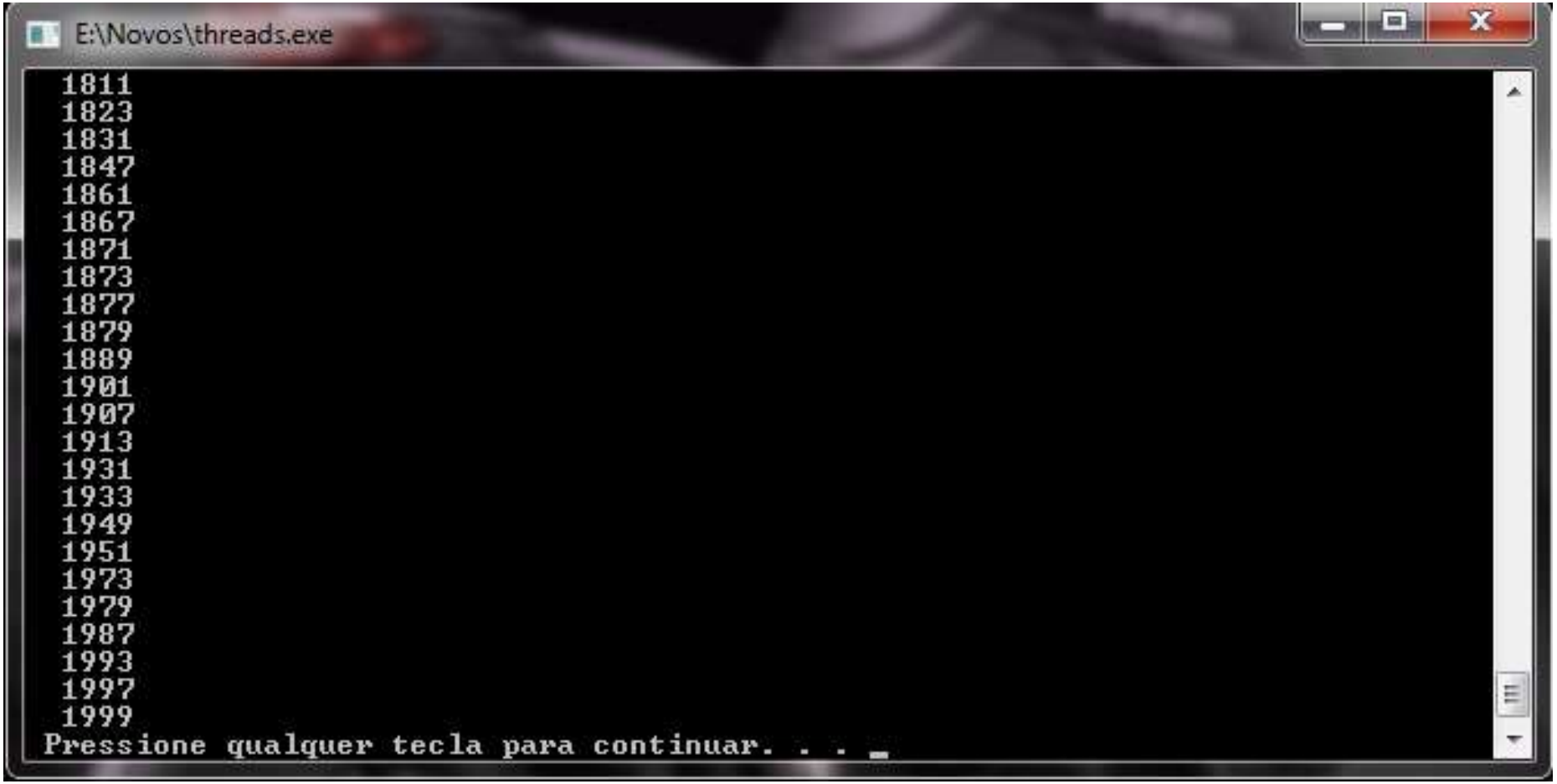


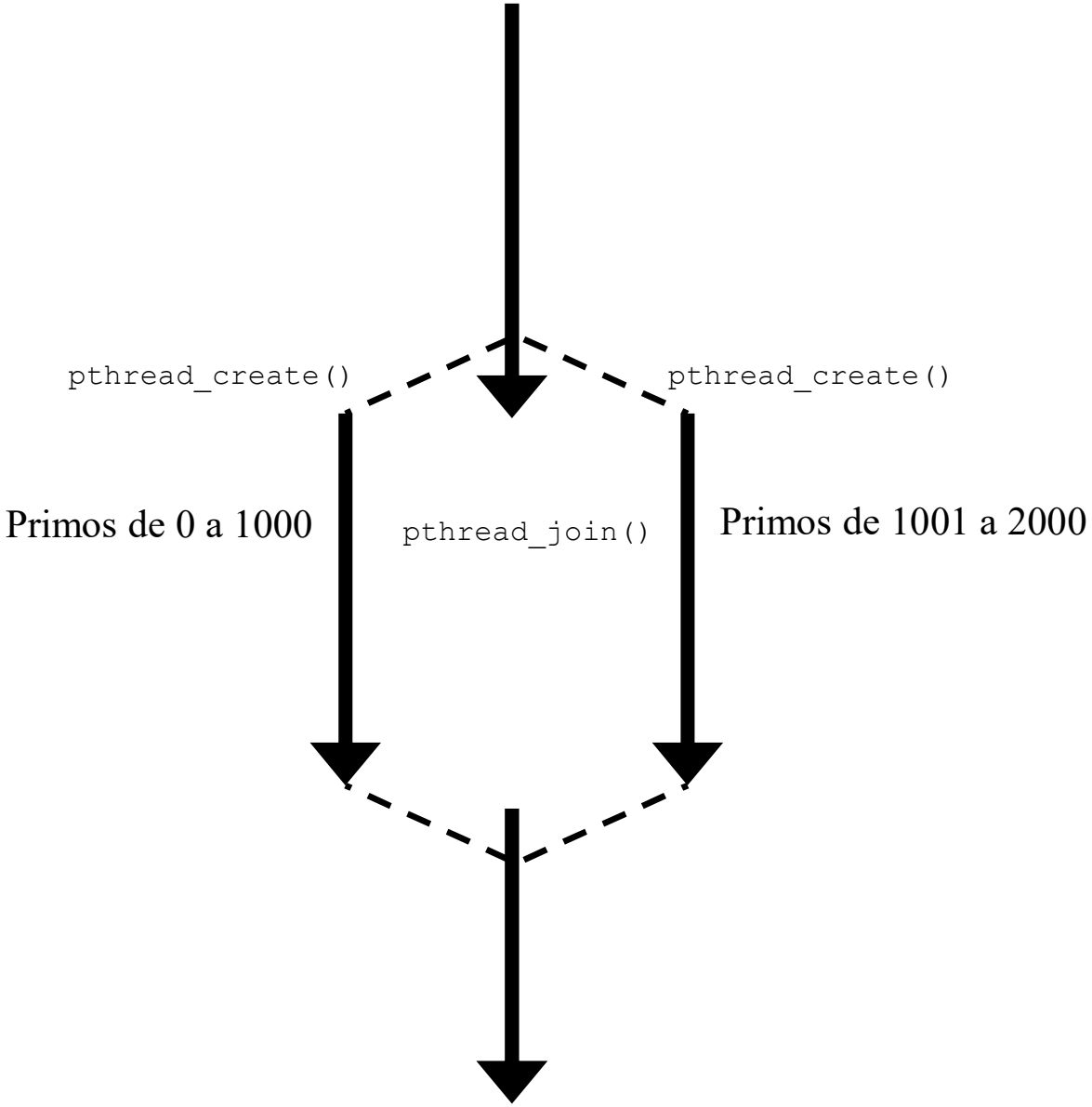
Exemplo 04 (Mutex)

```c
#include <stdio.h>
#include <pthread.h>
pthread_mutex_t meu_mutex;
struct limite {
  int baixo;
  int alto;
};
struct limite limite_1, limite_2;
void* encontra_primos( void *param );
int main()
{
pthread_t thd1, thd2;
pthread_mutex_init( &meu_mutex, NULL );
limite_1.baixo = 0;
limite_1.alto = 1000;
pthread_create(&thd1,NULL,encontra_primos,&limite_1);
limite_2.baixo = 1000;
limite_2.alto = 2000;
pthread_create(&thd2,NULL,encontra_primos,&limite_2);
pthread_join( thd1, NULL );
pthread_join( thd2, NULL );
pthread_mutex_destroy( &meu_mutex );
system ("pause");
return 0;
  }
```

```c
void* encontra_primos(void *param )
{
struct limite *aux;
aux = (struct limite *) param;
int n, k;
int primo;

for (n = aux->baixo; n <= aux->alto; n++)
{
  primo = 1;
  for (k = 2; k < n; k++ ){
    if ( (n % k) == 0 ){
        primo = 0;
        break;
    }
  }
  if ( primo ){
    pthread_mutex_lock(&meu_mutex);
    printf(" %u ", n );
    printf("\n");
    pthread_mutex_unlock(&meu_mutex);
  }
}
pthread_exit( NULL );
}
```

Exemplo 04 (Mutex)




pthread_create()
pthread_create()
Primos de 0 a 1000
pthread_join()
Primos de 1001 a 2000

Semáforos (Pthreads)

Revisando:

- São mecanismos que **permitem que um determinado número de *threads* tenham acesso a um recurso**. Agindo como um contador que não deixa ultrapassar um limite.

- No momento em que um objeto de semáforo é criado, é especificada a quantidade máxima de *threads* que ele deve permitir. Então cada *thread* que queira acessar o recurso, deve chamar uma função que decrementa em 1 o semáforo (*down*) e, após utilizar o recurso, chamar uma função que incremente em 1 o semáforo (*up*). Quando o contador do semáforo chega a zero, significa que o número de *threads* chegou ao limite e o recurso ficará bloqueado para as *threads* que chegarem depois, até que pelo menos uma das *threads* que estão utilizando o recurso o libere, incrementado o contador do semáforo.

Semáforos (Pthreads)

- Inicializa um objeto de semáforo.

```
int sem_init(      sem_t *semaforo,
                   int pshared,
                   int value );
```

- Parâmetros:
  - *semaforo*: deve ser um ponteiro para um objeto de semáforo.
  - *pshared*: define o escopo do semáforo, que também pode ser utilizado para sincronizar *threads* em processos diferentes. Se todas as *threads* são do mesmo processo, então o valor deve ser 0 (zero).
  - *value*: valor do semáforo, ou seja, a quantidade de *threads* que ele deve suportar.

- Destrói um objeto de semáforo, liberando a memória utilizada.

```
int sem_destroy( sem_t *semaforo );
```

- Parâmetro:

  semaforo: ponteiro para o objeto de semáforo.

Semáforos (Pthreads)

- A função `sem_wait()` faz uma requisição de acesso ao semáforo, se o número de *threads* ainda não chegou ao limite, então a thread obtém o acesso, senão aguarda até receber acesso.

```
int sem_wait(      sem_t *semaforo );
```

- Parâmetro:
  - *semaforo*: ponteiro para o objeto de semáforo.

- A função `sem_post()` deve ser usada após a thread ter chamado a função `sem_wait()`, indicando que não precisa mais de acesso ao recurso compartilhado e permitindo que outras *threads* que estejam esperando pelo recurso, obtenham acesso.

```
int sem_post(      sem_t *semaforo );
```

- Parâmetro:

  semaforo: ponteiro para o objeto de semáforo.

Exemplo 05 (Semáforo)

```
#include <iostream>
#include <pthread.h>
#include <semaphore.h>
using namespace std;

pthread_t thread_1;
pthread_t thread_2;
sem_t meu_semaforo;

// função passada como parâmetro para a thread
    1;
void* tarefa_1(void *p)
{
    //----------------------------------------
    REGIÃO CRÍTICA
    sem_wait(&meu_semaforo);
    for (char* s = "123456"; *s != '\0'; s++)
    {
          cout << *s;
    }
    sem_post(&meu_semaforo);
    //----------------------------------------
}
```

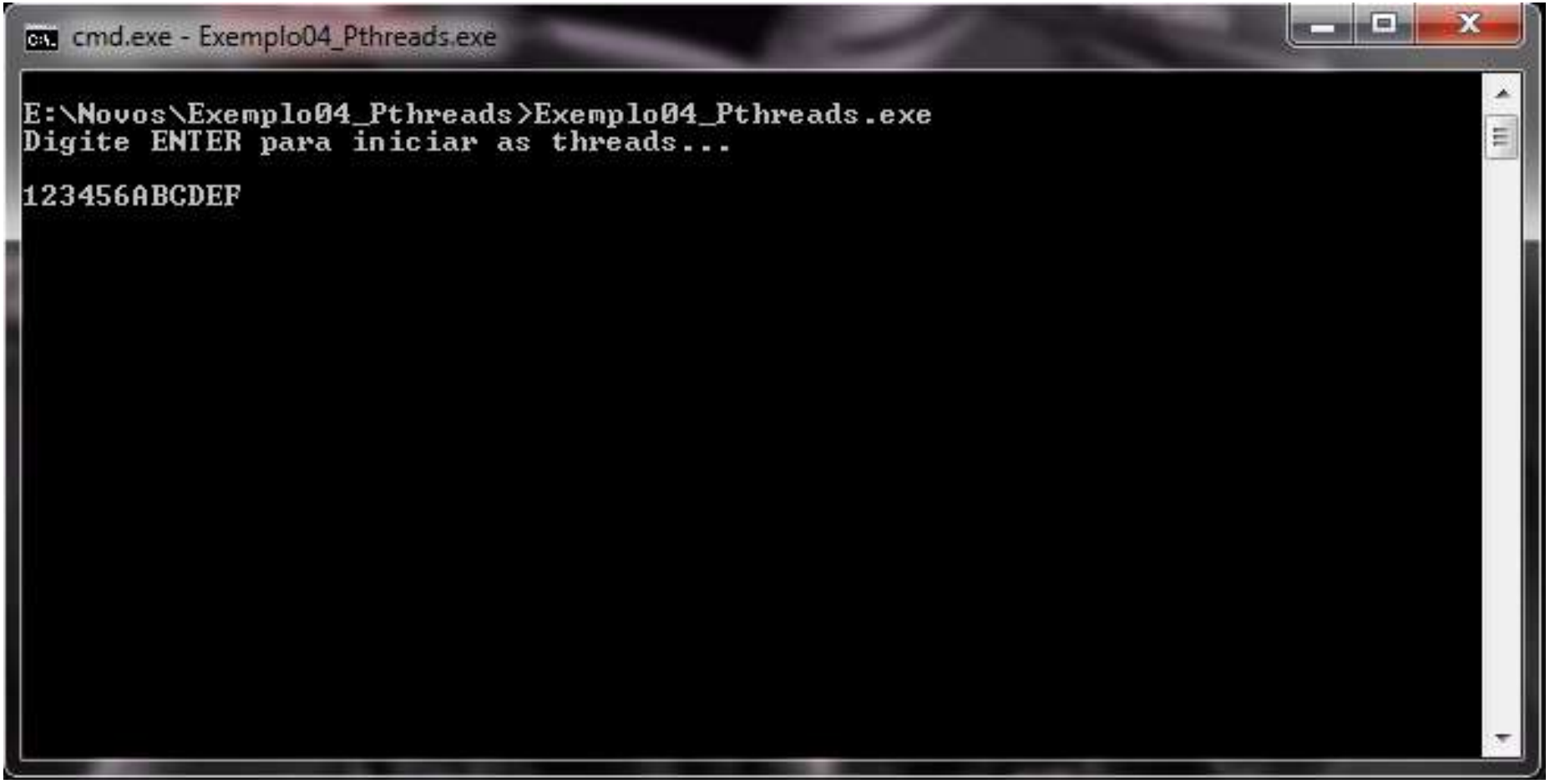
```
// função passada como parâmetro para a thread
    2;
void* tarefa_2(void* p)
{
    //----------------------------------------
    REGIÃO CRÍTICA
    sem_wait(&meu_semaforo);
    for (char* s = "ABCDEF"; *s != '\0'; s++)
    {
          cout << *s;
    }
    sem_post(&meu_semaforo);
    //----------------------------------------
}
```

- Um objeto de semáforo também pode ser utilizado para sincronizar *threads* através de exclusão mutua, definindo-se o seu valor como 1.
- Este tipo de semáforo é conhecido como **semáforo binário**, pois ele só tem dois estados: ocupado e desocupado.

Exemplo 05 (Semáforo)

```
int main()
{
    cout << "Digite ENTER para iniciar as threads..." << endl;
    cin.get();       // aguarda um ENTER do usuário;

    sem_init(&meu_semaforo, 0, 1);

    // inicia as duas threads, passando como parâmetro
    // a thread e a função que cada uma deve executar;
    pthread_create(&thread_1, NULL, tarefa_1, NULL);
    pthread_create(&thread_2, NULL, tarefa_2, NULL);

    // faz com que a thread principal espere a 'thread_1' e a 'thread_2'
    acabarem;
    pthread_join(thread_1, NULL);
    pthread_join(thread_2, NULL);

    sem_destroy(&meu_semaforo);

    cin.get();       // aguarda um ENTER do usuário;
    return 0;
}
```

Exemplo 05 (Semáforo)



Exemplo 06 (Semáforo)

```
#include <iostream>
#include <windows.h>  // para de Sleep();
#include <pthread.h>  // funções de pthreads;
#include <semaphore.h>// funções de semáforos;
using namespace std;

// número de threads;
#define NUM_THREADS     5
// número de threads permitidas pelo semáforo;
#define NUM_SEMAFORO    3

pthread_t vt_thread[NUM_THREADS];
int thread_ativa[NUM_THREADS];

sem_t meu_semaforo;   // objeto de semáforo;
```

```
// função passada para as threads;
void* tarefa(void *p)
{
     // recupera o id da thread;
    int* valor = static_cast<int*>( p );
    int id = *valor;
    //------------------------- REGIÃO CRÍTICA
    sem_wait(&meu_semaforo);
    for (int i = 0; i < 5; i++)
    {
        thread_ativa[ id ] = 1;
        // marca a thread como ativa e aguarda
    até ser desmarcada pela thread principal;
        while ( 1 == thread_ativa[ id ] )
        {
            Sleep(100);
        }
    }
    thread_ativa[ id ] = -1;// informa a thread
    principal que já acabou o seu trabalho;
    sem_post(&meu_semaforo);
    //---------------------------------------
    pthread_exit(0);
}
```

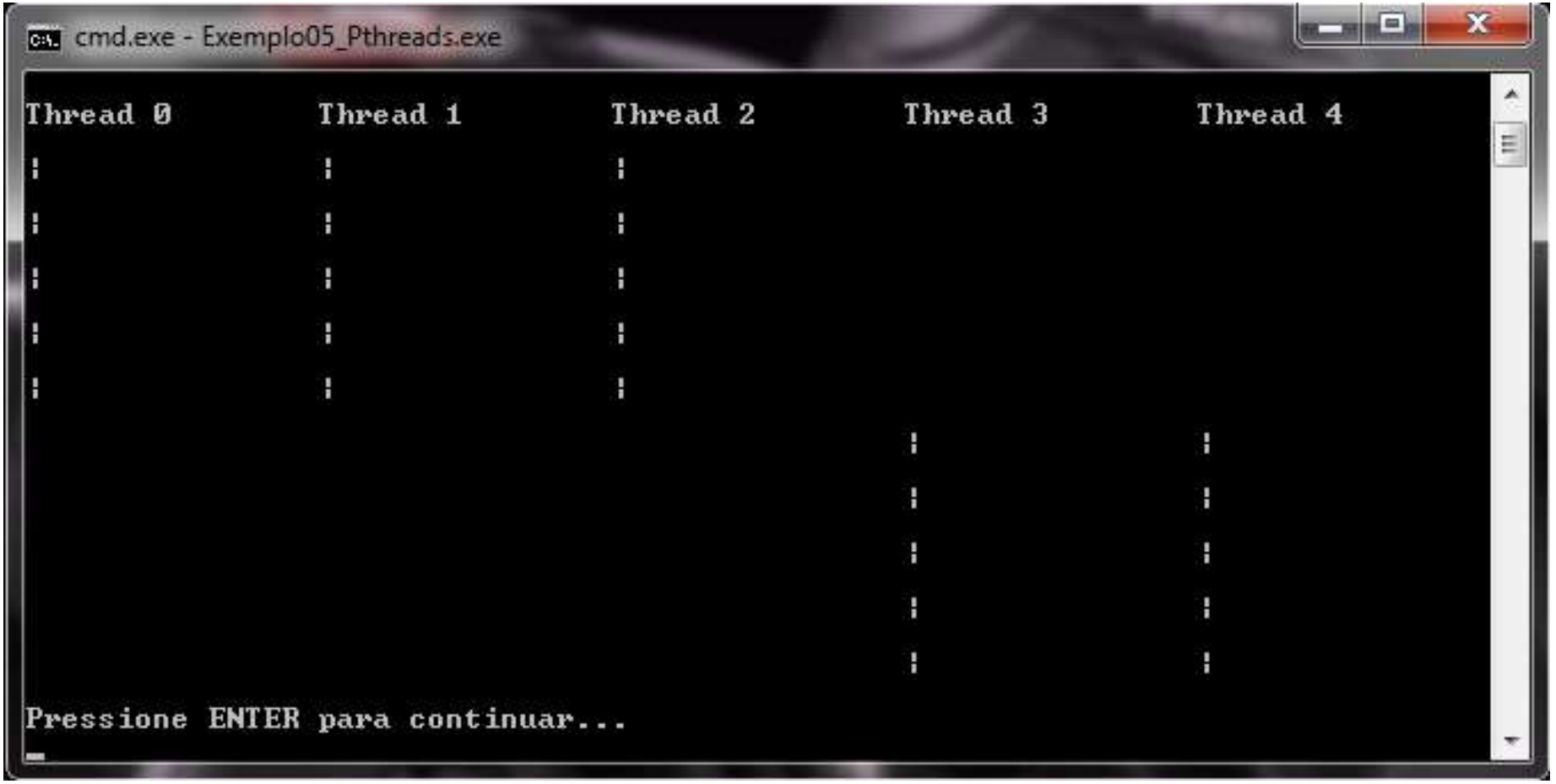
Exemplo 06 (Semáforo)

```
void monitorar()
{
    for (int i = 0; i < NUM_THREADS; i++)
    {
        cout << "Thread " << i << "\t";
    }
    cout << endl;

    bool threads_executando;
    do{
        // verifica se há pelo menos 1 thread
        executando;
        threads_executando = false;
        for (int i = 0; i < NUM_THREADS; i++)
        {
            if ( -1 != thread_ativa[ i ] )
            {
                threads_executando = true;
            }
        }
        if ( threads_executando )
        {
            // imprime no Console as threads que
    estão executando e que estão ativas, ou
    seja, estão com acesso ao semáforo;
            for (int i=0; i < NUM_THREADS; i++)
            {
                if ( 1 == thread_ativa[i] )
                {
                    cout << "|";
                    thread_ativa[ i ] = 0;
                }
                cout << "\t\t";
            }
            cout << endl;
            Sleep(500);
        }
    }while ( threads_executando );
}
```

Exemplo 06 (Semáforo)

```
int main()
{
    cout << "Digite ENTER para iniciar as threads..." << endl;
    cin.get();

    for (int i = 0; i < NUM_THREADS; i++) {
          thread_ativa[ i ] = 0;
    }
    // inicializa o semáforo;
    sem_init(&meu_semaforo, 0, NUM_SEMAFORO);
    // inicia as threads, passando como parâmetro
    // a thread e a função que cada uma deve executar;
    for (int i = 0; i < NUM_THREADS; i++) {
          pthread_create(&vt_thread[ i ], NULL, tarefa, (void*) &i );
          Sleep(100);
    }

    monitorar();     // função que mostra as threads que estão ativas;

    sem_destroy(&meu_semaforo);
    cout << "Pressione ENTER para continuar..." << endl;
    cin.get();
    return 0;
}
```

Exemplo 06 (Semáforo)



- Esta é uma possível saída do programa, mostrando a sequência em que 5 *threads* obtiveram acesso ao semáforo (e a um possível recurso associado a ele, como o próprio Console).
- Como o objeto de semáforo criado só permitiu um máximo de 3 *threads*, as *threads* 3 e 4 tiveram que aguardar as três primeiras acabarem os seus trabalhos e liberarem o semáforo.

Mais informações (técnicas)

- Para instalar em Dev C++
  - Ir no menu Ferramentas e depois no sub-menu Atualizações (++). No campo '*Select devpack server*', selecionar '*devpaks.org Community Devpacks*' e então clicar no botão '*Check for updates*'.
  - Após as atualizações, selecionar item relativo a *Pthreads* e clicar no botão '*Download selected*'. Uma vez realizado o *download,* ativa-se um instalador...
  - Ao compilar um projeto com pthread, pode acontecer um erro causado pela falta dos arquivos libpthreadGC2.a e pthreadGC2.dll. O primeiro se encontra no diretório (*default): '...\DevC++\Dev-Cpp\lib' e o segundo pode ser encontrado no link: 'ftp://sourceware.org/pub/pthreads-win32/dll-latest/lib/'. (último acesso em* 20/05/2010).
  - O arquivo libpthreadGC2.a deve ser adicionado ao projeto indo no menu Projeto, depois no sub-menu Opções de Projeto e, na guia superior Parâmetros, clicando-se em Adicionar Biblioteca.
  - O arquivo pthreadGC2.dll deve ser adicionado aos arquivos do Dev C++ (*\DevC++\Dev-Cpp\bin)* ou as pastas do sistema operacional, como *'C:\Windows\System32',* que além de não ser recomendado, ainda pode ser mais trabalhoso, devido aos sistemas de segurança dos sistemas operacionais modernos.

Mais informações (técnicas)

- Para instalar *Pthread* em outros...
  - Pesquisar na internet...
  - Talvez em: http://koti.mbnet.fi/outgun/documentation/compiler_install.html#pthreads
    Obs. : Último acesso foi em 19/05/2008, às 21:05.

- Infos
  - http://sources.redhat.com/pthreads-win32/
    Obs. : Último acesso foi em 19/05/2008, às 21:05.

- Infos
  - http://www.opengroup.org/onlinepubs/007908799/xsh/pthread.h.html
  - Todas as *man pages* relativas a Pthreads.

  Obs. : Último acesso foi em 19/05/2008, às 20:07.

Apenas Lembrando: Número primo

Número primo é um número inteiro com apenas quatro divisores inteiros: 1, -1, seu oposto e ele mesmo. Por exemplo, o número 3 é um número primo pois seus dois únicos divisores inteiros são 1 e 3, -1 e -3. Se um número inteiro tem módulo maior que 1 e não é primo, diz-se que é **composto**. Os números 0 e 1 não são considerados primos nem compostos.

O conceito de número primo é muito importante na teoria dos números. Um dos resultados da teoria dos números é o Teorema Fundamental da Aritmética, que afirma que qualquer número natural pode ser escrito de forma única (desconsiderando a ordem) como um produto de números primos (chamados **fatores primos**): este processo se chama decomposição em fatores primos (fatoração).

Os 25 primeiros números primos positivos são:

2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 29, 31, 37, 41, 43, 47, 53, 59, 61, 67, 71, 73, 79, 83, 89, 97...

Origem: Wikipédia, a enciclopédia livre.

Bibliografias relativas a *Threads*.

- SCHILDT, H.: **The Art of C++.** McGraw-Hill Osborne Media. 1ª Edição (Paperback) 2004. ISBN-10: 0072255129

- RICHARD, H. C.; KUO-CHUNG, T.: **Modern Multithreading: Implementing, Testing, and Debugging Multithreaded Java and C++/Pthreads/Win32 Programs.** Wiley-Interscience (Paperback) 2005. ISBN-10: 0471725048

- HUGHES C; HUGHES T.: **Object-Oriented Multithreading Using C++.** Wiley; (Paperback) 1997. ISBN-10: 0471180122.

- HUGHES C; HUGHES T.: **Professional Multicore Programming: Design and Implementation for C++ Developers**. Wrox (Paperback) 2008. ISBN-10: 0470289627

Atividades – Exercícios

- Estudar o exemplo 4, testando o mesmo programa sem o uso de mutex.
- Estudar o exemplo 6, testando o programa com diferentes valores para o semáforo.
- Pesquisar/Estudar como programar com Pthread de maneira orientada a objetos.
- Vide
  - http://www.linuxselfhelp.com/HOWTO/C++Programming-HOWTO-18.html
  - http://threads.sourceforge.net/