[Magee 1999] Concurrency – State Models and Java Programs, *Jeff Magee, Jeff Kramer*, John Wiley 1999.

[Gosling] "The Java Language Specification" James Gosling, Bill Joy and Guy Steele, Addison-Wesley. http://java.sun.com/docs/books/jls/index.html

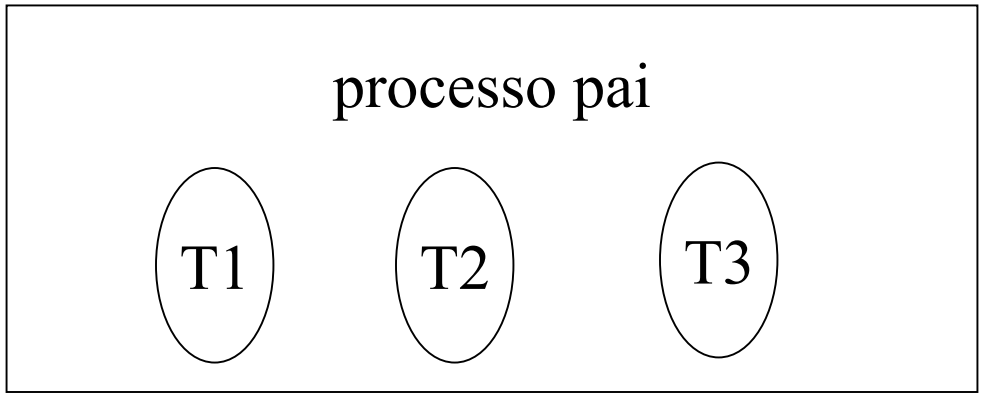
[Berg99] "Advanced Techniques for Java Developers" *Daniel J. Berg and J. Steven Fritzinger*, Jhon Willey & Sons, 1999.

Definição:

"Thread" – sequência de execução independente

As várias threads de um processo partilham o mesmo espaço de endereçamento que o processo (pai) que lhe deu origem.

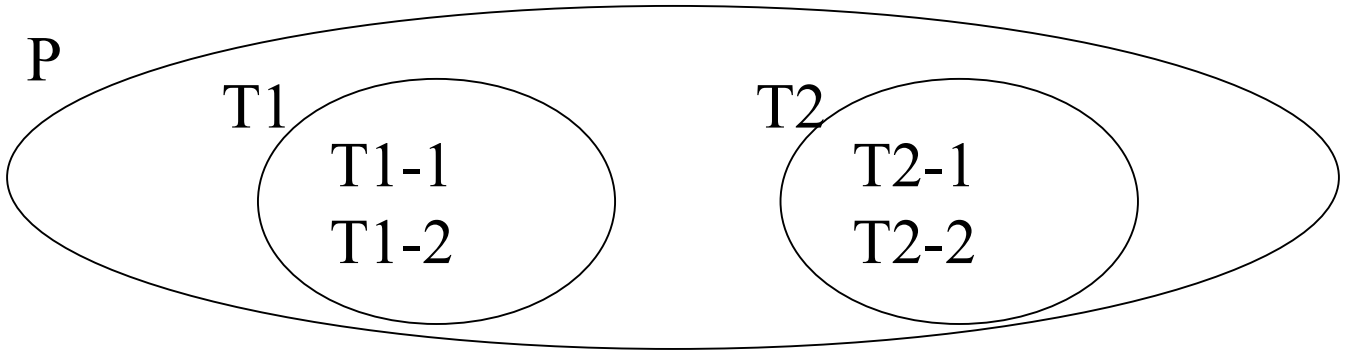
4 processos em ***execução simultânea***



cria 3 threads

Seja um processo P constituído pelas threads T1 e T2.

A execução de P é uma sequência pertencente ao conjunto formado por todas as sequências de combinações possíveis de execução de T1 e T2



Sequências de execução possíveis:

S1: T1-1, T1-2, T2-1, T2-2

S2: T2-1, T2-2, T1-1, T1-2

S3 IT1-1, T2-1, T1-2, T2-2

S4: T1-1, T2-1, T2-2, T1-2

S5: T2-1, T1-1, T1-2, T2-2

S6: T2-1, T1-1, T2-2, T1-2

Criação de Threads em Java

Hipótese 1:

subclasse de Thread

```
public class MinhaThread_1 extends Thread {

   public MinhaThread_1(){
      super();  //construtor da superclasse
      start();
   }
```

*método definido na classe Thread, invoca o método **run()***

Ex.lo

```
public void run(){
        while (true) {
            ....
            if (isInterrupted() )
                break;
        }
 }// run
} //classe MinhaThread_1
public class Teste{
        public static void main (String [] args){
                MinhaThread_1 T1 = new MinhaThread_1();
        }
}
```

define o código a ser executado pela Thread

Hipótese 2:

```
public class MinhaThread_2 extends Thread {
   public void run () {
            ...
   }
}
```

? onde está a chamada ao super() ?

```
public class Teste{
   public static void main (String [] args){
         MinhaThread_2 Ta, Tb;
         Ta =  new MinhaThread_2();
         Tb =  new MinhaThread_2();
         Ta.start();
         Tb.start();
   }}
```

← *iniciar a execução da thread na classe Teste:*

Se quisermos aceder a variáveis do processo principal?

- Passamos como parâmetros as referências dessas variáveis (objetos)

```
public class MinhaThread extends Thread {
        ObjectoPartilhado O;
        public MinhaThread ( ObjectoPartilhado o ){
            super();
            O = o ;
            start();
        }
       public void run(){
            ...
            O....  ← aceder ao objecto partilhado
        }
}
```

endereço do objecto partilhado

Hipótese 3: *- se a classe já for subclasse de outra classe?*

```
public class MinhaThread_3 implements Runnable {
     public void run(){
        ...
     }
}
public class Teste{
   public static void main (String [] args){
          MinhaThread_3 Tc;
          Tc =  new MinhaThread_3();
          Thread T = new Thread (Tc);
          T.start();
   }
}
```

classe que implementa o método run()

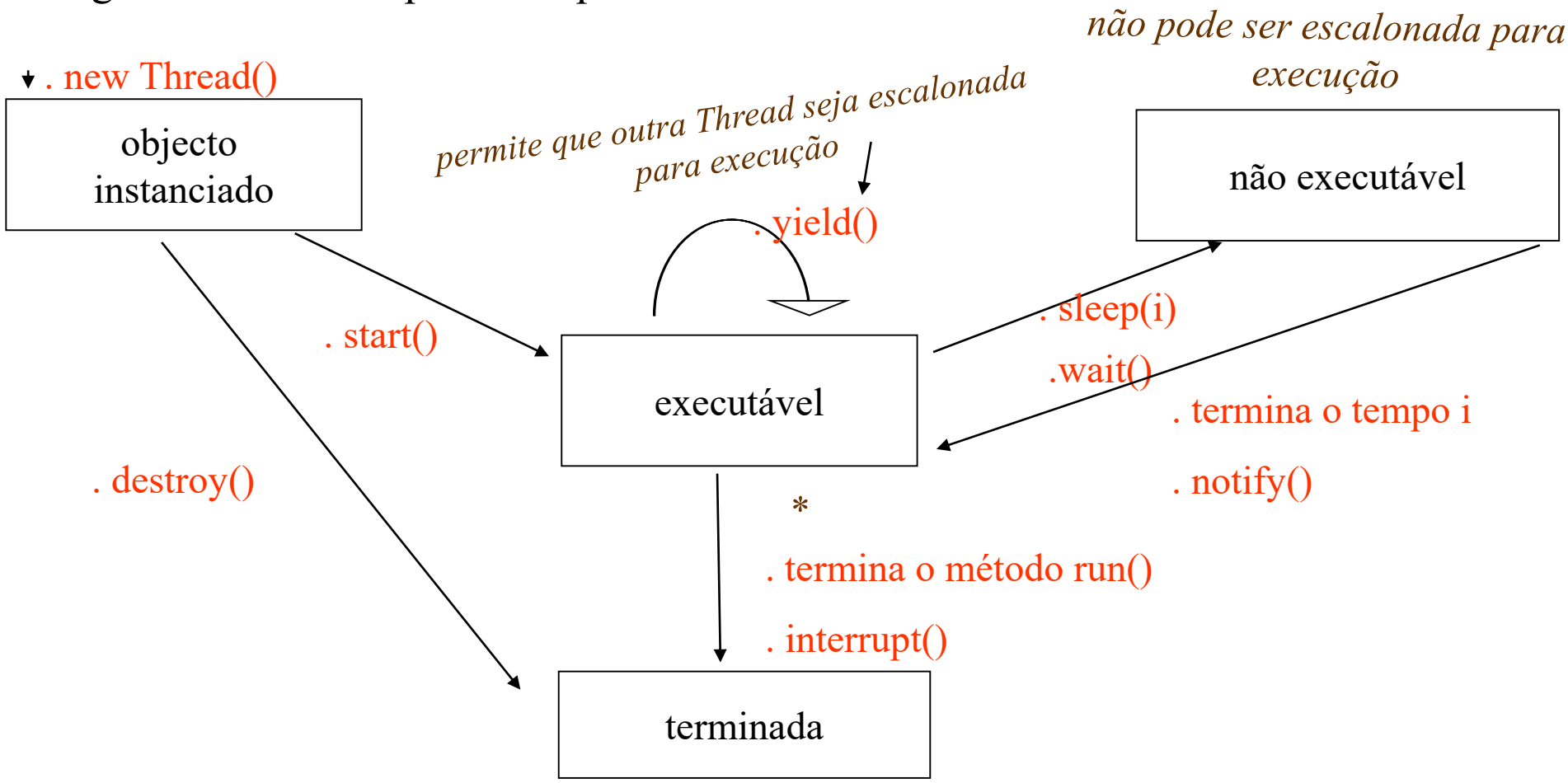
"runnable object"

iniciar a execução

```
public interface Runnable {
     public abstract void run();
}
```

Instanciar um objeto do tipo Thread, passando como parâmetro um "runnable" objeto.

Diagrama de estados possíveis para uma Thread



** uma Thread no estado executável, não está necessariamente em execução, apenas pode ser escalonada para execução*

Exercício 1:

Pretende-se construir um programa que permita adicionar arrays de grande dimensão. Para isso, vamos dividir os arrays a somar em várias porções menores e somar cada porção numa thread independente.

a) Construir o código de uma thread, ThreadSoma, que receba como parâmetros as "referências" de 3 arrays, A, B e C e 2 valores inteiros, p e u. A thread deverá fazer a soma dos arrays, A e B, desde a posição p até à posição u-1, colocando o resultado em C.

$$C[i] = A[i] + B[i] \quad \text{com } i = p, p+1, p+2, \ldots u-1 .$$

b) Construa um programa onde deverá criar dois arrays de inteiros com valores aleatórios. Os arrays, A e B, devem ter a mesma dimensão. Para somar os dois arrays, colocando a soma num array C com a mesma dimensão, divida-os em dois e cada metade deverá ser somada por uma instância da classe ThreadSoma que criou na alínea anterior.

c) Queremos agora que no programa anterior, o programa principal calcule a soma de todos os valores do array resultado, C. Essa soma só deve ser feita após ambas as instâncias de ThreadSoma terminarem a execução. Explore os métodos da classe Thread para ver como pode fazer com que uma Thread espere que outra termine a execução.

Sincronização de Threads

. *mecanismo baseado no conceito de monitor*

Existe,

um lock associado a cada objecto — *lock de objecto*

e

um lock associado a cada classe. — *lock de classe*

A instrução

referência para o objecto ←

synchronized (expressão)

{ instruções }

a) após calcular a referência para o objecto, mas antes de executar o corpo de instruções:

- A thread adquire o lock associado ao objecto,

(caso este não pertença já a alguma outra thread)

- executa o corpo de instruções

b) Após executar o corpo de instruções

- liberta o lock

(se a execução do bloco de instruções termina anormalmente i. é, falha a meio, o lock é libertado)

Notas:

1. Um método pode ser declarado como synchronized,

(comporta-se como se estivesse contido numa instrução synchronized)

2. O facto de uma Thread adquirir o lock associado a um objecto, não impede que outras Threads acedam aos campos do objecto ou possam invocar métodos não sincronizados.

3. Se o método sincronizado é um método de instância:

- a Thread adquire o lock do objecto (associado a this);
- todas as Threads que tentem executar esse mesmo método, no mesmo objecto, terão que esperar, competindo pela aquisição do lock.

Notas (cont.):

4. Se o método sincronizado é um método de classe:

- a Thread adquire o lock da classe;

- todas as Threads que tentam executar esse método, em qualquer objecto da classe, terão que esperar que o lock seja libertado.

...

Exemplo 1:

```
public class Exemplo{
   private int x;
   private  static int s;
   public synchronized void M1()
  {  x++;  }
   public static synchronized void M2()
   {  s++;}
}
```

É equivalente a ...

```
public class Exemplo{
  private int x;
  private  static int s;

  public void M1(){
        synchronized (this)
        { x++; }
  }

  public static void M2(){
     try { synchronized (Class.forName( “Exemplo”) )
         { s++; }
     }
     catch (classNotFoundException e)  {...}
  }
}
```

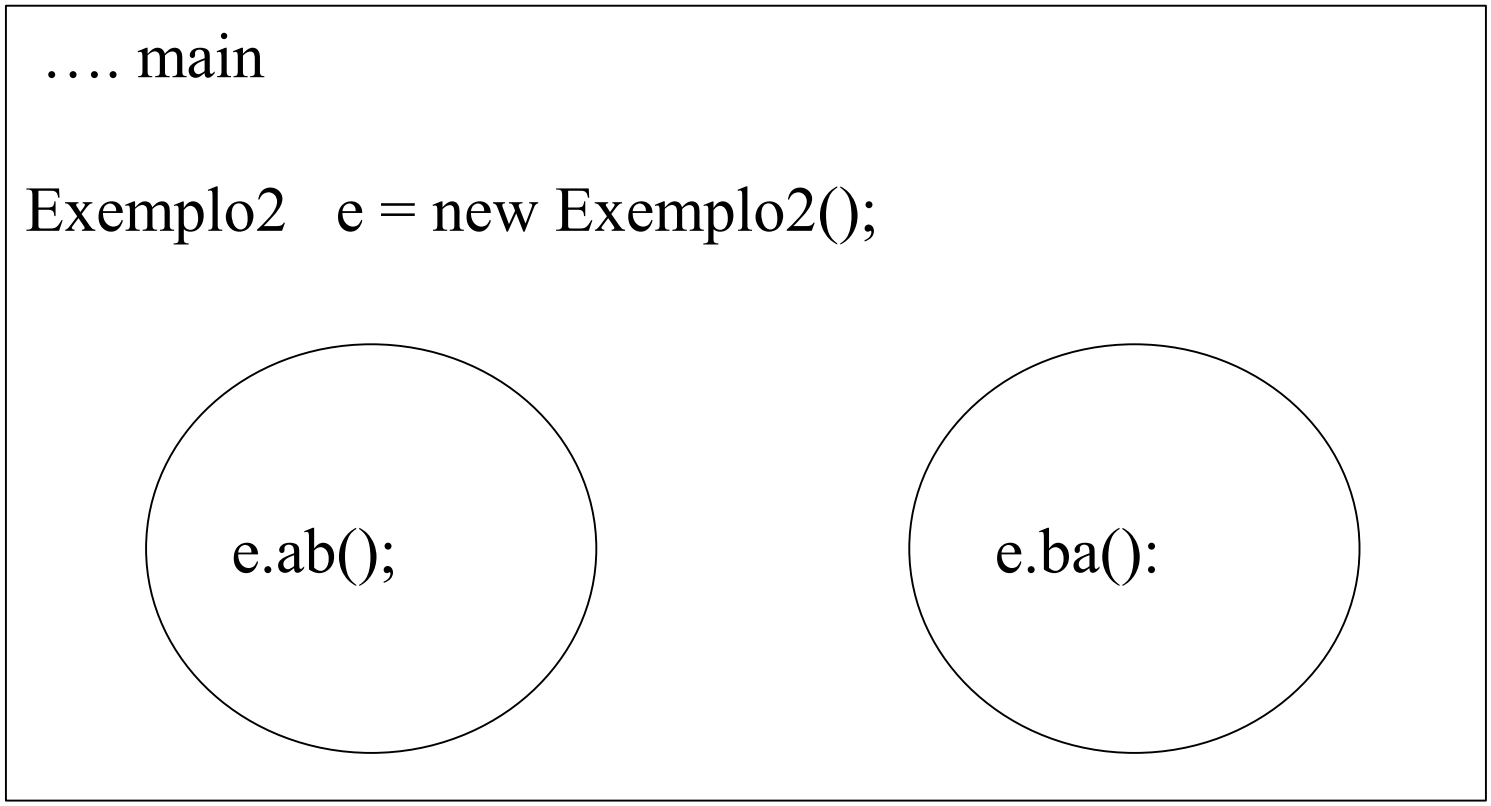
Exemplo 2:

Sejam duas Threads, T1 e T2. Supondo que T1 invoca o método ab e T2 invoca o método ba no mesmo objecto da classe Exemplo2, quais são os possíveis valores finais para a e b em cada caso, i) e ii) ?

```
i) public class Exemplo2{
      private int a = 1, b = 2;
      public void ab()
      {  a = b; }
       public void ba()
      { b = a; }
  }
```

Implementar e testar a resposta … !!

Exemplo 2:



Como implementar ?

Qual o output quando o objeto partilhado é um objeto da classe Exemplo2?

a=2,b=1| a=2,b=2| a=1,b=1

ii)
```
public class Exemplo3{
    private int a = 1, b = 2;
    public synchronized void ab()
    {  a = b; }
     public synchronized void ba()
    { b = a; }
}
```

Qual o output quando o objeto partilhado é um objeto da classe Exemplo3?

a=2,b=2| a=1,b=1

E nos casos iii, iv e v quais são os **outputs possíveis**, supondo que T1 invoca o método M1 e T2 invoca o método M2 no mesmo objeto da classe?

```
iii) public class Exemplo4{
        private int a = 1, b = 2;
        public void M1()
        {  a = 3; b = 4; }
         public void M2()
        { System.out.println ("a=" + a + "b=" + b); }
   }
```

a=3,b=4| a=3,b=2| a=1,b=2| a=1,b=4

iv)
```
public class Exemplo5{
    private int a = 1, b = 2;
    public synchronized void M1()
    {a = 3; b = 4; }
     public void M2()
    { System.out.println ("a=" + a + "b=" + b); }
}
```

a=3,b=4| a=3,b=2| a=1,b=2| a=1,b=4

➔ *o facto de um método ser sincronizado não faz com que se comporte como se fosse uma instrução atómica*

```
v) public class Exemplo6{
        private int a = 1, b = 2;
        public synchronized void M1()
        {a = 3; b = 4; }
         public synchronized void M2()
        { System.out.println ("a=" + a + "b=" + b); }
}
```

a=3,b=4| a=1,b=2

- "Multithreaded servers"

E se quisermos que um servidor atenda vários clientes em simultâneo?

- Em situações em que o servidor faça operações de input / output como os servidores de bases de dados ou de ficheiros, servir vários clientes em simultâneo pode melhorar significativamente o seu desempenho.

- Isso pode ser feito, por exemplo, criando uma thread para "servir" cada cliente.

- O mesmo é válido para o cliente: é possível melhorar o desempenho de alguns processos clientes criando várias threads para distribuir as tarefas.

➢ Arquitecturas possíveis:

1 - Uma thread por pedido (thread-per-request)

- É criada uma thread para cada pedido do cliente.

2 - Uma thread por ligação (thread-per-connection)

- É criada um thread por cada cliente que se liga.

3 - Uma thread por objecto (thread-per-object)

- A cada objecto remoto é associada uma thread.

4 - Thread-pool

- O servidor cria um conjunto inicial de threads.

Caso de estudo:

1 - “Multithreaded server”

Suponhamos um servidor, que comunica a cada cliente que o solicita, a data e a hora do sistema:

Cliente

```
import java.net.*;
import java.io.*;
public class Cliente{
    private Socket s;
    public Cliente(){
        try {
            s = new Socket (“127.0.0.1”, 5432);
```

- “Multithreaded server” (Cliente - cont.)

```
        ObjectInputStream is = new ObjectInputStream( s.getInputStream() );
        System.out.println( is.readObject() );
        s.close();
      }//try
       catch ( IOException e)
      {   System.out.println(e.getMessage());}
   } //construtor

        public static void main (String args []){
            Cliente c = new Cliente();
        }
}//Cliente
```

Servidor:

```
public class Servidor {
   private ServerSocket ss;
   private Socket s;
   private Connection c;
   public Servidor(){
      try {
         ss = new ServerSocket (5432);
      }
      catch ( IOException e){
         ...
       }
```

Servidor (cont.)

```
try {
        while (true) {
            s = ss.accept();

            c =  new Connection (s);

        }
      }
      catch (IOException e) {...}
   }
    public static void main (String args[]){
            Servidor dataHora = new Servidor();
    }
}
```

aceita uma ligação pedida por um cliente

- O pedido é tratado por uma nova Thread;

- O ServerSocket pode aceitar outra(s) ligações

```
public class Connection extends Thread {
   private Socket S;
   public Connection ( Socket s) {
         super();
         S = s;
        start();
   }

   public void run () {
      try {
      ObjectOutputStream os = new ObjectOutputStream( S.getOutputStream());
      os.writeObject ( “A data e hora do sistema: ” + new java.util.Date() );
      os.flush();
      }
      catch ( IOException e) {...}
   }
}
```

Ex.io: Fazer um esquema que represente os vários processos e a comunicação, no ex.lo.

Exercício 2: Suponha uma aplicação cliente/servidor em que :

- Cada cliente aposta num número inteiro de 0 a 99;
- Servidor gera um número inteiro aleatório entre 0 e 99 e se for igual à aposta do cliente este ganha um determinado prémio. Note que para cada cliente deve ser gerado um novo número.

O valor do prémio é determinado da seguinte forma: é inicializado a 0; para cada cliente que joga é adicionado ao prémio o valor de 1€. Quando um cliente acerta no número gerado ganha 50% do valor acumulado até esse momento no prémio. Após um cliente acertar no prémio, o prémio volta a zero.

- O Servidor devolve uma mensagem com o texto " Parabéns, ganhou XXX €" caso acerte e em que XXX deve conter o valor ganho. Caso o cliente não acerte no valor gerado, a mensagem deverá ser "Continue a tentar, o prémio já é de YYY €" em que YYY é o valor que poderia ganhar nesse momento.

– Implemente a aplicação anterior usando Sockets TCP para comunicação entre o cliente e um servidor multithreaded. Use ObjectStreams.

a) Construa o processo cliente.

b) Construa o processo servidor

c) Construa a Thread que comunica com o cliente.