Aula 7

- Utilização de ponteiros em linguagem C
- Acesso sequencial aos elementos de um *array*:
  - acesso indexado
  - acesso com ponteiro
- Tradução para *assembly* do MIPS

Bernardo Cunha, José Luís Azevedo, Arnaldo Oliveira

Introdução

- Em linguagem C, em muitas situações é necessário saber qual o endereço de memória onde reside uma variável, para então aceder ao seu conteúdo
- Por exemplo, para imprimir no ecrã os carateres de uma *string* (*array* de carateres) é necessário ler sequencialmente cada uma das posições de memória onde a *string* se encontra alojada (que são identificadas pelo seu endereço)
- O acesso a cada um dos carateres é feito indiretamente através do endereço onde residem:
  - conhecido o endereço inicial da *string* em memória, o acesso sequencial é garantido pelo incremento sucessivo do endereço
- A linguagem C providencia um mecanismo para acesso a variáveis residentes na memória externa através da utilização de ponteiros

Linguagem C: ponteiros e endereços – o operador &

- Um **ponteiro** é uma **variável que contém o endereço de outra variável** – o acesso à 2ª variável pode fazer-se indiretamente através do ponteiro
- Se **`var`** é uma variável, então **`&var`** dá-nos o seu endereço
- Exemplo:
  - **`x`** é uma variável (por ex. um inteiro) e **`px`** é um ponteiro. O **endereço da variável `x`** pode ser obtido através do **operador `&`**, do seguinte modo:

```
px = &x;   // Atribui o endereço de "x" a "px"
```

  - Diz-se que **`px` é um ponteiro que aponta para `x`**
- O operador **`&`** apenas pode ser utilizado com variáveis e elementos de *arrays*.
  - Exemplos de utilizações **erradas**:

```
&5;    &(x+1);
```

Linguagem C: ponteiros e endereços – o operador &

- Exemplo:

```
#include <stdio.h>
void main(void)
{
    int age = 59;
    printf("Value of variable age is: %d\n", age);
    printf("Address of variable age is: %p\n", &age);
}
```

  - O primeiro **`printf()`** imprime o valor da variável: 59
  - O segundo **`printf()`** imprime o endereço da posição de memória onde reside a variável:
    - se este código executar num processador com arquitetura MIPS é um valor de 32 bits

Ponteiros e endereços – o operador *

- O operador "*":
  - trata o seu operando como um endereço
  - permite o acesso ao endereço para obter ou alterar o respetivo conteúdo
- Exemplo:

```
y = *px;   // Atribui o conteúdo da variável
           //   apontada por "px" a "y"
```

- A sequência:

```
px = &x;   // px é um ponteiro para x
y = *px;   // *px é o valor de x
```

Atribui a `y` o mesmo valor que a expressão: `y = x;`

- O operador "*", é designado por **operador de indireção**

Ponteiros e endereços – declaração de variáveis

- As variáveis envolvidas têm que ser declaradas
- Para o exemplo anterior, supondo que se tratava de variáveis inteiras:

```
int  x, y; // x, y - variáveis do tipo inteiro
int  *px;  // ou int* px; (ponteiro para inteiro)
           // Esta declaração apenas reserva o
           //  espaço para o ponteiro, ou seja,
           //  não há qualquer inicialização
```

- A declaração do ponteiro (`int *px;` **ou** `int* px;`) deve ser entendida como uma mnemónica e significa que **`px` é um ponteiro** e que o conjunto **`*px` é do tipo inteiro**

- Exemplos de **declarações de ponteiros**:

```
char  *p;  // p é um ponteiro para caracter
double *v; // v é um ponteiro para double
```

Ponteiros e endereços – declaração de variáveis

- Exemplo:

```
#include <stdio.h>
void main(void)
{
    int age = 59;
    int *p = &age;

    printf("Value of variable age is: %d\n", age);
    printf("Value pointed by p is: %d\n", *p);
}
```

  - O segundo **`printf()`** imprime o conteúdo da variável apontada pelo ponteiro "p"
  - O valor impresso pelos dois **`printf()`** é o mesmo

Manipulação de ponteiros em expressões

- Exemplo: supondo que **px** aponta para **x** (**px = &x;**), a expressão **y = *px + 1;** atribui a **y** o valor de **x** acrescido de 1
- Os ponteiros podem igualmente ser utilizados na parte esquerda de uma expressão. Por exemplo, (supondo que **px = &x;**):

```
*px = 0;          // equivalente a x=0
```

ou

```
*px = *px + 1; // equivalente a x = x + 1
*px += 1;      // o mesmo que *px = *px + 1
(*px)++;       // o mesmo que *px = *px + 1
```

Ponteiros como argumentos de funções

- Em C os argumentos das funções são passados por valor (cópia do conteúdo das variáveis originais)
- Assim, uma função chamada não pode alterar diretamente o valor de uma variável da função chamadora
- Então, no código seguinte:

```
void change(int a)
{
   a = 10;
}

void main(void)
{
   int b = 25;
   change(b);          // Para a função é passado o valor
                       // da variável (passagem por valor)
   printf("%d", b); // Imprime o valor de b
}
```

- Qual o valor de "**b**" após a chamada à função "**change()**"?
- A função alterou o valor da cópia da variável, pelo que, "**b**" mantém o valor original, ou seja, 25

Ponteiros como argumentos de funções

- Se pretendermos que a função altere o valor da variável da função chamadora, então teremos que passar como argumento da função o endereço da variável, ou seja, um ponteiro para a variável

```
void change(int *a)      // argumento de entrada é um
{                        // ponteiro para um inteiro
   *a = 10;
}

void main(void)
{
   int b = 25;
   change(&b); // Para a função é passado o endereço
               // da variável (passagem por referência)
   printf("%d", b);
}
```

- Qual o valor de "**b**" após a chamada à função "**change()**"?
- A função acedeu à variável da função chamadora através do seu endereço, pelo que "**b**" passa a ter o valor 10

Ponteiros e *arrays*

- Sejam as declarações

```
int a[10]; // array de inteiros "a" com
           // 10 elementos
int *pa;   // ponteiro para um inteiro
int v;     // variável do tipo inteiro
```

- A expressão `pa = &a[0];` atribui a `pa` o endereço do 1º elemento do *array*; então, a expressão `v = *pa;` atribui a `v` o valor de `a[0]`
- Se `pa` aponta para um dado elemento do *array*, `pa+1` aponta para o seguinte
- Se `pa` aponta para o primeiro elemento do *array*, então `(pa+i)` aponta para o elemento `i` e `*(pa+i)` refere-se ao seu conteúdo
- A expressão `pa = &a[0];` pode também ser escrita como `pa=a;` isto é, o nome do *array* representa o endereço do seu primeiro elemento

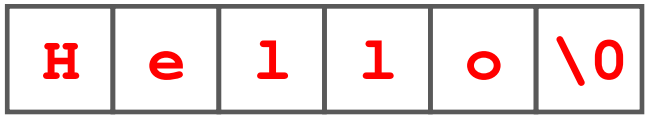
Aritmética de Ponteiros

- Se `pa` é um ponteiro, então a expressão `pa++;` incrementa `pa` de modo a apontar para o elemento seguinte (seja qual for o tipo de variável para o qual `pa` aponta)
- Do mesmo modo `pa = pa + i;` incrementa `pa` para apontar para `i` elementos à frente do elemento atual
- **A tradução das expressões anteriores para *Assembly* tem que ter em conta o tipo de variável para o qual o ponteiro aponta**
- Por exemplo, se um inteiro for definido com 4 bytes (32 bits), então a expressão `pa++;` implica adicionar 4 ao valor atual do endereço correspondente (considerando `pa` um ponteiro para inteiro)

Exemplo 1

- Analise o código C deste e dos slides seguintes e determine o resultado produzido

```
void main(void)
{
   char s[]="Hello";
```




```
// "s" é um array de
// carateres (string)
// terminado com o
// carater '\0' (0x00)

   int i = 0;

   while(s[i] != '\0')
   {
      printf("%c", s[i]);// imprime carater
                         // print_char(s[i])
      i++;
   }
}
```

Exemplo 2

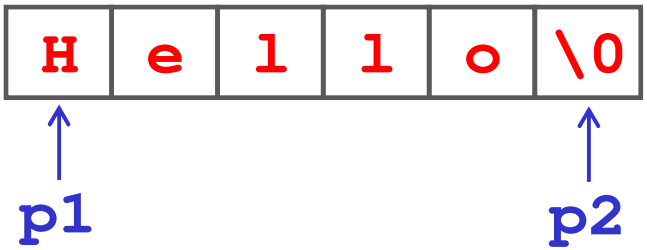
```
void main(void)
{
   char s[] = "Hello";
   char *p;    // Declara um ponteiro para
               //  carater (reserva espaço)
   p = s;      // Inicializa o ponteiro com o
               //  endereço inicial do array
   while(*p != '\0')
   {
      printf("%c", *p); // imprime carater
      p++;              // incrementa o ponteiro
   }
}
```

- O ponteiro "**p**" é usado pelo "**printf()**" para aceder ao carater a imprimir (***p**)
- O ponteiro é depois incrementado, i.e., fica a apontar para o carater seguinte do *array*

Exemplo 3

```
void main(void)
{
   char s[] = "Hello";
   char *p1 = s;  // p1 = &s[0]
   char *p2 = s;  // p2 = &s[0]

   while(*p2 != '\0')
      p2++;
   while(p1 < p2)
   {
      printf("%c", *p1);
      p1++;
   }
}
```



- Após o primeiro "**while**" o ponteiro "**p2**" aponta para o fim da *string* (i.e., para o carater '**\0**')
- O ponteiro "**p1**" é usado pelo "**printf()**" para aceder ao carater a imprimir (***p1**); o ponteiro "**p1**" é incrementado na linha seguinte

Exemplo 4

```
void main(void)
{
   char s[] = "Hello";
   char *p = s;

   while(*p != '\0')
   {
      printf("%c", *p++);
   }
}
```

- O ponteiro "**p**" é usado pelo "**printf()**" para aceder ao carater a imprimir (***p**)
- O ponteiro "**p**" é incrementado após o acesso ao conteúdo (pós-incremento).
- Esta versão é equivalente à do exemplo 2
- Qual seria o resultado do programa se ***p++** fosse substituído por ***(++p)** ?

Exemplo 5

```
void main(void)
{
   char s[] = "Hello";
   char *p = s;
   int i;

   for(i = 0; i < 5; i++)
   {
      printf("%c", (*p)++);
   }
}
```

- O ponteiro "**p**" é usado pelo "**printf()**" para aceder ao carater a imprimir (***p**)
- A operação de incremento está a ser aplicada à variável apontada pelo ponteiro
- Neste exemplo o ponteiro "**p**" nunca é incrementado

- Qual a sequência de carateres impressa?

Acesso sequencial a elementos de um *array*

- O acesso sequencial a elementos de um *array* apoia-se em uma de duas estratégias:
  1. Acesso indexado, isto é, endereçamento a partir do nome do *array* e de um índice que identifica o elemento a que se pretende aceder:

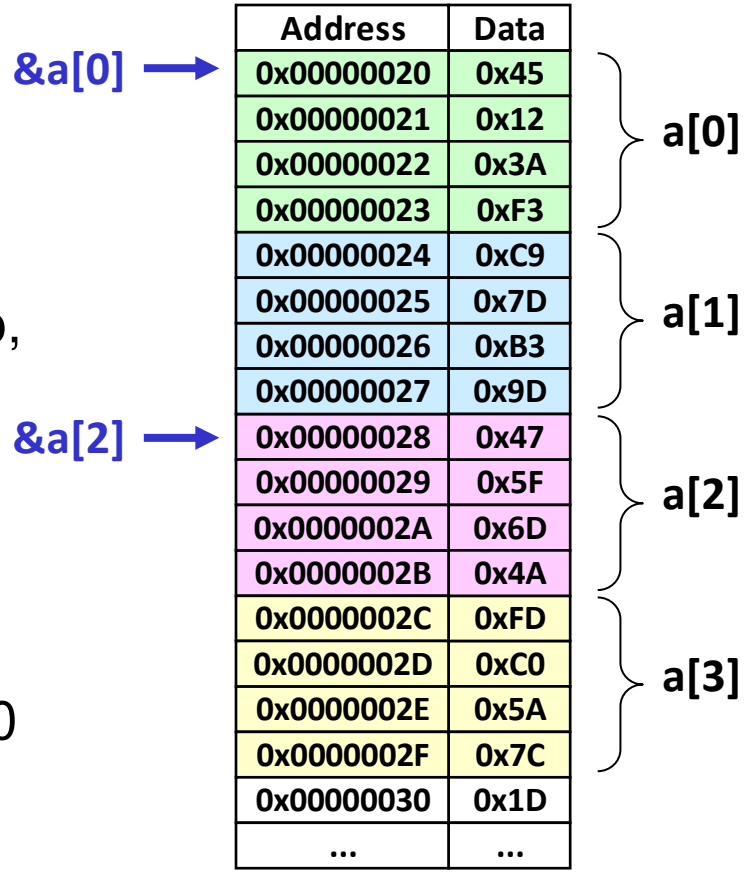
     v = a[i];
  2. Utilização de um ponteiro (endereço armazenado num registo) que identifica em cada instante o endereço do elemento a que se pretende aceder:

     v = *p; // com p = endereço de a[i] (i.e. **p = &a[i]**)

- Estas 2 formas de acesso traduzem-se em **implementações distintas** em *assembly*

Acesso sequencial a elementos de um *array*

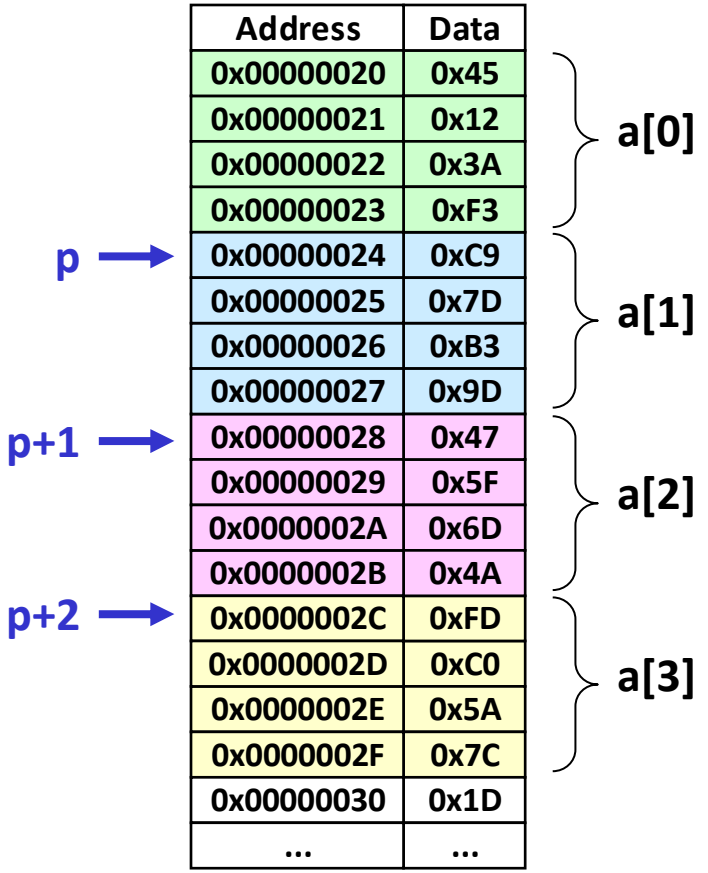
- **Acesso indexado**
  - **v = a[i];** // Com i ≥ 0
  - Para aceder ao elemento **"i"** do *array* **"a"**, o programa começa por calcular o respetivo endereço, **a partir do endereço inicial do *array***
  - Por exemplo, se se tratar de um *array* de inteiros, o endereço do elemento 2 está 8 endereços à frente do endereço do elemento 0



endereço do elemento a aceder = endereço inicial do *array* +
(índice * dimensão em *bytes* de cada posição do *array*)

Acesso sequencial a elementos de um *array*

- **Acesso por ponteiro**
  - **v = *p;**
  - O endereço do elemento a aceder está armazenado num registo



endereço do elemento seguinte = endereço actual +

dimensão em *bytes* de cada posição do *array*

Exemplos de acesso sequencial a *arrays*

```
// Exemplo 1
int i;
static int array[SIZE];

for(i = 0; i < SIZE; i++){
    array[i] = 0;
}
```

Acesso indexado

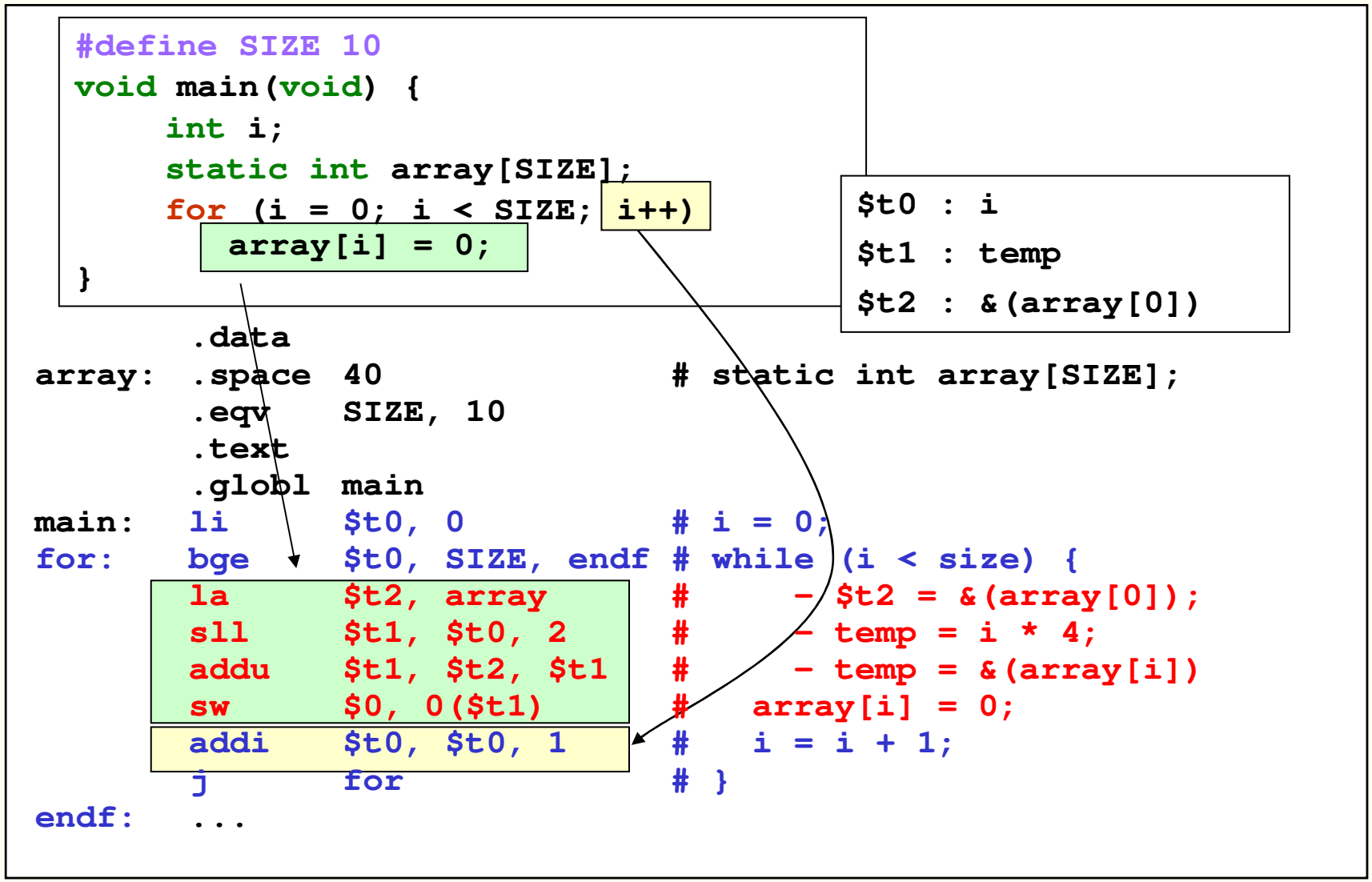
```
// Exemplo 2
int *p;
static int array[SIZE];

for(p=&array[0];p < &array[SIZE];p++)
{
    *p = 0;
}
```

Acesso por ponteiro

Também pode ser escrito como: `for(p=array; p < array+SIZE; p++)`

Acesso sequencial a *arrays* – exemplo 1



Acesso sequencial a *arrays* – exemplo 2

```
#define SIZE 10
void main(void){
    int *p;
    static int array[size];
    for (p=&array[0]; p < &array[size]; p++){
      *p = 0;
}
```

```
$t0 : p
$t1 : &(array[size])
$a0 : size
```

```
        .data
array:  .space  40              # static int array[SIZE];
        .eqv    SIZE, 10
        .text
        .globl  main
main:   la      $t0, array      # $t0 = &(array[0])
        li      $a0, SIZE       # $a0 = SIZE
        sll     $t1, $a0, 2     # $t1 = size * 4
        addu    $t1, $t1, $t0   # $t1 = &(array[size]);
for:    bgeu    $t0, $t1, endf  # while (p < &array[size]) {
        sw      $0, 0($t0)      #     *p = 0;
        addiu   $t0, $t0, 4     #      p = p + 1;
        j       for             # }
endf:   ...
```

Questões

- O que significa a declaração "`int *ac;`"? Qual a diferença entre essa declaração e "`int ac`"?
  O que significa a declaração "`char *ac;`"?
- A partir das declarações de "`a`" e "`b`":

```
int  a;
int *b;
```

  identifique quais das seguintes atribuições são válidas:

```
a=b;     b=*a;       b=&(a+1);  a=&b;       b=&a;
b=*a+1;  b=*(a+1);   a=*b;      a=*(b+1);   a=*b+1;
```

- Identifique as operações, e respetiva sequência, realizadas nas seguintes instruções C:

```
a=*b++;  a=*(b)++;  a=*(++b);
```

- Suponha que "`p`" está declarado como "`int *p;`". Supondo que a organização da memória é do tipo "*byte-addressable*", qual o incremento no endereço que é obtido pela operação "`p=p+2;`" ?

Questões

- Suponha que "**b**" é um *array* declarado como "**`int b[25]`**;". Como é obtido o endereço inicial do *array*, i.e., o endereço da sua primeira posição? Supondo uma memória "*byte-addressable*", como é obtido o endereço do elemento "**`b[6]`**"?
- Dada a seguinte sequência de declarações:

```
int b[25];
int a;
int *p = b;
```

  Identifique qual ou quais das seguintes atribuições permitem aceder ao elemento de índice 5 do *array* "**b**":

```
a = b[5];       a = *p + 5;
a = *(p + 5);   a = *(p + 20);
```

Exercício

- Pretende-se escrever uma função para a troca do conteúdo de duas variáveis (**troca(a, b);**). Isto é, se, antes da chamada à função, a=2 e b=5, então, após a chamada à função, os valores de a e b devem ser: a=5 e b= 2

  Uma solução incorreta para o problema é a seguinte:

```
void troca(int x, int y)
{
    int aux;

    aux = x;
    x = y;
    y = aux;
}
```

- Identifique o erro presente no trecho de código e faça as necessárias correções para que a função tenha o comportamento pretendido