

## AULA PRÁTICA N.º 4

### Objetivos:

- Manipulação de *arrays* em linguagem C, usando índices e ponteiros.
- Tradução para *assembly* de código de acesso sequencial a *arrays* usando índices e ponteiros. Parte 1.

### Guião:

1. O programa seguinte lê uma *string* do teclado, conta o número de caracteres numéricos que ela contém e imprime esse resultado.

```
#define SIZE      20

void main (void)
{
    static char str[SIZE+1]; // Reserva espaço para um array de
                             // "SIZE+1" bytes no segmento de
                             // dados ("SIZE" caracteres +
                             // terminador)

    int num, i;

    read_string(str, SIZE); // "str" é o endereço inicial do
                             // espaço reservado para alojar a
                             // string (na memória externa)

    num = 0;
    i = 0;
    while( str[i] != '\0' ) // Acede ao carater (byte) na
                           // posição "i" do array e compara-o
                           // com o carater terminador (i.e.
                           // '\0' = 0x00)
    {
        if( (str[i] >= '0') && (str[i] <= '9') )
            num++;
        i++;
    }
    print_int10(num);
}
```

- a) Codifique o programa em *assembly* do MIPS e teste o seu funcionamento no MARS. Utilize, para armazenar as variáveis, os seguintes registos: **num** (\$t0), **i** (\$t1), endereço inicial da *string* (\$t2), endereço da posição "i" da *string* (\$t3) e conteúdo de **str[i]** (\$t4).

Tradução parcial do código anterior para *assembly*:

```
# Mapa de registos
# num:      $t0
# i:        $t1
# str:      $t2
# str+i:    $t3
# str[i]:   $t4

.data
    .eqv    SIZE, 20
    .eqv    read_string, ...
    .eqv    print_int10, ...
str: .space ...
```

```

        .text
        .globl main
main: la      $a0, ...           # $a0=&str[0] (endereço da posição
                                # 0 do array, i.e., endereço
                                # inicial do array)
        li      $a1, ...        # $a1=SIZE
        li      $v0, read_string
        syscall                # read_string(str, SIZE)
        (...)                  # num=0; i=0;
while:                                     # while(str[i] != '\0')
        la      $t2, str        # $t2 = str ou &str[0]
        addu    $t3, ...        # $t3 = str+i ou &str[i]
        lb      $t4, ...        # $t4 = str[i]
        b??     $t4, '\0', endw # {
if:   b??     $t4, ...          # if(str[i] >= '0' &&
        b??     $t4, ...          #       str[i] <= '9');
        addi    ...            #       num++;
endif:
        addi    ...            # i++;
        j      ...            # }
endw: (...)                  # print_int10(num);
        jr      $ra            # termina o programa

```

b) Execute o programa passo a passo, introduza a string **"AC1-Labs"** e preencha a tabela abaixo com os valores que as diferentes variáveis vão tomando:

Endereço de str (\$t2)	Endereço de str[i] (\$t3)	str[i] (\$t4)	i (\$t1)	num (\$t0)	
0x10010000	0x10010000	0x00000041	0	0	Val. iniciais
0x10010000	0x10010001	0x00000043	1	0	Fim 1ª iter.
0x10010000	0x10010002	0x00000031	2	1	Fim 2ª iter.
0x10010000	0x10010003	0x0000002d	3	1	Fim 3ª iter.
0x10010000	0x10010004	0x1001004c	4	1	Fim 4ª iter.
0x10010000	0x10010005	0x10010061	5	1	Fim 5ª iter.
0x10010000	0x10010006	0x10010062	6	1	Fim 6ª iter.
0x10010000	0x10010007	0x10010073	7	1	Fim 7ª iter.
0x10010000	0x10010008	0x00000000	8	1	Fim 8ª iter.

2. Uma forma alternativa de escrever o código da questão 1 consiste na utilização de um ponteiro para aceder a cada um dos elementos do *array*. O ponteiro para uma dada posição do *array* é uma variável (que pode residir num registo interno do CPU) que contém o endereço dessa posição do *array*. Se, inicialmente, for atribuído a esse ponteiro o endereço da primeira posição do *array*, para efetuar o acesso sequencial a cada uma das posições restantes é necessário incrementar sucessivamente o valor do ponteiro.

A implementação do programa da questão 1 usando ponteiros é apresentada de seguida:

```
#define SIZE      20

void main (void)
{
    static char str[SIZE+1]; // Reserva espaço para um array de
                             // "SIZE+1" caracteres no segmento de
                             // dados

    int num = 0;
    char *p;                // Declara um ponteiro para caracter
                             // (não há qualquer inicialização)
    read_string(str, SIZE);  // Le do teclado uma string com um
                             // máximo de 20 caracteres
    p = str;                // Inicializa o ponteiro "p" com o
                             // endereço inicial da string
                             // (equivalente a p = &(str[0]))
    while( *p != '\0' )     // Acede ao byte apontado pelo
                             // ponteiro "p" (*p) e compara
                             // o valor lido com o caracter
                             // terminador ('\0' = 0x00)
    {
        if( (*p >= '0') && (*p <= '9') )
            num++;
        p++;                // Incrementa o ponteiro (o ponteiro
                             // passa a ter o endereço da
                             // posição seguinte do array)
    }
    print_int10(num);
}
```

- a) Codifique o programa em *assembly* do MIPS e teste o seu funcionamento no MARS. Utilize, para armazenar as variáveis, os seguintes registos: \$t0 (num), \$t1 (p), \$t2 (\*p). Tradução parcial do código anterior para *assembly*:

```
# Mapa de registos
# num:    $t0
# p:      $t1
# *p:     $t2          (Registo temporário para guardar o valor
                       armazenado na posição de memória p)

(...)
main: ...              # ...
    la      $t1, str    # p = str;
while:              # while(*p != '\0')
    lb      $t2, ...    #
    b??     $t2, '\0', endw # {
    b??     $t2, ...    #     if(str[i] >='0' &&
    b??     $t2, ...    #         str[i] <= '9')
    addi    $t0, ...    #         num++;
endif:
    addiu   ...        #     p++;
    (...)   # }
endw: (...)          # print_int10(num);
    jr      $ra        # termina o programa
```

- b) Execute o programa passo a passo, introduza a string **"AC1-Labs"** e preencha a tabela abaixo com os valores que as diferentes variáveis vão tomando:

num (\$t0)	p (\$t1)	*p (\$t2)	
0	0x10010000	0x00000041	Valores iniciais
0	0x10010001	0x00000043	Fim da 1ª iteração
1	0x10010002	0x00000031	Fim da 2ª iteração
1	0x10010003	0x0000002d	Fim da 3ª iteração
1	0x10010004	0x0000004c	Fim da 4ª iteração
1	0x10010005	0x00000061	Fim da 5ª iteração
1	0x10010006	0x00000062	Fim da 6ª iteração
1	0x10010007	0x00000073	Fim da 7ª iteração
1	0x10010008	0x00000000	Fim da 8ª iteração

3. O programa seguinte calcula e imprime a soma dos elementos de um *array* de 4 posições. Esta implementação utiliza um ponteiro para aceder sucessivamente a cada uma das posições do *array* ("**p**") e um outro ponteiro, que atua como uma constante, para indicar o endereço da última posição do *array* de inteiros (ao contrário de uma *string*, um *array* de inteiros não possui qualquer elemento que indique terminação).

```
#define SIZE      4
int array[4] = {7692, 23, 5, 234}; // Declara um array global de 4
                                   // posições e inicializa-o

void main (void)
{
    int *p;                      // Declara um ponteiro para inteiro
                                // (não há qualquer inicialização)
    int *pultimo;                // Declara um ponteiro para inteiro
    int soma = 0;

    p = array;                   // "p" é preenchido com o endereço
                                // inicial do array
    pultimo=array+SIZE-1;        // "pultimo" é inicializado com o
                                // endereço do último elemento do
                                // array, i.e., &array[SIZE-1]

    while( p <= pultimo )
    {
        soma = soma + (*p);
        p++;                    // Incrementa o ponteiro (não esquecer
                                // que incrementar um ponteiro para um
                                // inteiro de 32 bits significa somar a
                                // quantidade 4 ao valor do endereço)
    }
    print_int10(soma);
}
```

- a) Codifique o programa em *assembly* do MIPS e teste o seu funcionamento no MARS. Utilize, para armazenar as variáveis, os seguintes registos: **\$t0** (**p**), **\$t1** (**pultimo**), **\$t2** (**\*p**), **\$t3** (**soma**).

Tradução parcial do código anterior para *assembly*:

```
# Mapa de registos
# p:      $t0
# pultimo:$t1
# *p      $t2
# soma:   $t3
(...)
array:.word 7692,23,...
.equiv print_int10,...
.equiv SIZE,...
(...)
main: li      $t3,...      # soma = 0;
      li      ...        # ??? = SIZE
      addi    $t4,...,-1   # $t4 = SIZE-1
      sll     $t4,$t4,2    # $t4 = (SIZE-1) * 4
      la      ...        # p = array;
      addu    $t1,...      # pultimo = array + (SIZE - 1);
while:                # while(p <= pultimo)
      b??u    $t0,...,endw # {
      (...)    #      $t2 = *p;
      add     ...        #      soma = soma + (*p);
      addiu    ...        #      p++;
      (...)    # }
      (...)    # print_int10(soma);
      jr      $ra        # termina o programa
```

- b) Execute o programa passo a passo e preencha a tabela abaixo com os valores que as diferentes variáveis vão tomando:

p (\$t0)	pultimo (\$t1)	*p (\$t2)	soma (\$t3)	
				Valores iniciais
0x10010000	0x1001000c	0x00001e0c (7682)	0x00001e0c (7682)	Fim 1ª iteração
0x10010004	0x1001000c	0x00000017 (23)	0x00001e23 (7715)	Fim 2ª iteração
0x10010008	0x1001000c	0x00000005 (5)	0x00001e28 (7720)	Fim 3ª iteração
0x1001000c	0x1001000c	0x000000ea (234)	0x00001f12 (7954)	Fim 4ª iteração

- c) Altere o programa em C de modo a utilizar o acesso ao *array* com índices. Faça as alterações correspondentes ao programa *assembly* e teste o seu funcionamento no MARS.

## Exercícios adicionais

1. Considere o seguinte programa que lê da consola uma *string* com um máximo de 20 caracteres, converte, de forma parcialmente correta, os caracteres correspondentes a letras minúsculas em maiúsculas e, por fim, escreve a *string* alterada no ecrã.

```
#define SIZE      20
void main(void)
{
    static char str[SIZE+1];
    char *p;

    print_string("Introduza uma string: ");
    read_string(str, SIZE);
    p = str;
    while (*p != '\0')
    {
        *p = *p - 'a' + 'A'; // 'a'=0x61, 'A'=0x41, 'a'-'A'=0x20
        p++;
    }
    print_string(str);
}
```

- a) Codifique o programa em *assembly* do MIPS e teste o seu funcionamento no MARS. Utilize, para armazenar as variáveis, os seguintes registos: **p (\$t0)**, **\*p (\$t1)**. ✓
- b) Execute o programa passo a passo, introduza a string "**Ac1-prÁticaS**" e preencha a tabela abaixo com os valores que as diferentes variáveis vão tomando:

p (\$t0)	*p (\$t1)	
		Valores iniciais
		Fim da 1ª iteração
		Fim da 2ª iteração
		Fim da 3ª iteração
		Fim da 4ª iteração
		Fim da 5ª iteração
		Fim da 6ª iteração
		Fim da 7ª iteração
		Fim da 8ª iteração
		Fim da 9ª iteração
		Fim da 10ª iteração
		Fim da 11ª iteração
		Fim da 12ª iteração

- c) Como pôde verificar, o programa anterior apenas produz o resultado esperado em alguns casos. Proponha uma alteração ao programa para corrigir o problema detetado, codifique-a em *assembly* e teste-a no MARS.
- d) Altere o programa em C resultante do ponto anterior de modo a converter letras maiúsculas em minúsculas. Faça a correspondente alteração do programa *assembly* e teste o seu funcionamento. ✓

**Anexo:**

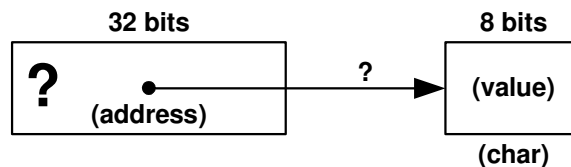
Interpretação gráfica de ponteiros (supondo uma máquina de 32 bits)

**1. Ponteiro para carater, não inicializado**

a) Exemplo de declaração em linguagem C:

```
char *p;
```

b) Interpretação gráfica:



c) Ação desenvolvida na tradução para linguagem máquina:

- Definir o registo interno / reservar espaço na memória para alojar um endereço (32 bits)

d) Caso o ponteiro resida num registo interno, basta definir qual o registo a usar para esse efeito e incluí-lo nas instruções que manipulam o ponteiro.

e) Caso o ponteiro resida na memória, uma possível tradução para *Assembly* do MIPS da sua declaração é:

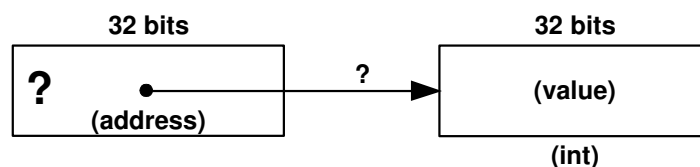
```
p: .space 4      # Reserva 4 bytes de memória
                  # (32 bits) para alojar o
                  # ponteiro. Não há inicialização
```

**2. Ponteiro para inteiro, não inicializado**

a) Exemplo de declaração em linguagem C:

```
int *p;
```

b) Interpretação gráfica:



c) Ação desenvolvida na tradução para linguagem máquina:

- Reservar espaço na memória/registo interno para um endereço (32 bits)

d) Possível tradução para *Assembly* do MIPS (caso o ponteiro resida na memória):

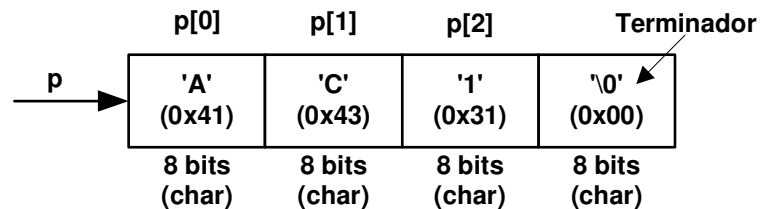
```
p: .space 4      # Reserva 4 bytes de memória
                  # (32 bits) para alojar o
                  # ponteiro. Não há inicialização
```

### 3. Array de caracteres

a) Exemplo de declaração em linguagem C:

```
char p[]="AC1";
```

b) Interpretação gráfica:



c) Ação desenvolvida na tradução para linguagem máquina:

- Reservar espaço na memória para um *array* de caracteres (incluindo para o terminador, o byte 0x00), e efetuar a respetiva inicialização

d) Possível tradução para *Assembly* do MIPS:

```
p: .asciiz "AC1"    # Reserva 4 bytes de memória e
                   # inicializa-os com os códigos
                   # ASCII dos 3 caracteres e com o
                   # código do terminador (0).
                   # O valor de "p" pode ser obtido
                   # com a instrução "load address"
```

Ou, alternativamente:

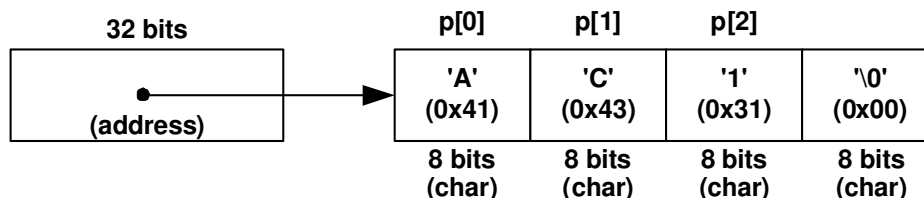
```
p: .ascii  "AC1"    # Reserva 3 bytes de memória e
                   # inicializa-os com os códigos
                   # ASCII dos 3 caracteres
    .byte   0x00     # Reserva 1 byte e inicializa-o
                   # com o valor 0
```

### 4. Ponteiro para Array de caracteres

a) Exemplo de declaração em linguagem C:

```
char *p = "AC1";
```

b) Interpretação gráfica:



c) Ações desenvolvidas na tradução para linguagem máquina:

- Reservar espaço para um *array* de caracteres e efetuar a respetiva inicialização
- Reservar espaço para um endereço e efetuar a respetiva inicialização



d) Tradução para *Assembly* do MIPS:

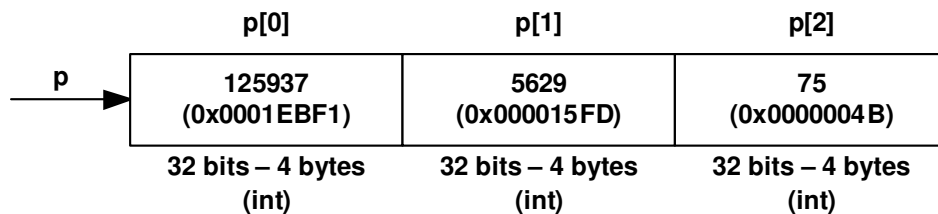
```
str:    .asciiz "AC1"
p:      .word   str # Reserva 4 bytes de memória
                # e inicializa-os com o endereço
                # da primeira posição do array
                # de caracteres (i.e. &array[0]).
                # O valor de "p" pode ser
                # obtido com a instrução "load
                # address"
```

## 5. Array de inteiros

a) Exemplo de declaração em linguagem C:

```
int p[] = {125937, 5629, 75};
```

b) Interpretação gráfica:



c) Ação desenvolvida na tradução para linguagem máquina:

- Reservar espaço para um *array* de inteiros e efetuar a respetiva inicialização

d) Tradução para *Assembly* do MIPS:

```
p:      .word   125937, 5629, 75 #
                # O valor de "p" pode ser obtido
                # com a instrução "load address"
```

### NOTA:

A linguagem C não permite a declaração de um ponteiro para um *array* de inteiros, cuja representação seria, por exemplo: "`int *p = {125937, 5629, 75};`". Contudo, esta declaração pode ser decomposta em duas, do seguinte modo:

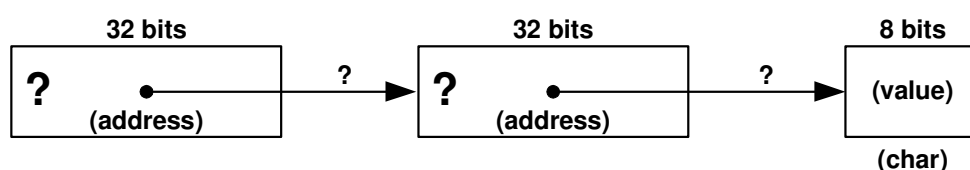
```
int pp[] = {125937, 5629, 75};
int *p = pp;
```

## 6. Ponteiro para ponteiro para carater, não inicializado

a) Exemplo de declaração em linguagem C:

```
char **p;
```

b) Interpretação gráfica:



c) Ação desenvolvida na tradução para linguagem máquina:

- Reservar espaço para um endereço (32 bits)

d) Tradução para *Assembly* do MIPS (caso o ponteiro resida na memória):

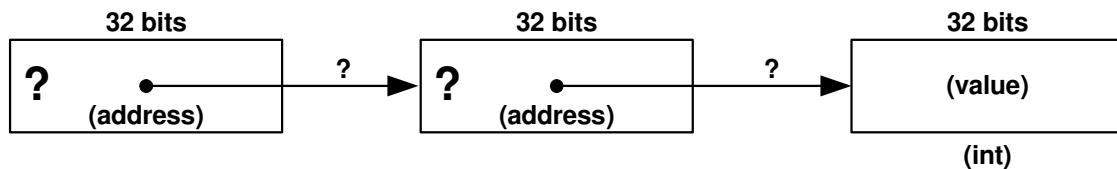
```
p: .space 4      # Reserva 4 bytes na memória para
                # alojar o ponteiro
```

## 7. Ponteiro para ponteiro para inteiro, não inicializado

a) Exemplo de declaração em linguagem C:

```
int **p;
```

b) Interpretação gráfica:



c) Ação desenvolvida na tradução para linguagem máquina:

- Reservar espaço para um endereço (32 bits)

d) Tradução para *Assembly* do MIPS (caso o ponteiro resida na memória):

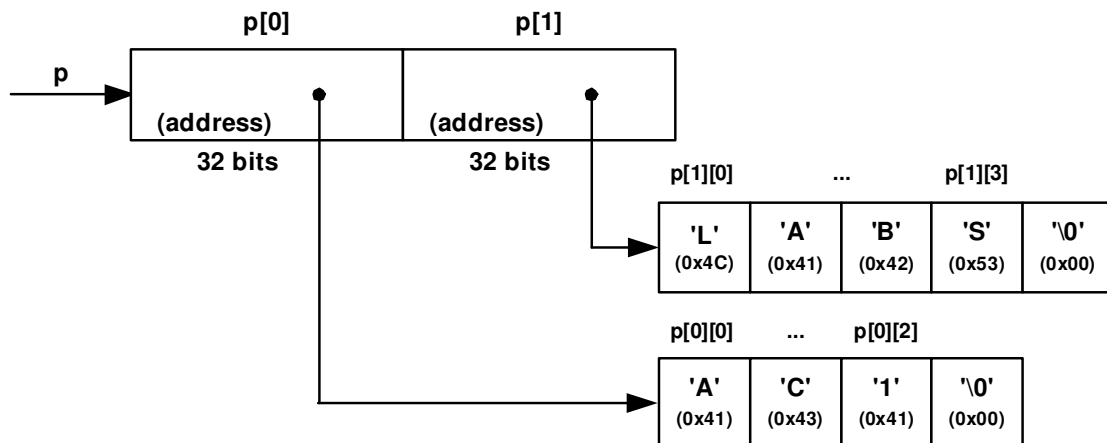
```
p: .space 4      # Reserva 4 bytes na memória para
                # alojar o ponteiro
```

## 8. Array de ponteiros para carater

a) Exemplo de declaração em linguagem C:

```
char *p[] = {"AC1", "LABS"};
```

b) Interpretação gráfica:



c) Ações desenvolvidas na tradução para linguagem máquina:

- Reservar espaço para os *arrays* de caracteres e efetuar a respetiva inicialização
- Reservar espaço para o *array* de ponteiros (*array* de inteiros) e efetuar a respetiva inicialização

d) Tradução para *Assembly* do MIPS (caso os ponteiros residam na memória):

```
array1: .asciiz "AC1"
array2: .asciiz "LABS"
p:      .word  array1, array2
```