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 carateres numéricos que ela contém e imprime esse resultado.

```
#define  SIZE    20

void main (void)
{
    static char str[SIZE];    // Reserva espaço para um array de
                              //"SIZE" carateres no segmento de
                              // dados
    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]
        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      $t4,0(...)      #   $t4 = str[i]
        b??     $t4,'\0',endw   # {
if:     b??     $t4,'0',endif   #   if(str[i] >='0' &&
        b??     $t4,'9',endif   #           str[i] <= '9');
        addi    $t0,...         #      num++;
endif:
        addi    $t1,...         #   i++;
        j   ...                 # }
endw:   (...)                   # print_int10(num);
        jr      $ra             # termina o programa
```

b) Execute o programa passo a passo, introduza a string "AC1-2016" 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)	
			0	0	Val. iniciais
					Fim 1ª iter.
					Fim 2ª iter.
					Fim 3ª iter.
					Fim 4ª iter.
					Fim 5ª iter.
					Fim 6ª iter.
					Fim 7ª iter.
					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];// Reserva espaço para um array de
                          // "SIZE" carateres no segmento de dados
    int num = 0;
    char *p;              // Declara um ponteiro para carater
                          //  (não há qualquer inicialização)
    read_string(str, SIZE);// Le do teclado uma string com um
                          // máximo de 20 carateres
    p = str;              // Inicializa o ponteiro "p" com o
                          //  endereço inicial da string
                          //  (equivalente a fazer p = &(str[0]))
    while( *p != '\0' )   // Acede ao byte apontado pelo ponteiro
                          //  "p" (*p) e compara o valor lido com
                          //  o carater 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
      .data
      (...)
      .text
      .globl  main
main: (...)                 # ...
      la      $t1,str       # p = str;
while:                      # while(*p != '\0')
      lb      $t2,...       #
      b??     $t2,0,endw    # {
      b??     $t2,'0',endif #   if(str[i] >='0' &&
      b??     $t2,'9',endif #            str[i] <= '9')
      addi    $t0,...       #      num++;
endif:
      addiu   $t1,...       #   p++;
      (...)                 # }
endw: (...)                 # print_int10(num);
      jr      $ra           # termina o programa
```

b) Execute o programa passo a passo, introduza a string "AC1-2016" e preencha a tabela abaixo com os valores que as diferentes variáveis vão tomando:

num ($t0)	p ($t1)	*p ($t2)	
			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

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 incializado com o endereço
                          // incial do array
    pultimo = array+SIZE; // "pultimo" é inicializado com o
                          // endereço do elemento a seguir ao
                          // último (&array[4])
    while( p < pultimo )
    {
        soma = soma + (*p);
        p++;              // Incrementa o ponteiro (não esquecer
                          //  que incrementar um ponteiro para um
                          //  inteiro 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
      .data
array:.word  7692,23,...
      .eqv   print_int10,...
      .eqv   SIZE,4
      .text
      .globl main
main: li     $t3,..          # soma = 0;
      li     $t4,SIZE        # $t4 = 4
      sll    $t4,$t4,2       # ou "mul $t4,$t4,4"
      la     $t0,...         # p = array;
      addu   $t1,$t0,...     # pultimo = array + SIZE;
while:                       # while(p < pultimo)
      b??    $t0,...,endw    # {
      ...    $t2,0(...)      #   $t2 = *p;
      add    $t3,...         #   soma = soma + (*p);
      addu   $t0,$t0,...     #   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
				Fim 1ª iteração
				Fim 2ª iteração
				Fim 3ª iteração
				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 carateres, converte, de forma parcialmente correta, os carateres 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];
     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-prAticaS" 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 produz apenas, em alguns casos, o resultado esperado. 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:

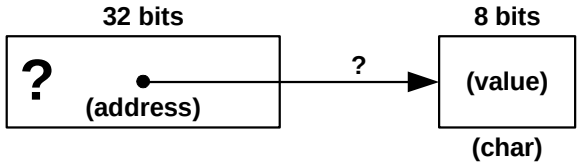
Interpretação gráfica de ponteiros (supondo uma máquina de 32 bits)

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:

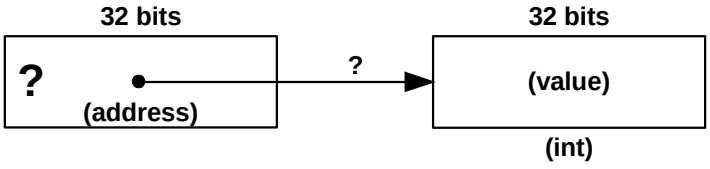
```
ptr_p:   .space   4    # Reserva 4 bytes de memória
                       # (32 bits) para alojar o
                       # ponteiro. Não há inicialização
```

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):

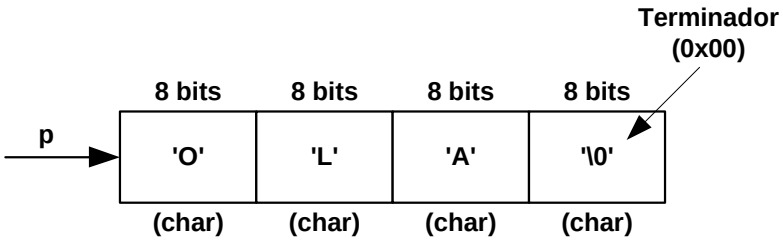
```
ptr_p:   .space   4    # Reserva 4 bytes de memória
                       # (32 bits) para alojar o
                       # ponteiro. Não há inicialização
```

3. *Array* de carateres

a) Exemplo de declaração em linguagem C:

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

b) Interpretação gráfica:



c) Ação desenvolvida na tradução para linguagem máquina:

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

d) Possível tradução para *Assembly* do MIPS:

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

Ou, alternativamente:

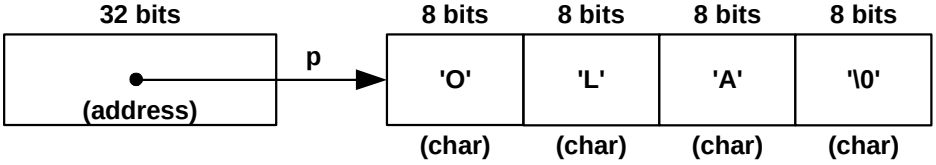
```
p:   .ascii   "OLA"    # Reserva 3 bytes de memória e
                       # inicializa-os com os códigos
                       # ASCII dos 3 carateres
     .byte    0x00     # Reserva 1 byte e inicializa-o
                       # com o valor 0
```

4. Ponteiro para *Array* de carateres

a) Exemplo de declaração em linguagem C:

```
char *p = "OLA";
```

b) Interpretação gráfica:



c) Ações desenvolvidas na tradução para linguagem máquina:

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

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

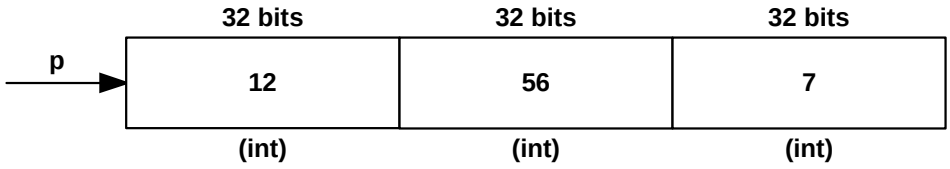
```
p:      .asciiz  "OLA"
ptr_p:  .word    p    # Reserva 4 bytes de memória
                      # e inicializa-os com o endereço
                      # da primeira posição do array
                      # de carateres (i.e. &array[0]).
                      # O valor de "ptr_p" pode ser
       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

5. *Array* de inteiros

a) Exemplo de declaração em linguagem C:

```
int p[] = {12, 56, 7};
```

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   12, 56, 7    #
                         # 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 = {12, 56, 7};`**". Contudo, esta declaração pode ser decomposta em duas, do seguinte modo:

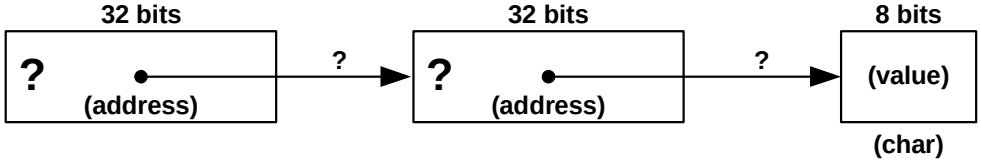
```
int pp[] = {12, 56, 7};
int *p = pp;
```

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):

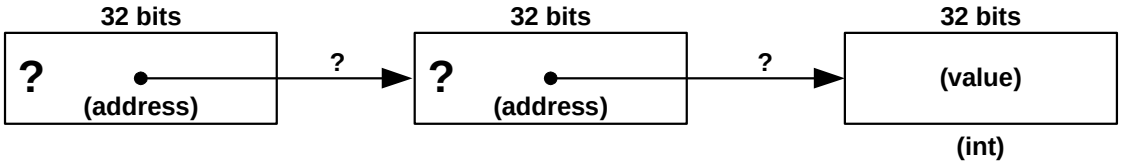
```
ptr_p:   .space   4    # Reserva 4 bytes na memória para
                       # alojar o ponteiro
```

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):

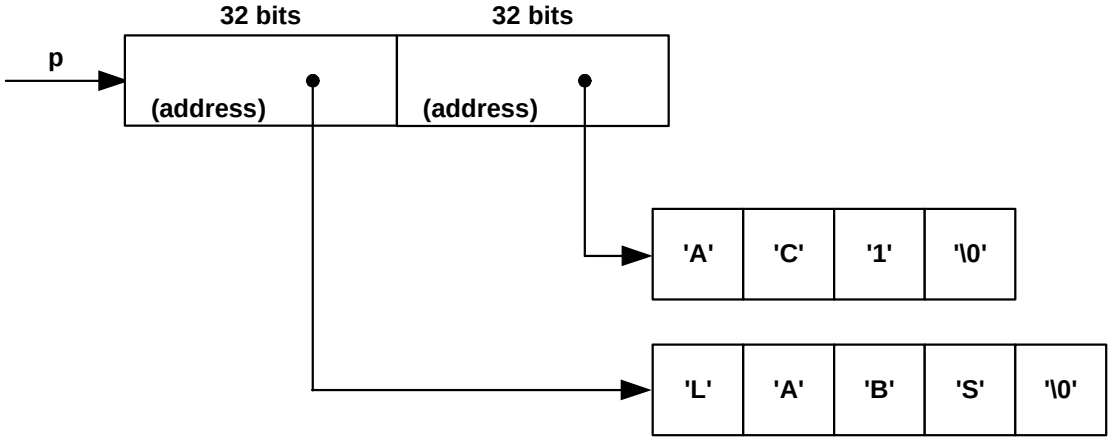
```
ptr_p:   .space   4    # Reserva 4 bytes na memória para
                       # alojar o ponteiro
```

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 carateres 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
```