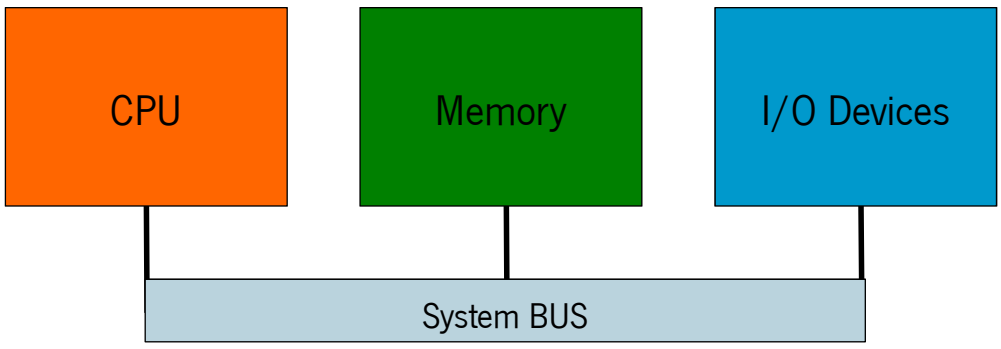
Sistemas de Computação

Mestrado Integrado em Engenharia de Telecomunicações e Informática

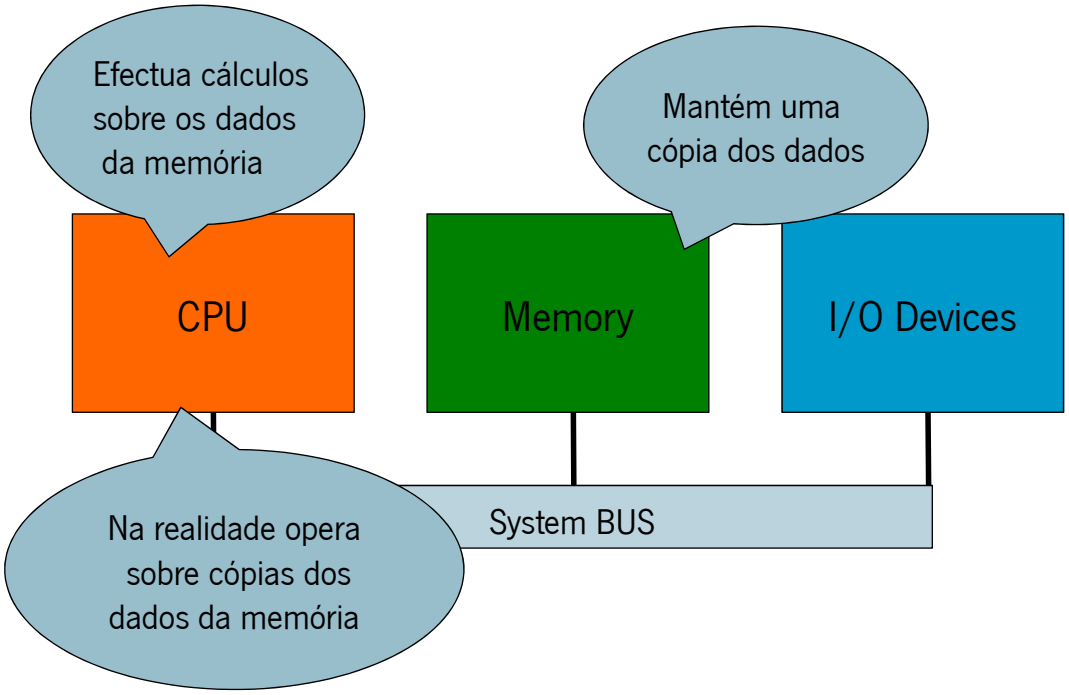
2020/2021

Slides criados pela Prof. Doutora Maria João Nicolau

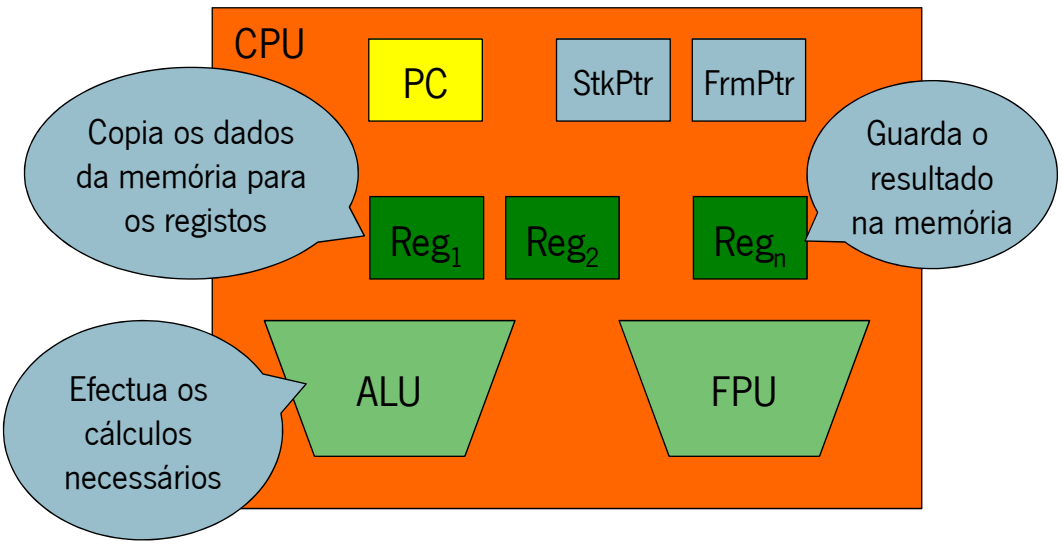
Arquitetura de von Neumann



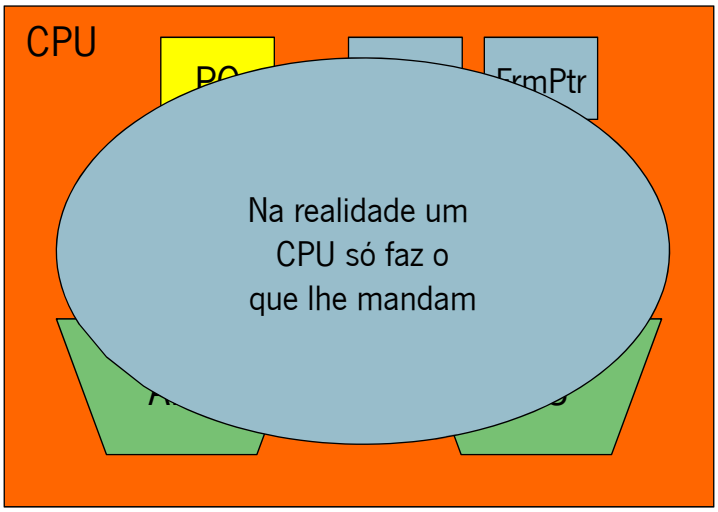
Arquitetura de von Neumann



Arquitetura de von Neumann



Arquitetura de von Neumann



Dar ordens a um CPU

- O fabricante define o conjunto de instruções do seu CPU (arquitetura)
  - Instruções e modo de uso
- A linguagem do C
  - Conjunto de inst
  - Regras das instruções (semântica)

Todas as linguagens são definidas deste modo

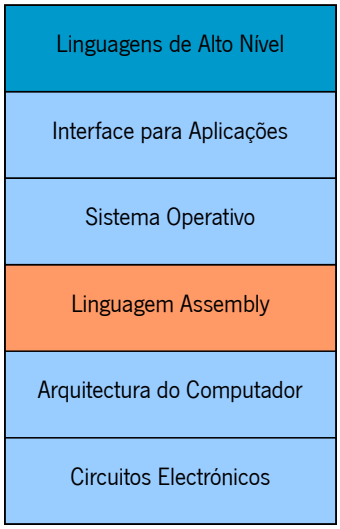
Dar ordens a um CPU

- O fabricante define o conjunto de instruções do seu CPU (arquitetura)
  - Instruções e
- A linguagem d
  - Conjunto de
  - Regras das instruções (semântica)

Linguagem Assembly

Níveis de Abstração

- Uma instrução em linguagem assembly (pura) corresponde a uma operação básica do processador (ex: somar dois inteiros, comparar dois números, etc)
- As linguagens assembly suportam normalmente pseudo-instruções que correspondem a mais do que uma instrução de linguagem assembly



Exemplo Assembly

Exemplo

```
                .data
item:           .word       1
                .text
                .globl __start
__start:        lw $t0, item
```


Diretivas de Assemblagem

Segmentos e símbolos

.text <addr> - Os próximos itens (instruções ou palavras) são montados no segmento de texto.

- Se estiver presente o argumento *addr,* a montagem é feita a partir do endereço *addr*.

.data <addr> - Os próximos itens são montados no segmento de dados.

- Se estiver presente o argumento *addr*, a montagem é feita a partir do endereço *addr*.

.globl sym - Delcara *sym* como um símbolo geral (global) que também pode ser referenciado noutros ficheiros.

Diretivas de Assemblagem

Tipos de Dados

.byte b1, b2, ... bn - guarda os n *bytes* sequencialmente na memória.

.half h1, h2, ... hn - guarda as n *half-words* sequencialmente na memória.

.word w1, w2, ... wn - guarda as n *words* sequencialmente na memória.

.ascii str - guarda a cadeia de caracteres *str* sequencialmente na memória.

Directivas de Assemblagem

Exemplo

```
                .data
item:           .word       1
                .text
                .globl __start
__start:        lw $t0, item
```

Sintaxe de montagem

Comentários: iniciam-se com "#"

Identificadores: cadeia de caracteres alfanuméricos (incluindo "_" e ".") não iniciada por um algarismo

Instruções: símbolos reservados que não podem ser usados como identificadores

Etiquetas: identificadores declarados no início de uma linha e terminados por ":"

Cadeia de caracteres: definida entre aspas seguindo a convenção "\n" para nova linha, "\t" para tabulação e "\"" para aspas.

MIPS

- Processador de 32-bits
  - 32 registos de 32-bits
  - Versões mais recentes de 64-bits
- Arquitetura RISC
  - Reduced instruction Set Computer
- Cache
  - 32 KB dados e 63KB instruções
- ...

Registos

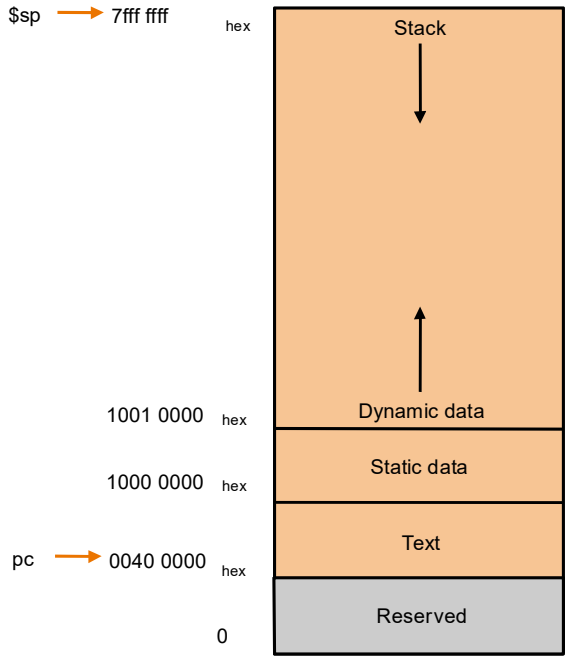
Nome	Número	Utilização
zero	0	Constante 0
at	1	Reservado ao *assembler*
v0 .. v1	2 .. 3	Resultado de uma função/procedimento
a0 .. a3	4 .. 7	Argumentos 1, 2, 3 e 4
t0 .. t7	8 .. 15	Temporários (não preservados entre chamadas)
s0 .. s7	16 .. 23	Persistentes (preservados entre chamadas)
t8 a t9	24 .. 25	Temporários (não preservados entre chamadas)
k0 .. k1	26 .. 27	Reservados ao *kernel* do S.O.
gp	28	Ponteiro para a área global (dados estáticos)
sp	29	Ponteiro da *stack*
fp	30	Ponteiro da *frame*
ra	31	Endereço de retorno (usado pela chamada de uma função)

Memória

- Endereços de 32 bits (4 bytes)
- MIPS faz endereçamento ao byte (little endian)
- little endian: bit menos significativo está no endereço menor e uma word é endereçada pelo endereço do byte menos significativo

				Endereço word
11	10	9	8	8
7	6	5	4	4
3	2	1	0	0

Memória



Instruções no MIPS

load (carregar dados da memória para um registo)

`lw` (word), `lh` (half-word) e `lb` (byte)

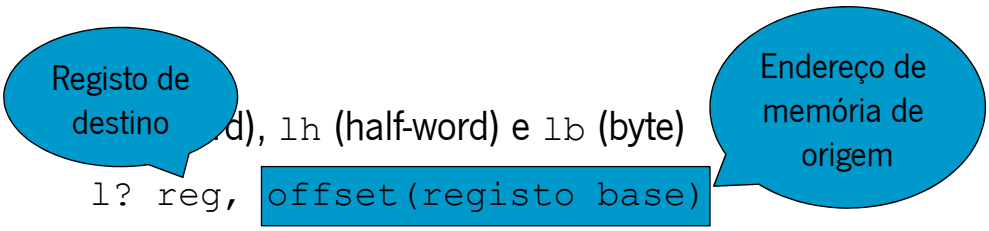
`l? reg, offset(registo base)`

carrega os dados na posição de memória obtida a partir da soma do ponteiro guardado no `registo base` com o `offset` (deslocamento) e guarda-os no registo `reg`.

Exemplo: `lw $t0, 8($s3)`

Instruções no MIPS

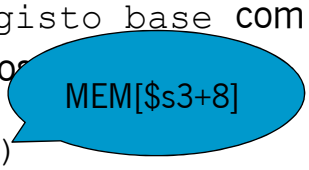
load (carregar dados da memória para um registo)



`lw` (word), `lh` (half-word) e `lb` (byte)

`l? reg, offset(registo base)`

carrega os dados na posição de memória obtida a partir da soma do ponteiro guardado no `registo base` com o `offset` (deslocamento) e guarda-os



Exemplo: `lw $t0, 8($s3)`

Instruções no MIPS

store (guarda dados de um registo na memória)

`sw` (word), `sh` (half-word) e `sb` (byte)

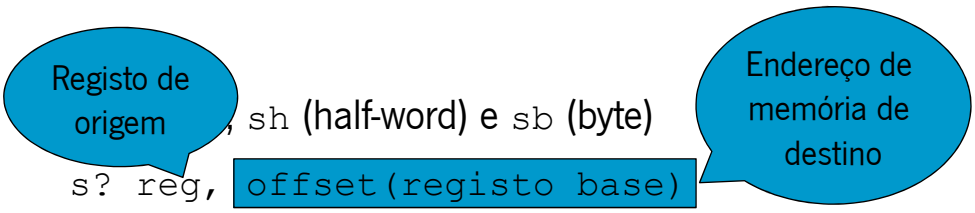
`s? reg, offset(registo base)`

guarda os dados do registo `reg` na posição de memória obtida a partir da soma do ponteiro guardado no `registo base` com o `offset` (deslocamento).

Exemplo: `sb $s1, 3($s2)`

Instruções no MIPS

store (guarda dados de um registo na memória)

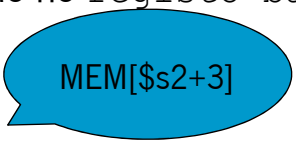


`sh` (half-word) e `sb` (byte)

`s? reg, offset(registo base)`

guarda os dados do registo `reg` na posição de memória obtida a partir da soma do ponteiro guardado no `registo base` com o `offset` (deslocamento).

Exemplo: `sb $s1, 3($s2)`



Instruções no MIPS

add

`add reg1, reg2, reg3`

adiciona `reg2` a `reg3` e coloca resultado em `reg1`

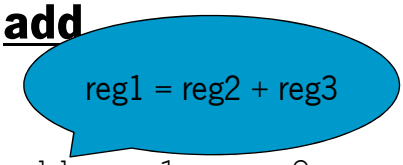
Exemplo: `add $t0, $t1, $s0`

Adicionar mais que dois valores (D = A + B + C):

```
add $t0, $s0, $s1
add $s3, $t0, $s2
```

Instruções no MIPS

add




```
add reg1, reg2, reg3
```

adiciona `reg2` a `reg3` e coloca resultado em `reg1`

Exemplo: `add $t0, $t1, $s0`

Adicionar mais que dois valores (D = A + B + C):

```
add $t0, $s0, $s1
add $s3, $t0, $s2
```


Instruções no MIPS

sub

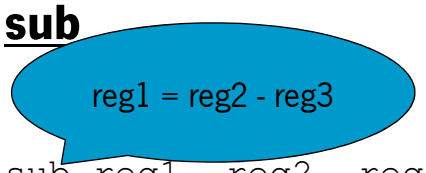
```
sub reg1, reg2, reg3
```

subtrai `reg3` a `reg2` e coloca resultado em `reg1`

Exemplo: `sub $t3, $s1, $s2`

Instruções no MIPS

sub



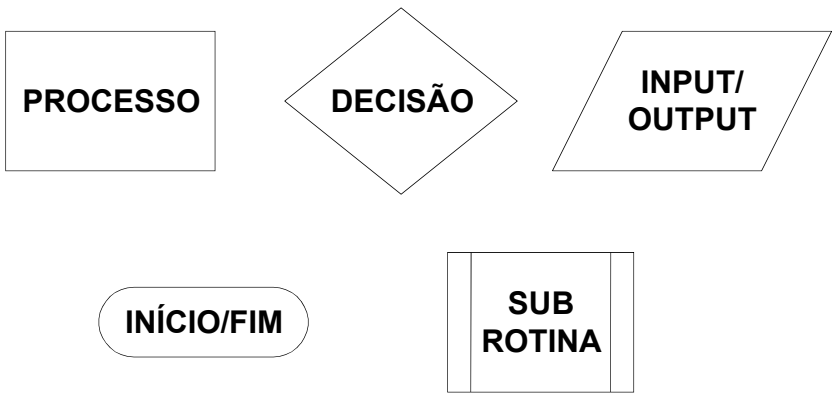

```
sub reg1, reg2, reg3
```

subtrai `reg3` a `reg2` e coloca resultado em `reg1`

Exemplo: `sub $t3, $s1, $s2`

Fluxogramas

- Representação do fluxo de um programa
- Simbologia:

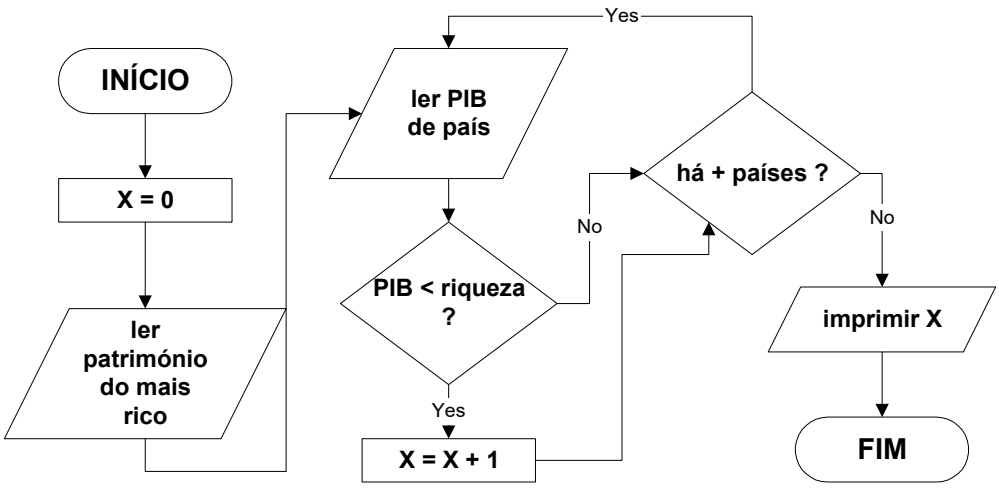


Fluxogramas

- **Exemplo**: saber quantos países têm o PIB menor que o património da pessoa mais rica do mundo

Fluxogramas

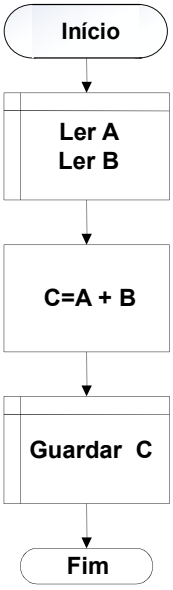
- **Exemplo**: saber quantos países têm o PIB menor que o património da pessoa mais rica do mundo



Problema 1

- Dados dois valores inteiros positivos em memória, armazene o resultado da sua soma na posição de memória seguinte
- Considere os valores iniciais entre 0 e 127

Diagrama de fluxo



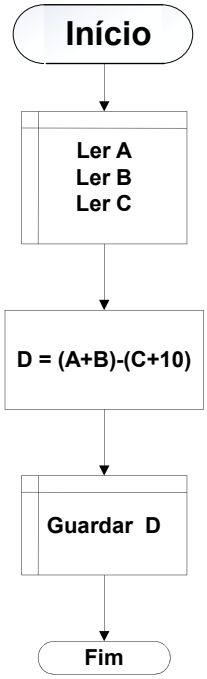
Programa Assembler

```
        .data
A:      .byte 7
B:      .byte 4
C:      .byte 0
        .text
        .globl __start
__start:
        lb      $s0, A
        lb      $s1, B
        add     $s2,$s1,$s0
        sb      $s2,C
```


Problema 2

- Dados três valores inteiros positivos (A, B e C) em memória, armazene o resultado da operação (A+B)-(C+10) na posição de memória seguinte
- Considere os valores iniciais entre 0 e 32767 (16 bits)

Diagrama de fluxo



Programa Assembly

```
        .data
varA:   .half 3200
varB:   .half 127
varC:   .half 1024
varD:   .half 0
        .text
        .globl __start
__start:
        lh      $s0, varA
        lh      $s1, varB
        lh      $s2, varC
        add     $t0, $s0, $s1
        addi    $t1, $s2, 10
        sub     $s3, $t0, $t1
        sh      $s3, varD
```

...do SPIM

```
Text Segment
========================
[0x00400000]     0x3c011001  lui $1, 4097      ; 9: lh $s0, varA
[0x00400004]     0x8c300000  lh $16, 0($1)
[0x00400008]     0x3c011001  lui $1, 4097      ; 10: lh $s1, varB
[0x0040000c]     0x8c310004  lh $17, 2($1)
[0x00400010]     0x3c011001  lui $1, 4097      ; 11: lh $s2, varC
[0x00400014]     0x8c320008  lh $18, 4($1)
[0x00400018]     0x02114020  add $8, $16, $17  ; 12: add $t0, $s0, $s1
[0x0040001c]     0x2249000a  addi $9, $18, 10  ; 13: addi $t1, $s2, 10
[0x00400020]     0x01099822  sub $19, $8, $9   ; 14: sub $s3, $t0, $t1
[0x00400024]     0x3c011001  lui $1, 4097      ; 15: sh $s3, varD
[0x00400028]     0xac33000c  sh $19, 6($1)

Data Segment
========================

        DATA
[0x10000000]...[0x1000fffc]    0x00000000
[0x1000fffc]                   0x00000000
[0x10010000]                   0x007f0c80  0x00000400  0x0000000  0x00000000
[0x10010010]                   0x00000000  0x00000000  0x0000000  0x00000000
[0x10010020]...[0x10040000]    0x00000000

        STACK
[0x7fffeffc]                   0x00000000
```


Instruções no MIPS
Operações Aritméticas

mult, mflo, mfhi

`mult reg1, reg2`

multiplica `reg1` por `reg2` e coloca resultado em `hi/lo`

Exemplo: `mult $t0, $t1`

`mflo reg1`

move o conteúdo de `lo` para `reg1`

`mfhi reg1`

move o conteúdo de `hi` para `reg1`

Instruções no MIPS
Operações Aritméticas

div, mflo, mfhi

`div reg1, reg2`

divide `reg1` por `reg2` e coloca resultado em `lo` e o resto da divisão em `hi`

Exemplo: `div $t0, $t1`

`mflo reg1`

move o conteúdo de `lo` para `reg1`

`mfhi reg1`

move o conteúdo de `hi` para `reg1`

Instruções no MIPS
Operações Aritméticas

Exercício:

Escreva um programa, em linguagem Assembly do MIPS, que calcula a média entre dois números inteiros de 32 bits. Repita o mesmo exercício usando a pseudo-instrução div (div rdest, reg1, reg2)

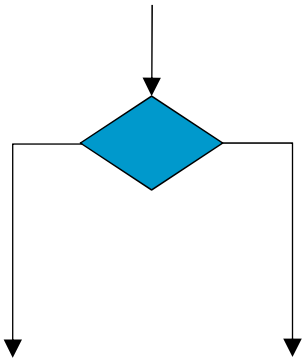
Estruturas de controlo

Instruções no MIPS
Estruturas de Controlo

Permitem cria fluxos alternativos de execução

se (condição) então x

senão y

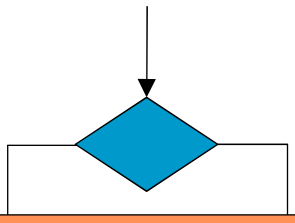


Instruções no MIPS
Estruturas de Controlo

Permitem cria fluxos alternativos de execução

se (condição) então x

senão y



Mas o código é sequencial, como criamos caminhos distintos de execução?

Instruções no MIPS
Estruturas de Controlo

Saltos (jump)

j destino

Não estão associados a uma condição

Saltos condicionais (branch)

b? reg1, reg2, destino

Estão associados a uma condição

Instruções no MIPS
Estruturas de Controlo

Saltos (jump)

j des

Saltos condicionais (branch)

b? reg1, reg2, destino

Não estão associados

os

a uma condição

Mas o código é sequencial, como criamos caminhos distintos de execução?

Saltando por cima do que não interessa ☺

Instruções no MIPS
Estruturas de Controlo

Saltos (sintaxe)

j destino

Instruções no MIPS
Estruturas de Controlo

Saltos (sintaxe)

j destino

```
main:   li $s0, 10
        li $s1, 20

        j xpto
        add $s2, $s0, $s1

xpto:   sub $s2, $s0, $s1
```


Instruções no MIPS
Estruturas de Controlo

Saltos (sintaxe)

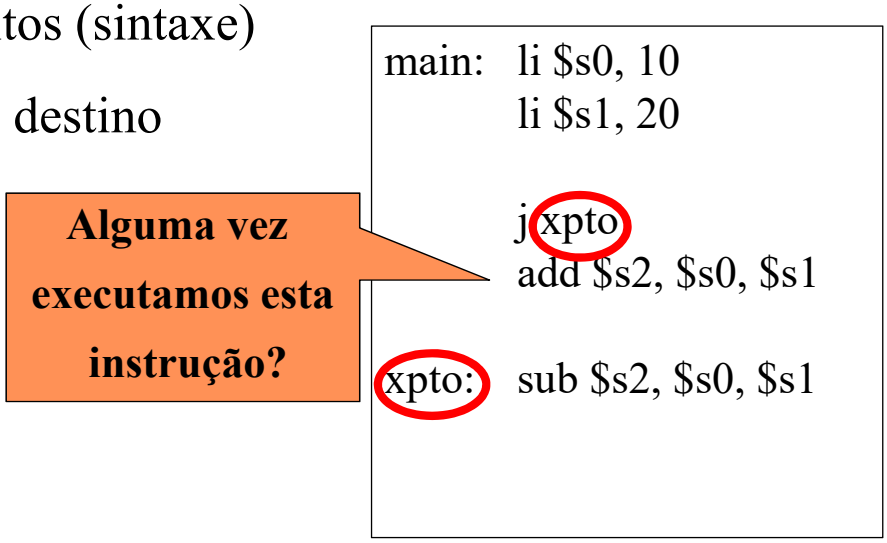
j destino

```
main:   li $s0, 10
        li $s1, 20

        j xpto
        add $s2, $s0, $s1

xpto:   sub $s2, $s0, $s1
```

Instruções no MIPS
Estruturas de Controlo

Saltos (sintaxe)

j destino



Instruções no MIPS
Estruturas de Controlo

Saltos condicionais (sintaxe)

b? reg1, reg2, destino

b destino → semelhante a j destino

bgt reg1, reg2, destino → se reg1 > reg2 salta

bge reg1, reg2, destino → se reg1 >= reg2 salta

blt reg1, reg2, destino → se reg1 < reg2 salta

ble reg1, reg2, destino → se reg1 <= reg2 salta

beq reg1, reg2, destino → se reg1 = reg2 salta

bne reg1, reg2, destino → se reg1 ≠ reg2 salta

Instruções no MIPS
Estruturas de Controlo

Saltos condicionais (sintaxe)

Exemplo:

Se o valor no registo s0 for superior que o valor do registo s1 então somamos os dois valores. Se não for subtraímos.

Instruções no MIPS
Estruturas de Controlo

Saltos condicionais (sintaxe)

Exemplo:

```
main:   li $s0, 20
        li $s1, 10

        bgt $s0, $s1, xpto
        sub $s2, $s0, $s1

xpto:   add $s2, $s0, $s1
```

Instruções no MIPS
Estruturas de Controlo

Saltos condicionais (sintaxe)

Exemplo:

```
main:   li $s0, 20
        li $s1, 10

        bgt $s0, $s1, xpto
        sub $s2, $s0, $s1

xpto    add $s2, $s0, $s1
```


Instruções no MIPS
Estruturas de Controlo

Saltos condicionais (sintaxe)

Exemplo:

E se os trocarmos os valores?

```
main:   li $s0, 10
        li $s1, 20

        bgt $s0, $s1, xpto
        sub $s2, $s0, $s1

xpto:   add $s2, $s0, $s1
```

Instruções no MIPS
Estruturas de Controlo

Saltos condicionais (sintaxe)

Exemplo:

```
main:   li $s0, 10
        li $s1, 20

        bgt $s0, $s1, xpto
        sub $s2, $s0, $s1

xpto:   add $s2, $s0, $s1
```

A condição é falsa, logo não saltamos para 'xpto'

Instruções no MIPS
Estruturas de Controlo

Saltos condicionais (sintaxe)

Exemplo:

```
main:   li $s0, 10
        li $s1, 20

        bgt $s0, $s1, xpto
        sub $s2, $s0, $s1

xpto:   add $s2, $s0, $s1
```

E executamos ambas as instruções seguintes

Instruções no MIPS
Estruturas de Controlo

Saltos condicionais (sintaxe)

Exemplo:

```
main:   li $s0, 10
        li $s1, 20

        bgt $s0, $s1, xpto
        sub $s2, $s0, $s1
        j end
xpto:   add $s2, $s0, $s1
end:
```


Instruções no MIPS
Estruturas de Controlo

Saltos condicionais (sintaxe)

Exemplo:

```
main:   li $s0, 10
        li $s1, 20

        bgt $s0, $s1, xpto
        sub $s2, $s0, $s1
        j end
xpto:   add $s2, $s0, $s1
end:
```

É necessário um salto para evitar o código referente à condição

Instruções no MIPS
Estruturas de Controlo

Exercício:

Dado dois valores inteiros, guardados em duas posições contiguas de memória, determinar qual o menor dos valores e guarda-lo na próximo endereço de memória. Caso sejam iguais, o resultado deverá ser -1.

Instruções no MIPS
Estruturas de Controlo

Nada nos impede de fazer os nosso programas saltar para uma instrução previamente executada

É assim que se criam ciclos

Que faz este programa?

```
main:   li $s0, 1
        li $s1, 20

abc:    bgt $s0, $s1, xpto
        addi $s0, $s0, 1
        j abc
xpto:
```

Instruções no MIPS
Operações Lógicas

and, or

`and rdest, reg1, reg2`

`and` faz o *e lógico bit a bit* de `reg1` e `reg2` e coloca resultado em `rdest`

`or rdest, reg1, reg2`

`or` faz o *ou lógico bit a bit* de `reg1` e `reg2` e coloca resultado em `rdest`

Instruções no MIPS
Operações Lógicas

sll, slr

`sll rdest, reg1, reg2`

`sll` afasta para a esquerda todos os bits de `reg1,` o número de bits contido em `reg2` e coloca o resultado em `rdest`

`slr rdest, reg1, reg2`

`slr` afasta para a direita todos os bits de `reg1,` o número de bits contido em `reg2` e coloca o resultado em `rdest`

Instruções no MIPS
Operações Lógicas

Exercício:

Utilizando apenas operações lógicas escreva um programa Assembly do MIPS que converte quatro dígitos decimais representados em ASCII para o código *packet BCD*. Suponha que os quatro dígitos em ASCII estão guardados em 4 posições contíguas da memória. O resultado da conversão deverá ser armazenado na posição de memória seguinte.

Arrays

Arrays (vectores)

Permitem manter, em memória, conjuntos de valores normalmente relacionados

Ex: notas de alunos, temperaturas, etc.

Representados por um conjunto de endereços de memória contíguos

i.e., posições de memória seguidas

Acedidos por indexação

i.e., valor na posição **x**, **x+1**, **x+2**, etc.

Arrays (vectores)

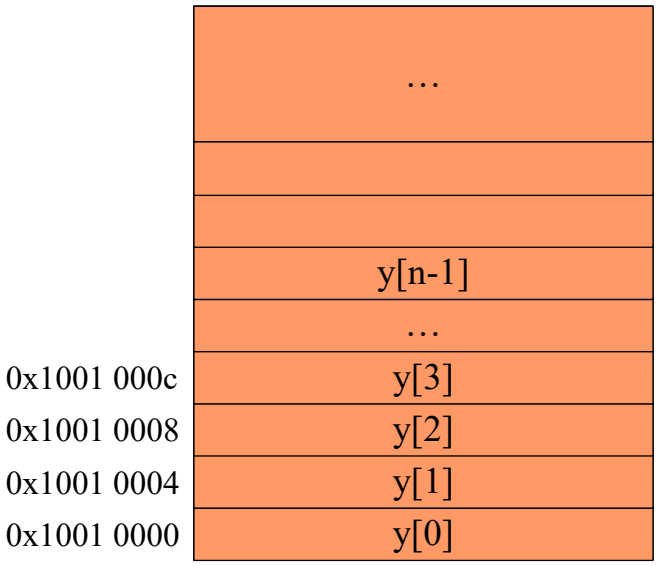
A dimensão de um array define o número de elementos que suporta

Bem como o número de posições de memória que ocupa

Um array de dimensão *n*, contem valores nas posições 0 a n-1

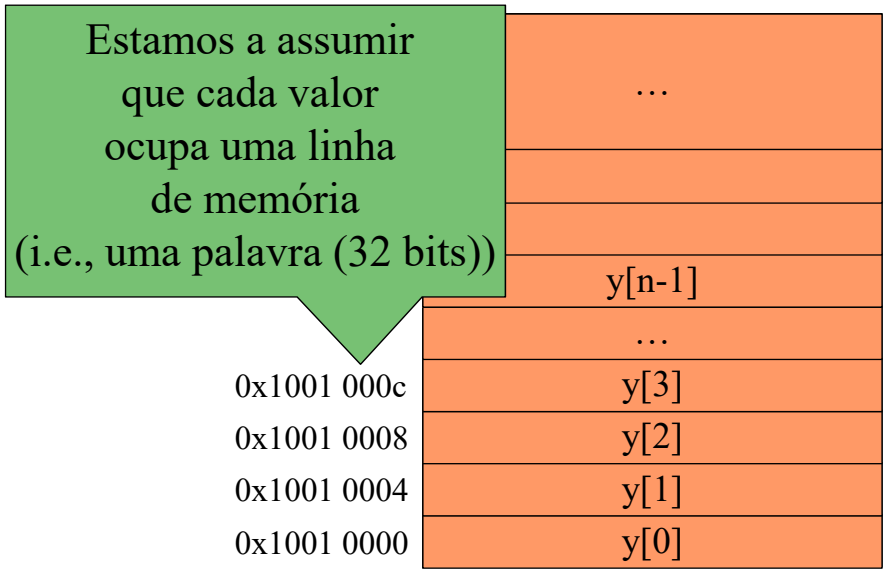
Arrays (vectores)

Ex: Array y de dimensão n



Arrays (vectores)

Ex: Array y de dimensão n



Arrays em Assembly

```
        .data
array_t: .word 10,12,7,5,9
```


Arrays em Assembly

Declara um array
com 5 inteiros de 32 bits

```
        .data
array_t: .word 10,12,7,5,9
```

Arrays em Assembly

Declara um array
com 5 inteiros de 32 bits

```
.data
array_t: .word 10,12,7,5,9

array_x: .space 40
```


Arrays em Assembly

Declara um array
com 5 inteiros de 32 bits

Declara um array
vazio com **40 bytes**

```
.data
array_t: .word 10,12,7,5,9

array_x: .space 40
```

Arrays em Assembly

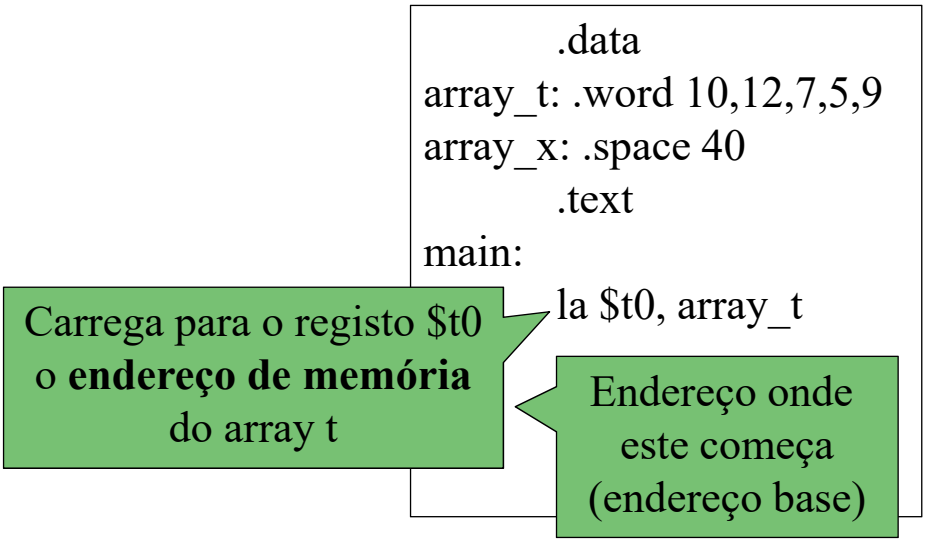
```
        .data
array_t: .word 10,12,7,5,9
array_x: .space 40
        .text
main:
        la $t0, array_t
```


Arrays em Assembly

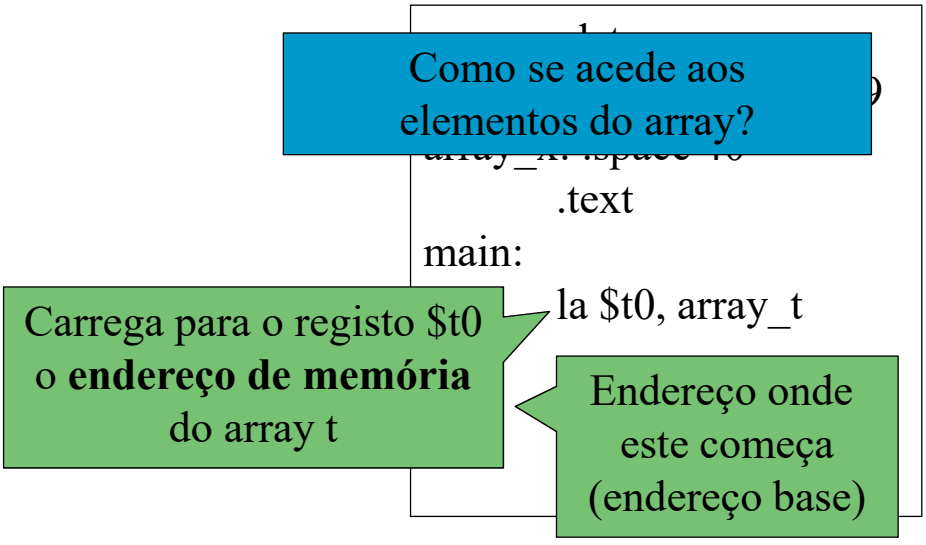
```
        .data
array_t: .word 10,12,7,5,9
array_x: .space 40
        .text
main:
        la $t0, array_t
```

Carrega para o registo $t0 o **endereço de memória** do array t

Arrays em Assembly



Arrays em Assembly



Arrays em Assembly

```
        .data
array_t: .word 10,12,7,5,9
array_x: .space 40
        .text
main:
        la $t0, array_t
        lw $s0, 0($t0)
```


Arrays em Assembly

```
        .data
array_t: .word 10,12,7,5,9
array_x: .space 40
        .text
main:
        la $t0, array_t
        lw $s0, 0($t0)
```

Endereçamento indirecto

Arrays em Assembly

```
        .data
array_t: .word 10,12,7,5,9
array_x: .space 40
        .text
main:
        la $t0, array_t
        lw $s0, 0($t0)
```

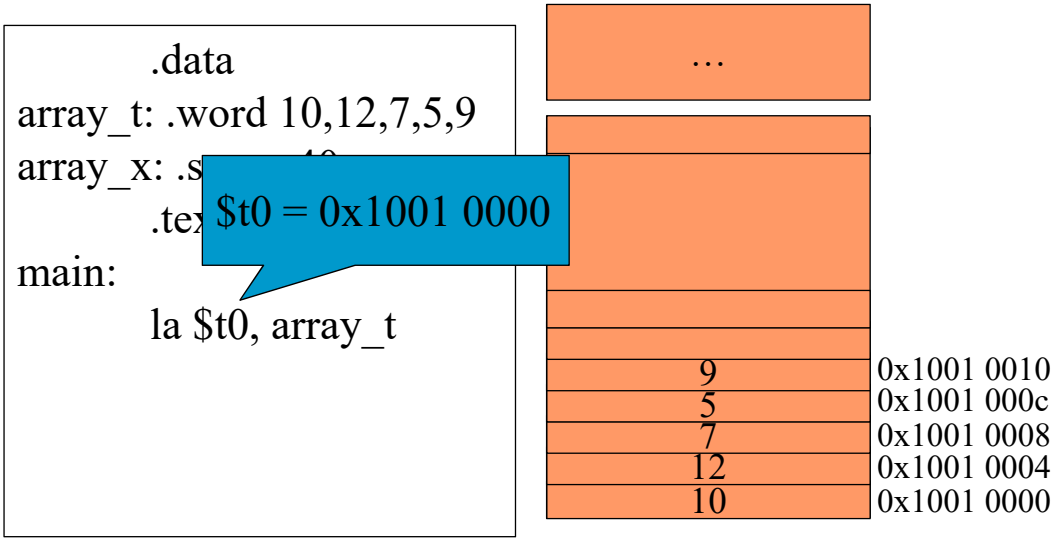
O valor contido em $t0 é um endereço de memória

Arrays em Assembly

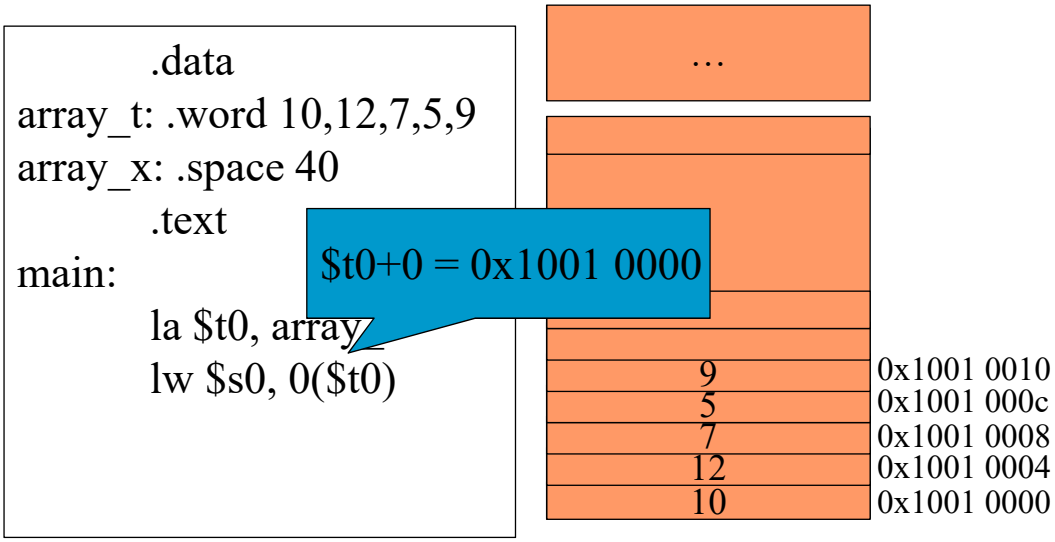
```
        .data
array_t: .word 10,12,7,5,9
array_x: .space 40
        .text
in:
        la $t0, array_t
        lw $s0, 0($t0)
```

O objectivo é carregar, para $s0, o conteúdo da posição cujo endereço está em $t0

Arrays em Assembly

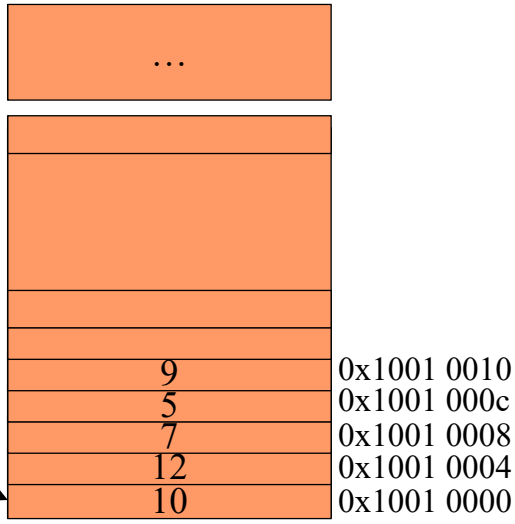


Arrays em Assembly



Arrays em Assembly

```
        .data
array_t: .word 10,12,7,5,9
array_x: .space 40
        .text
main:
        la $t0, array_t
        lw $s0, 0($t0)
```



Arrays em Assembly

Carrega para *$s0* a **palavra contida** na **posição** de memória **cujo endereço** é **$t0+0**
i.e, 1ª posição do array

```
        .data
array_t: .word 10,12,7,5,9
y_x: .space 40
        .text
n:
        la $t0, array_t
        lw $s0, 0($t0)
```

Arrays em Assembly

```
        .data
array_t: .word 10,12,7,5,9
array_x: .space 40
        .text
main:
        la $t0, array_t
        lw $s0, 0($t0)
        lw $s1, 4($t0)
```


Arrays em Assembly

```
        .data
array_t: .word 10,12,7,5,9
array_x: .space 40
        .text
main:
        la $t0, array_t
        lw $s0, 0($t0)
        lw $s1, 4($t0)
```

Carrega a palavra contida no endereço **$t0+4**
i.e, 2ª posição do array

Arrays em Assembly

```
        .data
array_t: .word 10,12,7,5,9
array_x: .space 40
        .text
        .
        , array_t
        ), 0($t0)
        lw $s1, 4($t0)
```

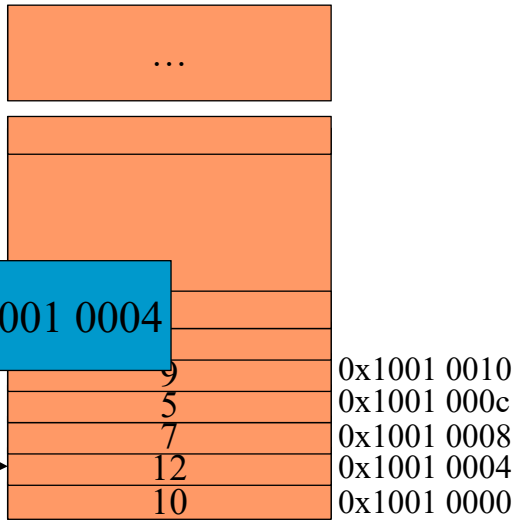
Porquê 4?

Carrega a palavra contida no endereço **$t0+4** i.e, 2ª posição do array

Arrays em Assembly

```
        .data
array_t: .word 10,12,7,5,9
array_x: .space 40
        .text
main:
        la $t0, ar
        lw $s0, 0($t
        lw $s0, 4($t0)
```

$t0+4 = 0x1001 0004



Arrays em Assembly

```
        .data
array_t: .word 10,12,7,5,9
array_x: .space 40
        .text
main:
        la $t0, array_t
        lw $s0, ($t0)
        addi $t0, $t0, 4
        lw $s1, ($t0)
```

Alternativa: avançar o endereço da posição de memória…

Arrays em Assembly

```
        .data
array_t: .word 10,12,7,5,9
array_x: .space 40
        .text
main:
        la $t0, array_t
        lw $s0, ($t0)
        addi $t0, $t0, 4
        lw $s1, ($t0)
```

… e "reutilizar" o novo endereço

Arrays em Assembly

```
        .data
t: .word 10,12,7,5,9
x: .space 20
        .text
main:
        la $s3, t
        la $s4, x
        li $s0, 4
        addi $t1, $s3, 16
init:   lw $t0, ($s3)
        sw $t0, ($s4)
        add $s3, $s3, $s0
        add $s4, $s4, $s0
        bgt $s3, $t1, end
        j init
end:
```

Que faz este programa?

Arrays em Assembly

```
        .data
t: .word 10,12,7,5,9
x: .space 20
        .text
main:
        la $s3, t
        la $s4, x
        li $s0, 4
        addi $t1, $s3, 16
init:   lw $t0, ($s3)
        sw $t0, ($s4)
        add $s3, $s3, $s0
        add $s4, $s4, $s0
        bgt $s3, $t1, end
        j init
end:
```

Declara dois arrays, *x* e *t*.
t tem 5 valores e *x* tem 20 bytes

Arrays em Assembly

```
        .data
t: .word 10,12,7,5,9
x: .space 20
        .text
main:
        la $s3, t
        la $s4, x
        li $s0, 4
        addi $t1, $s3, 16
init:   lw $t0, ($s3)
        sw $t0, ($s4)
        add $s3, $s3, $s0
        add $s4, $s4, $s0
        bgt $s3, $t1, end
        j init
end:
```

Declara dois arrays, *x* e *t*.
t tem 5 valores e *x* tem 20 bytes

Qual a dimensão de cada array?

Arrays em Assembly

```
        .data
t: .word 10,12,7,5,9
x: .space 20
        .text
main:
        la $s3, t
        la $s4, x
        li $s0, 4
        addi $t1, $s3, 16
init:   lw $t0, ($s3)
        sw $t0, ($s4)
        add $s3, $s3, $s0
        add $s4, $s4, $s0
        bgt $s3, $t1, end
        j init
end:
```

Carrega para $s3 e $s4 os **endereços** de *t* e *x*, e para $s0 o **valor** 4

Arrays em Assembly

```
        .data
t: .word 10,12,7,5,9
x: .space 20
        .text
main:
        la $s3, t
        la $s4, x
        li $s0, 4
        addi $t1, $s3, 16
init:   lw $t0, ($s3)
        sw $t0, ($s4)
        add $s3, $s3, $s0
        add $s4, $s4, $s0
        bgt $s3, $t1, end
        j init
end:
```

Guarda em $t1 o resultado da soma do **endereço** guardado em $s3 com 16

Arrays em Assembly

```
        .data
t: .word 10,12,7,5,9
x: .space 20
        .text
main:
        la $s3, t
        la $s4, x
        li $s0, 4
        addi $t1, $s3, 16
init:   lw $t0, ($s3)
        sw $t0, ($s4)
        add $s3, $s3, $s0
        add $s4, $s4, $s0
        bgt $s3, $t1, end
        j init
end:
```

Guarda em $t1 o resultado da soma do **endereço** guardado em $s3 com 16

Qual o significado desse valor?

Arrays em Assembly

```
        .data
t: .word 10,12,7,5,9
x: .space 20
        .text
main:
        la $s3, t
        la $s4, x
        li $s0, 4
        addi $t1, $s3, 16
init:   lw $t0, ($s3)
        sw $t0, ($s4)
        add $s3, $s3, $s0
        add $s4, $s4, $s0
        bgt $s3, $t1, end
        j init
end:
```

Carrega para $t0, o valor apontado por $s3

Arrays em Assembly

```
        .data
t: .word 10,12,7,5,9
x: .space 20
        .text
main:
        la $s3, t
        la $s4, x
        li $s0, 4
        addi $t1, $s3, 16
init:   lw $t0, ($s3)
        sw $t0, ($s4)
        add $s3, $s3, $s0
        add $s4, $s4, $s0
        bgt $s3, $t1, end
        j init
end:
```

Guarda no endereço apontado por $s4, o valor de $t0

Arrays em Assembly

```
        .data
t: .word 10,12,7,5,9
x: .space 20
        .text
main:
        la $s3, t
        la $s4, x
        li $s0, 4
        addi $t1, $s3, 16
init:   lw $t0, ($s3)
        sw $t0, ($s4)
        add $s3, $s3, $s0
        add $s4, $s4, $s0
        bgt $s3, $t1, end
        j init
end:
```

Guarda no endereço apontado por $s4, o valor de $t0

Qual o valor na posição de memória apontada por $s4?

Arrays em Assembly

```
        .data
t: .word 10,12,7,5,9
x: .space 20
        .text
main:
        la $s3, t
        la $s4, x
        li $s0, 4
        addi $t1, $s3, 16
init:   lw $t0, ($s3)
        sw $t0, ($s4)
        add $s3, $s3, $s0
        add $s4, $s4, $s0
        bgt $s3, $t1, end
        j init
end:
```

Adiciona aos endereços em $s3 e $s4 o valor de $s0

Arrays em Assembly

```
        .data
t: .word 10,12,7,5,9
x: .space 20
        .text
main:
        la $s3, t
        la $s4, x
        li $s0, 4
        addi $t1, $s3, 16
init:   lw $t0, ($s3)
        sw $t0, ($s4)
        add $s3, $s3, $s0
        add $s4, $s4, $s0
        bgt $s3, $t1, end
        j init
end:
```

Qual o novo valor de $s3 e $s4?

Adiciona aos endereços em $s3 e $s4 o valor de $s0

Arrays em Assembly

```
        .data
t: .word 10,12,7,5,9
x: .space 20
        .text
main:
        la $s3, t
        la $s4, x
        li $s0, 4
        addi $t1, $s3, 16
init:   lw $t0, ($s3)
        sw $t0, ($s4)
        add $s3, $s3, $s0
        add $s4, $s4, $s0
        bgt $s3, $t1, end
        j init
end:
```

Para onde apontam agora $s3 e $s4?

Adiciona aos endereços em $s3 e $s4 o valor de $s0

Arrays em Assembly

```
        .data
t: .word 10,12,7,5,9
x: .space 20
        .text
main:
        la $s3, t
        la $s4, x
        li $s0, 4
        addi $t1, $s3, 16
init:   lw $t0, ($s3)
        sw $t0, ($s4)
        add $s3, $s3, $s0
        add $s4, $s4, $s0
        bgt $s3, $t1, end
        j init
end:
```

Salta?

Se o valor em $s3 for maior que o valor em $t1 salta para *end*

Arrays em Assembly

```
        .data
t: .word 10,12,7,5,9
x: .space 20
        .text
main:
        la $s3, t
        la $s4, x
        li $s0, 4
        addi $t1, $s3, 16
init:   lw $t0, ($s3)
        sw $t0, ($s4)
        add $s3, $s3, $s0
        add $s4, $s4, $s0
        bgt $s3, $t1, end
        j init
end:
```

Salta para *init* e repete novamente…

Arrays em Assembly

```
        .data
t: .word 10,12,7,5,9
x: .space 20
        .text
main:
        la $s3, t
        la $s4, x
        li $s0, 4
        addi $t1, $s3, 16
init:   lw $t0, ($s3)
        sw $t0, ($s4)
        add $s3, $s3, $s0
        add $s4, $s4, $s0
        bgt $s3, $t1, end
        j init
end:
```

Repete quantas vezes?

Salta para *init* e repete novamente…

Arrays

Exercício:

Escreva um programa que, dado um array ***x*** com 4 valores inteiros de 32 bits, escreva num novo array ***y*** os sucessores da cada um dos elementos de ***x***.