

## Aula 2

- Conceitos fundamentais em Arquitetura de Computadores
  - O Computador como sistema digital
  - Os elementos básicos de um computador
  - O ciclo básico de execução de uma instrução
- Arquitetura de Computadores
  - *Instruction Set Architecture* (ISA)
  - Organização
  - Níveis de Representação

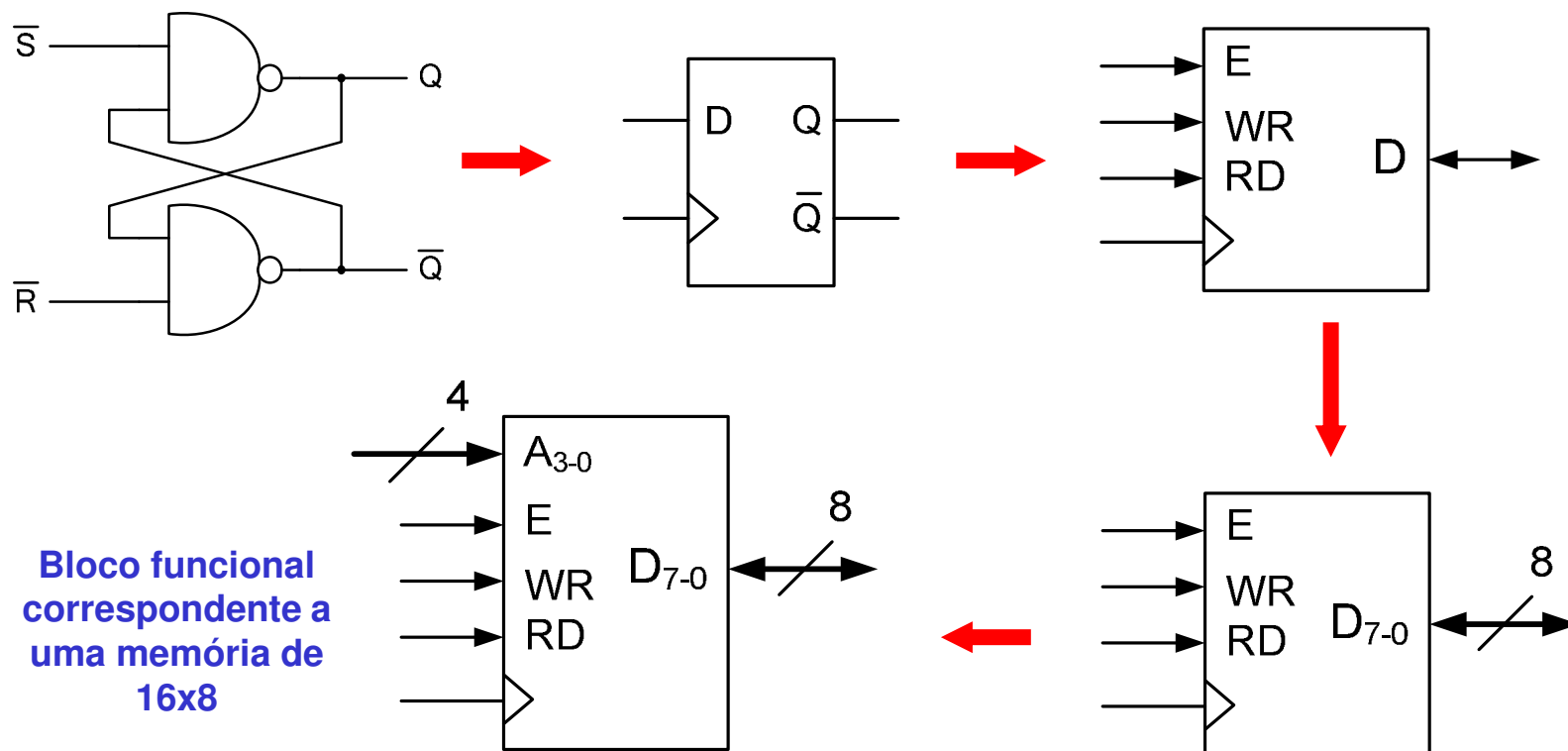
José Luís Azevedo, Bernardo Cunha, Arnaldo Oliveira, Pedro Lavrador

# Arquitetura de Computadores e Sistemas Digitais

- Arquitetura de Computadores é uma das áreas de aplicação direta dos conceitos, técnicas e metodologias apreendidas nas duas UCs de Sistemas Digitais
- Em Arquitetura de Computadores, contudo, trabalha-se num nível de abstração diferente
- Recorre-se, na maior parte das vezes, a **blocos funcionais complexos** com cuja síntese, normalmente, não temos que nos preocupar (isso não significa que a sua funcionalidade não tenha que ser totalmente compreendida)

## Exemplo: memória RAM 16x8

- Por exemplo, uma "Memória" (um dispositivo com capacidade para armazenar informação digital binária) pode ser construída à custa de blocos básicos bem conhecidos dos sistemas digitais: **flip-flops**

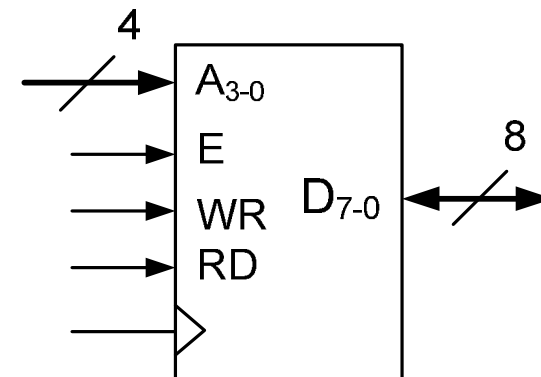


## Exemplo: memória RAM 16x8 – VHDL

- O mesmo bloco pode, contudo, ser modelado numa linguagem de descrição de hardware, por exemplo VHDL, usando para isso uma mera descrição comportamental:

```
entity RAM_16_8 is
  port (clk      : in std_logic;
        addr     : in std_logic_vector(3 downto 0);
        enable   : in std_logic;
        wr       : in std_logic;
        rd       : in std_logic;
        data_io  : inout std_logic_vector(7 downto 0));
end RAM_16_8;
```

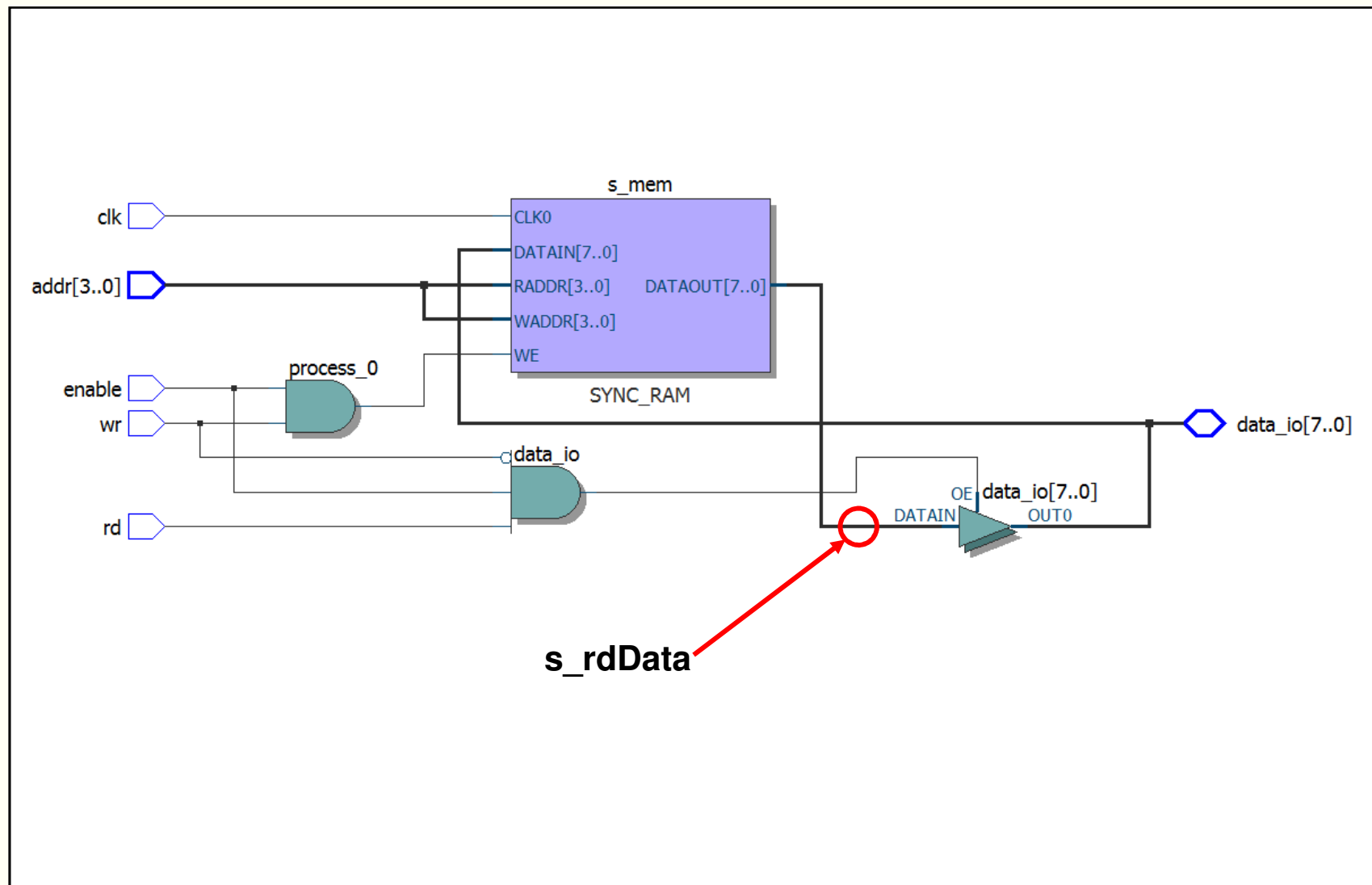
Escrita síncrona e leitura assíncrona.  
O barramento de dados é bidirecional.



## Exemplo: memória RAM 16x8 – VHDL

```
architecture Behavioral of RAM_16_8 is
    subtype TData is std_logic_vector(7 downto 0);
    type TMemory is array(0 to 15) of TData;
    signal s_mem : TMemory;
    signal s_rdData : std_logic_vector(7 downto 0);
begin
    process(clk)
    begin
        if(rising_edge(clk)) then
            if(enable = '1' and wr = '1') then
                s_mem(to_integer(unsigned(addr))) <= data_io;
            end if;
        end if;
    end process;
    s_rdData <= s_mem(to_integer(unsigned(addr)));
    data_io <= s_rdData when enable = '1' and rd = '1' and
        wr = '0' else (others => 'Z');
end Behavioral;
```

# Exemplo: memória RAM 16x8 - síntese



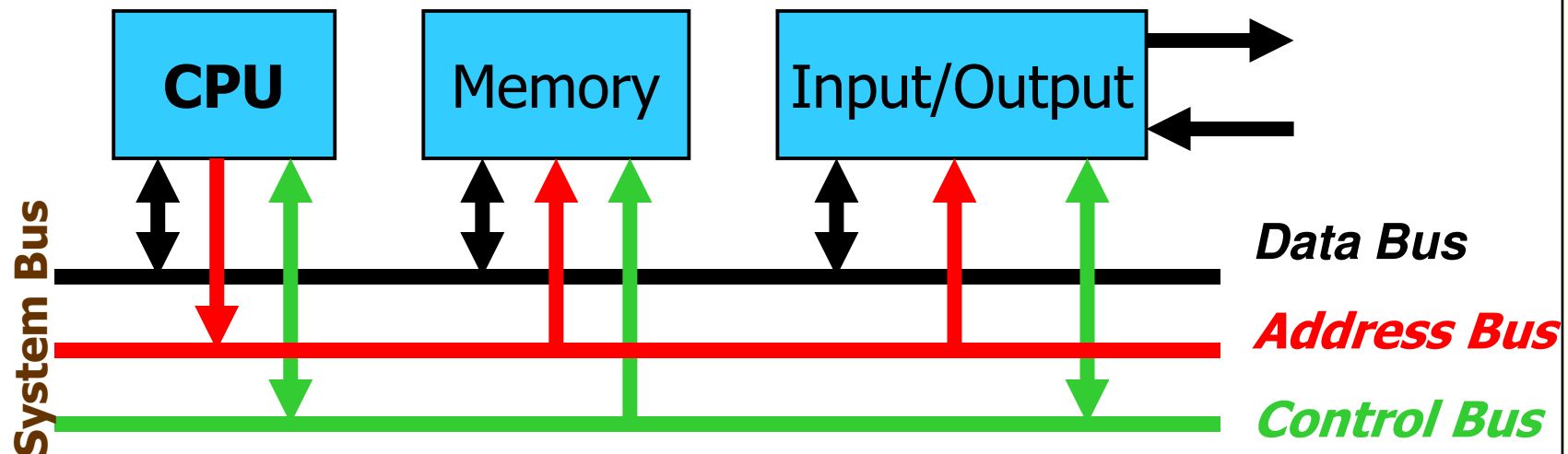
# Arquitetura básica de um sistema computacional

- Unidades fundamentais que constituem um computador
  - **CPU** – responsável pelo processamento da informação através da execução de uma sequência de instruções (programa) armazenadas em memória
  - **Memória** – responsável pelo armazenamento de:
    - Programas
    - Dados para processamento
    - Resultados
  - **Unidades de I/O** – responsáveis pela comunicação com o exterior
    - **Unidades de entrada** – permitem a receção de informação vinda do exterior (dados, programas) e que é armazenada em memória
    - **Unidades de saída** – permitem o envio de resultados para o exterior
- Um computador é um sistema digital complexo

**Cada um destes blocos é um sistema digital!**

# Arquitetura básica de um sistema computacional

- Modelo de von Neumann



- **Data Bus:** barramento de transferência de informação (CPU↔memória, CPU↔Input/Output)
- **Address Bus:** identifica a origem/destino da informação
- **Control Bus:** sinais de protocolo que especificam o modo como a transferência de informação deve ser feita



# Arquitetura básica de um sistema computacional

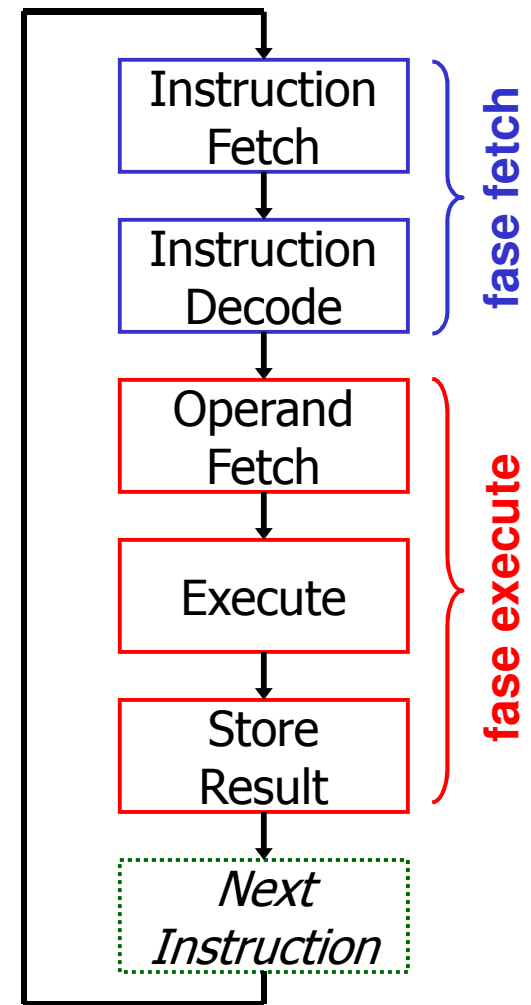
- **Endereço** (*address*) – um número (único) que identifica cada registo de memória. Os endereços são contados sequencialmente, começando em 0
  - Exemplo: o conteúdo da posição de memória 0x2000 é 0x32 – (0x2000 é o endereço, 0x32 o valor armazenado)
- **Espaço de endereçamento** (*address space*) – a gama total de endereços que o CPU consegue referenciar (depende da dimensão do barramento de endereços).
  - Exemplo: um CPU com um barramento de endereços de 16 bits pode gerar endereços na gama: 0x0000 a 0xFFFF (i.e., 0 a  $2^{16}-1$ )
  - Qual o espaço de endereçamento de um processador com um barramento de endereços de 32 bits?

# Arquitetura básica do CPU

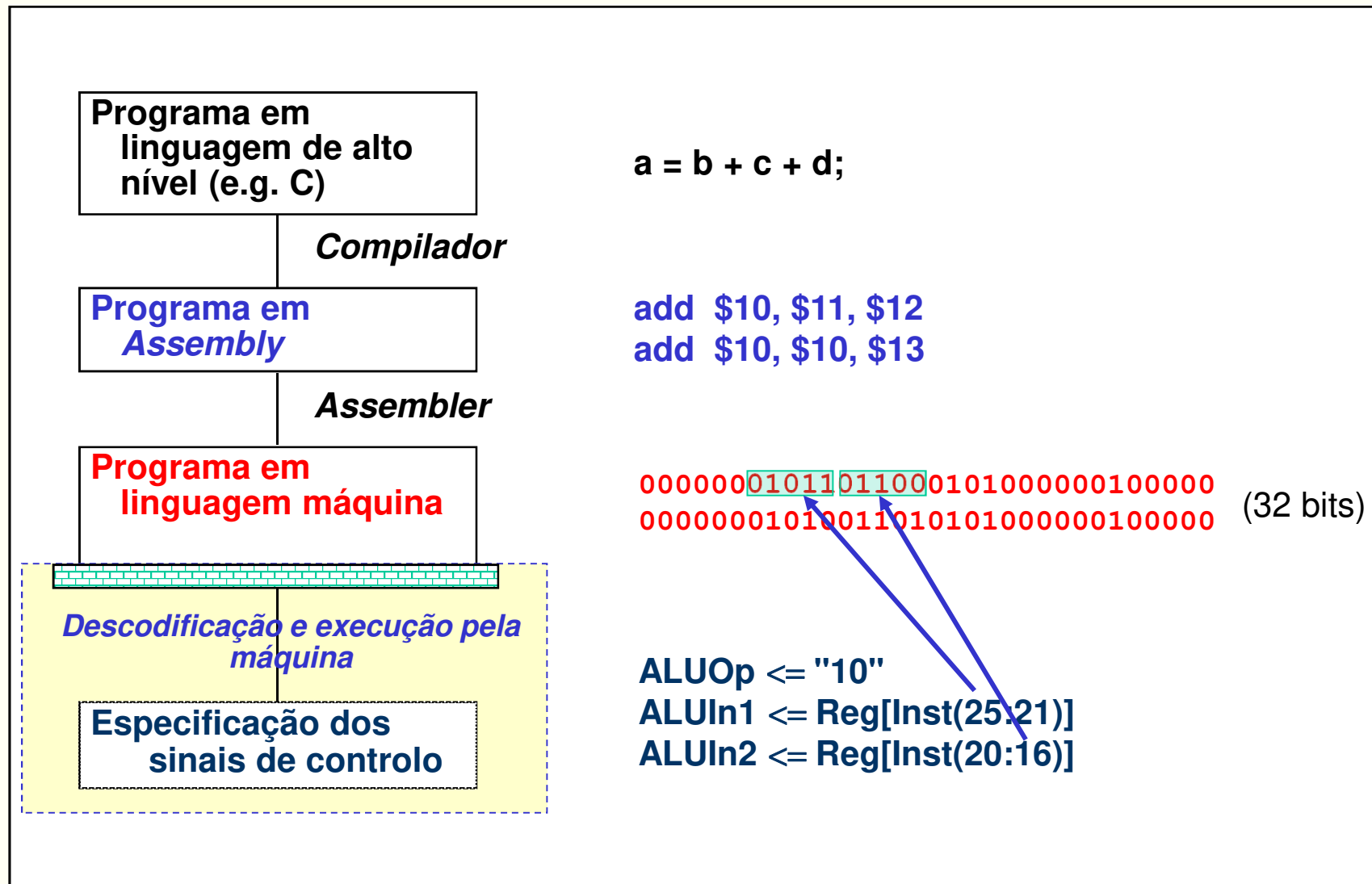
- **Secção de dados** (*datapath*) – elementos operativos/funcionais para encaminhamento, processamento e armazenamento de informação
  - Multiplexers
  - Unidade Aritmética e Lógica (ALU) – Add, Sub, And, Or...
  - Registos internos
- **Unidade de controlo** – responsável pela coordenação dos elementos do *datapath*, durante a execução de um programa
  - Gera os sinais de controlo que adequam a operação de cada um dos recursos da secção de dados às necessidades da instrução que estiver a ser executada
  - Dependendo da arquitetura, pode ser uma máquina de estados ou um elemento meramente combinatório
- Independentemente da Unidade de Controlo ser combinatória ou sequencial, **o CPU é sempre uma máquina de estados síncrona**

# Ciclo-base de execução de uma instrução

- **Instruction fetch:** leitura do código máquina da instrução (instrução reside em memória)
- **Instruction decode:** descodificação da instrução pela unidade de controlo
- **Operand fetch:** leitura do(s) operando(s)
- **Execute:** execução da operação especificada pela instrução
- **Store result:** armazenamento do resultado da operação no destino especificado na instrução



# Níveis de Representação

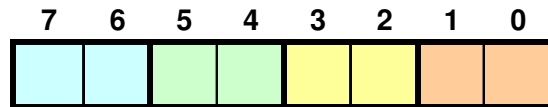


# Codificação das instruções

- A **codificação de uma instrução**, sob a forma de um número expresso em binário, terá que ter toda a informação de que o CPU necessita para a sua execução
- Qual a operação a realizar ?
- Qual a localização dos operandos (se existirem) ?
  - podem estar em **registos internos do CPU** ou na **memória externa**. No 1º caso deverá ser especificado o número de um registo; no 2º um endereço de memória
- Onde colocar o resultado ?
  - **Registos internos / memória**
- Qual a próxima instrução a executar?
  - em condições normais é a instrução seguinte na sequência e, portanto, não é, normalmente, explicitamente mencionada
  - em instruções que **alteram a sequência de execução** a instrução deverá fornecer o endereço da próxima instrução a ser executada

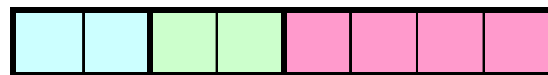
# Exemplo - CPU hipotético

## Formato de codificação das instruções (8 bits)



Formato 1

Oper. Rdest Rop1 Rop2



Formato 2

Oper. Reg. End. Memória

## Registos Internos do CPU:

00 Reg. 0

01 Reg. 1

10 Reg. 2

11 Reg. 3

## Operações possíveis:

00 Somar o conteúdo de dois registos

01 Ler da memória para um registo interno do CPU (LOAD)

10 Escrever o conteúdo de um registo interno na memória (STORE)

11 Não definida (N.D.)

Exemplo de programa em código máquina  
para este processador

Qual é a expressão aritmética  
implementada neste programa?

Hex	Binário	
0x58	01011000	Ler o conteúdo da posição de memória 8 para o registo interno 1
0x79	01111001	Ler o conteúdo da posição de memória 9 para o registo interno 3
0x15	00010101	Somar o conteúdo do reg. 1 c/ o reg. 1 e depositar o result. no reg. 1
0x07	00000111	Somar o conteúdo do reg. 1 c/ o reg. 3 e depositar o result. no reg. 0
0x8A	10001010	Escrever o conteúdo do reg. 0 na posição de memória 10

# Arquitetura do Conjunto de Instruções (ISA)

- **ISA**: Instruction Set Architecture
- **Instruction Set**: coleção de todas as operações/instruções que o processador pode executar
- Arquitetura de Computadores =  
**Arquitetura do Conjunto de Instruções (ISA) +  
Organização da Máquina**

# Arquitetura do Conjunto de Instruções (ISA)

- Também designada por "modelo de programação"
- Uma importante abstração que representa a **interface entre o h/w e o nível mais básico de s/w**
- Descreve tudo o que o programador necessita de saber para programar corretamente, em linguagem máquina, um determinado processador
- Descreve a funcionalidade, independentemente do h/w que a implementa. Pode assim falar-se de "**arquitetura**" e "**implementação de uma arquitetura**"
- Exemplo em que a mesma arquitetura do conjunto de instruções tem 2 implementações distintas:
  - Processadores AMD compatíveis com Intel x86



# Arquitetura do Conjunto de Instruções (ISA)

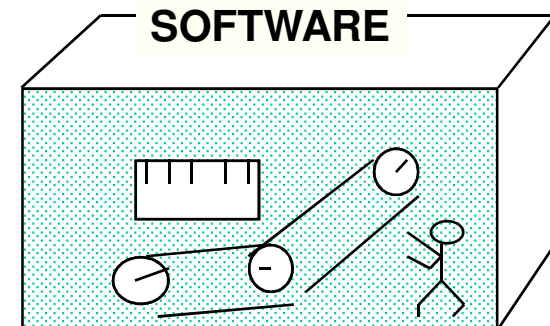
- Alguns exemplos de ISAs:
  - MIPS
  - ARM (Nintendo DS, iPod, Canon PowerShot, smartphones, ...)
  - Intel x86 (PCs, MACs)
  - PowerPC
  - Cell (playstation 3)

# Arquitetura do Conjunto de Instruções (ISA)

- ... **os atributos de um sistema computacional tal como são vistos pelo programador**, i.e. a estrutura concetual e o comportamento funcional, de forma distinta e independente da organização do fluxo de informação e dos respetivos elementos de controlo, do desenho lógico e da implementação física.

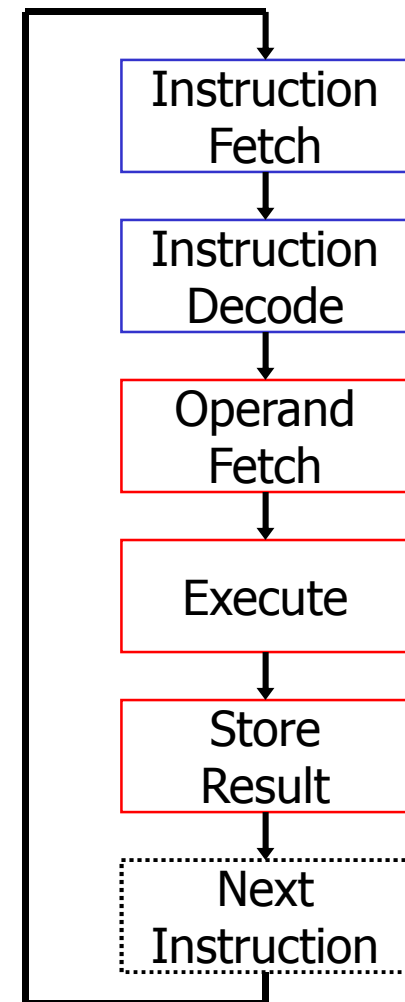
— Amdahl, Blaaw, and Brooks, 1964

- Conjunto de Instruções
- Organização da memória
- Número e tipos de Registos
- Tipos de dados e estruturas de dados (Codificação e representação)
- Modos de endereçamento (acesso a dados e instruções)
- Formato/codificação das Instruções
- Condições que podem desencadear "exceções"



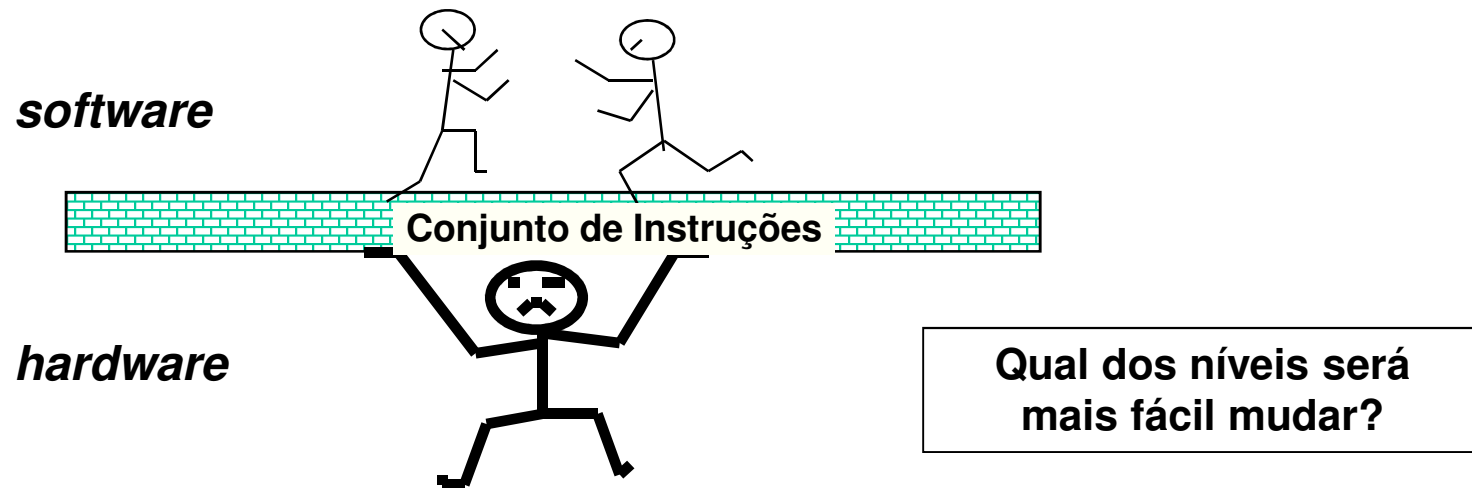
# Arquitetura do Conjunto de Instruções (ISA)

- Formato e codificação das instruções
  - como são decodificadas?
- Operandos das instruções e resultados
  - onde podem residir?
  - quantos operandos explícitos?
  - como referenciar?
  - quais podem residir na memória externa?
- Tipo e dimensão dos dados
- Operações
  - quais são suportadas?
  - instruções auxiliares: jumps, conditions, branches (para controlo do fluxo de execução)



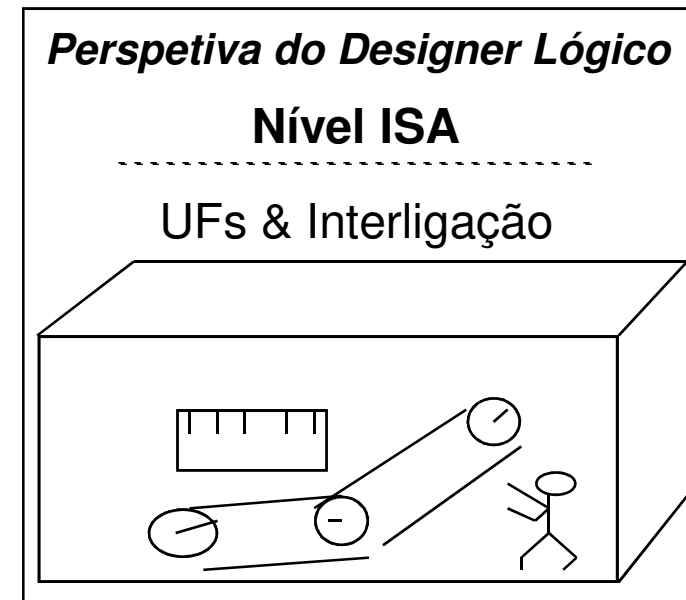
# Arquitetura do Conjunto de Instruções (ISA)

- Requisitos básicos da Arquitetura do Conjunto de Instruções:
  - Implementação simples e eficiente em hardware
  - Fácil de entender e programar
  - Desenvolvimento de compiladores eficientes
- Conjunto de Instruções: um Interface Crítico

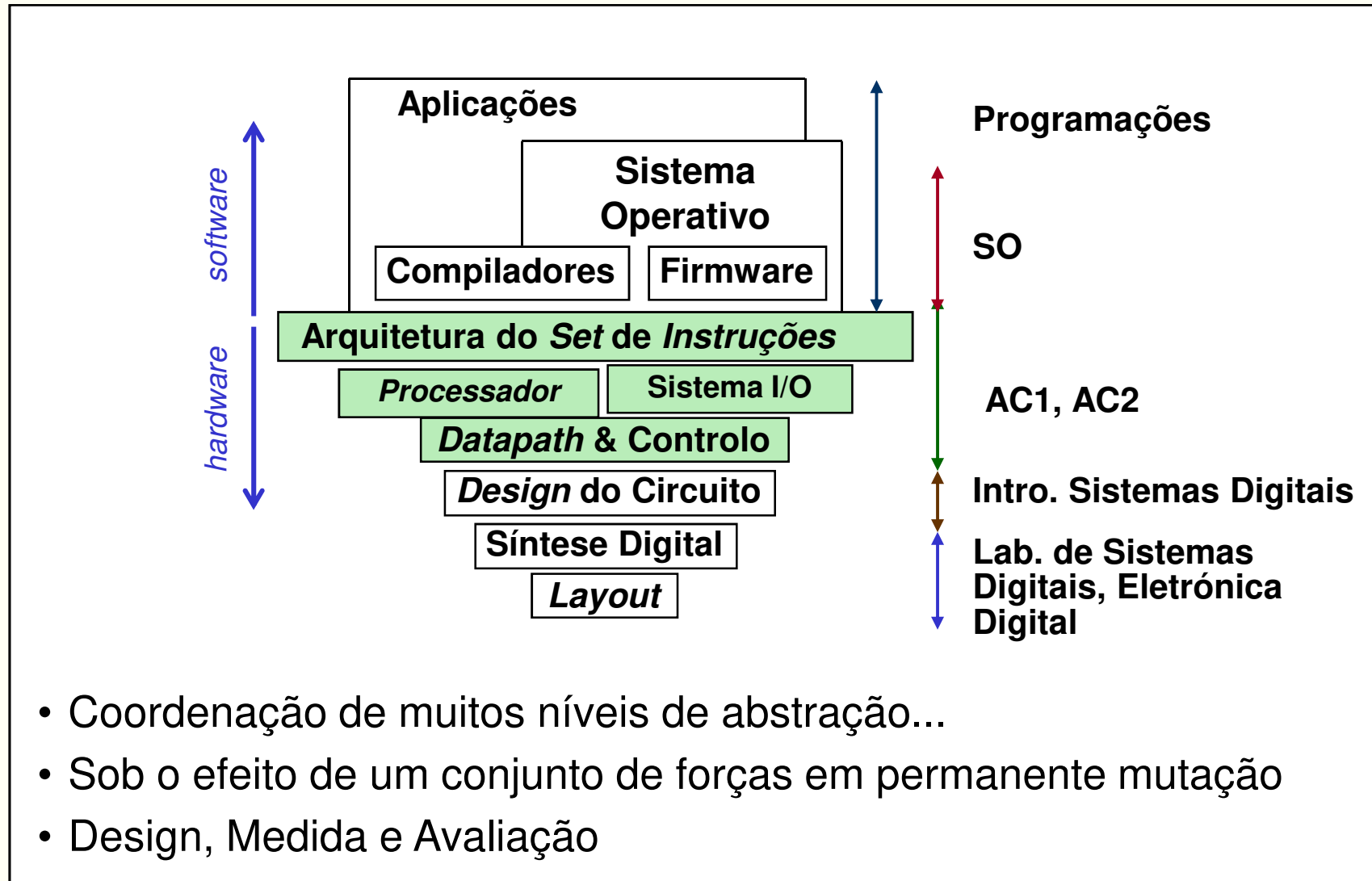


# Organização da máquina

- Características operativas e de desempenho das principais unidades funcionais (ALU, Registos, Shifters, Unidades Lógicas, ...)
- De que modo esses componentes são interligados
- Fluxo de informação entre componentes
- Lógica e meios através dos quais esse fluxo é controlado
- Coreografia das Unidades Funcionais para implementar a ISA



# Arquitetura dos Sistemas Computacionais



# Conclusão

- A evolução da arquitetura de computadores depende de múltiplos fatores

