



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

# **Arquitetura de computadores**

# **Paralelismo**

---

ARQUITETURA DE COMPUTADORES

PROF. Alex Lima

# Introdução

---

- **Paralelismo**
  - Pipeline de instruções
  - Paralelismo em nível de instrução
    - Processadores superescalares
  - Paralelismo em nível de máquina
    - Processadores multicore

# Paralelismo

---

- **Conceito**

- A ideia de paralelismo em um processador é relacionada a execução de instruções em paralelo.
- Há diferentes modos de se executar programas em paralelo
  - Pipeline
  - Processadores superescalares
  - Processadores multicore
  - Programação paralela e distribuída

# Paralelismo

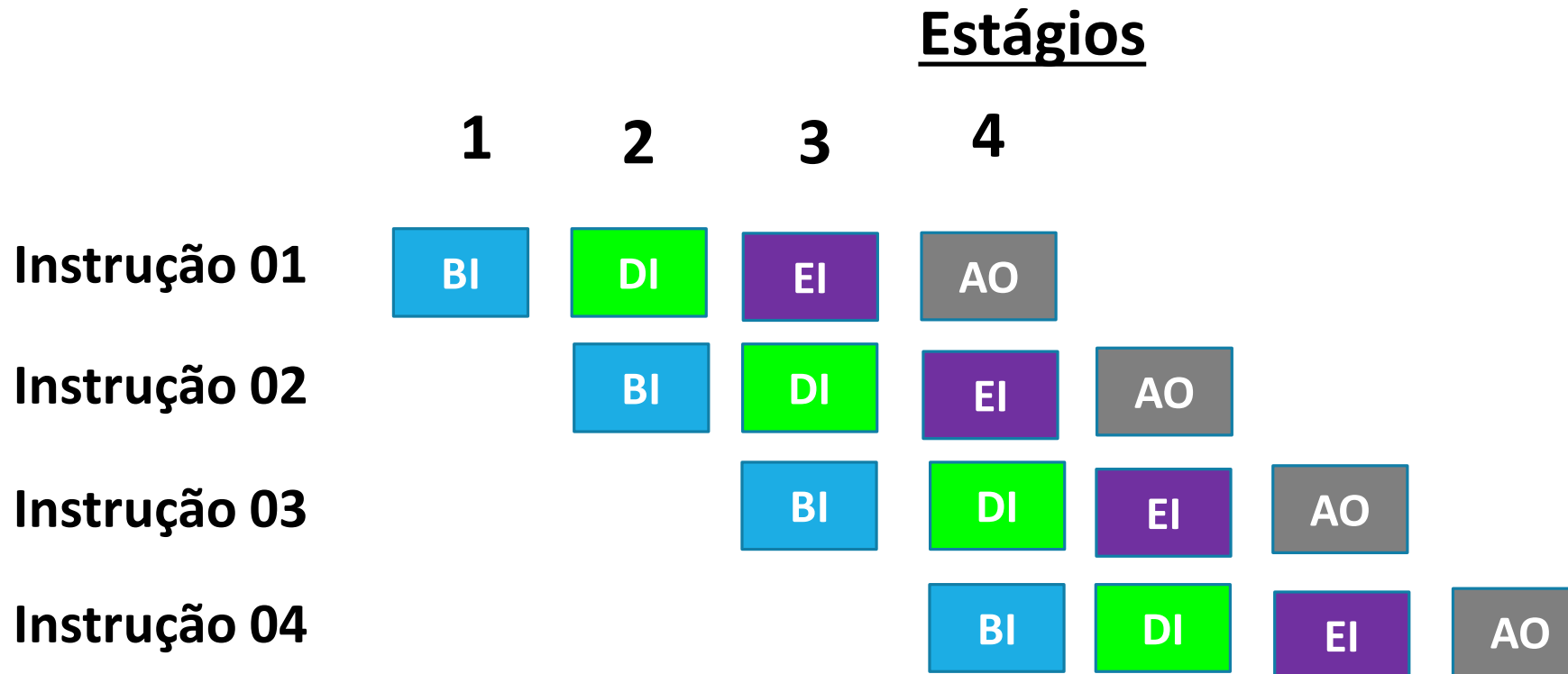
---

- Pipeline
  - Pseudoparalelismo
  - Múltiplas instruções executando paralelamente, em diferentes estágios, em um mesmo processador.

# Arquitetura de Microprocessadores

- **Pipeline**

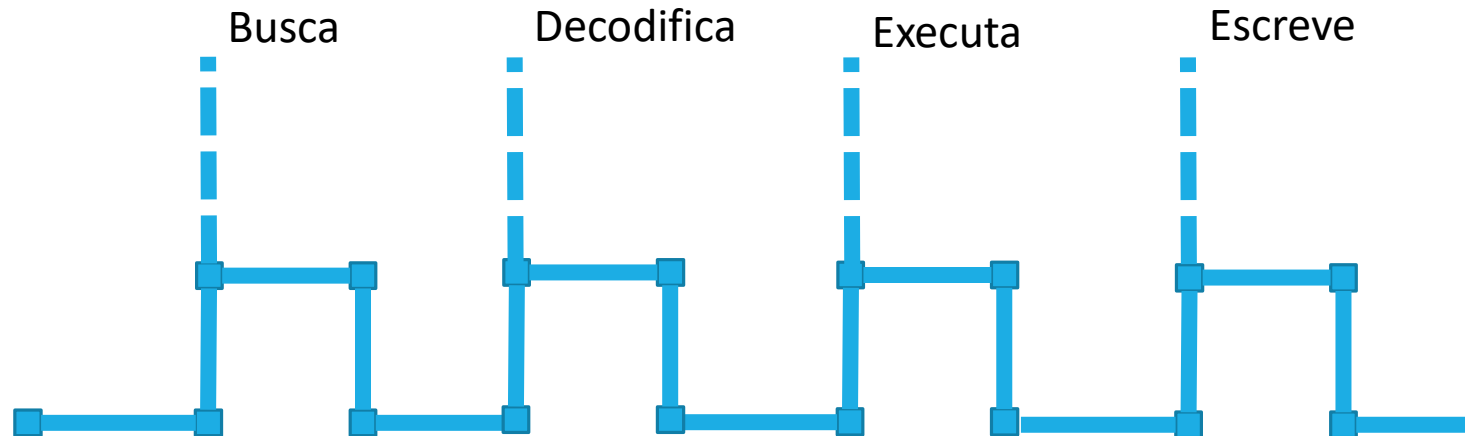
- Considere o ciclo de instrução de 4 estágios



# Paralelismo

- Processadores com pipeline

- Numa arquitetura pipeline padrão, cada estágio de uma instrução é realizado por ciclo de clock.



# Paralelismo

---

- **Superpipeline**

- Pseudoparalelismo

- O modelo de arquitetura superpipeline explora o fato que alguns estágios executam em menos de meio ciclo de clock.
  - Neste caso é possível, num mesmo ciclo de clock, executar dois estágios sequenciais.

# Paralelismo

---

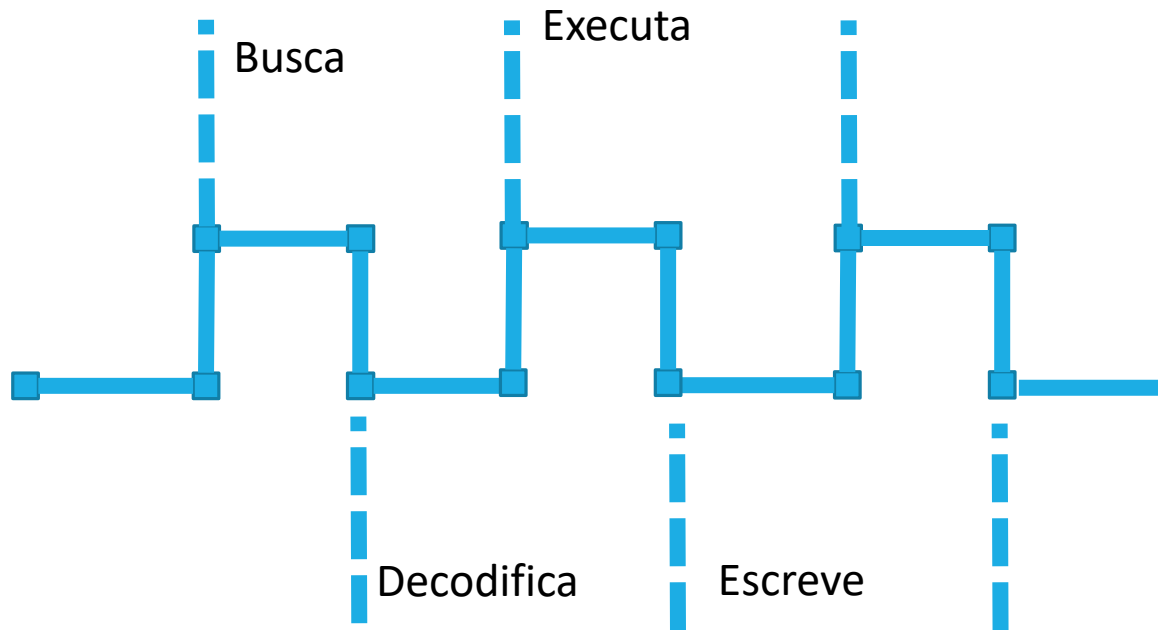
- Superpipeline
  - Ciclo de clock.
  - Ciclo de instrução.



# Paralelismo

- **Processadores superescalar**

- Numa arquitetura superescalar, é possível realizar mais de um estágio no mesmo ciclo de clock.



# Paralelismo

---

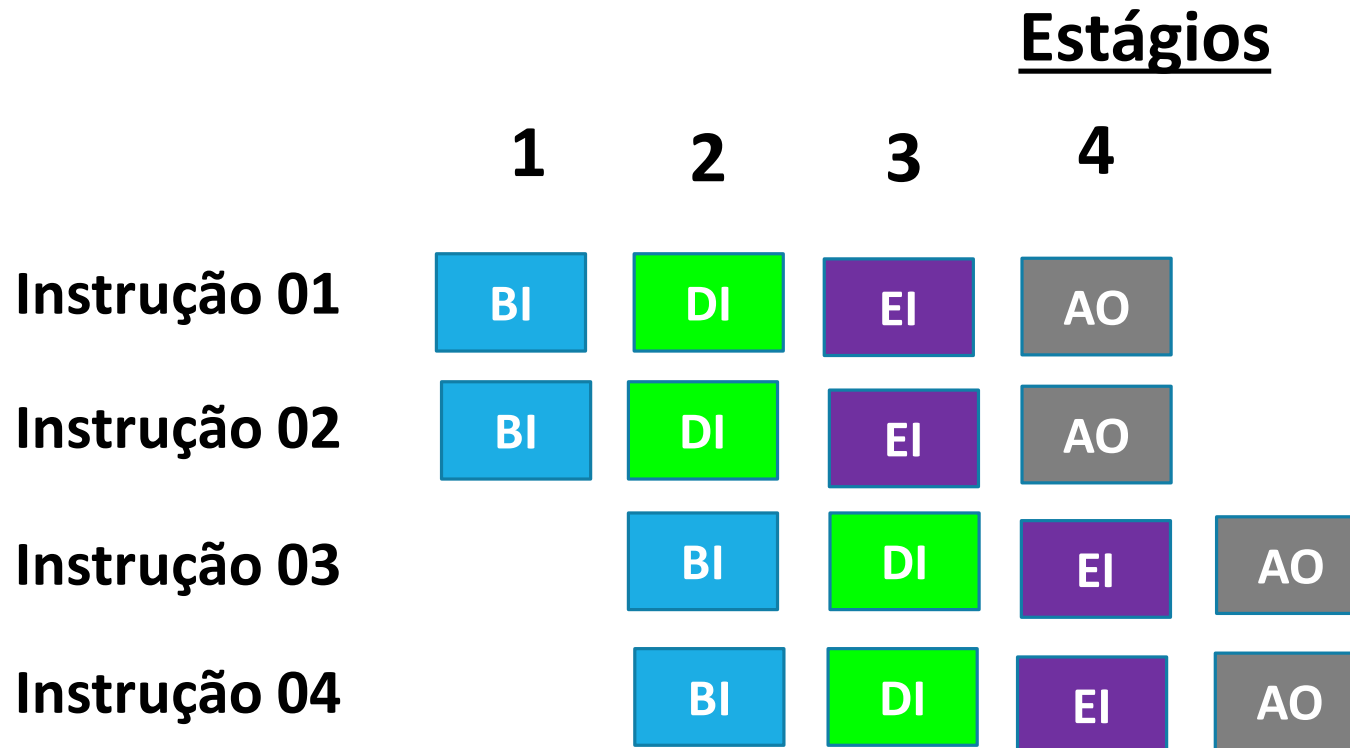
## Arquiteturas superescalares

- Processadores com arquiteturas superescalares são processadores que executam instruções lógicas e aritméticas de modo independente e concorrentemente, em diferentes pipelines.

# Arquitetura de Microprocessadores

- **Superescalar**

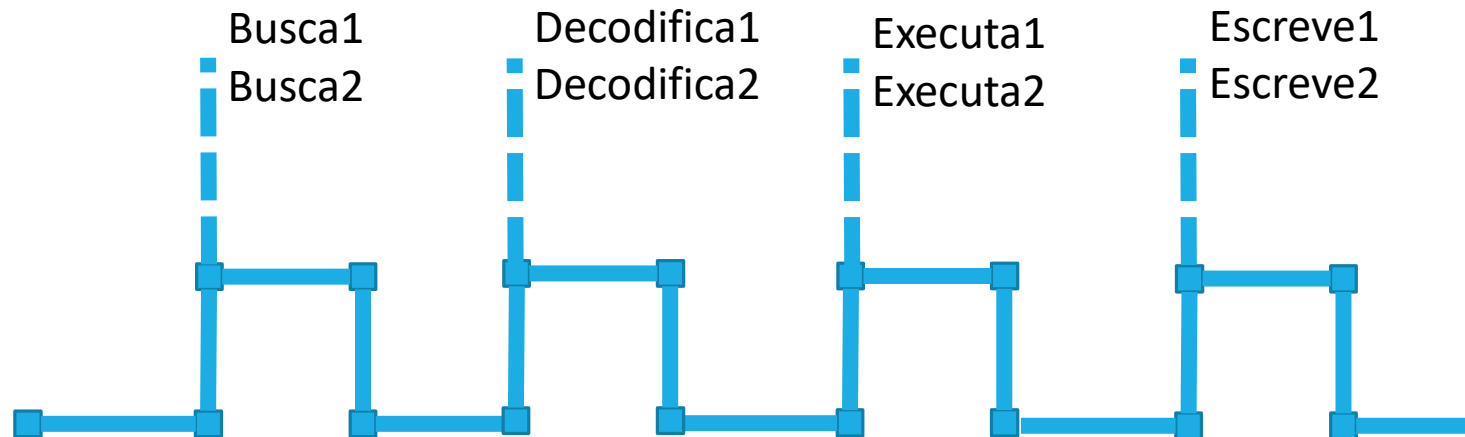
- Considere o ciclo de instrução de 4 estágios



# Paralelismo

- Processadores com pipeline

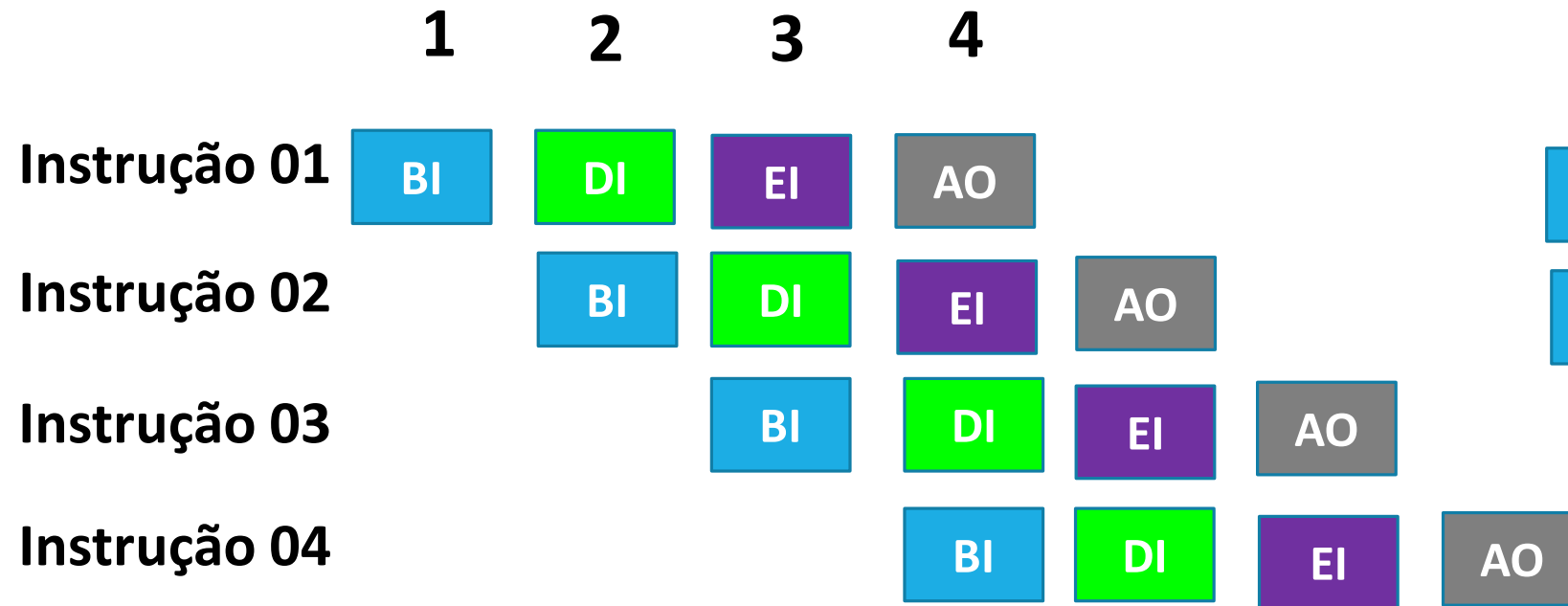
- Numa arquitetura pipeline padrão, cada estágio de uma instrução é realizado por ciclo de clock.



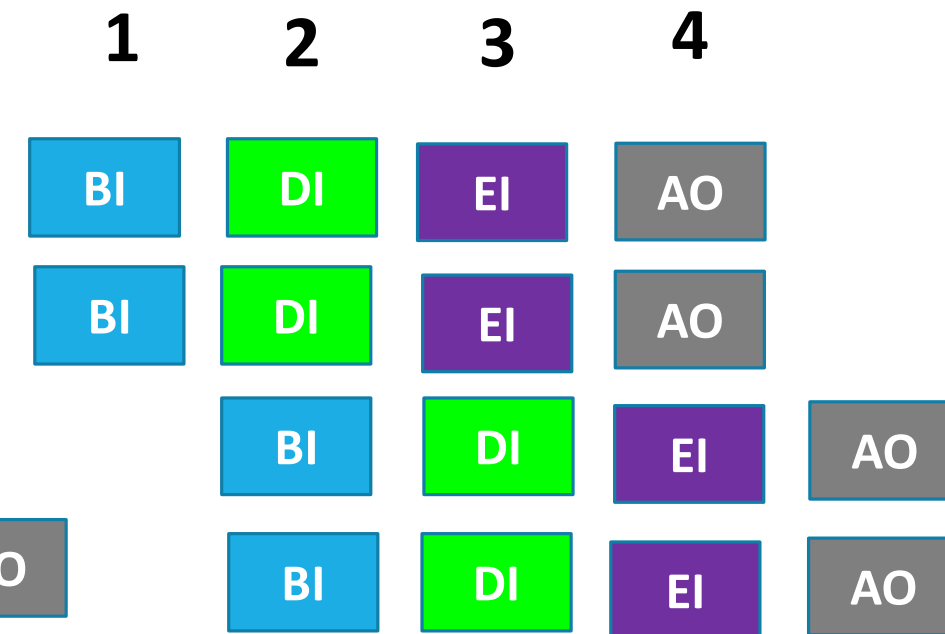
# Arquitetura de Microprocessadores

- Pipeline vs Superescalar

## Pipeline



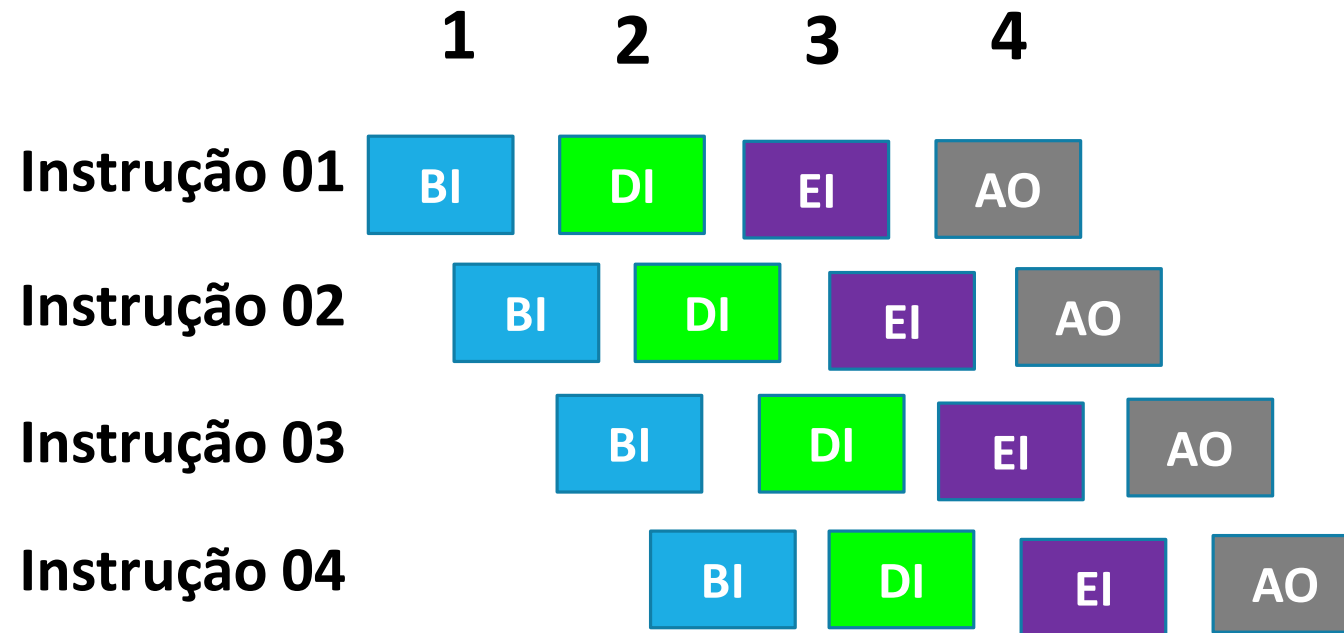
## Superescalar



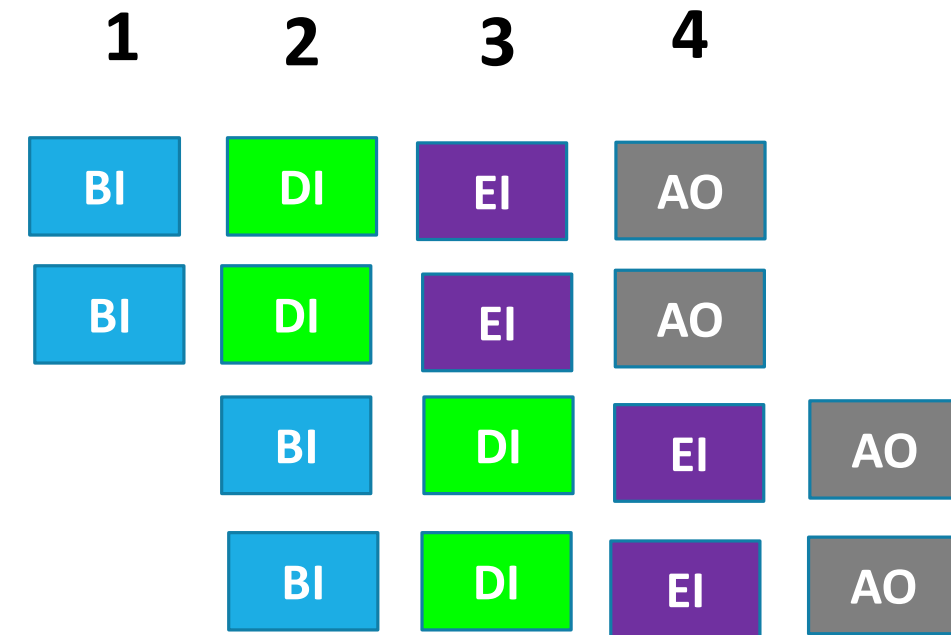
# Arquitetura de Microprocessadores

- Pipeline vs Superescalar

## SuperPipeline



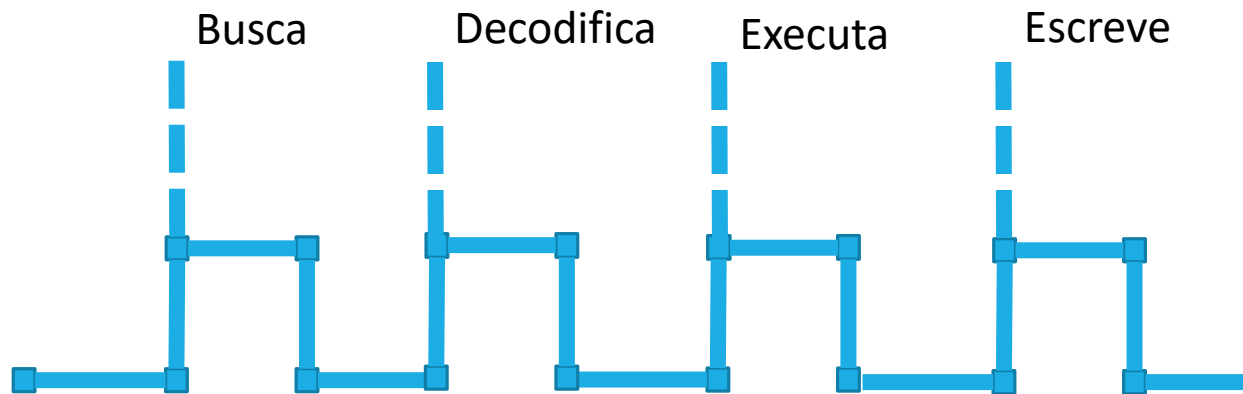
## Superescalar



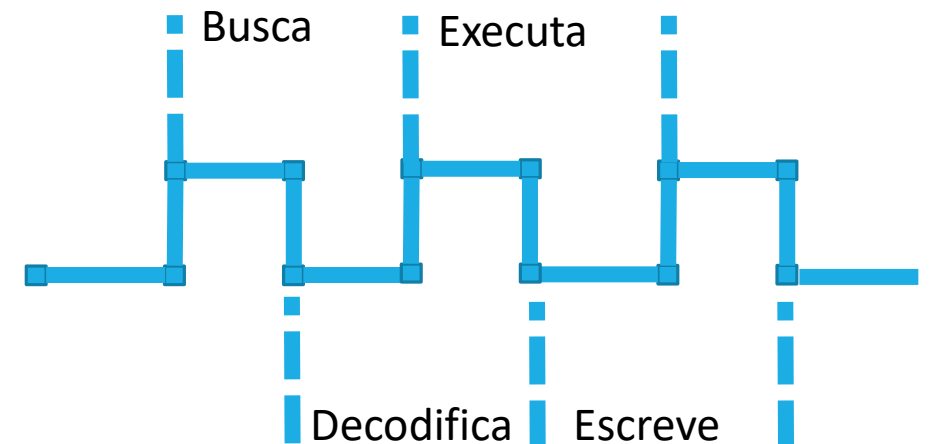
# Paralelismo

- Superescalar vs Pipeline

## Pipeline



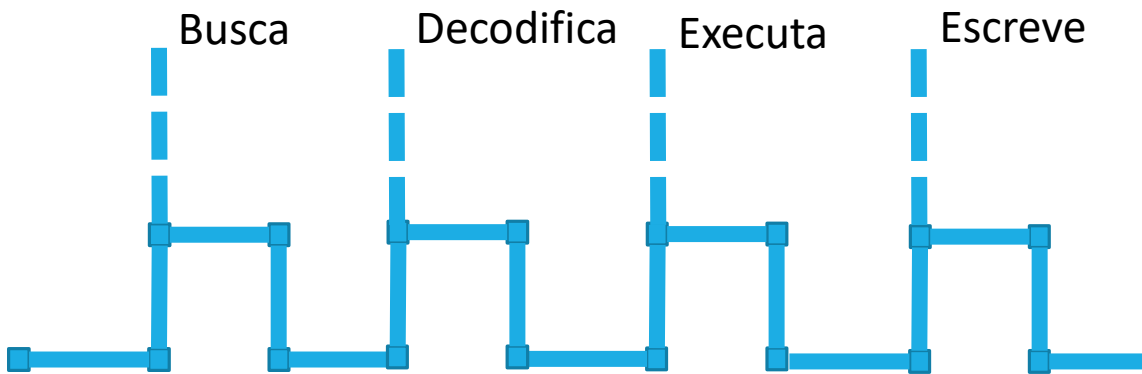
## Superpipeline



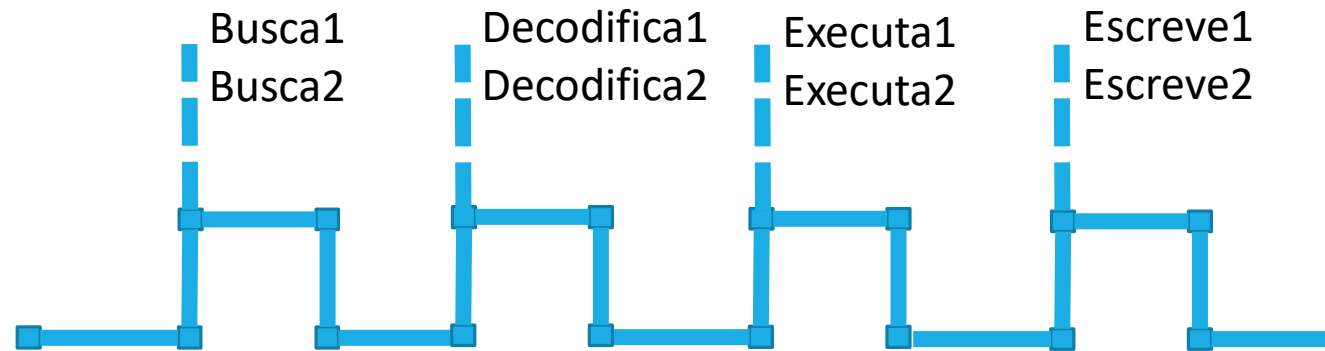
# Paralelismo

- Superescalar vs Pipeline

## Pipeline



## Superescalar





# Paralelismo

---

## Limitações

- Nas arquiteturas superescalares, podem ocorrer os mesmos problemas que encontramos nas arquiteturas de pipeline.
- Dependência verdadeira de dados
- Dependência procedural
- Conflitos de recursos
- Dependência de saída
- Antidependência

# Paralelismo

---

## Dependência verdadeira de dados

- Dependência verdadeira de dados ou dependência de fluxo ocorre quando duas ou mais instruções dependem do mesmo dado.
- Considere a sequencia de instruções:
  1. ADD R1, R3
  2. MOVE R2, R1
- A instrução 2 só pode ser executada, após a execução da instrução 1.

# Paralelismo

---

## Dependência procedural

- Há dois fluxos possíveis de serem executados em instruções de desvio, porém nenhum dos fluxos pode ser executado em paralelo, antes da execução do desvio.
- Considere a sequencia de instruções:
  1. BEQ R1, R3 L1
    1. - Bloco de instruções 01 -
  2. L1:
    1. - Bloco de instruções 02 -

# Paralelismo

---

## Conflito de recursos

- Conflito de recursos ocorre quando duas ou mais instruções precisam do mesmo recurso ao mesmo tempo:
  - Acesso a memória
  - Acesso ao mesmo endereço de memória
  - Acesso a ULA

# Paralelismo

---

## Paralelismo de instruções e paralelismo de máquina

- **Paralelismo de instruções**
  - Capacidade de um conjunto de instruções de serem executadas em paralelo.
- **Paralelismo de máquina**
  - Capacidade de uma máquina executar instruções em paralelo.

# Paralelismo

---

## Paralelismo de instruções

- Considere o conjunto de instruções
  - $\text{LOAD } R1 \leftarrow R2$
  - $\text{ADD } R3 \leftarrow R3, 1$
  - $\text{ADD } R4 \leftarrow R4, R2$
- As instruções são independentes entre si, portanto poderiam ser executadas em paralelo.

# Paralelismo

---

## Paralelismo de instruções

- Considere o conjunto de instruções
  - $\text{ADD } R3 \leftarrow R3, 1$
  - $\text{ADD } R4 \leftarrow R3, R2$
  - $\text{STORE } R4 \leftarrow R0$
- As instruções são dependentes entre si, portanto não poderiam ser executadas em paralelo.

# Paralelismo

---

- Tanto o paralelismo de instruções quanto o paralelismo de máquina são fatores importantes no desempenho de um processador.
- O desempenho depende, portanto:
  - Programa
  - Máquina



# PRÁTICA

---

1. Diferencie o paralelismo de máquina e paralelismo de instrução.
2. Por que um programa, cujas instruções são executadas em paralelo, não necessariamente obtém um desempenho muito superior ao de um programa executado de modo sequencial.
3. Defina pipeline.
4. Defina arquitetura superescalar.