

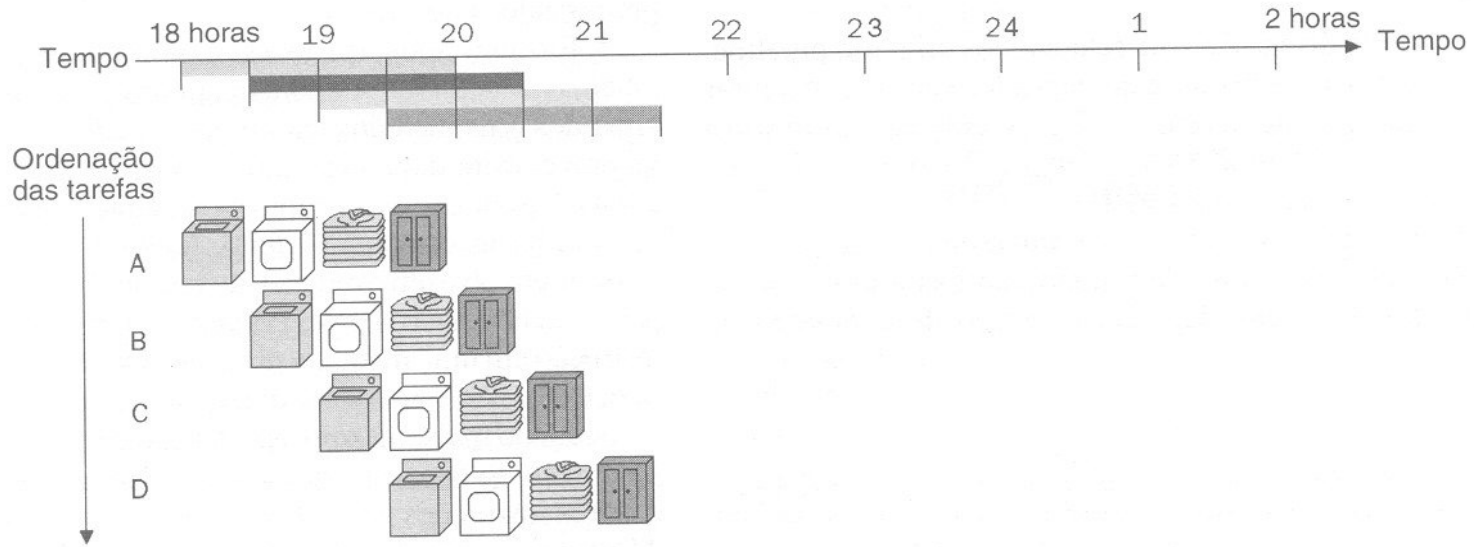
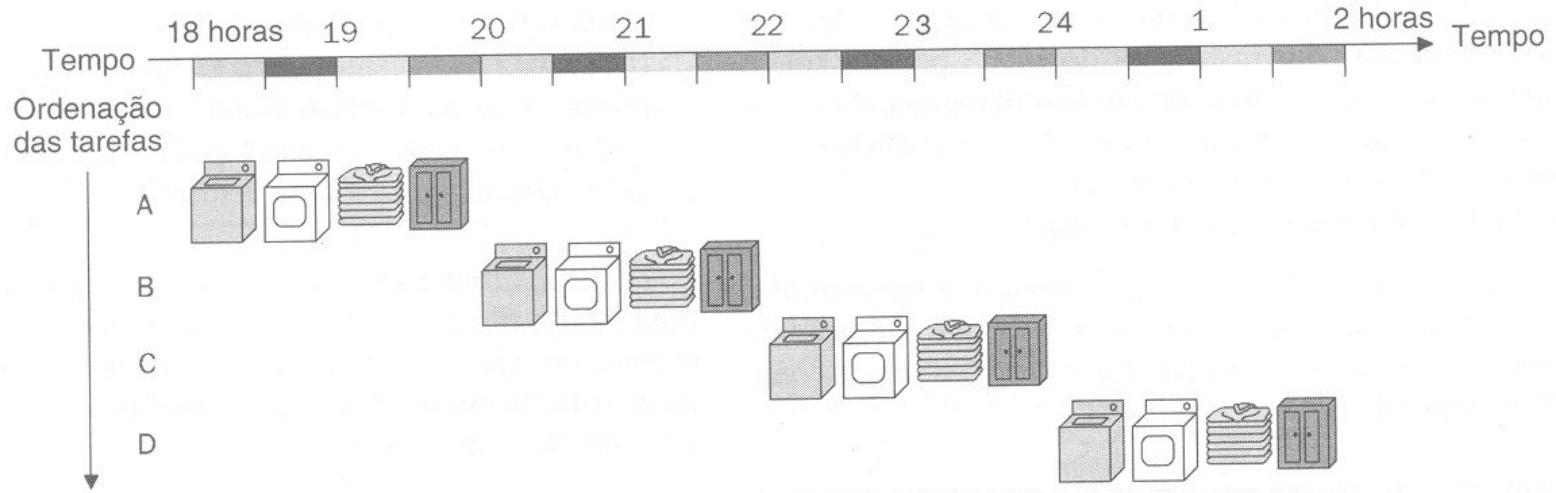
Pipelining

Professor: Carlos Bazilio

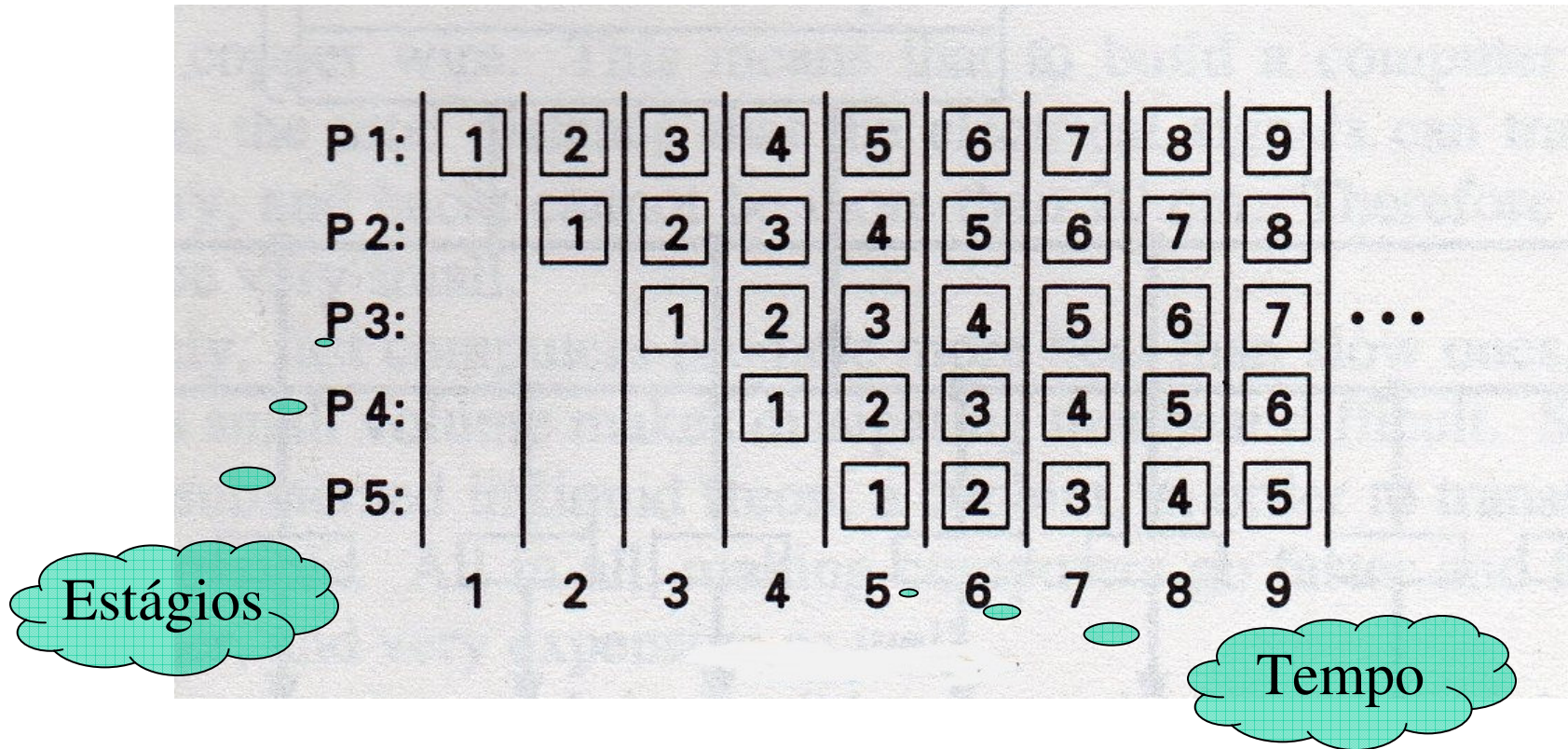
Contextualizando

- Após apresentação da arquitetura interna de processadores
 - Memória de Controle
 - Microprograma
 - Linguagem de Máquina ...

Motivação



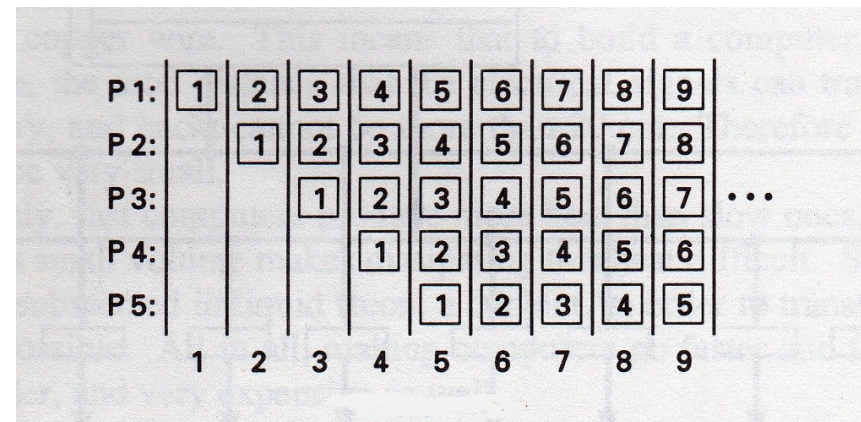
Idéia Geral



- Divisão do processamento em estágios
- Aumento de desempenho dos processadores

Características de uma máquina pipeline

- Execução idêntica à versão sequencial.
- Concorrência temporal.
- SISD (*Single Instruction, Single Data*).
- Melhora a vazão no processamento
- Cadência entre os estágios (utilização de latches).



Classificação de pipelines

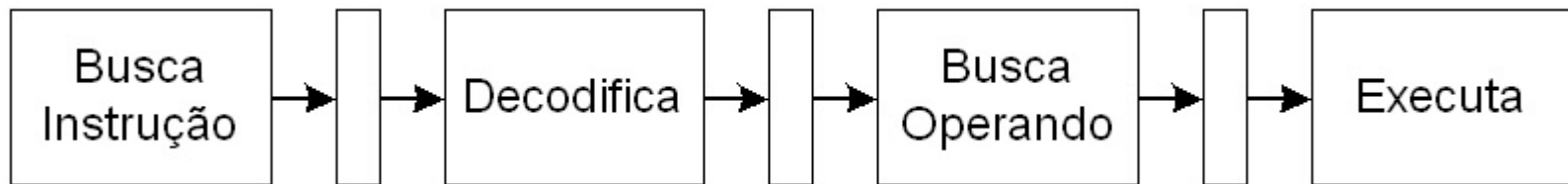
- Tipo de processamento
 - de instruções e aritmético
- Controle do fluxo de dados
 - síncronos e assíncronos
- Funcionalidade
 - unifuncional e multifuncional
- Estrutura
 - linear e não-linear
- Controle da estrutura
 - estático e dinâmico

Classificação de pipelines

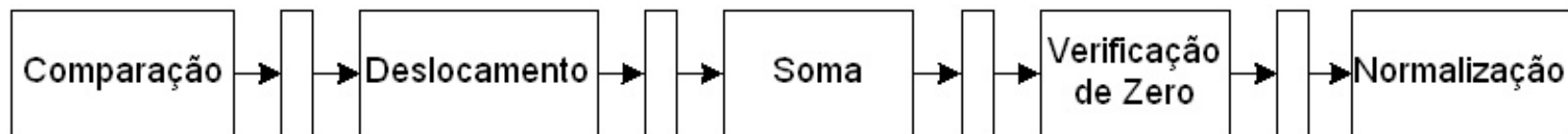
- Tipo de processamento
 - de instruções e aritmético
- Controle do fluxo de dados
 - síncronos e assíncronos
- Funcionalidade
 - unifuncional e multifuncional
- Estrutura
 - linear e não-linear
- Controle da estrutura
 - estático e dinâmico

Classificação de pipelines

- Pipeline de Instruções



- Pipeline Aritmético

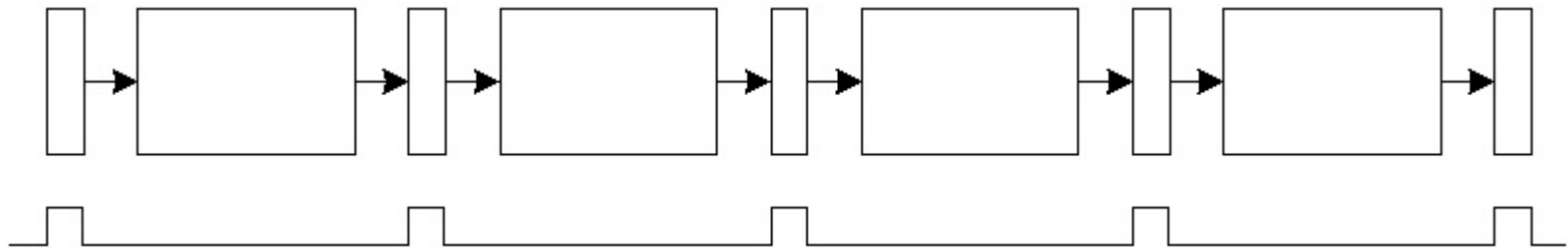


Classificação de pipelines

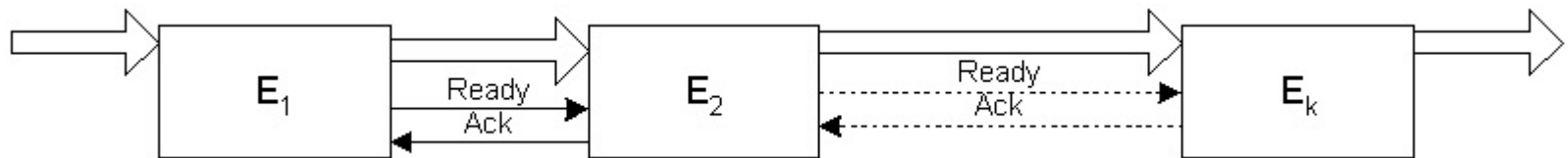
- Tipo de processamento
 - de instruções, aritmético
- Controle do fluxo de dados
 - síncrono e assíncrono
- Funcionalidade
 - unifuncional e multifuncional
- Estrutura
 - linear e não-linear
- Controle da estrutura
 - estático e dinâmico

Classificação de pipelines

- Síncrono



- Assíncrono

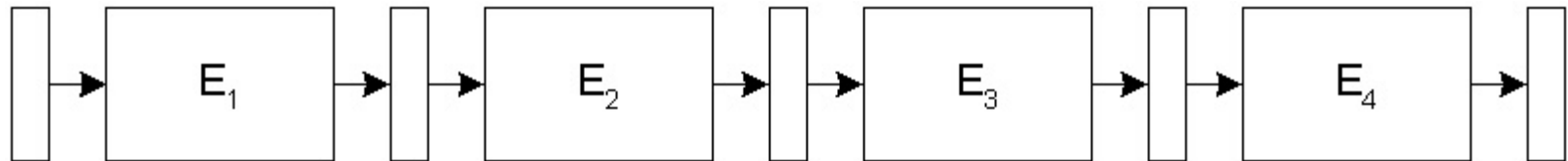


Classificação de pipelines

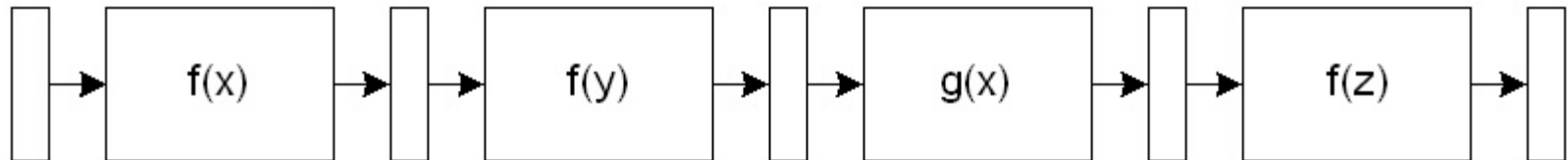
- Tipo de processamento
 - de instruções, aritmético
- Controle do fluxo de dados
 - síncronos e assíncronos
- **Funcionalidade**
 - unifuncional e multifuncional
- Estrutura
 - linear e não-linear
- Controle da estrutura
 - estático e dinâmico

Classificação de pipelines

- Unifuncional



- Multifuncional

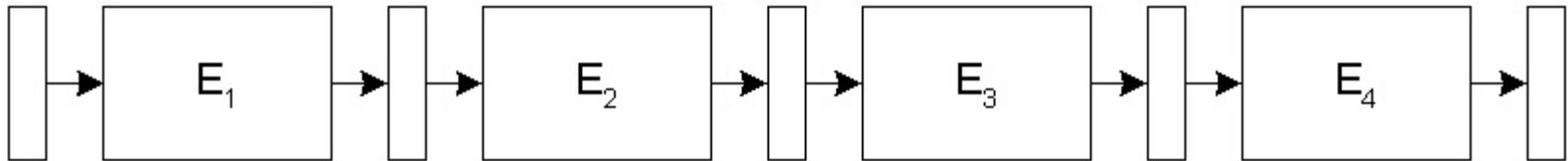


Classificação de pipelines

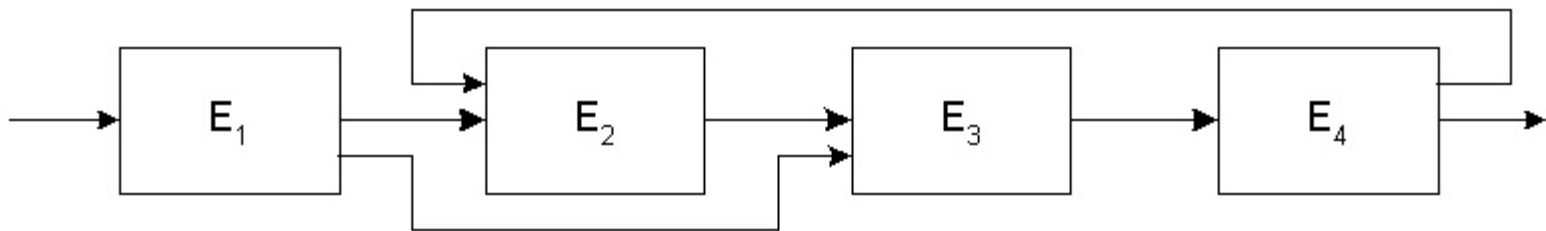
- Tipo de processamento
 - de instruções, aritmético
- Controle do fluxo de dados
 - síncronos e assíncronos
- Funcionalidade
 - unifuncional e multifuncional
- **Estrutura**
 - linear e não-linear
- Controle da estrutura
 - estático e dinâmico

Classificação de pipelines

- Linear



- Não-Linear

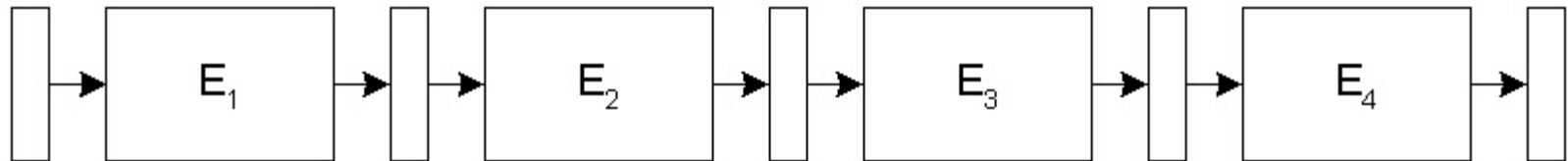


Classificação de pipelines

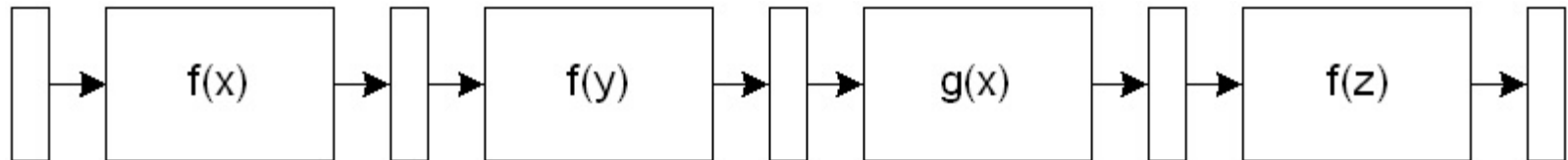
- Tipo de processamento
 - de instruções, aritmético
- Controle do fluxo de dados
 - síncronos e assíncronos
- Funcionalidade
 - unifuncional e multifuncional
- Estrutura
 - linear e não-linear
- Controle da estrutura
 - estático e dinâmico

Classificação de pipelines

- Estático

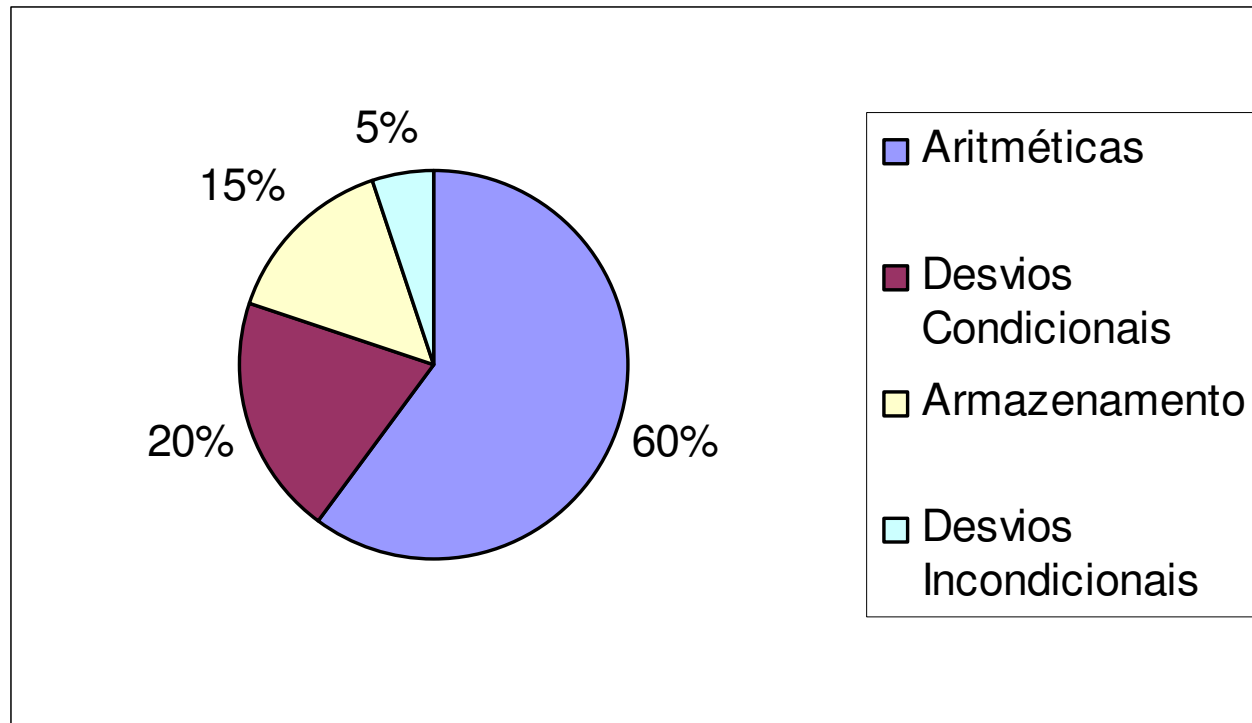


- Dinâmico

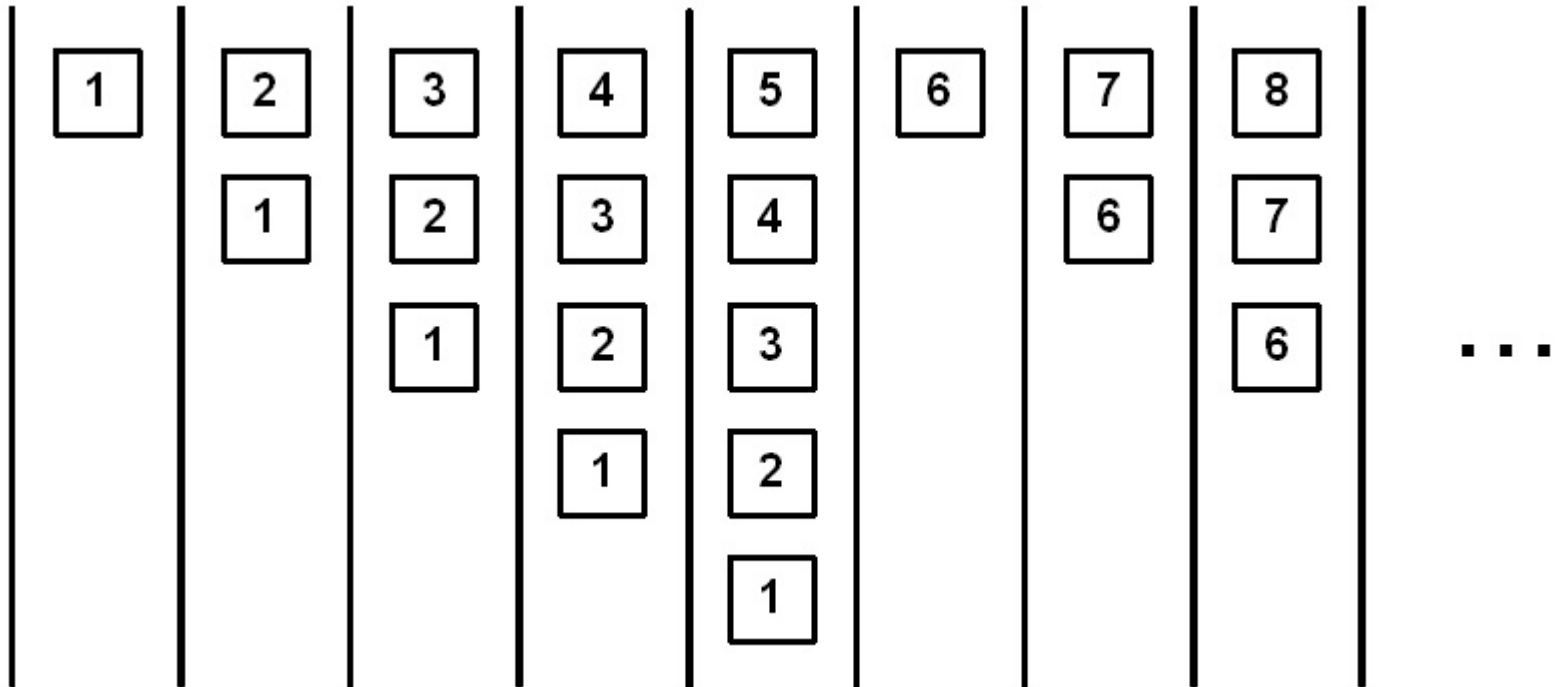


Problemas de Conflito

- Dependências entre instruções
 - Ex.: desvios condicionais



Problemas de Conflito



Tipos de Conflito

- Dependência de Dados
- Dependência de Controle
- Conflitos de Recurso

Tipos de Conflito

- Dependência de Dados
- Dependência de Controle
- Conflitos de Recurso

Tipos de Conflito

Dependência de Dados

- Verdadeira
 - Leitura após Escrita
 - $A = B + C; D = A + E;$
 - Não pode ser quebrada
- Falsa
 - Antidependência (Escrita após Leitura)
 - $A = B + C; B = D + E;$
 - Saída (Escrita após Escrita)
 - $A = B + C; A = D + E$
 - Normalmente tratadas com renomeação de registradores

Tipos de Conflito

- Dependência de Dados
- Dependência de Controle
- Conflitos de Recurso

Tipos de Conflito

Dependência de Controle

- Congelamento do pipeline
- Previsão de Desvios
 - Estática
 - Dinâmica
- Múltiplos Fluxos

Tipos de Conflito

Dependência de Controle

- Congelamento do pipeline
- Previsão de Desvios
 - Estática
 - Dinâmica
- Múltiplos Fluxos

Congelamento do Pipeline

- Na ocorrência de um desvio condicional, o pipeline é interrompido até que se descubra se o desvio ocorrerá ou não.
- Nessa abordagem há um desperdício grande de ciclos ociosos (NOP).
- Método simples e seguro.

Tipos de Conflito

Dependência de Controle

- Congelamento do pipeline
- Previsão de Desvios
 - Estática
 - Dinâmica
- Múltiplos Fluxos

Previsão de Desvios

Estática

- Previsão feita antes da execução.
- Simples e menos custosa se comparada com previsão em tempo de execução.
- Taxa de 70% para previsão de desvios sempre tomados.
- Taxas mais altas necessitam do auxílio do compilador e de informações do perfil do programa.

Tipos de Conflito

Dependência de Controle

- Congelamento do pipeline
- Previsão de Desvios
 - Estática
 - Dinâmica
- Múltiplos Fluxos

Previsão de Desvios Dinâmica

- Previsão feita durante a execução.
- Técnicas armazenam histórico dos desvios.
- BTB (*Branch Target Buffer*)

PC	Estatísticas	End. Alvo
· ·	· ·	· ·

Tipos de Conflito

Dependência de Controle

- Congelamento do pipeline
- Previsão de Desvios
 - Estática
 - Dinâmica
- **Múltiplos Fluxos**

Múltiplos Fluxos

- Execução dos 2 caminhos da instrução condicional independente do valor a ser obtido.
- Descarte de uma das execuções após saber o valor do desvio.
- Não há perda de ciclos.
- Entretanto, há aumento no hardware.

Tipos de Conflito

- Dependência de Dados
- Dependência de Controle
- **Conflitos de Recurso**

Conflitos de Recurso

- Disputa de 2 ou mais instruções pelo mesmo recurso.
 - Ex.: Acesso à uma unidade funcional
- Adição de novos recursos encarece o hardware.
- Divisão do recurso em estágios de um pipeline (válido quando há instruções independentes).

Análise de Eficiência do Pipeline

- Supondo um pipeline de 5 estágios, um desvio implica no esvaziamento de 4 ciclos ($b = 4$).
- Suponha $P_b = 0.25$ (probabilidade de uma instrução ser um desvio).
- Suponha $P_t = 0.5$ (probabilidade do desvio ser tomado).
- Quando não há desvios, no. de ciclos / instrução = 1 (CPI_{ideal})
 - Número de ciclos médio para execução de uma instrução (CPI_{med})?
 - Eficiência da execução?

Análise de Eficiência do Pipeline

$$\text{CPI}_{\text{med}} = (1 - P_b)(\text{CPI}_{\text{ideal}}) + P_b[P_t(1+b) + (1 - P_t)(\text{CPI}_{\text{ideal}})]$$

$$\text{CPI}_{\text{med}} = 1,5 \text{ ciclos}$$

$$\text{Eficiência} = \text{CPI}_{\text{ideal}} / \text{CPI}_{\text{med}} = 1 / 1,5 = 67\%$$

Referências Bibliográficas

- Arquiteturas Paralelas; De Rose, Navaux; Série Livros Didáticos; No. 15; Ed. Sagra Luzzatto.
- Introdução à Arquitetura de Computadores; Murdocca, Heuring; Ed. Campus.
- Advanced Computer Architecture; Kai Hwang, McGraw-Hill Series in Computer Science.