

## Ficha 5 – Paralelismo a nível de instruções

### Exercícios propostos

1. Considere os seguintes fragmentos de código RISC-V:

- i. 

```
addi x3, x3, 4
lw    x2, 0(x3)
```
- ii. 

```
fadd.s f3, f1, f2
fsw     f2, 8(x10)
```
- iii. 

```
sw     x2, 8(x1)
fsw    f2, 12(x22)
```
- iv. 

```
feq.s f1, f2, exit
fsw    f1, 12(x2)
```

- a) Para cada fragmento identifique os tipos de dependências que existem, qual é a sua causa e como podem ser resolvidas.
- b) Para cada fragmento indique se a técnica de sequenciamento dinâmico pode ser ou não suficiente para permitir a execução fora de ordem.

2. Considere o seguinte fragmento de código *assembly* RISC-V.

```
lw    x1, 40(x2)
add   x7, x1, x5
sub   x8, x1, x6
or    x9, x5, x1
bne   x7, x0, target
add   x10, x8, x5
xor   x2, x3, x4
```

- a) Identifique todas as dependências. Indique as instruções envolvidas, a instrução dependente e o tipo de dependência.
- b) Suponha que o código é executado pela *pipeline* de RISC-V com 5 andares. Que dependências causam conflitos? Justifique.

3. Um coprocessador de vírgula flutuante usa o algoritmo de Tomasulo para sequenciar as operações. A tabela seguinte indica as características de cada unidade funcional (nenhuma usa *pipeline*).

Unidade	Tarefa	Nº de ciclos	Nº de posições da estação de reserva
Add	Adição, subtração	2	2
Mul	Multiplicação	3	1
Div	Divisão	5	1

A unidade de emissão de instruções emite uma instrução por ciclo de relógio, se possível. Quando não é possível emitir uma instrução, a unidade de emissão protela.

Uma instrução emitida inicia a execução no ciclo seguinte (sem ocupar uma estação de reserva), se a unidade respectiva estiver livre e se os operandos estiverem disponíveis.

Assuma ainda que existe apenas um CDB (*common data bus*).

Considere também o seguinte fragmento de "código" com dados em vírgula flutuante:

- |                               |                                  |
|-------------------------------|----------------------------------|
| 1. $F1 \leftarrow F2 \div F3$ | 5. $F8 \leftarrow F1 - F12$      |
| 2. $F4 \leftarrow F5 \div F6$ | 6. $F9 \leftarrow F5 \times F11$ |
| 3. $F5 \leftarrow F1 + F1$    | 7. $F6 \leftarrow F4 - F0$       |
| 4. $F7 \leftarrow F3 + F2$    | 8. $F4 \leftarrow F6 + F7$       |

- Identifique todas as dependências de dados existentes no fragmento.
- Descreva a evolução temporal da execução do fragmento.
- Determine o CPI efetivo para este fragmento.

4. Considere o seguinte fragmento de programa, a ser executado numa *pipeline* RISC-V com múltiplas unidades funcionais (com atalhos, sem sequenciamento dinâmico). Instruções que estejam em conflito com outras já em execução são proteladas no estado ID. Registos X têm dados inteiros, enquanto registos F têm dados em vírgula flutuante.

- |                                       |                                       |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. $X4 \leftarrow X4 + 8$             | 5. $F6 \leftarrow \text{MEM}[X4+400]$ |
| 2. $\text{MEM}[X4+300] \leftarrow F9$ | 6. $F7 \leftarrow F6 + F10$           |
| 3. $F9 \leftarrow F1 \times F2$       | 7. $X5 \leftarrow X4 - 8$             |
| 4. $F10 \leftarrow F9 \div F2$        | 8. $\text{MEM}[X4+200] \leftarrow F7$ |

As características das unidades funcionais são as seguintes:

Unidade	Tarefa	Nº andares	Intervalo
ALU1	Adição, subtração INT e endereços efetivos	1	1
ALU2	Multiplicação e divisão INT	3	1
AddVF	Adição e subtração VF	4	1
MulVF	Multiplicação VF	6	1
DivVF	Divisão VF	10	11

- Identifique todas as dependências de dados existentes no fragmento.
- Assumindo que o processador contém uma unidade funcional de cada tipo, indique a evolução temporal da execução do código ao longo da sucessão de ciclos de relógio. Identifique explicitamente cada utilização de atalhos (andares de origem e destino, bem como ciclo de relógio em que é usado).

Fim do enunciado

Nota: Alguns dos exercícios foram extraídos ou adaptados do livro "Computer Organization and Design – The Hardware/Software Interface", Hennessy & Patterson, 4ª edição.