

TOMASULO



Edson Pimenta de Almeida
Luís Augusto Starling Toledo
Túlio Gomes Braga

ALGORITMO DE TOMASULO

- ⊕ O Algoritmo de Tomasulo implementa o escalonamento dinâmico de instruções, permitindo que o processador execute instruções fora da ordem original do programa (Out-of-Order Execution) para evitar que a CPU fique ociosa enquanto espera por dados.



QUAL A SUA FINALIDADE?

- **Maximizar o Paralelismo:** Aumentar o número de instruções executadas por ciclo
- **Minimizar Paradas (Stalls):** Evitar que o processador pare completamente só porque uma instrução lenta está bloqueando o caminho.
- **Resolver Dependências:** Eliminar dependências falsas de dados (WAR e WAW) através do renomeamento de registradores em hardware.

COMPONENTES PRINCIPAIS

- **Estações de Reserva (Reservation Stations):** Buffers na entrada das unidades funcionais (ALUs) que permitem que o processador busque novas instruções mesmo que as anteriores não tenham terminado.
- **Common Data Bus (CDB):** Um barramento de dados que conecta a saída das unidades funcionais diretamente às estações de reserva e aos registradores. Permite o "broadcast" (transmissão) do resultado assim que ele fica pronto.
- **Fila de Instruções :** De onde as instruções são despachadas.

COMO FUNCIONA O RENOMEAMENTO DE REGISTRADORES?

- **O Problema:** Em arquiteturas antigas, usar o mesmo nome de registrador (ex: R1) para cálculos diferentes causava conflitos.
- **A Solução:** O algoritmo substitui o nome do registrador arquitetural pelo nome da Estação de Reserva que produzirá o valor.
- **O Resultado:** Isso elimina conflitos de escrita (WAR – Write After Read e WAW – Write After Write), permitindo que o loop continue executando sem esperar a iteração anterior terminar fisicamente.

OS 3 ESTÁGIOS DO ALGORITMO

- **Despacho (Issue):** Se houver uma estação de reserva livre, a instrução é enviada e os registradores são renomeados para evitar conflitos.
- **Execução (Execute):** A instrução monitora o barramento (CDB) aguardando seus operandos. Assim que os dados chegam, ela executa (permitindo o fluxo fora de ordem).
- **Escrita (Write Result):** O resultado calculado é transmitido no barramento (CDB) para todas as estações e registradores que estavam esperando, liberando a unidade funcional.

VALIDAÇÃO ESPECULAÇÃO E FLUSH

PROGRAMA (INSTRUÇÕES)

| OP | Destino / Alvo | Fonte 1 | Fonte 2 |
|------|----------------|---------|---------|
| BNE | 3 | F1 | F2 |
| MULT | F4 | F4 | F4 |
| MULT | F5 | F4 | F5 |
| ADD | F0 | F4 | F0 |



The diagram illustrates data flow from register F4. A red circle highlights F4 in the second row of the table. Two red arrows originate from this circle: one points to F5 in the third row, and the other points to F0 in the fourth row, indicating that the value in F4 is being used as a source for these subsequent operations.

LATÊNCIA (CLOCKS)

LOAD/STORE:

2

ADD/SUB:

10

MULT/DIV:

4

2º CICLO

RESERVATION STATIONS

| RS | Busy | Op | Vj | Vk | Qj | Qk | Rem |
|-------|------|------|------|------|----|----|-----|
| Load1 | NO | | | | | | 0 |
| Load2 | NO | | | | | | 0 |
| Add1 | YES | BNE | 10.0 | 20.0 | | | 8 |
| Add2 | NO | | | | | | 0 |
| Add3 | NO | | | | | | 0 |
| Mult1 | YES | MULT | 15.0 | 15.0 | | | 3 |
| Mult2 | NO | | | | | | 0 |

REORDER BUFFER (ROB)

| ID | Busy | Tipo | Dest/Alvo | Valor/Tomado | Ready |
|----|------|------|-----------|--------------|-------|
| 1 | YES | BNE | 3 | | NO |
| 2 | YES | MULT | F4 | | NO |
| 3 | NO | | | | NO |
| 4 | NO | | | | NO |
| 5 | NO | | | | NO |
| 6 | NO | | | | NO |

4º CICLO

RESERVATION STATIONS

| RS | Busy | Op | Vj | Vk | Qj | Qk | Rem |
|-------|------|------|------|-------|------|----|-----|
| Load1 | NO | | | | | | 0 |
| Load2 | NO | | | | | | 0 |
| Add1 | YES | BNE | 10.0 | 20.0 | | | 6 |
| Add2 | YES | ADD | | 40.0 | ROB2 | | 0 |
| Add3 | NO | | | | | | 0 |
| Mult1 | YES | MULT | 15.0 | 15.0 | | | 1 |
| Mult2 | YES | MULT | | 135.0 | ROB2 | | 0 |

REORDER BUFFER (ROB)

| ID | Busy | Tipo | Dest/Alvo | Valor/Tomado | Ready |
|----|------|------|-----------|--------------|-------|
| 1 | YES | BNE | 3 | | NO |
| 2 | YES | MULT | F4 | | NO |
| 3 | YES | MULT | F3 | | NO |
| 4 | YES | ADD | F0 | | NO |
| 5 | NO | | | | NO |
| 6 | NO | | | | NO |

5º CICLO

RESERVATION STATIONS

| RS | Busy | Op | Vj | Vk | Qj | Qk | Rem |
|-------|------|------|-------|-------|----|----|-----|
| Load1 | NO | | | | | | 0 |
| Load2 | NO | | | | | | 0 |
| Add1 | YES | BNE | 10.0 | 20.0 | | | 5 |
| Add2 | YES | ADD | 225.0 | 40.0 | | | 0 |
| Add3 | NO | | | | | | 0 |
| Mult1 | NO | | | | | | 0 |
| Mult2 | YES | MULT | 225.0 | 135.0 | | | 0 |

REORDER BUFFER (ROB)

| ID | Busy | Tipo | Dest/Alvo | Valor/Tomado | Ready |
|----|------|------|-----------|--------------|-------|
| 1 | YES | BNE | 3 | | NO |
| 2 | YES | MULT | F4 | 225.0 | YES |
| 3 | YES | MULT | F5 | | NO |
| 4 | YES | ADD | F0 | | NO |
| 5 | NO | | | | NO |
| 6 | NO | | | | NO |

6º CICLO

RESERVATION STATIONS

| RS | Busy | Op | Vj | Vk | Qj | Qk | Rem |
|-------|------|------|-------|-------|----|----|-----|
| Load1 | NO | | | | | | 0 |
| Load2 | NO | | | | | | 0 |
| Add1 | YES | BNE | 10.0 | 20.0 | | | 4 |
| Add2 | YES | ADD | 225.0 | 40.0 | | | 9 |
| Add3 | NO | | | | | | 0 |
| Mult1 | NO | | | | | | 0 |
| Mult2 | YES | MULT | 225.0 | 135.0 | | | 3 |

REORDER BUFFER (ROB)

| ID | Busy | Tipo | Dest/Alvo | Valor/Tomado | Ready |
|----|------|------|-----------|--------------|-------|
| 1 | YES | BNE | 3 | | NO |
| 2 | YES | MULT | F4 | 225.0 | YES |
| 3 | YES | MULT | F5 | | NO |
| 4 | YES | ADD | F0 | | NO |
| 5 | NO | | | | NO |
| 6 | NO | | | | NO |

9º CICLO

RESERVATION STATIONS

| RS | Busy | Op | Vj | Vk | Qj | Qk | Rem |
|-------|------|-----|-------|------|----|----|-----|
| Load1 | NO | | | | | | 0 |
| Load2 | NO | | | | | | 0 |
| Add1 | YES | BNE | 10.0 | 20.0 | | | 1 |
| Add2 | YES | ADD | 225.0 | 40.0 | | | 6 |
| Add3 | NO | | | | | | 0 |
| Mult1 | NO | | | | | | 0 |
| Mult2 | NO | | | | | | 0 |

REORDER BUFFER (ROB)

| ID | Busy | Tipo | Dest/Alvo | Valor/Tomado | Ready |
|----|------|------|-----------|--------------|-------|
| 1 | YES | BNE | 3 | | NO |
| 2 | YES | MULT | F4 | 225.0 | YES |
| 3 | YES | MULT | F5 | 30375.0 | YES |
| 4 | YES | ADD | F0 | | NO |
| 5 | NO | | | | NO |
| 6 | NO | | | | NO |

10º CICLO

RESERVATION STATIONS

| RS | Busy | Op | Vj | Vk | Qj | Qk | Rem |
|-------|------|-----|-------|------|----|----|-----|
| Load1 | NO | | | | | | 0 |
| Load2 | NO | | | | | | 0 |
| Add1 | NO | | | | | | 0 |
| Add2 | YES | ADD | 225.0 | 40.0 | | | 5 |
| Add3 | NO | | | | | | 0 |
| Mult1 | NO | | | | | | 0 |
| Mult2 | NO | | | | | | 0 |

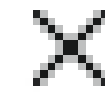
REORDER BUFFER (ROB)

| ID | Busy | Tipo | Dest/Alvo | Valor/Tomado | Ready |
|----|------|------|-----------|--------------|-------|
| 1 | YES | BNE | 3 | TOMADO | YES |
| 2 | YES | MULT | F4 | 225.0 | YES |
| 3 | YES | MULT | F5 | 30375.0 | YES |
| 4 | YES | ADD | F0 | | NO |
| 5 | NO | | | | NO |
| 6 | NO | | | | NO |

11º CICLO

NO

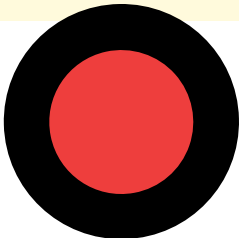
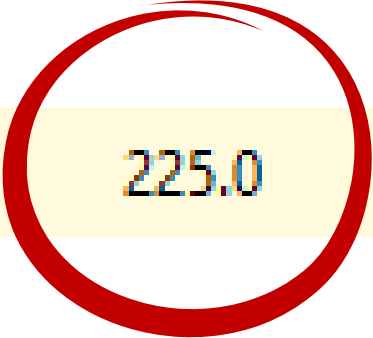
Especulação de Desvio



Misprediction Detectado! Executando Flush.
PC corrigido para linha: 3

OK

| RS | Busy | Op | Vj | Vk |
|-------|------|-----|-------|------|
| Load1 | NO | | | |
| Load2 | NO | | | |
| Add1 | NO | | | |
| Add2 | YES | ADD | 225.0 | 40.0 |
| Add3 | NO | | | |
| Mult1 | NO | | | |
| Mult2 | NO | | | |



RESERVATION STATIONS

| RS | Busy | Op | Vj | Vk |
|-------|------|-----|------|------|
| Load1 | NO | | | |
| Load2 | NO | | | |
| Add1 | YES | ADD | 15.0 | 40.0 |
| Add2 | NO | | | |
| Add3 | NO | | | |
| Mult1 | NO | | | |



REORDER BUFFER (ROB)

| ID | Busy | Tipo | Dest/Alvo | Valor/Tomado | Ready |
|----|------|------|-----------|--------------|-------|
| 1 | YES | ADD | F0 | | NO |
| 2 | NO | | | | NO |
| 3 | NO | | | | NO |
| 4 | NO | | | | NO |
| 5 | NO | | | | NO |
| 6 | NO | | | | NO |

COMMIT

REORDER BUFFER (ROB)

| ID | Busy | Tipo | Dest/Alvo | Valor/Tomado | Ready |
|----|------|------|-----------|--------------|-------|
| 1 | YES | ADD | F0 | 55.0 | YES |
| 2 | NO | | | | NO |
| 3 | NO | | | | NO |
| 4 | NO | | | | NO |
| 5 | NO | | | | NO |
| 6 | NO | | | | NO |

FP REGISTERS

| | | | |
|-----|------|-----|-------|
| F0: | 40.0 | F1: | 10.0 |
| F2: | 20.0 | F3: | 5.0 |
| F4: | 15.0 | F5: | 135.0 |

DEMONSTRAÇÃO