DCC007 – Organização de Computadores II

Aula 8 – Superescalar 2 Scoreboarding

Prof. Omar Paranaiba Vilela Neto



Introdução

 Processadores estudados até aqui estão limitados a CPI ≥ 1

- Processadores superescalares permitemCPI < 1
 - Executam múltiplas instruções em paralelo

- Tipos de processadores superescalares
 - In-order
 - Out-of-order

Introdução



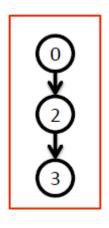
Reorder Buffer, and Store Buffer

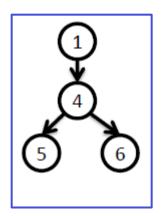
Name	Frontend	Issue	Writeback	Commit	
14	Ю	Ю	Ю	Ю	Fixed Length Pipelines Scoreboard
1202	Ю	Ю	000	000	Scoreboard
1201	Ю	Ю	000	10	Scoreboard, Reorder Buffer, and Store Buffer
103	Ю	000	000	000	Scoreboard and Issue Queue
1021	10	000	000	10	Scoreboard, Issue Queue,

IO – In-order OOO – Out-of-Order

Motivação

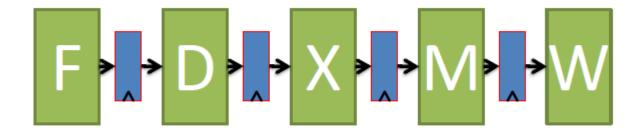
```
0 MUL R1, R2, R3
1 ADDIU R11,R10,1
2 MUL R5 R1, R4
3 MUL R7, R5 R6
4 ADDIU R12,R11,1
5 ADDIU R13,R12,1
6 ADDIU R14,R12,2
```



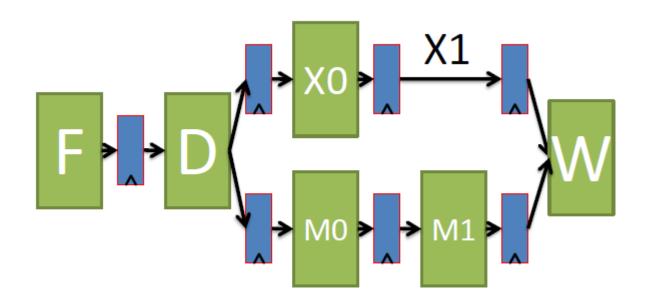


- Duas sequências independentes
 - Permite flexibilizar a ordem em que instruções são planejadas
- Estaticamente em Software
- Dinamicamente em Hardware

- In-order
 - Usado para motivar Out-of-Order

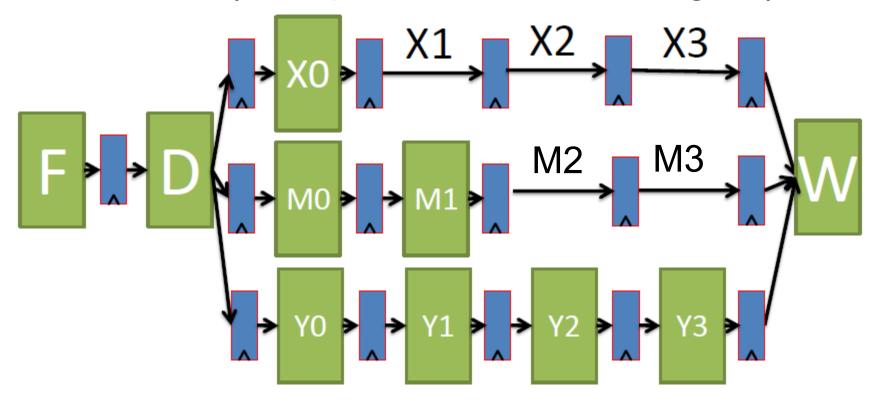


- In-order
 - Usado para motivar Out-of-Order

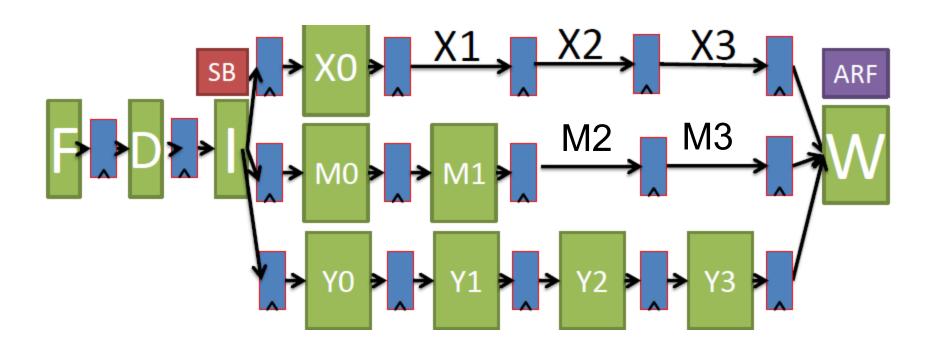


Vamos considerar uma máquina com 1 único disparo!

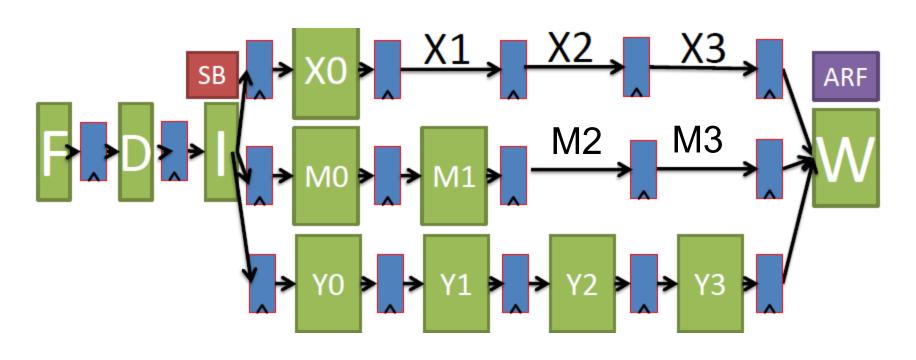
In-order (Múltiplicação em 4 estágios)



Considerar encaminhamento grande.



- ARF (Architecture Register File): Onde mantemos o estado da máquina;
- SB (ScoreBoard): Onde conseguimos as informações de onde os dados estão no pipeline.



ARF R W

SB R/W W

ScoreBoard Básico



P: Pendente, Escrita a caminho;

F: Qual Unidade Funcional Escreverá no registrador;

Dado Disponível: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

- Um bit 1 em Dado Disponível na coluna I significa que o resultado está no estágio I da unidade funcional F;
- Pode usar os campos F e Dado Disponível para determinar quando e de onde vem o encaminhamento;
- Um bit 1 na coluna 0 significa que a unidade funcional está no estágio WB.
- Os bits em Dado Disponível são deslocados a cada ciclo.

```
0 MUL R1, R2, R3 F D I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1 F D I X0 X1 X2 X3 W
2 MUL R5, R1, R4 F D I I I Y0 Y1 Y2 Y3 W
3 MUL R7, R5, R6 F D D D I I I I Y0 Y1 Y2 Y3 W
4 ADDIU R12,R11,1 F F F D D D D I X0 X1 X2 X3 W
5 ADDIU R13,R12,1 F F F D I X0 X1 X2 X3 W
6 ADDIU R14,R12,2
```

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F
                        I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                              X0 X1 X2 X3 W
2 MUL
       R5, R1, R4
                                    Ι
                                       Y0 Y1 Y2 Y3 W
3 MUL
       R7, R5, R6
                                                   Y0 Y1 Y2 Y3 W
4 ADDIU R12,R11,1
                                                       X0 X1 X2 X3 W
5 ADDIU R13,R12,1
                                                      I X0 X1 X2 X3 W
6 ADDTH R14.R12.2
                                                            X0 X1 X2 X3 W
```

	O AL	DIU K14,K12,2	
Сус	DΙ	4 3 2 1 0	Dest Regs
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F D
                       I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                              X0 X1 X2 X3 W
2 MUL
       R5, R1, R4
                                    Ι
                                      Y0 Y1 Y2 Y3 W
3 MUL
       R7, R5, R6
                                                  Y0 Y1 Y2 Y3 W
4 ADDIU R12,R11,1
                                                      X0 X1 X2 X3 W
                                                      I X0 X1 X2 X3 W
5 ADDIU R13,R12,1
6 ADDIU R14,R12,2
                                                         I X0 X1 X2 X3 W
```

	0 ADDIO	N14, N12, Z	
Сус	DI	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F D
                       I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                              X0 X1 X2 X3 W
2 MUL
       R5, R1, R4
                                    Ι
                                      Y0 Y1 Y2 Y3 W
3 MUL
       R7, R5, R6
                                                  Y0 Y1 Y2 Y3 W
4 ADDIU R12,R11,1
                                                      X0 X1 X2 X3 W
                                                      I X0 X1 X2 X3 W
5 ADDIU R13,R12,1
6 ADDIU R14,R12,2
                                                         I X0 X1 X2 X3 W
```

	U AL	D10 K14,K12,2	
Сус	DΙ	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		
2	1 0		
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F
                        I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                              X0 X1 X2 X3 W
2 MUL
       R5, R1, R4
                                    Ι
                                       Y0 Y1 Y2 Y3 W
3 MUL
       R7, R5, R6
                                                   Y0 Y1 Y2 Y3 W
4 ADDIU R12,R11,1
                                                       X0 X1 X2 X3 W
5 ADDIU R13,R12,1
                                                      I X0 X1 X2 X3 W
6 ADDTH R14.R12.2
                                                            X0 X1 X2 X3 W
```

	6 ADI	DIU R14,R12,2	
Сус	DΙ	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		
2	1 0		
3	2 1	1	
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F D
                       I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                              X0 X1 X2 X3 W
2 MUL
       R5, R1, R4
                                    Ι
                                      Y0 Y1 Y2 Y3 W
3 MUL
       R7, R5, R6
                                                  Y0 Y1 Y2 Y3 W
4 ADDIU R12,R11,1
                                                      X0 X1 X2 X3 W
                                                      I X0 X1 X2 X3 W
5 ADDIU R13,R12,1
6 ADDIU R14,R12,2
                                                         I X0 X1 X2 X3 W
```

	0 ADDI	U N14, N12, 2	
Сус	DI	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		
2	1 0		
3	2 1	1	
4	3 2	1 1	
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F D
                       I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                              X0 X1 X2 X3 W
2 MUL
       R5, R1, R4
                                    Ι
                                      Y0 Y1 Y2 Y3 W
3 MUL
       R7, R5, R6
                                                  Y0 Y1 Y2 Y3 W
4 ADDIU R12,R11,1
                                                      X0 X1 X2 X3 W
                                                      I X0 X1 X2 X3 W
5 ADDIU R13,R12,1
6 ADDIU R14,R12,2
                                                         I X0 X1 X2 X3 W
```

	O ADD	10 114,112,2	
Сус	DI	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		
2	1 0		
3	2 1	1	
4	3 2	1 1	
5	3 2	1 1	
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F
                        I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                              X0 X1 X2 X3 W
2 MUL
       R5, R1, R4
                                    Ι
                                       Y0 Y1 Y2 Y3 W
3 MUL
       R7, R5, R6
                                                   Y0 Y1 Y2 Y3 W
4 ADDIU R12,R11,1
                                                       X0 X1 X2 X3 W
5 ADDIU R13,R12,1
                                                      I X0 X1 X2 X3 W
6 ADDTH R14.R12.2
                                                            X0 X1 X2 X3 W
```

	O A	DD10 K14,K12,2	
Сус	DΙ	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		
2	1 0		
3	2 1	1	
4	3 2	1 1	
5	3 2	1 1	
6	3 2	1 1	
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F
                        I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                              X0 X1 X2 X3 W
2 MUL
       R5, R1, R4
                                    Ι
                                       Y0 Y1 Y2 Y3 W
3 MUL
       R7, R5, R6
                                                   Y0 Y1 Y2 Y3 W
4 ADDIU R12,R11,1
                                                       X0 X1 X2 X3 W
5 ADDIU R13,R12,1
                                                      I X0 X1 X2 X3 W
6 ADDTH R14.R12.2
                                                            X0 X1 X2 X3 W
```

	O F	ADDIO R14,R12,2	
Сус	DΙ	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		
2	1 0		
3	2 1	1	
4	3 2	1 1	
5	3 2	1 1	
6	3 2	1 1	
7	4 3	1 11	
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15	_		
16			
17			
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F
                        I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                              X0 X1 X2 X3 W
2 MUL
       R5, R1, R4
                                    Ι
                                       Y0 Y1 Y2 Y3 W
3 MUL
       R7, R5, R6
                                                   Y0 Y1 Y2 Y3 W
4 ADDIU R12,R11,1
                                                       X0 X1 X2 X3 W
5 ADDIU R13,R12,1
                                                      I X0 X1 X2 X3 W
6 ADDTH R14.R12.2
                                                            X0 X1 X2 X3 W
```

	0	ADDIO K14,K12,2	
Сус	DΙ	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		
2	1 0		
3	2 1	1	
4	3 2	1 1	
5	3 2	1 1	
6	3 2	1 1	
7	4 3	1 11	
8	4 3	1 1	
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

```
0 MUL
        R1, R2, R3 F
                        I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                              X0 X1 X2 X3 W
2 MUL
       R5, R1, R4
                                    Ι
                                       Y0 Y1 Y2 Y3 W
3 MUL
        R7, R5, R6
                                                   Y0 Y1 Y2 Y3 W
4 ADDIU R12,R11,1
                                                       X0 X1 X2 X3 W
5 ADDIU R13,R12,1
                                                      I X0 X1 X2 X3 W
6 ADDTH R14 R12 2
                                                            X0 X1 X2 X3 W
```

	6	ADDIO R14,R12,2	
Сус	DΙ	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		
2	1 0		
3	2 1	1	
4	3 2	1 1	
5	3 2	1 1	
6	3 2	1 1	
7	4 3	1 11	
8	4 3	1 1	
9	4 3	1	
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F D
                       I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                              X0 X1 X2 X3 W
2 MUL
       R5, R1, R4
                                    Ι
                                      Y0 Y1 Y2 Y3 W
3 MUL
       R7, R5, R6
                                                  Y0 Y1 Y2 Y3 W
4 ADDIU R12,R11,1
                                                      X0 X1 X2 X3 W
5 ADDIU R13,R12,1
                                                      I X0 X1 X2 X3 W
                                                   D
6 ADDIU R14,R12,2
                                                         I X0 X1 X2 X3 W
```

	0 7.00	10 114,112,2	
Сус	DΙ	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		
2	1 0		
3	2 1	1	
4	3 2	1 1	
5	3 2	1 1	
6	3 2	1 1	
7	4 3	1 11	
8	4 3	1 1	
9	4 3	1	
10	4 3	1	
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F
                        I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                              X0 X1 X2 X3 W
2 MUL
       R5, R1, R4
                                    Ι
                                       Y0 Y1 Y2 Y3 W
3 MUL
       R7, R5, R6
                                                   Y0 Y1 Y2 Y3 W
4 ADDIU R12,R11,1
                                                       X0 X1 X2 X3 W
5 ADDIU R13,R12,1
                                                      I X0 X1 X2 X3 W
6 ADDTH R14.R12.2
                                                            X0 X1 X2 X3 W
```

	O AL	DD10 K14,K12,2	
Сус	DΙ	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		
2	1 0		
3	2 1	1	
4	3 2	1 1	
5	3 2	1 1	
6	3 2	1 1	
7	4 3	1 11	
8	4 3	1 1	
9	4 3	1	
10	4 3	1	
11	5 4	1 1	
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F D I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                              X0 X1 X2 X3 W
2 MUL
       R5, R1, R4
                                    Ι
                                      Y0 Y1 Y2 Y3 W
3 MUL
       R7, R5, R6
                                                  Y0 Y1 Y2 Y3 W
4 ADDIU R12,R11,1
                                                      X0 X1 X2 X3 W
5 ADDIU R13,R12,1
                                                      I X0 X1 X2 X3 W
6 ADDIU R14,R12,2
                                                         I X0 X1 X2 X3 W
```

	0 7	10010 1114,1112,2	
Сус	DI	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		
2	1 0		
3	2 1	1	
4	3 2	1 1	
5	3 2	1 1	
6	3 2	1 1	
7	4 3	1 11	
8	4 3	1 1	
9	4 3	1	
10	4 3	1	
11	5 4	1 1	
12	6 5	1 1	
13			
14			
15			
16			
17			
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F D I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                              X0 X1 X2 X3 W
2 MUL
       R5, R1, R4
                                    Ι
                                      Y0 Y1 Y2 Y3 W
3 MUL
       R7, R5, R6
                                                  Y0 Y1 Y2 Y3 W
4 ADDIU R12,R11,1
                                                      X0 X1 X2 X3 W
5 ADDIU R13,R12,1
                                                      I X0 X1 X2 X3 W
6 ADDIU R14,R12,2
                                                         I X0 X1 X2 X3 W
```

		ADDIO 114,112,2	
Сус	DΙ	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		
2	1 0		
3	2 1	1	
4	3 2	1 1	
5	3 2	11	
6	3 2	1 1	
7	4 3	1 11	
8	4 3	1 1	
9	4 3	1	
10	4 3	1	
11	5 4	1 1	
12	6 5	11	
13	6	111	
14			
15			
16			
17			
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F D I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                              X0 X1 X2 X3 W
2 MUL
       R5, R1, R4
                                    Ι
                                      Y0 Y1 Y2 Y3 W
3 MUL
       R7, R5, R6
                                                  Y0 Y1 Y2 Y3 W
4 ADDIU R12,R11,1
                                                      X0 X1 X2 X3 W
5 ADDIU R13,R12,1
                                                      I X0 X1 X2 X3 W
6 ADDIU R14,R12,2
                                                         I X0 X1 X2 X3 W
```

	0 7	10010 114,112,2	1
Сус	DΙ	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		
2	1 0		
3	2 1	1	
4	3 2	1 1	
5	3 2	1 1	
6	3 2	1 1	
7	4 3	1 11	
8	4 3	1 1	
9	4 3	1	
10	4 3	1	
11	5 4	1 1	
12	6 5	1 1	
13	6	111	
14		1111	
15			
16			
17			
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F
                        I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                              X0 X1 X2 X3 W
2 MUL
       R5, R1, R4
                                    Ι
                                       Y0 Y1 Y2 Y3 W
3 MUL
       R7, R5, R6
                                                   Y0 Y1 Y2 Y3 W
4 ADDIU R12,R11,1
                                                       X0 X1 X2 X3 W
5 ADDIU R13,R12,1
                                                      I X0 X1 X2 X3 W
6 ADDTH R14.R12.2
                                                            X0 X1 X2 X3 W
```

	0 <i>P</i>	NDD10 K14,K12,2	,
Сус	DΙ	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		
2	1 0		
3	2 1	1	
4	3 2	1 1	
5	3 2	1 1	
6	3 2	1 1	
7	4 3	1 11	
8	4 3	1 1	
9	4 3	1	
10	4 3	1	
11	5 4	1 1	
12	6 5	11	
13	6	111	
14		1 1 1 1	
15		1111	
16			
17			
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F D
                       I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                              X0 X1 X2 X3 W
2 MUL
       R5, R1, R4
                                    Ι
                                      Y0 Y1 Y2 Y3 W
3 MUL
       R7, R5, R6
                                                  Y0 Y1 Y2 Y3 W
4 ADDIU R12,R11,1
                                                      X0 X1 X2 X3 W
5 ADDIU R13,R12,1
                                                      I X0 X1 X2 X3 W
                                                   D
6 ADDIU R14,R12,2
                                                         I X0 X1 X2 X3 W
```

	0 7100	710 KI+JKIZJZ	
Сус	DI	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		
2	1 0		
3	2 1	1	
4	3 2	1 1	
5	3 2	1 1	
6	3 2	1 1	
7	4 3	1 11	
8	4 3	1 1	
9	4 3	1	
10	4 3	1	
11	5 4	1 1	
12	6 5	11	
13	6	111	
14		1 1 1 1	
15		1111	
16		111	
17			
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F D I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                              X0 X1 X2 X3 W
2 MUL
       R5, R1, R4
                                    Ι
                                      Y0 Y1 Y2 Y3 W
3 MUL
       R7, R5, R6
                                                  Y0 Y1 Y2 Y3 W
4 ADDIU R12,R11,1
                                                      X0 X1 X2 X3 W
5 ADDIU R13,R12,1
                                                      I X0 X1 X2 X3 W
                                                   D
6 ADDIU R14,R12,2
                                                         I X0 X1 X2 X3 W
```

			,
Сус	DΙ	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		
2	1 0		
3	2 1	1	
4	3 2	1 1	
5	3 2	1 1	
6	3 2	1 1	
7	4 3	1 11	
8	4 3	1 1	
9	4 3	1	
10	4 3	1	
11	5 4	1 1	
12	6 5	1 1	
13	6	111	
14		1 1 1 1	
15		1111	
16		111	
17		1 1	
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

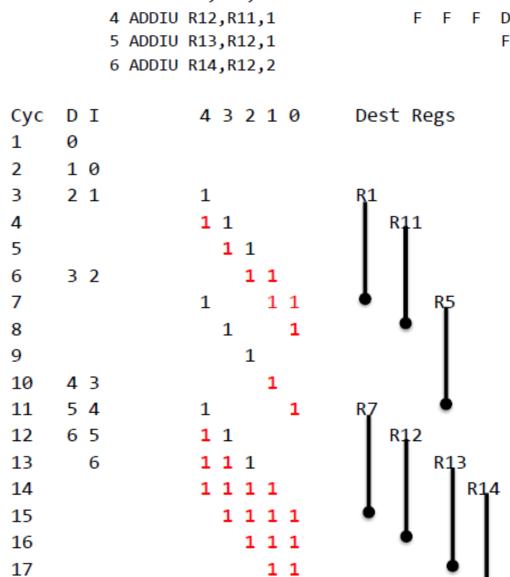
```
0 MUL
       R1, R2, R3 F D
                       I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                              X0 X1 X2 X3 W
2 MUL
       R5, R1, R4
                                    Ι
                                      Y0 Y1 Y2 Y3 W
       R7, R5, R6
3 MUL
                                                  Y0 Y1 Y2 Y3 W
4 ADDIU R12,R11,1
                                                      X0 X1 X2 X3 W
5 ADDIU R13,R12,1
                                                      I X0 X1 X2 X3 W
6 ADDIU R14,R12,2
                                                         I X0 X1 X2 X3 W
```

	O ADD.	10 114,112,2	,
Сус	DI	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		
2	1 0		
3	2 1	1	
4	3 2	1 1	
5	3 2	1 1	
6	3 2	1 1	
7	4 3	1 11	
8	4 3	1 1	
9	4 3	1	
10	4 3	1	
11	5 4	1 1	
12	6 5	1 1	
13	6	111	
14		1 1 1 1	
15		1111	
16		111	
17		11	
18		1	

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.





1

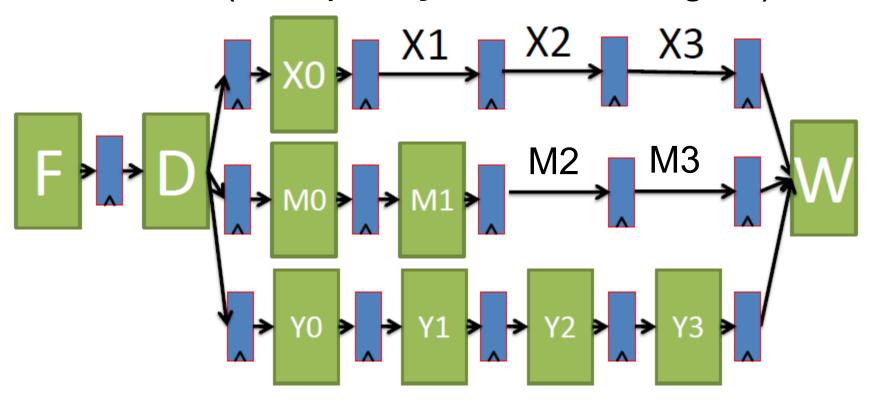
18

D: Qual instrução em Decode.

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

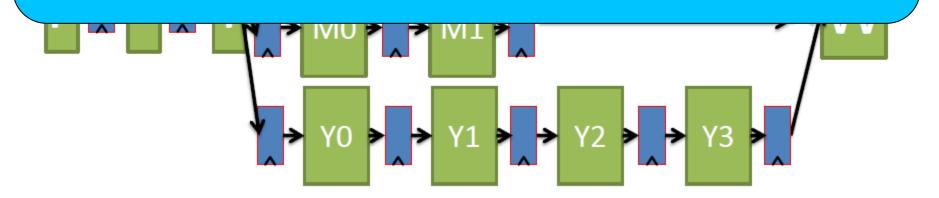
In-order (Múltiplicação em 4 estágios)

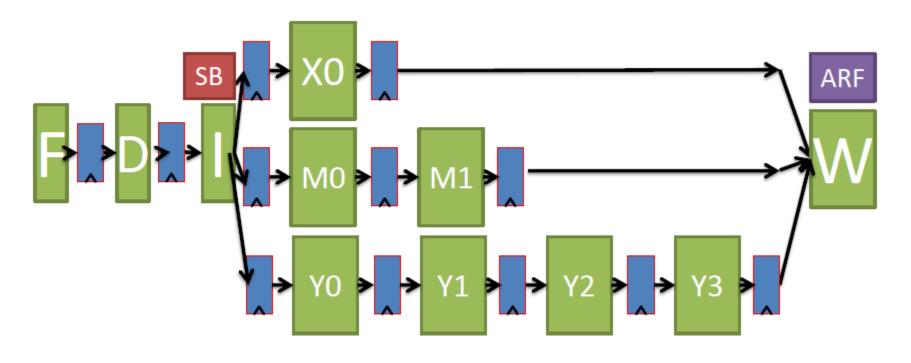


Considerar encaminhamento grande.

- In-order Frontend/Issue
- Out-of-Order Writeback/Commit

Semelhante ao caso de execução em múltiplos ciclos.





ARF R

SB R R/W

W

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F
                   D I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                   F D I
                            X0 W
      R5, R1, R4
2 MUL
                      F D I I
                                I Y0 Y1 Y2 Y3 W
     R7, R5, R6
3 MUL
                                          I I Y0 Y1 Y2 Y3 W
4 ADDIU R12,R11,1
                                         D D
                                              Ι
                                                 X0 W
                                      F F F D
                                                  I X0 W
5 ADDIU R13,R12,1
6 ADDIU R14,R12,2
                                                 D I I X0 W
```

Сус	DI	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	_ _		
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

Vermelho: Dado está disponível.

Agora para o I2O2

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F
                   D I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                   F D I
                           X0 W
       R5, R1, R4
2 MUL
                      F D
                           I I
                                I Y0 Y1 Y2 Y3 W
     R7, R5, R6
3 MUL
                                              Y0 Y1 Y2 Y3 W
                                              Ι
4 ADDIU R12,R11,1
                                                 X0 W
                                      F F F D
5 ADDIU R13,R12,1
                                                 I X0 W
6 ADDIU R14,R12,2
                                                 D I I X0 W
```

Cyc D I	4 3 2 1 0	Dest Regs
1 0		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

Vermelho: Dado está disponível.

Agora para o I2O2

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F
                   D I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                   F D I
                           X0 W
     R5, R1, R4
2 MUL
                      F D I I
                                I Y0 Y1 Y2 Y3 W
     R7, R5, R6
3 MUL
                                         I I Y0 Y1 Y2 Y3 W
4 ADDIU R12,R11,1
                                         D D
                                              Ι
                                                 X0 W
                                      F F F D
                                                 I X0 W
5 ADDIU R13,R12,1
6 ADDIU R14,R12,2
                                                 D I I X0 W
```

Сус	DΙ	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		
2	1 0		
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
4.0			

18

D: Qual instrução em Decode.

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

Vermelho: Dado está disponível.

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F
                   D I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                   F D I
                           X0 W
       R5, R1, R4
2 MUL
                      F D
                           I I
                                I Y0 Y1 Y2 Y3 W
     R7, R5, R6
3 MUL
                                              Y0 Y1 Y2 Y3 W
                                              Ι
4 ADDIU R12,R11,1
                                                 X0 W
                                      F F F D
5 ADDIU R13,R12,1
                                                 I X0 W
6 ADDIU R14,R12,2
                                                 D I I X0 W
```

Cyc D	I	43	2 1	9	Dest	Regs
				•	Dese	weg3
2 1	0					
3 2	1	1				
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

Vermelho: Dado está disponível.

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F
                   D I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                   F D I
                            X0 W
      R5, R1, R4
2 MUL
                      F D I I
                                I Y0 Y1 Y2 Y3 W
     R7, R5, R6
3 MUL
                                          I I Y0 Y1 Y2 Y3 W
4 ADDIU R12,R11,1
                                         D D
                                              Ι
                                                 X0 W
                                      F F F D
                                                  I X0 W
5 ADDIU R13,R12,1
6 ADDIU R14,R12,2
                                                 D I I X0 W
```

Сус	DΙ	4 3 2 1	0 [Dest Regs
1	0			Ö
2	1 0			
3	2 1	1		
4	3 2	1 1		
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

Vermelho: Dado está disponível.

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F
                   D I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                   F D I
                            X0 W
      R5, R1, R4
2 MUL
                      F D I I
                                I Y0 Y1 Y2 Y3 W
     R7, R5, R6
3 MUL
                                         I I Y0 Y1 Y2 Y3 W
                                              I
4 ADDIU R12,R11,1
                                         D D
                                                 X0 W
                                      F F F D
5 ADDIU R13,R12,1
                                                  I X0 W
6 ADDIU R14,R12,2
                                                 D I I X0 W
```

Cvc	о т	1 2	2 1 0	Doct Pogs
	DI	4 3	2 1 0	Dest Regs
1	0			
2	1 0			
3	2 1	1		
4	3 2	1	1	
5	3 2		1 1	
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

Vermelho: Dado está disponível.

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F
                   D I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                   F D I
                           X0 W
     R5, R1, R4
2 MUL
                      F D I I
                                I Y0 Y1 Y2 Y3 W
     R7, R5, R6
3 MUL
                                         I I Y0 Y1 Y2 Y3 W
4 ADDIU R12,R11,1
                                         D D
                                              Ι
                                                 X0 W
                                      F F F D
                                                 I X0 W
5 ADDIU R13,R12,1
6 ADDIU R14,R12,2
                                                 D I I X0 W
```

Сус	DΙ	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		
2	1 0		
3	2 1	1	
4	3 2	1 1	
5	3 2	1 1	
6	3 2	1	
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

Vermelho: Dado está disponível.

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F
                   D I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                   F D I
                           X0 W
     R5, R1, R4
2 MUL
                      F D I I
                                I Y0 Y1 Y2 Y3 W
     R7, R5, R6
3 MUL
                                         I I Y0 Y1 Y2 Y3 W
4 ADDIU R12,R11,1
                                         D D
                                              Ι
                                                 X0 W
                                      F F F D
                                                 I X0 W
5 ADDIU R13,R12,1
6 ADDIU R14,R12,2
                                                 D I I X0 W
```

Сус	DΙ	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		
2	1 0		
3	2 1	1	
4	3 2	1 1	
5	3 2	1 1	
6	3 2	1	
7	4 3	1 1	
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

Vermelho: Dado está disponível.

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F
                   D I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                   F D I
                            X0 W
       R5, R1, R4
2 MUL
                      F D I I
                                I Y0 Y1 Y2 Y3 W
     R7, R5, R6
3 MUL
                                          I I Y0 Y1 Y2 Y3 W
                                              I
4 ADDIU R12,R11,1
                                         D D
                                                 X0 W
                                      F F F D
5 ADDIU R13,R12,1
                                                  I X0 W
6 ADDIU R14,R12,2
                                                 D I I X0 W
```

Сус	DΙ	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		
2	1 0		
3	2 1	1	
4	3 2	1 1	
5	3 2	1 1	
6	3 2	1	
7	4 3	1 1	
8	4 3	1	
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

Vermelho: Dado está disponível.

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F
                   D I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                   F D I
                           X0 W
     R5, R1, R4
2 MUL
                      F D I I
                                I Y0 Y1 Y2 Y3 W
     R7, R5, R6
3 MUL
                                         I I Y0 Y1 Y2 Y3 W
                                              I
4 ADDIU R12,R11,1
                                        D D
                                                X0 W
                                     F F F D
                                                 I X0 W
5 ADDIU R13,R12,1
6 ADDIU R14,R12,2
                                                 D I I X0 W
```

Сус	DΙ	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		8
2	1 0		
3	2 1	1	
4	3 2	1 1	
5	3 2	1 1	
6	3 2	1	
7	4 3	1 1	
8	4 3	1	
9	4 3	1	
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

Vermelho: Dado está disponível.

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F
                   D I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                   F D I
                           X0 W
     R5, R1, R4
2 MUL
                      F D I I
                                I Y0 Y1 Y2 Y3 W
     R7, R5, R6
3 MUL
                                         I I Y0 Y1 Y2 Y3 W
                                              Ι
4 ADDIU R12,R11,1
                                         D D
                                                X0 W
                                     F F F D
                                                 I X0 W
5 ADDIU R13,R12,1
6 ADDIU R14,R12,2
                                                 D I I X0 W
```

Сус	DΙ	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		
2	1 0		
3	2 1	1	
4	3 2	1 1	
5	3 2	1 1	
6	3 2	1	
7	4 3	1 1	
8	4 3	1	
9	4 3	1	
10	4 3	1	
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

Vermelho: Dado está disponível.

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F
                   D I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                   F D I
                           X0 W
     R5, R1, R4
2 MUL
                      F D I I
                                I Y0 Y1 Y2 Y3 W
     R7, R5, R6
3 MUL
                                         I I Y0 Y1 Y2 Y3 W
                                              Ι
4 ADDIU R12,R11,1
                                         D D
                                                X0 W
                                     F F F D
                                                 I X0 W
5 ADDIU R13,R12,1
6 ADDIU R14,R12,2
                                                 D I I X0 W
```

Сус	DΙ	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		8
2	1 0		
3	2 1	1	
4	3 2	1 1	
5	3 2	1 1	
6	3 2	1	
7	4 3	1 1	
8	4 3	1	
9	4 3	1	
10	4 3	1	
11	5 4	1 1	
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

Vermelho: Dado está disponível.

```
0 MUL
      R1, R2, R3 F
                   D I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                   F D I
                           X0 W
     R5, R1, R4
2 MUL
                     F D I I
                               I Y0 Y1 Y2 Y3 W
     R7, R5, R6
3 MUL
                                        I I Y0 Y1 Y2 Y3 W
                                             I
4 ADDIU R12,R11,1
                                       D D
                                               X0 W
                                    F F F D
                                                I X0 W
5 ADDIU R13,R12,1
6 ADDIU R14,R12,2
                                                D I I X0 W
```

Сус	DΙ	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		
2	1 0		
3	2 1	1	
4	3 2	1 1	
5	3 2	1 1	
6	3 2	1	
7	4 3	1 1	
8	4 3	1	
9	4 3	1	
10	4 3	1	
11	5 4	1 1	
12	6 5	1 1	
13			
14			
15			
16			
17			
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

Vermelho: Dado está disponível.

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F
                    D I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                    F D I
                            X0 W
       R5, R1, R4
2 MUL
                       F D
                           I I
                                 I Y0 Y1 Y2 Y3 W
     R7, R5, R6
3 MUL
                                                Y0 Y1 Y2 Y3 W
4 ADDIU R12,R11,1
                                               Ι
                                                   X0 W
                                       F F F D
5 ADDIU R13,R12,1
                                                   I X0 W
6 ADDIU R14,R12,2
                                                  D I I X0 W
```

Сус	DΙ	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		
2	1 0		
3	2 1	1	
4	3 2	1 1	
5	3 2	1 1	
6	3 2	1	
7	4 3	1 1	
8	4 3	1	
9	4 3	1	
10	4 3	1	
11	5 4	1 1	
12	6 5	1 1	
13	6	1 1 1	
14			
15			
16			
17			
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

Vermelho: Dado está disponível.

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F
                    D I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                    F D I
                            X0 W
       R5, R1, R4
2 MUL
                       F D
                           Ι
                               Ι
                                 I Y0 Y1 Y2 Y3 W
     R7, R5, R6
3 MUL
                                                Y0 Y1 Y2 Y3 W
4 ADDIU R12,R11,1
                                               Ι
                                                   X0 W
                                       F F F D
5 ADDIU R13,R12,1
                                                   I X0 W
6 ADDIU R14,R12,2
                                                  D I I X0 W
```

Сус	DΙ	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		8
2	1 0		
3	2 1	1	
4	3 2	1 1	
5	3 2	1 1	
6	3 2	1	
7	4 3	1 1	
8	4 3	1	
9	4 3	1	
10	4 3	1	
11	5 4	1 1	
12	6 5	1 1	
13	6	1 1 1	
14	6	1 1	
15			
16			
17			
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

Vermelho: Dado está disponível.

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F
                    D I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                    F D I
                            X0 W
       R5, R1, R4
2 MUL
                       F D
                           I I
                                 I Y0 Y1 Y2 Y3 W
     R7, R5, R6
3 MUL
                                                Y0 Y1 Y2 Y3 W
4 ADDIU R12,R11,1
                                               Ι
                                                   X0 W
                                       F F F D
5 ADDIU R13,R12,1
                                                   I X0 W
6 ADDIU R14,R12,2
                                                  D I I X0 W
```

Сус	DΙ	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		
2	1 0		
3	2 1	1	
4	3 2	1 1	
5	3 2	1 1	
6	3 2	1	
7	4 3	1 1	
8	4 3	1	
9	4 3	1	
10	4 3	1	
11	5 4	1 1	
12	6 5	1 1	
13	6	1 1 1	
14	6	1 1	
15	-	1 1	
16			
17			
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

Vermelho: Dado está disponível.

```
0 MUL
       R1, R2, R3 F
                    D I Y0 Y1 Y2 Y3 W
1 ADDIU R11,R10,1
                    F D I
                            X0 W
       R5, R1, R4
2 MUL
                       F D
                           Ι
                               Ι
                                 I Y0 Y1 Y2 Y3 W
     R7, R5, R6
3 MUL
                                                Y0 Y1 Y2 Y3 W
4 ADDIU R12,R11,1
                                                   X0 W
                                       F F F D
5 ADDIU R13,R12,1
                                                   I X0 W
6 ADDIU R14,R12,2
                                                  D I I X0 W
```

Сус	DΙ	4 3 2 1 0	Dest Regs
1	0		
2	1 0		
3	2 1	1	
4	3 2	1 1	
5	3 2	1 1	
6	3 2	1	
7	4 3	1 1	
8	4 3	1	
9	4 3	1	
10	4 3	1	
11	5 4	1 1	
12	6 5	1 1	
13	6	1 1 1	
14	6	1 1	
15		1 1	
16		11	
17			
18			

I: Qual instrução em Disparo.

0 a 4: Onde está o dado no pipeline da Unidade Funcional.

Vermelho: Dado está disponível.

```
0 MUL
                  R1, R2, R3 F
                               D I Y0 Y1 Y2 Y3 W
           1 ADDIU R11,R10,1
                                        X0 W
                               F D
                                     Ι
           2 MUL
                  R5, R1, R4
                                  F
                                    D
                                        Ι
                                              I Y0 Y1 Y2 Y3 W
           3 MUL
                  R7, R5, R6
                                        D
                                                      I I Y0 Y1 Y2 Y3 W
           4 ADDIU R12,R11,1
                                        F
                                           F
                                                 D
                                                    D
                                                         D
                                                            Ι
                                                              X0 W
                                                      D
                                                   F
                                                 F
                                                     F F
           5 ADDIU R13,R12,1
                                                            D
                                                               I X0 W
           6 ADDIU R14,R12,2
                                                            F
                                                               D
                                                                 I I X0 W
                                   Dest Regs
Cyc
     DΙ
                   4 3 2 1 0
1
     0
2
     1 0
3
     2 1
4
                     1
5
                        1
6
     3 2
7
                   1
8
                     1
9
                        1
10
     4 3
11
     5 4
                   1
     6 5
12
                     1 🔲
13
14
       6
15
                          1 1
16
                            1
17
18
```

Agradecimento

David Wentzlaff (Princeton University)