

# **Laboratório 4**

## **- CPU MIPS Multiciclo –**

### **GRUPO 6**

**Dayanne Fernandes da Cunha, 13/0107191**

**Lucas Mafra Chagas, 12/0126443**

**Marcelo Giordano Martins Costa de Oliveira, 12/0037301**

**Lucas Junior Ribas, 16/0052289**

**Caio Nunes de Alencar Osório, 16/0115132**

**Diego Vaz Fernandes, 16/0117925**

<sup>1</sup>Dep. Ciência da Computação – Universidade de Brasília (UnB)  
CiC 116394 - OAC - Turma A

## **Objetivos**

- Treinar o aluno com a linguagem de descrição de *hardware Verilog*;
- Familiarizar o aluno com a plataforma de desenvolvimento *FPGA DE2* da *Altera* e o software *QUARTUS II*;
- Desenvolver a capacidade de análise e síntese de sistemas digitais usando uma Linguagem de Descrição de *Hardware*;
- Apresentar ao aluno a implementação de uma *CPU MIPS Multiciclo*.

## **Ferramentas**

Todos os códigos escritos neste laboratório podem ser encontrados no repositório <https://github.com/Dayof/OAC172> do *GitHub*.

- FPGA DE2 da Altera
- QUARTUS-II
- Verilog HDL

## Exercício 2. Análise do processador Multiciclo

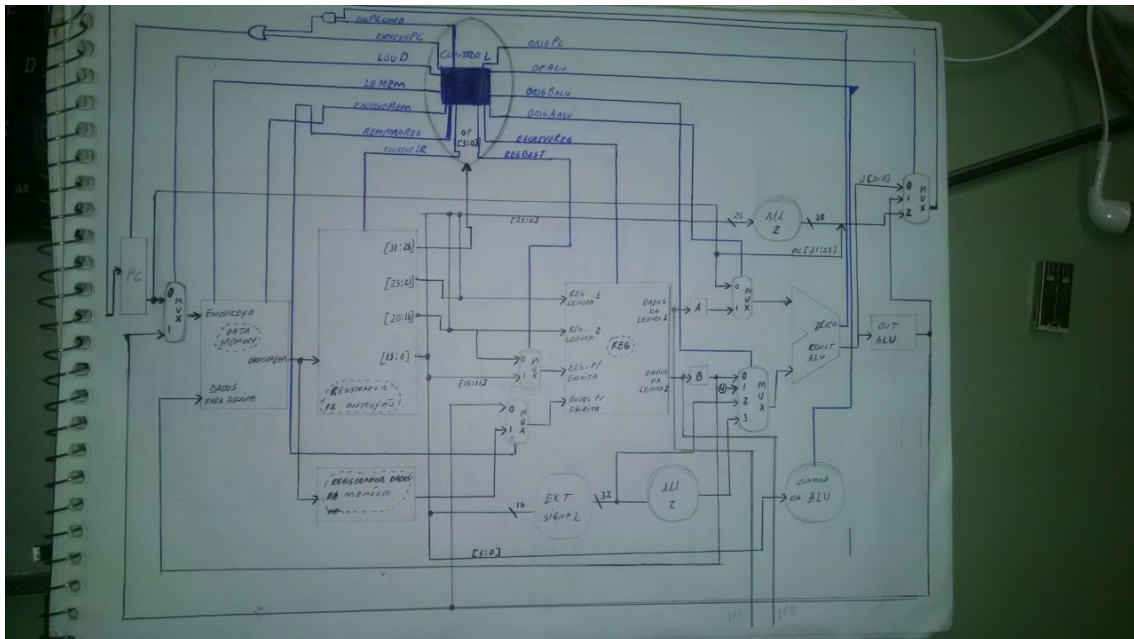


Figure 1. Diagrama de Blocos do Caminho de Dados.

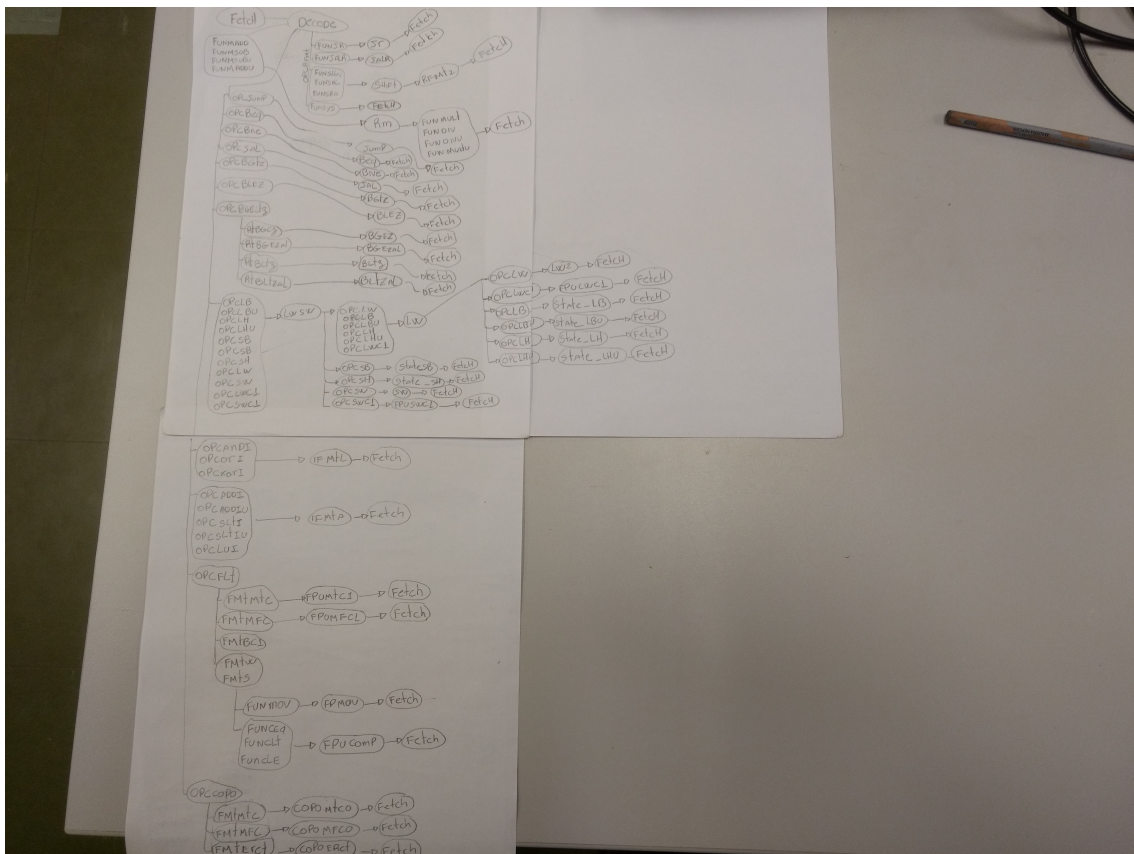
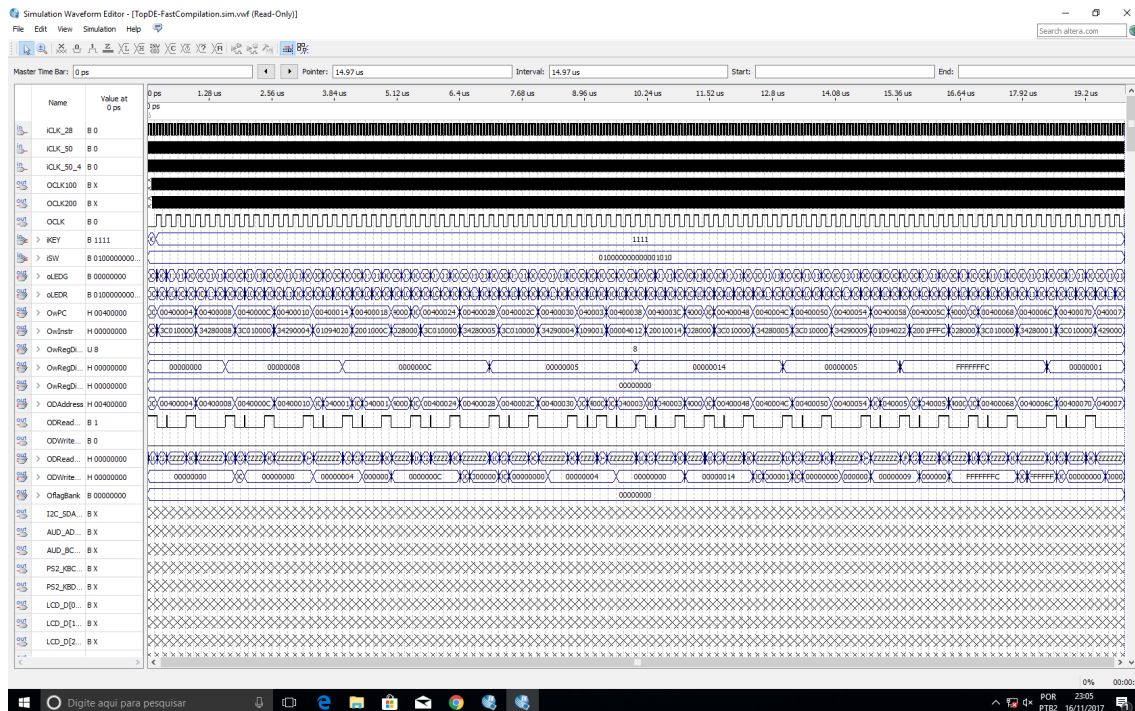


Figure 2. Máquina de estados do Bloco Controlador.

### Exercício 3. Teste do funcionamento das instruções da ISA



**Figure 3. Simulação por forma de onda.**

A demonstração e explicação do código estão presentes nos seguintes vídeos:

- Código Multiciclo
- Formas de Onda
- Implementação na DE2

#### Exercício 4. Software de lançamento de bola de canhão na *FPGA*

Alguns problemas foram encontrados durante execução do exercício. O programa não apresenta nenhum syscall além do 10, ao executar o programa ele apenas preenche a tela com a cor e não realiza o lançamento.

## Demonstração do Lançamento da Bola de Canhão

### Exercício 5. Implementação do Cartão SD

As limitações observadas ao executar os cenários no cartão sd e impressas no monitor através de um cabo vga foram:

- O máximo de pixel da coordenada do eixo x para centralizar o cenário foi 138 pixels. Ao retirar mais, a imagem não foi impressa na tela;
- Mesmo com a frequência mais alta, a imagem demora pra ser carregada do cartão sd para o monitor;

Segue os vídeos dos cenários:

- Cenário Blanka
- Cenário Balrog
- Cenário Chunli

## Exercício 6. Novas instruções usando a ISA MIPS

Na Tabela 3 mostra a instrução *MUL* do tipo R que foi inserida na ISA MIPS Multiciclo.

INSTRUÇÃO	OPCODE (6)	RS (5)	RT (5)	RD (5)	SHAMT (5)	FUNCT (6)
MUL \$t1, \$t2, \$t3	000000	x	x	x	00000	000010

Table 1. Componentes da instrução *MUL*.

Para preencher a Tabela 3 foi usada a informação que as instruções do tipo R sempre possuem o *OPCODE* em zero. A ordem dos componentes de *MUL* é *MUL RD RS RT*. *RS* e *RT* se referem aos argumentos da operação, no caso, \$t2 e \$t3 respectivamente e *RD* para o registrador destino, ou seja, \$t1. Como *MUL* não é uma instrução que usa operações *SHIFT* então este campo também permanece com zeros. O componente *FUNCT* foi preenchido de acordo com a fonte [?].

Na Tabela 3 mostra a instrução *JALR* do tipo R que foi inserida na ISA MIPS Multiciclo.

Instrução	OPCODE (6)	RS (5)	RT (5)	RD (5)	SHAMT (5)	FUNCT (6)
JALR \$t1	000000	x	00000	11111	00000	001001
JALR \$t1, \$t2	000000	x	00000	x	00000	001001

Table 2. Componentes da instrução *JALR*.

Para preencher a Tabela 2 também foi usada a informação que as instruções do tipo R sempre possuem o *OPCODE* em zero. A ordem dos componentes de *JALR* é *JALR RD RS*. Na instrução com apenas \$t1 o componente *RD* é preenchido com 11111 para representar o \$ra. Em ambas instruções da Tabela 2 o componente *RT* não é utilizado. E como *JALR* não é uma instrução que usa operações *SHIFT* então este campo também permanece com zero. O componente *FUNCT* foi preenchido de acordo com a fonte [?].

Para implementar estas instruções os arquivos *Parametros.v*, *ALUControl.v*, *Datapath\_MULT.v* e *Control\_MULT.v* foram modificados.

### Parâmetros

O *OPCODE* de *MUL* e *JALR* não precisam de nenhuma adição no arquivo já que são do tipo R.

Os componentes *FUNCT* foram adicionados no arquivo como é mostrado na Figura 3.

```
87      FUNMUL      = 6'b000010,      // 2017/2
88      FUNJALR     = 6'b001001,      // 2017/2
```

Figure 4. Parâmetros para o componente *FUNCT* de cada instrução.

Os parâmetros para a máquina estado do multiciclo foram adicionados conforme a Figura 9.

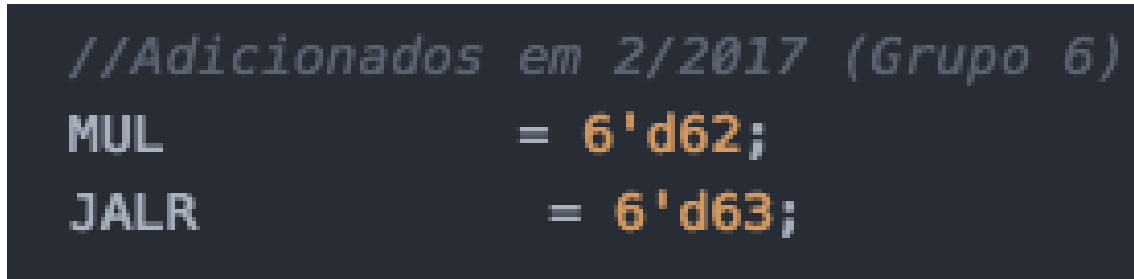


Figure 5. Parâmetros para a máquina de estados multiciclo.

A operação *MUL* não foi adicionada no arquivo pois o *OPMULT* implementada no arquivo *ALU.v* já implementa o resultado esperado para *MUL*. No caso seria colocar em *HI* e *LO* o resultado da operação  $iA * iB$ , sendo que em *HI* estaria os 32 bits mais significativos e *LO* os 32 menos significativos. Como *oALUresult* recebe *LO* em *OPMULT* então já temos o esperado para *MUL*, sendo *oALUresult* nossa representação do *RD*.

### Caminho de dados

Para implementar a Função *JALR*, foi modificado o multiplexador *WriteReg* e *WriteData*. Foi ativado a porta 3'd2 de ambos, que estava disponível para uso. No multiplexador *WriteReg*, indicamos que o registrador que vai ser usado é o *RT* ou o *RD*, conforme a imagem 3. Já no multiplexador *WriteData*, indicamos que o registrador de destino vai receber o valor de *PC*, conforme na imagem 4.

```
// Mux WriteReg
always @(*)
case (Store)
3'd0: wWriteRegister <= wRtorRd; //Normal mode
3'd1: wWriteRegister <= wALUZero ? 5'd31: 5'd0; // $ra ou $zero 1/2016
3'd2: wWriteRegister <= wRtorRd; //
// 3'd3: wWriteRegister <= 5'd05; // $a0 Store timer HI // Disponível
// 3'd4: wWriteRegister <= 5'd04; // $a0 Store Random // Disponível
3'd5: wWriteRegister <= wRT; //mfc0
3'd6: wWriteRegister <= wRT; //mfc0 - feito no semestre 2013/1 para implementar a deteccao de excecoes (COP0)
3'd7: wWriteRegister <= ~wALUZero ? 5'd31: 5'd0; // $ra ou $zero 1/2016
default: wWriteRegister <= 5'd0;
endcase
```

Figure 6. Multiplexador WriteReg modificado

```
// Mux WriteData
always @(*)
case (Store)
3'd0: wRegWriteData <= wMemorALU; //Normal mode
3'd1: wRegWriteData <= PC; // $RA Jal
3'd2: wRegWriteData <= PC; //Store timer LO // Disponível
// 3'd3: wRegWriteData <= RegTimerHI; //Store timer HI // Disponível
// 3'd4: wRegWriteData <= RandInt; //Store Random // Disponível
```

Figure 7. Multiplexador WriteData modificado

## Bloco de controle

Já no bloco de controle, foi adicionado 2 novos estados para a maquina de estados. Ao passar pelo estado de decodificação, caso seja um *JALR* ou *MUL*, a *Word* receberá os dados apresentados na tabela 3.

[illegible]

### Table 3. Sinais de controle

## Teste das novas instruções

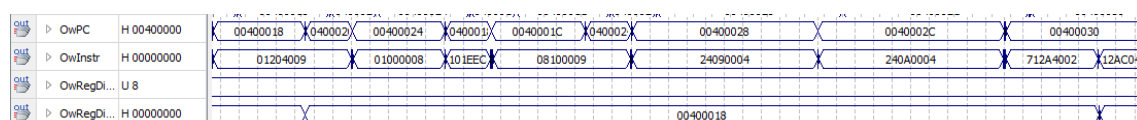
Foi desenvolvido um programa para testar as funções implementadas, conforme mostra a imagem 5. Logo após, foi testado no Quartus, através de formas de onda, que as instruções estavam funcionando corretamente, conforme mostrado nas figuras 6 e 7.

Bkpt	Address	Code	Basic	
	0x00400000	0x3c010040	lui \$1,64	3: la \$t0, 0x0040001c
	0x00400004	0x3428001c	ori \$8,\$1,28	
	0x00400008	0x0100f809	jalr \$8	4: jalr \$t0
	0x0040000c	0x3c010040	lui \$1,64	5: la \$t1, 0x00400020
	0x00400010	0x34290020	ori \$9,\$1,32	
	0x00400014	0x01204009	jalr \$8,\$9	6: jalr \$t0, \$t1
	0x00400018	0x08100009	j 0x00400024	7: j fim
	0x0040001c	0x03e00008	jr \$31	8: jr \$ra
	0x00400020	0x01000008	jr \$8	9: jr \$t0
	0x00400024	0x24090004	addiu \$9,\$0,4	10: fim: li \$t1, 4
	0x00400028	0x240a0004	addiu \$10,\$0,4	11: li \$t2, 4
	0x0040002c	0x712a4002	mul \$8,\$9,\$10	12: mul \$t0, \$t1, \$t2

**Figure 8. Programa desenvolvido para teste das funções implementadas**



**Figure 9. Teste na forma de onda**



**Figure 10. Teste na forma de onda**

**OWPC:**Endereço do PC;  
**OwInstr:**Instrução decodificada;  
**OwRegD:**Conteúdo do registrador \$t0;

Por fim, temos a demonstração na DE2 no seguinte vídeo:

Demonstração na DE2

## **References**