

# Laboratório 2

## - ULA e FPULA -

### 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

- Introduzir ao aluno 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 *HDL*.

### Ferramentas

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

### Exercícios

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

#### Exercício 1. Implementação de um *driver* para *display* de 7 segmentos

Conforme descrito no arquivo *QuartusIIv3.txt* e *Set.txt*, um novo projeto foi criado no diretório *Lab2*, denominado *Display*.

Para as versões síncrona e assíncrona foram geradas as simulações temporais (Figura 1 e Figura 3) e funcionais (Figura 2 e Figura 4).

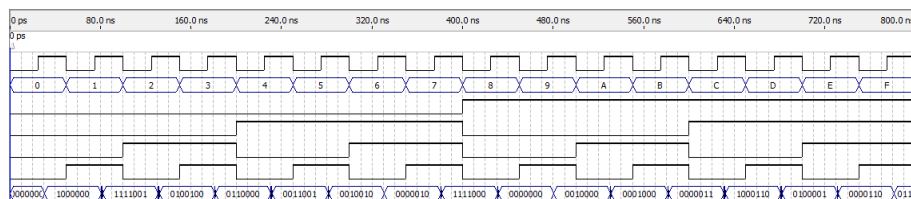


Figure 1. Simulação síncrona temporal do *decoder7*.

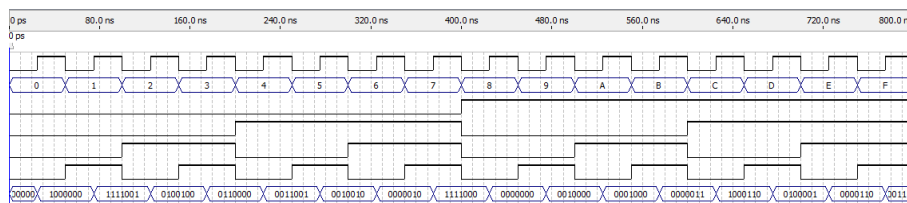


Figure 2. Simulação síncrona funcional do *decoder7*.

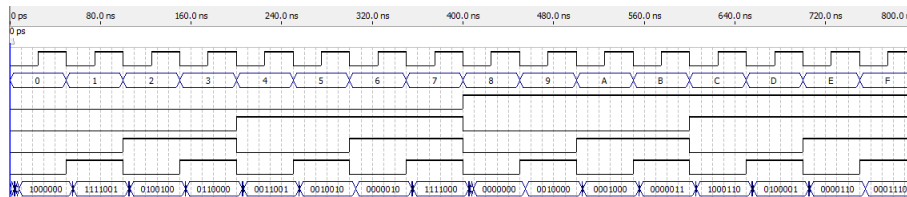


Figure 3. Simulação assíncrona temporal do *decoder7*.

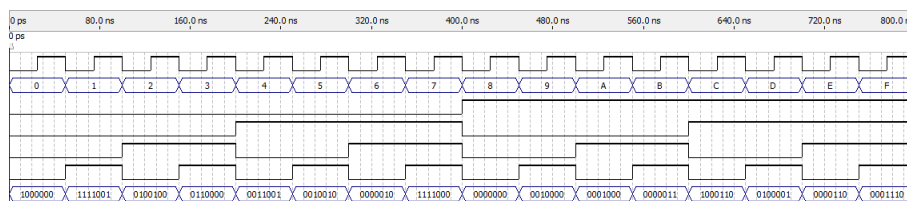


Figure 4. Simulação assíncrona funcional do *decoder7*.

O arquivo de interface *TopDE.v* foi incluído no projeto, sintetizado e testado como é mostrado no link <https://youtu.be/wGKjze5PkcU>.

## Exercício 2. Unidade Lógica Aritmética de Inteiros

### Operações

#### Requisitos físicos

Para a ULA de inteiros foi levantado os requisitos físicos de cada operação e da ULA total como podemos ver na Tabela 1 e Tabela 2. Todos estes dados foram encontrados utilizando o seguinte procedimento:

- Foi aberto o projeto da *ULA* no *Quartus II 64-Bit*;
- No arquivo *ALU.v* para testar a ULA completa foi preciso comentar as linhas `"wire [4:0] iControlSignal"` e `"assign iControlSignal=OPMSUB"` e descomentar a linha `"input [4:0] iControlSignal"`. No arquivo *ALU.v* para testar cada operação foi preciso descomentar as linhas `"wire [4:0] iControlSignal"` e `"assign iControlSignal=OPMSUB"` e comentar a linha `"input [4:0] iControlSignal"`. A troca de operação avaliada foi feita substituindo o nome da operação na variável *iControlSignal* (e.g. `assign iControlSignal=OPSLI`);
- Ao trocar a operação desejada foi compilado o projeto;

- Com a nova aba (*Compilation Report - ULA*) aberta, no menu *Flow Summary* foi possível achar informações da quantidade total de elementos lógicos usado naquela operação;
- No menu *TimeQuest Timing Analyzer > Multicorner Datasheet Report Summary* foram encontrados valores dos maiores / menores tempos de atraso para concluir a operação. Estes tempos são medidos desde o ato de inserir o dado na entrada (*iA* e/ou *iB*) e resultar em algo na saída (*oALUresult*). Alguns resultados assíncronos eram aparentes na aba *RR* (medição ao subir a borda inicial até a subida da borda final), outros na *RF* (medição ao subir a borda inicial até a descida da borda final) [Altera ]. Para operações síncronas era possível captar os resultados na aba *Rise*;
  - Para operações puramente assíncronas o maior tempo foi encontrado no menu *Propagation Delay*. Para operações também síncronas tiveram estes dados aparentes no menu *Clock to Output Times*;
  - Para operações puramente assíncronas o menor tempo foi encontrado no menu *Minimum Propagation Delay*. Para operações também síncronas tiveram estes dados aparentes no menu *Minimum Clock to Output Times*.
- A frequência máxima de *clock* utilizável foi gerada a partir do cálculo  $F_{MAX} = 1/T$ , sendo  $T$  o maior tempo de atraso da operação. Esse  $T$  tem que ser o pior caso de tempo ocorrido pois precisa ser suficiente para concluir toda a operação em qualquer caso.

	Elementos lógicos	Menor atraso (ns)	Maior atraso (ns)	Frequência máxima de <i>clock</i> utilizável (MHz)
<b>ULA</b>	6686	4,788	26,648	37,526
<b>OPAND</b>	43	5,495	9,810	101,937
<b>OPOR</b>	43	5,490	9,811	101,926
<b>OPADD</b>	44	5,081	14,134	70,751
<b>OPMFHI</b>	0	0	0	0
<b>OPSL</b>	170	6,000	15,048	66,454
<b>OPMFLO</b>	0	0	0	0
<b>OPSUB</b>	44	5,119	13,909	71,896
<b>OPSLT</b>	32	5,341	13,470	74,239
<b>OPSGT</b>	32	5,341	13,470	74,239
<b>OPSR</b>	170	6,065	16,137	61,969
<b>OPSRA</b>	174	4,908	15,736	63,549
<b>OPXOR</b>	43	4,802	8,511	117,495
<b>OPSLTU</b>	32	5,341	13,470	74,239
<b>OPNOR</b>	43	4,822	9,811	101,926
<b>OPLUI</b>	5	4,546	8,330	120,048
<b>OPSLLV</b>	170	5,397	15,048	66,454
<b>OPSRV</b>	174	4,908	15,736	63,549
<b>OPSRV</b>	170	5,445	16,137	61,969
<b>OPMULT</b>	53	3,914	8,885	112,549
<b>OPDIV</b>	1266	4,051	9,446	105,865
<b>OPDEBUG</b>	11	4,549	8,255	121,139

**Table 1. Requisitos físicos da ULA total e de cada operação. Informações das operações assíncronas.**

	Elementos lógicos	Menor atraso (ns)	Maior atraso (ns)	Frequência máxima de <i>clock</i> utilizável (MHz)
<b>ULA</b>	6686	6,804	14,672	68,157
<b>OPMULT</b>	53	?	?	?
<b>OPDIV</b>	1266	?	?	?
<b>OPMULTU</b>	?	?	?	?
<b>OPDIVU</b>	?	?	?	?
<b>OPMTHI</b>	?	?	?	?
<b>OPMTLO</b>	?	?	?	?
<b>OPMADD</b>	?	?	?	?
<b>OPMADDU</b>	?	?	?	?
<b>OPMSUB</b>	?	?	?	?
<b>OPMSUBU</b>	?	?	?	?

**Table 2. Requisitos físicos da ULA total e de cada operação. Informações das operações síncronas.**

## Funcionamento

O projeto da *ULA* de inteiros foi sintetizado utilizando a interface *TopDE.v* na placa *DE2-70*.

As funções testadas foram:

Operação	Vídeo	Operação	Vídeo
<b>AND</b>	AND	<b>OR</b>	OR
<b>ADD</b>	ADD	<b>MFHI</b>	MFHI
<b>SLL</b>	SLL	<b>MFLO</b>	MFLO
<b>SUB</b>	SUB	<b>SLT</b>	SLT
<b>SRL</b>	SRL	<b>SRA</b>	SRA
<b>XOR</b>	XOR	<b>SLTU</b>	SLTU
<b>NOR</b>	NOR	<b>MULT</b>	MULT
<b>DIV</b>	DIV	<b>LUI</b>	LUI
<b>SLLV</b>	SLLV	<b>SRAV</b>	SRAV
<b>SRLV</b>	SRLV	<b>MULTU</b>	MULTU
<b>DIVU</b>	DIVU	<b>MTHI</b>	MTHI
<b>MLTO</b>	MLTO	<b>SGT</b>	SGT
<b>MADD</b>	MADD	<b>MADDU</b>	MADDU
<b>MSUB</b>	MSUB	<b>MSUBU</b>	MSUBU

**Table 3. Funcionamento das operações da ULA.**

## Exercício 3. Unidade Aritmética de Ponto Flutuante

### Operações

### Requisitos físicos

Para a *ULA* de ponto flutuante foi levantado os requisitos físicos de cada operação e da *FPULA* total como podemos ver na Tabela 4. Todos estes dados foram encontrados utilizando o seguinte procedimento:

- Foi aberto o projeto da *FPULA* no *Quartus II 64-Bit*;
- No arquivo *FPALU.v* para testar a *FPULA* completa foi preciso comentar as linhas `"wire [3:0] icontrol"` e `"assign icontrol=OPSQRT"` e descomentar a linha `"input [3:0] icontrol"`. No arquivo *FPALU.v* para testar cada operação foi preciso descomentar as linhas `"wire [3:0] icontrol"` e `"assign icontrol=OPSQRT"` e comentar a linha `"input [3:0] icontrol"`. A troca de operação avaliada foi feita substituindo o nome da operação na variável *icontrol* (e.g. `assign icontrol=OPSQRT`);
- Ao trocar a operação desejada foi compilado o projeto;
- Com a nova aba (*Compilation Report - FPULA*) aberta, no menu *Flow Summary* foi possível achar informações da quantidade total de elementos lógicos usado naquela operação;
- No menu *TimeQuest Timing Analyzer > Multicorner Datasheet Report Summary* ; *Minimum Propagation Delay* foram encontrados os números de ciclos mínimos

da operação avaliada. Estes tempos são medidos desde o ato de inserir o dado na entrada (*idataa* e/ou *idatab*) e resultar em algo na saída (*oCompResult*). Os resultados eram aparentes na aba *RR* (medição ao subir a borda inicial até a subida da borda final), outros na *RF* (medição ao subir a borda inicial até a descida da borda final) [Altera];

- A frequência máxima de *clock* utilizável foi gerada a partir do cálculo  $F_{MAX} = 1/T$ , sendo  $T$  o número de ciclos mínimo da operação.

	Elementos lógicos	Número de ciclos mínimo da operação (ns)	Frequência máxima de <i>clock</i> utilizável (MHz)
<b>FPULA</b>	?	?	?
<b>OPADDS</b>	?	?	?
<b>OPSUBS</b>	?	?	?
<b>OPMULS</b>	?	?	?
<b>OPDIVS</b>	?	?	?
<b>OPSQRT</b>	?	?	?
<b>OPABS</b>	?	?	?
<b>OPNEG</b>	?	?	?
<b>OPCEQ</b>	?	?	?
<b>OPCLT</b>	?	?	?
<b>OPCLE</b>	?	?	?
<b>OPCVTSW</b>	?	?	?
<b>OPCVTWS</b>	?	?	?

**Table 4. Requisitos físicos da *FPULA* total e de cada operação.**

## Funcionamento

O projeto da *ULA* de ponto flutuante foi sintetizado utilizando a interface *TopDE.v* na placa *DE2-70* e seu funcionamento pode ser visto através do *link* ?.

## References

[Altera] Altera. Multicorner timing. [http://quartushelp.altera.com/15.0/mergedProjects/report/rpt/rpt\\_file\\_multicorner\\_timing.htm](http://quartushelp.altera.com/15.0/mergedProjects/report/rpt/rpt_file_multicorner_timing.htm). [Online; acessado 4-Outubro-2017].