

Laboratório de Sistemas Digitais

Aula Teórica-Prática 5

Ano Letivo 2021/22

Modelação em VHDL de registos e módulos
combinatórios de deslocamento

Resumo dos estilos de codificação
adequados à síntese

Conteúdo

- Modelação em VHDL
 - Registos de deslocamento
 - Módulos combinatórios de deslocamento (*shifters*)
- Sistematização da estrutura típica de processos relativos a circuitos combinatórios e sequenciais
 - Templates e estilos de codificação recomendados
 - Processos com condições síncronas e assíncronas
 - Regras fundamentais e boas práticas

Operações de Deslocamento

Deslocamento	Operando	Resultado (deslocam. de 1 bit)	Resultado (deslocam. de 2 bits)
À esquerda lógico ou aritmético (introduz 0's)	0 100	100 <u>0</u>	00 <u>00</u>
	0 101	101 <u>0</u>	01 <u>00</u>
À direita lógico (introduz 0's)	00 11	<u>00</u> 01	<u>00</u> 00
	10 11	<u>0</u> 101	<u>00</u> 10
À direita aritmético (preserva o sinal)	00 11	<u>00</u> 01	<u>00</u> 00
	10 11	<u>1</u> 101	<u>11</u> 10

Aplicações típicas:

Conversão de dados paralelo \leftrightarrow série em sistemas computacionais de/para as interfaces Ethernet, SATA, PCIe, etc.

Algoritmos de deteção e correção de erros em sistemas de comunicação, etc.

Abordagens / implementações típicas:

- Iterativa (registo de deslocamento – c/clock)
- Paralela (combinatória - *barrel shifter*)

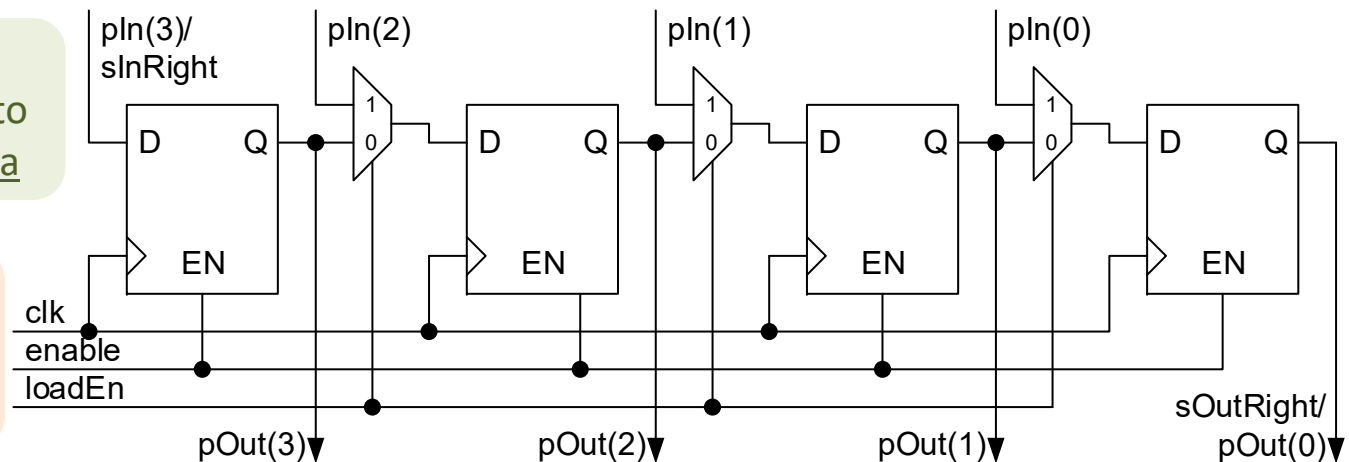
Deslocar i bits à esq. $\Leftrightarrow \times 2^i$
Deslocar i bits à direita $\Leftrightarrow \div 2^i$



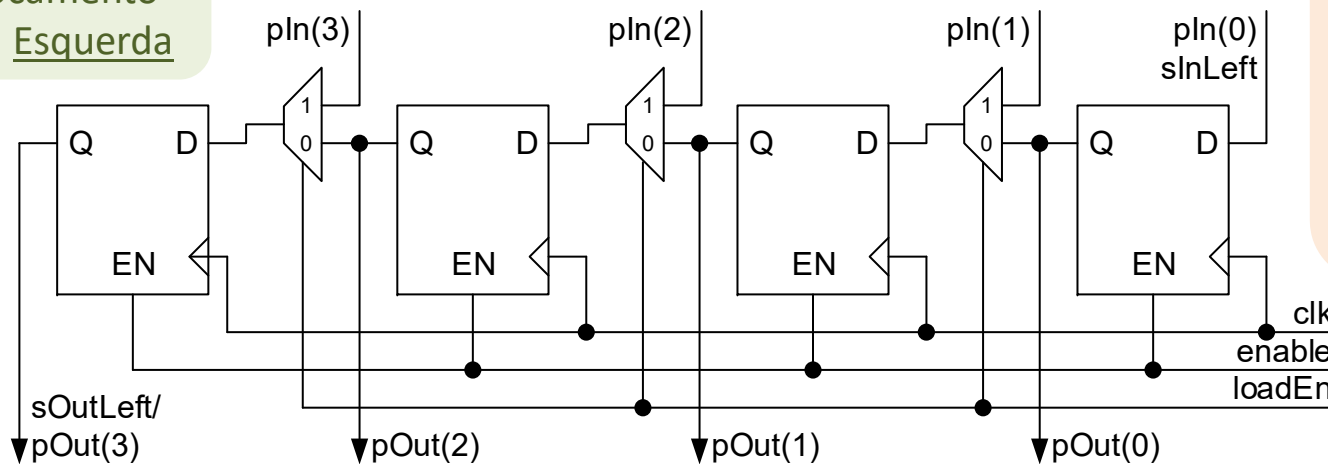
Interface e Estrutura de um Registro de Deslocamento

Registro de Deslocamento para a Direita

Qual a função de cada sinal de controlo e sincronização?

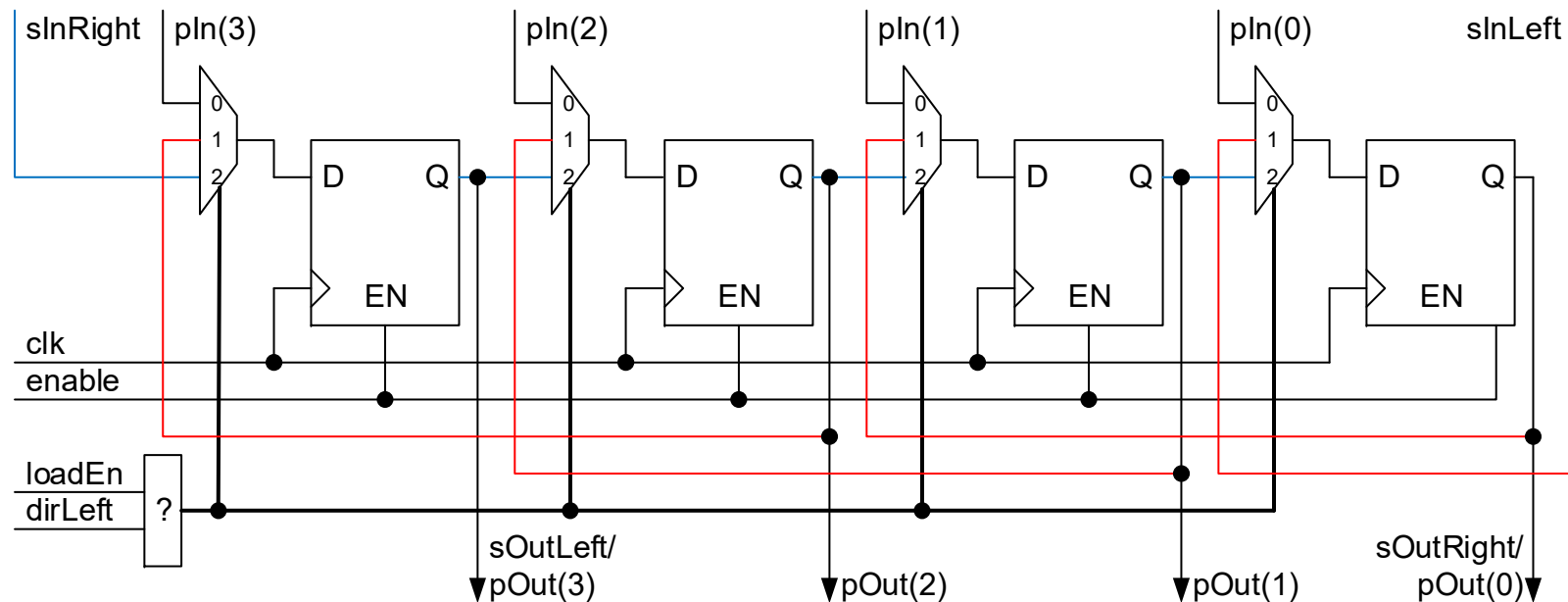


Registro de Deslocamento para a Esquerda



Na maior parte dos casos são necessárias apenas algumas destas entradas/saídas série/paralelas

Interface e Estrutura de um Registro de Deslocamento Bidirecional



enable	loadEn	dirLeft	Operação
0	-	-	Nenhuma (registro inalterado)
1	1	-	Carregamento paralelo
1	0	1	Deslocamento p/ a esquerda
1	0	0	Deslocamento p/ a direita

Determine a função lógica de cada sinal de seleção dos multiplexadores em função das entradas “loadEn” e “dirLeft”

Exemplo de Registo de Deslocamento

```
library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.all;

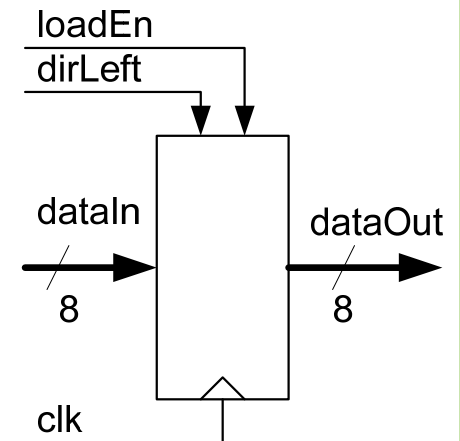
entity ShiftReg is
    port(clk      : in  std_logic;
         loadEn   : in  std_logic;
         dataIn   : in  std_logic_vector(7 downto 0);
         dirLeft  : in  std_logic;
         dataOut  : out std_logic_vector(7 downto 0));
end ShiftReg;

architecture Behavioral of ShiftReg is
    signal s_shiftReg : std_logic_vector(7 downto 0);
begin
    process(clk)
    begin
        if (rising_edge(clk)) then
            if (loadEn = '1') then
                s_shiftReg <= dataIn;
            elsif (dirLeft = '1') then
                s_shiftReg <= s_shiftReg(6 downto 0) & '0';
            else
                s_shiftReg <= '0' & s_shiftReg(7 downto 1);
            end if;
        end if;
    end process;

    dataOut <= s_shiftReg;

end Behavioral;
```

Exemplo com carregamento paralelo de uma “palavra” e o seu deslocamento bit-a-bit de forma síncrona com o *clock*

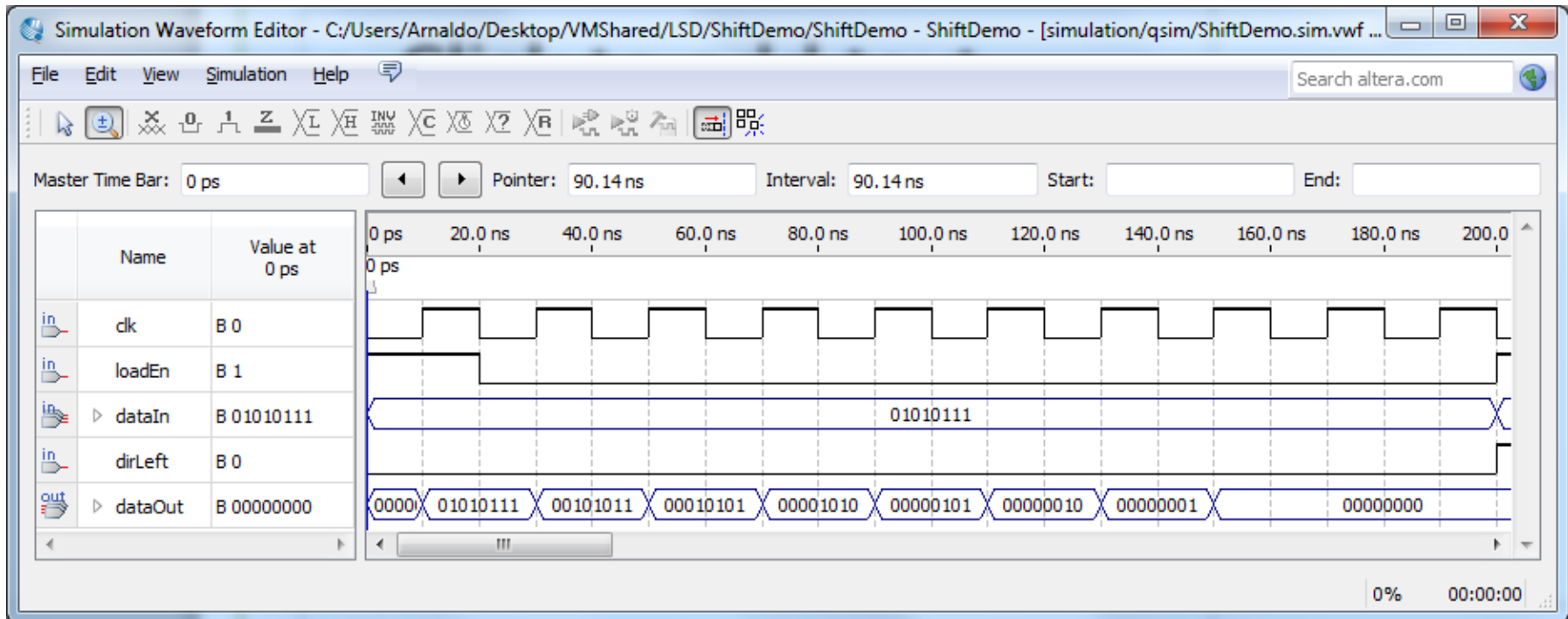


loadEn	dirLeft	Operação
1	-	Carregamento paralelo
0	1	Deslocamento p/ a esquerda
0	0	Deslocamento p/ a direita

Como realizar um deslocamento aritmético para a direita?
(ex. 1010 >> 1 = 1101)
Como realizar rotações?

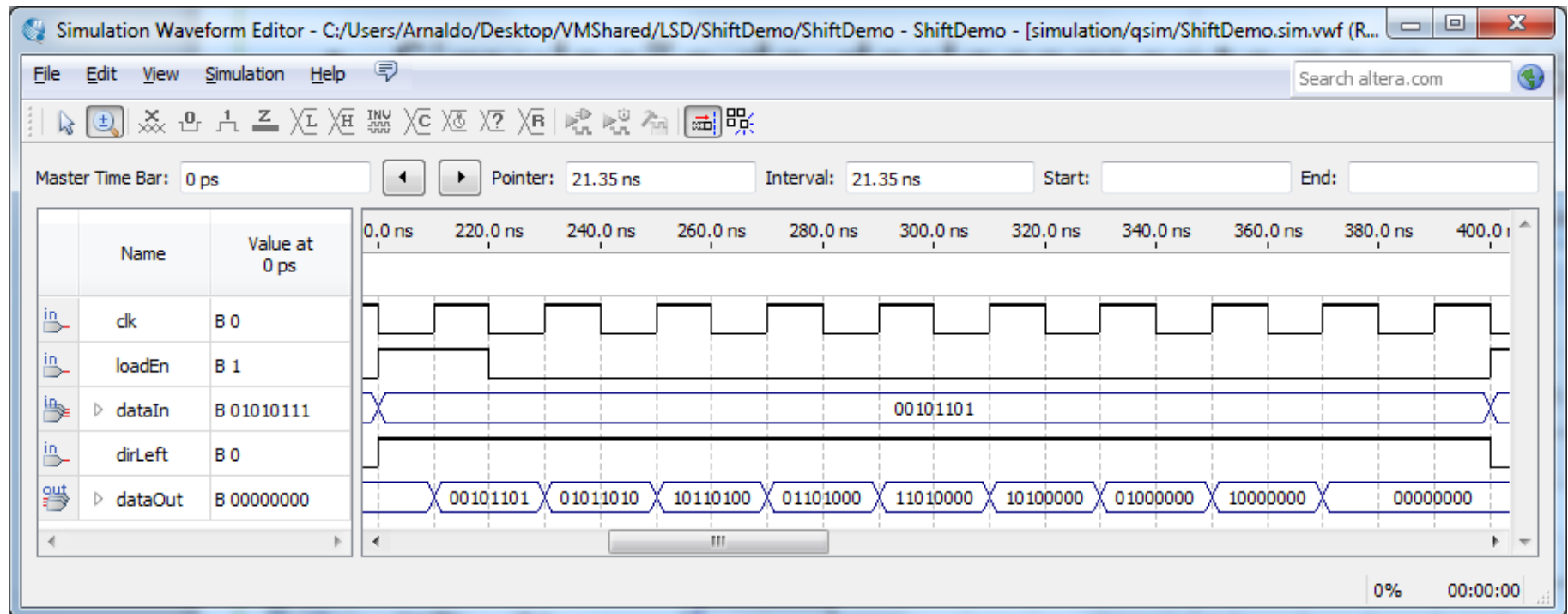
Simulação do Registo de Deslocamento

- Simulação do carregamento paralelo e deslocamento para a direita (loadEn = '1' -> loadEn = '0'; dirLeft = '0')



Simulação do Registo de Deslocamento

- Simulação do carregamento paralelo e deslocamento para a esquerda (loadEn = '1' -> loadEn = '0'; dirLeft = '1')



Mais um Exemplo de um Registo de Deslocamento

```

library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.all;

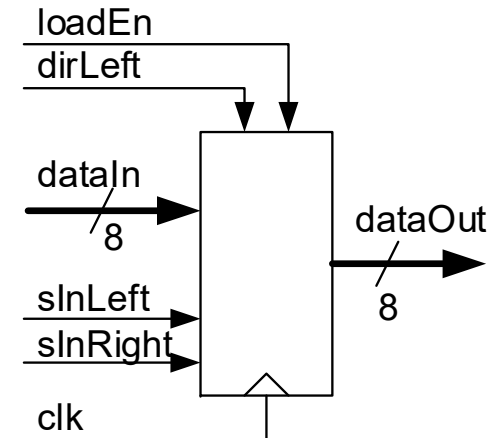
entity IterShifter is
  port (clk      : in  std_logic;
        loadEn   : in  std_logic;
        sInLeft  : in  std_logic;
        sInRight : in  std_logic;
        dataIn   : in  std_logic_vector(7 downto 0);
        dirLeft  : in  std_logic;
        dataOut  : out std_logic_vector(7 downto 0));
end IterShifter;

architecture Behavioral of IterShifter is
  signal s_shiftReg : std_logic_vector(7 downto 0);
begin
  process (clk)
  begin
    if (rising_edge(clk)) then
      if (loadEn = '1') then
        s_shiftReg <= dataIn;
      elsif (dirLeft = '1') then
        s_shiftReg <= s_shiftReg(6 downto 0) & sInLeft;
      else
        s_shiftReg <= sInRight & s_shiftReg(7 downto 1);
      end if;
    end if;
  end process;

  dataOut <= s_shiftReg;

end Behavioral;

```

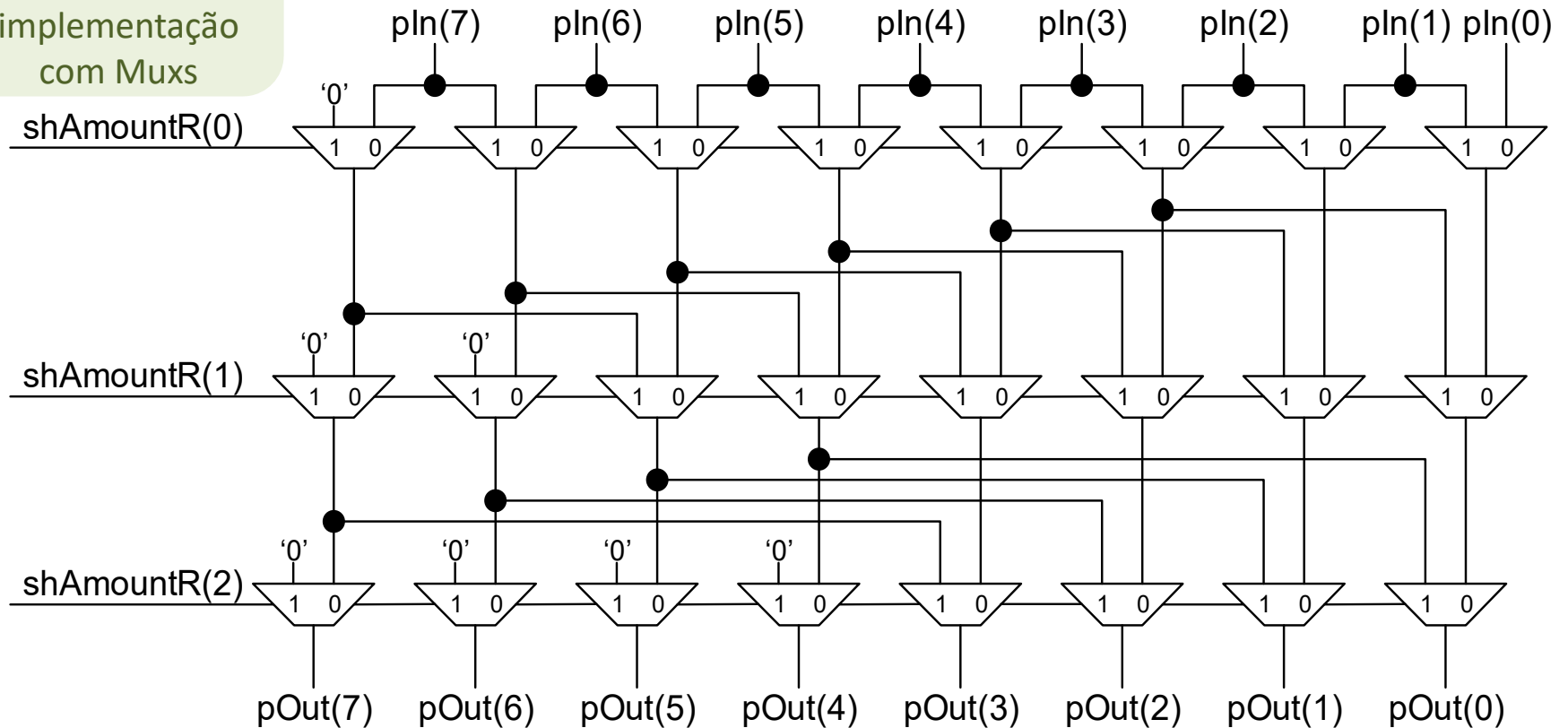


loadEn	dirLeft	Operação
1	-	Carregamento paralelo
0	1	Deslocamento p/ a esquerda
0	0	Deslocamento para a direita

Exemplo com entradas série e também de carregamento paralelo de uma “palavra” e o seu deslocamento bit-a-bit de forma síncrona com o *clock*

Interface e Estrutura de um *Barrel Shifter* (Combinatório)

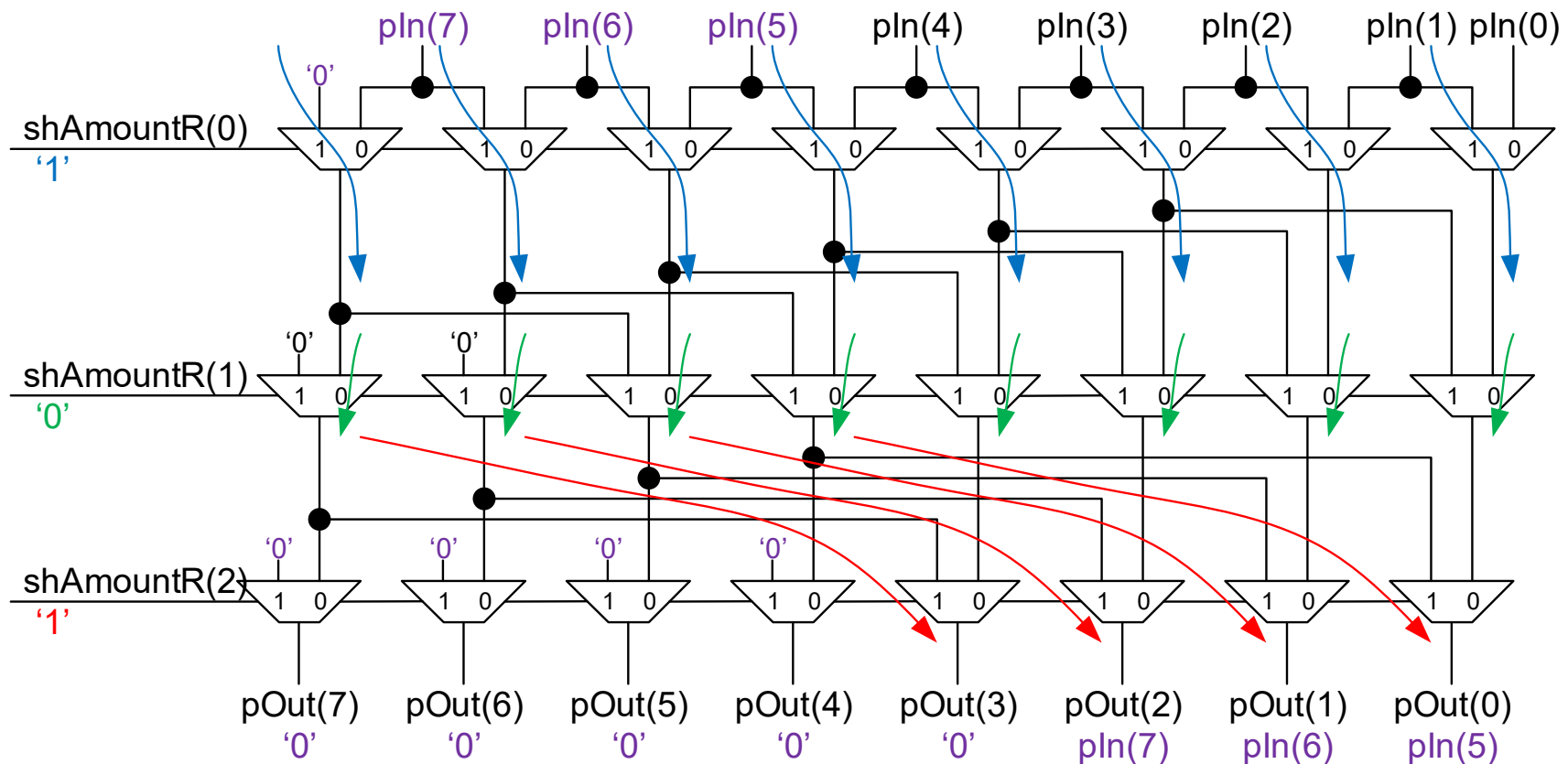
Exemplo de deslocamento lógico à direita e implementação com Muxs



Deslocamento realizado de forma combinatória (sem *clock*)
Entrada $shAmountR(i) = '1'$ provoca um deslocamento de 2^i

Realiza o deslocamento de “qualquer” número de bits sem necessitar de um sinal de relógio (de forma combinatória)

Exemplo de Operação de um *Barrel Shifter* (Combinatório)



TPC:

Como adaptar o circuito para realizar deslocamentos aritméticos?

Como estender o circuito para suportar também deslocamentos à esquerda?

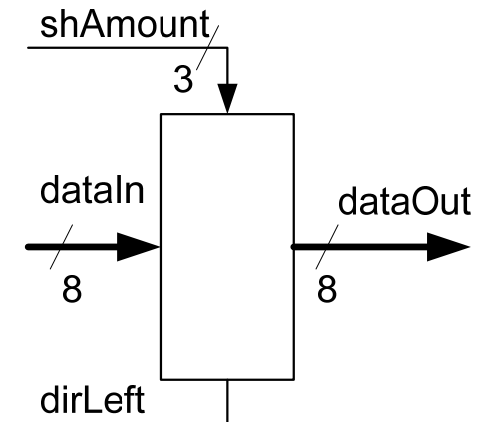
Exemplo em VHDL de um Módulo Combinatório de Deslocamento

```
library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.all;
use IEEE.NUMERIC_STD.all;

entity CombShifter is
  port(dataIn      : in  std_logic_vector(7 downto 0);
        dirLeft    : in  std_logic;
        shAmount   : in  std_logic_vector(2 downto 0);
        dataOut    : out std_logic_vector(7 downto 0));
end CombShifter;
```

```
architecture Behavioral of CombShifter is
  signal s_shAmount : integer;
begin
  s_shAmount <= to_integer(unsigned(shAmount));

  process(dataIn, dirLeft, s_shAmount)
  begin
    if (dirLeft = '1') then
      dataOut <= std_logic_vector(shift_left(unsigned(dataIn), s_shAmount));
    else
      dataOut <= std_logic_vector(shift_right(unsigned(dataIn), s_shAmount));
    end if;
  end process;
end Behavioral;
```

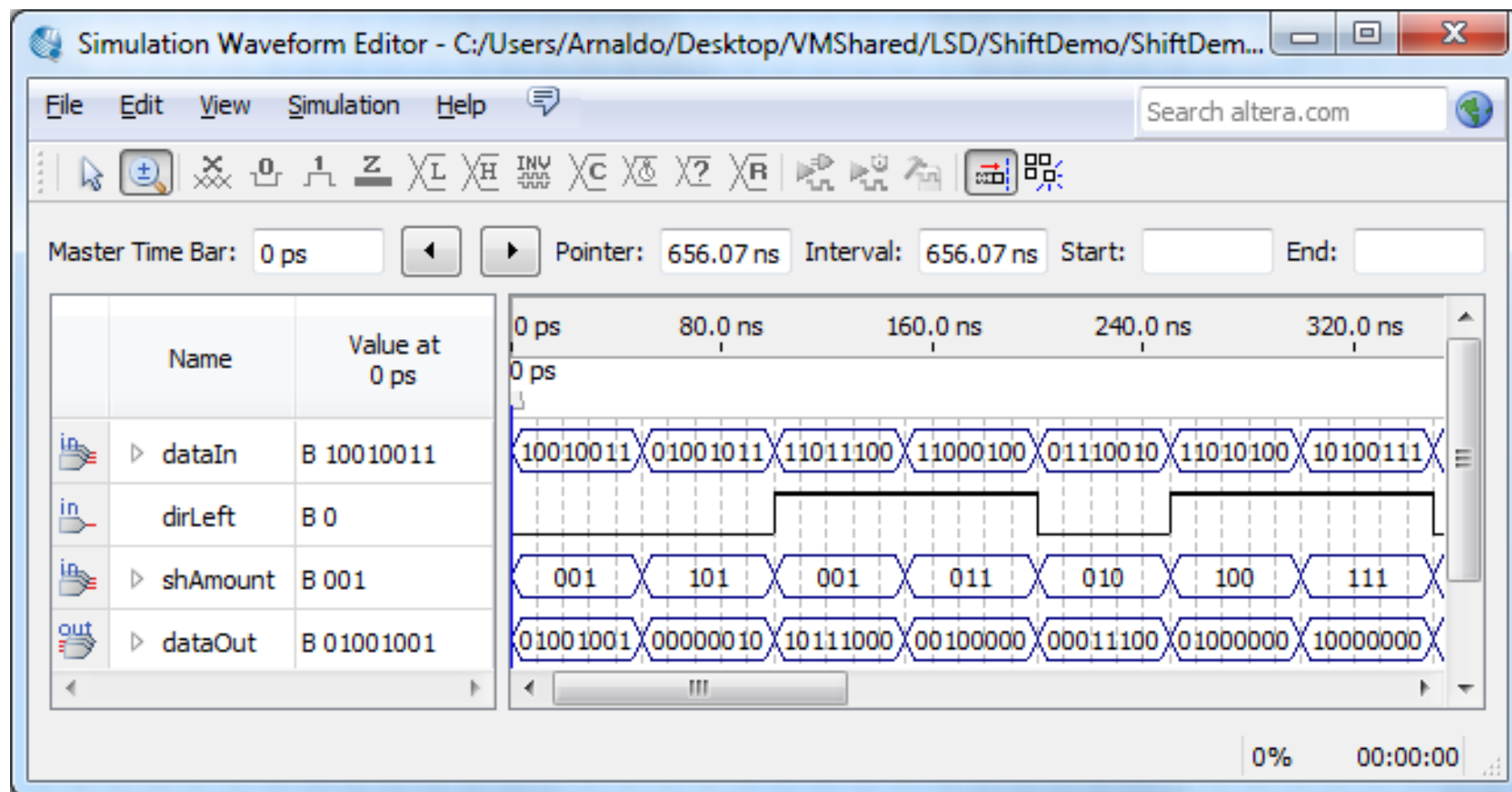


Deslocamento Lógico
shift_left(unsigned, integer)
shift_right(unsigned, integer)
Deslocamento Aritmético
shift_right(signed, integer)

A síntese deste módulo resulta num *Barrel Shifter*

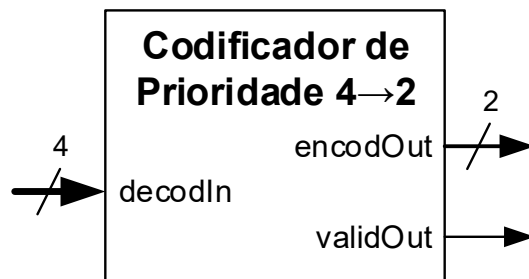


Simulação do Módulo Combinatório de Deslocamento



Sistematização da Estrutura Típica dos Processos

Processo relativo a um componente
combinatório: codificador de prioridade 4→2



decodIn				encodOut		validOut
3	2	1	0	1	0	
1	-	-	-	1	1	1
0	1	-	-	1	0	1
0	0	1	-	0	1	1
0	0	0	1	0	0	1
0	0	0	0	-	-	0

```

process (decodIn)
begin
    if (decodIn(3) = '1') then
        validOut <= '1';
        encodOut <= "11";
    elsif (decodIn(2) = '1') then
        validOut <= '1';
        encodOut <= "10";
    elsif (decodIn(1) = '1') then
        validOut <= '1';
        encodOut <= "01";
    elsif (decodIn(0) = '1') then
        validOut <= '1';
        encodOut <= "00";
    else
        validOut <= '0';
        encodOut <= "--";
    end if;
end process;
    
```

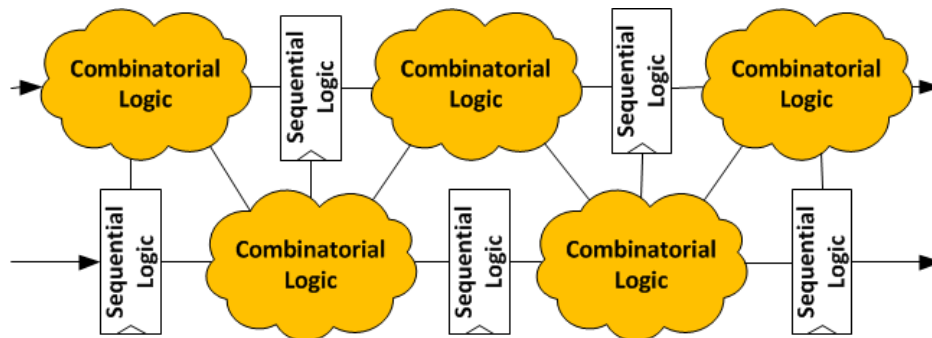
Estrutura Típica de Processos Combinatórios

Estrutura geral:

```
process (<lista de sensibilidade  
        com todas as entradas do  
        processo>)  
begin  
    <atribuições a sinais/portos -  
    saídas devem especificadas para  
    todas as combinações dos vetores  
    de entrada - mesmo que sejam  
    don't care (para evitar latches)>  
end process;
```

Exemplo (Codificador de prioridade 4→2):

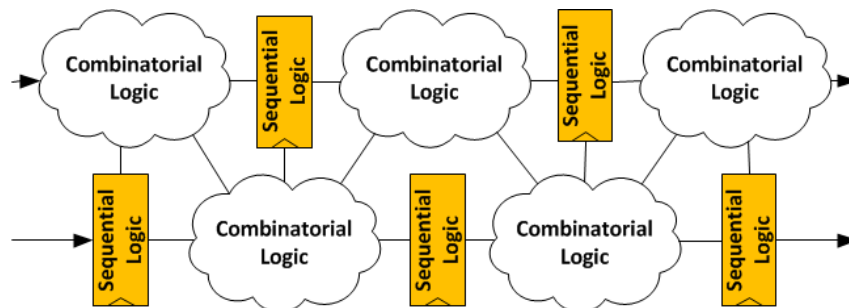
```
process (decodIn)  
begin  
    if (decodIn(3) = '1') then  
        validOut <= '1';  
        encodOut <= "11";  
    elsif (decodIn(2) = '1') then  
        validOut <= '1';  
        encodOut <= "10";  
    elsif (decodIn(1) = '1') then  
        validOut <= '1';  
        encodOut <= "01";  
    elsif (decodIn(0) = '1') then  
        validOut <= '1';  
        encodOut <= "00";  
    else  
        validOut <= '0';  
        encodOut <= "--";  
    end if;  
end process;
```



Estrutura Típica de Processos Sequenciais

Estrutura Geral:

```
process(<lista de sensibilidade  
      com sinais de clock e  
      set/reset assíncronos>  
begin  
  <teste de sinais assíncronos>  
  <atribuições assíncronas>  
  <teste do flanco ativo do clock>  
  <teste de sinais síncronos >  
  <atribuições síncronas>  
end process;
```



Exemplo (contador binário up/down com enable e reset assíncrono):

```
process(reset, clk)  
begin  
  if (reset = '1') then  
    s_cnt <= (others => '0');  
  elsif (rising_edge(clk)) then  
    if (enable = '1') then  
      if (up = '1') then  
        s_cnt <= s_cnt + 1;  
      else  
        s_cnt <= s_cnt - 1;  
      end if;  
    end if;  
  end if;  
end process;
```


Saídas não Completamente Especificadas (Inferência de Latches)

- Quando o valor de um sinal/porto não é especificado para um ou mais conjuntos de entradas
 - A ferramenta de síntese infere que esse sinal/porto deve corresponder à saída de um elemento de memória (porquê?)
 - Flip-flop
 - Latch
- Latches* são pouco usados, MAS são frequentemente inferidos devido a “descrições combinatórias incompletas NÃO pretendidas”

Se a linha `encodOut<="--"` for removida, o sinal `encodOut` não está especificado para `decodIn="0000"`, levando a ferramenta de síntese a inferir uma *latch* para este sinal!!!

Exemplo: Codificador de prioridade 4→2

```
process (decodIn)
begin
    if (decodIn(3) = '1') then
        validOut <= '1';
        encodOut <= "11";
    elsif (decodIn(2) = '1') then
        validOut <= '1';
        encodOut <= "10";
    elsif (decodIn(1) = '1') then
        validOut <= '1';
        encodOut <= "01";
    elsif (decodIn(0) = '1') then
        validOut <= '1';
        encodOut <= "00";
    else
        validOut <= '0';
        encodOut <= "--";
    end if;
end process;
```



Múltiplas Atribuições a Sinais/Portos no Caminho de Execução de um Processo

- Boa prática
 - Realizar apenas uma atribuição a um sinal/porto ao longo do caminho de execução de um processo
- No entanto, se forem realizadas múltiplas atribuições, segundo a semântica de VHDL, prevalece a última
 - Utilizar esta facilidade para tornar o código mais compacto e se não afetar a legibilidade

Exemplo com o codificador de prioridade 4→2:

```
process (decodIn)
begin
    validOut <= '1';

    if (decodIn(3) = '1') then
        encodOut <= "11";
    elsif (decodIn(2) = '1') then
        encodOut <= "10";
    elsif (decodIn(1) = '1') then
        encodOut <= "01";
    elsif (decodIn(0) = '1') then
        encodOut <= "00";
    else
        validOut <= '0';
        encodOut <= "--";
    end if;
end process;
```

Sobre as Atribuições a Sinais/Portos

- Um sinal pode corresponder à saída de um componente combinatório ou sequencial (tudo depende da forma como for feita a atribuição)

```
process(enable, dataIn)
begin
    if (enable = '1') then
        dataOut <= dataIn;
    end if;
end process;
```

Sequencial (latch)

```
process(sel, dataIn0, dataIn1)
begin
    if (sel = '0') then
        dataOut <= dataIn0;
    else
        dataOut <= dataIn1;
    end if;
end process;
```

Combinatório (mux)

```
process(clk)
begin
    if (clk'event and clk = '1') then
        dataOut <= dataIn;
    end if;
end process;
```

Sequencial (flip-flop)



Erro “Multiple Drivers” / “Multisource”

- Em geral, apenas 1 processo/módulo pode controlar (*to drive*) um sinal/porto de saída
 - Não fazer atribuições a um dado sinal/porto em mais do que processo/atribuição concorrente **e/ou**
 - Não ligar um sinal/porto a mais do que um porto de saída
 - Exceção: sinais com múltiplos *drivers* com capacidade *tri-state* (alta impedância) – a abordar mais tarde...

Exemplo de erros de “multiple / conflict drivers / multisource”:

```
p1 : process(...)
begin
    ...
    dataOut <= ...;
    ...
end process;
...
p2 : process(...)
begin
    ...
    dataOut <= ...;
    ...
end process;
...
dataOut <= ...;
...
dataOut <= ...;
...
    port map(... => dataOut);
...
    port map(... => dataOut);
```



Comentários Finais

- No final desta aula e do trabalho prático 6 de LSD, deverá ser capaz de:
 - Modelar em VHDL módulos de deslocamento
 - Sequenciais
 - Combinatórios
 - Usar (ainda melhor) um subconjunto das construções de VHDL juntamente com estilos de codificação adequados para simulação e implementação

(o trabalho prático 5 é sobre parametrização de componentes em VHDL – abordada nas aulas TP 3 e 4)