

# Introdução a VHDL

## Aula 1

**Professora Luiza Maria Romeiro Codá**

# Introdução a VHDL

Buscar no Link da disciplina no stoa moodle USP

- ✓ Ler a o arquivo “Dispositivos Lógicos Programáveis”;
- ✓ Baixar o software Quartus II web edition v 15.0 da Altera  
Tutorial no arquivo “Guia de projetos em VHDL para o Quartus”;

Livro texto: “VHDL- Descrição e Síntese de Circuitos Digitais “  
Roberto D’Amore  
Editora LTC

# HDL – *Hardware Description Language* (Linguagem de Descrição de Hardware)

Linguagem para descrever o funcionamento de um sistema (o que e como o sistema faz).

O sistema descrito em HDL pode ser implementado em um dispositivo programável HCPLD (Dispositivo Programável de Alta Complexidade) (ex.: FPGA, CPLD).

FPGA = *Field Programmable Gate Array*

CPLD = *Complex Programmable Logic Device*

Existem dezenas de HDLs:

AHDL, Verilog, VHDL, Hendel-C, SDL, ABEL, ISP, etc.

# VHDL – Introdução

**VHDL** é uma linguagem que possibilita o circuito eletrônico ser descrito com sentenças como uma linguagem de programação possibilitando a simulação e síntese do circuito em um dispositivo programável de alta complexidade (HCPLD)

**VHSIC**: *Very High Speed Integrated Circuits*

**ASIC**: *Application-Specific Integrated Circuit*

**VHDL**: *VHSIC Hardware Description Language*

# VHDL – Introdução

## Algumas vantagens:

- Facilidade de atualização dos projetos
- Diferentes alternativas de implementação, permitindo vários níveis de abstração
- Verificação do comportamento do sistema digital através de simulação
- Redução do tempo de desenvolvimento e custo do projeto
- Eliminação de erros de baixo nível do projeto
- Projeto independente da tecnologia

## Algumas desvantagens

- Dificuldade para otimização no *hardware* gerado
- Necessidade de treinamento para lidar com a linguagem

# VHDL – Características

Favorece projeto “*Top-Down*”.

Permite descrever o sistema em diferentes níveis de abstração:

- Nível de sistema
- Nível de transferência entre registradores (*RT level*)
- Nível lógico
- Nível de circuito

Permite três diferentes estilos de descrição:

- Comportamental
- Estrutural
- Fluxo de Dados ou Físico

# VHDL – Características

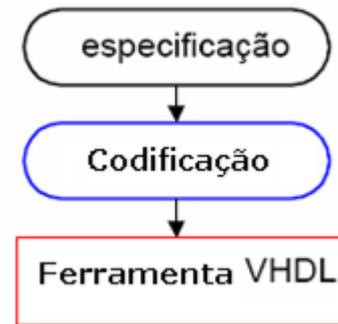
A linguagem VHDL é análoga a uma linguagem de programação.

Provê mecanismos para modelar a concorrência e sincronização que ocorrem a nível físico no *hardware*.

Projetar um sistema em VHDL é geralmente muito mais difícil do que escrever um programa que realiza a mesma função utilizando uma linguagem de programação de médio/alto nível, como C.

O código VHDL é interpretado em um simulador ou sintetizado em *hardware* (não gera código objeto).

# Ciclo de Projeto



**Especificação:** Determinar requisitos e funcionalidades do projeto.

**Codificação:** Descrever em VHDL o projeto seguindo as regras de sintaxe.

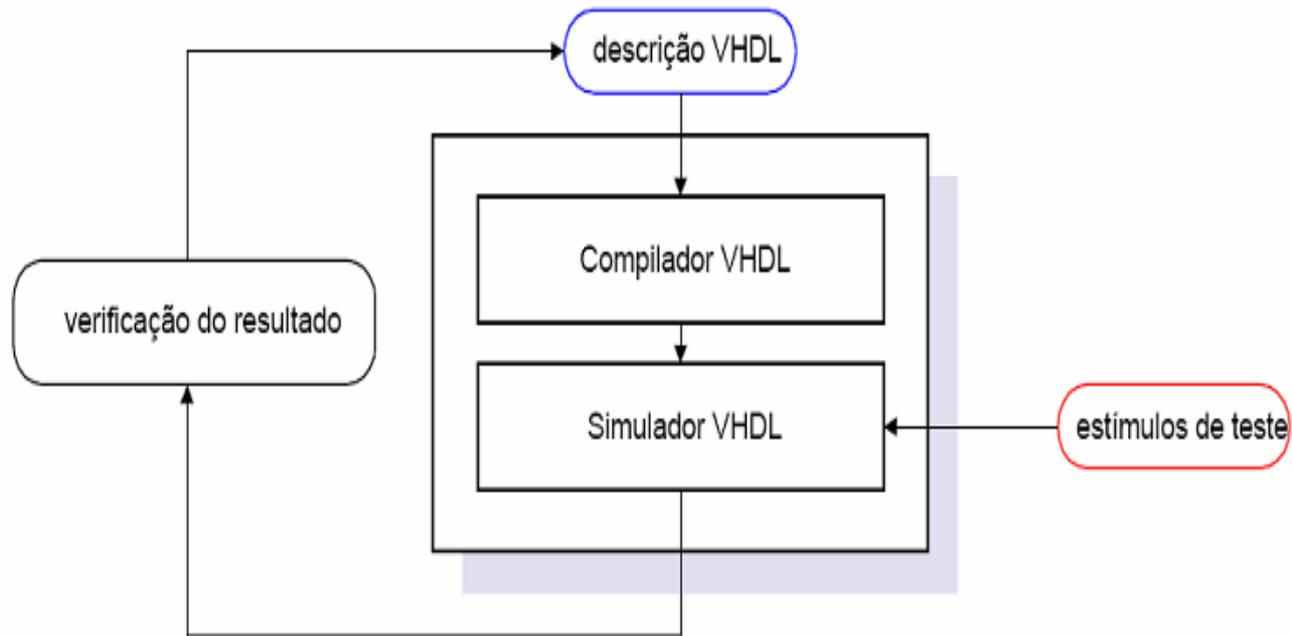
**Ferramenta:** Submeter a descrição a um *software* para verificar a correspondência entre especificação e código e sintetizar o circuito:

**Compilação:** Transforma o arquivo texto em informações sobre o circuito.

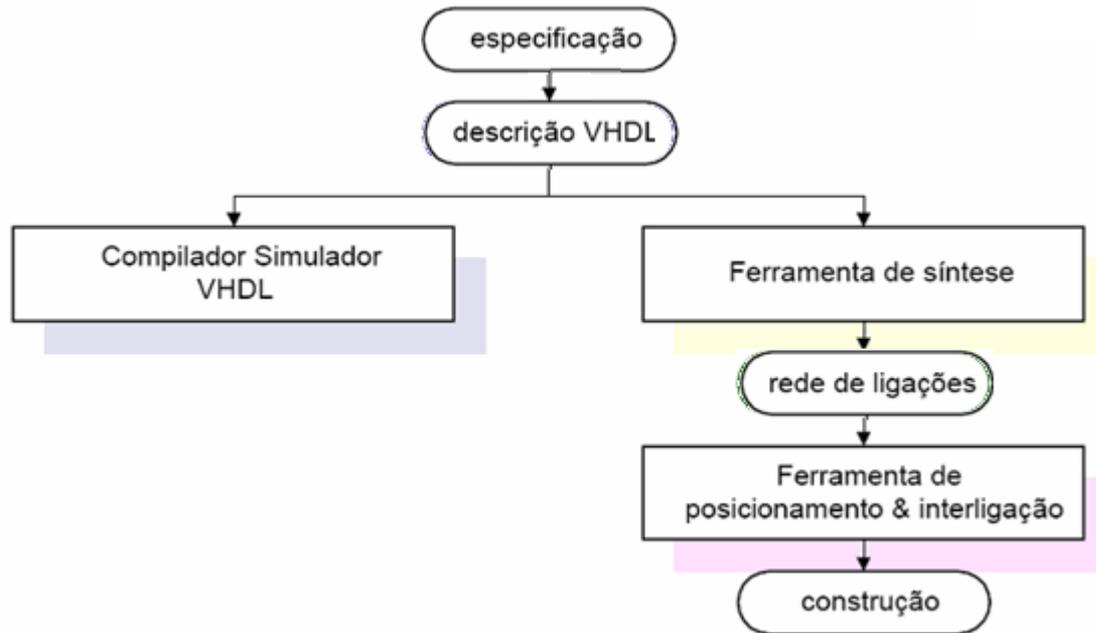
**Simulação:** Verificação preliminar do funcionamento do circuito.

**Síntese:** Configuração do circuito na tecnologia escolhida.

# Ciclo de Projeto



# Ciclo de Projeto



# Sintaxe

## Nomes em VHDL (arquivos, sinais e variáveis) :

- VHDL não é *case sensitive* (não distingue caracteres maiúsculos e minúsculos).
- apenas letras, dígitos e sublinhados podem ser usados;
- O primeiro caractere deve ser uma letra;
- O último caractere não pode ser um sublinhado;
- Podem ser utilizados dois sublinhados;
- Não são permitidos dois sublinhados consecutivos;
- Não pode ser utilizadas palavras reservadas , nem nomes de operadores, nem caracteres especiais.

Nomes permitidos	Nomes não permitidos
clk_1	_clk_1
ent2	sinal#1
ent_a_04	ent__a
	clk_

- Os comentários em VHDL são iniciados após dois traços “- -“ e se estende até o fim da linha em questão.
- As sentenças são terminadas por “;“.
- Atribuição de valores a sinais: “<=“.
- Atribuição de valores a variáveis “:=“.

# Sintaxe – Palavras Reservadas

abs access after alias all and architecture array assert attribute	file for function	nand new next nor not null	then to transport type	disconnect downto	label libraries linkage literal loop	range record register reject rem report return rol ror	wait when while with
begin block body buffer bus	generate generic group guarded	of on open or others out	unaffected units until use	else elseif end entity exit	map mod	select severity shared signal sla sll sra srl subtype	xor xnor
case component configuration constant	if impure in inertial inout is	package port postponed procedure process pure	variable				

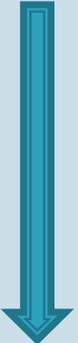
# Sintaxe – Operadores

Símbolo	Significado	Símbolo	Significado
+	Adição ou número positivo	:	Separação entre uma variável e o tipo
-	Subtração ou número negativo	“	Aspas dupla
/	Divisão	‘	Aspas simples ou marca de tick
=	Igualdade	**	Exponenciação
<	Menor do que	=>	Seta indicando "então"
>	Maior do que	=>	Seta indicando "recebe"
&	Concatenador	:=	Associação de valor para variáveis
	Barra vertical	/=	Desigualdade
;	Terminador	>=	Maior do que ou igual a
#	Literal incluído	<=	Menor do que ou igual a
(	Parêntese da esquerda	<=	Associação de valor para sinais
)	Parêntese da direita	◊	Caixa
.	Notação de Ponto	--	Comentário

# Sintaxe – Funções Lógicas

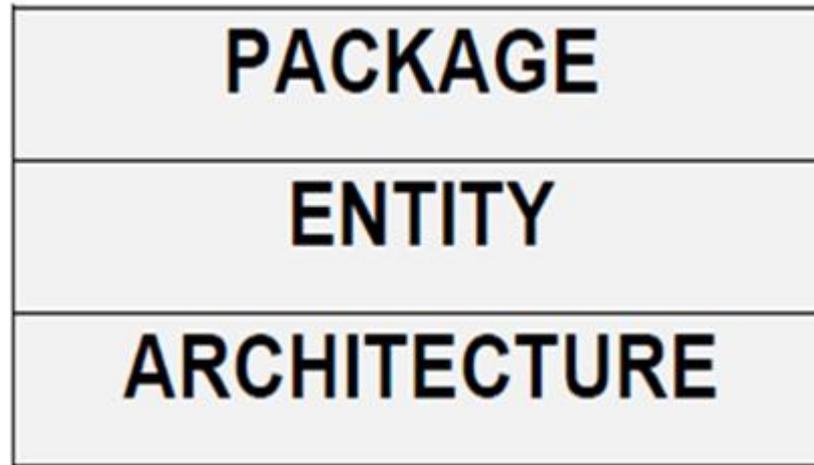
Operador	Operação	Tipo do operador da esquerda	Tipo do operador da direita	Tipo do resultado
<b>and</b>	Lógica E	Bit, booleana ou array (bit,boolean)	Mesmo do anterior	boolean
<b>or</b>	Lógica OR	Bit, booleana ou array (bit,boolean)	Mesmo do anterior	boolean
<b>nand</b>	Lógica E negada	Bit, booleana ou array (bit,boolean)	Mesmo do anterior	boolean
<b>nor</b>	Lógica OR negada	Bit, booleana ou array (bit,boolean)	Mesmo do anterior	boolean
<b>xor</b>	Lógica OR exclusivo	Bit, booleana ou array (bit,boolean)	Mesmo do anterior	boolean
<b>xnor</b>	Lógica OR exclusivo negada	Bit, booleana ou array (bit,boolean)	Mesmo do anterior	boolean

# Sintaxe – Precedência de Operadores

Precedência	Classe	Operadores
 <p>Menor</p> <p>Maior</p>	Lógicos	and, or, nand, nor, xor, xnor
	Relacionais	= /= < <= > >=
	Deslocamento	Sll srl sla sra rol ror
	Adição	+ - &
	Sinal	+ -
	Multiplicação	* / mod rem
	Diversos	** Abs not

Obs: O operador “not” apresenta maior precedência

# VHDL - Estrutura de uma descrição



**Package (Pacote):** Constantes, bibliotecas.

**Entity (Entidade):** Pinos de entrada e saída.

**Architecture (Arquitetura):** Implementações do projeto.

# VHDL - Estrutura de uma descrição

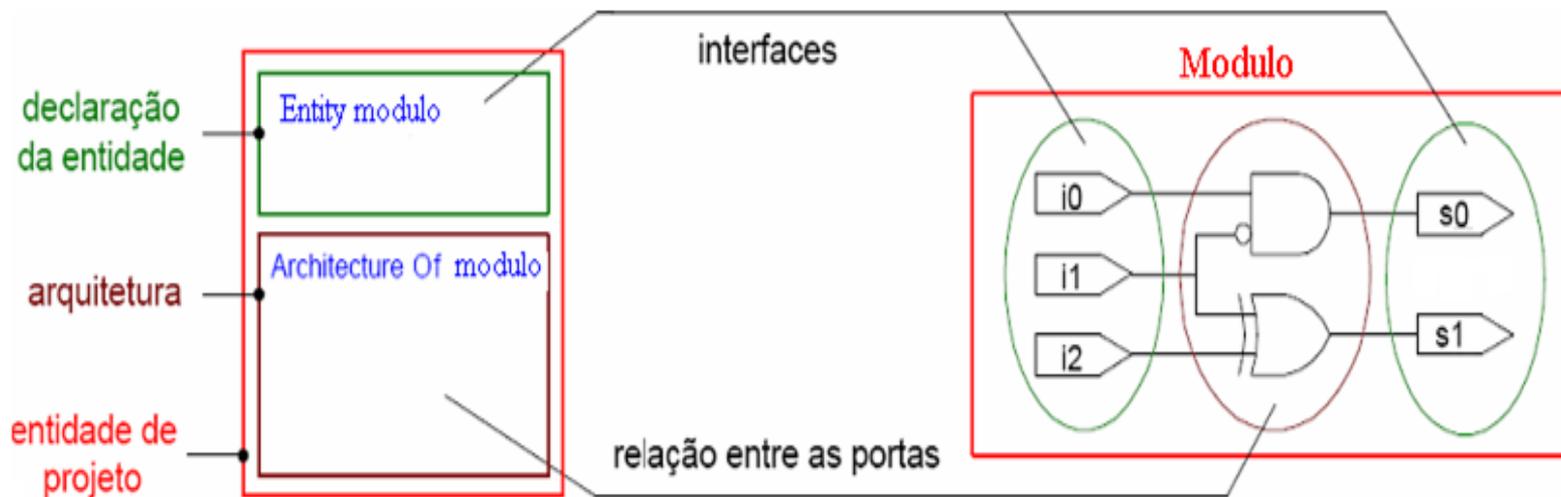
Exemplo:

<pre>LIBRARY IEEE; USE IEEE.STD_LOGIC_1164.all; USE IEEE.STD_LOGIC_UNSIGNED.all;</pre>	PACKAGE (BIBLIOTECAS)
<pre>ENTITY exemplo IS PORT (     &lt;descrição dos pinos de I/O&gt; ); END exemplo;</pre>	ENTITY (PINOS DE I/O)
<pre>ARCHITECTURE teste OF exemplo IS BEGIN     ... END teste;</pre>	ARCHITECTURE (ARQUITETURA)

# Estrutura de uma descrição VHDL

Utilizando apenas as bibliotecas da ferramenta de trabalho :

Obs: Não necessita declarar PACKAGE



# ENTITY

A declaração da Entidade do Projeto define a interface entre o circuito projetado e o meio externo, por exemplo, os pinos de entradas e saídas.

A declaração de cada pino é composta por 3 elementos:

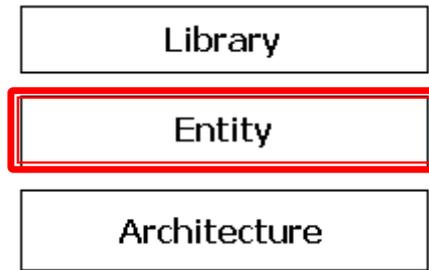
Nome do pino

Modo de Operação

Tipo de Dados

## Formato da declaração de Entidade:

```
ENTITY <nome_da_entidade> IS
    PORT(<nome> : <modo> <tipo>
    );
END <nome_da_entidade> ;
```



# ENTITY

**PORT:** Corresponde aos pinos de entrada e saída.

**Modos de Operação:** descreve o sentido do fluxo de dados tomando com referência o componente.

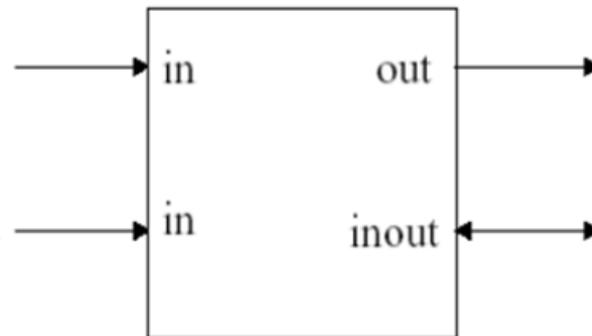
**IN:** Pino de entrada.

**OUT:** Pino de saída. Não pode ser lido internamente pela própria Entidade.

**INOUT:** Pino de entrada/saída (bidirecional selecionável).

**BUFFER:** Pino de saída que pode ser lido internamente.

**LINKAGE:** o sentido do fluxo de dados é desconhecido.



# ENTITY

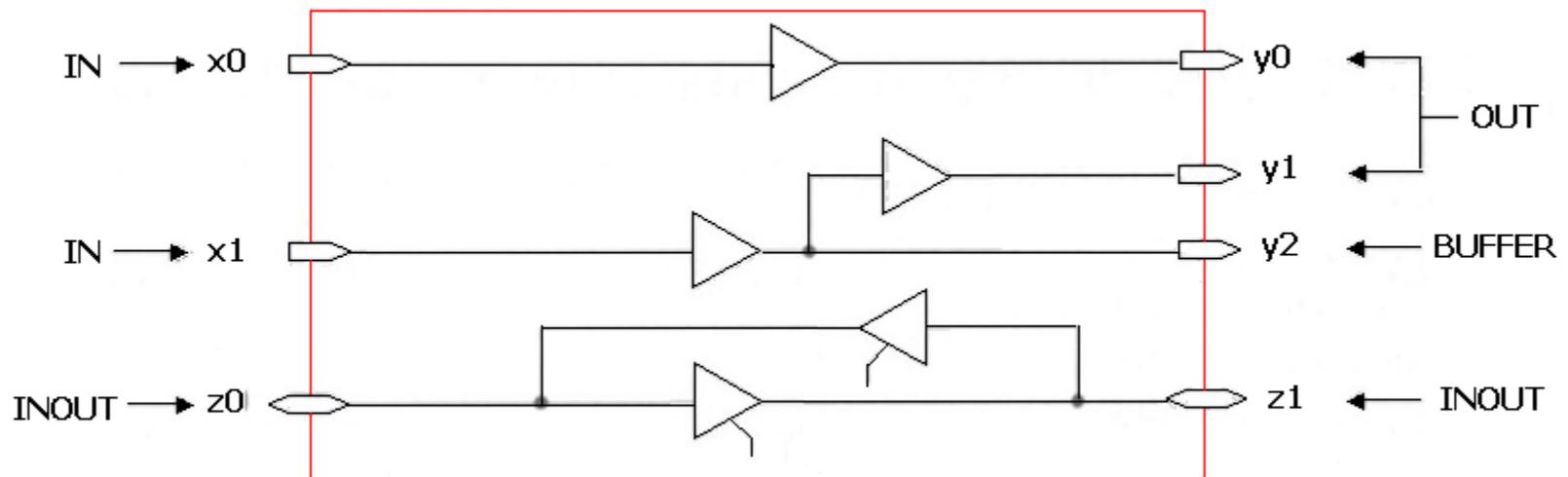
Abstração que descreve a interface de um sistema, uma placa, um chip, uma função ou uma porta lógica. Descrição geral:

```
ENTITY <nome_da_entidade> IS
  PORT(entrada_1 : IN   <tipo>;
        entrada_2 : IN   <tipo>;
        .....
        saída_1  : OUT   <tipo>;
        saída_2  : INOUT <tipo>;
        saída_3  : BUFFER <tipo>
  );
END <nome_da_entidade>;
```

# ENTITY

Exemplo:

```
ENTITY entidade_exemplo IS
  PORT(x0, x1 : IN    <tipo_a>; -- Entradas
        y0, y1 : OUT  <tipo_b>; -- Saídas
        z0, z1 : INOUT <tipo_c>; -- Entrada/saída
        y2   : BUFFER <tipo_d>;-- Saída realimentada internamente
END entidade_exemplo;
```



# Tipos em VHDL

- ✓ Tipos pré-definidos na biblioteca work:
- ✓ Tipos definidos pelo projetista : usa a palavra reservada **TYPE** (será visto nas próximas aulas)

# Tipos em VHDL

## ✓ Tipos pré-definidos na biblioteca work:

- BIT : assume valor '0' ou '1'
- BIT\_VECTOR: designa um conjunto de bits. Ex: "10101" ou x"00FF"
- BOOLEAN: assume valores { true, false} (Útil apenas para descrições abstratas, onde sinal só pode assumir dois valores)  
Obs: Em VHDL os valores booleanos (false and true) não são idênticos ao lógico '0' e '1'.
- INTEGER : Valores:  $-(2^{31}-1)$  até  $(2^{31}-1)$   
Atribuição de valor: `integer_signal <= 9;`
- REAL: números de ponto flutuante de -1.0E308 a 1.0E308
- NATURAL: Valores: 0 até  $2^{31}-1$   
Atribuição de valor: `natural_signal <= 9;`
- CHARACTER : é definido por character entre aspas simples "a", "x", "A"  
VHDL não é "case sensitive", exceto para o tipo Character.  
Atribuição de valor: `char_signal <= 'a';`
- STRING: tipo que designa um conjunto de caracteres.  
Ex: "vhdl"

# ENTITY

## Tipos mais utilizados

Biblioteca	TIPO	Exemplo de utilização	Explicação
Work	BIT	x: IN BIT;	Entrada x assume valores lógicos '0' ou '1'.
	BIT_VECTOR	x: IN BIT_VECTOR(7 downto 0); y: IN BIT_VECTOR(0 to 7);	Define entrada vetor de 8 bits: x(7) x(6) ... x(1) x(0), onde x(0) é o LSB e y(0) y(1) ...y(6) y(7), onde y(0) é o MSB.
	INTEGER	X: IN INTEGER RANGE 0 TO 10;	Vetor de bits manipulado como um número inteiro. No caso, 4 bits.
IEEE	STD_LOGIC	X: IN STD_LOGIC;	Assume os valores mostrados na tabela a seguir.
	STD_LOGIC_VECTOR	x: IN STD_LOGIC_VECTOR(7 downto 0); y: IN STD_LOGIC_VECTOR(0 to 7);	Define entrada vetor de 8 bits: x(7) x(6) ... x(1) x(0), onde x(0) é o LSB e y(0) y(1) ...y(6) y(7), onde y(0) é o MSB.

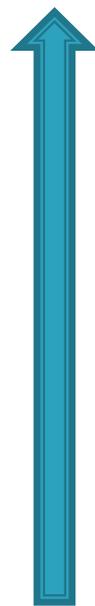
**OBS: A biblioteca WORK é incluída automaticamente no projeto VHDL.**

# ENTITY

## Tipos mais utilizados

Biblioteca IEEE: Tipos STD\_LOGIC e STD\_LOGIC\_VECTOR

Precedência



Valor		Estado Lógico	
U		Não Inicializado	
X		Desconhecido Forte	
0	1	Nível Baixo Forte	Nível Alto Forte
W		Desconhecido Fraco	
L	H	Nível Baixo Fraco	Nível Alto Fraco
Z		Alta Impedância	
-		Não Importa	

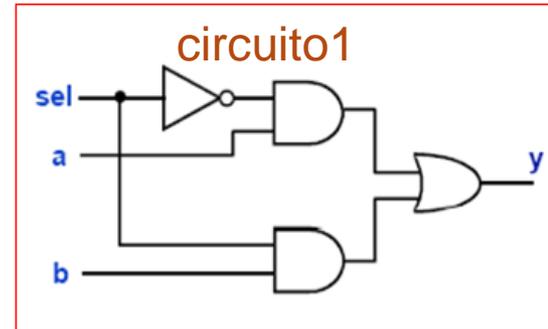
# Observações:

- As operações lógicas são realizadas sobre tipos bit, boolean, STD\_LOGIC.
- Os operadores aritméticos trabalham sobre tipos inteiros e reais.
- A concatenação (&) é aplicável sobre caracteres, strings, bits, vetores de bits e arrays.

# ENTITY - Exemplos

Usando a Biblioteca padrão (“Work”):

```
ENTITY circuito1 IS
  PORT (sel : IN BIT;
        a, b : IN BIT;
        y  : OUT BIT
        );
END circuito1;
```

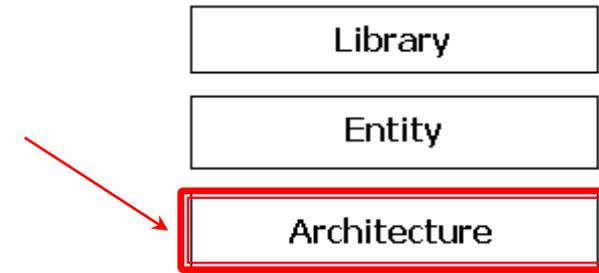


Usando o pacote **std\_logic\_1164** da Biblioteca IEEE:

```
LIBRARY ieee;
USE ieee.std_logic_1164.all;
ENTITY circuito1 IS
  PORT(sel, a, b : IN STD_LOGIC;
        y      : OUT STD_LOGIC
        );
END circuito2;
```

**Observação:** A extensão de um arquivo em VHDL é “.vhd”.  
O nome do arquivo deve ser o mesmo nome da entidade.  
No caso dos exemplo o arquivo deve ser salvo como  
“circuito1.vhd”

# ARCHITECTURE



A Arquitetura descreve a relação entre as entradas e saídas do circuito, ou seja, descreve o comportamento (funcionamento) do circuito.

Uma Arquitetura consiste de duas partes:

Declaração da Arquitetura  
Corpo da Arquitetura

Arquiteturas Múltiplas:

A última arquitetura compilada é a que é utilizada

# ARCHITECTURE

É formada por:

**Declarações:** Sinais, constantes componentes, subprogramas, etc.

**Comandos:** Blocos, atribuições a sinais, instanciação de componentes, chamadas de subprogramas, processos, etc.

**Uma entidade pode ter várias arquiteturas:**

Apenas uma delas pode estar ativa (o VHDL provê meios de escolher qual arquitetura utilizar). Isto possibilita criar variantes de um mesmo projeto.

# ARCHITECTURE

## Descrição geral:

-- Seção de declaração da arquitetura:

**ARCHITECTURE** <nome\_identificador> **OF** <nome\_entidade> **IS**

-- Região de declarações (são “visíveis” em toda a arquitetura):

-- Declarações de sinais e constantes

-- Declarações de componentes

-- Declaração e corpo de subprogramas

-- Definição de novos tipos utilizados nesta arquitetura

**BEGIN**

-- Corpo da arquitetura:

-- Comandos concorrentes

**END** <nome\_identificador>;

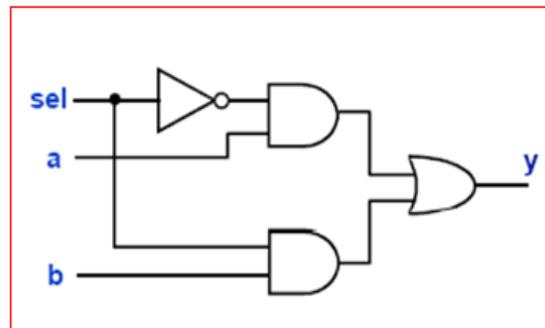
# ARCHITECTURE

Exemplo completo de uma descrição em VHDL utilizando a biblioteca padrão “Work”:

```
ENTITY circuito1 IS
  PORT(sel, a, b : IN BIT;
        y       : OUT BIT);
END circuito1;

ARCHITECTURE funcionamento OF circuito1 IS
BEGIN
  y <= ( a AND (NOT sel )) OR (b AND sel);

END funcionamento;
```



# ARCHITECTURE

A arquitetura de uma entidade pode ser descrita de três formas distintas de abstração, mas que, em geral, conduzem a uma mesma implementação:

- **Descrição por Fluxo de Dados (*Data-Flow*):**

Descreve o que o sistema deve fazer utilizando expressões lógicas e/ou comandos concorrentes.

- **Descrição Estrutural:**

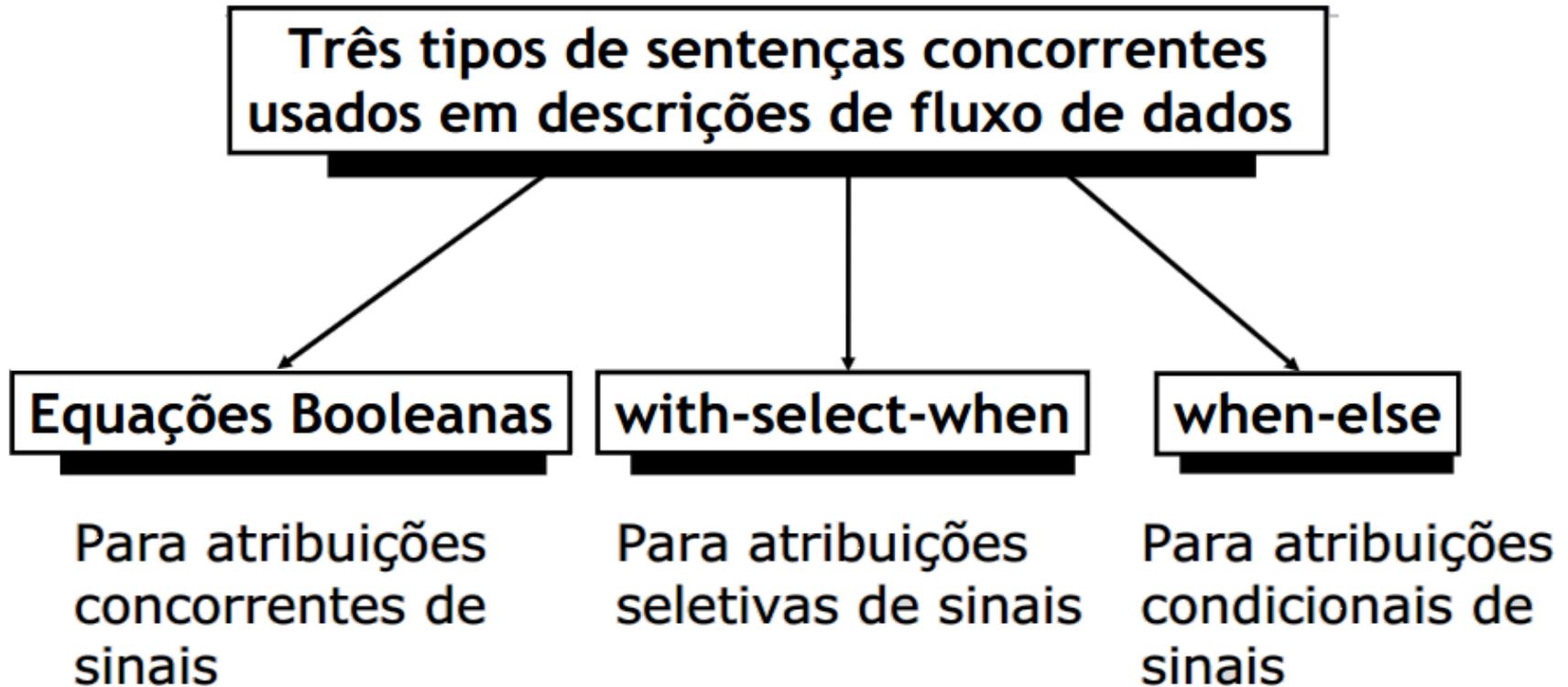
Descreve como é o hardware em termos de interconexão de componentes.

- **Descrição Comportamental:**

Descreve o que o sistema deve fazer de forma abstrata.

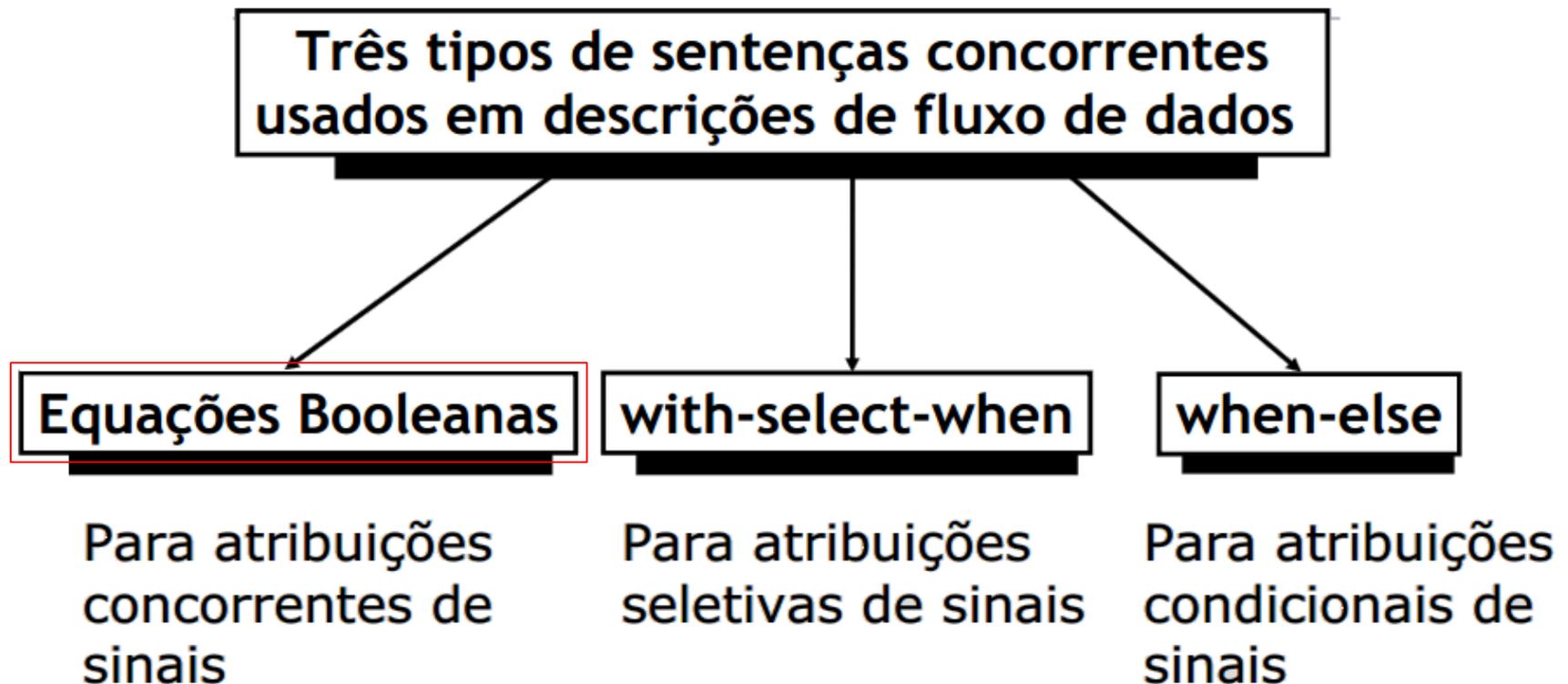
# ARCHITECTURE – Fluxo de Dados

Descrição por **Fluxo de Dados**: Comandos (Sentenças) Concorrentes



# ARCHITECTURE – Fluxo de Dados

Descrição por **Fluxo de Dados**: Comandos (Sentenças) Concorrentes

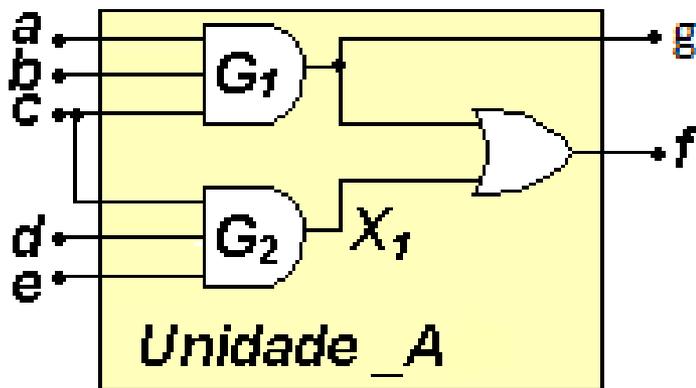


# Exemplo: Descrição por Fluxo de Dados :

- criar projeto, compilar, simular, inserir a pinagem e sintetizar no dispositivo

Obs: pinos do tipo OUT não podem ser referenciados internamente ao projeto.

Tabela de pinagem do kit mercurio



senal	Pino do fpga	
a	E16	Chave 0 do grupo A
b	H22	Chave 1 do grupo A
c	F16	Chave 2 do grupo A
d	F19	Chave 3 do grupo A
e	H21	Chave 4 do grupo A
f	R5	Segmento a do display 1
g	V2	Segmento a do display 0