

INTRODUÇÃO À LINGUAGEM VERILOG

Objetivos

- Apresentar a descrição da linguagem Verilog;
- Apresentar as estruturas básicas de controle em Verilog;
- Apresentar a forma de codificação em linguagem Verilog;
- Apresentar padrões de mapeamento para a linguagem Verilog.

Histórico

- 1984 – primeira versão desenvolvida pela Gateway Design Automation Inc. a partir de HiLo;
- 1985 – primeira versão do simulador Verilog;
- 1987 – expansão substancial da linguagem;
- 1990 – é incorporada pela Cadence Design System;
- 1991 – torna-se uma linguagem aberta;
- 1995 – padronização pelo IEEE 1364-1985;
- 2000 – novo padrão IEEE 1364-2000;
- 2005 – novo padrão IEEE 1364-2005.

Descrição da linguagem

- Alfabeto

Um programa em Verilog poderá conter os seguintes caracteres:

- as vinte e seis (26) letras do alfabeto inglês:
A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z
a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z
- os dez (10) algarismos:
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
- os símbolos:

<	menor	()	parênteses
>	maior	[]	colchete
.	ponto	{ }	chaves
,	vírgula	+	soma
:	dois pontos	-	subtração
;	ponto-e-vírgula	*	asterisco
=	igualdade	/	barra
!	exclamação	#	sustenido
?	interrogação	"	aspas
&	ampersete ("e" comercial)	'	apóstrofo
^	circunflexo	%	porcento
	barra em pé	~	til

- Pontuação
 - Ponto-e-vírgula separa comandos, a menos que outro separador seja empregado;
 - Em alguns casos de operadores, convém o uso de espaços em branco antes, e depois.
- Observação:
Em Verilog utilizam-se, **obrigatoriamente**, as letras minúsculas para os comandos próprios da linguagem.

Representações de dados

- Constantes

- Constante inteira

Valores inteiros podem ser expressos nas seguintes bases de numeração:

- binário (b ou B)
- octal (o ou O)
- decimal (d ou D)
- hexadecimal (h ou H)

Formato:

- < sinal > < tamanho > ' < base > < valor > - descrição completa
- < sinal > < base > < valor > - padrão dependente da máquina (usual 32 bits)
- < sinal > < valor > - valor decimal (padrão)

Observações:

- O sinal (_) pode ser usado no meio do valor para melhorar a legibilidade.
- O indicador especial **x** representa um valor indeterminado.
- O indicador especial **z** (ou ?) representa um valor com alta impedância.

Exemplos:

1'b0, 1'B1, 1'o0, 1'O1, 0, 1, 1'h0, 1'H1, 'h0, 'h1
8'b1010_0011, 8'hA1, -8'd3

- 4'b11 - equivalente a 0011
- 4'b11 - em complemento de dois equivale a 1101
- 4'b11x0 - segundo bit menos significativo indeterminado
- 4'b011z - último bit menos significativo em alta impedância
- 10'bz - decimal de 10 bits em alta impedância
- 10'b? - decimal de 10 bits em alta impedância (*don't care*)
- 8'h4x - hexadecimal com os 4 bits menos significativos indeterminados

- Constante real

Valores reais podem ser expressos em decimal ou em notação científica.

Observações:

- A vírgula decimal é representada por ponto decimal.
- Deve haver pelo menos um dígito antes e depois do ponto decimal.

Exemplos:

10.465 -5.61 0.0 0.731 0.37e2 -3.oE-1

- Constante literal

Exemplos:

Cadeia: "BRANCO", "CEU AZUL"

Observações:

O tamanho da cadeia é limitado e não deve ultrapassar uma linha.

- Caracteres predefinidos:

<code>\n</code>	passa para a próxima linha
<code>\t</code>	passa para a próxima coluna de tabulação (9,17, ...)
<code>\\</code>	barra invertida
<code>\"</code>	apóstrofo
<code>%%</code>	mostrar um %

- Portas lógicas

Valores definidos: **buf, not, and, or, nand, nor, xor, xnor**

Observações:

- As portas **buf** e **not** têm uma entrada e podem ter duas ou mais saídas:

buf B (saída1, saída2, entrada)

not N1 (saída, entrada)

- As portas **and** e **or** podem ter duas ou mais entradas:

and A1 (saída, entrada1, entrada2)

or O1 (saída, entrada1, entrada2, entrada3, entrada4)

- Tipos de dados

- Redes (*net*)

Redes representam saídas contínuas em relação às entradas.

Se as entradas mudarem seus valores, as saídas serão automaticamente alteradas.

Valores definidos: **wire, supply0, supply1, tri, tri0, tri1, triand, trior, trireg, wand, wor**

Valor padrão: **z**

Tamanho padrão: 1 bit

Exemplo:

```
reg A;
wire B;
A = 1;
not N1 (B, A);
```

- Registradores (*reg*)

Registradores representam dados cujos valores devem ser atribuídos explicitamente.

Os registradores poderão representar valores negativos em complemento de dois.

Valor definido: **reg**

Valor padrão: **z**

Tamanho padrão: 1 bit

Exemplo:

```
reg A;
wire B;
A = 1;
not N1 (B, A);
```

Observação:

Registradores (**reg**) guardam valor. As redes (**wire**) apenas transferem dados, se existirem; senão, assumirão o valor padrão (**x**).

- Vetor
Redes e registradores podem representar mais de um bit, se declarados como vetor.
O primeiro elemento da definição definirá o bit mais significativo.

Exemplos:

```
reg [7:0] A;      // registrador de 8 bits  
wire [16:0] B;    // dado em 16 bits
```

```
A = 8'b1100_0101; // atribuição completa  
B [7:0] = A;       // atribuição parcial
```

- Números

- Indicadores de tempo
Números inteiros positivos serverm representar medidas de tempo (**\$time**).

Definição: **time**
Tamanho padrão: 64 bits (no mínimo)

Exemplo:
time inicio, fim;

- Inteiros
Números inteiros podem representar valores positivos ou negativos.

Definição: **integer**
Valor padrão: **x**
Tamanho padrão: 32 bits (no mínimo)

Exemplo:
integer K;

K = 1;

- Reais
Números reais podem representar valores em decimal ou em notação científica.
A vírgula decimal é representada por ponto decimal.
Deve haver pelo menos um dígito antes e depois do ponto decimal.
Serão convertidos para o inteiro mais próximo por arredondamento.

Definição: **real**
Valor padrão: **x**
Tamanho padrão: 64 bits (no mínimo)

Exemplo:
real PI;

PI = 3.1415;

- Arranjo
Registradores, inteiros e indicadores de tempo podem ser declarados como arranjos.

Formato:

<tipo> <tamanho do dado> <variável> <tamanho do arranjo>

Exemplos:

```
reg A [7:0];                // 8 registradores de 1 bit cada
reg [15:0] mem16_1024 [1023:0]; // memória de 1K por 16 bits
integer [7:0] B [16:0];     // 16 dados de 8 bits cada

A [0] = 1'b1;              // atribuição ao último registrador
```

- *Tri-state*

Drivers tri-state podem receber três tipos de valores: 0, 1 ou nenhum deles.

Se dois valores forem atribuídos simultaneamente a uma rede (*net*) o resultado será indeterminado (**x**); entretanto, poderá ser um valor for de alta impedância, se um dos valores assim o for.

Exemplos:

```
module triDriver (bus, drive, value);
  inout [7:0] bus;
  input      drive;
  input [7:0] value;

  assign #2 bus = (drive == 1) ? value : 8'bz; // se alto, recebe valor;
                                              // senão ficará em alta impedância
                                              // e poderá receber qualquer outro valor

endmodule // triDriver
```

- Tipos de operadores

- Aritméticos

Algoritmo	Verilog
* / mod	* / %
+ -	+ -

Observações:

- A divisão de valores inteiros terá resultado inteiro.
- Se um dos operandos for indeterminado (**x**), o resultado também o será.

- Relacionais

Algoritmo	Verilog
< ≤ > ≥	< <= > >=
= ≠	== === != !==

Observação:

- O resultado de uma comparação poderá ser 0 (falso), 1 (verdadeiro), indeterminado ou de alta impedância.
- Os operadores (=== e !==) comparam todos os tipos de valores inclusive os indeterminados ou os de alta impedância.

- Conectivos lógicos

Algoritmo	Verilog
não	!
e	&&
ou	

Observação:

O resultado de uma operação lógica poderá ser 0, 1 ou indeterminado (**x**).

- Lógicos (bit a bit)

Algoritmo	Verilog
complemento de um	~
e	& ~&
ou-exclusivo (XOR) /	^
XNOR	~^ ^~
ou	~
deslocamento	<< >>

Observações:

- O resultado de uma operação lógica entre dois operandos é um valor cujos bits são operados, um a um, de acordo com a álgebra de proposições.
- O resultado de uma operação lógica aplicada sobre um só operando é chamado de “redução”, e forma-se ao operar os dois bits mais a esquerda e continuar com os demais. As operações **xor** (^) e **xnor** (~^, ^~) são úteis em verificações de paridade.

Exemplos:

```
module bitoperators;
  reg [3:0] A, B;

  initial begin
    A = 4'b0101;
    B = 4'b1011;

    // operações binárias
    $displayb ( A & B ); // o mesmo que (0001)
    $displayb ( A | B ); // o mesmo que (1111)
    $displayb ( A ^ B ); // o mesmo que (1110)
    $displayb ( A << 1 ); // o mesmo que (1010)
    $displayb ( A >> 1 ); // o mesmo que (0010)

    // operações unárias
    $displayb ( & A ); // o mesmo que (0 & 1 & 0 & 1) = 0 (redução)
    $displayb ( | A ); // o mesmo que (0 | 1 | 0 | 1) = 1 (redução)
    $displayb ( ^ A ); // o mesmo que (0 ^ 1 ^ 0 ^ 1) = 0 (redução)
  end

endmodule // bitoperators
```

- Replicação ({ { } })

A replicação poderá ocorrer quantas vezes for necessário.

Exemplos:

```
module concatenate;
  reg      A;
  reg [7:0] C;

  initial begin
    A = 1'b1;
    C = { 4{A} };

    $displayb ( { 4{a} } ); // mostrará 1111
    $displayb ( c );        // mostrará 00001111
  end

endmodule // concatenate
```

- Concatenação ({ , })

O operador de concatenação (,) pode juntar constantes, redes, registradores, bits ou partes.

Exemplos:

```
module concatenate;
    reg      A;
    reg [2:0] B;
    reg [4:0] C;

    initial begin
        A = 1'b1;
        B = 3'b000;
        C = 5'b10101;

        $displayb ( {a, b} );      // 4-bits iguais a 4'b1000
        $displayb ( {c[5:3], a} ); // 4-bits iguais a 4'b1011
    end

endmodule // concatenate
```

- Prioridade de operadores

Operador	Prioridade
+ - (unários) ! ~	mais alta
* / %	
+ - (binários)	
<< >>	
< <= >= >	
== != === !==	
& ~&	
^ ~^	
~	
&&	
	mais baixa
?:	

- Expressões

- Aritmética

Exemplos:

Algoritmo	Verilog
10 + 15	10 + 15
543.15/3	543.15/3
(x + y + z)*a/z	((x + y + z) * a)/z

- Lógica

Exemplos:

Algoritmo	Verilog
A = 0	A == 0
a ≠ 1	a != 1
(A ≥ 0) & (a ≤ 1)	(A >= 0) && (a <= 1)

Observação:

Para efeito de clareza, ou para mudar a precedência de operadores, pode-se separar as proposições por parênteses.

- Funções

Funções podem retornar valor, mas

- devem ser executadas em uma unidade de tempo de simulação;
- não podem ter controles de tempo, diferente das tarefas;
- não podem invocar tarefas, ao contrário destas que podem chamar outras do seu tipo.

Forma geral:

```
function <intervalo ou tipo> <nome>;    // sem parâmetros
    <portas>
    <declarações>
    <ações>
endfunction
```

Exemplo:

```
module function1;

function [1:1] add1; // definir função
input e1, e2;        // duas entradas
reg A;

begin
    A = 1;
    if ( e1 == e2 )
        add1 = 1 & A;
    else
        add1 = 0;
    end
endfunction

initial begin:
    reg B;
    B = add1(1, 0); // invocação da função com dois argumentos
    $display( "Saida = %b", B );
end

endmodule // function1
```

- Tarefas

Tarefas são como procedimentos, podem ter zero ou vários parâmetros, e não retornam valor.

Forma geral:

```
task <nome>;          // sem parâmetros
    <portas>
    <declarações>
    <ações>
endtask
```

Para a invocação de uma tarefa:

```
<nome da tarefa> (<portas>);
```

Exemplo:

```
module tasks;

task add;          // definir a tarefa
output saida;      // uma saída
input  e1, e2;     // duas entradas
reg    A;

begin
    A = 1;
    if ( e1 == e2 )
        saida = 1 & A;
    else
        saida = 0;
    end
endtask

initial begin:
    reg B;
    add( B, 1, 0 );    // invocação com 3 argumentos
    $display( "Saida = %b", B );
end

endmodule
```

- Tarefas de sistema
- Saídas padrões

Tarefas	Padrões
\$display	decimal
\$displayb	binário
\$displayh	hexadecimal
\$displayo	octal
\$write	decimal
\$writeb	binário
\$writeh	hexadecimal
\$writeo	octal

Observação:

A diferença entre \$display e \$write é que a primeira muda de linha automaticamente.

Exemplos:

```
$display ( 1'b1 );
$write   ( "\n", 1'b0 );
```

- Formatos:

Formatos	Padrões
%d ou %D	decimal
%b ou %B	binário
%h ou %H	hexadecimal
%o ou %O	octal
%m ou %M	hierárquico
%t ou %T	tempo
%e ou %E	real (notação científica)
%f ou %F	real (decimal)
%g ou %G	real (o menor entre os acima)

- Encerramento de simulação
A ação **\$finish** pára uma simulação e passa o controle ao sistema operacional.
A ação **\$stop** suspende uma simulação e passa ao modo interativo.

Exemplo:

```
initial begin
  clock = 1'b0;
  . . . // ações a serem simuladas
  #200 $stop // suspende a simulação e passa ao modo interativo

  #500 $finish // encerra todas as ações.
end
```

- Monitoramento
A ação **\$monitor** é semelhante à **\$display** e será executada sempre que houver mudança no(s) valor(es) observado(s). As ações **\$monitoron** e **\$monitoroff** podem ligar ou desligar o monitoramento. Recomenda-se indicar o monitoramento no início de uma simulação.

Exemplo:

```
module teste;
  integer A, B, C;

  initial begin
    A = 0; B = 4; C = 5;
    forever begin
      #5 A = A + B;
      #5 C = C - 1;
    end // forever
  end

  initial #40 $finish;

  initial begin
    $monitor ($time, " A = %d, B = %d, C = %d ", A, B, C);
  end

endmodule // teste
```

- Controle de tempo

Existem vários tipos de controle de tempo: atrasos, eventos, esperas e mudanças de nível. Só haverá variação no tempo simulado se acontecer:

- um atraso em porta ou ligação (**wire**);
- um atraso controlado (**#**);
- um evento controlado (**@**);
- uma ação dependente de espera (**wait**).

- Atrasos (**#**)

Exemplos:

```
initial begin
    A = 0;           // início da simulação no tempo = 0
    #10 B = 2;       // 10 unidade de tempo à frente
    #15 C = A;       // 15 unidades de tempo depois, ou 25 após o início
    #B C = 4;        // 02 unidades de tempo depois, ou 27 após o início
    B = 5            // 27 unidades após o início
end
// atraso associado a uma porta
and # (5) AND1 (saida, entrada1, entrada2)
```

- Eventos (**@**)

Eventos ocorrerão quando houver mudanças em um sinal predefinido ou variável.

Exemplos:

```
@ (clock) A = B;           // atribuir valor na mudança do contador de tempo

@ (negedge clock) A = B;   // atribuir valor quando clock for para 0

A = @ (posedge clock) B;   // quando clock for para 1, avaliar e atribuir
```

- Espera (**wait**)

Uma ação (ou bloco) deve aguardar até que uma condição seja verdadeira.

Exemplo:

```
wait ( A == 1 )
begin
    A = B & C;
end
```

- *Triggers*
Determinações arbitrárias de um ou mais sinais.

Exemplos:

```

event data_in;                // evento definido pelo usuário

always @ (posedge clock)      // sempre que o clock for para 1,
    if ( data [8] ==1 ) -> data_in; // determinar ocorrência do evento

always @ (data_in)            // sempre que houver determinação do evento
    mem[0:1] = buf;           // receber e guardar dado na memória

                                // quando ocorrer qualquer um dos eventos
always @ (negedge clock or data_in)
    A = 1'b0;
```

- *Threads (fork-join)*
Construções que se executam concorrentemente. Uma vez iniciadas, somente após terem sido todas completadas, haverá prosseguimento na execução seqüencial.

Forma geral:

```

fork:    // divisão em vários conjuntos de ações
    begin
        // código para o primeiro conjunto
    end

    begin
        // código para o segundo conjunto
    end

    ...

    begin
        // código para o último conjunto
    end

join     // a partir de onde prosseguirão as ações
        // quando todas as anteriores tiverem sido completadas
```

- Estrutura de programa

- Blocos

- Inicial

Um bloco inicial pode ter um ou mais ações contidas por uma estrutura **begin ... end** . Se houver mais de um bloco, eles serão executados de forma independente e concorrente. É empregado para dar valores iniciais às variáveis, monitoramento, gerar formas de onda e processos.

Exemplo:

```
initial
  clock = 1'b0;           // dar valor à variável

initial
  begin                  // gerar forma de onda
    wave = 0;
    #10 wave = 1;
    #20 wave = 0;
    #5  wave = 1;
    #7  wave = 0;
    #10 wave = 1;
    #20 wave = 0;
  end;
```

- Em repetição infinita

Um bloco em repetição infinita é precedido pela palavra **always** , e somente poderá ser interrompido por um comando **\$finish** ou **\$stop** .

Exemplo:

```
module pulso;

  reg clock;

  initial      clock = 1'b0;    // iniciar o clock em 0
  always #10  clock = ~clock;  // trocar o sinal a cada 10 unidades de tempo
  initial    #500 $finish      // terminar após 500 unidades de tempo

endmodule
```

- Módulos

Módulos servem para encapsular definições (especificações estruturais) ou ações (especificações comportamentais), e podem ser instanciados.

As declarações podem incluir objetos de dados como registradores, memórias e ligações (**wire**) bem como ações do tipo função (**function**) ou tarefas (**task**).

Os itens podem ser instâncias de outros módulos ou construções do tipo **initial** ou **always**, ou atribuições contínuas. Construções do tipo **initial** ou **always** são usadas para se definir circuitos seqüenciais; enquanto atribuições contínuas servem para circuitos combinatórios.

Forma geral:

```
module <nome> ( <portas> );
    <declarações>
    <itens>
endmodule
```

Exemplo:

```
                                // definir valores
module teste;
    integer A, B, C;

    initial begin
        A = 0;
        B = 4;
        C = 5;
    end
```

Se houver associações de portas, elas deverão ser definidas como **input**, **output** ou **inout**.

Saídas (**output**) em módulos internos podem ser declaradas como redes (*net*) ou registradores (*reg*), em módulos externos devem ser redes (*net*). Por convenção, as saídas são colocadas no início de listas de portas.

Entradas (**input**) em módulos internos devem ser declaradas como redes (*net*), em módulos externos podem ser redes (*net*) ou registradores (*reg*).

Entradas e saídas (**inout**) devem ser sempre declaradas como redes (*net*).

Ao serem usados, o número e seqüência das portas devem ser rigorosamente observados.

Exemplo:

```
                                // definir componente
module FFD (q, dado, clock);
    output q;
    input  dado, clock;
    reg    q;

    always @(posedge clock)
        q = dado;
endmodule // FFD
```


Instanciação

Forma geral:

<nome do módulo> <parâmetros> <nome da instância> (<portas>);

Exemplo:

```

                                // definir comportamento
module FFD_Teste;
  reg data, clock;
  wire q;
                                // instanciação
  FFD D1 (q, data, clock);

                                // blocos concorrentes
                                // estímulos
  initial begin
    clock = 1'b0;
    forever clock = #5 ~clock;
  end

  initial begin
    data = 1'b1;
    #10 data = 1'b1;
    #20 data = 1'b0;
    #30 data = 1'b1;
    #10 data = 1'b0;
    #10 data = 1'b1;
    #10 data = 1'b0;
    #20 $finish;
  end

  initial begin
    $display ($time, " data, q ");
    $display ($time, " %d %d", data, q);
    forever #10 $display($time, " %d %d", data, q);
  end

endmodule // FFD_Teste

```

- Comentários

Comentários são precedidos pelos sinais `//` , ou `/* */` envolvendo o texto.

Exemplo:

```
// Esta linha nao faz nada - comentario

/*
o que também pode ser colocado assim
*/
```

- Atribuição

- Atribuição bloqueante

A atribuição bloqueante espera até o fim do bloco para realizar a operação. Ou seja, como se as operações fossem seqüenciais.

Forma geral:

`<variável> = <expressão>;`

Exemplo:

```
A    = B;
C    = A;  // logo C = B
```

- Atribuição não bloqueante

A atribuição não bloqueante não espera a conclusão de uma operação para a realização de outra. Ou seja, as operações podem ser realizadas simultaneamente e não há garantias de que um mesmo valor seja atribuído por transitividade.

Forma geral:

`<variável> <= <expressão>;`

Exemplo:

```
A    <= B;
C    <= A; // C pode ser igual ao valor anterior em A, antes de ser trocado por B
```

Outro exemplo:

```
module blocking;
  reg [7:0] A, B;

  initial begin:
    A = 3;
    #1 A = A + 1;    // atribuição bloqueante
    B = A + 1;
    $display( "Atribuição bloqueante: A= %b B= %b", A, B );

    A = 3;
    #1 A <= A + 1;    // atribuição não bloqueante
    B <= A + 1;
    #1 $display( "Atribuição não bloqueante: A= %b B= %b", A, B );
  end

endmodule
```

A saída deverá ser:

```
Atribuição bloqueante:   A= 00000100 B= 00000101
Atribuição não bloqueante: A= 00000100 B= 00000100
```

- Atribuição contínua

A atribuição contínua observa as variáveis do lado direito (expressão) e, caso alguma delas venha a mudar, o valor será reavaliado e atribuído à variável.

A atribuição contínua é recomendada para a definição de circuitos combinatórios.

Forma geral:

assign <variável> = <expressão>;

Exemplo:

```
module NAND ( saida, entrada1, entrada2 );

  output saida;
  input  entrada1, entrada2;
          // atribuição contínua
  assign saida = ~( entrada1 & entrada2 );

endmodule
```

- Atribuição condicional

Forma geral:

<variável> = <teste> ? <expressão 1> : <expressão 2>;

Exemplo:

X = (A < B) ? A : B;

- Descrição de entrada e saída

- Saída formatada (padrão):

Forma geral:

```
$monitor ( <formato>, <valores> );
$display ( <formato>, <valores> );      // e suas variações
$write    ( <formato>, <valores> );      // e suas variações
```

- Entrada/saída formatada em arquivo:

- Abertura de arquivo

Forma geral:

```
<variável inteira> = $fopen ( <nome externo do arquivo> );
```

Exemplo:

```
integer file1, file2;    // pode ter até 31 arquivos abertos simultaneamente
```

```
initial begin
    file1 = $fopen( "dados1.txt" ); // file1 = 0000_0000_0000_0000_0000_0000_0000_0010
    file2 = $fopen( "dados2.txt" ); // file2 = 0000_0000_0000_0000_0000_0000_0000_0100
end
```

- Fechamento de arquivo

Forma geral:

```
$fclose ( <variável inteira> );
```

Exemplo:

```
$fclose ( file1 );
$fclose ( file2 );
```

- Saída formatada em arquivo:

Forma geral:

```
$fmonitor ( <formato>, <valores> );
$fdisplay ( <formato>, <valores> );
$fwrite    ( <formato>, <valores> );
```

- Entrada por arquivo:

Forma geral:

\$readmemb (<nome do arquivo>, <memória>);

\$readmemh (<nome do arquivo>, <memória>);

\$readmemb (<nome do arquivo>, <memória>, <endereço inicial>);

\$readmemh (<nome do arquivo>, <memória>, <endereço inicial>);

\$readmemb (<nome do arquivo>, <memória>, <endereço inicial>, <endereço final>);

\$readmemh (<nome do arquivo>, <memória>, <endereço inicial>, <endereço final>);

Formato dos dados em arquivo:

@ <endereço 1>

<dado_1>

...

<dado_m>

@ <endereço 2>

<dado_n>

...

<dado_p>

Observação:

Se os dados forem contíguos pode ser dispensada a indicação do endereço.

Exemplo:

```
module readmemory;
  reg [7:0] memory [3:0];
  integer index;

  initial begin
    $readmemb( "dados.txt", memory);

    for( index = 0; index < 4; index = index + 1 )
      $display( "memory[%d] = %b", index, memory[index] );
    end
endmodule // readmemory
```

No arquivo "dados.txt":

00000000

00000001

00000010

00000011

- Estruturas de controle
- Sequência simples

Forma geral:

Algoritmo	Verilog
<comando>	<comando> ;
<comando>	<comando> ;

Observação:

Em Verilog todos os comandos são separados por ponto-e-vírgula.

- Estrutura alternativa
- Alternativa simples

Forma geral:

Algoritmo	Verilog
se <condição>	if (<condição>)
então	begin
<comandos>	<comandos> ;
fim se	end

Observação:

Se houver apenas um comando, os indicadores de bloco podem ser omitidos.

- Alternativa dupla

Forma geral:

Algoritmo	Verilog
se <condição> então	if (<condição>) begin
<comandos 1>	<comandos 1> ;
senão	end else begin
<comandos 2>	<comandos 2> ;
fim se	end

Observação:

Se houver apenas um comando, os indicadores de bloco podem ser omitidos.

- Alternativa múltipla

Forma geral:

Algoritmo	Verilog
escolher <lista de valores>	case (<lista de valores>)
<opção 1>: <comando 1>	<expressão_1>: <comando 1> ;
<opção 2>: <comando 2>	<expressão_2>: <comando 2> ;
...	...
<opção n-1>: <comando N-1>	<expressão_n-1>: <comando N-1> ;
senão <comandos N>	default: <comando N> ;
fim escolher	endcase

Observações:

- Recomenda-se usar uma lista de valores pequena (em torno de 4 valores, no máximo).
- As expressões deverão ter como resultados valores escalares válidos.
- A indicação **default** é opcional.
- São permitidas as seguintes variações do comando:

case : para verificar se conferem todos os valores 0, 1, **x** e **z** (inclusive)
casex : para verificar se conferem todos os valores, exceto **x** e **z**, irrelevantes (?)
casez : para verificar se conferem todos os valores, exceto **z**, irrelevante (?)

Exemplos:

```
...
case (sinal)
  1'bz: $display("Sinal ainda indefinido");
  1'bx: $display("Sinal desconhecido");
  default: $display("Sinal = %b", sinal);
endcase
...

module multiplexor4_1 (saida, e1, e2, e3, e4, ctrl1, ctrl2);
  output saida;
  input  ctrl1, ctrl2, e1, e2, e3, e4;
  reg    saida;

  always @( ctrl1 | ctrl2 | e1 | e2 | e3 | e4 )
    case ( {ctrl2, ctrl1} ) // concatenação permitida
      2'b00 : saida = e1;
      2'b01 : saida = e2;
      2'b10 : saida = e3;
      2'b11 : saida = e4;
      default : $display( "ERO: Verificar os bits de controle" );
    endcase
endmodule // multiplexor4_1
```

- Estrutura repetitiva
- Repetição com teste no início

Forma geral:

Algoritmo	Verilog
repetir enquanto <condição>	while (<condição>) begin
<comandos>	<comandos> ;
fim repetir	end

Observação:

A condição para execução é ser sempre verdadeira.

Exemplo:

```
integer count;

count =0;
while ( count < 10 )
begin
    $display("%d", count);
    count = count + 1;
end
```

- Repetição com teste no início e variação

Forma geral:

Algoritmo	Verilog
repetir para	for (
<variável> = <valor inicial>	<valor inicial> ;
: <fim>	<teste de fim> ;
: <variação>	<variação>) begin
<comandos>	<comandos> ;
fim repetir	end

Observações:

A condição para execução é ser sempre verdadeira.

Qualquer um dos elementos, ou mesmo todos, podem ser omitidos. Entretanto, se tal for necessário, recomenda-se o uso de outra estrutura mais apropriada.

Exemplo:

```
integer count;

for ( count =0; count < 10; count = count + 1 )
begin
    $display("%d", count);
end
```


- Repetição por um número determinado de vezes

Forma geral:

Algoritmo	Verilog
repetir <vezes> <comandos> fim repetir	repeat (<valor>) begin <comandos> ; <alteração do valor> end

Observação:

O controle do número de vezes é feito pelo valor numérico de uma constante, variável ou sinal, apenas uma vez antes de executar o bloco, mesmo que o valor varie na execução.

Exemplo:

```
module countdown;
    integer count;

    initial begin
        count = 128;
        repeat (count) begin
            $display("%d time units left", count);
            count = count - 1;
        end
    end
endmodule
```

- Repetição infinita

Forma geral:

Algoritmo	Verilog
repetir <comando> fim repetir	forever <comando>;

Observação:

- A repetição só poderá ser encerrada por um comando **\$finish** .
- Recomenda-se usar controle de tempo para limitar a execução.

Exemplo:

```
reg clock;

initial begin
    clock = 1'b0;
    forever #10 clock = ~clock;    // mudar o clock a cada 10 unidades de tempo
end

initial #200 $finish;            // parar a simulação após 200 unidades de tempo
```