

Analógico / Digital

O “Mundo Real” é Analógico ou Digital?

- O que define uma grandeza analógica?
Os sinais analógicos podem tomar qualquer valor num intervalo contínuo de tensão, corrente, resistência ou outros.
- O que define uma grandeza digital?
Em termos lógicos, tomam valores discretos (normalmente binários).
Em termos físicos (reais), são sinais analógicos.
A diferença é que **podemos considerar como se não fossem** (desde que os circuitos sejam bem projetados).

Porquê Sistemas e Circuitos Digitais?

- Infelizmente, a estabilidade e a precisão das quantidades físicas é difícil de obter em circuitos reais práticos (afeta os mais circuitos analógicos).
 - Tolerâncias de fabrico; Temperatura; Tensão de alimentação; Idade.
 - Ruídos de interferências várias.
- **Vantagens dos circuitos e sistemas digitais:**
 - Elevada capacidade de integração;
 - Maior imunidade a ruído electromagnético;
 - Programabilidade/Flexibilidade;
 - Projecto fácil;
 - Velocidade;
 - Economia;
 - Parâmetros imutáveis com alteração das condições ambientais ou idade;
 - Possibilitam a correção de erros/regeneração de sinal;
 - Possibilitam a compressão de dados.

Analógico / Digital

- Exemplos de aplicação de electrónica digital:
 - Computadores
 - Telemóveis (1G - analógica, 2G/3G/4G - digital)
 - Câmeras Fotográficas (Rolo de filme → Cartões de memória)
 - Reprodução de Áudio (LP, Cassete → CD, MP3, Streaming)
 - Reprodução de Vídeo (VHS → DVD, Blu-ray)
 - Difusão do Sinal de Televisão (Analógico → TDT)
 - Redes de Comunicação (Internet, Wi-Fi, etc.)
 - Sistemas de Controlo Industrial, etc.

Dispositivos Digitais Básicos

- **Portas lógicas (*Gates*)** - Possuem uma ou mais entradas e produzem uma saída que é uma **função dos valores atuais** das entradas.
- **AND** - A saída é “1” se ambas as entradas forem “1”.
- **OR** - A saída é “1” se alguma das entradas for “1”.
- **NOT** - A saída é “1” se a entrada for “0”.

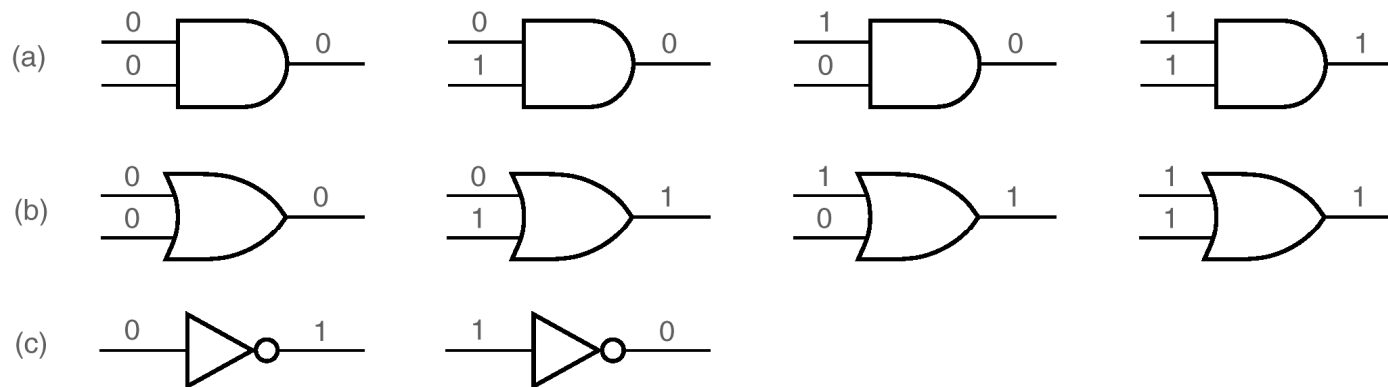


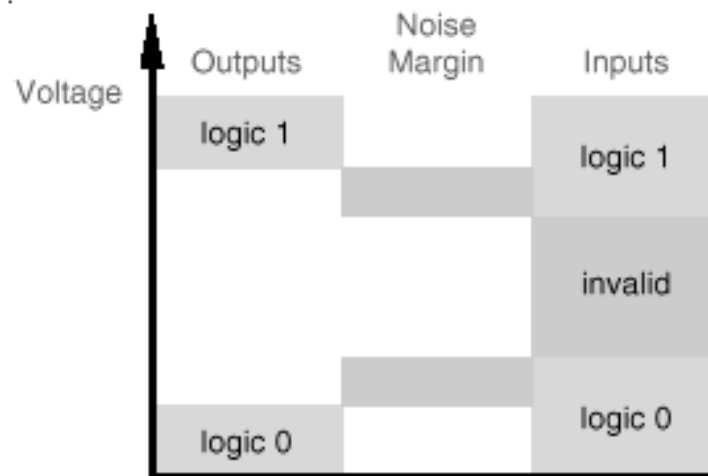
Figure 1-1 Digital devices: (a) AND gate; (b) OR gate; (c) NOT gate or inverter.

- Qualquer função lógica é implementável com estas portas.

Electrónica Digital

- Os circuitos digitais usam tensões e correntes analógicas e são construídos recorrendo a componentes analógicos.
- A “abstracção digital” permite que tudo se processe com “0’s” e “1’s”.
- Associação de um intervalo de tensões ao valor lógico (“0” ou “1”).

Figure 1-2
Logic values and noise margins.

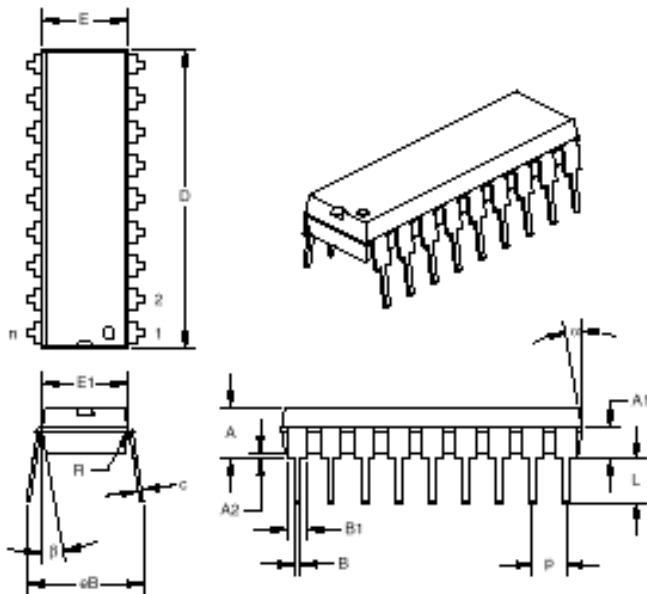


- Uma porta típica não garante um nível de tensão preciso. Produz uma tensão de saída que está num intervalo que garante o reconhecimento do mesmo nível lógico por parte de uma entrada de uma outra porta.

Circuitos Integrados

- Aspecto físico dos Circuitos Integrados (IC) que suportam a electrónica Digital. Ex: PIC16F84 Microcontrolador de 8 bits da Microchip.

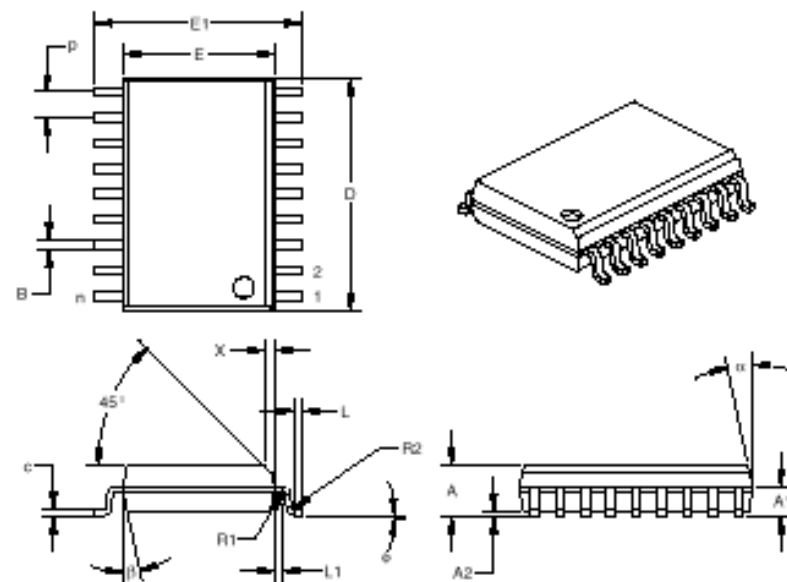
Package Type: K04-007 18-Lead Plastic Dual In-line (P) – 300 mil



DIP - Dual In-line Package

(Usado com breadboards nas aulas práticas)

Package Type: K04-051 18-Lead Plastic Small Outline (SO) – Wide, 300 mil



SO - Small Outline package

Circuitos Integrados

- ICs mais comuns que implementam as funções lógicas básicas

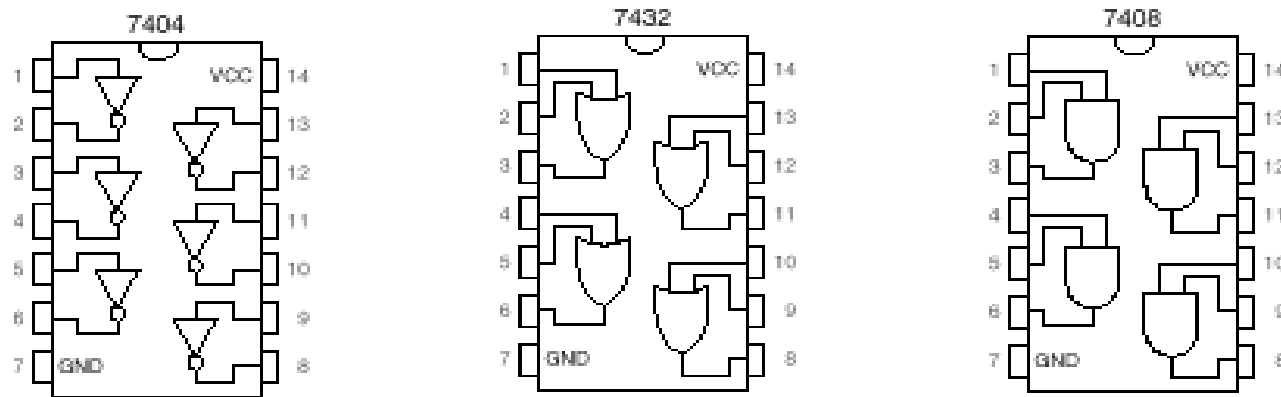


Figure 1-7 Commonly used 7400-series SSI ICs.

- VCC e GND são os pinos de alimentação dos ICs

SSI Small Scale Integration

MSI Medium Scale Integration

LSI Large Scale Integration

VLSI Very Large Scale Integration

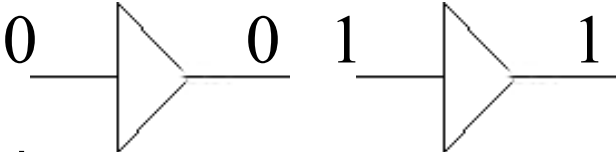
(Integram mais componentes - circuitos mais complexos)

Circuitos Integrados

- Lógica discreta - Usada nas aulas práticas
 - Ligações por fios feitas externamente aos CIs, na breadboard
- FPGA (Field Programmable Gate Array)
 - “Wiring” é programado e ocorre internamente, dentro do CI
 - Fabricantes: Altera, Xilinx...
- ASIC (Application Specific IC)
 - Semicustom ASIC
 - Full custom ASIC

Quanto mais pequeno o *chip* menores os custos

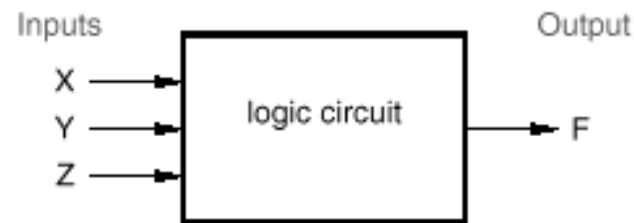
Electrónica Digital

- A “abstracção digital” permite que tudo se processe com “1’s” e “0’s”, Ligado / Desligado, Fechado / Aberto, Claro / Escuro, Alto / Baixo, etc.
- Um “0” ou um “1” é um **bit** (binary digit).
- **Low e High** são outras designações que a literatura da área usa com muita frequência.
- **Lógica Positiva** **LOW** \Rightarrow 0 e **HIGH** \Rightarrow 1
- **Lógica Negativa** **LOW** \Rightarrow 1 e **HIGH** \Rightarrow 0
- **Buffer Amplifier** 
 - Aumenta capacidade de carga na saída (tensão ou corrente)

Electrónica Digital

- Um circuito lógico pode ser visto como uma **caixa negra** - só as **entradas e as saídas são relevantes**.

Figure 3-1
"Black box" representation of
a three-input, one-output logic
circuit.



- A função define formalmente o comportamento da saída (F) em função das entradas (X, Y, Z).**
- Um circuito lógico cuja **saída só dependa do estado atual das entradas** é por definição um **circuito combinacional**.
- Um circuito lógico cuja **saída dependa** não só do estado actual das entradas mas **também do estado passado da mesmas** é por definição um **circuito sequencial**.

Electrónica Digital

- A **Tabela de Verdade** descreve completamente o funcionamento de um circuito combinacional.

Table 3–2
Truth table for a combinational logic circuit.

X	Y	Z	F
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

- Elementos lógicos básicos AND, OR, NOT**

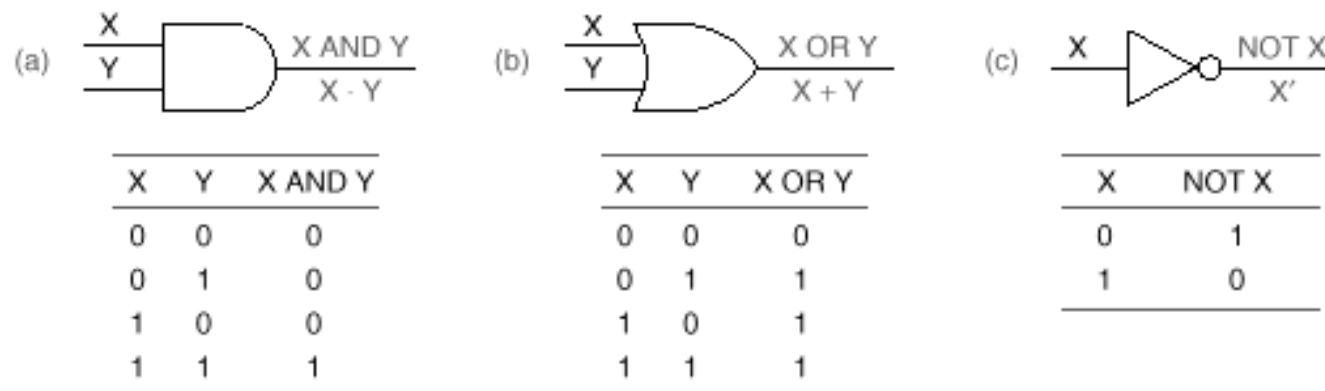


Figure 3–2 Basic logic elements: (a) AND; (b) OR; (c) NOT.

Electrónica Digital

- Outros Elementos lógicos básicos **NAND, NOR**

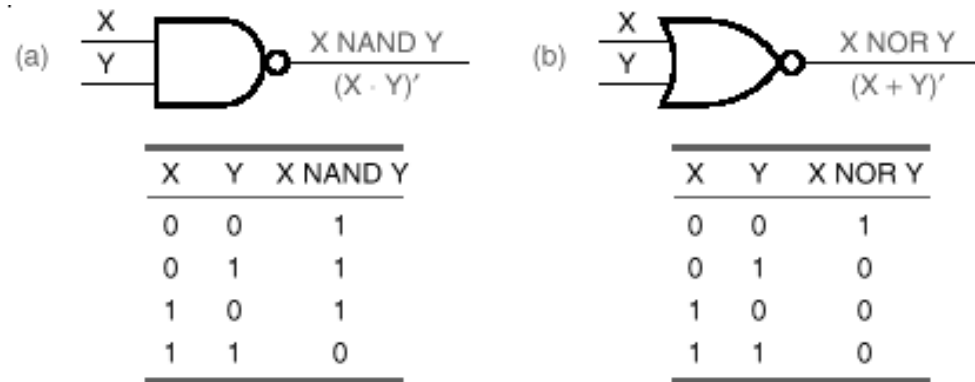


Figure 3-3 Inverting gates: (a) NAND; (b) NOR.

- Determinar a função lógica do seguinte circuito (análise):

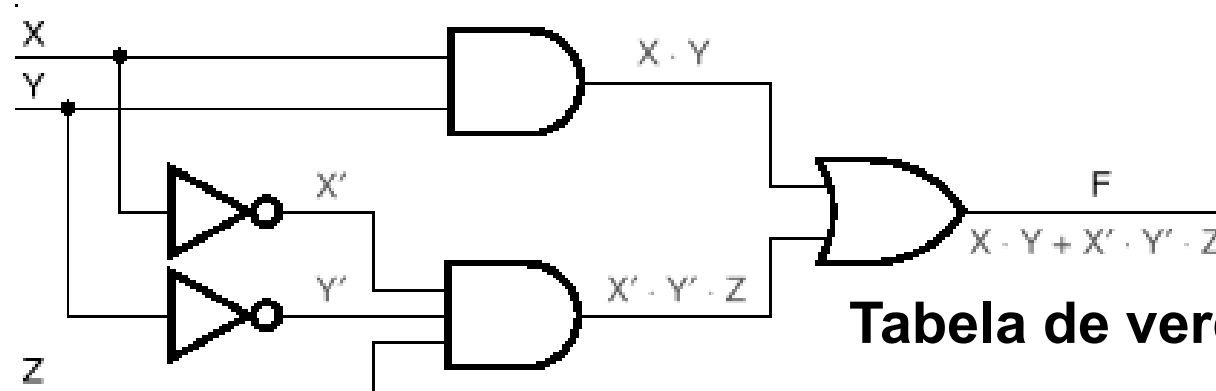
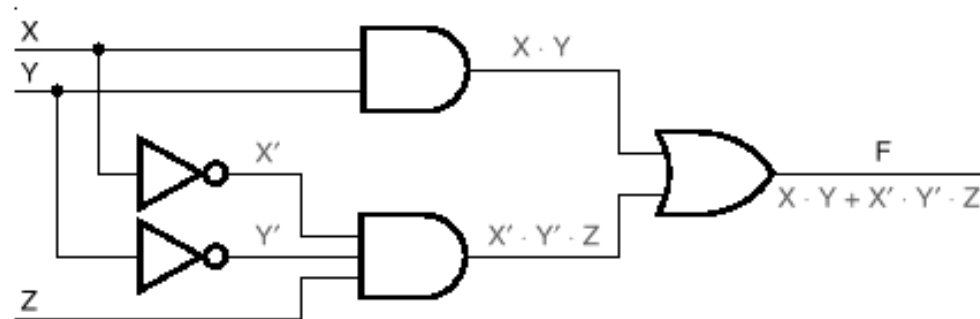


Tabela de verdade?

- Importante para corrigir erros:** ser capaz de determinar o valor lógico em todos os pontos do circuito para uma dada combinação de entrada.

Electrónica Digital

- Circuito Lógico



- Exemplo de Diagrama Temporal para o mesmo circuito

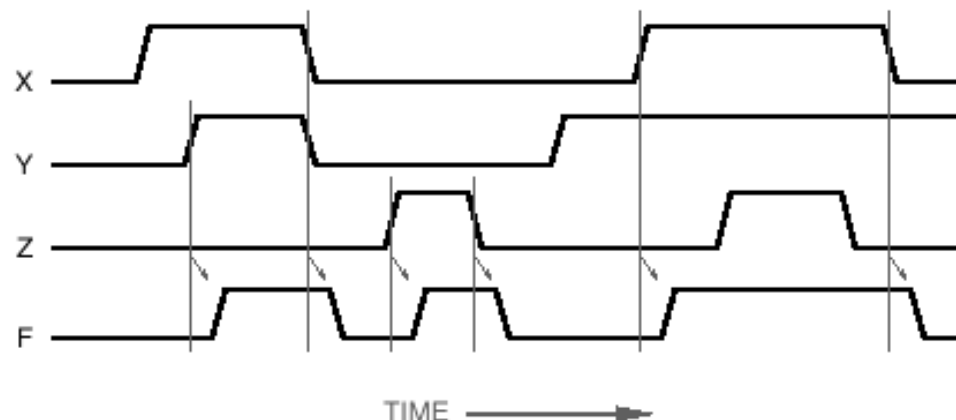


Figure 3-5 Timing diagram for a logic circuit.

OBS: As setas em diagonal estão a indicar a existência (neste exemplo) de um **atraso de propagação** entre as entradas (X, Y, Z) e a saída F.

Portas lógicas (Gates)

- As portas lógicas são os **componentes básicos** usados para a construção de qualquer função lógica de n entradas e m saídas
- Uma porta lógica pode ser fabricada com base em **diferentes tipos de componentes eletrónicos**: transistores, díodos, resistências e condensadores
- A constituição de uma porta lógica depende da tecnologia usada na sua construção
- Portas lógicas de um mesmo tipo (mesma função) são agrupadas num único Circuito Integrado (CI)
- Cada CI é fabricado obedecendo a certas características próprias do processo de fabricação

Portas lógicas (Gates)

- A maneira como os componentes que constituem as portas lógicas do CI são fabricados e ligados entre si determinam o que chamamos de **família lógica**
- As famílias lógicas mais usadas na atualidade são:
 - TTL (*Transistor-Transistor Logic*)
 - CMOS (*Complementary Metal-Oxide Semiconductor Logic*)
 - **Nas aulas práticas serão usados CIs da família TTL**
 - Não será dada ênfase aos processos envolvidos no fabrico dos elementos que compõem as portas lógicas de uma família TTL

Portas lógicas (Gates)

- A nomenclatura dos CIs da família TTL segue o padrão de numeração 74YYXXX para a versão comercial
- Os números XXX determinam a função lógica que as portas do CI executam
- Normalmente entre o número 74 e os números seguintes (XXX) encontram-se uma ou mais letras (YY), que servem para caracterizar **sub-famílias com especificações diferentes em termos de:**
 - frequência **máxima** de operação
 - consumo de potência
 - *fan-out*, etc.
- A família lógica TTL funciona com uma tensão de alimentação DC de 5V

Portas lógicas (Gates)

- As especificações de uma família lógica são dadas pelas medidas mostradas na tabela seguinte (entre outras):

Sigla	Significado
Vih	Tensão mínima de entrada para o nível lógico “1”.
Vil	Tensão máxima de entrada para o nível lógico “0”.
Voh	Tensão mínima de saída para o nível lógico “1”.
Vol	Tensão máxima de saída para o nível lógico “0”.
Iih	Corrente de entrada para o nível lógico “1”.
Iil	Corrente de entrada para o nível lógico “0”.
Ioh	Corrente de saída para o nível lógico “1”.
Iol	Corrente de saída para o nível lógico “0”.
Tplh	Atraso de propagação na transição de “0” para “1”
Tphl	Atraso de propagação na transição de “1” para “0”

- As medidas da tabela acima podem ser **obtidas no manual do fabricante do CI.**

Exemplo de especificações

Table 3-11 Characteristics of gates in TTL families.

<i>Description</i>	<i>Symbol</i>	<i>Family</i>				
		<i>74S</i>	<i>74LS</i>	<i>74AS</i>	<i>74ALS</i>	<i>74F</i>
Maximum propagation delay (ns)		3	9	1.7	4	3
Power consumption per gate (mW)		19	2	8	1.2	4
Speed-power product (pJ)		57	18	13.6	4.8	12
LOW-level input voltage (V)	V_{ILmax}	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
LOW-level output voltage (V)	V_{OLmax}	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
HIGH-level input voltage (V)	V_{IHmin}	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
HIGH-level output voltage (V)	V_{OHmin}	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
LOW-level input current (mA)	I_{ILmax}	-2.0	-0.4	-0.5	-0.2	-0.6
LOW-level output current (mA)	I_{OLmax}	20	8	20	8	20
HIGH-level input current (μ A)	I_{IHmax}	50	20	20	20	20
HIGH-level output current (μ A)	I_{OHmax}	-1000	-400	-2000	-400	-1000

Margem de ruído

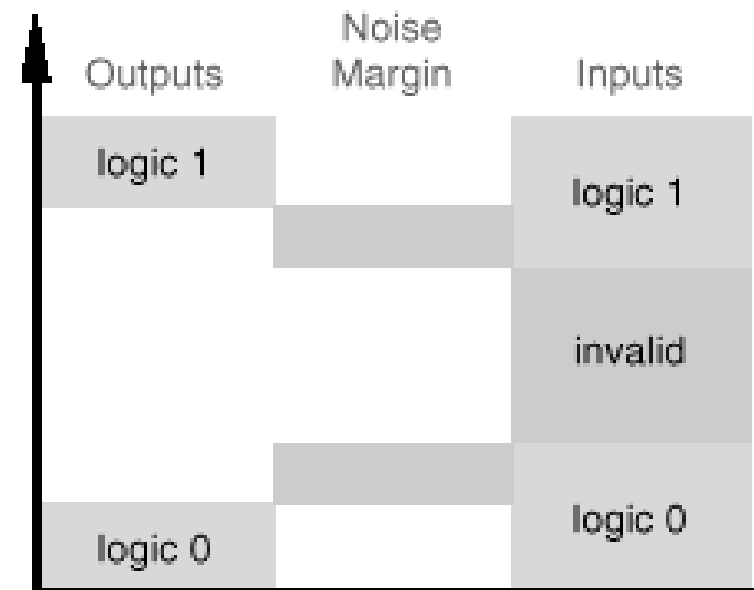
- Os **circuitos digitais** lidam com **tensões e correntes analógicas** e são construídos recorrendo a componentes analógicos.
- A “abstracção digital” permite que tudo se processe com “0’s” e “1’s”.
- É associado um **intervalo de tensões** aos valores lógicos (“0” ou “1”).
- Uma porta típica não garante um nível de tensão precisa. Produz uma tensão de saída que está num intervalo garante o reconhecimento do nível lógico por parte de uma entrada de uma outra porta.

Margem de ruído para o nível lógico “1” Voltage

$$M_H = V_{OHmin} - V_{IHmin}$$

Margem de ruído para o nível lógico “0”

$$M_L = V_{ILmax} - V_{OLmax}$$



Margem de ruído

- A margem de ruído é definida como o desvio máximo admissível aos níveis de saída limites especificados para uma porta sem que haja risco de mudança do estado (valor lógico) esperado por outra porta
- **Normalmente as sub-famílias de uma mesma família são compatíveis entre si**, ou seja, as suas portas podem ser ligadas entre si sem o risco, em condições normais, de um nível lógico de saída ser interpretado errado por uma entrada
- **Quando ligamos portas lógicas de famílias diferentes (ou introduzimos no projeto outros componentes analógicos que geram valores digitais)**, os valores dos parâmetros V_{OHmin} , V_{IHmin} , V_{ILmax} e V_{OLmax} **devem ser considerados com especial atenção**

FAN-IN e FAN-OUT

- Quando ligamos portas lógicas, **seja de famílias lógicas iguais ou diferentes**, surgem dois outros conceitos essenciais que devem ser levados em consideração para que o circuito lógico funcione correctamente e conforme o esperado
- Esses parâmetros, relacionados ao acoplamento de portas lógicas, designam-se por *FAN-IN* e *FAN-OUT*
- ***FAN-IN***: Também chamado de fator de carga de entrada de uma porta lógica de uma dada sub-família, está associado ao número de entradas disponibilizadas por uma porta lógica
- Os circuitos lógicos necessitam de uma determinada corrente em cada uma de suas entradas para que possam interpretar correctamente os níveis lógicos 0 e 1
- Portas lógicas com um alto *FAN-IN* tendem a ser mais lentas que portas lógicas com baixo *FAN-IN*

FAN-OUT

- Quando uma **saída está no nível lógico 0**:
 - Por essa saída flui uma corrente I_{OL}
 - Por cada entrada flui uma corrente I_{IL}
- Quando uma **saída está no nível lógico 1**:
 - Por essa saída flui uma corrente I_{OH}
 - Por cada entrada flui uma corrente I_{IH}
- Se duas ou mais entradas ligadas a uma saída forem de **sub-famílias diferentes**, as suas **correntes de entrada** podem ser diferentes

FAN-OUT

- O *fan-out* de uma porta lógica é o **número máximo de entradas que podem ser ligadas à sua saída** sem exceder a corrente máxima especificada pelo fabricante. **Assumindo entradas da mesma sub-família, temos:**

$$Fanout = \min\left(\frac{I_{OLmax}}{I_{ILmax}}, \frac{I_{OHmax}}{I_{IHmax}}\right)$$

- Efeitos negativos de não respeitar o *fan-out*, ou seja, causar uma sobrecarga de corrente ($I_O > I_{Omax}$):
 - A temperatura do dispositivo pode aumentar, reduzindo sua fiabilidade e **eventualmente danificando-o permanentemente**.
 - As margens de ruído podem não ser respeitadas
 - A tensão de saída a “1” pode cair abaixo do mínimo especificado (V_{OHmin}).
 - A tensão de saída a “0” pode ultrapassar o máximo especificado (V_{OLmax}).
 - Os tempos de propagação, subida e descida podem exceder as especificações.

Atraso de propagação

- Outro parâmetro importante no projecto de circuitos digitais é o tempo de propagação ou atraso de propagação de uma porta lógica
- Este parâmetro é definido como o atraso entre a mudança de nível na entrada e a correspondente mudança de nível na saída
- O tempo de propagação total num circuito digital é a soma total dos tempos das portas em série

Tempos de Subida, Descida e Propagação

Figure 3-36

Transition times:
(a) ideal case of zero-time switching;
(b) a more realistic approximation;
(c) actual timing, showing rise and fall times.

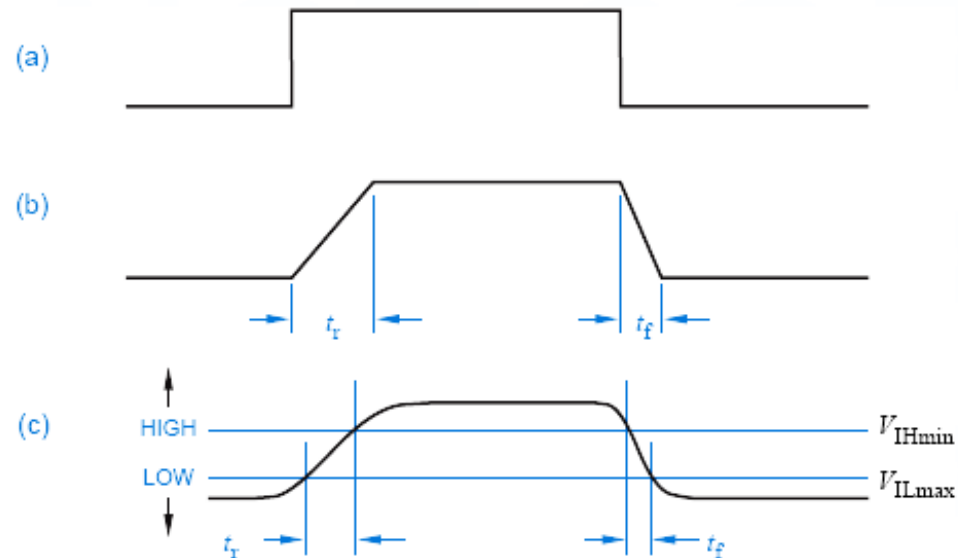
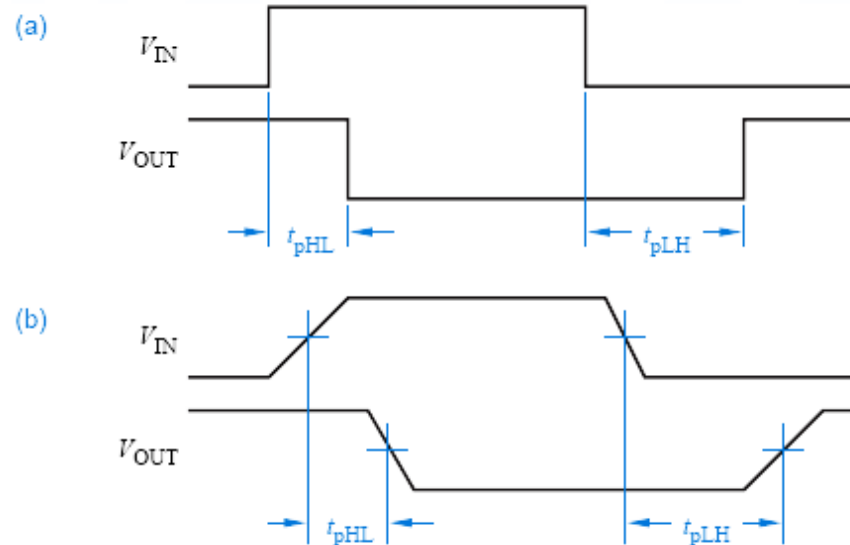


Figure 3-42

Propagation delays for a CMOS inverter:
(a) ignoring rise and fall times; (b) measured at midpoints of transitions.



Electrónica Digital

- Exemplo de um inversor CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor)

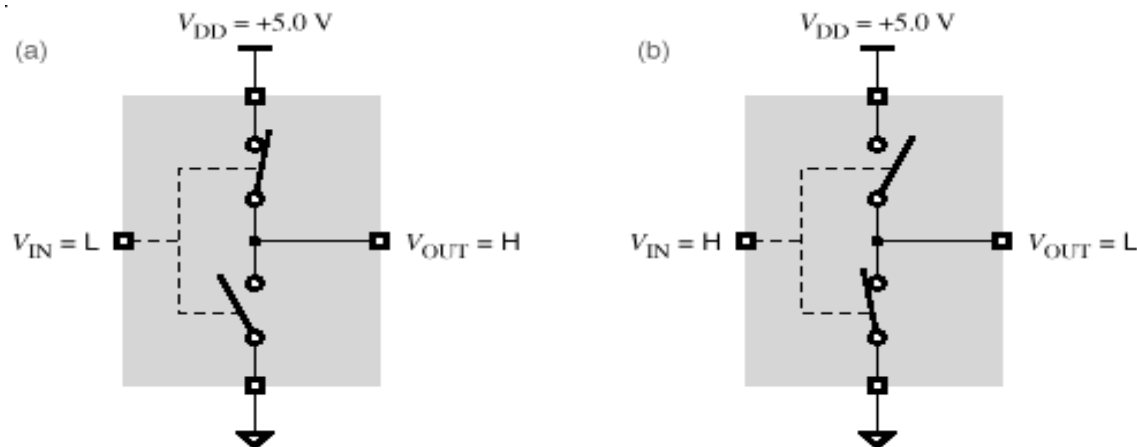
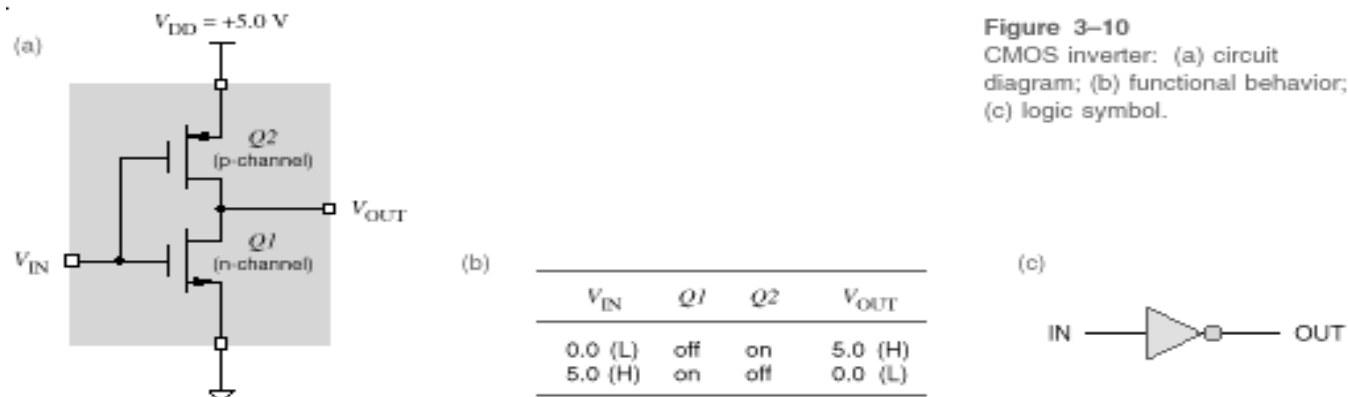


Figure 3-11 Switch model for CMOS inverter: (a) LOW input; (b) HIGH input.

Electrónica Digital

- Exemplo de uma porta NAND CMOS

Figure 3-13

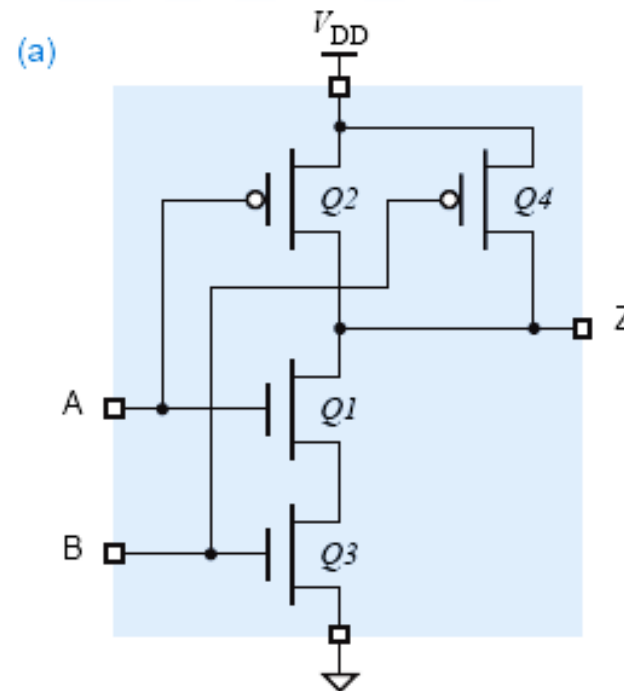
CMOS 2-input

NAND gate:

(a) circuit diagram;

(b) function table;

(c) logic symbol.



(b)

A	B	$Q1$	$Q2$	$Q3$	$Q4$	Z
L	L	off	on	off	on	H
L	H	off	on	on	off	H
H	L	on	off	off	on	H
H	H	on	off	on	off	L

(c)



Sistemas Digitais

A ter em conta em projecto de SD:

- Circuitos digitais possuem características analógicas.
- Documentar muito bem todos os projectos, tão importante como comentar as rotinas de software (coisas que vocês não fazem!).
- Utilizar ferramentas de apoio ao projeto CAD/CAE.
- Utilização de lógica programável.
- Procurar projectar circuitos combinacionais/sequenciais síncronos.

CAD/CAE- Computer Aided Design / Computer Aided Engineering

Software para Sistemas Digitais

- As ferramentas de *software* são uma parte importante do projecto digital. Aumento da produtividade e qualidade dos desenhos.
- A utilização de ferramentas de *software* é obrigatória para obter resultados de alta qualidade em “curto” espaço de tempo.
- **Edição de Esquemático** - permitem desenhar diagramas e verificam alguns erros.
- **Compiladores para PLD** (*Programmable Logic Devices*) - implementação de funções lógicas recorrendo a linguagens de programação (VHDL, ABEL, etc.).
- **Análise e verificação temporal** - todos os circuitos digitais demoram a produzir uma nova saída em função da alteração duma entrada.
- **Simuladores** - auxiliam o projetista a prever o comportamento funcional de um circuito sem ter de o implementar.