

Introdução aos Sistemas Digitais

LETI, LEE

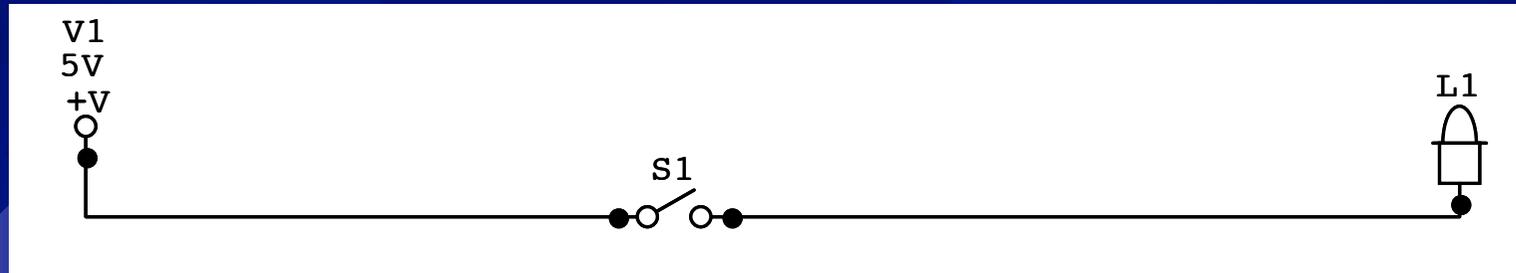
João Paulo Carvalho

joao.carvalho@inesc-id.pt



Isto (ainda) não são sistemas digitais...

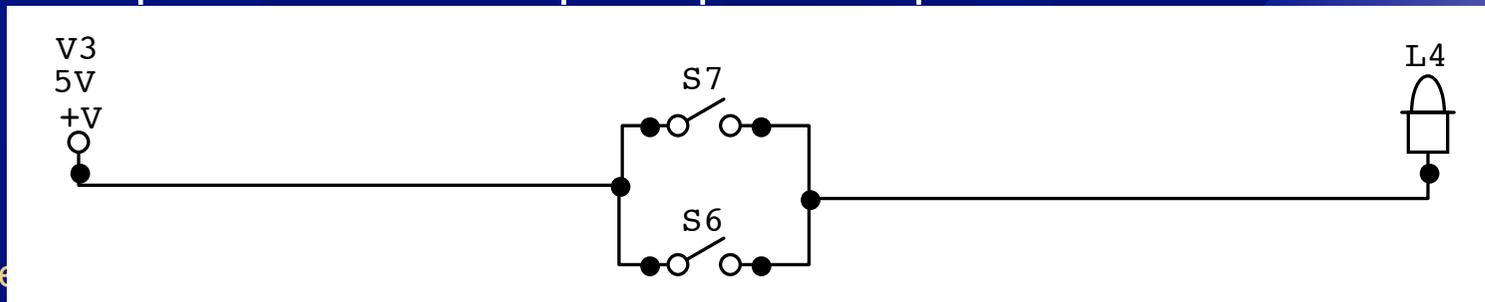
- Um interruptor (SPST- Single Pole, Single Throw) e uma lâmpada:



- Dois interruptores em série. A lâmpada só acende se ambos os interruptores estiverem fechados:

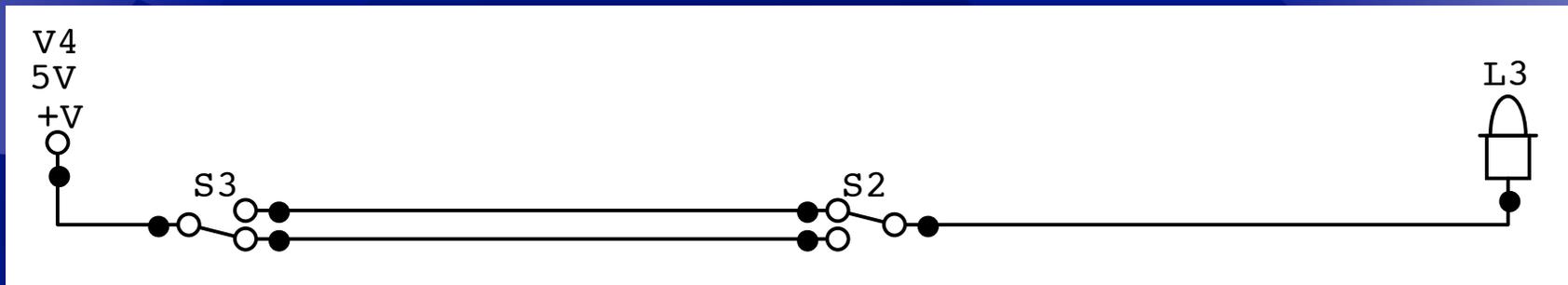


- Dois interruptores em paralelo. Pelo menos um dos interruptores tem que estar fechado para que a lâmpada acenda:



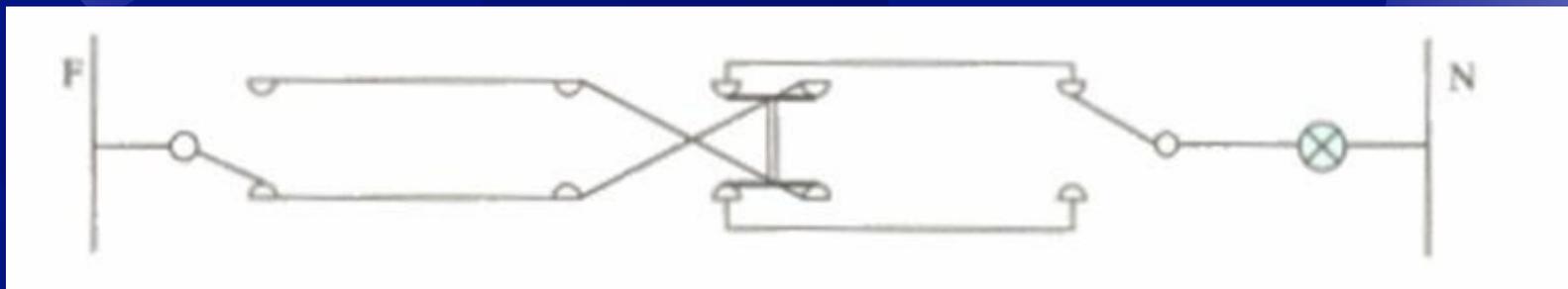
Isto (ainda) não são sistemas digitais... (II)

- ☀ Comutador de escada – Comando da lâmpada a partir de 2 locais diferentes
 - De cada vez que se atua um interruptor, a lâmpada comuta o seu estado (se está apagada, acende; se está acesa, apaga).
 - São necessários interruptores com 3 terminais (SPDT – Single Pole, Double Throw):



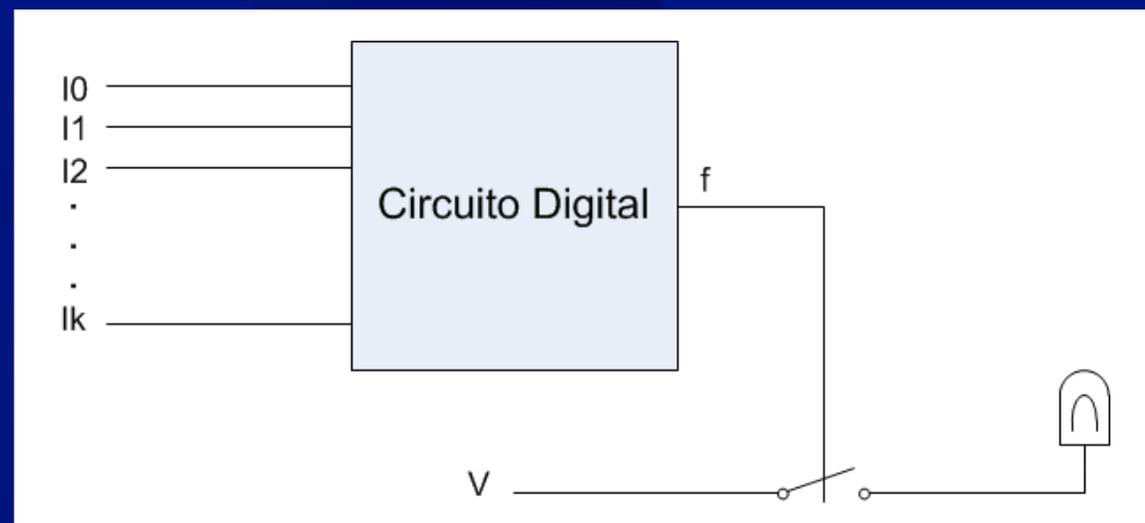
Isto (ainda) não são sistemas digitais... (III)

- ☀ Com o aumento da funcionalidade pretendida (ou do número de interruptores), as ligações e circuitos necessários complicam-se exponencialmente
 - Ex: Se pretender controlar a lâmpada a partir de 3 locais diferentes, já necessito de um inversor DPDT – Double Pole, Double Throw (um interruptor ainda mais complexo)



Sistemas Digitais

- Num Sistema Digital, a abordagem é totalmente diferente:
 - Temos uma lâmpada, um interruptor e um circuito digital que controla o interruptor
 - Esta arquitetura mantém-se qualquer que seja a funcionalidade pretendida
- O circuito digital, tem como entradas um qualquer número de “interruptores”, e como saída um valor binário que indica se o interruptor da lâmpada deve estar aberto ou fechado consoante o estado das entradas
 - Esta arquitectura pode generalizar-se para várias saídas quando queremos ativar/controlar mais que um dispositivo



Representação de Informação Binária

- ✦ Num sistema digital a representação de informação está limitada a 2 valores diferentes, '0' e '1'
- ✦ Esses valores são normalmente representados pela diferença de tensão eléctrica entre 2 pontos de um circuito electrónico. Os valores mais utilizados em sistemas digitais são:
 - 0V (0, Low, L)
 - +5V (1, High, H)
- ✦ Qualquer tipo de informação presente num sistema digital (números, texto, som, imagem, etc.) só utiliza '0's e '1's
- ✦ Exemplo: num sistema digital um número inteiro é representado por uma sequência de algarismos binários, ou *bits* (*Binary digIT*)
 - 110101
 - $110101_2 = 1x2^5 + 1x2^4 + 0x2^3 + 1x2^2 + 0x2^1 + 1x2^0 = 32 + 16 + 4 + 1 = 53_{10}$
 - 0101110101101011101011101011101011101011010111010101101010



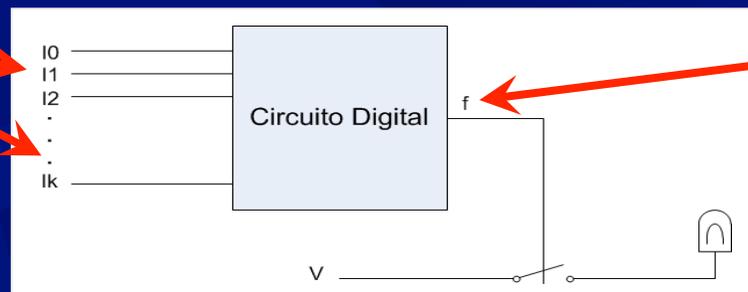


visualparadox.com

Álgebra de Boole Binária

- ✦ A síntese e a análise de um circuito digital baseia-se principalmente na Álgebra de Boole binária através do recurso à utilização de funções booleanas (ou funções lógicas)
- ✦ As funções booleanas utilizam variáveis binárias, i.e., que só podem assumir um de dois valores: {0, 1}; {Low, High}; {True, False}; etc.
- ✦ Às variáveis Binárias também se dá o nome de variáveis Lógicas ou Booleanas

Variáveis binárias



Função lógica
 $f(I_0, I_1, I_2, \dots, I_k)$
(controla o interruptor)



Funções Lógicas de Uma Variável

- Como só estão definidos 2 elementos no universo da Álgebra de Boole binária, o número de funções lógicas é finito, o que potencia uma abordagem algébrica bastante simples
- Veja-se o exemplo para uma única variável:

Tabela de verdade

x	$f_0(x)$	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$
0	0	0	1	1
1	0	1	0	1

- Só existem 4 funções possíveis!

$$f_0(x) = 0$$

$$f_1(x) = x$$

$$f_2(x) = \bar{x}$$

$$f_3(x) = 1$$

constante 0

identidade

negação

constante 1

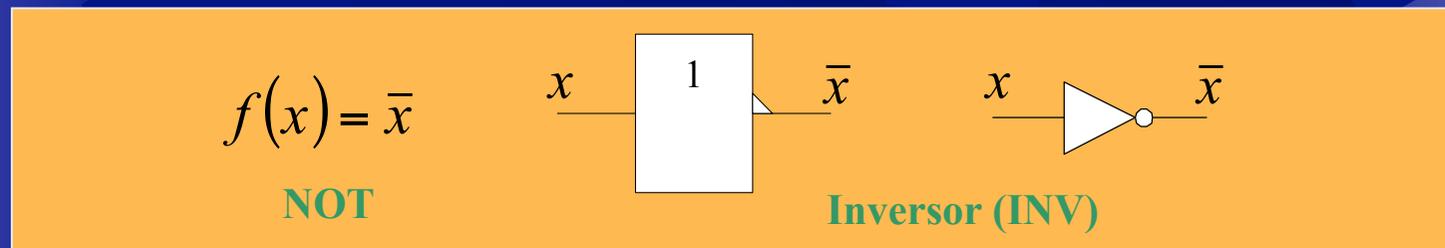


TÉCNICO
LISBOA

Uke2014

Negação (NOT)

- Das funções apresentadas, a Negação, Complemento, ou NOT, é a mais importante, e caracteriza-se por transformar uma afirmação Verdadeira numa Falsa (e vice-versa)
- Para além da expressão algébrica e da tabela de verdade, a negação pode ser graficamente representada por um dos seguintes símbolos lógicos:



- Dupla Negação: $\overline{\bar{x}} = x$
- Demonstração do teorema da dupla negação por indução completa:

x	\bar{x}	$\overline{\bar{x}}$
0	1	0
1	0	1



Funções de Duas Variáveis

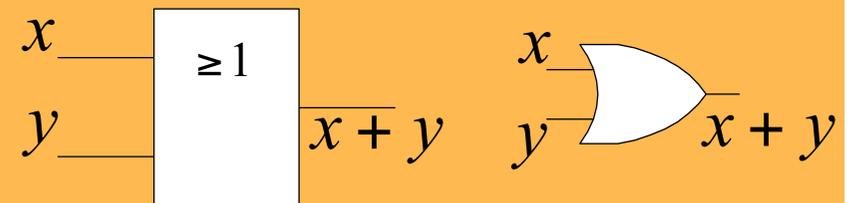
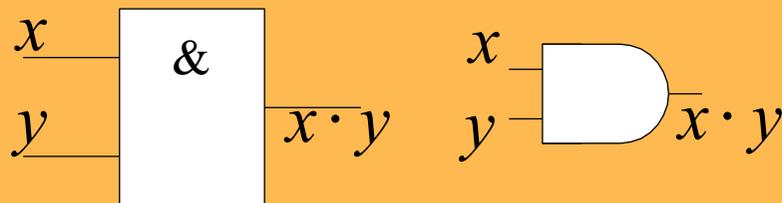
- Existem 16 diferentes funções lógicas de 2 variáveis. As mais importantes são denominadas AND, OR, NAND, NOR e XOR
- Conjunção (AND, Produto Lógico, \wedge) e Disjunção (OR, Soma Lógica, \vee):

AND

x	y	x.y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

OR

x	y	x+y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1



Funções de Duas Variáveis

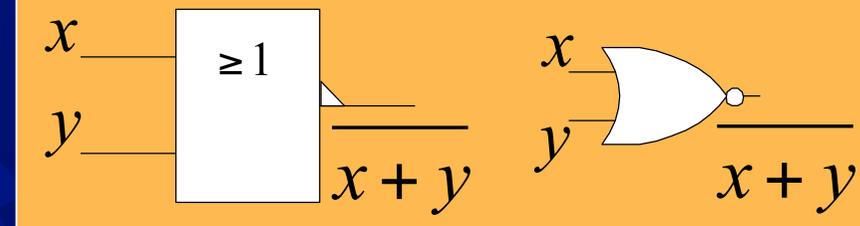
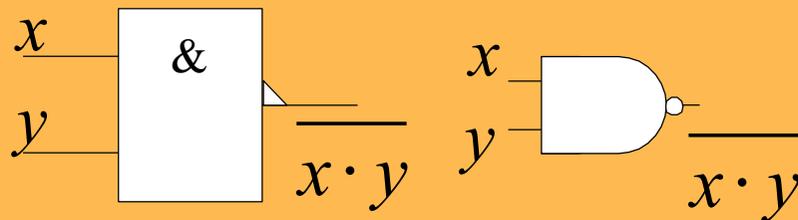
- NAND (AND negado), NOR (OR negado) e XOR (OU-Exclusivo):

NAND

x	y	$\overline{x \cdot y}$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

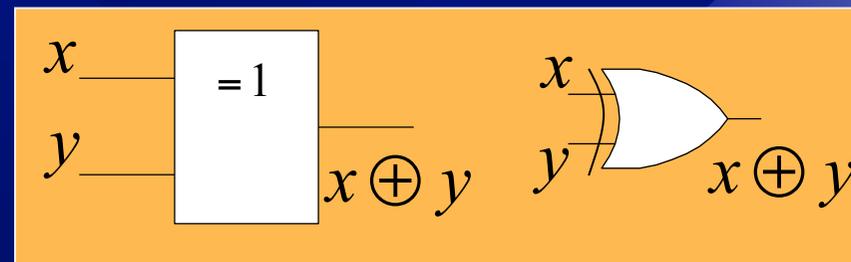
NOR

x	y	$\overline{x+y}$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0



XOR

x	y	$x \oplus y$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

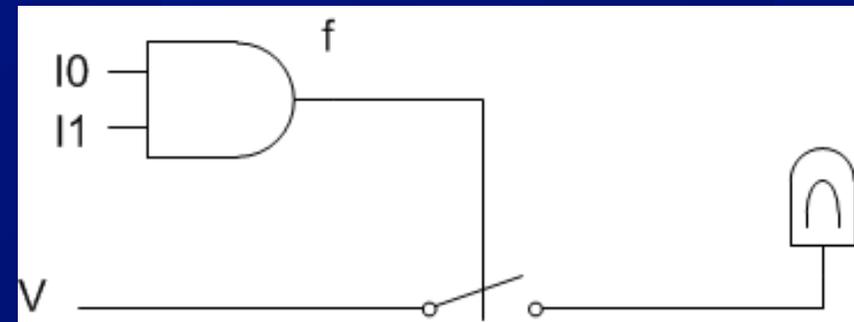


Exemplos de funções lógicas

- ★ Pretende-se um circuito com 2 entradas que acende uma lâmpada só quando ambas as entradas estão a 1

I0	I1	f
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

→ AND →



- ★ Comparando com a versão “não-digital”:

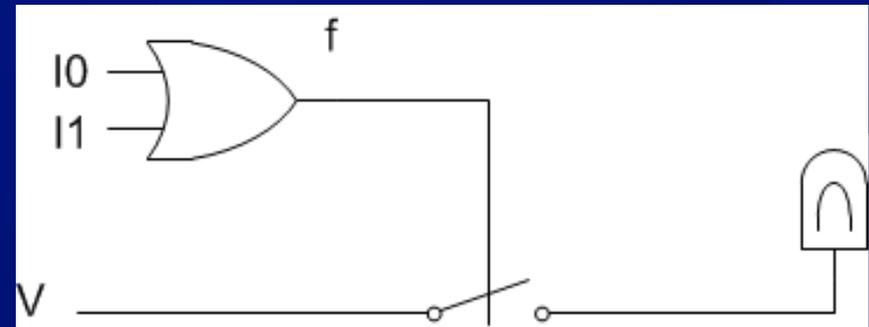


Exemplos de funções Lógicas (II)

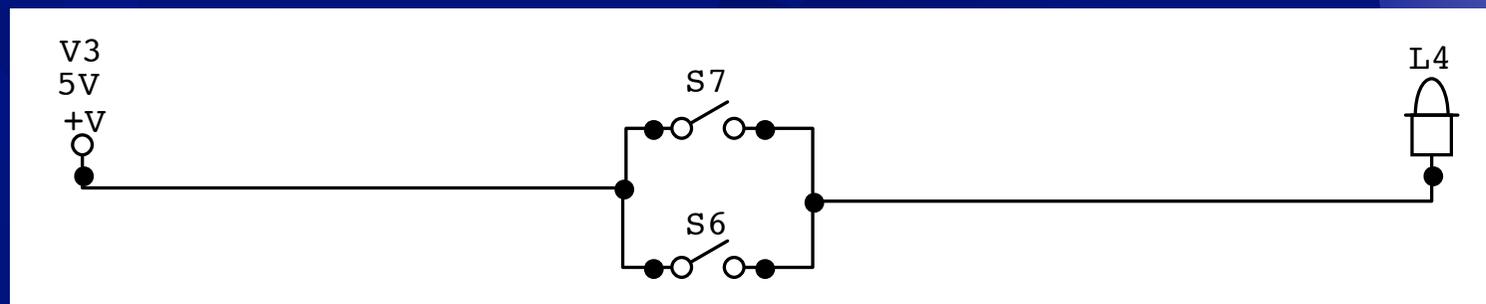
- ★ Pretende-se um circuito com 2 entradas que acende uma lâmpada quando pelo menos uma das entradas está a 1

I0	I1	f
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

→ OR →



- ★ Comparando com a versão “não-digital”:

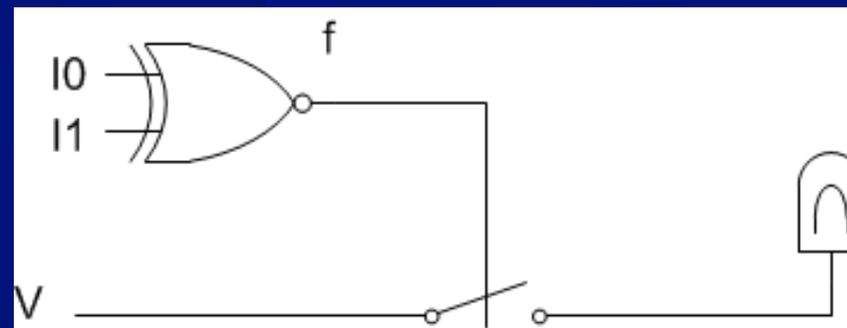


Exemplos de funções Lógicas(III)

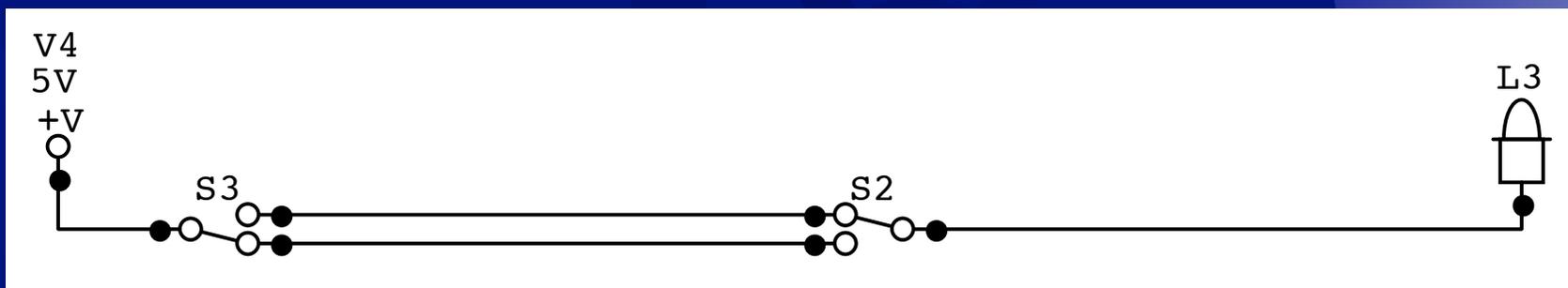
- Comutador de escada com 2 interruptores

I0	I1	f
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

→ XOR →



- Comparando com a versão “não-digital”:

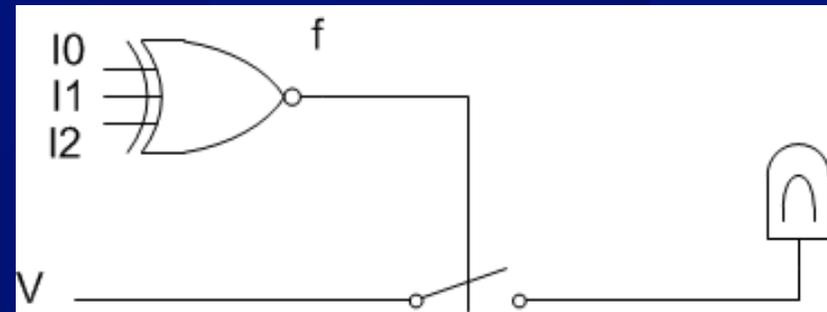


Exemplos de funções Lógicas(IV)

- ✦ E um comutador de escada com 3 interruptores?

I0	I1	I2	f
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

→ $\overline{\text{XOR}}$ →



- ✦ É na mesma um XOR negado, mas desta vez com 3 entradas!
- ✦ Definição do XOR: A função dá 1 quando o número de entradas a 1 é ímpar (chama-se a isto “paridade ímpar”)

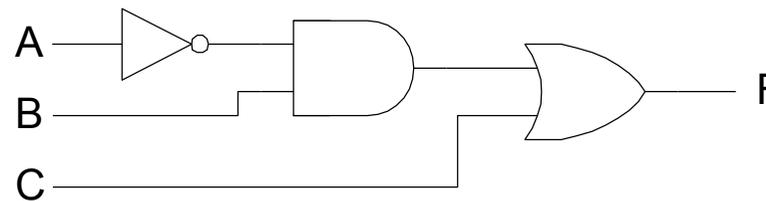


Exemplos de funções Lógicas(V)

- ✦ Claro que a maioria das funções não pode ser implementada por uma porta lógica simples...
- ✦ No entanto, qualquer função lógica pode sempre ser representada por uma tabela de verdade, por uma expressão lógica e/ou pelo circuito lógico equivalente:

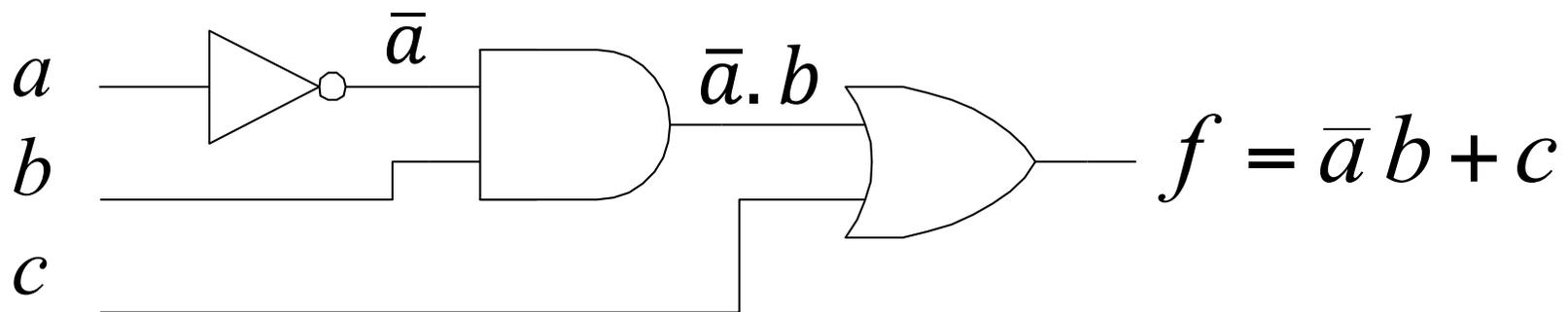
A	B	C	f
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

$$f = \bar{a}b + c$$



Logigramas (ou diagramas lógicos)

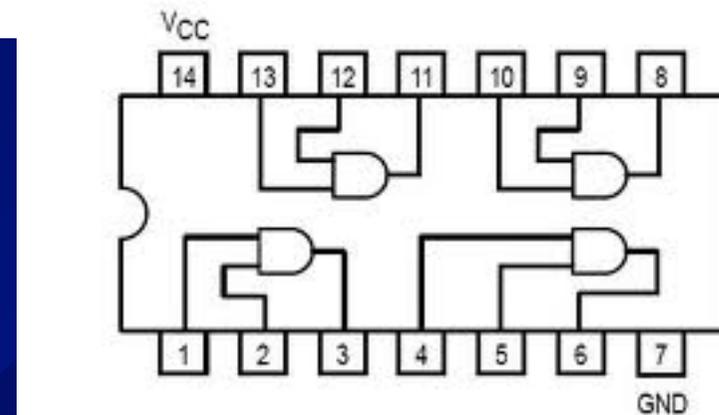
- O logigrama, ou diagrama lógico, é uma representação visual da função booleana a implementar
- Existe uma equivalência entre logigrama e expressão lógica. Obter a expressão lógica a partir do logigrama:



- E como se implementa um logigrama? (i.e. como é que se obtém um circuito físico a partir de um diagrama em “papel”?)

Portas Lógicas (logic gates)

- As funções lógicas permitem descrever sistemas e desenvolver algoritmos de processamento e controlo
- Podem ser implementadas fisicamente por circuitos electrónicos
- A sua implementação física é feita por um circuito eléctrico através de portas lógicas (*gates*) realizadas em circuitos integrados (CI)
- Um exemplo de um circuito integrado é o 74LS08 que implementa funções AND
- Para se saber o que está num CI consulta-se o catálogo do fabricante



Circuitos Integrados Digitais

- ✦ Esta tecnologia permite:
 - Baixo custo (silício + impurezas)
 - Reduzida dimensão das gates
 - Alta integração
 - Elevada complexidade de circuitos
 - Fácil concepção
 - Fácil produção

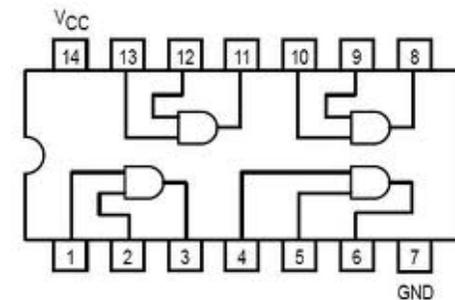
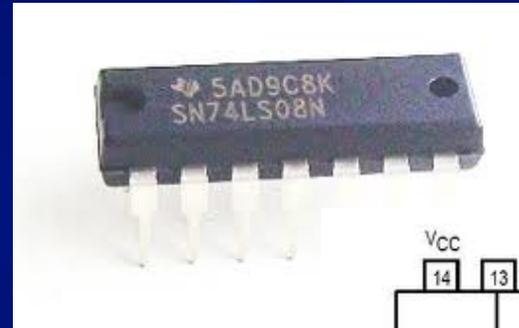
- ✦ Estão em todo o lado!!!



Circuitos Integrados Digitais

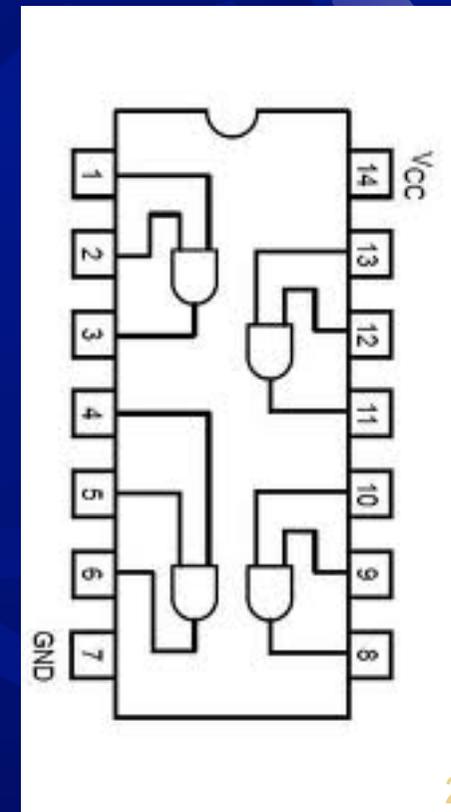
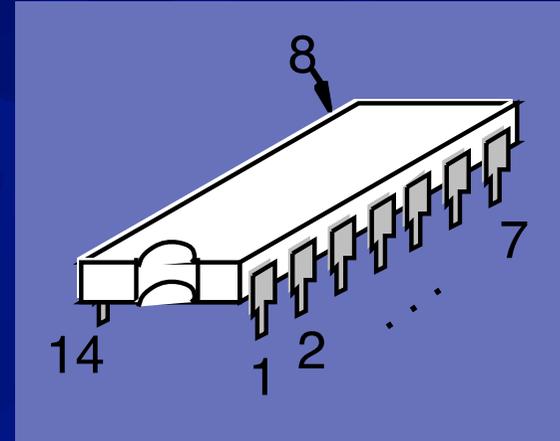
- ★ Cada CI pode ter entre algumas gates e alguns milhões de gates. Por exemplo:

- O circuito integrado usado habitualmente no nosso laboratório com circuitos AND tem 4 gates AND independentes que podem ser usadas separadamente
- Um contador é um CI com algumas dezenas de gates interligadas de forma a formar um contador
- Um microprocessador avançado como o Intel Core i7 tem centenas de milhões de gates ou circuitos equivalent



Encapsulamento de CI's

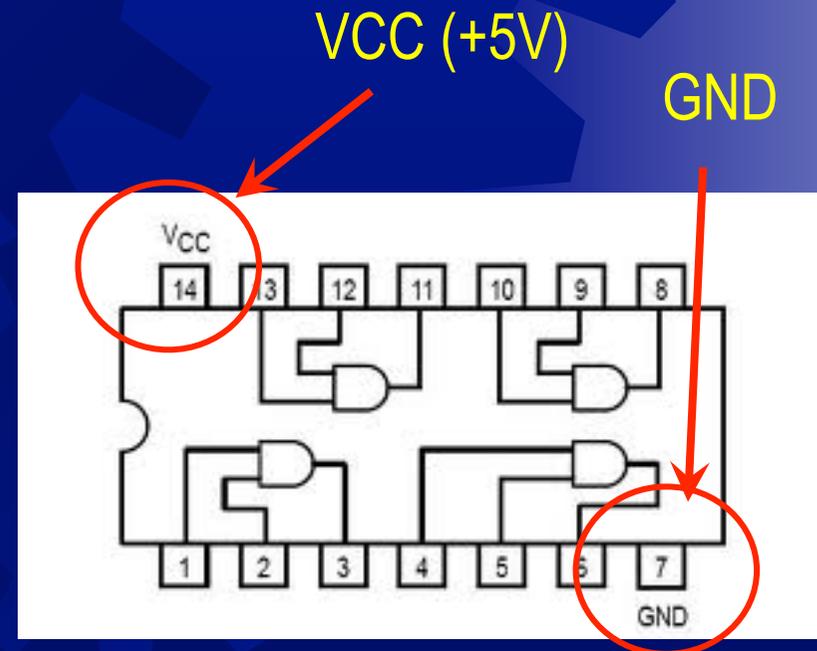
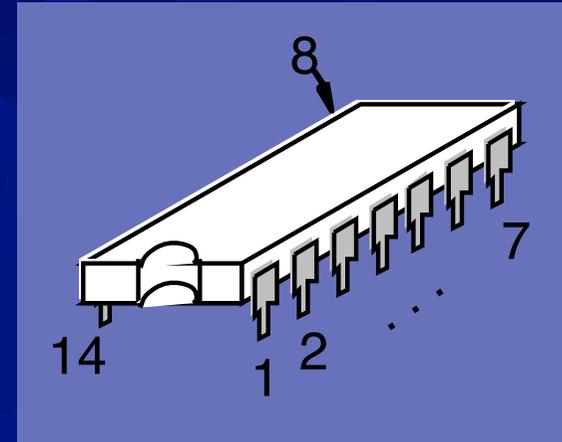
- Os circuitos integrados são pequenos cristais de silício que, para poderem ser utilizados, estão inseridos em embalagens que facilitam o seu manuseio e interligação
- Os integrados que vamos usar estão encapsulados num tipo particular de embalagem chamada DIP – *Dual in-line package* – por terem duas séries de terminais (pinos) que estão organizados em duas filas de lados opostos do encapsulamento
- O número de terminais dos integrados DIP varia entre 8 e 64 terminais. Na figura ilustra-se um integrado de 14 terminais
- Repare-se na forma como os terminais são numerados. O terminal 1 e o último estão perto de uma pequena reentrância no encapsulamento (que pode assumir outras formas além da ilustrada). A numeração é feita no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio



Alimentação de CI's

- As portas lógicas contidas nos CI's só funcionam se os integrados forem corretamente alimentados (VCC) e ligados à terra (Ground – GND)
- Os integrados que vamos utilizar são do tipo TTL e CMOS que funcionam com uma tensão de alimentação de +5V
- É necessário consultar o catálogo do fabricante do CI para saber quais os pinos utilizados para fazer a alimentação
- No caso do 74LS08, esses pinos são:

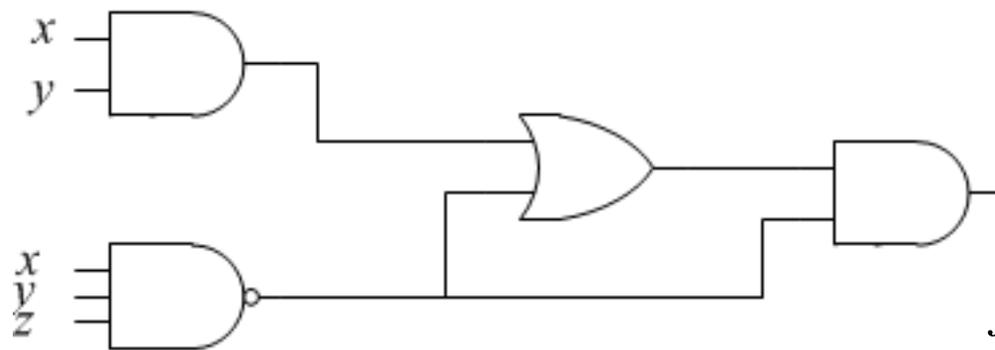
- VCC – 14
- GND – 7



Logigramas e Esquemas Eléctricos

☀ Logograma – Contém somente informação lógica

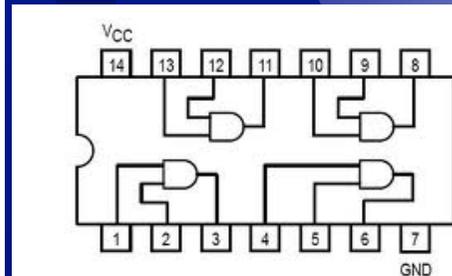
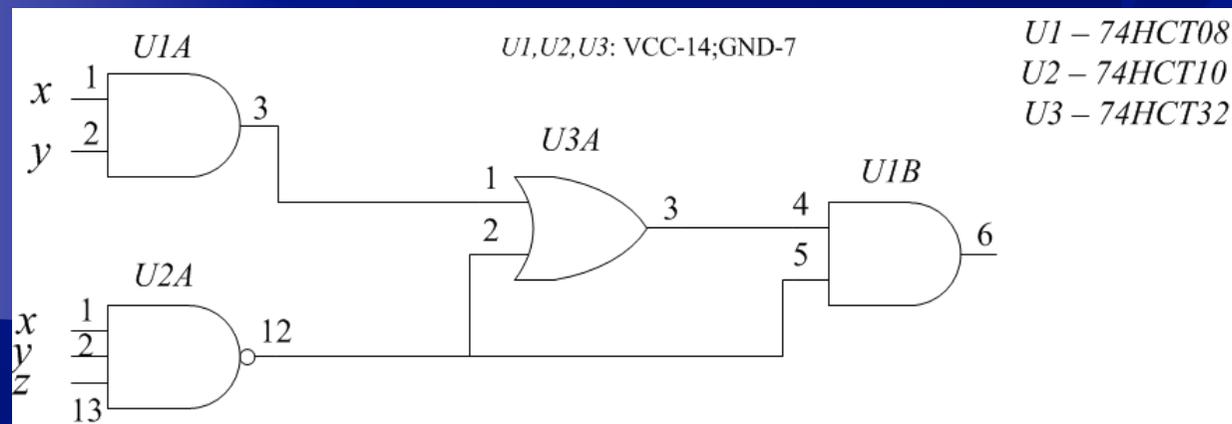
☀ Ex:



$$f(x, y, z) = (xy + \overline{xyz}) \cdot \overline{xyz}$$

Logigramas e Esquemas Eléctricos

- Esquema eléctrico – Contém informações de ordem técnica que permitem montar o circuito sem recorrer a mais nenhuma informação:
 - Identificação dos CI's
 - Legenda
 - Números dos pinos correspondentes a cada entrada e saída de cada porta
- Exemplo de esquema eléctrico:

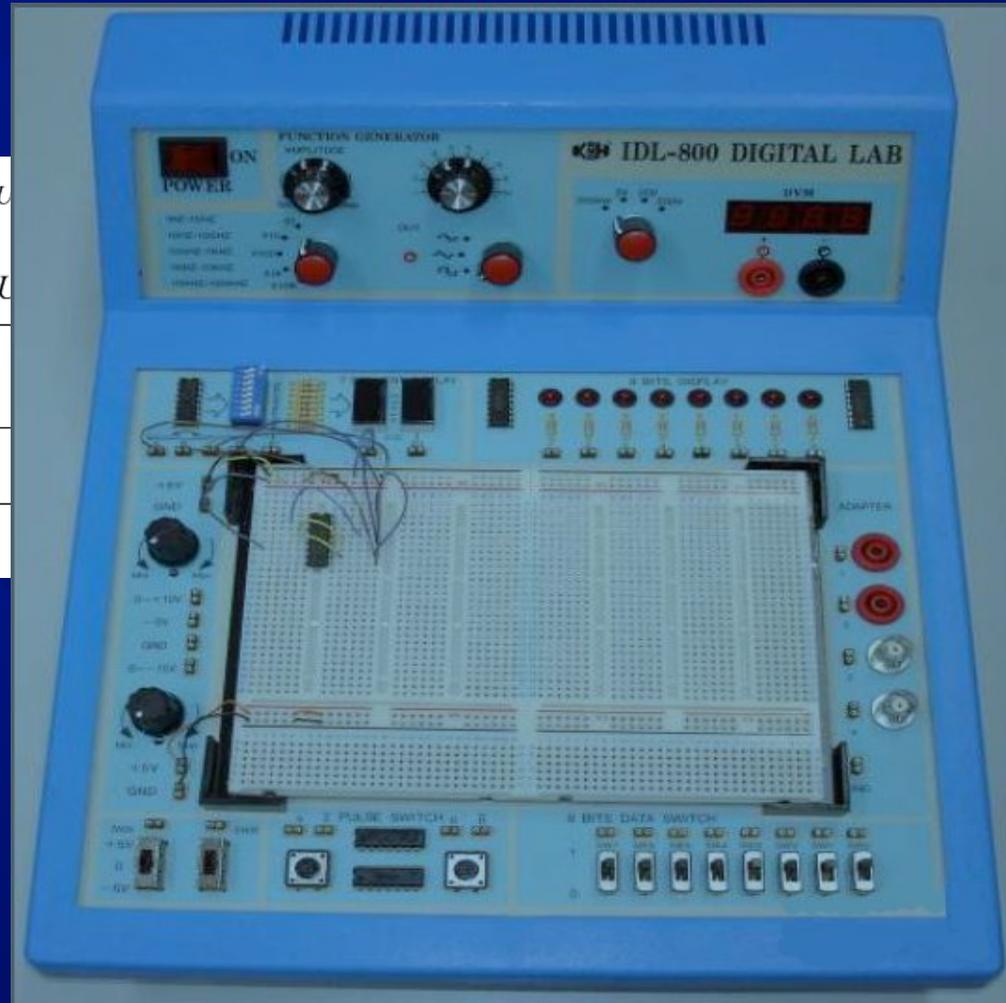
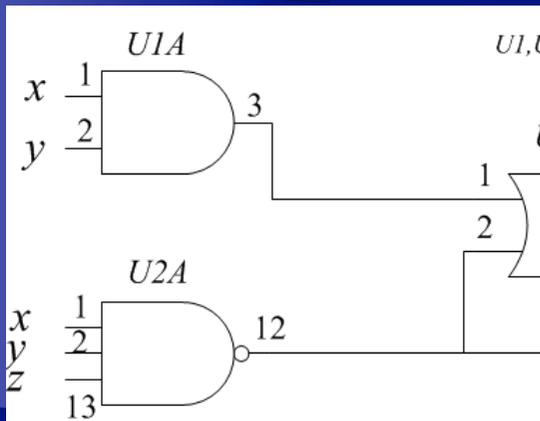


- Os catálogos de CI's são utilizados para preencher a informação do esquema eléctrico
 - Exemplo: A informação relativa ao 74LS08 permite saber quais os pinos ligados a cada porta AND



Esquemas Eléctricos

- ✦ A partir do esquema eléctrico, utilizando os CIs indicados, fios eléctricos, e algum material adicional de suporte, é possível obter um circuito físico que implementa a função Booleana pretendida!



Tecnologias de fabrico de CI's

☀ TTL: Uma tecnologia que foi muito usada e estabeleceu critérios e normas

- Tem um comportamento médio no que diz respeito a velocidade e a consumo
- Subdivide-se em várias sub-famílias com características diferenciadas mas todas compatíveis entre si
- Dado ter-se tornado muito popular, outras tecnologias têm circuitos com entradas e saídas compatíveis com TTL..
- É uma tecnologia que caiu em desuso a favor da CMOS

☀ CMOS: A outra tecnologia de grande divulgação

- É relativamente mais lenta que a TTL mas consome menos
- É a tecnologia atualmente mais utilizada

☀ ECL

- Tecnologia muito rápida
- Mas com um consumo muito elevado
- É de relativamente difícil utilização (muito sensível a ruído)
- Está reservada a nichos muito reduzidos

☀ Outras tecnologias:

- nMos e pMos
- GaAs
- IIL...



Famílias TTL

- ★ Uma das família utilizadas no laboratório por ser electricamente mais robusta criando, por isso menos problemas a alunos com pouca experiência
- ★ Tensão de alimentação: $5V \pm 5\%$ para séries normais e $5V \pm 10\%$ para séries militares.
- ★ Temperaturas de operação: $[0;70]$ °C nas séries normais e $[-55;125]$ °C nas séries militares.
- ★ Sub-famílias: N (Normal), L, H, LS (a mais usada), S, ALS, AS, F, ...
- ★ Exemplos de tempos de atraso e de consumos para um 74XX00:

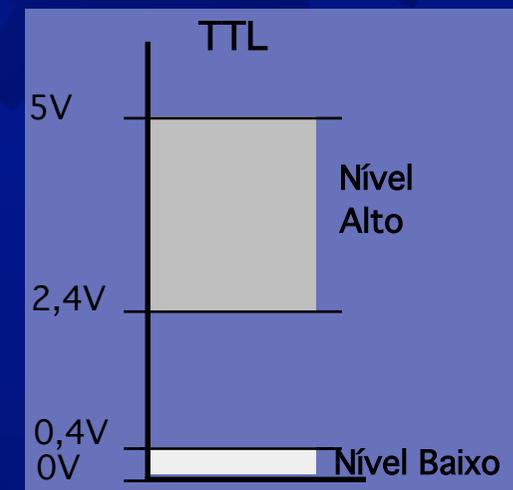
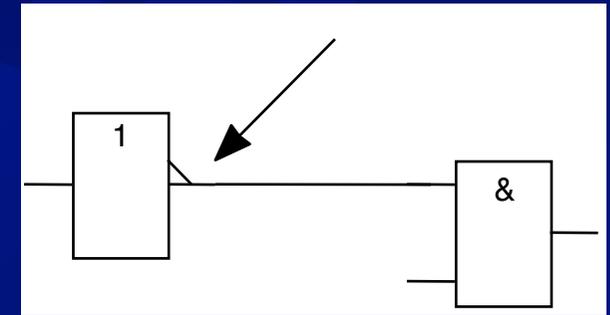
Sub-família	Atraso típico	Corrente de alimentação (típ.)
N (7400)	(7;11) ns	(4;12) mA
LS (74LS00)	(9;10) ns	(0,8;2,4) mA
S (74S00)	(3;5) ns	(10;20) mA

- ★ Em cada sub-família a série 54XXnn é a série militar e a 74XXnn é a normal.



Famílias TTL (Níveis Eléctricos)

- Ligação entre gates TTL, p. Ex., um NOT e um AND:
- Níveis "0"s e "1"s correspondem a intervalos de tensão.
- Família TTL: excepto nas transições, a gate estará ou no valor Alto (**HIGH** entre 2,4V e 5V) ou no valor Baixo (**LOW** entre 0V e 0,4V)
- Típicamente o valor Alto corresponde ao "1" lógico e o valor Baixo ao "0" lógico mas pode ser ao contrário.
- Ruído eléctrico (campos electromagnéticos devidos a emissões de rádio, TV, telemóveis, ruído provocado pelo arranque e paragem de motores eléctricos, emissão electromagnética de outras ligações do mesmo circuito, etc.) pode originar erros
 - Ex.: saída da gate NOT com 0,3V mas entrada da gate AND com 0,5V (valor inválido).
- Assim, definem-se intervalos mais amplos: entre 2V e 5V correspondem a Alto e entre 0V e 0,8V correspondem a Baixo.
- O intervalo de 0,4V entre os valores extremos à saída e à entrada é chamado Margem de Ruído



Famílias CMOS

- Sub-famílias: 4000, 74HC e 74HCT
- A 4000 é a primeira família CMOS, e foi progressivamente abandonada e substituída pelas outras
- A família 74HC tem as referências e o pin-out compatíveis com as famílias TTL, mas não é electricamente compatível
- A família 74HCT é uma variante da HC com níveis lógicos compatíveis com a família TTL e é por isso hoje em dia utilizada no laboratório
- Tensão de alimentação: $5V \pm 5\%$ para séries 74HC e 74HCT e 3 a 18V para a série 4000
- Os níveis lógicos nas famílias CMOS são, em algumas sub-famílias, diferentes dos das famílias TTL:
 - No caso da série 4000 os níveis são variáveis com a tensão de alimentação que pode ir de 3V a 18V

