LOM3206 – ELETRÔNICA
AULA 11

Prof. Dr. Emerson G. Melo

Sumário

- Circuitos Optoeletrônicos;
  - LED;
  - Fotodiodo;
  - Fototransistor;
  - Optoisolador.
- Circuitos Lógicos;
  - Portas Lógicas;
  - Circuitos Integrados.

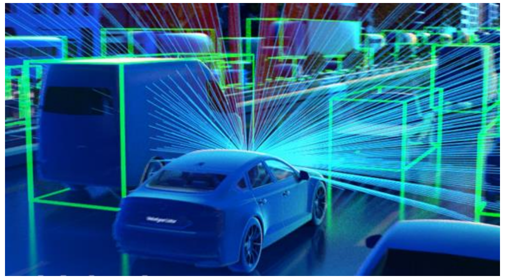
Circuitos Optoeletrônicos

- Em dispositivos optoeletrônicos a interação entre elétrons e fótons é controlada visando aplicações práticas.

Sinalização, Captura e Reprodução de Imagens




Sensoriamento






Comunicações, Transformação e Energia



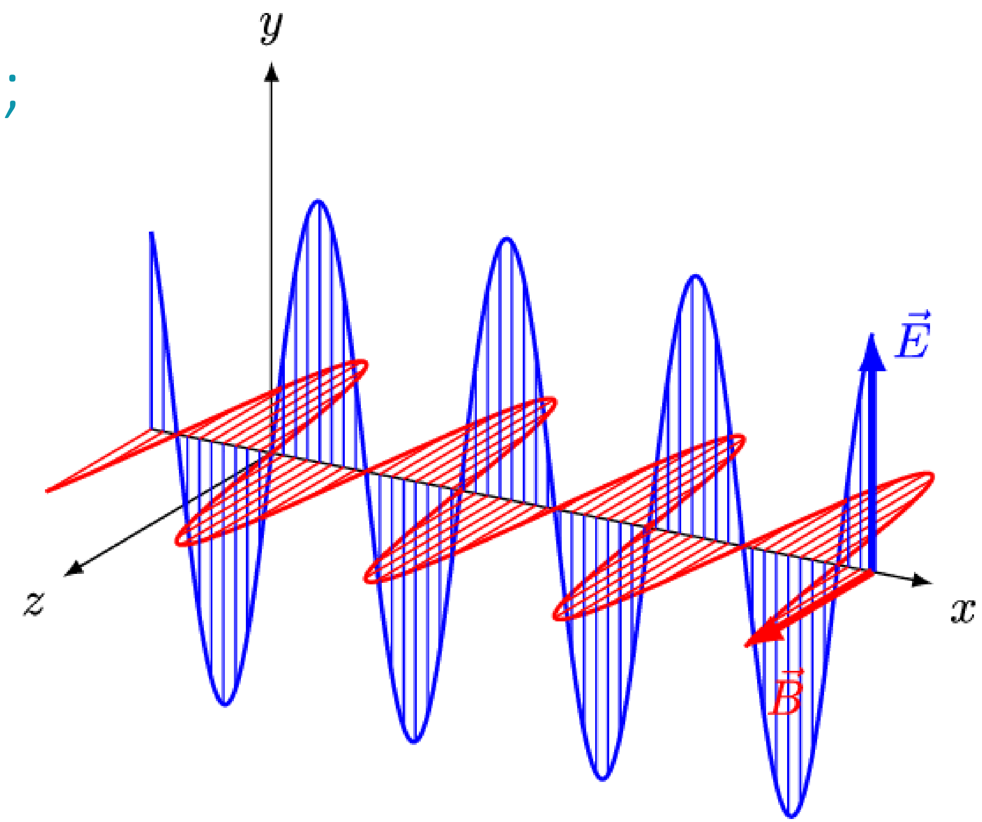

Emerson G. Melo – Departamento de Engenharia de Materiais - Polo Urbo-Industrial, Gleba AI-6, Lorena, SP 12612-550, Brasil

- Radiação eletromagnética ("luz") é uma oscilação sincronizada e autossustentada entre o campo elétrico e o campo magnético;
- Pacotes discretos de energia: Fótons

$$E = hf \qquad h = 6{,}625 \times 10^{-34}\ \mathrm{Js}$$

- Periodicidade temporal e espacial.

$$f = \frac{c}{\lambda} \qquad c = 299792458\ \mathrm{m/s}$$

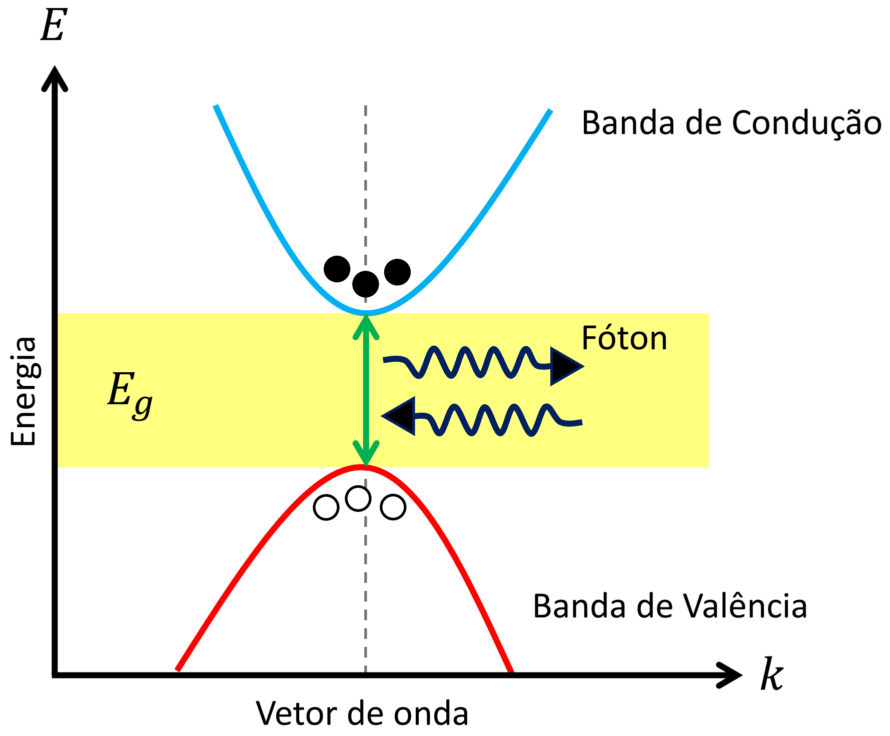


Fonte: Wikimedia Commons, 2019

Recombinação Radiativa

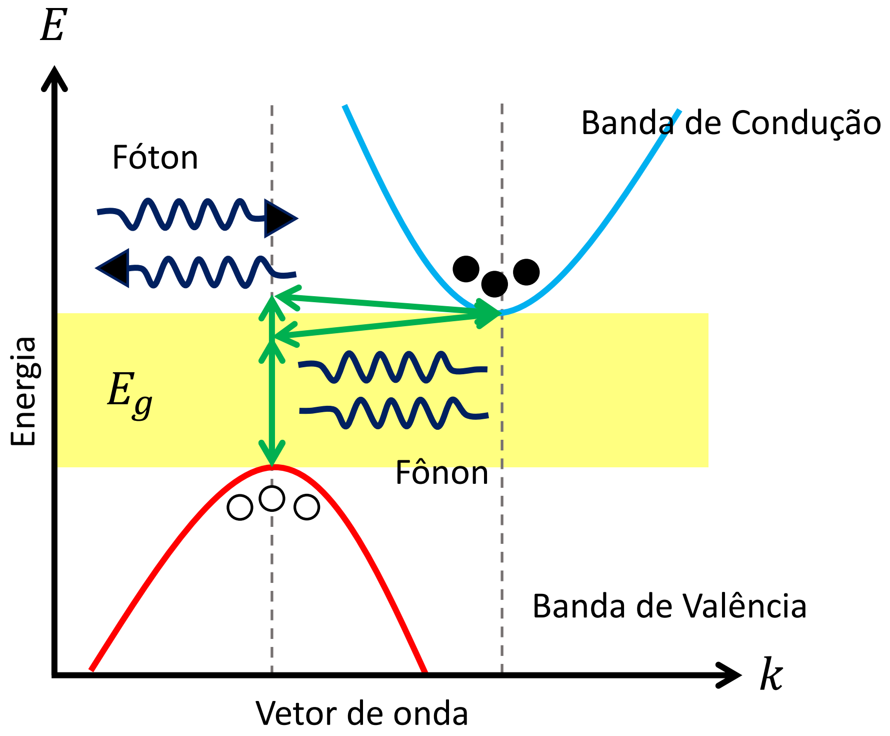
Bandgap Direto

Maior probabilidade de emissão/absorção de fótons



Bandgap Indireto

Menor probabilidade de emissão/absorção de fótons



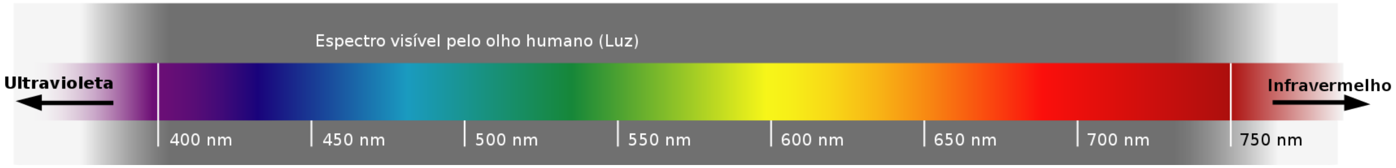
Para que ocorra promoção/decaimento de elétrons entre as bandas de condução e valência é necessário conservar energia e momento

Emerson G. Melo – Departamento de Engenharia de Materiais - Polo Urbo-Industrial, Gleba AI-6, Lorena, SP 12612-550, Brasil

❑Comprimento de onda da luz emitida/absorvida

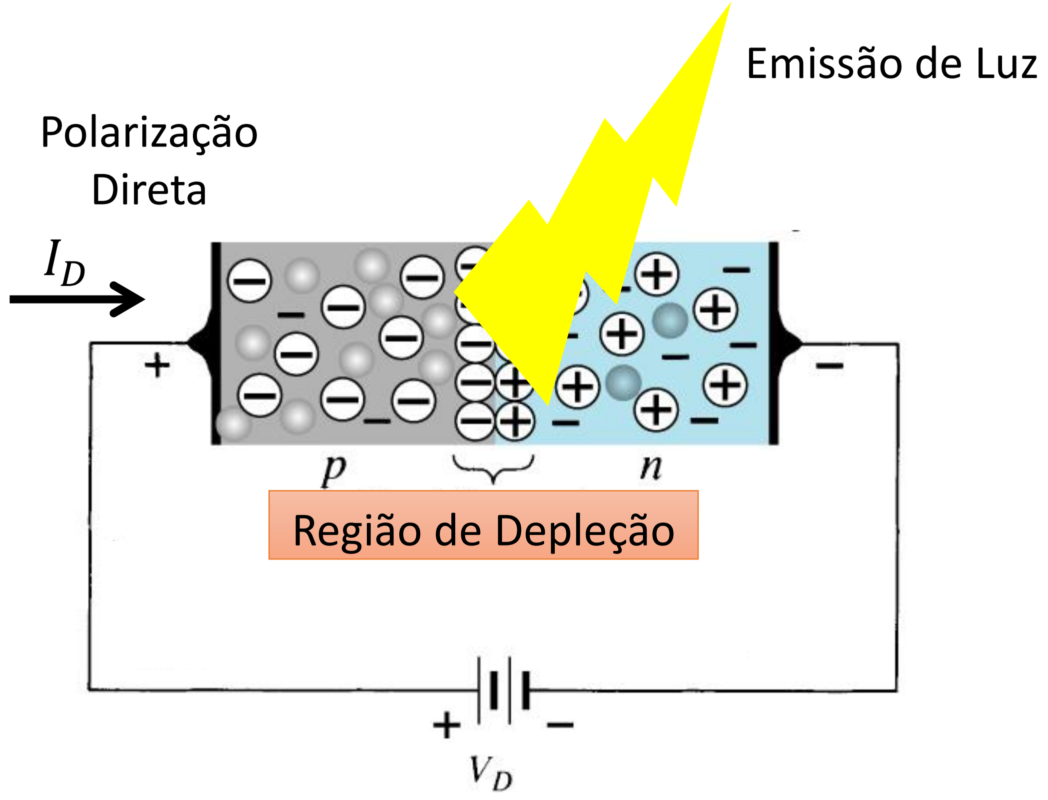
$$E = hf \qquad f = \frac{E}{h} \qquad f = \frac{c}{\lambda} \qquad \frac{E}{h} = \frac{c}{\lambda} \qquad \lambda = \frac{ch}{E} \qquad \lambda = \frac{1{,}242\ (\mu\text{m})}{E\ (\text{eV})}$$

Material	Bandgap	E_g (eV)	λ_g (µm)
Silício (Si)	Indireto	1,12	1,108
Germânio (Ge)	Indireto	0,66	1,882
Fosfeto de Índio (InP)	Direto	1,35	0,920
Arseneto de Gálio (GaAs)	Direto	1,42	0,875
Fosfeto de Gálio e Índio (GaInP)	Direto	1,90	0,653
Nitreto de Gálio (GaN)	Direto	3,40	0,365
Nitreto de Alumínio (AlN)	Direto	6,30	0,197



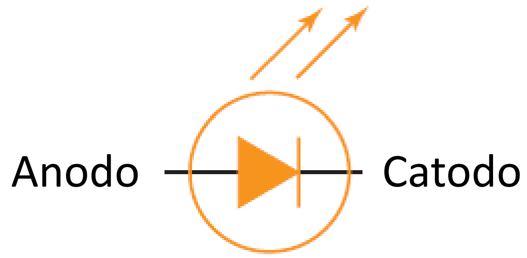
Emerson G. Melo – Departamento de Engenharia de Materiais - Polo Urbo-Industrial, Gleba AI-6, Lorena, SP 12612-550, Brasil

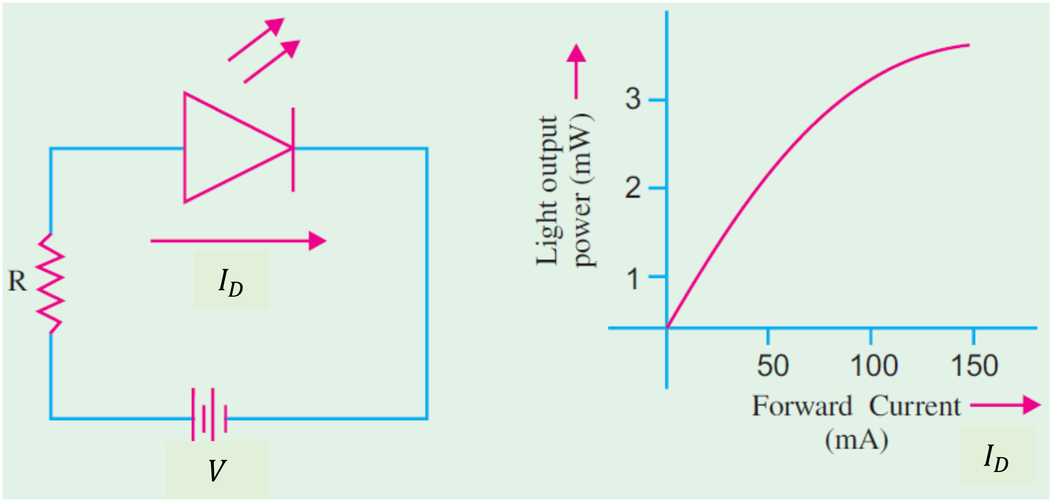
Diodo Emissor de Luz: LED



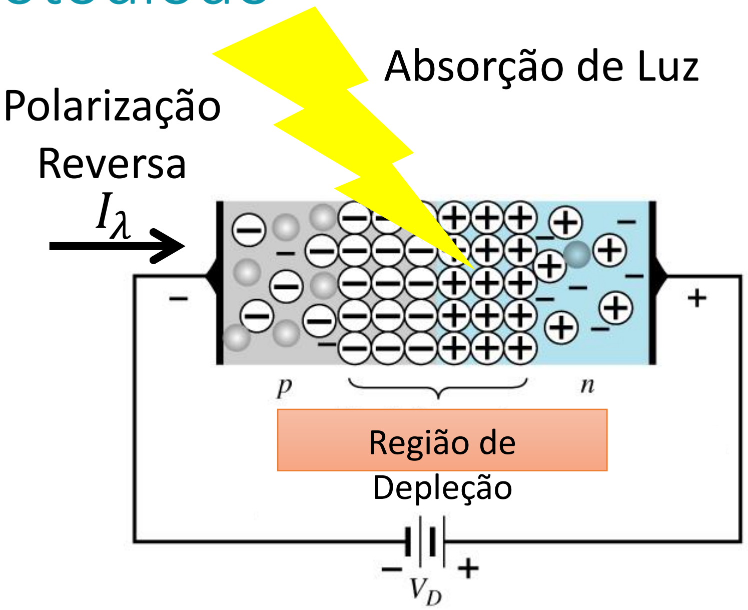
$$I_D = I_S\left(e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1\right)$$

I_D = Corrente de Polarização Direta
I_S = Corrente de Saturação Reversa
V_D = Tensão de Polarização Direta
n = Fator de idealidade (1 < n < 2)
V_T = Tensão térmica: 25 mV à 25 °C



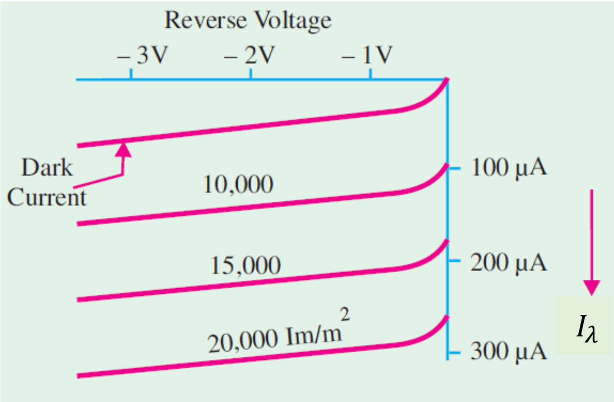


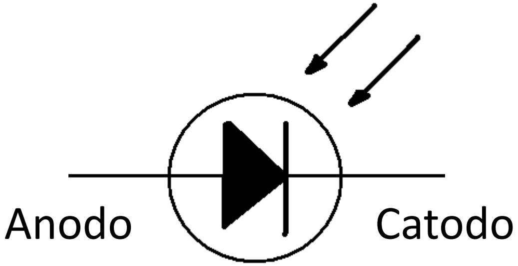
Fotodiodo

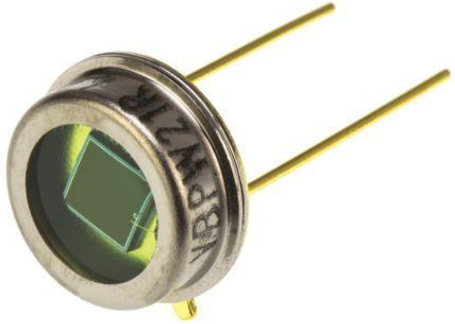


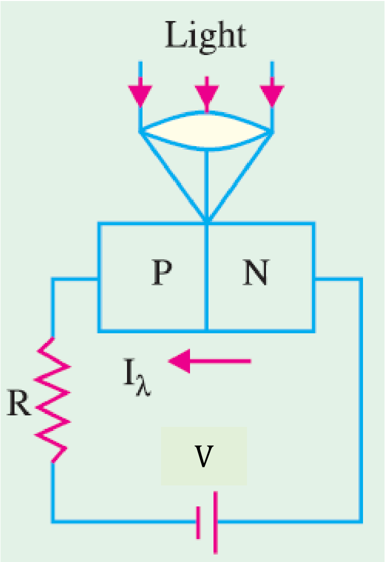
$$I_\lambda = I_S\left(e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1\right) - I_{Ph}$$

- I_λ = Corrente Total no Fotodiodo
- I_S = Corrente de Escuro
- I_{Ph} = Corrente Fotogerada
- V_D = Tensão de Polarização Direta
- n = Fator de idealidade (1 < n < 2)
- V_T = Tensão térmica: 25 mV à 25 °C









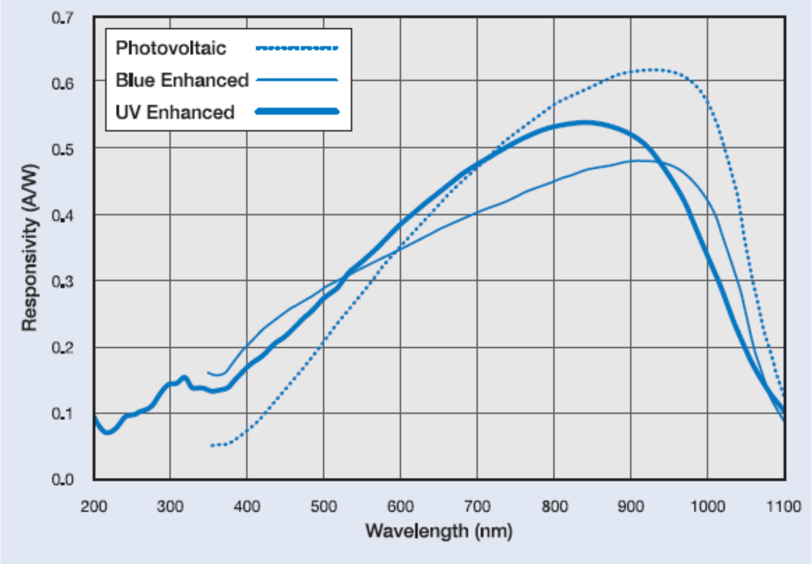
$$I_\lambda \cong I_S + I_{Ph}$$

Emerson G. Melo – Departamento de Engenharia de Materiais - Polo Urbo-Industrial, Gleba AI-6, Lorena, SP 12612-550, Brasil

Fotodiodo: Responsividade (R_λ) e Eficiência Quântica ($Q.E.$)

A responsividade (A/W) mede a relação entre a corrente fotogerada e a potência da luz incidente.

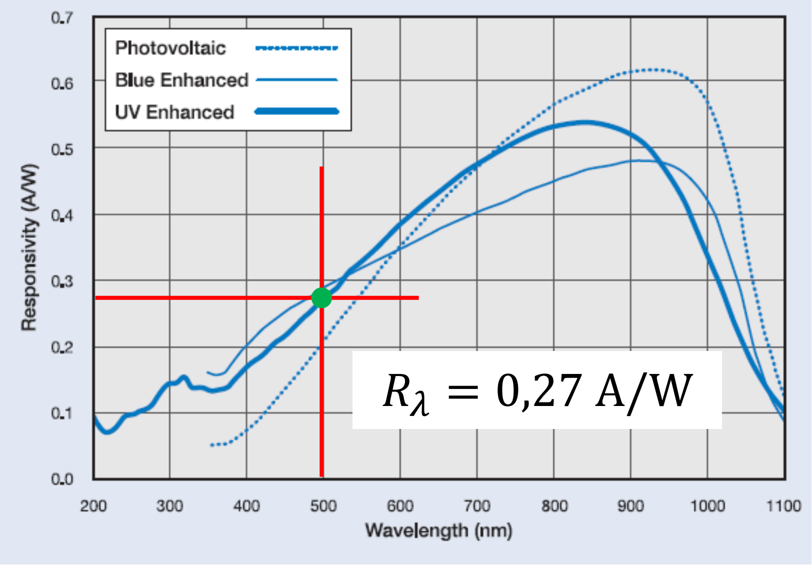
$$R_\lambda = \frac{I_{Ph}}{P}$$



A eficiência quântica mede a fração dos fótons incidentes sobre a junção ***pn*** que contribuem para a corrente fotogerada.

$$Q.E. = \frac{1{,}242 R_\lambda}{\lambda(\mu\text{m})} \times 100\%$$

- Exemplo: Calcular a eficiência quântica e a corrente fotogerada para um diodo que tipo “*UV Enhanced*” com uma janela de exposição de $1000\ \mu m^2$ considerando luz monocromática com comprimento de onda de $500\ \mathrm{nm}$ e uma densidade de potência de $1000\ \mathrm{W}/m^2$.



Eficiência Quântica:

$$Q.E. = \frac{1{,}242 R_\lambda}{\lambda(\mu\mathrm{m})} \times 100\% = \frac{1{,}242 \times 0{,}27}{0{,}500} \times 100\% = 67\%$$

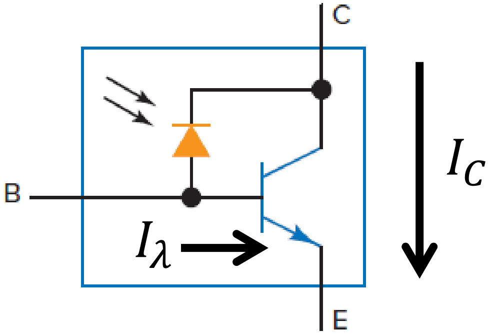
Corrente Fotogerada:

$$P = 10^3 \frac{W}{m^2} \times 10^3 \times (10^{-6} m)^2 = 10^6 \frac{W}{m^2} \times 10^{-12} m^2 = 10^{-6}\ W$$

$$R_\lambda = \frac{I_{Ph}}{P} \qquad I_{Ph} = R_\lambda P \qquad I_{Ph} = 0{,}27 \frac{A}{W} \times 10^{-6}\ W = 270\ \mathrm{nA}$$

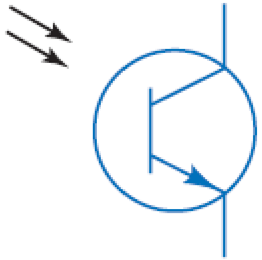
Circuitos Optoeletrônicos

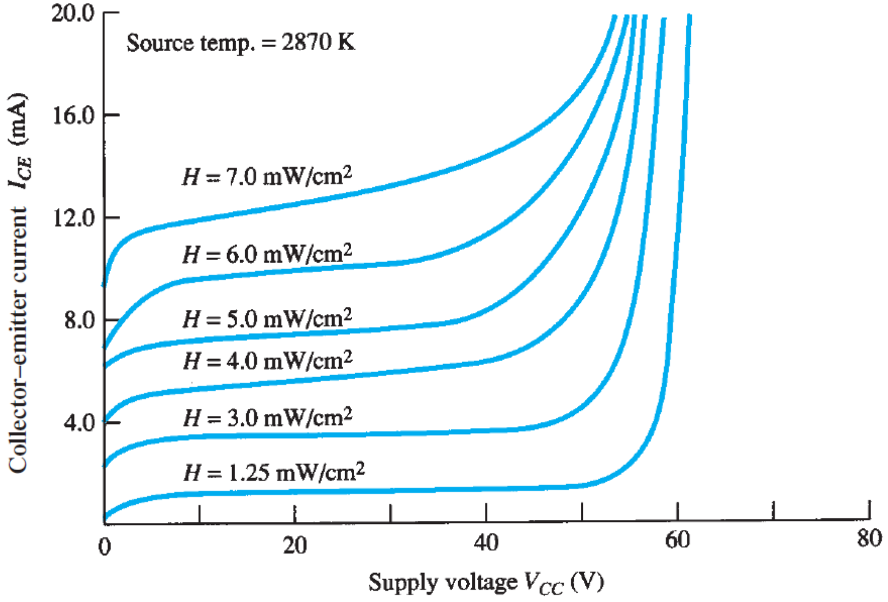
- Fototransistor: Permite controlar a corrente entre coletor e emissor através da intensidade da luz que atinge a junção base-emissor.



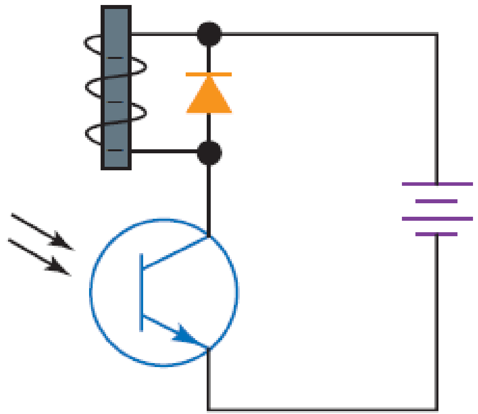
$$I_C = \beta I_\lambda$$

Maior Sensibilidade

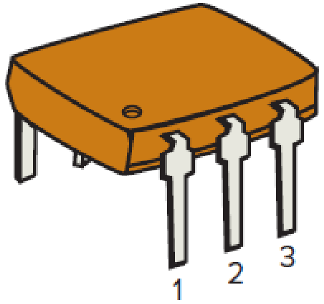


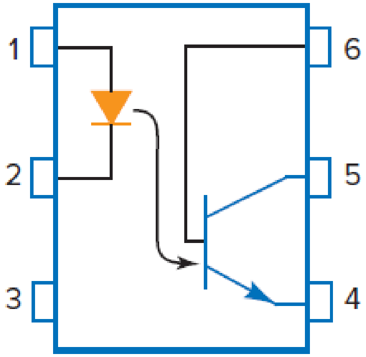


Exemplo de Aplicação



- Optoisolador: Permite transmitir informação através de luz e obter uma isolação elétrica completa entre dois circuitos.



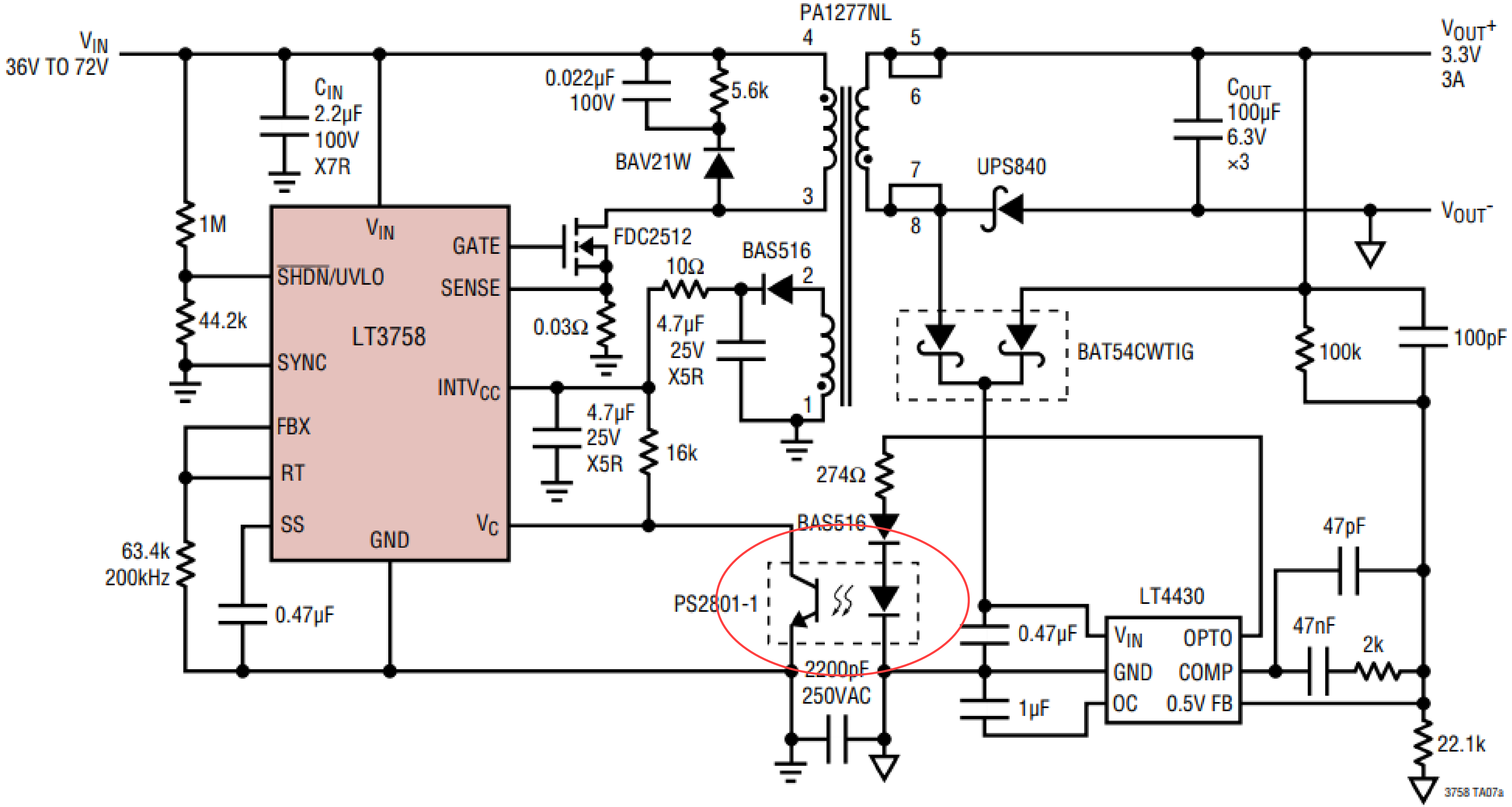


4N25 4N25A 4N26 4N27 4N28

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted)(1)

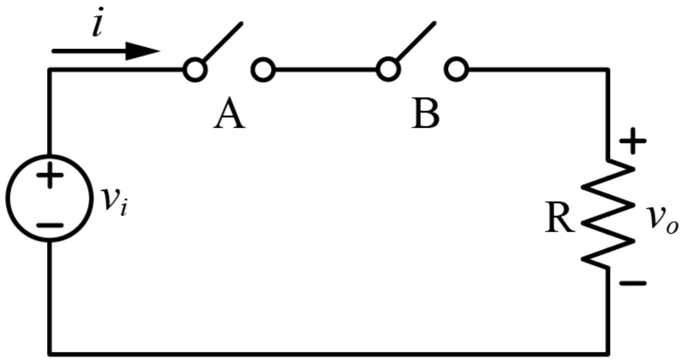
Characteristic		Symbol	Min	Typ(1)	Max	Unit
INPUT LED						
Forward Voltage (I_F = 10 mA)	T_A = 25°C T_A = –55°C T_A = 100°C	V_F	— — —	1.15 1.3 1.05	1.5 — —	Volts
Reverse Leakage Current (V_R = 3 V)		I_R	—	—	100	µA
Capacitance (V = 0 V, f = 1 MHz)		C_J	—	18	—	pF
OUTPUT TRANSISTOR						
Collector–Emitter Dark Current (V_{CE} = 10 V, T_A = 25°C	4N25,25A,26,27 4N28	I_{CEO}	— —	1 1	50 100	nA
(V_{CE} = 10 V, T_A = 100°C)	All Devices	I_{CEO}	—	1	—	µA
Collector–Base Dark Current (V_{CB} = 10 V)		I_{CBO}	—	0.2	—	nA
Collector–Emitter Breakdown Voltage (I_C = 1 mA)		$V_{(BR)CEO}$	30	45	—	Volts
Collector–Base Breakdown Voltage (I_C = 100 µA)		$V_{(BR)CBO}$	70	100	—	Volts
Emitter–Collector Breakdown Voltage (I_E = 100 µA)		$V_{(BR)ECO}$	7	7.8	—	Volts
DC Current Gain (I_C = 2 mA, V_{CE} = 5 V)		h_{FE}	—	500	—	—
Collector–Emitter Capacitance (f = 1 MHz, V_{CE} = 0)		C_{CE}	—	7	—	pF
Collector–Base Capacitance (f = 1 MHz, V_{CB} = 0)		C_{CB}	—	19	—	pF
Emitter–Base Capacitance (f = 1 MHz, V_{EB} = 0)		C_{EB}	—	9	—	pF

❑Optoisolador: Aplicação Típica



- São circuitos que implementam operações matemáticas através de níveis discretos de tensão.

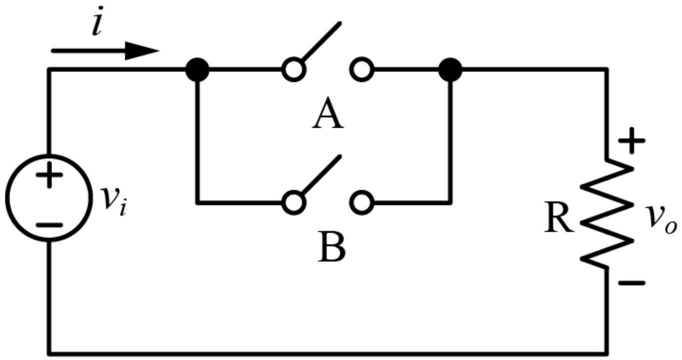
Lógica E (AND)



$$v_o = (AB)v_i$$

$$v_o = AB$$

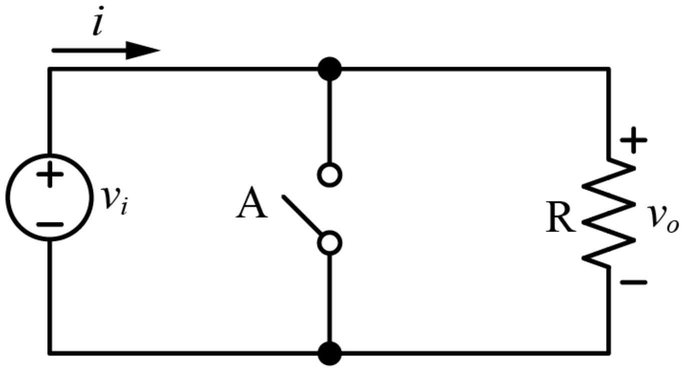
Lógica OU (OR)



$$v_o = (A + B)v_i$$

$$v_o = A + B$$

Lógica Inversora (NOT)



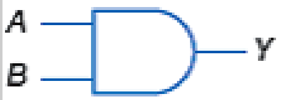
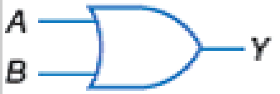
$$v_o = \bar{A}v_i$$

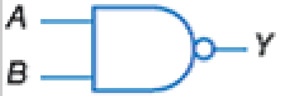
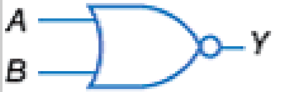
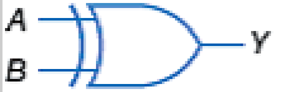
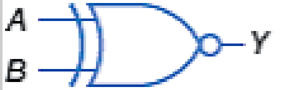
$$v_o = \bar{A}$$

Estado Lógico	Estado Físico	Tensão (V)
0	Desligado	0
1	Ligado	v_i

Circuitos Lógicos

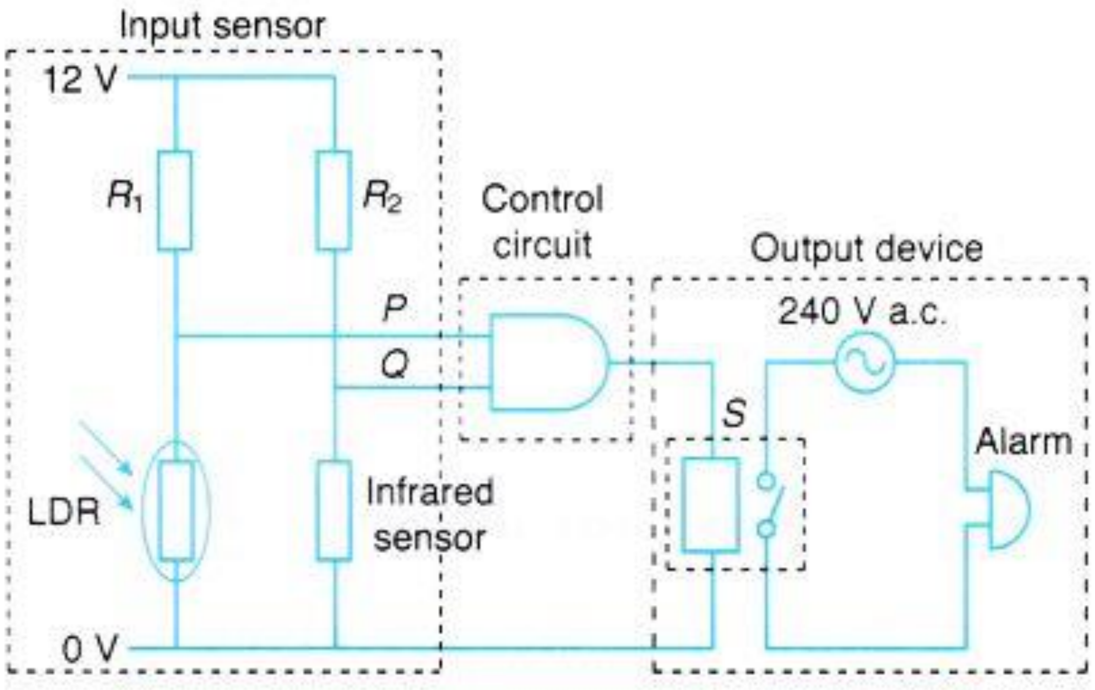
- Portas Lógicas: Circuitos que executam funções lógicas.

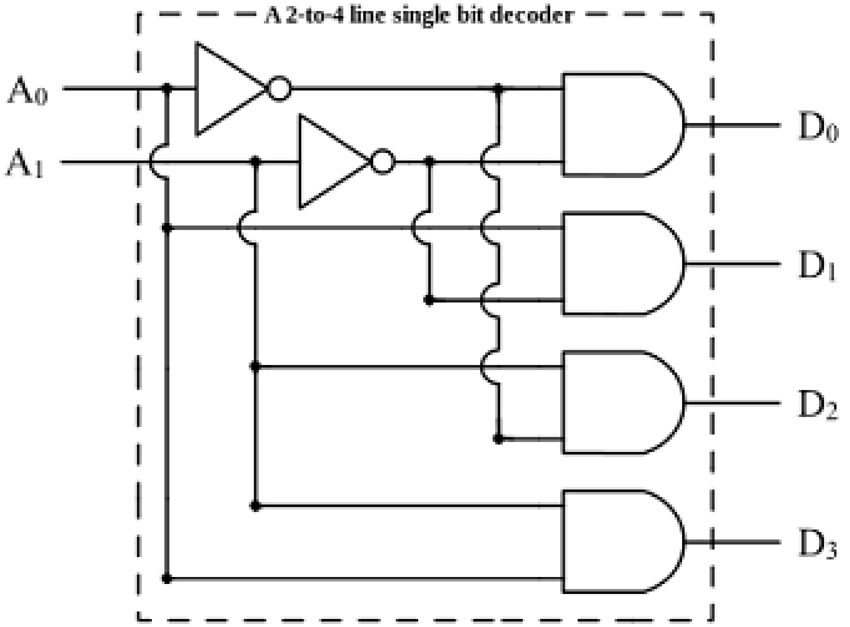
LOGIC FUNCTION	LOGIC SYMBOL	BOOLEAN EXPRESSION	TRUTH TABLE: INPUTS B	TRUTH TABLE: INPUTS A	TRUTH TABLE: OUTPUT Y
AND		$A \cdot B = Y$	0	0	0
			0	1	0
			1	0	0
			1	1	1
OR		$A + B = Y$	0	0	0
			0	1	1
			1	0	1
			1	1	1
Inverter		$A = \overline{A}$		0	1
				1	0

LOGIC FUNCTION	LOGIC SYMBOL	BOOLEAN EXPRESSION	TRUTH TABLE		
NAND		$\overline{A \cdot B} = Y$	0	0	1
			0	1	1
			1	0	1
			1	1	0
NOR		$\overline{A + B} = Y$	0	0	1
			0	1	0
			1	0	0
			1	1	0
XOR		$A \oplus B = Y$	0	0	0
			0	1	1
			1	0	1
			1	1	0
XNOR		$\overline{A \oplus B} = Y$	0	0	1
			0	1	0
			1	0	0
			1	1	1

Emerson G. Melo – Departamento de Engenharia de Materiais - Polo Urbo-Industrial, Gleba AI-6, Lorena, SP 12612-550, Brasil

Portas Lógicas: Exemplos de Aplicação.





Truth Table

A_1	A_0	D_3	D_2	D_1	D_0
0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	1	0
1	0	0	1	0	0
1	1	1	0	0	0

Minterm Equations

$D_0 = \overline{A_1} \cdot \overline{A_0}$

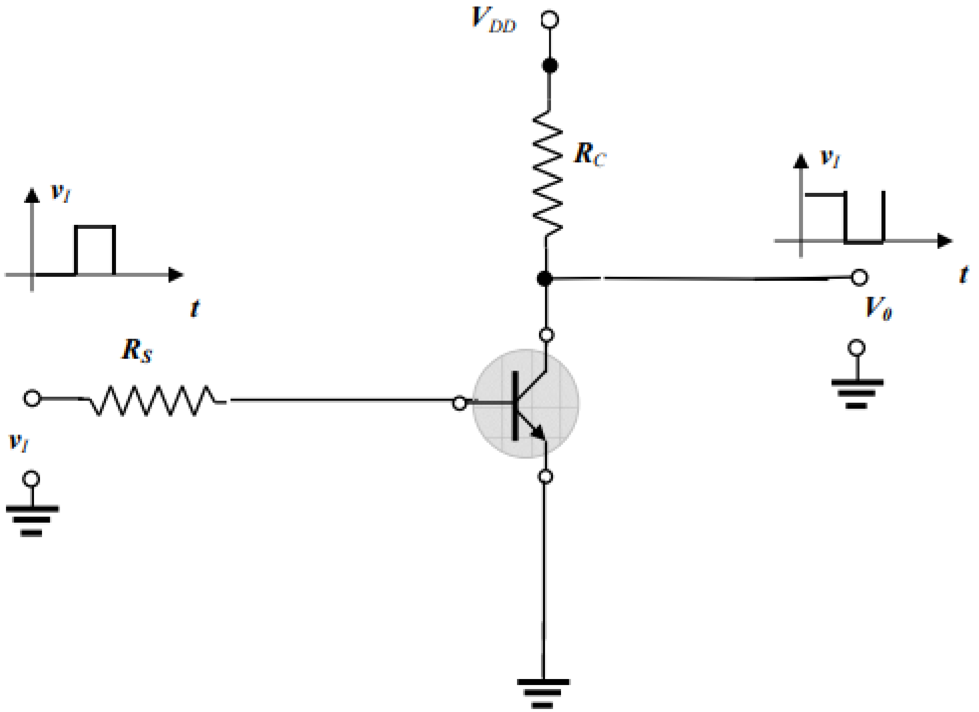
$D_1 = \overline{A_1} \cdot A_0$

$D_2 = A_1 \cdot \overline{A_0}$

$D_3 = A_1 \cdot A_0$

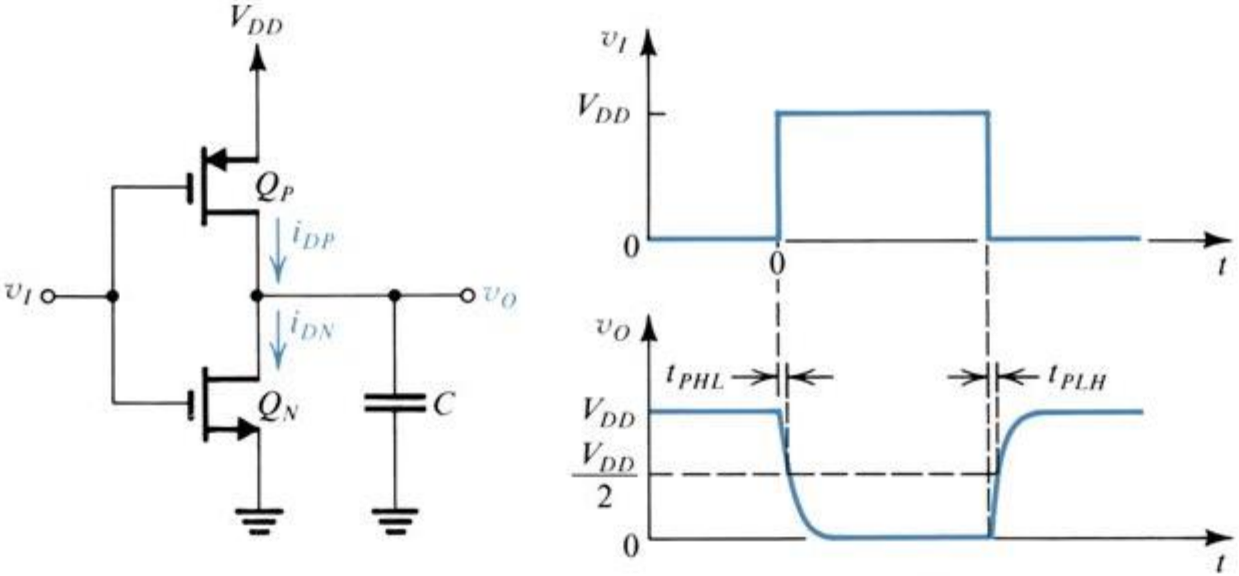
Circuitos Integrados

Lógica TTL



Linha 7400

Lógica CMOS



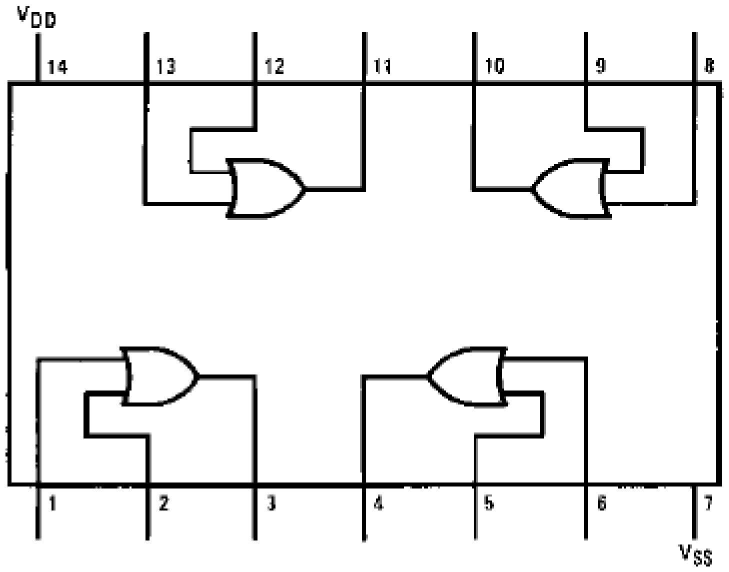
Linha 4000

Circuitos Integrados

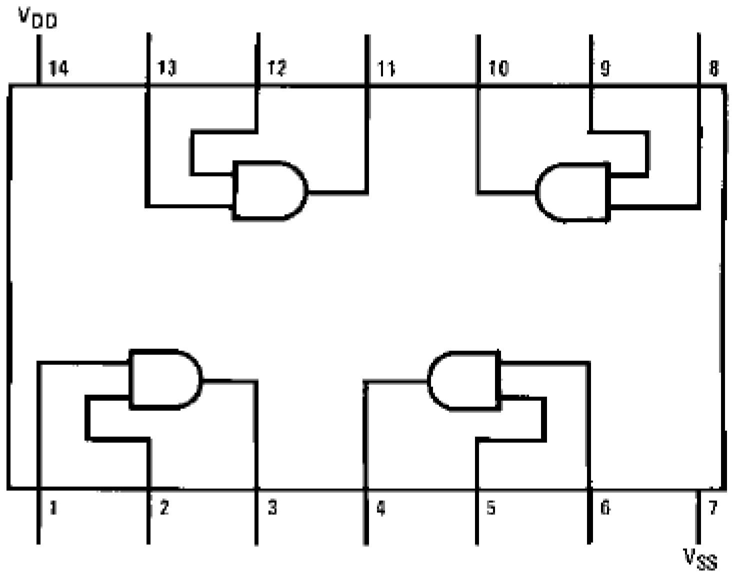
Característica	TTL	CMOS
Porta Lógica Básica	NAND	NAND/NOR
Fan-in	12 – 14	> 10
Fan-out	10	50
Corrente Quiescente por Porta	500 μA	0,01 μA
Margem de Ruído	0,5 V	1,5 V
Imunidade ao Ruído	Boa	Excelente
Atraso de Propagação (ns)	10	50
Alimentação	VDD = 5 V	VDD = 3 – 15 V
Nível Alto	2,4 – 5 V	VDD
Nível Baixo	0 – 0,8 V	0 – 0,5 V

❑Circuitos Integrados

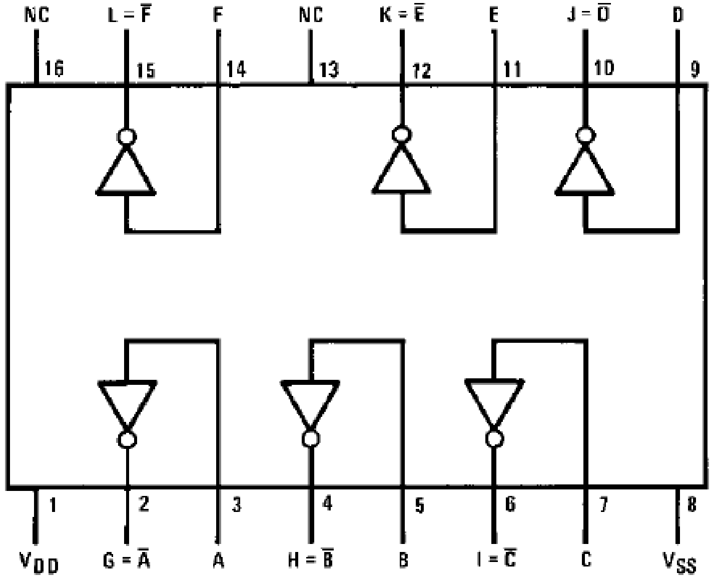
CD4071B



CD4081B



CD4049UBC



Referências Bibliográficas

- Boylestad, Robert L.; Nashelsky, Louis "Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos", 6 ed., Rio de Janeiro, LTC (1998).
- Boylestad, Robert L.; Nashelsky, Louis "Electronic Devices and Circuit Theory", 11 ed., Boston, Pearson (2013).