

PowerPlugs

Templates for PowerPoint



Energia sustentável

Humanity's Top Ten Problems for next 50 years

1. ENERGY
2. WATER
3. FOOD
4. ENVIRONMENT
5. POVERTY
6. TERRORISM & WAR
7. DISEASE
8. EDUCATION
9. DEMOCRACY
10. POPULATION



2003	6.3	Billion People
2050	8-10	Billion People

Source Richard Smalley Energy & Nanotechnology Conference
Rice University, Houston May 3, 2003

A Terra à noite

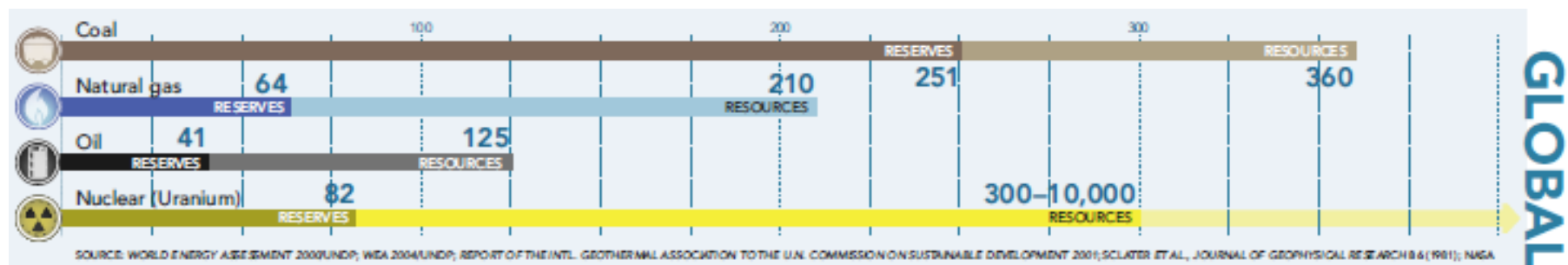


- Consumo mundial de energia em 2004 foi de **15TW**, segundo o Departamento de Energia dos EUA, tendo 86,5% deste valor origem em combustíveis fósseis:
petróleo 36,0% + carvão 27,5% + gás natural 23,0% =86,5%

Fontes de energia convencionais

Quanto resta ?

- Petróleo: 40 –125 anos
- Gás Natural: 65 -210 anos
- Carvão: 250 –360 anos
- Nuclear: 80 –300 anos



Fontes de energia renováveis

- Hidroelétrica
- Eólica
- Biomassa
- Geotérmica
- Marés
- **Solar**



Potencial Global
Actual: ~2 TW
Prático: ~10 TW



Utilização da energia solar

Opções:

- **a) Conversão da energia solar em térmica**
Que também pode ser usada para produzir electricidade
- **b) Conversão da energia solar em eléctrica**
– **Fotões em electrões (Efeito fotovoltaico)**
- **c) “Combustíveis solares”**

Cisão da água: $2\text{H}_2\text{O} + h\nu \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$

Redução do CO_2 : $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + h\nu \rightarrow 2\text{CH}_3\text{OH} + \text{O}_2$

Solar térmica

Aproveitamento da energia solar térmica para obter aquecimento doméstico e água quente é um processo relativamente fácil



DOE/NREL, Alan Ford

Concentração da energia solar

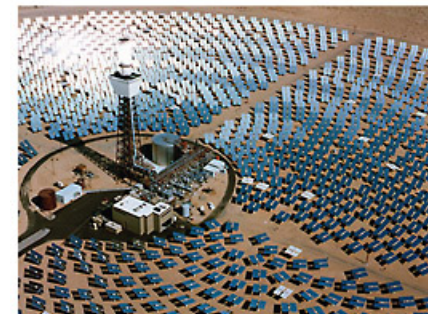
A produção de energia eléctrica a partir da energia solar térmica necessita sistemas de concentração.



DOE/NREL, Dave Parsons
TROUGH COLLECTOR

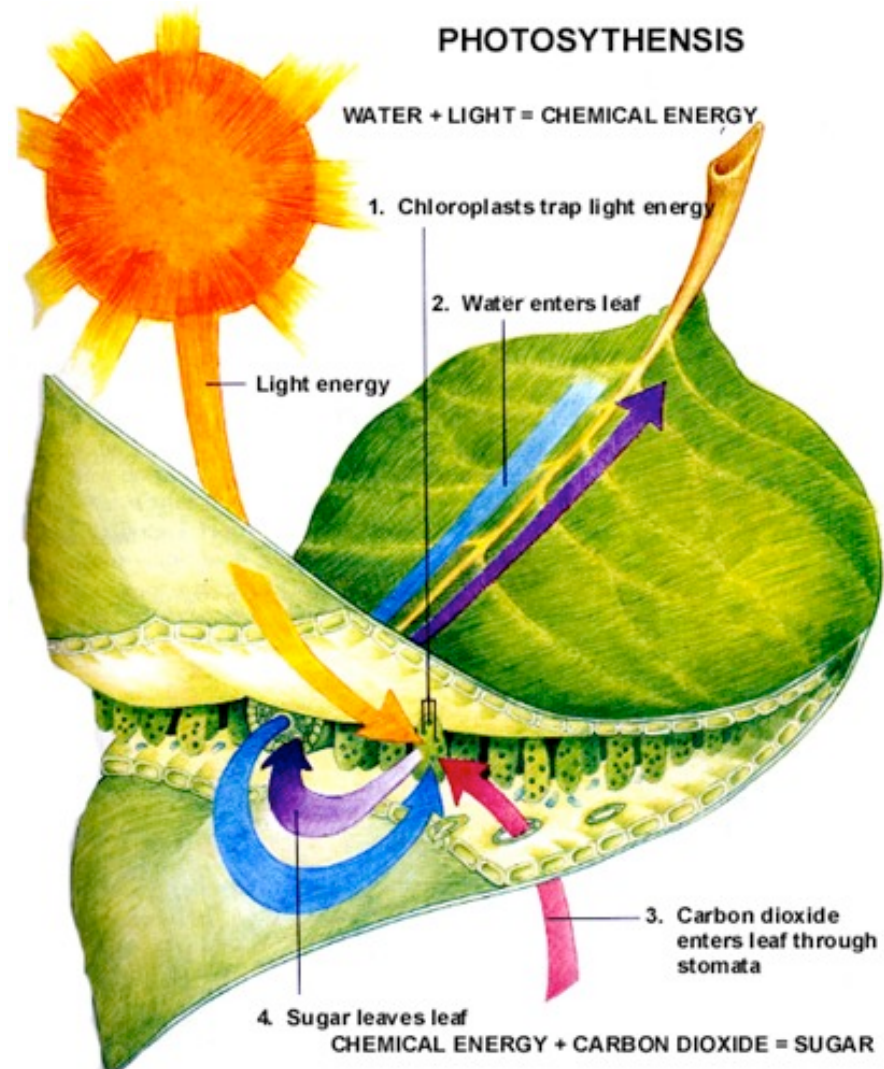


DOE/NREL, Warren Gretz
DISH COLLECTOR



DOE/NREL, Sandia National Laboratories
POWER TOWER

Fotossíntese: modelo



Energia solar_Porquê ?

1. Consumo mundial: 15-16 TW (10^{12} W)
2. Hidroelétrica: assegura 15% da produção global
3. Potencial eólico: $1,3 \times 10^{12}$ kW (3000 vezes consumo mundial actual)
4. Potência solar que a Terra recebe diariamente: 174 000 TW
5. Intensidade solar (1 sol) $\approx 1\text{kW/m}^2$ (100 mW/cm^2)
6. Com painéis fotovoltaicos com eficiência de 15%: 150W/m^2 .
Para 16TW, área necessária $= 1,07 \times 10^5\text{ km}^2$.
7. Uma casa com 100m^2 (telhado), gera 10kW (se 10% ef.). Se tiver o equivalente a 3,5 h de sol diário, gera 35 kWh, que satisfaz a necessidade regular. Armazenamento?

Energia solar_Porquê ?

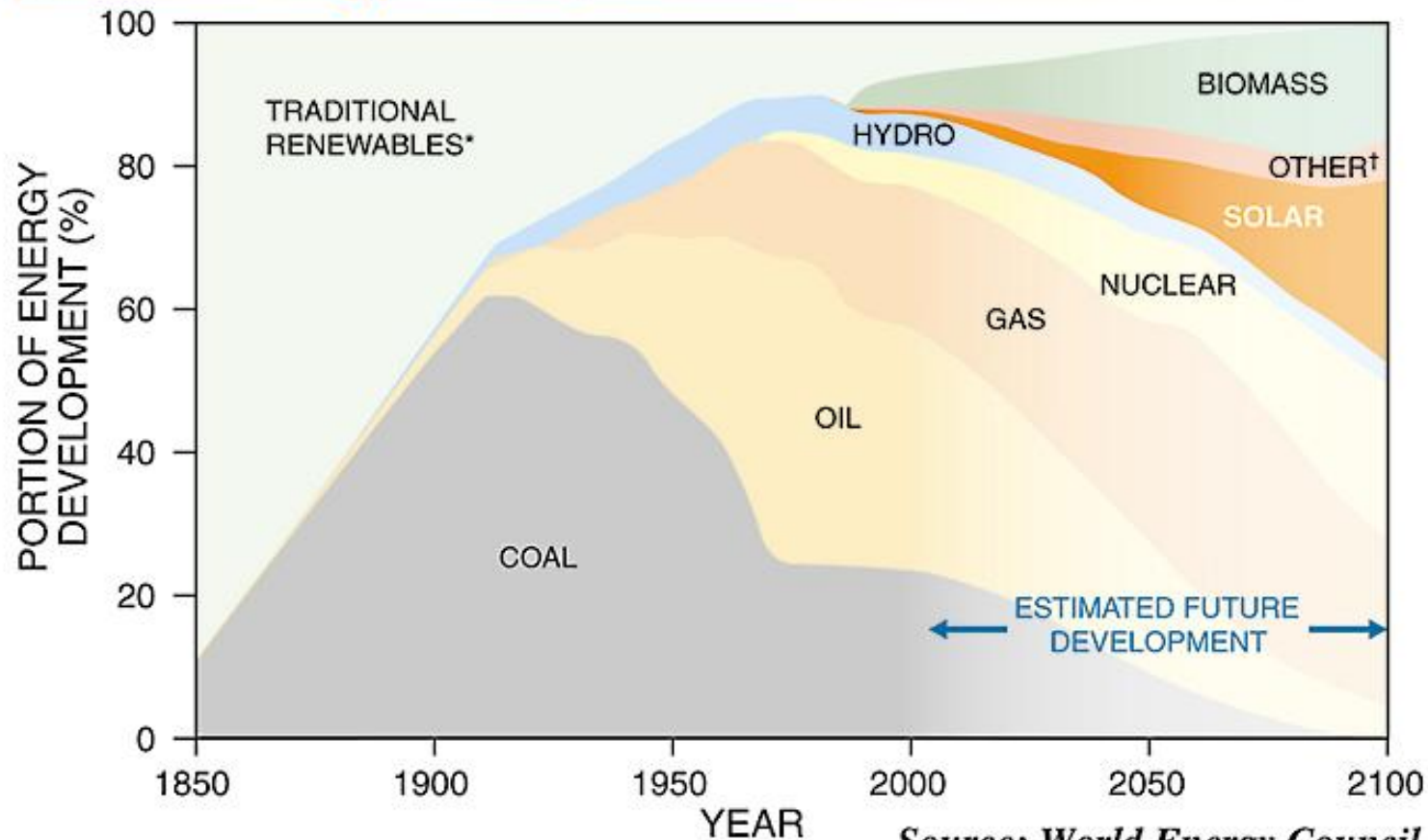
A indústria de IC produz cerca de 10km^2 de área/ano, para obter $1,07 \times 10^5 \text{ km}^2$:

i) $1,07 \times 10^4$ anos

ii) 7×10^6 kg de silício

Previsão

Future Energy Development



Source: World Energy Council

* primarily wood combustion, animal power, and human power

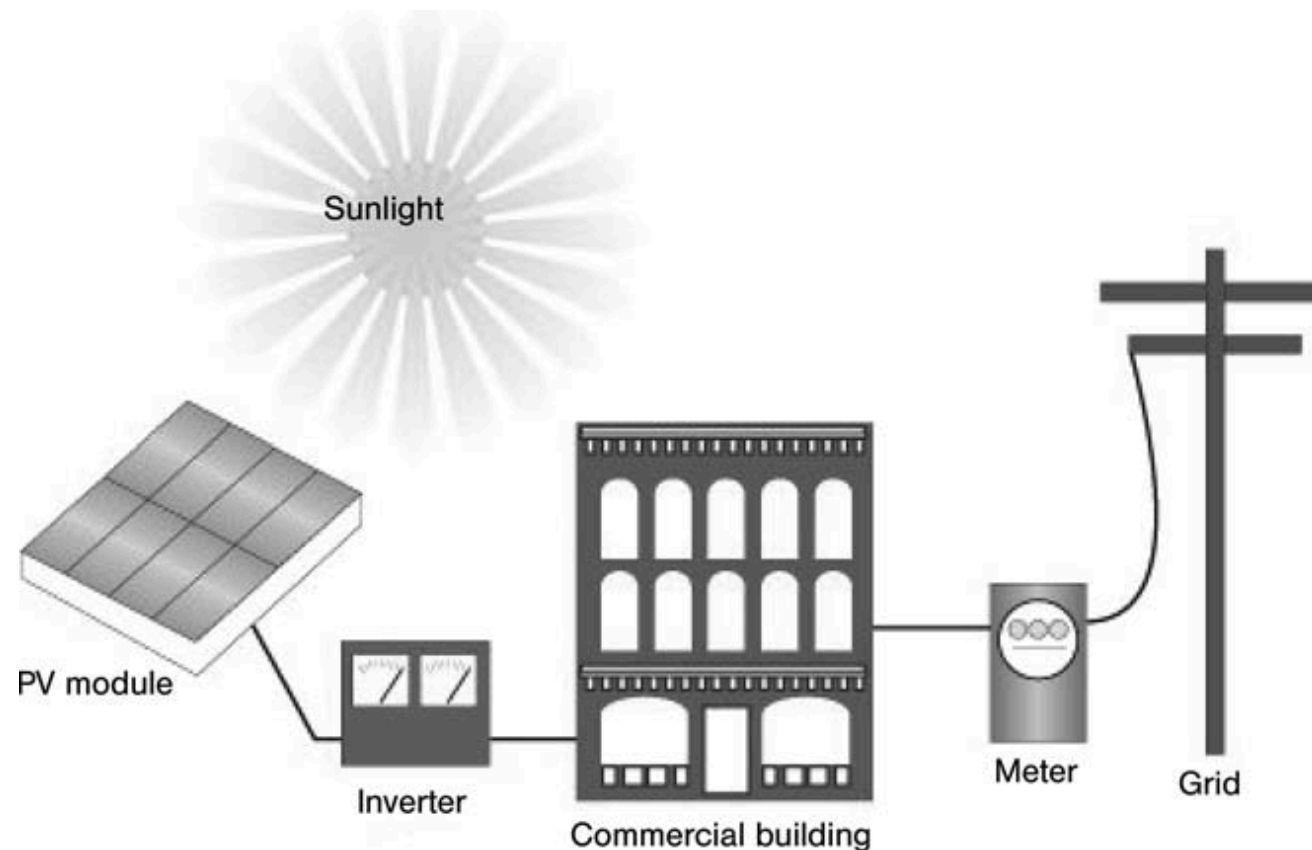
† primarily wind power

Limites na conversão fotovoltaica da energia solar

1. Conversão 1pht-1 elect colectado_lsc
2. Voc_termodinâmica (assumindo que a ef do processo 1 é 100%)

Células, módulos e painéis

Células são ligadas em série (28-36 células) para gerar uma voltagem de 12V (tipicamente). Estes módulos são depois combinados, em paralelo, formando painéis.



Um pouco de história

1839-reconhecimento do efeito fotovoltaico (A. E. Becquerel)

1883 – Charles Fritts-junções de selênio revestido com ouro-PCE de 1%

1954 – Bell Labs-primeiras células solares viáveis (Si)

1970s-1980s – PVs orgânicas (Ghosh, Chamberlain, Tang)

1980s –Células de corante (dye-sensitized solar cells_ Grätzel)

1995 – PVs com base em polímero (“plásticas”) (Wudl & Heeger)

Materias para células solares

Selénio (primeiro material fotovoltaico, não é prático)

1ª Geração

Si (monocristalino)

2ª Geração (filmes finos)

Filmes de *a-Si* / *poli-Si* (*Ge*)

Filmes de CdTe, GaAs

Filmes de CIGS ($\text{CuIn}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{Se}_2$)

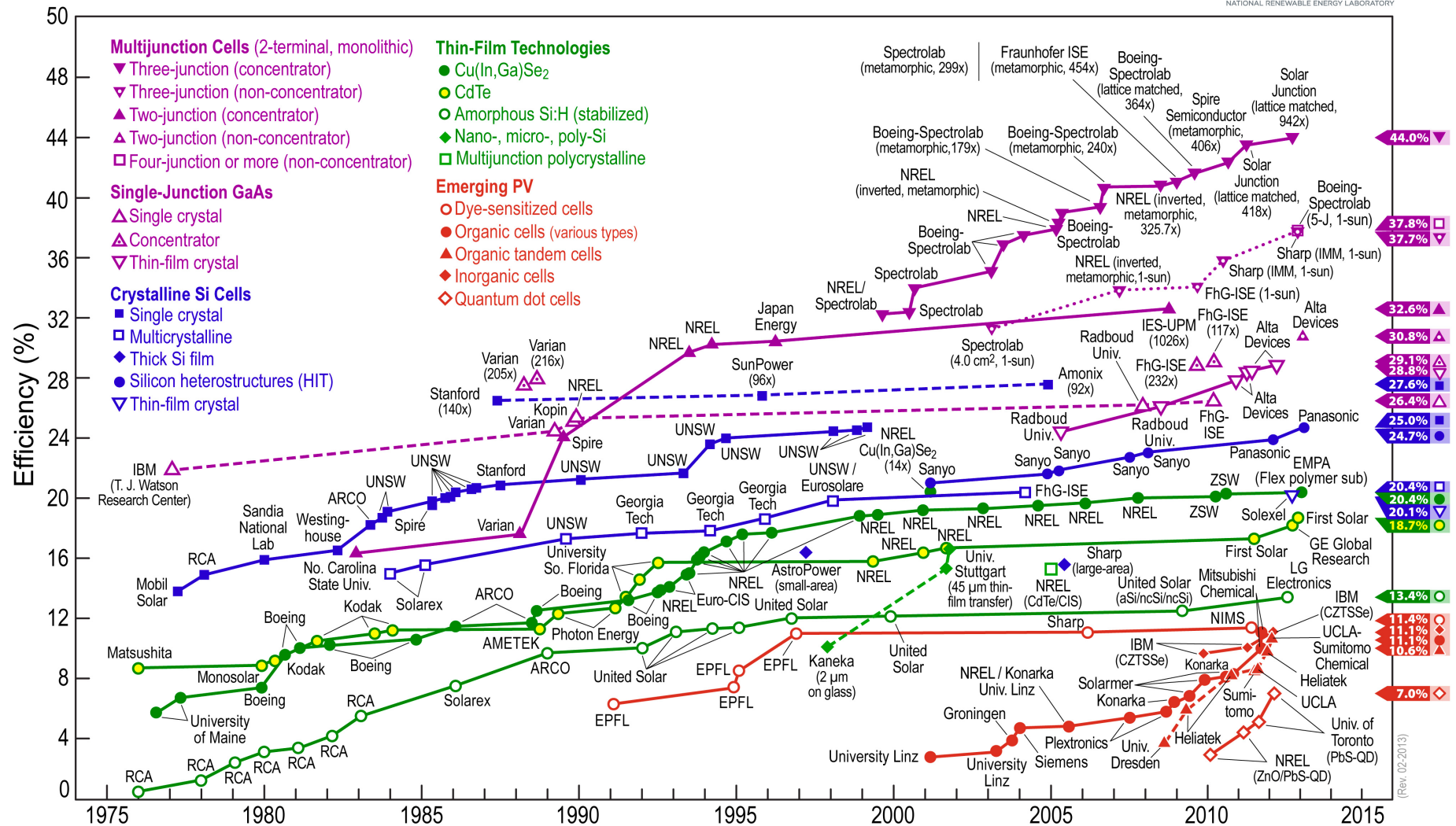
3ª Geração:

Nanomateriais: “quantum dots” de CdSe, nanofios de ZnO, nanotubos, etc

Semicondutores Orgânicos: polímeros conjugados, moléculas pequenas

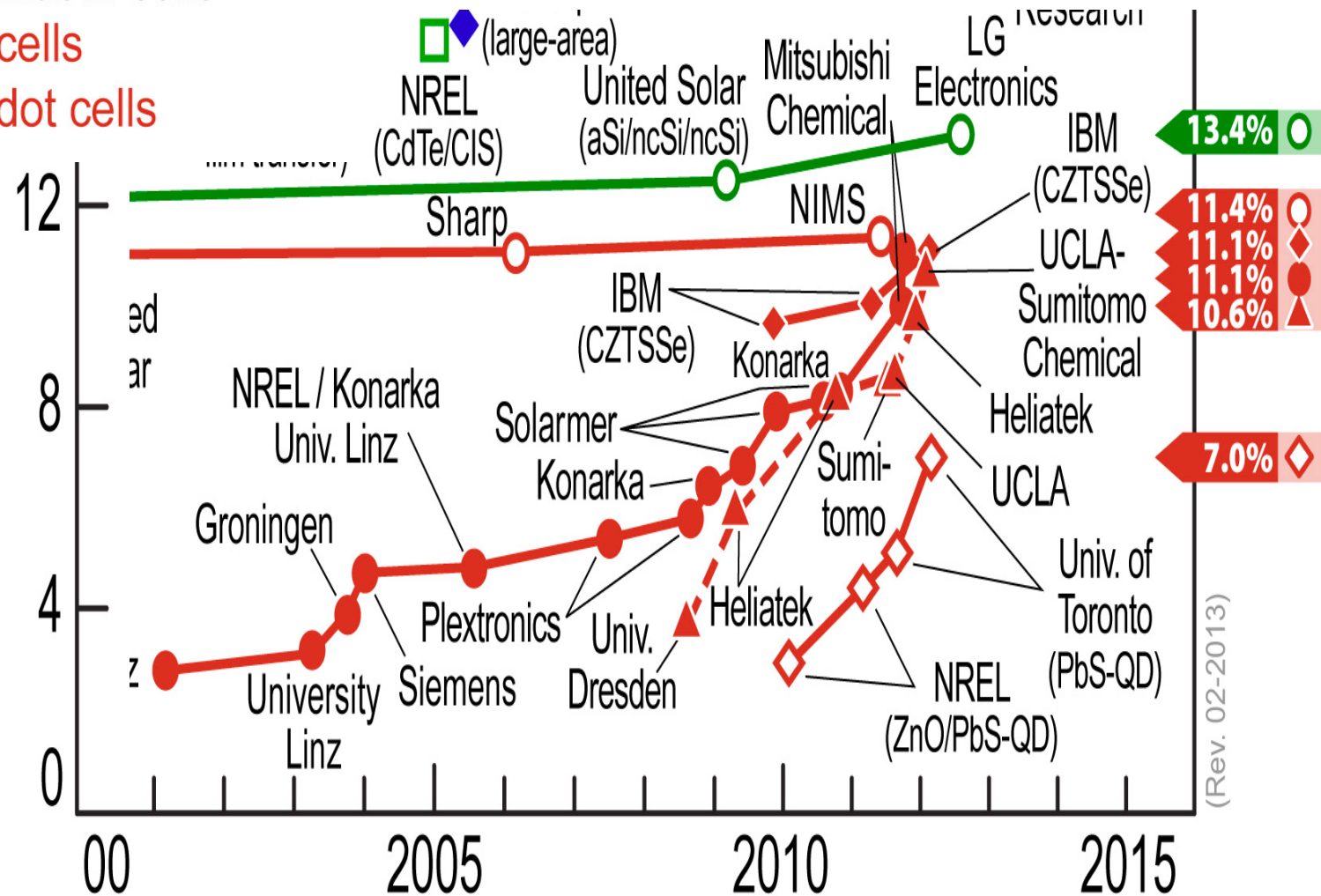
Corantes orgânicos

NREL
NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY



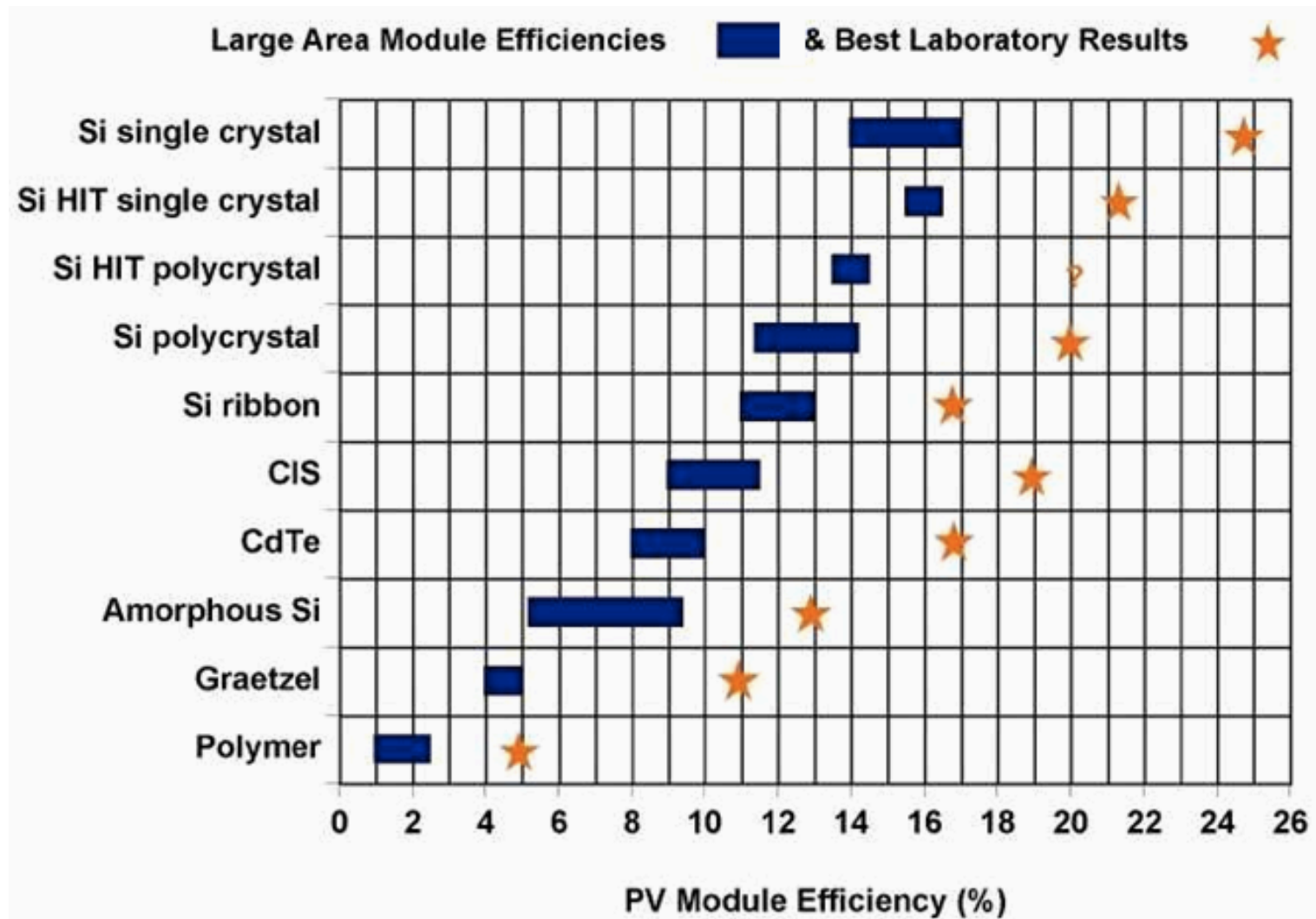
Emerging PV

- Dye-sensitized cells
- Organic cells (various types)
- ▲ Organic tandem cells
- ◆ Inorganic cells
- ◇ Quantum dot cells



Eficiência das várias tecnologias

(2005)



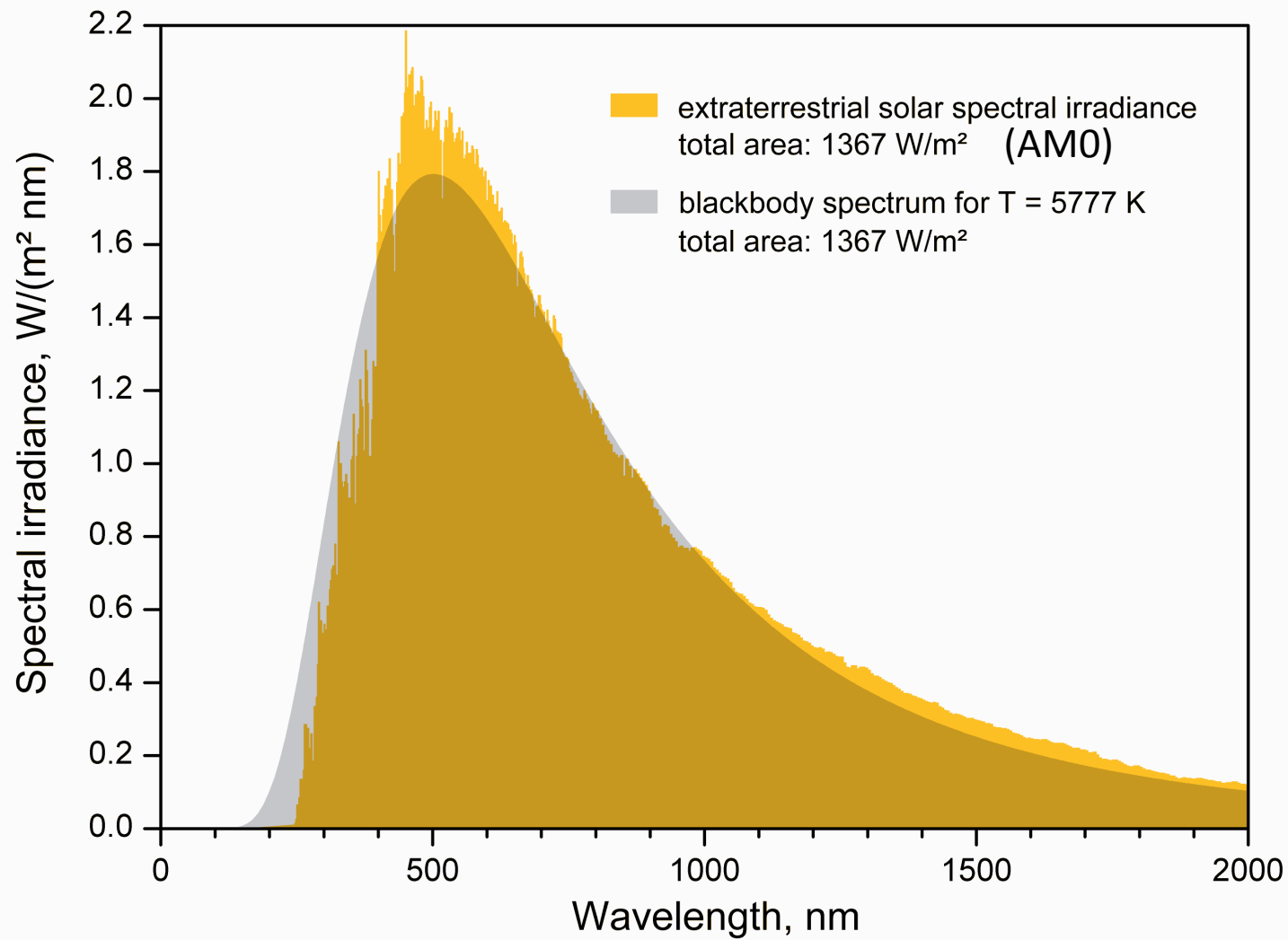
Espectro solar

- Radiação de corpo negro (Planck, 1901)

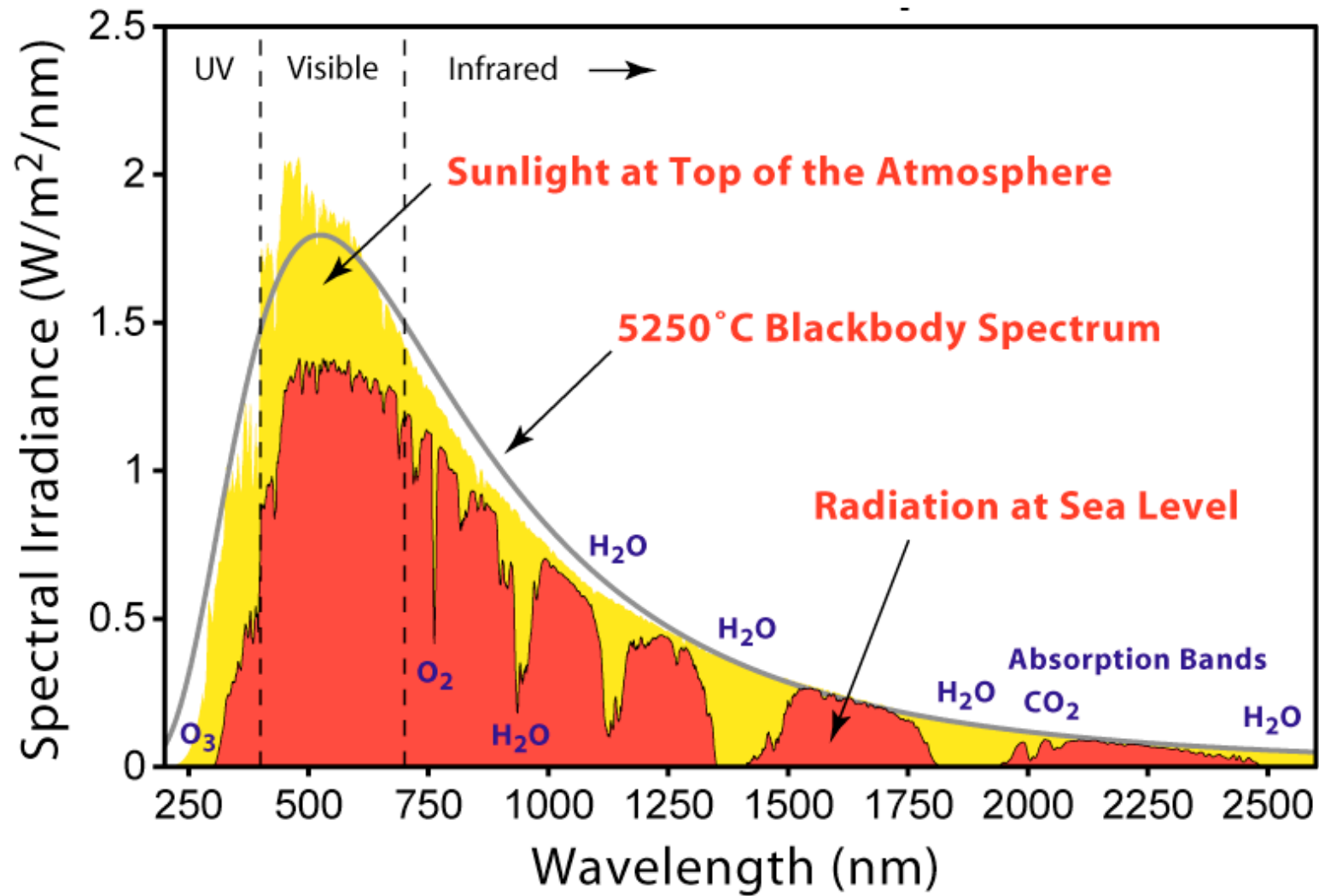
$$I(\nu) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

- Espectro solar é próximo da radiação de um corpo negro a 5800K
- A intensidade da luz solar na Terra varia de 1321 a 1413 W/m².

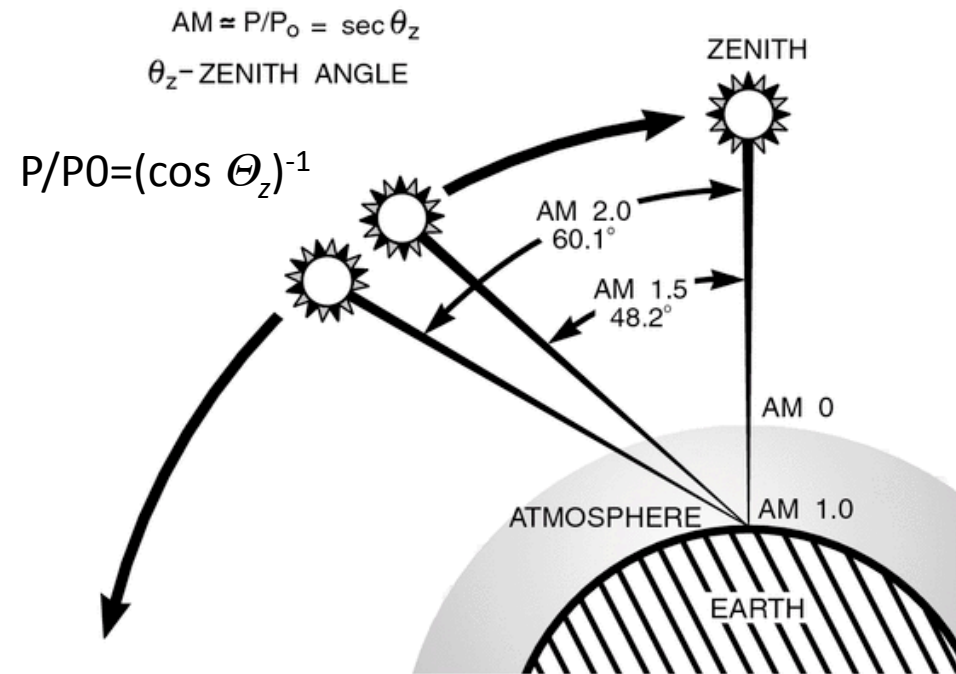
Espectro solar e radiação de corpo negro



Espectro solar



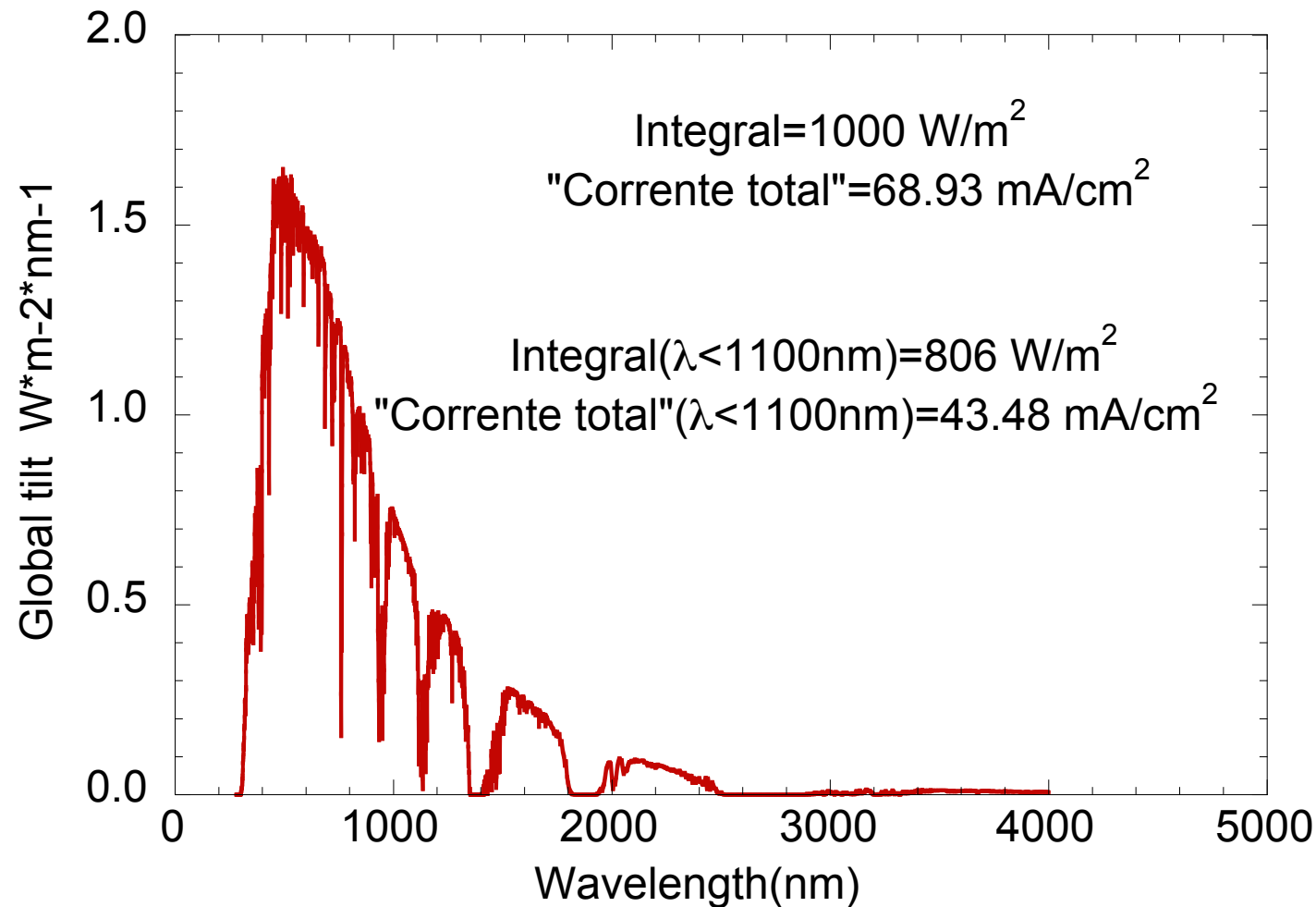
AM (air mass)'s



AM1.5, espessura de 1,5 atmosferas, correspondendo a um ângulo de zénite solar de 48,2°.

A latitudes médias, no verão e a meio do dia, $AM < 1,5$. O valor é superior de manhã e à tarde. Usa-se, por isso, o valor médio, AM 1.5, na indústria solar.

AM 1.5 G



Que tensão deve gerar-se para que com esta corrente seja possível captar a energia solar “toda” ($P=VI$)?

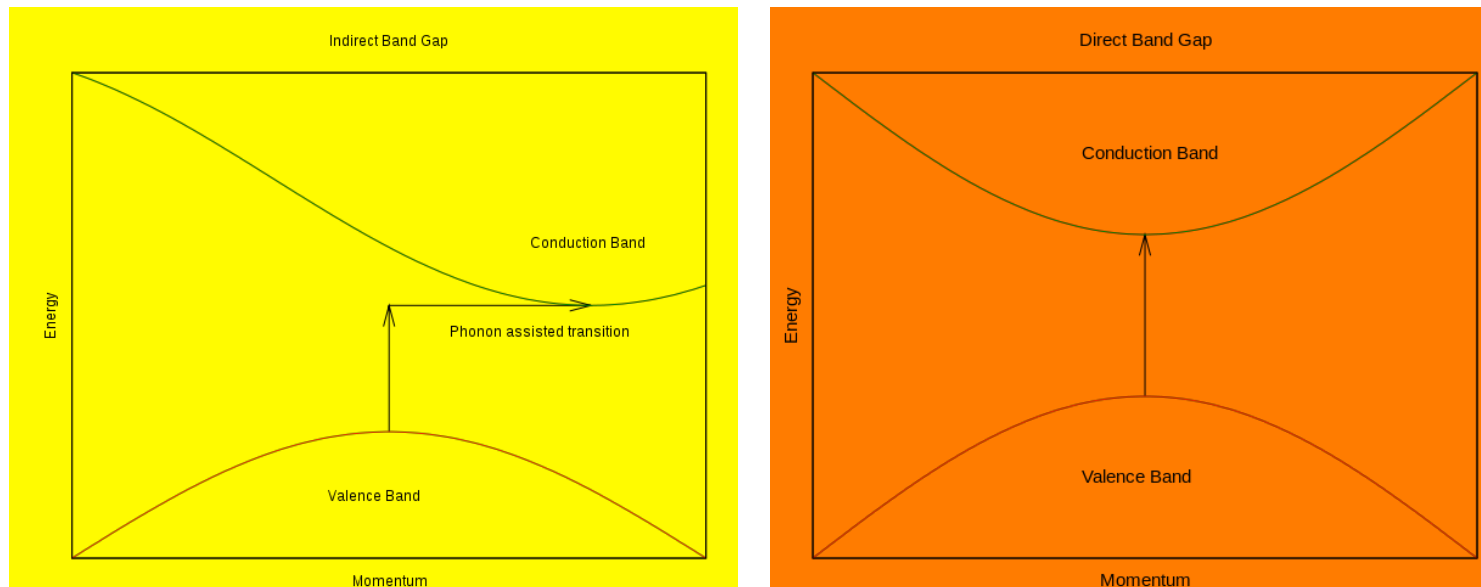
Limites ? $V_{oc} = ?$

Interacção da luz com os materiais

- Metais não podem ser usados para gerar efeito fotovoltaico (relaxação rápida dos electrões excitados) => **semicondutores** ($E_g \approx 0,5$ a 3 eV)
- Relação de E_g com a energia captada e eficiência de conversão energética (limite de Shockley-Queisser); V_{oc} (diferença de energia entre electrões e buracos/lacunas electrónicas gerados) $< E_g/e$!

Interacção da luz com os materiais

- Absorção (coeficiente de): $I = I_0 \times 10^{-\alpha(\lambda) \cdot \ell}$
- Materiais cristalinos de hiato directo (e.g. GaAs) e indirecto (e.g. Si)

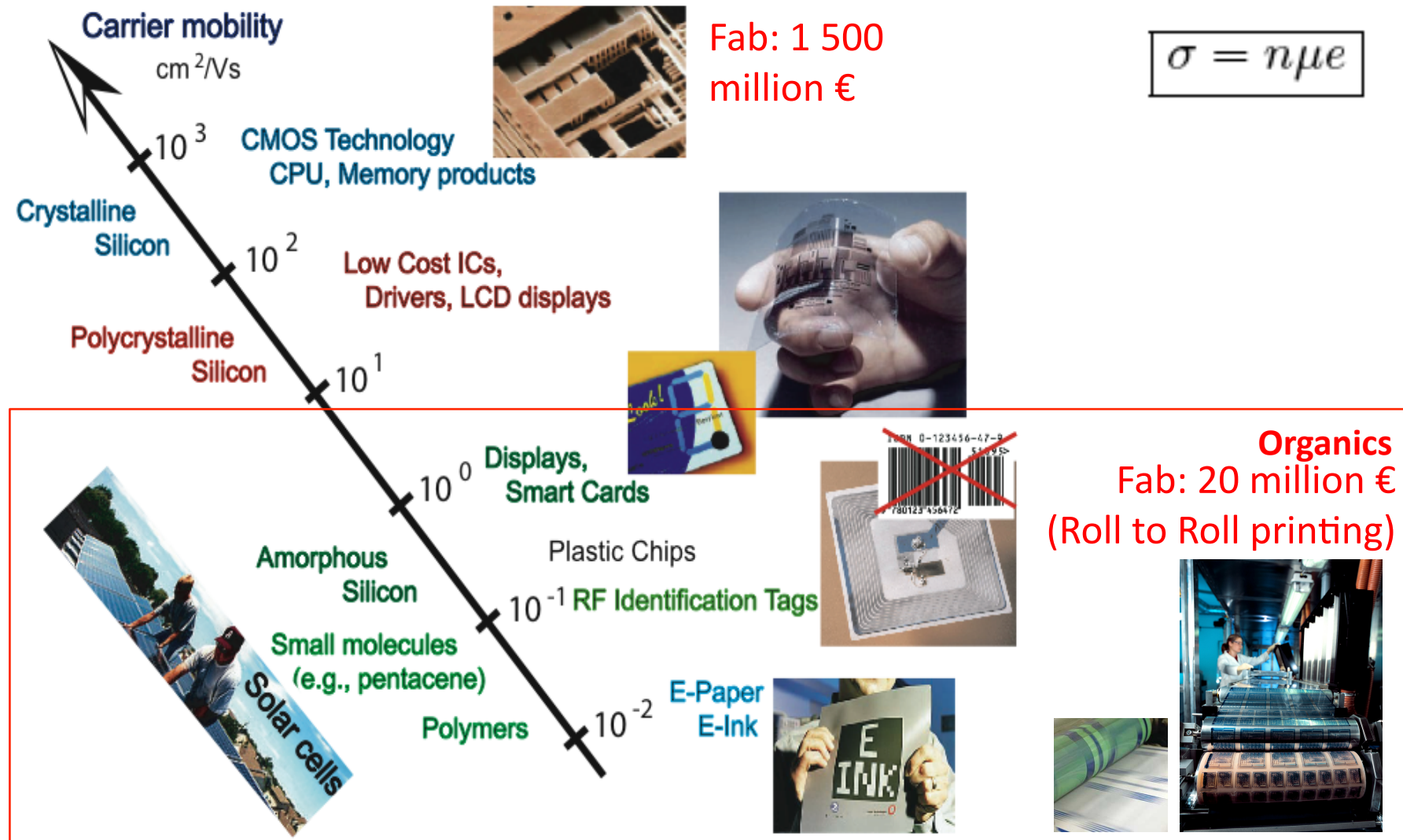


- Materiais amorfos_ ausência de ordem a longa distância=> hiato virtualmente directo (a-Si)

Materiais para células solares

- **Inorgânicas**
 - Silício cristalino (p-n)
 - GaAs
 - Filmes finos (a-Si, H:a-Si) (p-i-n)
 - Cu-In-Ga-Se (CIGS)
- **Orgânicas**
 - Poliméricas e de moléculas de baixa massa
- **Híbridas** (orgânicas/inorgânicas, orgânicas/nanopartículas metálicas, QDs,...)
 - DSSC

Mobilidade dos portadores de carga



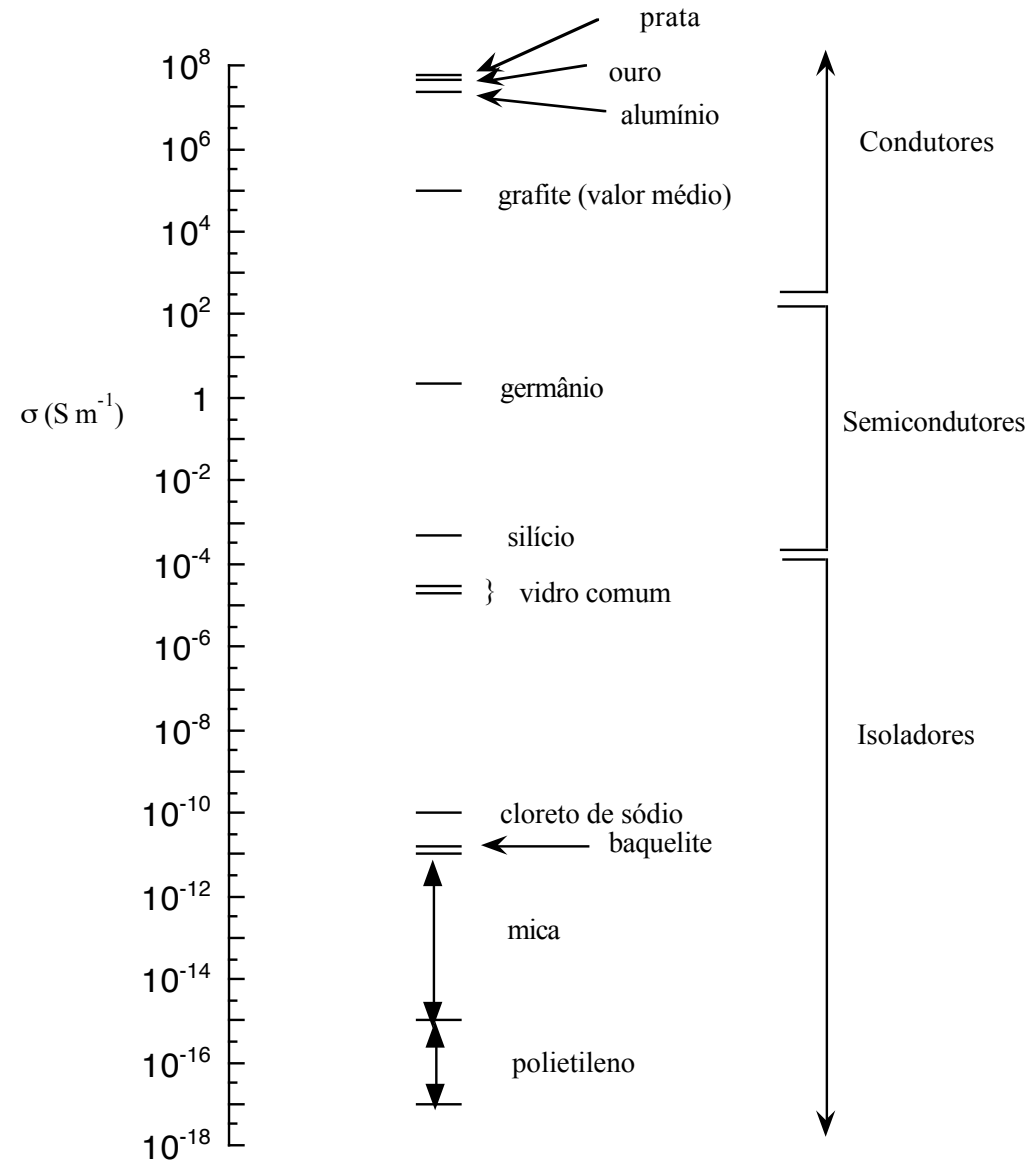
Processamento e aplicações

Células inorgânicas

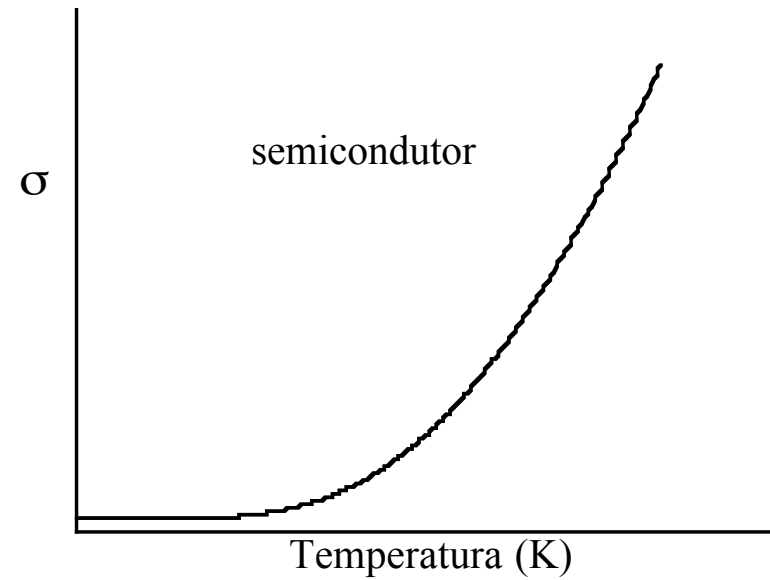
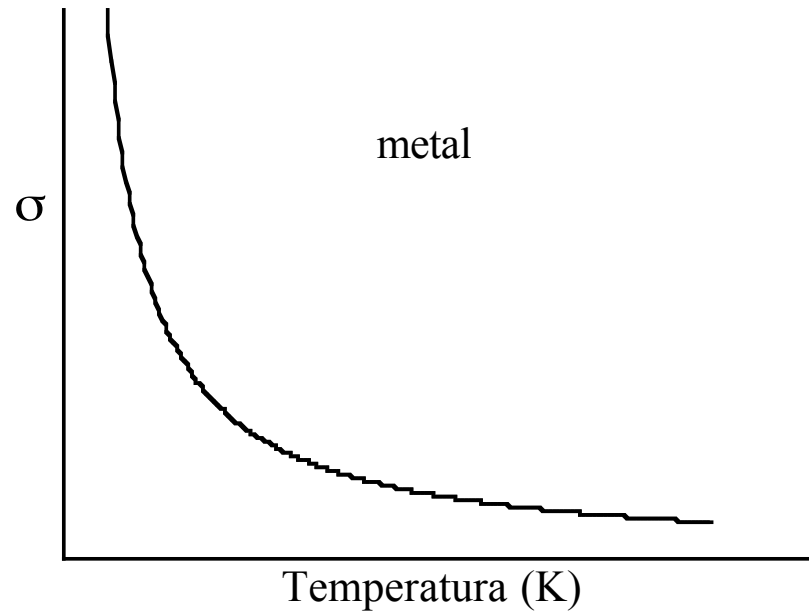
Células solares inorgânicas

- A maioria das células solares inorgânicas baseiam-se em **junções p-n** (ou p-i-n).
 - **Semicondutores intrínsecos e extrínsecos.**
- Junções**

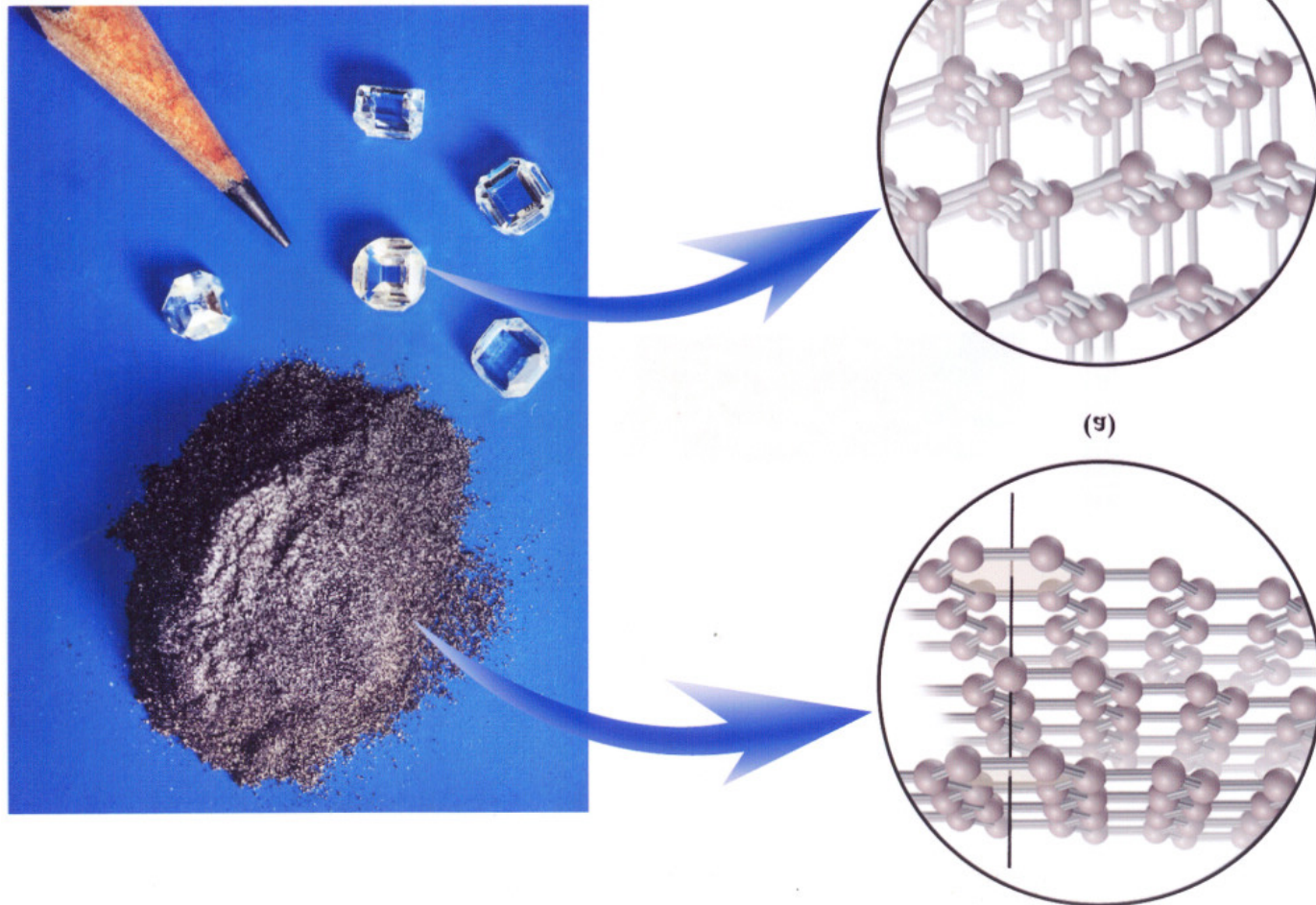
Metais e semicondutores



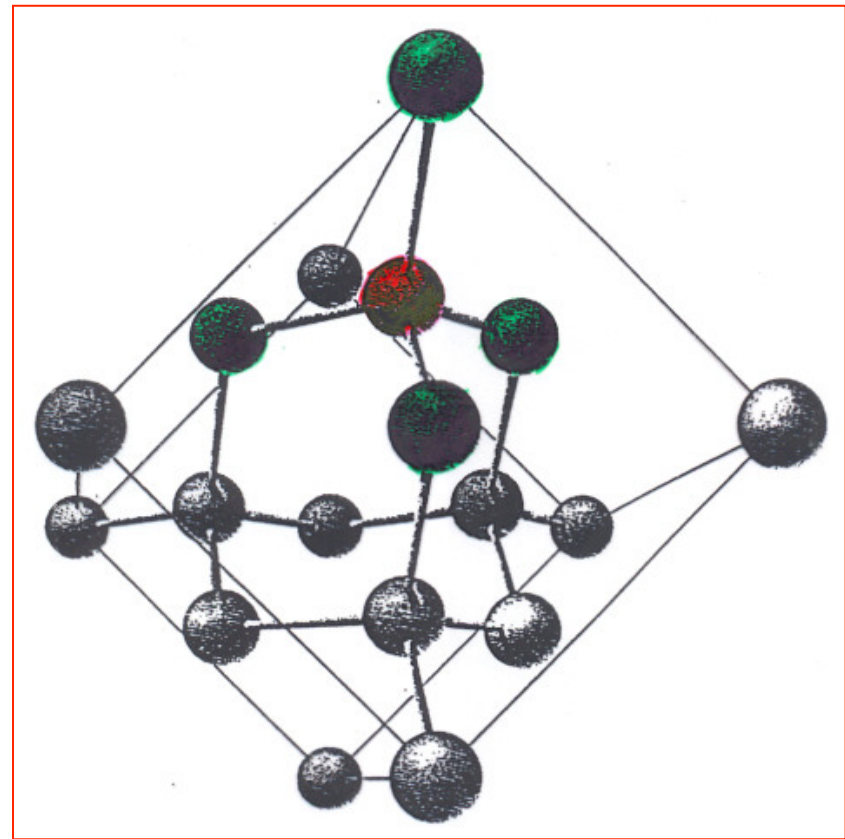
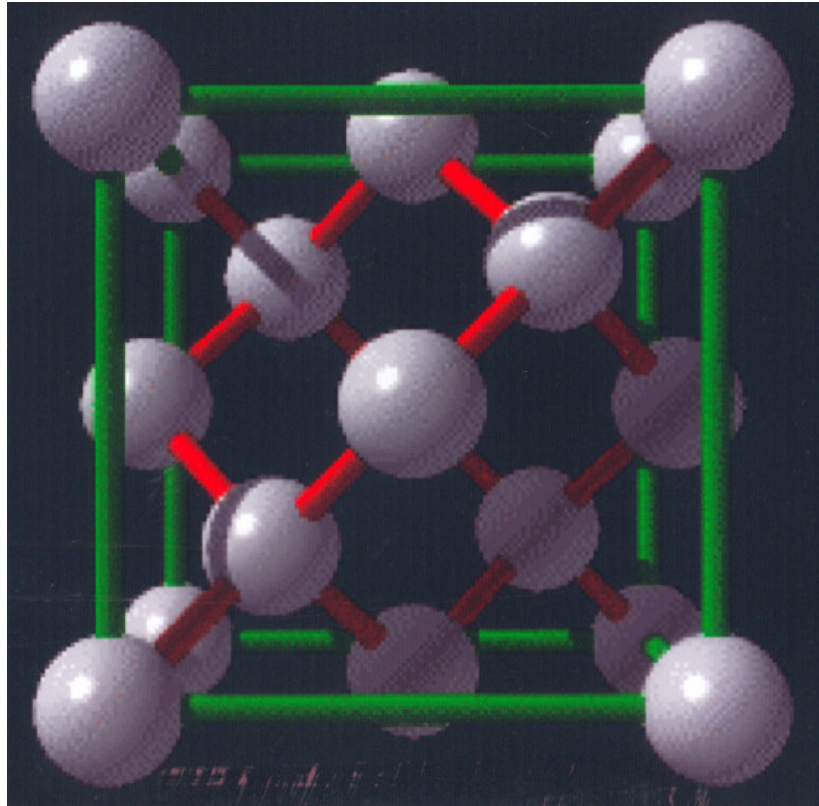
Metais e semicondutores



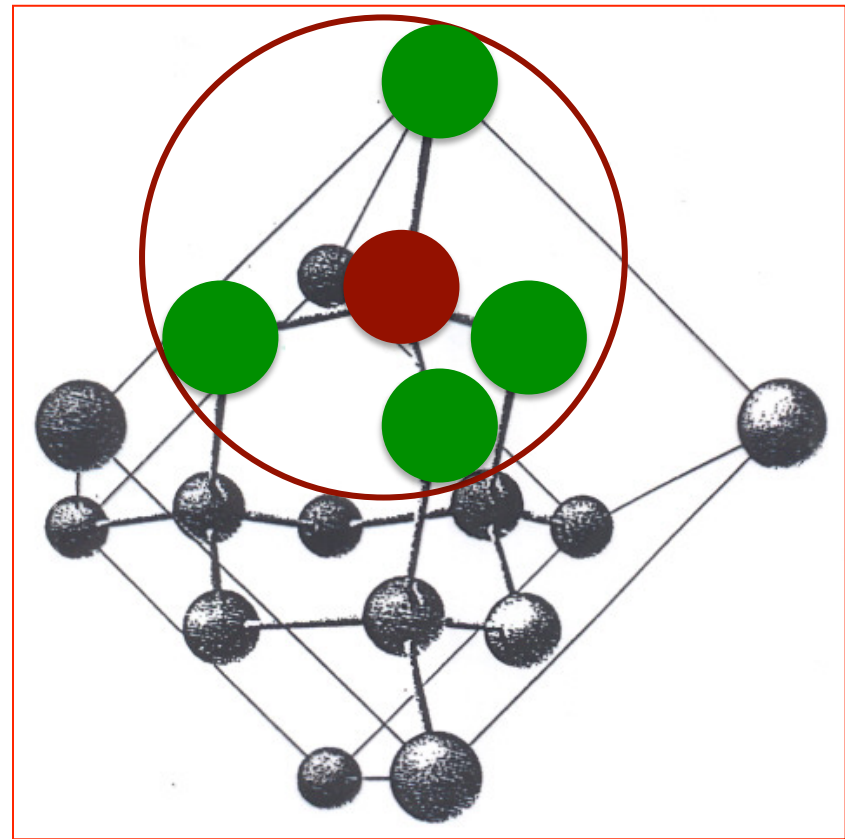
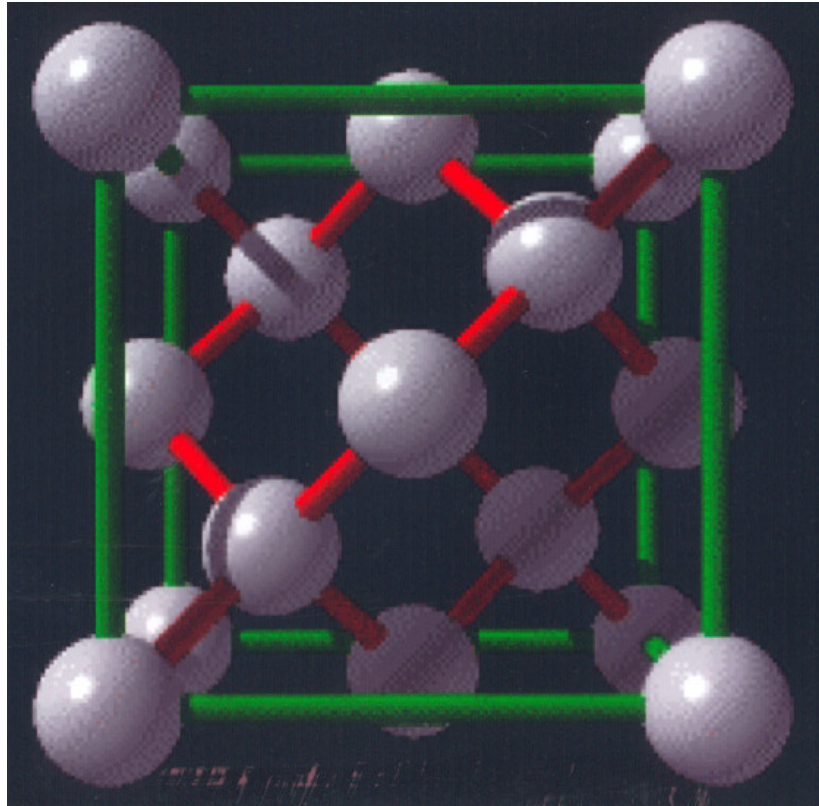
Formas alotrópicas do carbono



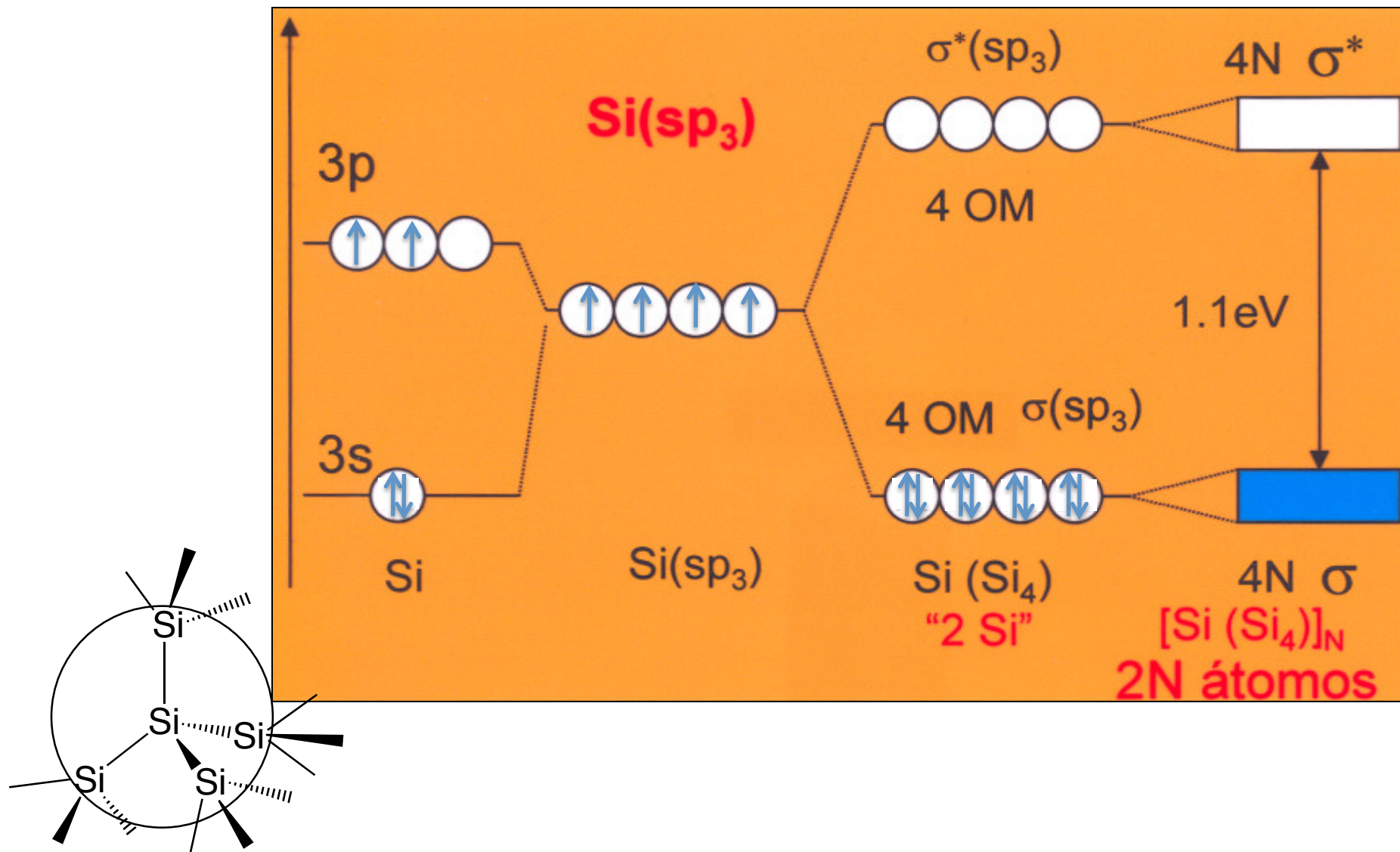
Diamante: C (sp_3)



Diamante: C (sp_3)

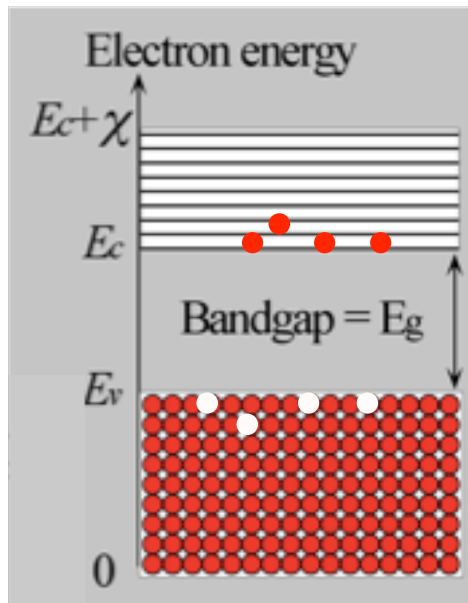


Silício: Si (sp_3)



Materiais semicondutores.

Densidade de portadores de carga



$$\sigma = \sigma_n + \sigma_p = ne\mu_n + pe\mu_p$$

$$n = p = n_i$$

n - Densidade de electrões na banda de condução

p - Densidade de buracos (lacunas electrónicas)
na banda de valência

n e p dependem: Hiato de energia, E_g

Função de distribuição de Fermi-Dirac, $f(E)$

Densidade de estados, $g(E)$

Materiais semicondutores.

Condutividade

$$\sigma = \sigma_n + \sigma_p = ne\mu_n + pe\mu_p$$

Variação da concentração de portadores de carga com a temperatura

$$n_i = n = p = AT^{3/2} \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right)$$

Variação da mobilidade com a temperatura
dispersão pelas vibrações da rede

$$\mu_n = a_n T^{-3/2} \qquad \mu_p = a_p T^{-3/2}$$

T aumenta, μ diminui

Nota: À mesma temperatura, $\mu_n > \mu_p$

Materiais semicondutores.

Condutividade

$$\sigma = \sigma_n + \sigma_p = ne\mu_n + pe\mu_p = n_i e (\mu_n + \mu_p)$$

$$n_i = AT^{3/2} \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right)$$

$$\mu_n = a_n T^{-3/2}$$

$$\mu_p = a_p T^{-3/2}$$


$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right)$$

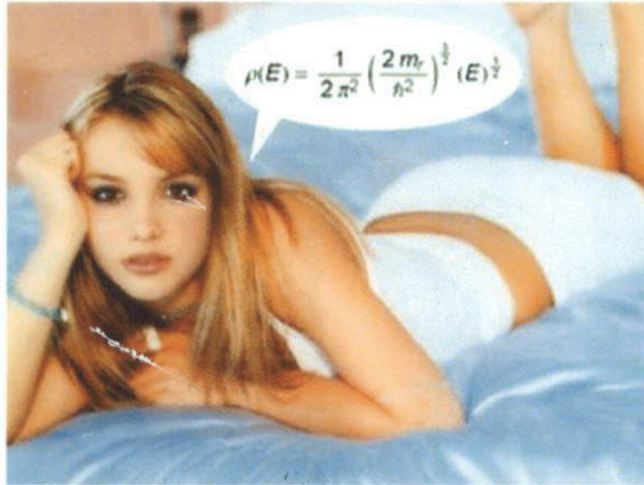
Table 5.1 Selected typical properties of Ge, Si, and GaAs at 300 K

	E_g (eV)	χ (eV)	N_c (cm ⁻³)	N_v (cm ⁻³)	n_i (cm ⁻³)	μ_e (cm ² V ⁻¹ s ⁻¹)	μ_h (cm ² V ⁻¹ s ⁻¹)	m_e^*/m_e	m_h^*/m_e	ϵ_r
Ge	0.66	4.13	1.04×10^{19}	6.0×10^{18}	2.3×10^{13}	3900	1900	0.12a 0.56b	0.23a 0.40b	16
Si	1.10	4.01	2.8×10^{19}	1.2×10^{19}	1.0×10^{10}	1350	450	0.26a 1.08b	0.38a 0.60b	11.9
GaAs	1.42	4.07	4.7×10^{17}	7×10^{18}	2.1×10^6	8500	400	0.067a,b	0.40a 0.50b	13.1

NOTE: Effective mass related to conductivity (labeled *a*) is different than that for density of states (labeled *b*). In numerous textbooks, n_i is taken as $1.45 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ and is therefore the most widely used value of n_i for Si, though the correct value is actually $1.0 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$. (M. A. Green, *J. Appl. Phys.*, **67**, 2944, 1990.)

From *Principles of Electronic Materials and Devices, Third Edition*, S.O. Kasap (© McGraw-Hill, 2005)

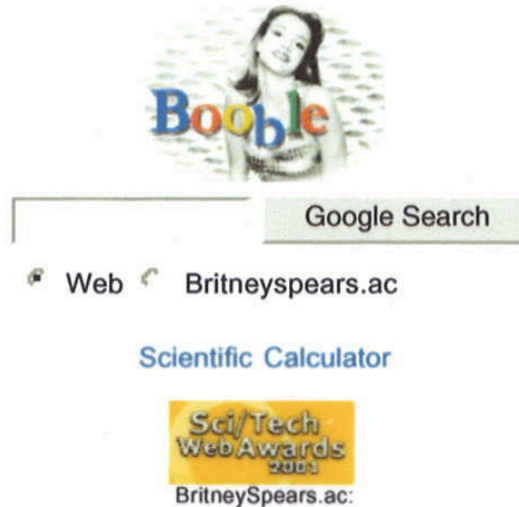
Britney's Guide to Semiconductor Physics



It is a little known fact, that Ms Spears is an expert in semiconductor physics. Not content with just singing and acting, in the following pages, she will guide you in the fundamentals of the vital laser components that have made it possible to hear her super music in a digital format.

- * [Introduction](#)
- * [The Basics of Semiconductors](#)
- * [Semiconductor Crystal Structures](#)
- * [Semiconductor Junctions](#)
- * [Finite Barrier Quantum Well](#)
- * [Radiative Recombination](#)
- * [Density of States](#)
- * [Edge-emitting Lasers](#)
- * [Vertical Cavity Surface Emitting Lasers](#)

- * [Photonic Crystals](#)
- * [Crystal Growth, Fabrication and Processing](#)
- * [Photolithography](#)
- * [Semiconductor and Optoelectronics Newsfeed](#)
- * [Britney Spears' Guide to Semiconductor Physics wallpaper](#)
- * [Reference and Data](#)
- * [About the Author](#)



[Click here](#) to donate food to the starving people of the world.



<http://britneyspears.ac/lasers.htm>

Efeito de impurezas.

Semicondutores extrínsecos

Num semicondutor intrínseco, e.g. Si: $n=p=n_i$

Por introdução de impurezas de valência diferente, podemos obter $n \neq p$,

mas mantém-se $n.p=n_i^2$

Semicondutores de impureza ou semicondutores extrínsecos

Efeito de impurezas.

Semicondutores extrínsecos

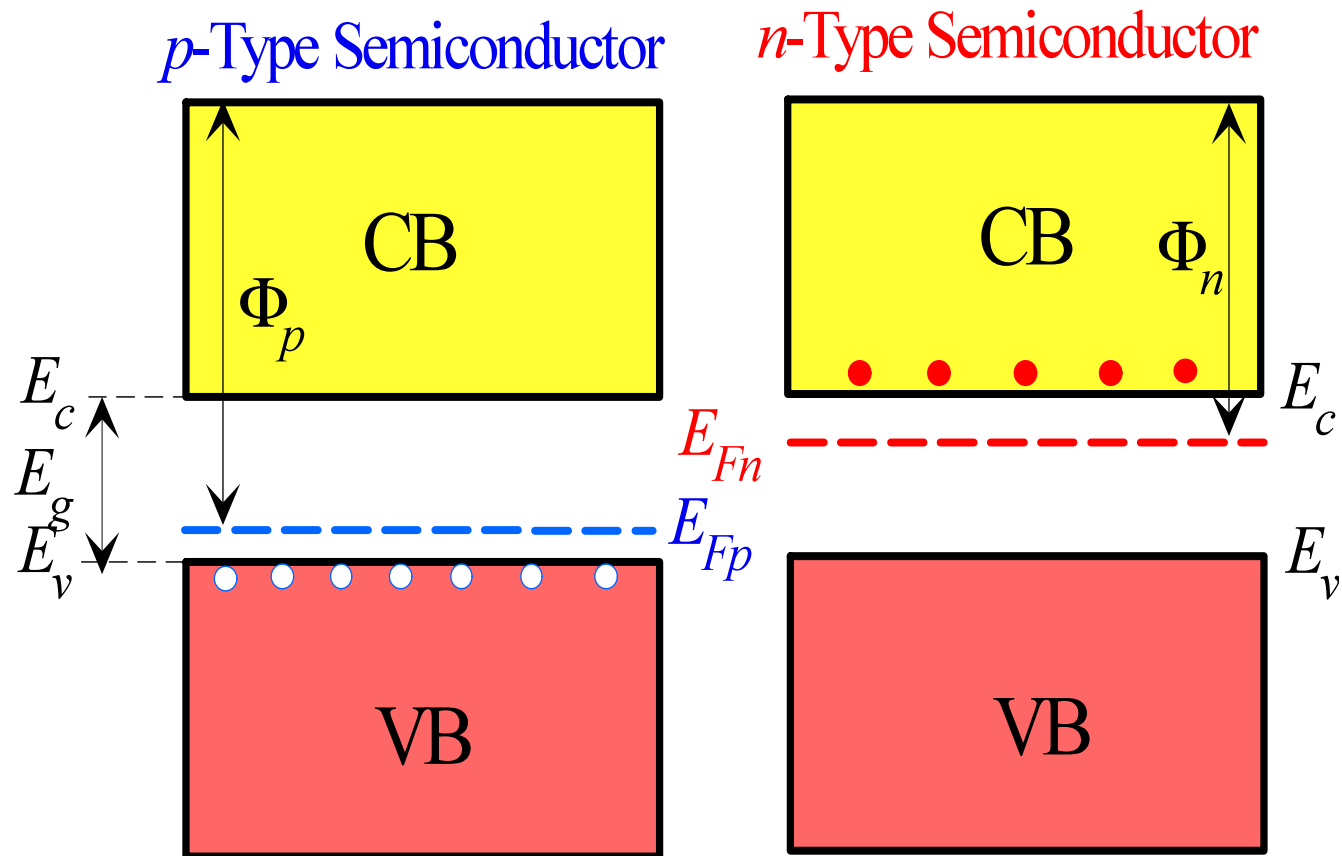
Dopagem com elementos pentavalentes (As, P, Sb)

Semicondutor extrínseco de tipo n

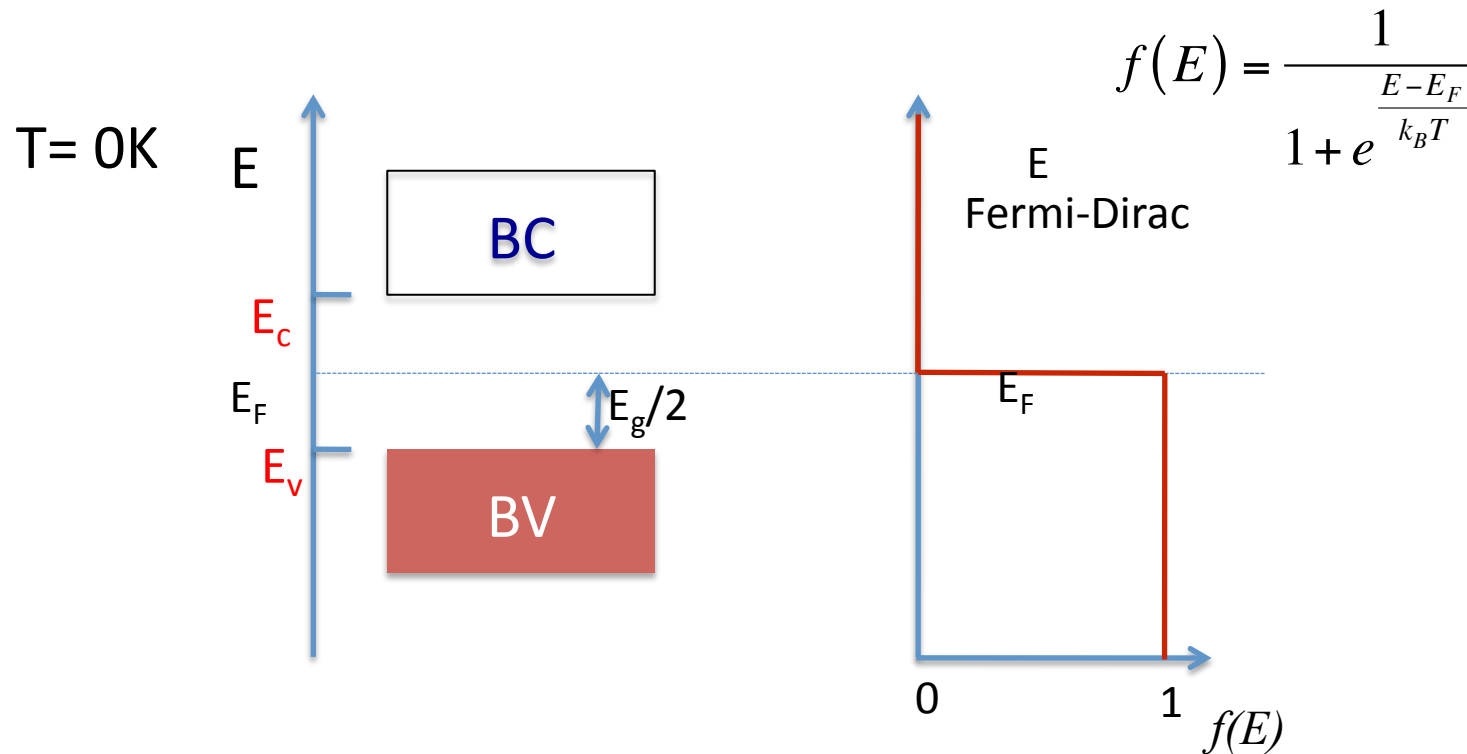
Dopagem com elementos trivalentes (B, Al, Ga, In)

Semicondutor extrínseco de tipo p

Dois semicondutores extrínsecos (do mesmo material)



Energia/nível de Fermi

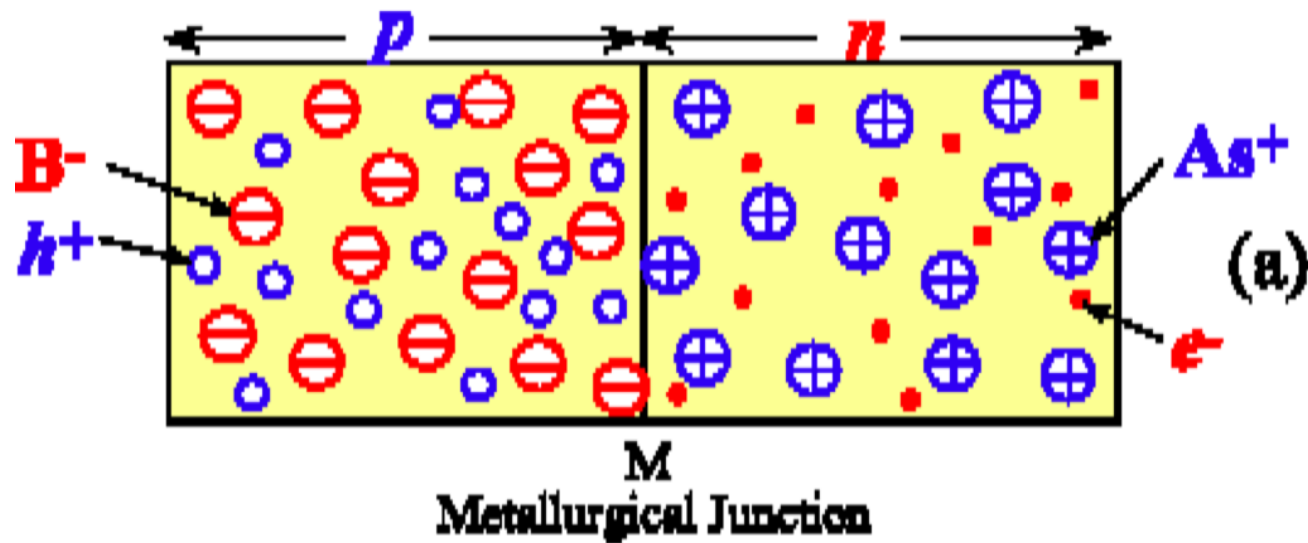


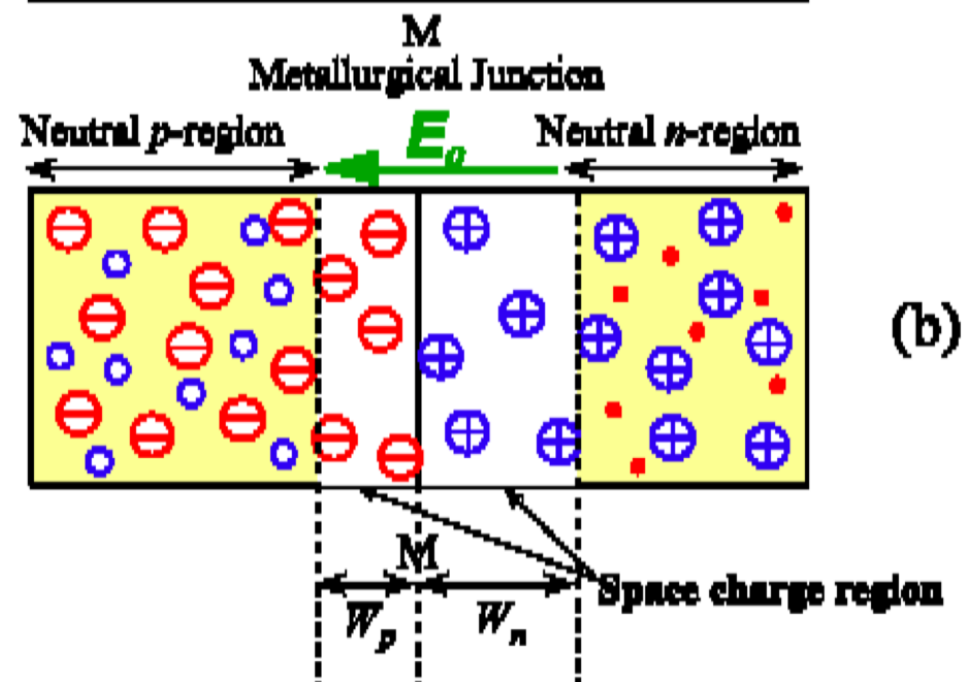
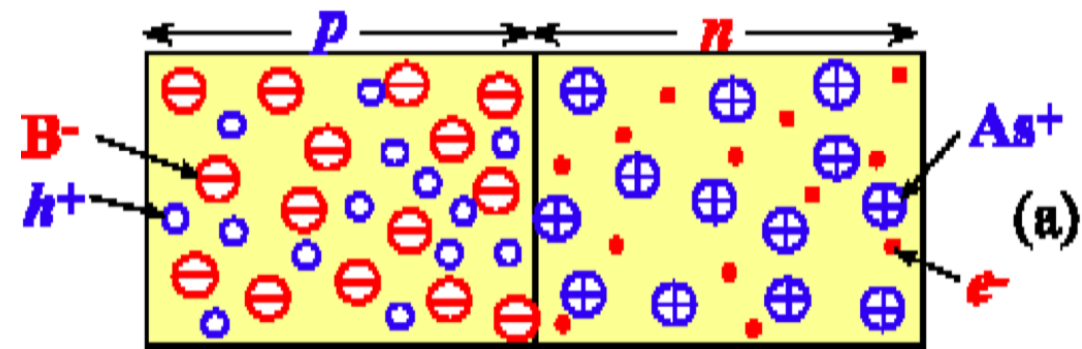
A $T=0K$, é isolador.

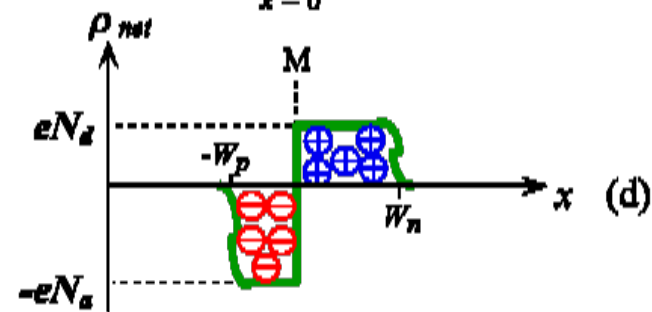
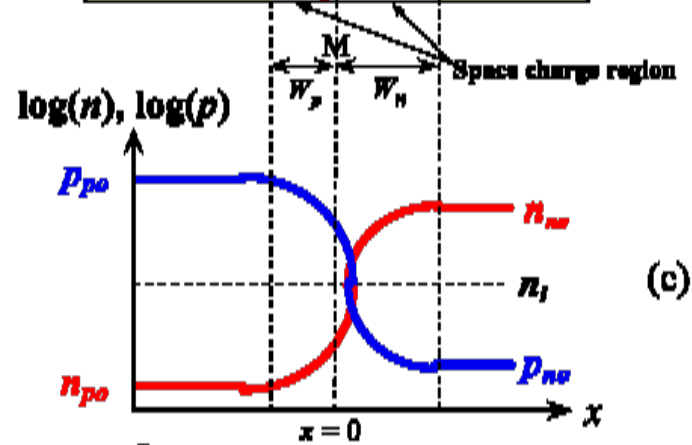
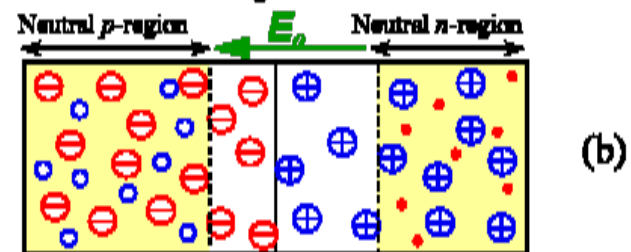
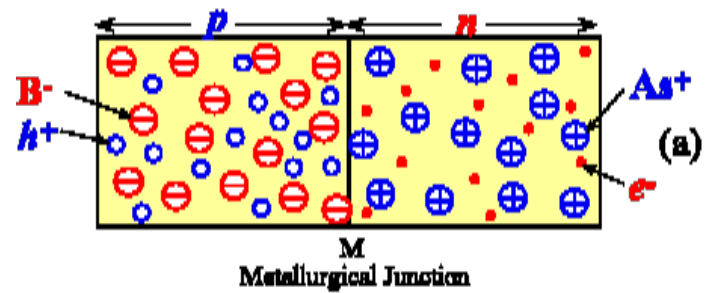
Estados inacessíveis para que electrões possam “responder” a um campo eléctrico!

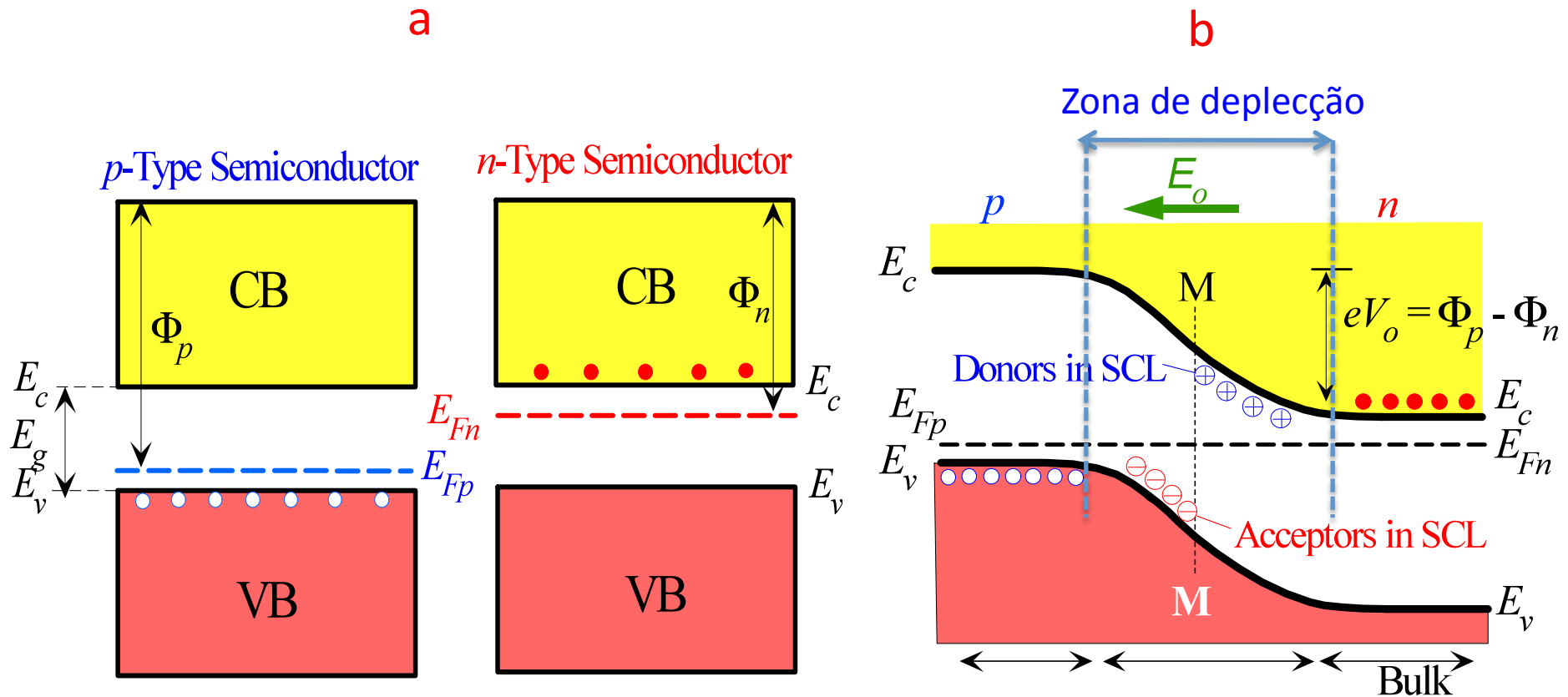
Junção p-n

Junção de dois semicondutores do mesmo material, um dopado to tipo p e outro de tipo n.



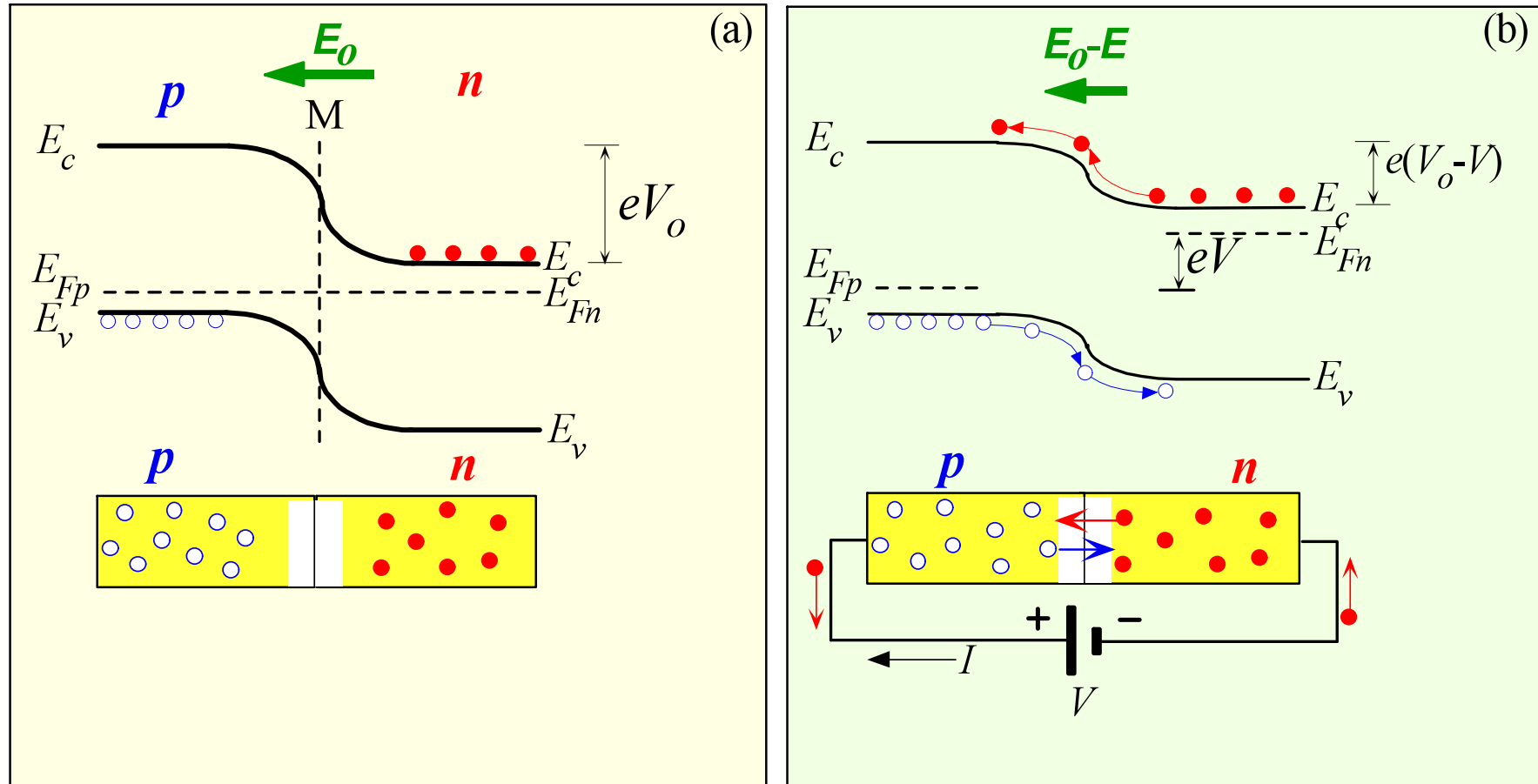






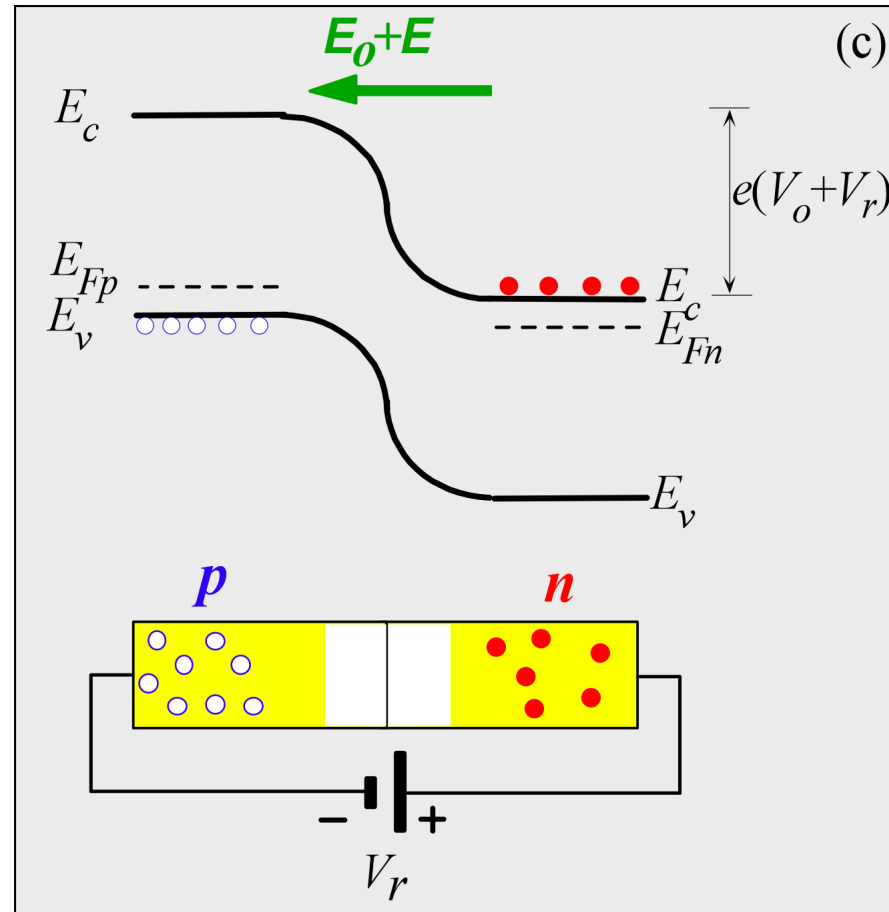
(a) Two isolated *p* and *n*-type semiconductors (same material). (b) A *pn* junction band diagram when the two semiconductors are in contact. The Fermi level must be uniform in equilibrium. The metallurgical junction is at M. The region around M contains the space charge layer (SCL). On the *n*-side of M, SCL has the exposed positively charged donors whereas on the *p*-side it has the exposed negatively charged acceptors.

Polarização directa de uma junção p-n

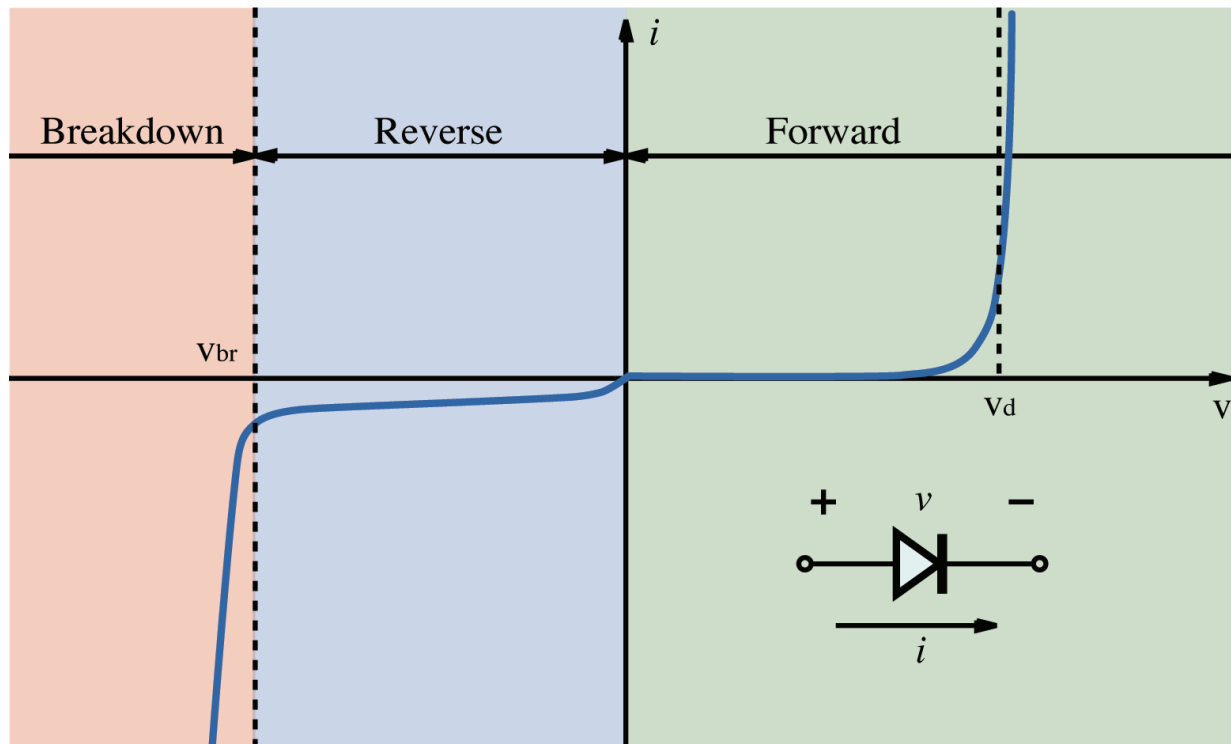


Energy band diagrams for a pn junction under (a) open circuit and (b) forward bias

Polarização inversa de uma junção p-n



Rectificação numa junção pn



$$I = I_0 \left(e^{qV/kT} - 1 \right)$$

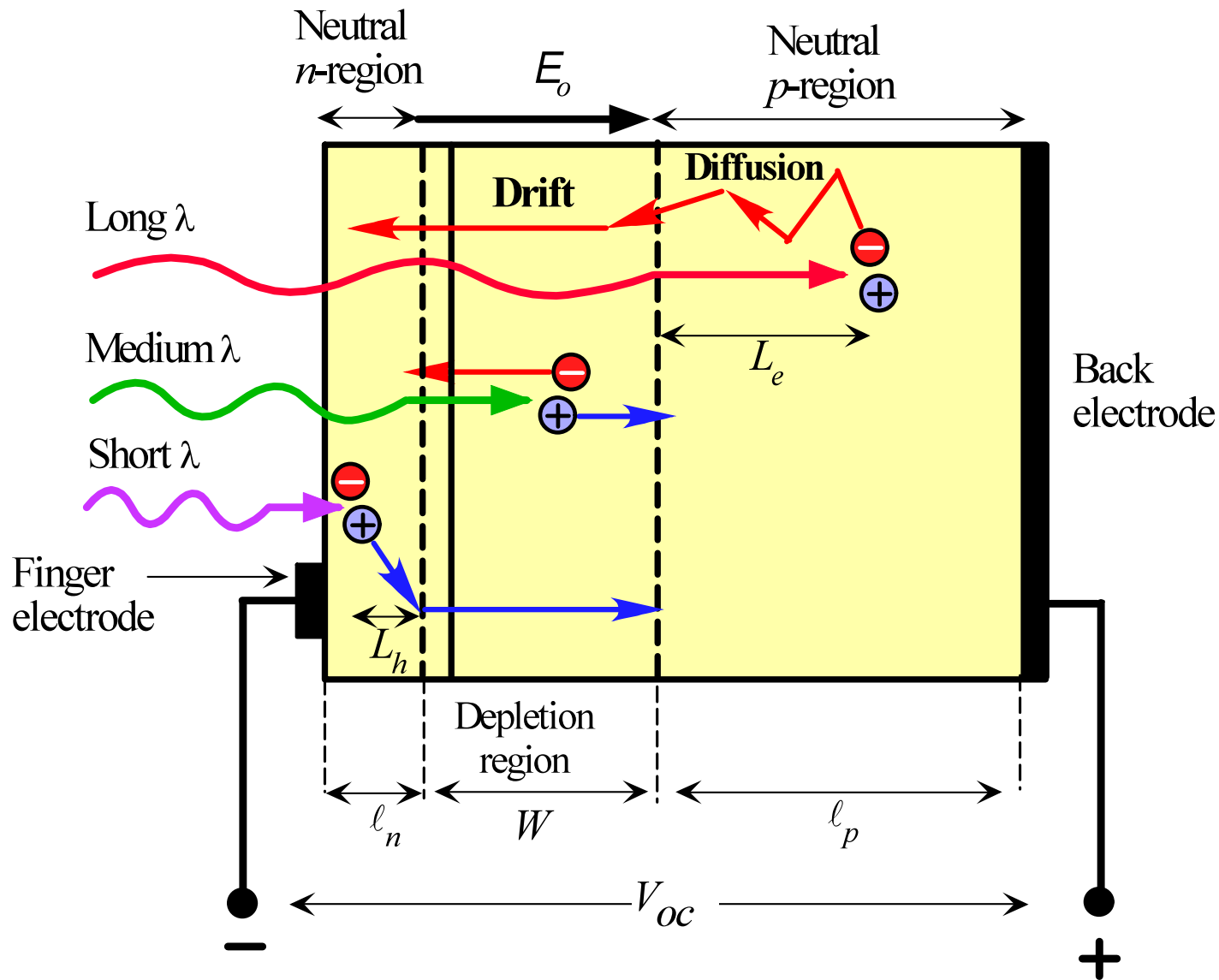
Células solares (fotovoltaicas)





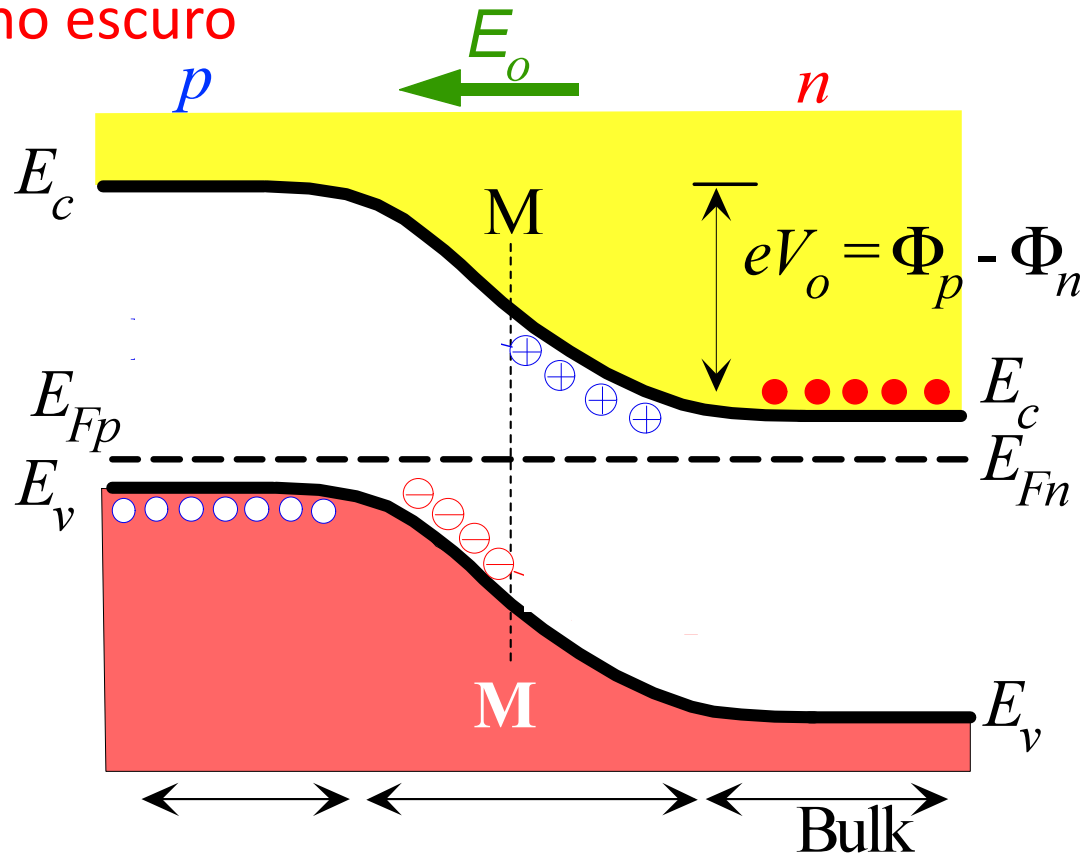
Inventores das células solares (Si) (da esquerda para a direita)
Gerald Pearson, Daryl Chapin and Calvin Fuller (Bell Labs, 1954).

Princípio de operação da célula solar



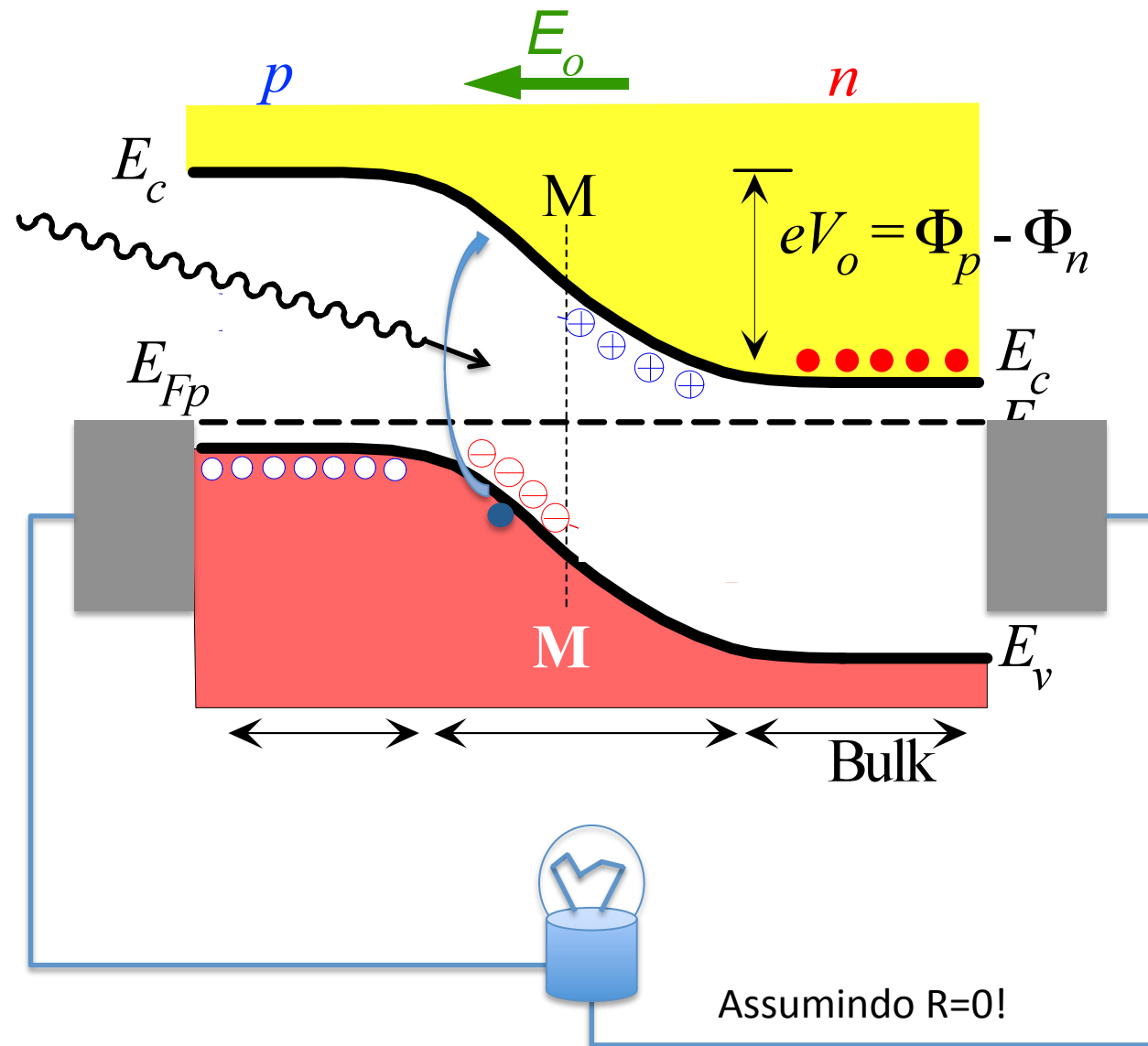
Princípio de operação da célula solar

Junção p-n no escuro

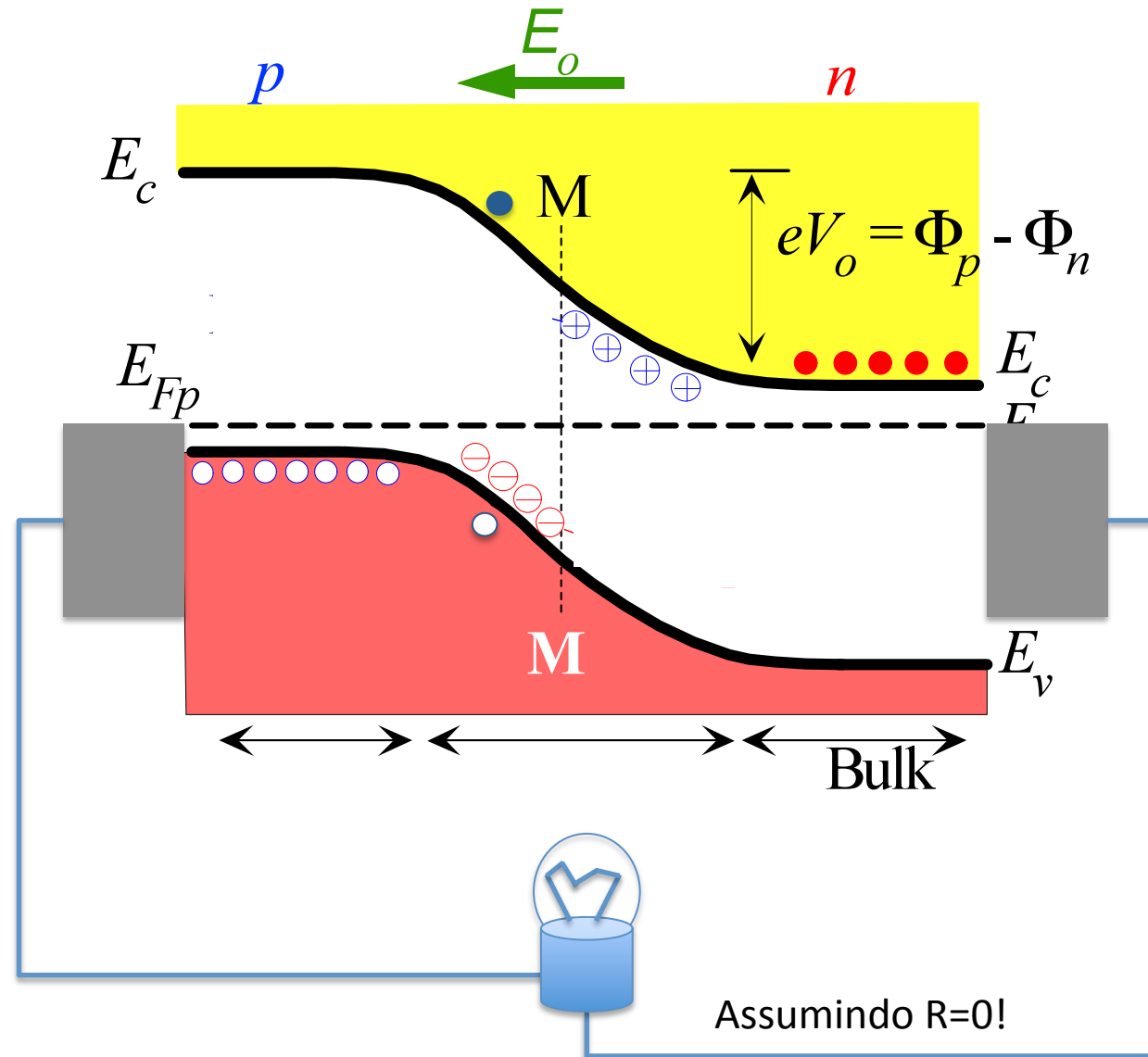


- Efeito fotovoltaico:
- i) absorção de luz
 - ii) excitação electrónica (BV à BC)
 - iii) fotovoltagem e/ou recolha de carga

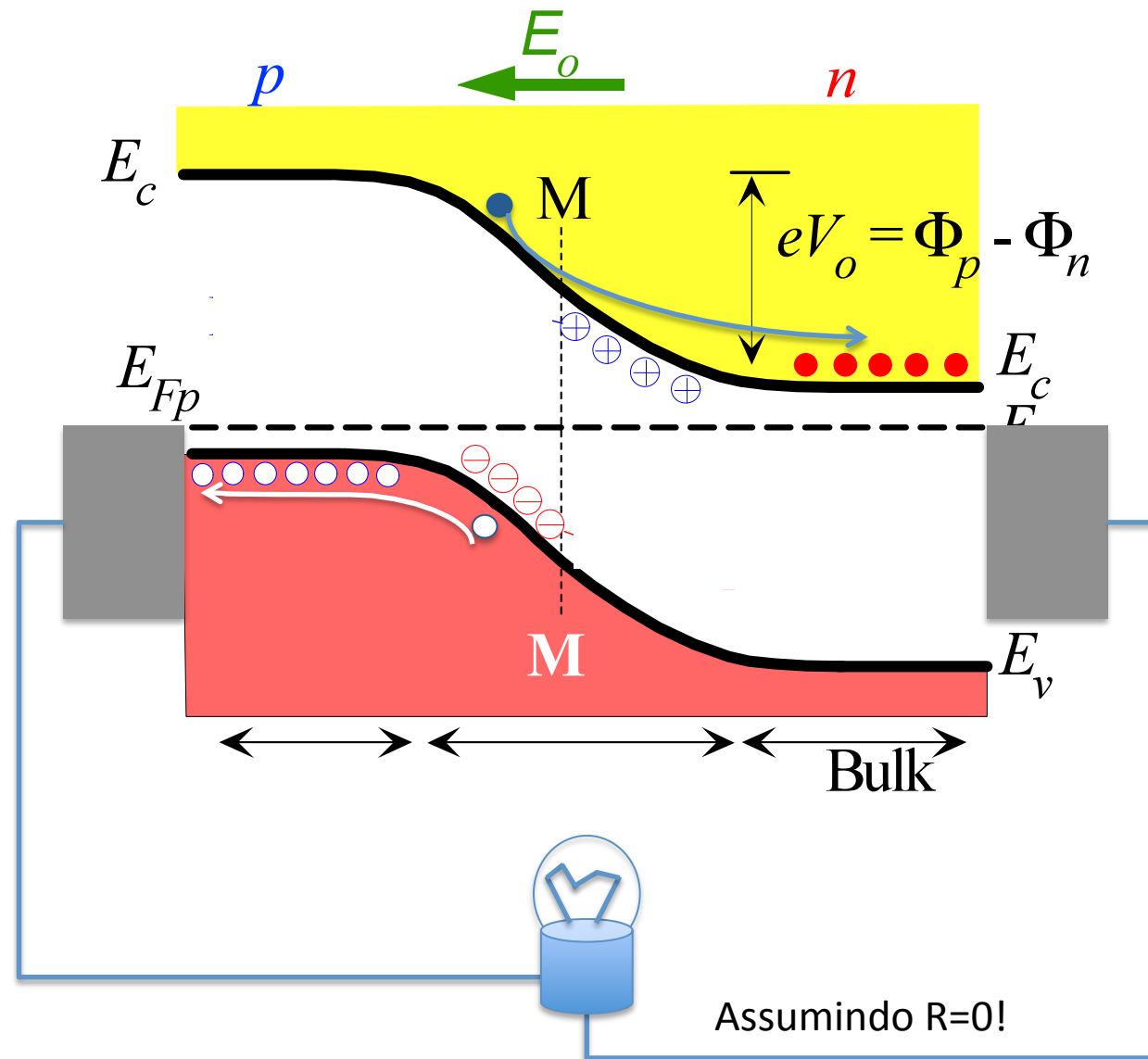
Princípio de operação da célula solar



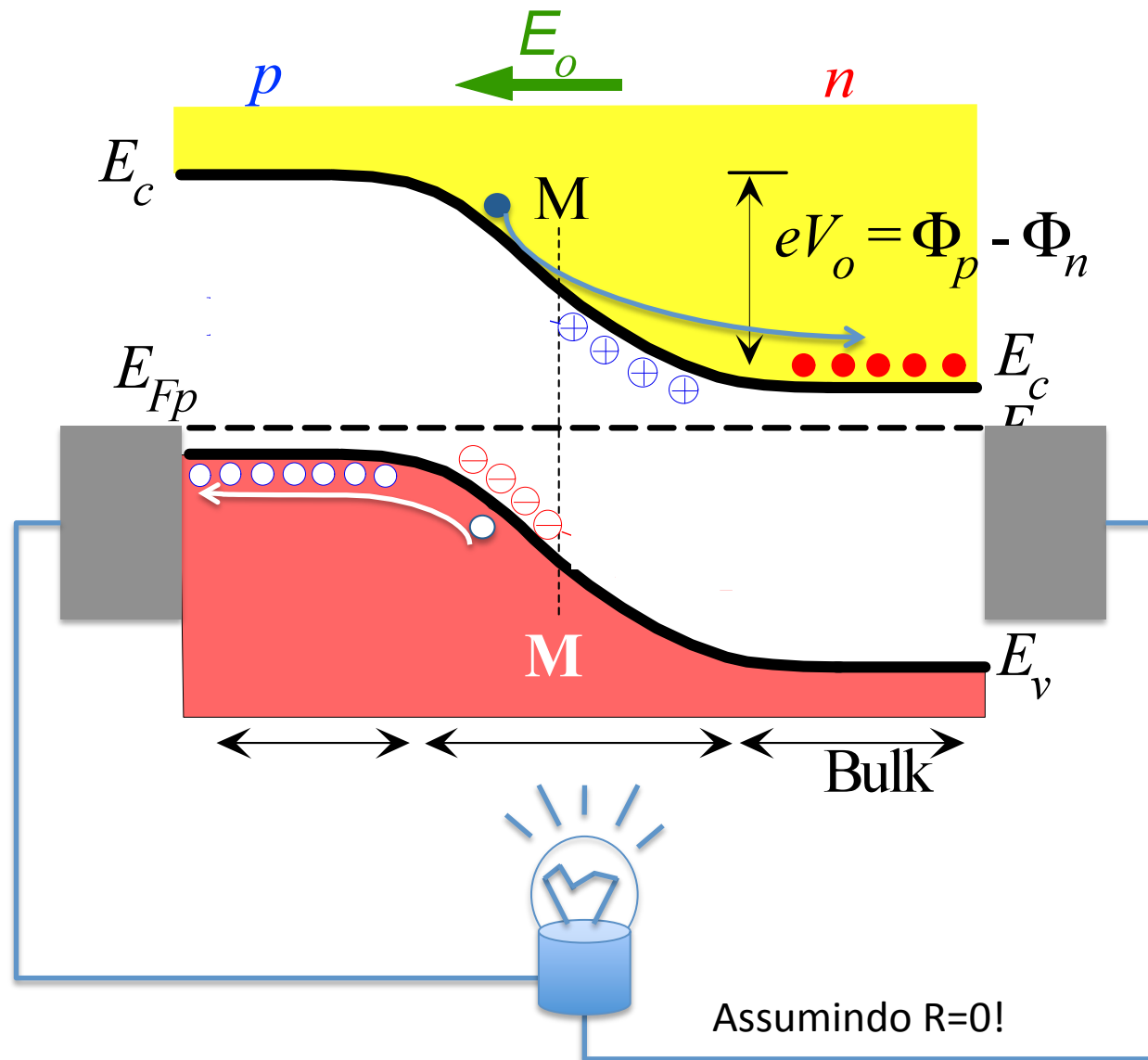
Princípio de operação da célula solar

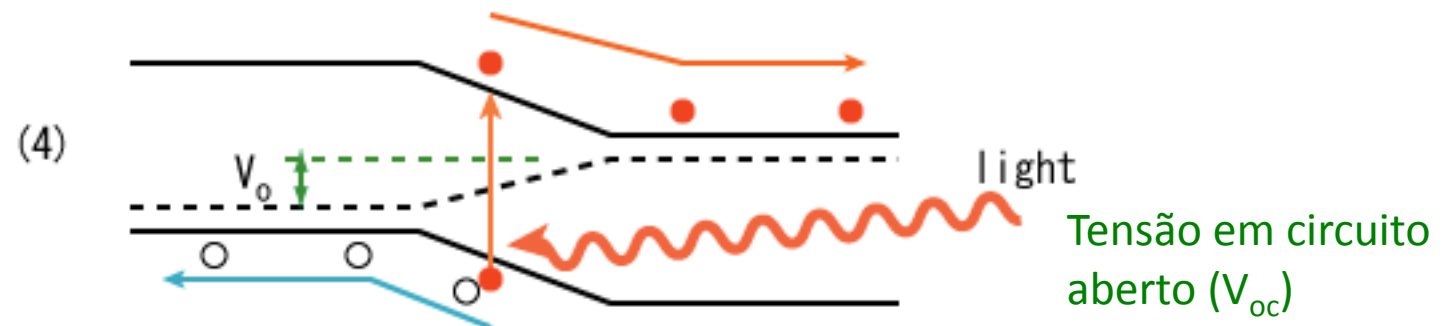
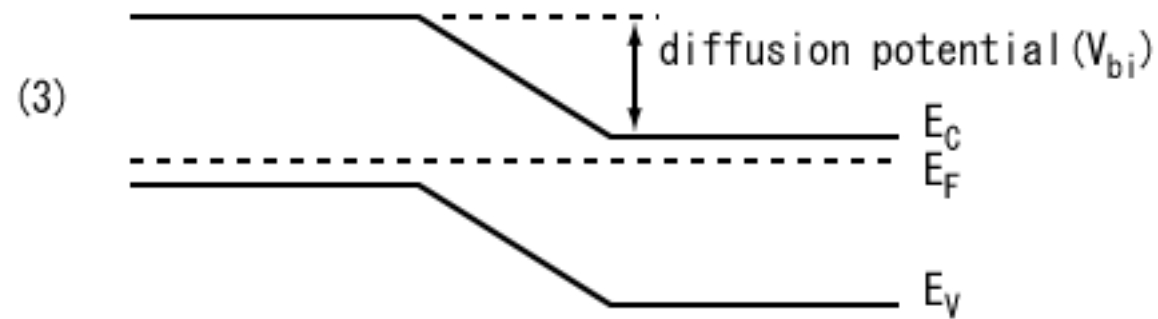
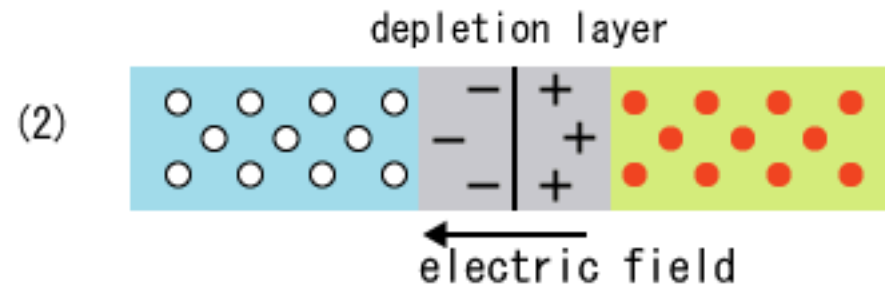
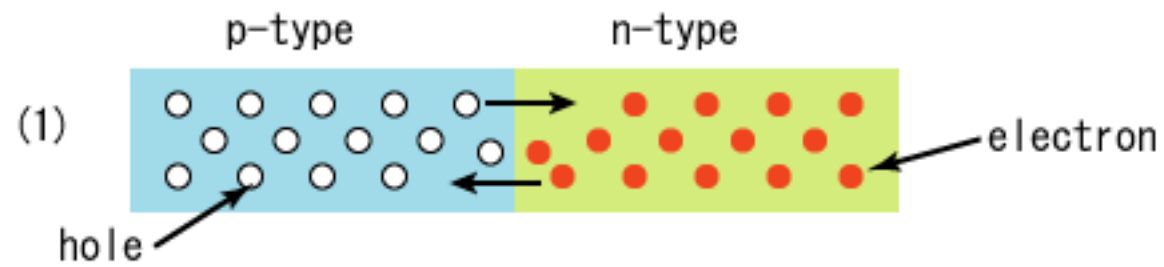


Princípio de operação da célula solar



Princípio de operação da célula solar





Limite termodinâmico

Limite termodinâmico (Shockley-Queisser)_ uma só junção_ max PCE

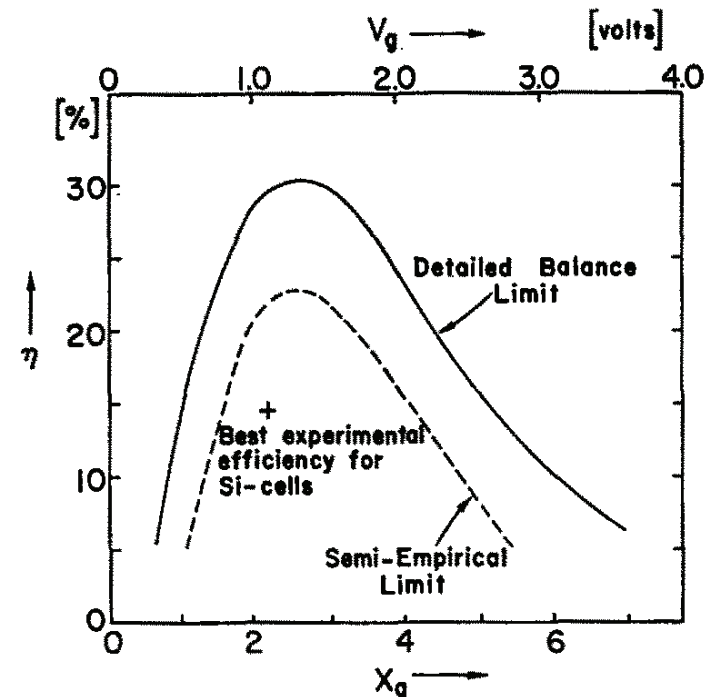
Sol é um corpo negro a 600K;

Estados excitados ou geram carga ou se recombinam radiativamente

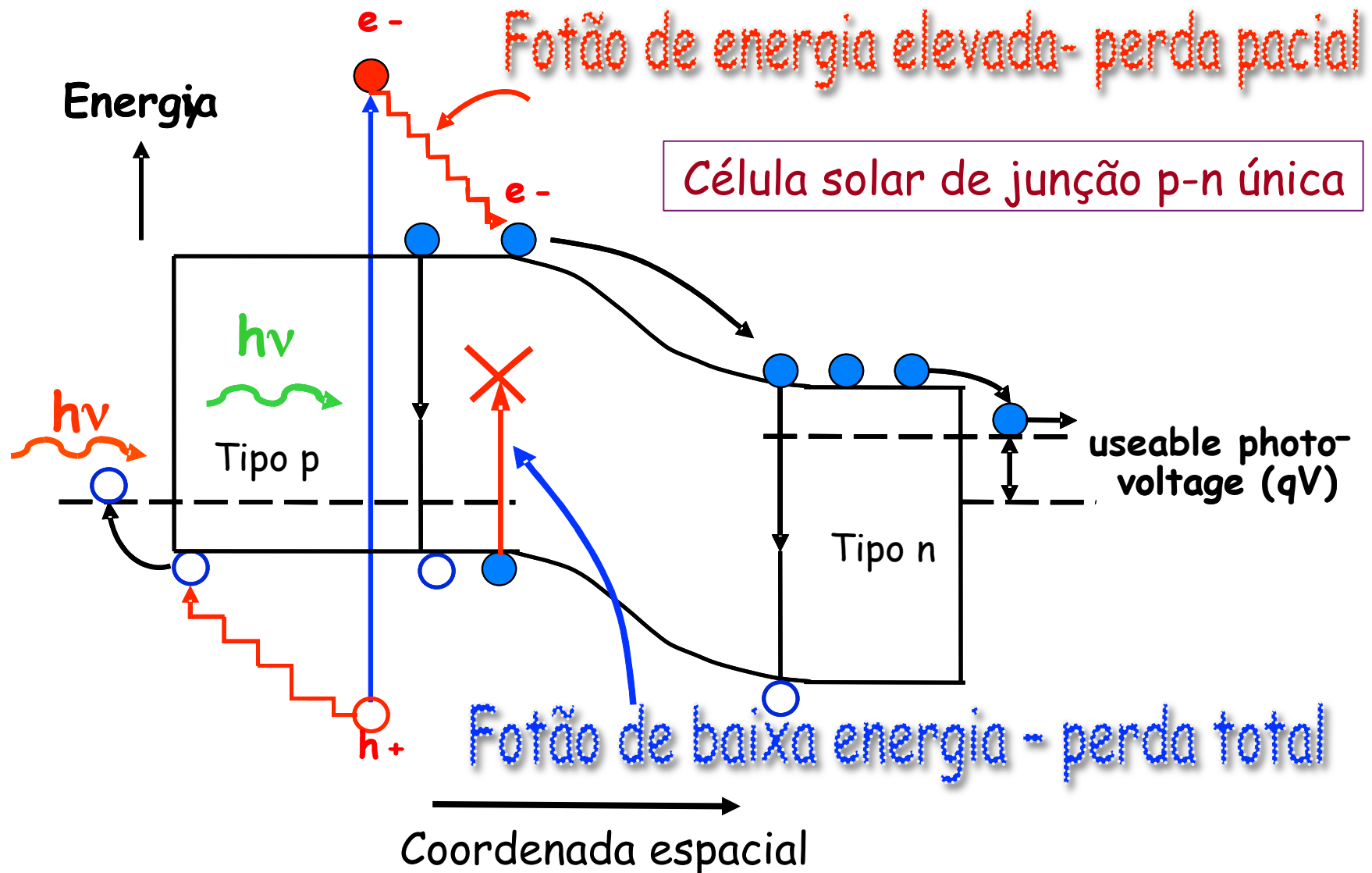
Carga gerada é totalmente recolhida;

$V_{oc,max}=?$

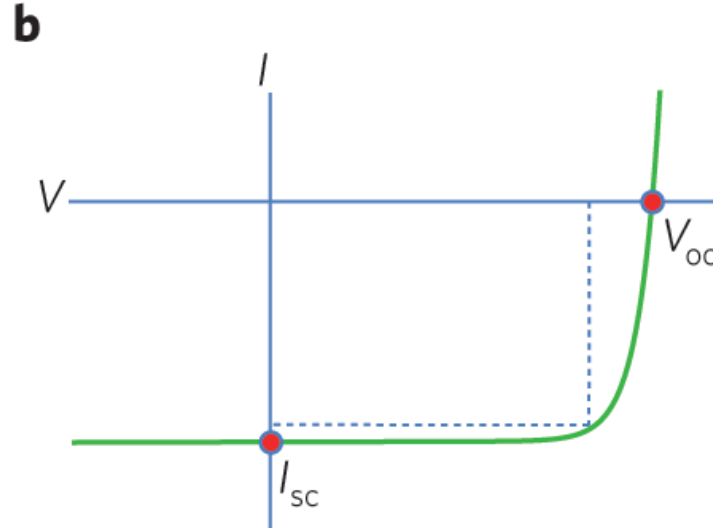
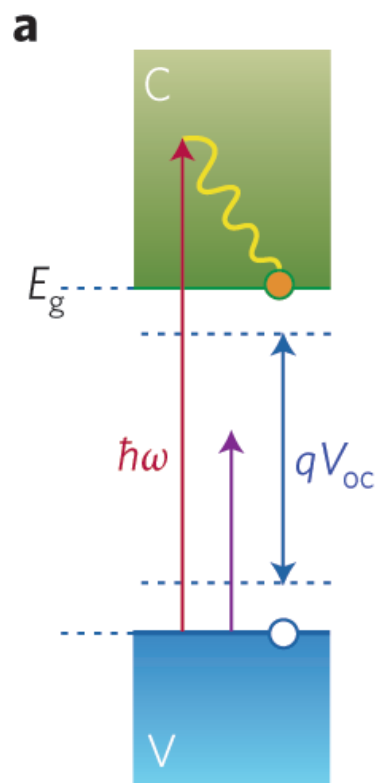
PCE máx de 30% para um E_g de 1,1 eV



A perda de energia na maioria das células solares ocorre como calor



Perdas: processos



Admitindo que toda a carga gerada é recolhida:

Termos relacionados com entropia

$$qV_{oc} = E_g \left(1 - \frac{T}{T_{sol}} \right) - kT \left[\ln \left(\frac{\Omega_{emis}}{\Omega_{sol}} \right) + \ln \left(\frac{4n^2}{I} \right) - \ln(QE) \right]$$

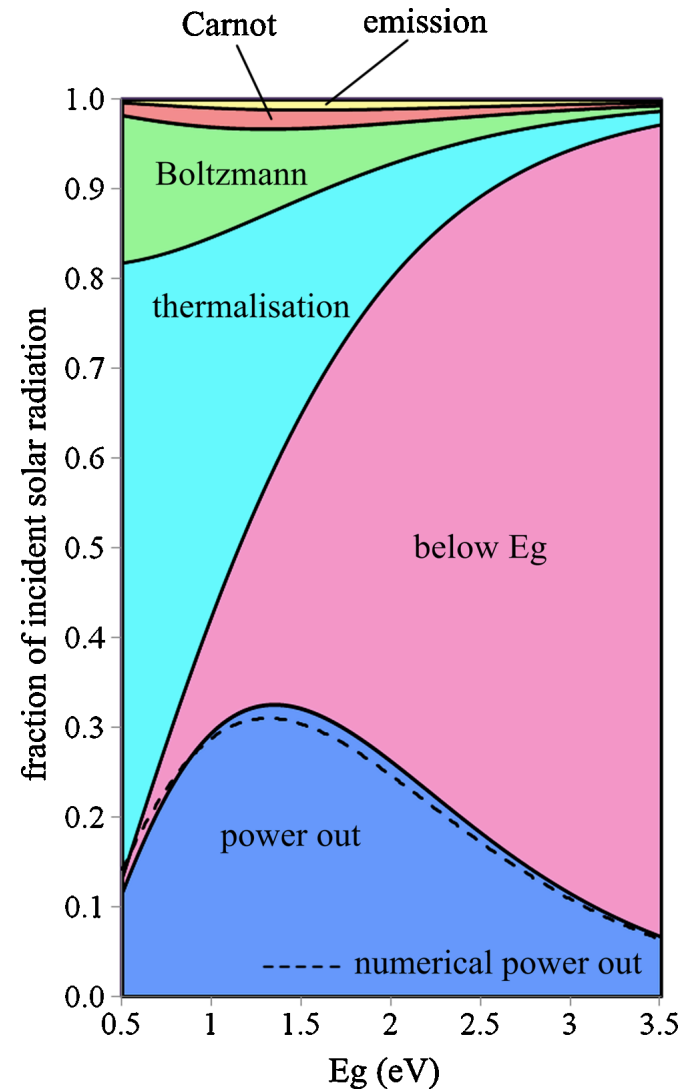
Perda de Carnot (máquina térmica)
(a que acresce perda por PL e não por emissão de corpo negro)

Absorção de fótons e re-emissão em ângulos diferentes

Aprisionamento incompleto da luz incidente

Recombinação não radiativa (QE: ef. de recombinação)

Perdas: processos



Perspectivas ?

