



Universidade de São Paulo

Escola Politécnica

Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos

PSI 5100 - Dispositivos Eletrônicos Poliméricos

Células Solares Orgânicas

Leonardo Giordano Paterno (UnB)

Fernando Josepetti Fonseca

PSI 5100 - Dispositivos Eletrônicos Poliméricos

Por que Células Solares?

Algumas considerações sobre as Células Solares.

MWp	Country	Location	Description	System integrator
40	Germany	Brandis	Ground mounted, 550,000 CdTe modules	juwi
14.75	Germany	Köthen	Ground mounted, 200,000 CdTe modules	juwi
11.8	Spain	Zaragoza	Roof mounted, 85,500 a-Si modules	Veolia Environment
10	USA	Boulder City, NV	Ground mounted, 167,000 CdTe modules	First Solar
10	Germany	Helmeringen	Ground mounted, 135,000 CdTe modules	Gehrlicher Solar
8.5	Germany	Eckolstädt	Ground mounted, 115,000 CdTe modules	Beck Energy
8.4	Germany	Trier	Ground mounted, 112,500 CdTe modules	Conergy
7	France	La Narbonnaise	Ground mounted, 95,000 CdTe modules	EDF
5.9	Spain	Darro Granada	Ground mounted, 80,000 CdTe modules	Beck Energy
5.8	Germany	Igling-Buchloe	Ground mounted, 78,000 CdTe modules	Conergy/Epuron
5.6	Germany	Wörrstadt	Ground mounted, 76,800 CdTe modules	juwi
5.3	Spain	Villanueva de la Jara	Ground mounted, 75,500 CdTe modules	Phoenix Solar
5.3	Spain	San Clemente	Ground mounted, 75,500 CdTe modules	Phoenix Solar

Table 2. Some of the largest thin-film technology-based PV power plants constructed in 2008 [1].



Figure 2. The Villanueva de la Jara PV power plant, Cuenca, Spain, consists of c-Si and CdTe modules, constructed by Phoenix Solar in 2008.

Courtesy of Surawia



Ads by Google

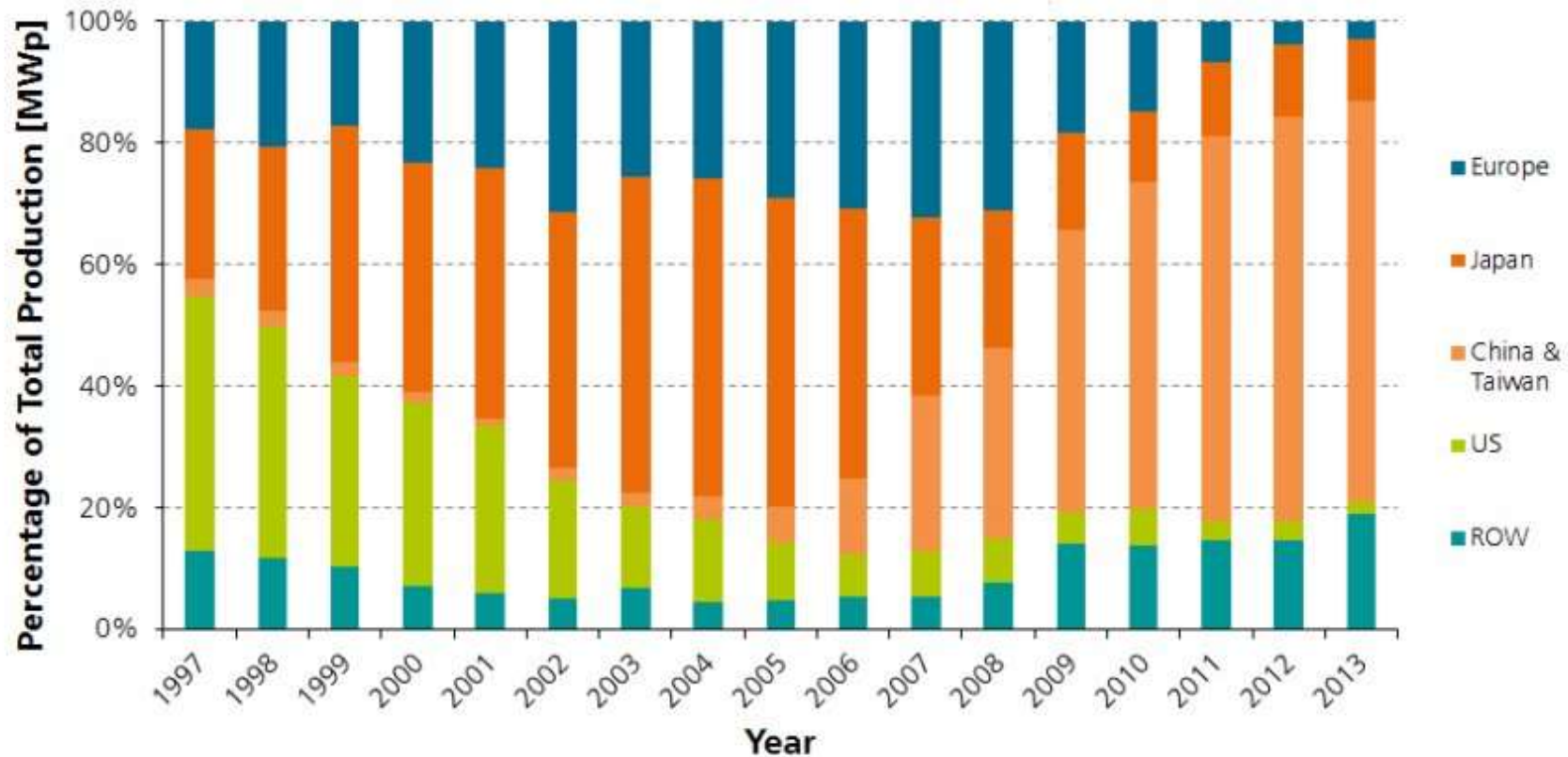
Konarka has successfully developed a range of organic thin-film solar cell modules which were made possible thanks to a roll-to-roll process, and the unprecedented flexibility of such prototypes allow them to be attached to a bag and used as a power source of an electronic paper. The energy conversion efficiency of these super thin solar cells stand at 4% currently within a building, and around thereabouts when one is outside. It seems as though the outdoor efficiency is a wee bit lower due to "their high circuit resistance impacts more as current increases". Translucent solar cells are also available from Konarka, and having these on our ceilings and windows will definitely revolutionize the power industry.

Eficiências de módulos e células solares cristalinas

- The record lab cell efficiency is 25 % for mono-crystalline and 20.4 % for multi-crystalline silicon wafer-based technology. The highest lab efficiency in thin film technology is 19.8 % for CIGS and 19.6 % for CdTe solar cells.
- In the last 10 years, the efficiency of average commercial wafer-based silicon modules increased from about 12 % to 16 %. At the same time, CdTe module efficiency increased from 9 % to 13 %.
- In the laboratory, best performing modules are based on mono-crystalline silicon with about 23 % efficiency. Record efficiencies demonstrate the potential for further efficiency increases at the production level.
- In the laboratory, high concentration multi-junction solar cells achieve an efficiency of up to 44.7 % today. With this concentrator technology, module efficiencies of up to 36.7 % have been reached.

Por que Células Solares ?

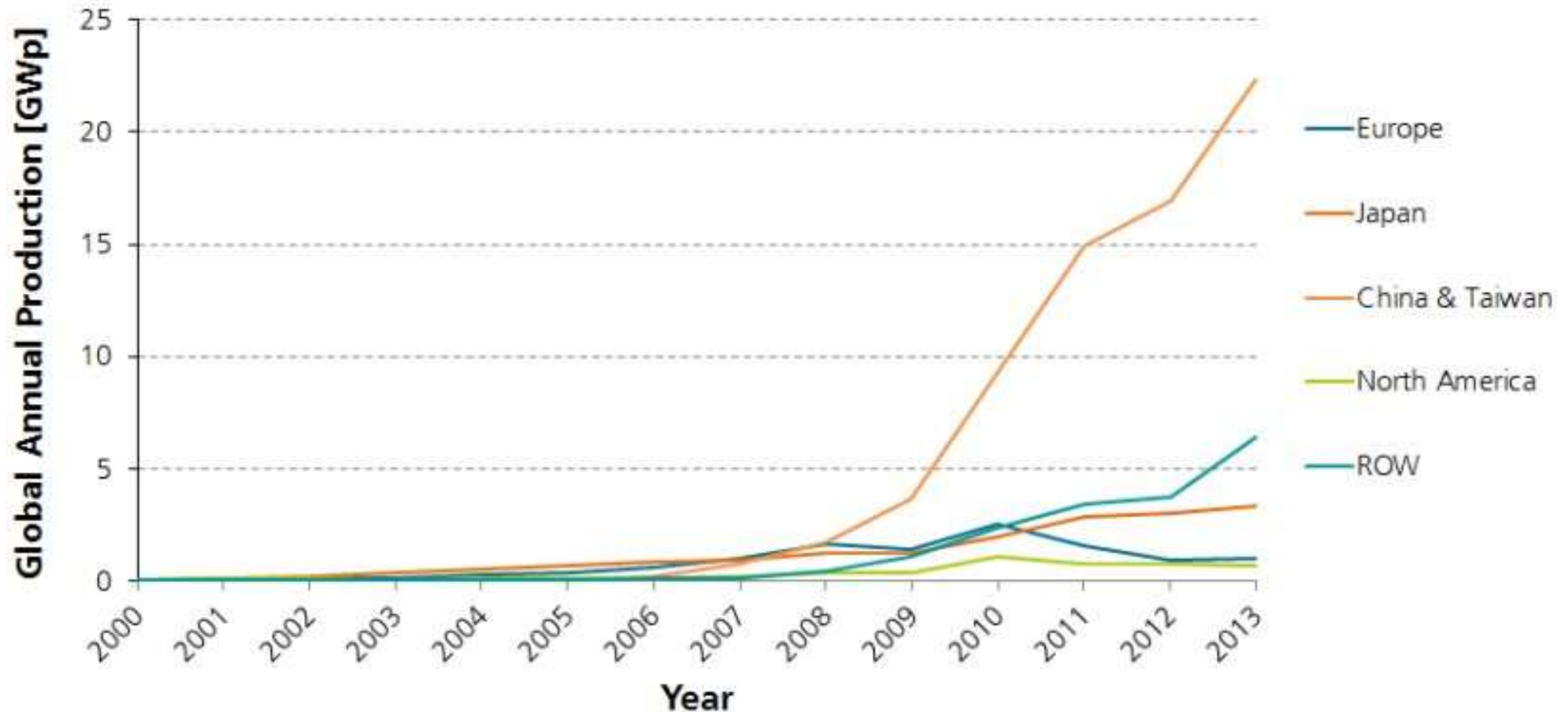
PV Cells/Modules Production by Region 1997-2013 (Percentage of Total MWp Produced)



Data: Navigant Consulting and Paula Mints. Graph: PSE AG 2014

Por que Células Solares ?

PV Industry Production by Region (2000-2013)



Data: Navigant Consulting and Paula Mints. Graph: PSE AG 2014

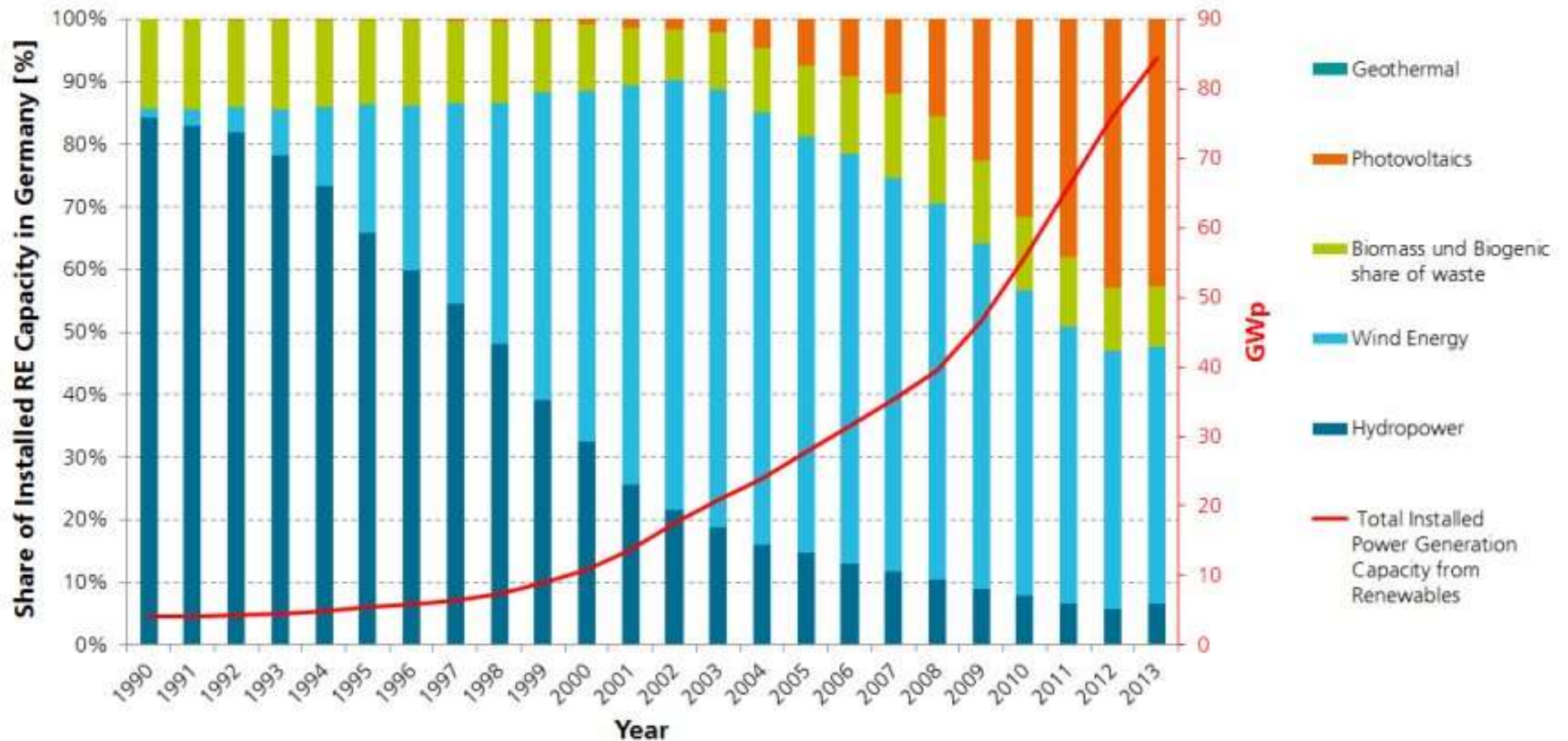
Por que Células Solares ?

PV Systems Yearly Installed in Germany Shares by System Size



Data: up to 2008: extrapolation from utilities data; since 2009: Bundesnetzagentur. Graph: PSE AG 2014

Electrical Capacity of Renewable Energy Sources in Germany



In 2013 about 24% of the electricity in Germany has been generated by renewable energy (RE) sources according to BDEW.

Preliminary data 2013: BMWi / AGEE-Stat. Up to 2012 Data: BMU, BDEW. Graph: PSE AG 2014

O problema do *Energy Pay-Back Time* (EPBT)

Material usage for silicon cells has been reduced significantly during the last 10 years from around 16 g/Wp to 6 g/Wp due to increased efficiencies and thinner wafers.

The Energy Payback Time of PV systems is dependent on the geographical location: PV systems in Northern Europe need around 2.5 years to balance the input energy, while PV systems in the South equal their energy input after 1.5 years and less, depending on the technology installed.

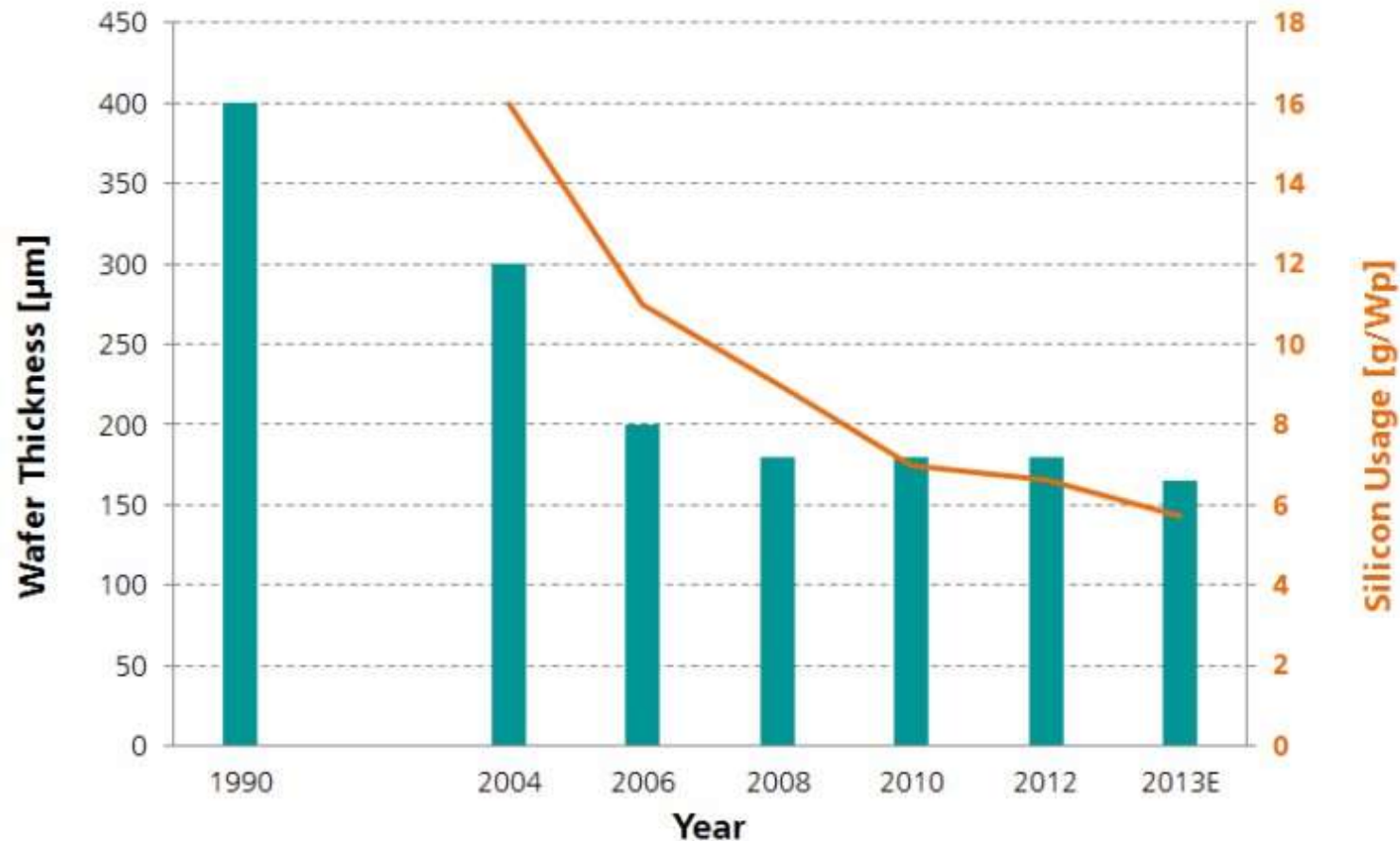
A PV system located in Sicily with multi-Si modules has an Energy Payback Time of around one year. Assuming 20 years lifespan, this kind of system can produce twenty times the energy needed to produce it.

The Energy Payback Time for CPV-Systems in Southern Europe is less than 1 year.

ISE Photovoltaics Report - Fraunhofer 2014

Energy Pay-Back Time

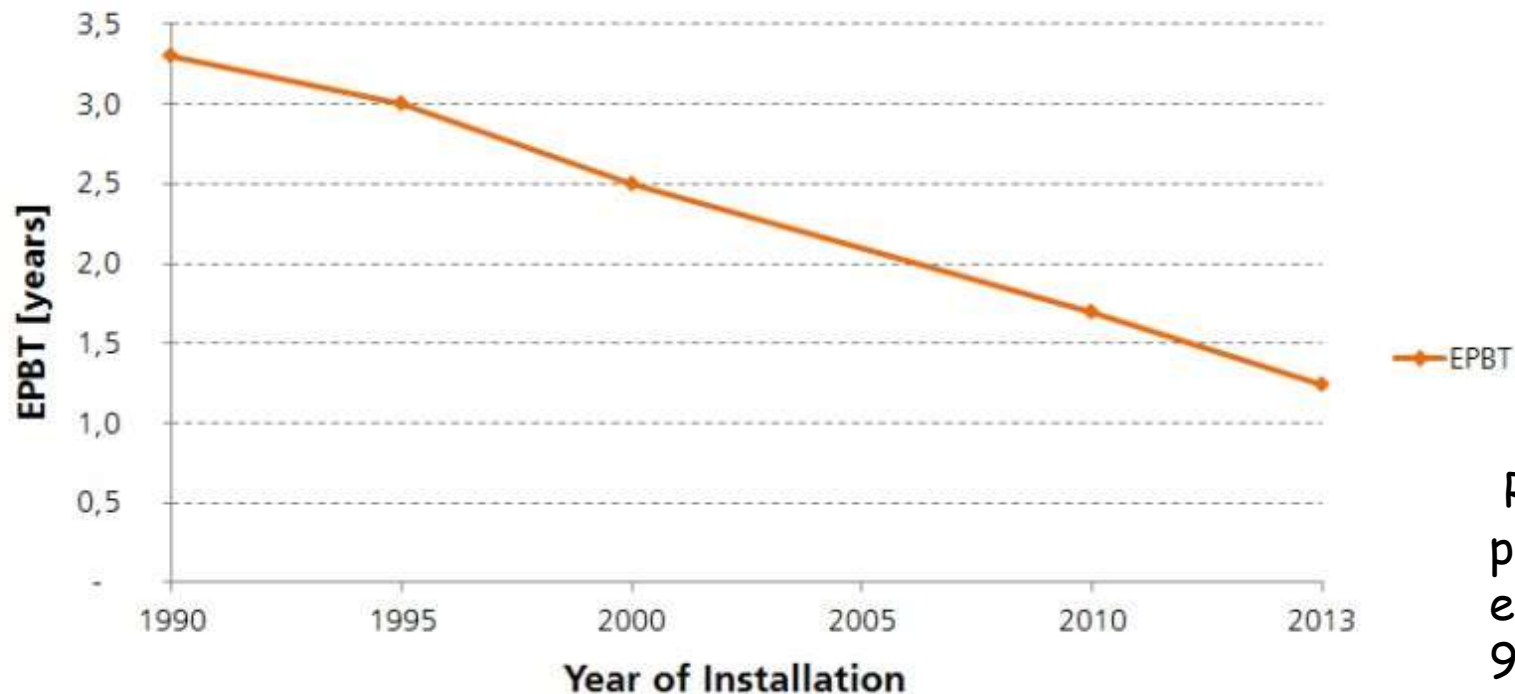
C-Si Solar Cell Development Wafer Thickness [μm] & Silicon Usage [g/Wp]



Data: until 2012: EU PV Technology Platform Strategic Research Agenda, for 2012: c-Si Roadmap ITRPV; 2013: Estimation. Graph: PSE AG 2013

Energy Pay-Back Time

EPBT of multicrystalline PV rooftop systems installed in Southern Europe*

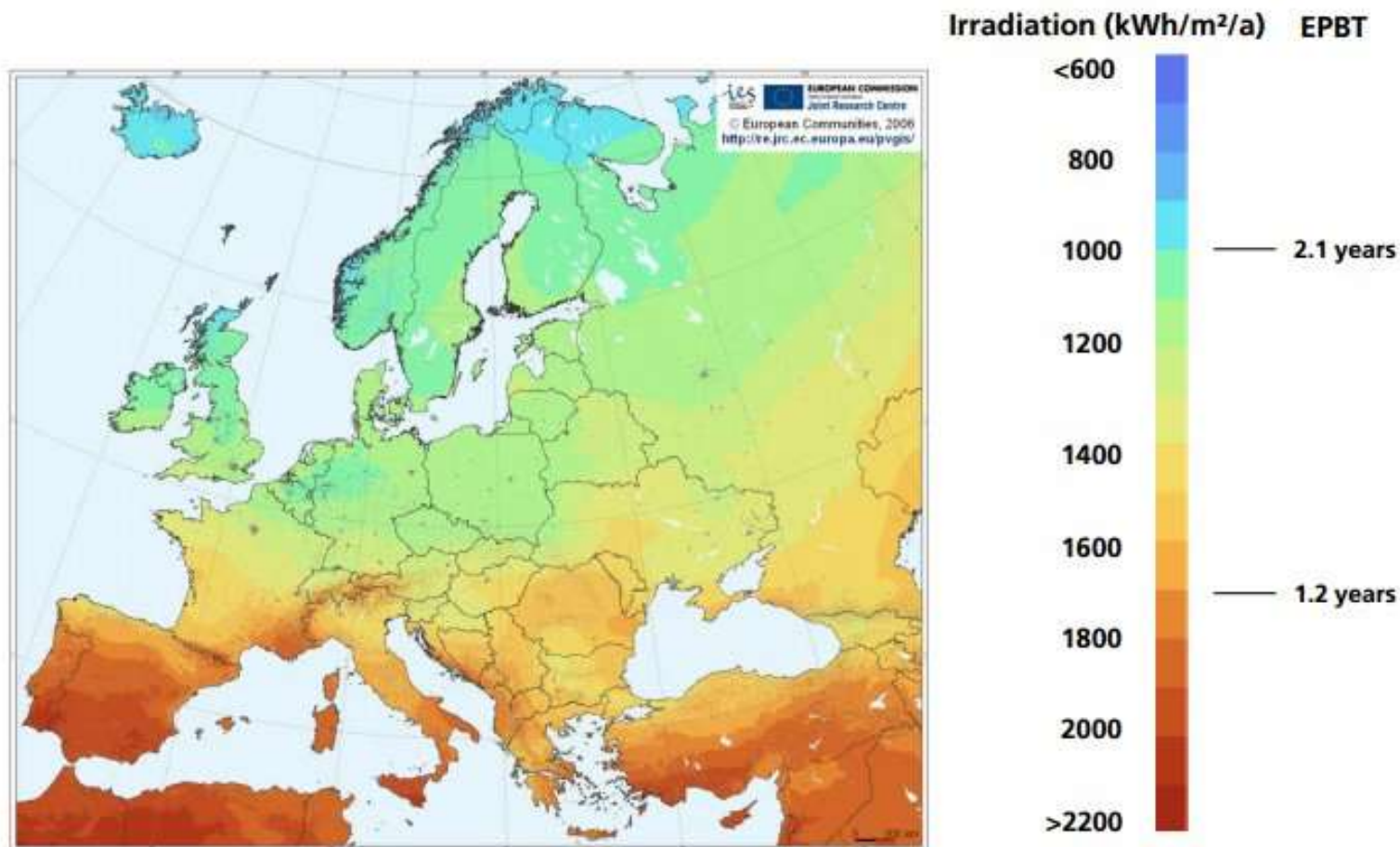


*Irradiation: 1700 kWh/m²/a at an optimized tilt angle

Rooftop PV systems produce net clean electricity for approx. 95 % of their lifetime, assuming a life span of 30 years or more.

Data: EPIA Sustainability Working Group Fact Sheet 2011; since 2010: M.J. de Wild-Scholten 2013. Graph: PSE AG 2014

Energy Pay-Back Time of Multicrystalline Silicon PV Rooftop Systems - Geographical Comparison



Data: M.J. de Wild-Scholten 2013. Image: JRC European Commission. Graph: PSE AG 2014 (Modified scale with updated data from PSE AG and FraunhoferISE)

33

© Fraunhofer ISE

 **Fraunhofer**

Data: M.J. de Wild-Scholten 2013. Image: JRC European Commission. Graph: PSE AG 2014 (Modified scale with updated data from PSE AG and FraunhoferISE)

Por que Células Solares?

- **Conversão de energia luminosa em eletricidade** e/ou combustíveis (célula solar e fotossíntese artificial), conversão de combustível em eletricidade (célula combustível) e conversão de eletricidade em luz visível (O-PLEDs).
- O mecanismo comum de funcionamento do dispositivo consiste em processos de transferência eletrônica* entre uma espécie doadora e outra aceitadora de elétrons.
- As espécies são confinadas num filme fino (ou ultra-fino) compreendido entre dois eletrodos (catodo e anodo). Com exceção da célula combustível, a construção dos demais dispositivos exige que pelo menos **um dos eletrodos seja transparente** à entrada/saída da luz.

*http://en.wikipedia.org/wiki/Marcus_theory

KAMAT, P. V. Meeting the clean energy demand: Nanostructure Architectures for Solar Energy Conversion, *J. Phys. Chem. C*, v. 111, p. 2834-2860, 2007.

FONASH, S. J. *Solar Cell Device Physics*, 2nd ed., Burlington, Academic Press, 2010.

HOPPE, H; SARICIFTCI, N. S. Organic solar cells: An overview, *J. Mater. Res.*, v. 19, 1924-1945, 2004.

GRATZEL, M. Recent Advances in Sensitized Mesoscopic Solar Cells, *Acc. Chem. Res.*, v. 42, p. 1788-1798, 2009

SIVULA, K. et al., Solar Water Splitting: Progress Using α -Fe₂O₃ Photoelectrodes, *ChemSusChem*, v. 4, p. 432-449, 2011.

TRAN, P. D. et al. Recent advances in hybrid photocatalysts for solar fuel production, *Energy Environ. Sci.*, v. 5, p. 5902-5918, 2012.

PATERNO, L. G. *Nanomateriais e Conversão de Energia*, publicado, 2014.

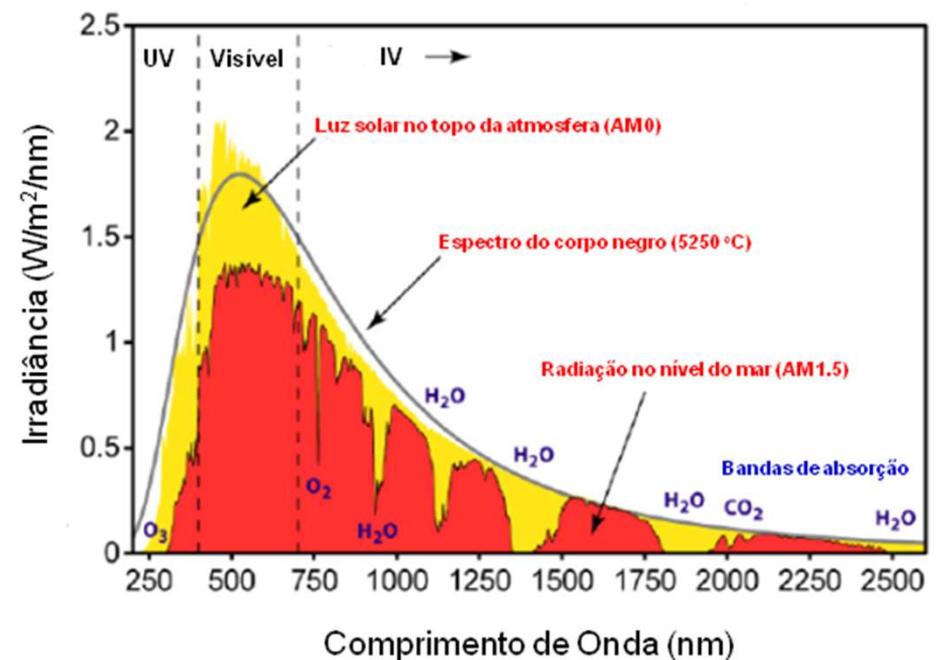
2.1. Células Solares (ou Fotovoltaicas)

2.1. Células Solares (ou Fotovoltaicas)

- O sol é sem dúvida a **fonte natural mais abundante** e sustentável de energia disponível ao planeta Terra. **Cada ano**, nosso planeta recebe do sol cerca de 120.000 TW de energia, um equivalente a 10^4 vezes maior que a atual demanda global.

- Os fótons que chegam à Terra na forma de luz solar estão distribuídos sob comprimentos de onda diferentes e que dependem de variáveis como **latitude, horário do dia e condições atmosféricas**. Essa distribuição é conhecida como espectro solar.

- O espectro ao lado mostra a potência de incidência solar por área por comprimento de onda ($W/m^2/nm$), também chamada de irradiância, considerando-se uma largura de banda de 1 nm ($\Delta\lambda$).



Espectro solar expresso em $W/m^2/nm$ segundo os padrões AM0 e AM1.5.

2.1. Células Solares (ou Fotovoltaicas)

- Os termos AM 0, AM 1.0 e AM1.5 referem-se aos espectros solares calculados segundo normas ASTM distintas e apropriadas para cada tipo de aplicação.
- Os espectros AM 1.0 e AM 1.5 são calculados segundo a norma ASTM G173 e são usados como referência de padronização de aplicações terrestres, enquanto que o espectro AM 0, baseado na norma ASTM E 490, é para uso em satélites.
- O cálculo dos espectros considera variáveis geográficas e atmosféricas específicas (p.ex. ângulo de incidência sobre o planeta, densidade do ar, etc).

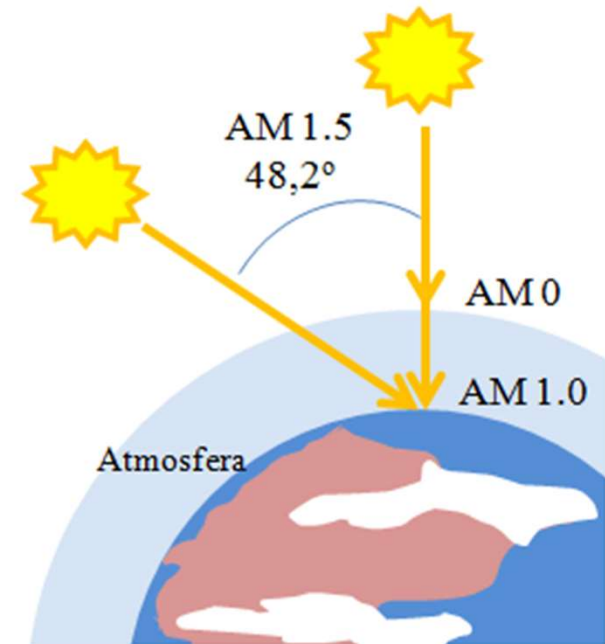


Ilustração esquemática para as formas de incidência da radiação solar sobre a Terra e os respectivos padrões para cálculo do espectro solar.

2.1. Células Solares (ou Fotovoltaicas)

Parâmetros de desempenho de uma célula solar

- O desempenho de uma célula solar sob iluminação é avaliado pelos parâmetros fotovoltaicos, como a potência produzida por área de célula sob iluminação (P_{out} , em $W.cm^{-2}$), potencial de circuito aberto (V_{oc} , em V), densidade de corrente em curto-circuito (J_{sc} , em $mA.cm^{-2}$), fator de preenchimento (FF) e eficiência global de conversão (η).

- A potência ideal produzida pela célula é dada por:

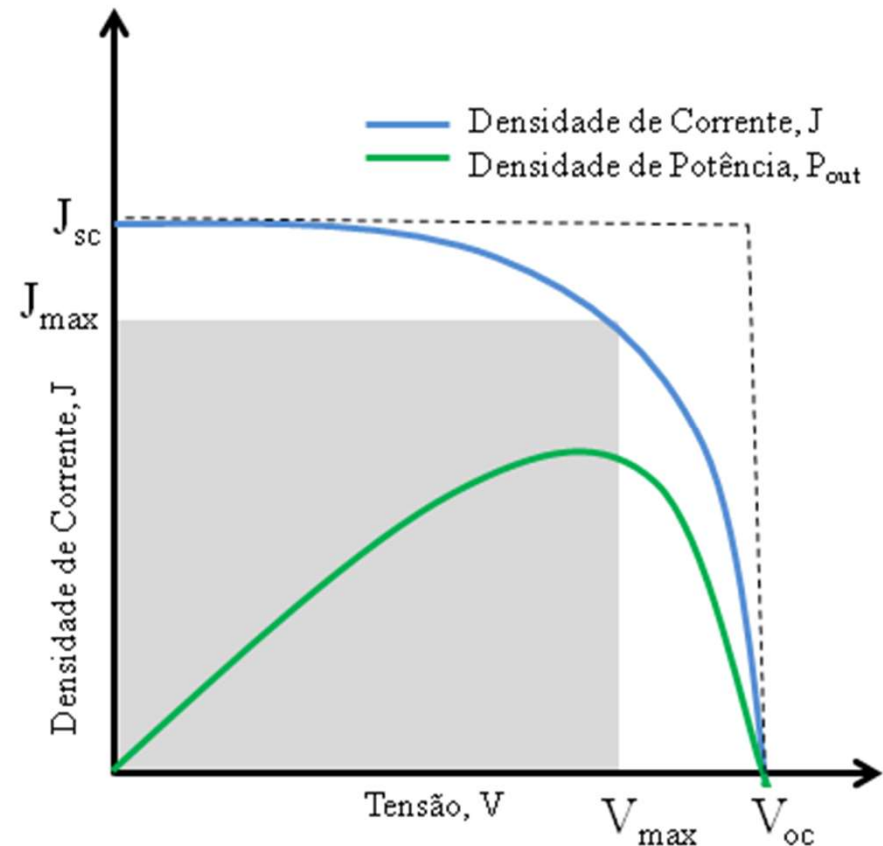
$$P_{out} = JV$$

- No entanto, a potência máxima é dada por:

$$P_{max} = J_{max}V_{max}$$

- Pela curva $J \times V$ (ao lado) conclui-se que a potência máxima produzida por uma célula solar sob iluminação se encontra entre $V = 0$ (curto-circuito) e $V = V_{oc}$ (circuito-aberto), ou V_{max} . A densidade de corrente correspondente é dada por J_{max} . A eficiência de conversão é dada por:

$$\eta = \frac{J_{max}V_{max}}{P_{in}}$$



2.1. Células Solares (ou Fotovoltaicas)

•O comportamento de uma célula solar ideal seria representado por uma curva $J \times V$ de formato retangular (destacada no gráfico por linhas pontilhadas) em que a densidade de corrente produzida seria máxima e constante e igual a J_{sc} até o valor de V_{oc} . No entanto, nem toda a potência incidente é convertida em energia pela célula, de modo que em situações reais a curva $J \times V$ afasta-se do formato retangular ideal. O termo fator de preenchimento (FF, do inglês *fillfactor*) é introduzido para medir quão próximo do comportamento ideal uma célula fotovoltaica opera. O fator de preenchimento é dado por:

$$FF = \frac{J_m V_m}{J_{sc} V_{oc}}$$

•Teoricamente, $FF \leq 1$. A eficiência global de conversão pode então ser expressa usando-se o valor de FF:

$$\eta = \frac{J_{sc} V_{oc} FF}{P_{in}}$$

2.1. Células Solares (ou Fotovoltaicas)

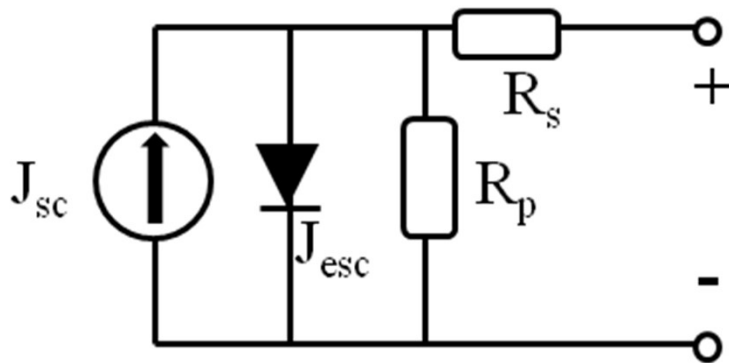
• Outro parâmetro importante de desempenho de uma célula solar é a eficiência quântica. A eficiência quântica mede quantos elétrons capazes de realizar trabalho são gerados por cada fóton incidente de comprimento de onda λ . Esta é ainda subdividida em dois tipos: externa e interna. A eficiência quântica externa (EQE, do inglês external quantum efficiency) mede o número de elétrons que são coletados pelo eletrodo da célula sob condição de curto-circuito dividido pelo número de fótons incidentes. Também conhecido como IPCE (do inglês incident photon to current efficiency) seu valor é determinado pela equação:

$$IPCE = \frac{1240 I_{sc}}{\lambda P_{in}}$$

• Como o valor de IPCE depende do comprimento de onda da radiação incidente, uma curva de IPCE versus comprimento de onda corresponde à resposta espectral da célula. Este é também conhecido como espectro de ação de uma célula solar.

2.1. Células Solares (ou Fotovoltaicas)

- Uma célula solar funciona como um gerador de energia. Seu circuito equivalente é dado por:



$$J = J_{sc} - J_0 \left[e^{q(V + JAR_s)/k_B T} - 1 \right] - \frac{V + JAR_s}{R_p}$$

- O circuito conta com um diodo e duas resistências, uma em série (R_s) e outra em paralelo (R_p). A resistência em série representa o comportamento de condutor não-ideal da célula, enquanto a resistência em paralelo contabiliza a corrente de fuga inerente a um dispositivo, geralmente associada a problemas de isolamento.

- Numa célula solar ideal, $R_s = 0$ e $R_p = \infty$. Na expressão de corrente produzida pela célula, A = área ativa da célula.

2.1. Células Solares (ou Fotovoltaicas)

Princípio de Funcionamento de uma Célula Solar

- Uma célula solar típica é constituída de um material absorvedor compreendido entre dois eletrodos.
- O material absorvedor pode ser tanto um semicondutor quanto um corante, inorgânico ou orgânico, podendo ser ainda monocristalino, policristalino, nanocristalino ou amorfo.
- O papel do absorvedor é coletar (absorver) a luz solar e para isso deve necessariamente apresentar energia de separação de bandas (E_g) que coincida com o espectro solar.
- A separação de cargas em portadores individuais e o transporte podem ou não serem realizados pelo absorvedor.
- Os eletrodos são feitos de materiais condutores com funções-trabalho diferentes, sendo que um deles deve ser transparente à luz incidente.

2.1. Células Solares (ou Fotovoltaicas)

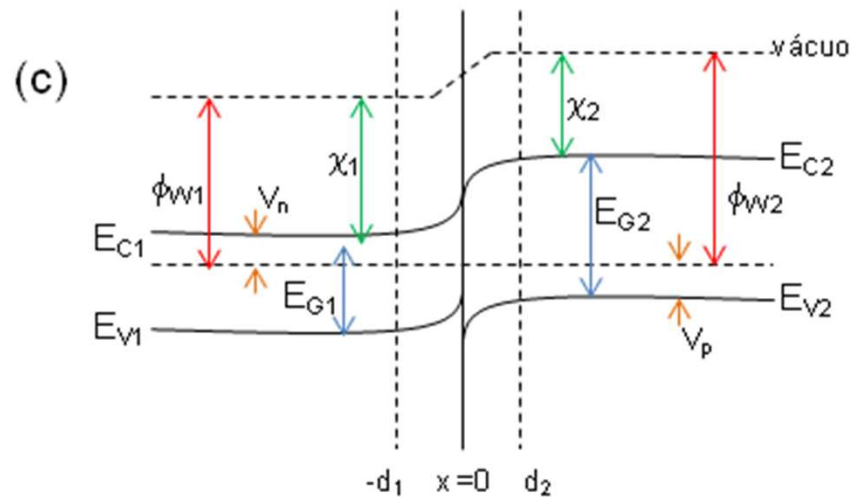
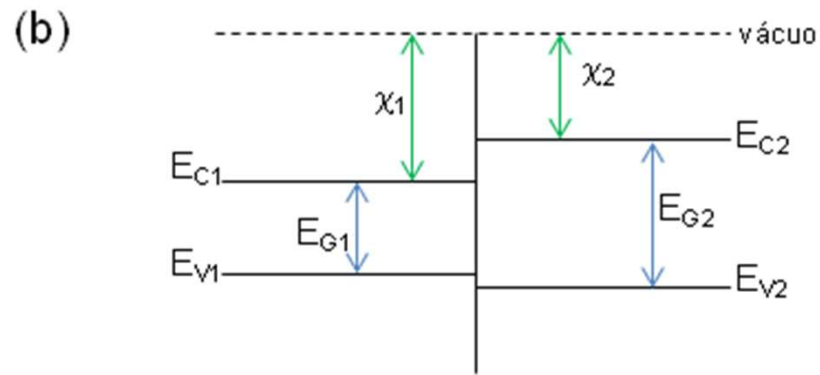
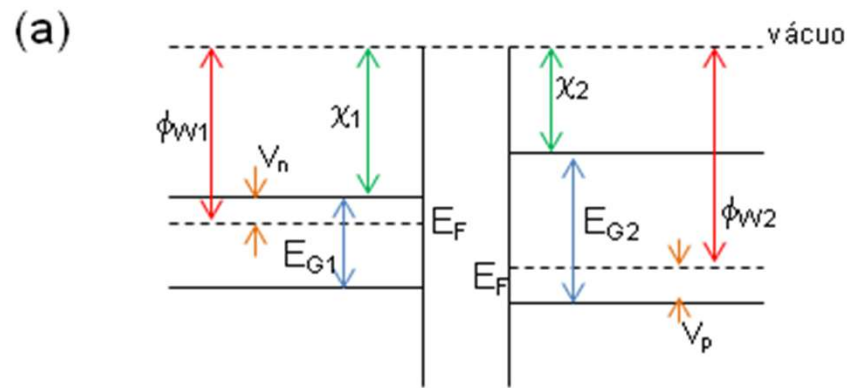
• O processo de conversão fotovoltaica pode ser dividido em quatro etapas sequenciais:

- i) a absorção de luz causa uma transição eletrônica no material absorvedor da célula, do estado fundamental para o estado excitado;
- ii) o estado excitado é convertido num par de portadores de carga separados, um negativo e outro positivo;
- iii) sob um mecanismo de transporte apropriado, os portadores, separadamente, movem-se em direção aos contatos elétricos da célula, o catodo e anodo;
- iv) os elétrons percorrem o circuito externo da célula onde perdem a energia adquirida executando trabalho útil (p.ex. alimentação de uma lâmpada ou motor).

Posteriormente, atingem o catodo onde se recombinam com os portadores de carga positiva e, com isso, retornam o material absorvedor ao estado fundamental.

2.1. Células Solares (ou Fotovoltaicas)

- Os mecanismos de (i) absorção de luz e (ii) separação de cargas dependem da estrutura eletrônica e da morfologia do absorvedor.
- Nas células solares convencionais, feitas de semicondutores inorgânicos tais como silício ou arseneto de gálio (GaAs) nas formas mono-, poli- e microcristalina, absorção e separação são realizadas apenas pelo absorvedor. A energia de separação de bandas nesses semicondutores (Si: 1,1 eV; GaAs: 1,42 eV) é suficiente para coletar cerca de 70% da radiação solar incidente no planeta.
- Os fótons absorvidos promovem os elétrons para a banda de condução e produzem, simultaneamente, um número equivalente de lacunas na banda de valência do material absorvedor. O efeito é observado tanto em semicondutores de **gap direto**, como o GaAs, quanto em semicondutores de **gap indireto** como o Si.
- Uma vez formados, os portadores de carga são separados numa região de junção do semicondutor, formada na interface de regiões de dopagem tipo p e n (junção p-n), ou mesmo quando são isoladas por uma terceira região isolante i (junção p-i-n).
- Na região de junção forma-se um potencial elétrico (built-in potential) devido às diferenças de afinidade eletrônica de cada região. Esse potencial é intenso o suficiente para separar os portadores em espécies individuais, elétron e lacuna.



Níveis de energia eletrônica de semicondutores n e p (a) antes do contato, (b) durante contato e (c) depois do contato e em equilíbrio termodinâmico.

2.1. Células Solares (ou Fotovoltaicas)

- Nas células solares feitas de absorvedores orgânicos, como corantes e polímeros conjugados, ou nas células sensibilizadas com corantes ou pontos quânticos, a absorção de energia luminosa leva à formação de éxcitons.
- Os éxcitons são espécies sem carga e que podem mover-se apenas por difusão.
- A maneira encontrada para a quebra de simetria do éxciton nesses dispositivos foi o uso de arquiteturas do tipo doador-aceitador, D-A, em analogia à junção p-n de semicondutores tradicionais.
- O doador é o material que absorve os fótons e gera os éxcitons. O aceitador é um material de alta afinidade eletrônica. A diferença entre afinidades eletrônicas do doador e aceitador propicia um potencial elétrico suficientemente grande para promover a separação de cargas na interface entre os dois materiais.
- No entanto, o projeto desse tipo de célula deve considerar que a separação das fases D e A, bem como as espessuras da camada absorvedora como um todo, seja compatível com o tempo de vida e comprimento de difusão do éxciton. Por exemplo, o comprimento de difusão dos éxcitons na maioria dos polímeros conjugados usados em células solares orgânicas está compreendido entre 30 e 60 nm. Desse modo, o funcionamento das células orgânicas ou sensibilizadas por corantes depende decisivamente do controle em escala nanométrica da morfologia das interfaces.

2.2 Células Solares Orgânicas

Células Solares de 3ª geração

- As células solares de 3ª geração são formadas de uma junção do tipo D-A, que se estende em escala nanométrica dentro de um filme fino.
- Os doadores são as espécies químicas que absorvem a luz visível, tais como corantes, polímeros conjugados e pontos quânticos. Os aceitadores são fulerenos (C_{60} e derivados) e óxidos semicondutores, especialmente TiO_2 e ZnO .
- Dois tipos principais desse tipo de células são investigados:
 - i) células solares orgânicas (CSO)
 - ii) células solares sensibilizadas por corantes (CSC)

Por que Células Solares Orgânicas?

The image is a screenshot of the Forbes website. At the top, there is a navigation bar with the Forbes logo and the text "Home Page for the World's Business Leaders". Below this, there are search and stock quote boxes. The main content area features a press release titled "Solarmer Energy, Inc. Breaks Psychological Barrier with 8.13% OPV Efficiency" dated 07.27.10, 08:30 AM EDT. The press release text states that Solarmer, a leading developer of polymer based OPV technology, has broken the efficiency record for the 4th consecutive time. To the right of the press release, there is a "Get Stories By Email" section with a list of topics (engineering, conference, energy, california) and a registration form. Further right, there are several advertisements, including one for "Solimpeks Solar Energy Co" and another for "Wind Power Blogs". The bottom right corner of the page features a "Recommended Stories" section with a "Forbes Attaché" advertisement.

Supported by: The Scottish Government
www.SLCconference.com

Keynote speakers including:
Alex Salmond & Angus McCrone [Book your place now](#)

Forbes.com Attaché

Home Page for the World's Business Leaders

Free Trial Issue

Search Stock Quote

U.S. EUROPE ASIA

Home Lists Business Tech Markets Personal Finance Entrepreneurs Leadership ForbesLife Opinions Newsletters

Video ForbesWoman CEO Network Org Chart Wiki Mobile Portfolio Tracker Blogs E-mail Newsletters Special Reports

Press Release

Solarmer Energy, Inc. Breaks Psychological Barrier with 8.13% OPV Efficiency
07.27.10, 08:30 AM EDT

BusinessWire - Solarmer Energy, Inc. has recently achieved a new world record of 8.13% for their organic photovoltaic (OPV) cell efficiency, certified by the [National Renewable Energy Laboratory \(NREL\)](#). Solarmer, a leading developer of polymer based OPV technology, has now broken the efficiency record for the 4th consecutive time, all in last two years. In 2009 alone, Solarmer produced three certified world records -- 6.8%, 7.6% and 7.9%. This new world

Get Stories By Email

Select Topics:

- engineering
- conference
- energy
- california

Not a member yet? [Join Now!](#)
Already a member? [Log In](#)

Enter Username

Enter Email

Select Your Title

Receive Special

Ads by Google

[Solimpeks Solar Energy Co](#)
The leading solar thermal energy panels and tanks manufacturer
[www.solimpeks.com](#)

[Wind Power Blogs](#)
Read (and contribute) blogs about the wind power industry.
[www.energyblogs.com](#)

[Energy Efficiency](#)
Improve Energy

Recommended Stories

America's Top Selling Cars

Forbes Attaché
You Navigate.
We Notice.
Recommended content based on your interests.

[CLICK HERE TO Personalize Forbes.com](#)

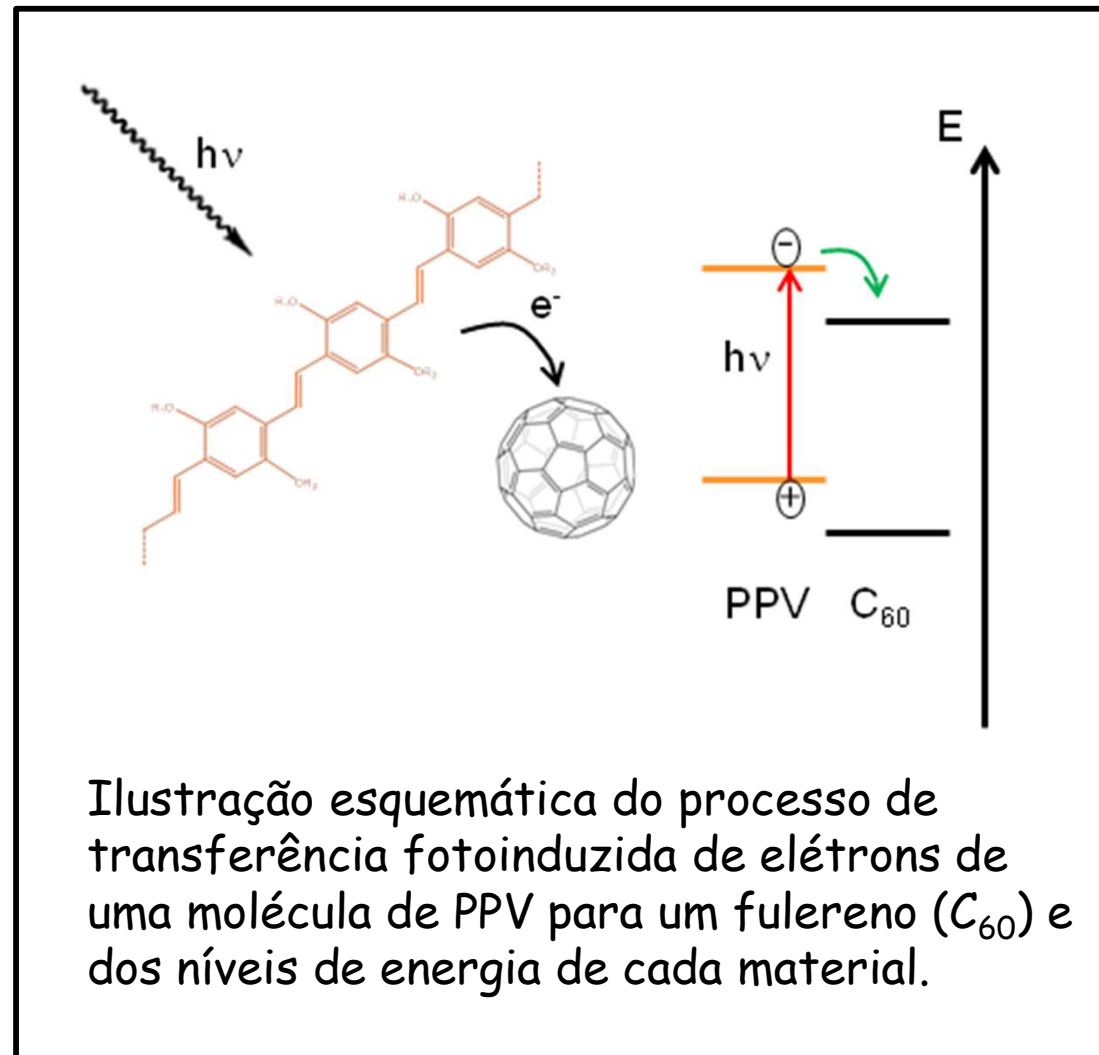
The Greenest Gasoline?

R. produção em larga escala a baixo custo (roll-to-roll), flexíveis, aplicações em diferentes setores (construção civil, design, automobilístico)

2.2 Células Solares Orgânicas

i) Células Solares Orgânicas (CSO)

- O funcionamento das CSO baseia-se essencialmente na transferência fotoinduzida de elétrons, do elemento doador para um aceitador de alta afinidade eletrônica.
- O polímero conjugado (doador) absorve energia e injeta os elétrons fotoexcitados no fulereno (aceitador).
- O processo de transferência eletrônica entre corantes ou polímeros conjugados e fulerenos ocorre numa escala de tempo (em femtosegundos) muito inferior a de processos competitivos como fotoluminescência (em nanosegundos).
- Os níveis de energia do doador e aceitador são de tal forma que favorecem a transferência vetorial dos elétrons.

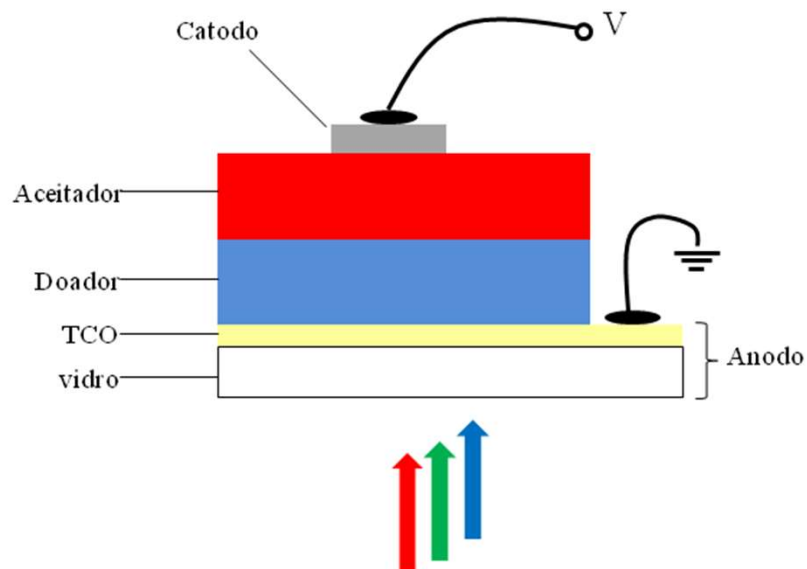


2.2 Células Solares Orgânicas

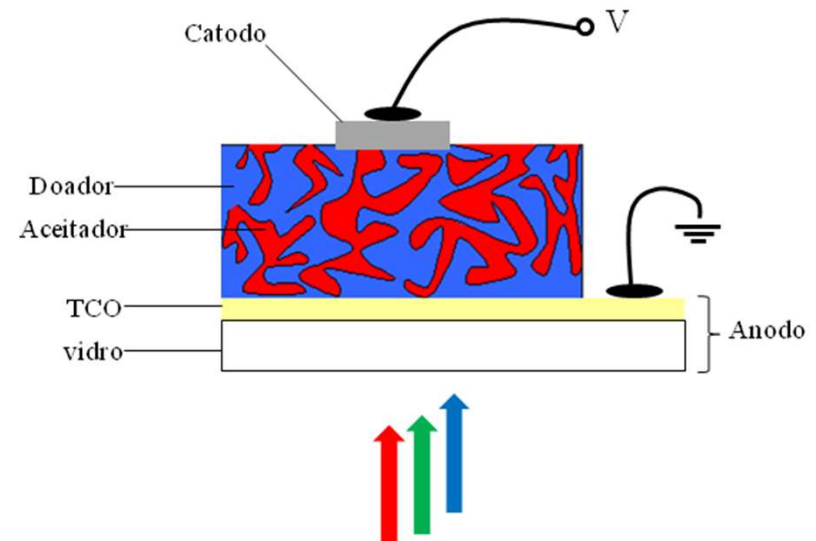
- A região de junção entre o doador e o aceitador (junção D-A) em uma CSO pode ser estabelecida de duas maneiras; a) heterojunção plana ou de bicamada e b) heterojunção em volume.

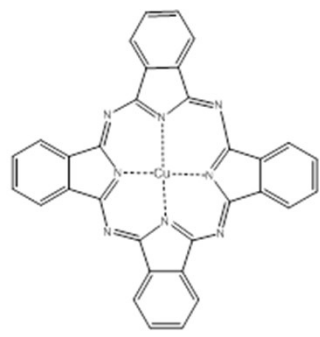
- Em (a), uma camada de fulereno é depositada sobre a camada do doador (pequena molécula ou polímero) e a heterojunção é estabelecida na interface entre as duas camadas, da mesma forma que numa junção p-n de semicondutor inorgânico. Em (b), o filme absorvedor é uma blenda de fulereno com polímero conjugado, misturados por todo o volume do filme. A morfologia da blenda se desenvolve em escala nanométrica.

(A)

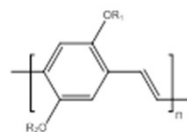


(B)

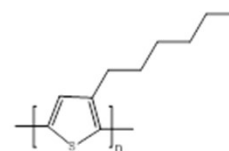




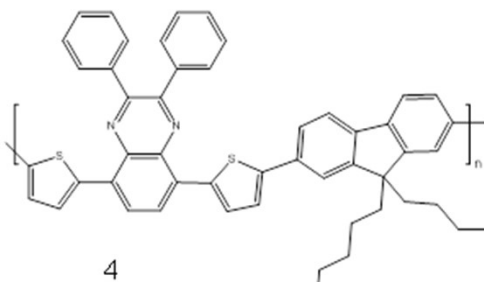
1
 E_g : 3,1 eV
 V_{oc} : 450 mV; J_{sc} : 2,3 mA.cm⁻²
 FF: 0,65; η : 0,95%



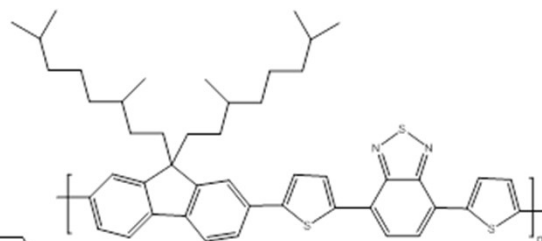
2
 E_g : 2,3 eV
 V_{oc} : 820 mV; J_{sc} : 5, 25 mA.cm⁻²
 FF: 0,61; η : 2,5%



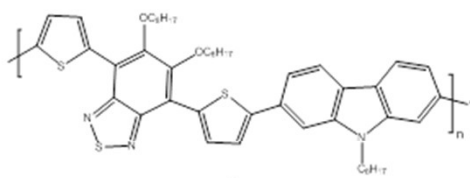
3
 E_g : 2,0 eV
 V_{oc} : 610 mV; J_{sc} : 11,1 mA.cm⁻²
 FF: 0,66; η : 5,0%



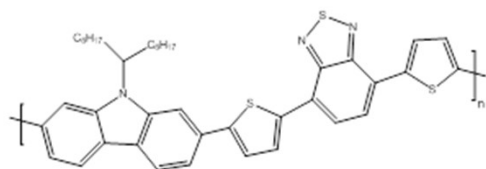
4
 E_g : 1,95 eV
 V_{oc} : 990 mV; J_{sc} : 9,7 mA.cm⁻²
 FF: 0,57; η : 5,5%



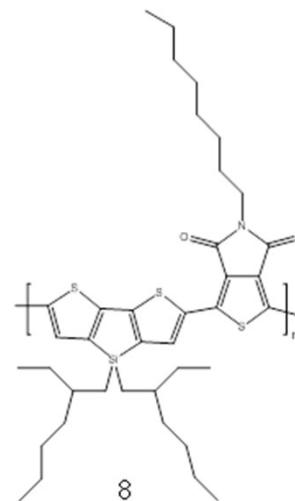
5
 E_g : 1,9 eV
 V_{oc} : 1000 mV; J_{sc} : 9,1 mA.cm⁻²
 FF: 0,51; η : 4,5%



6
 E_g : 1,95 eV
 V_{oc} : 810 mV; J_{sc} : 9,6 mA.cm⁻²
 FF: 0,69; η : 5,4%

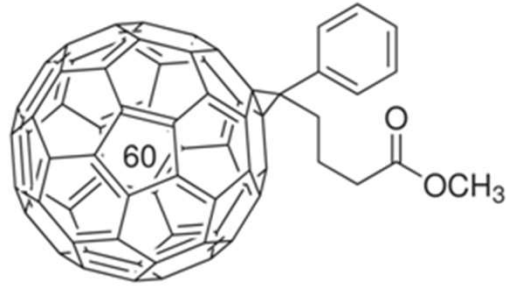


7
 E_g : 1,8 eV
 V_{oc} : 900 mV; J_{sc} : 12,1 mA.cm⁻²
 FF: 0,69; η : 6,8%

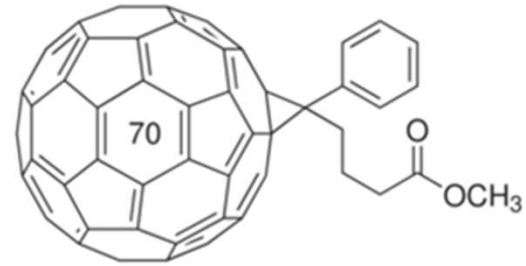


8
 E_g : 1,76 eV
 V_{oc} : 880 mV; J_{sc} : 12,2 mA.cm⁻²
 FF: 0,68; η : 7,3%

2.2 Células Solares Orgânicas

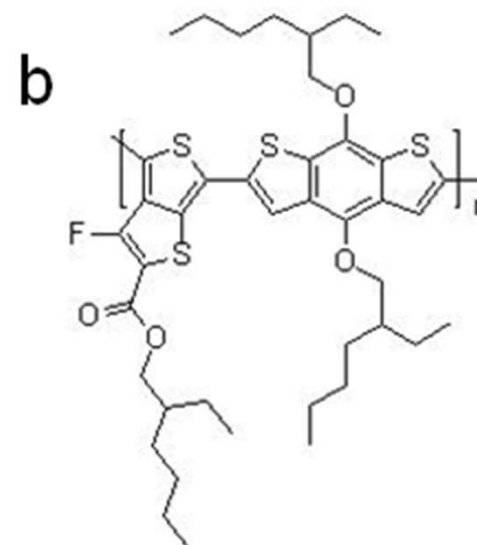
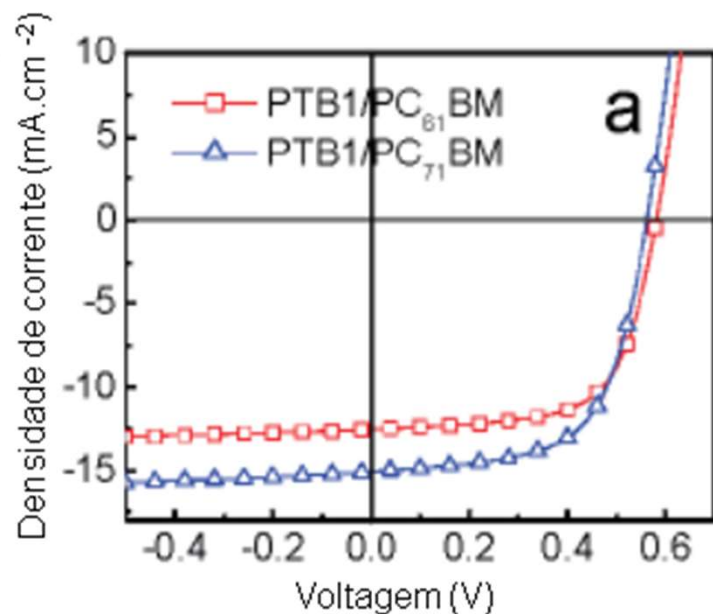


9



10

2.2 Células Solares Orgânicas



(a) Curvas $J \times V$ de CSO submetidas à irradiação AM 1.5 ($100 \text{ mW}\cdot\text{cm}^{-2}$) preparadas com dois tipos de fulereno conforme indicado e (b) fórmula estrutural do polímero PTB1 usado como absorvedor/doador.

LIANG, Y. et al., *J. Am. Chem. Soc.*, v. 131, p. 56-57, 2009.

2.2 Células Solares Orgânicas



energia para portáteis



Barraca de Camping
(cobertura com CSO)

Janelas e fachadas
de edifícios



Guarda-sol

Bolsa-solar



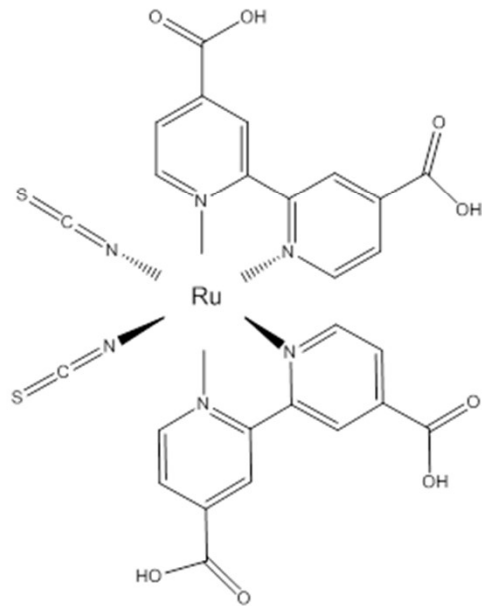
www.konarka.com
www.solarmer.com

2.2 Células Solares Orgânicas

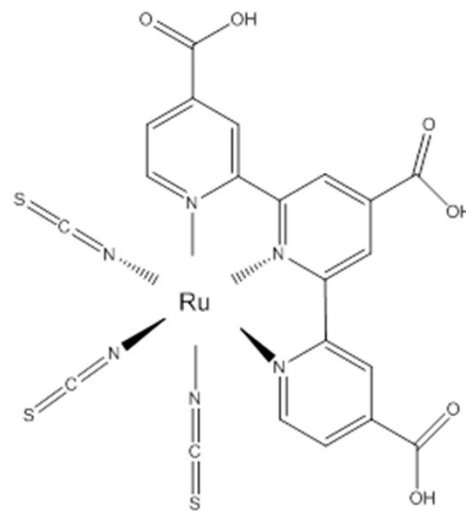
ii) Células Solares Sensibilizadas por Corantes (CSC)

- Uma CSC típica é composta por um fotoanodo, um contra-eletródo e um meio eletrólito que separa os eletrodos.
- O fotoanodo é feito de um filme mesoporoso e nanocristalino de um semicondutor de separação ampla entre bandas, tais como TiO_2 , ZnO ou SnO_2 , que é depositado sobre um eletródo transparente, geralmente o óxido de estanho dopado com flúor (FTO).
- O semicondutor é fotossensibilizado por um corante, que pode ser um complexo de rutênio(II), pontos quânticos (CdSe , PbS), corantes orgânicos sintéticos ou extratos naturais.
- O meio eletrólito é composto por um par redox, como I^-/I_3^- , complexos de cobalto(II/III), ou então TEMPO/TEMPO⁺ (2,2,6,6-tetrametil-1-piperidiniloxi). Há ainda a opção de líquidos iônicos, eletrólitos poliméricos e também semicondutores do tipo-p, inclusive polímeros conjugados.
- O contra-eletródo é formado por um eletródo transparente de FTO modificado com uma camada fina de platina. Alguns materiais alternativos também podem ser usados, tais como grafite, nanotubos, grafeno e polímeros condutores.

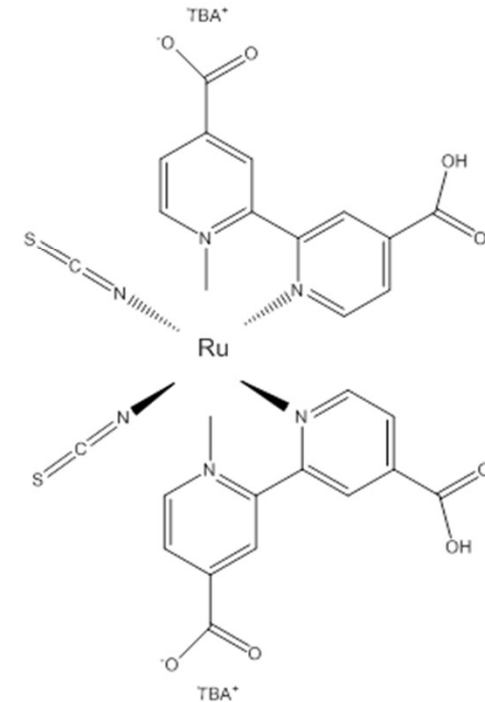
2.2 Células Solares Orgânicas



11
 V_{oc} : 720 mV; J_{sc} : 18,2 mA.cm⁻²
FF: 0,73; η : 10,0%

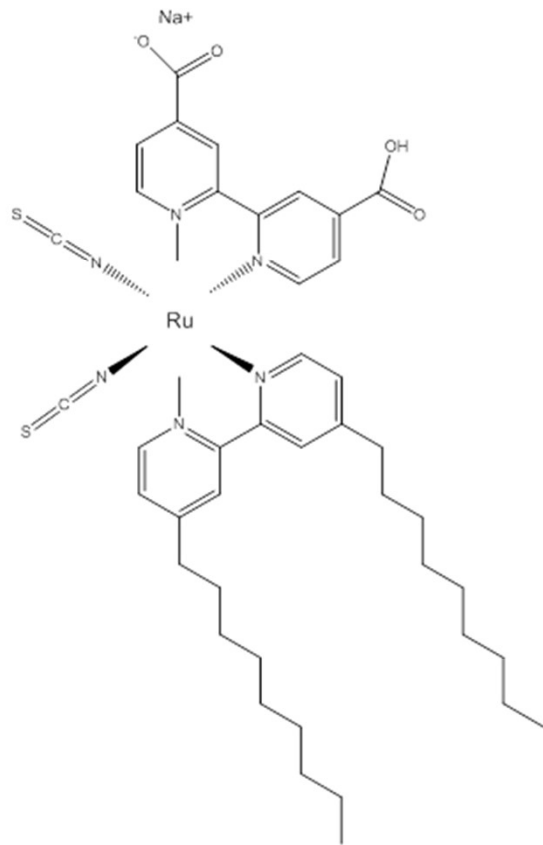


12
 V_{oc} : 736 mV; J_{sc} : 20,9 mA.cm⁻²
FF: 0,72; η : 11,1%

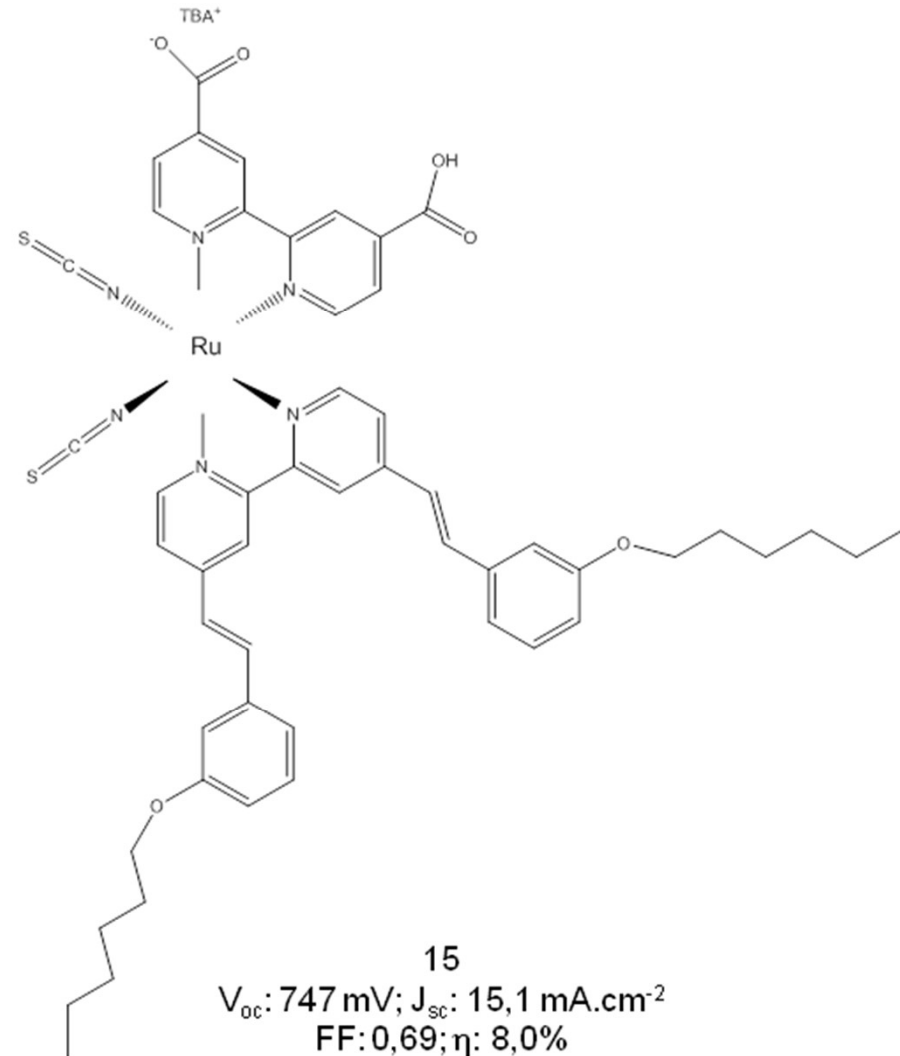


13
 V_{oc} : 826 mV; J_{sc} : 17,0 mA.cm⁻²
FF: 0,72; η : 10,1%

2.2 Células Solares Orgânicas

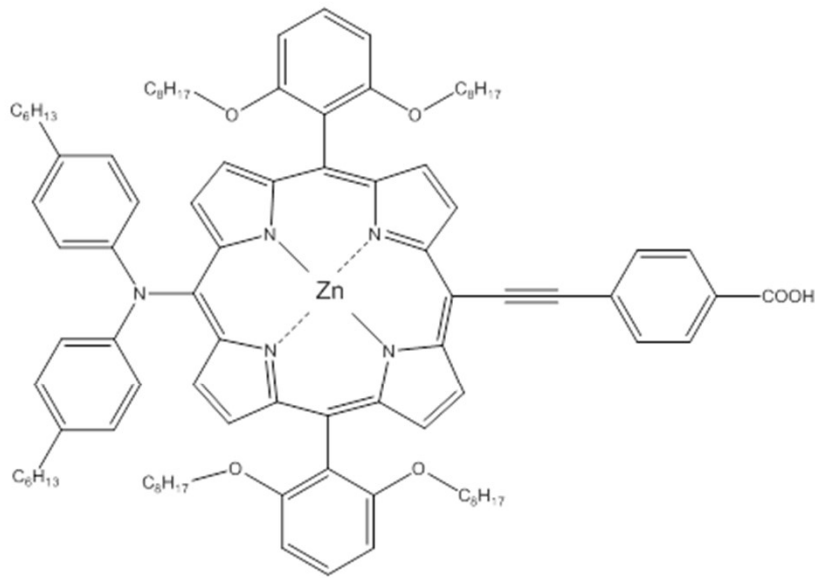


14
 V_{oc} : 700 mV; J_{sc} : 15,9 mA.cm⁻²
FF: 0,68; η : 7,2%



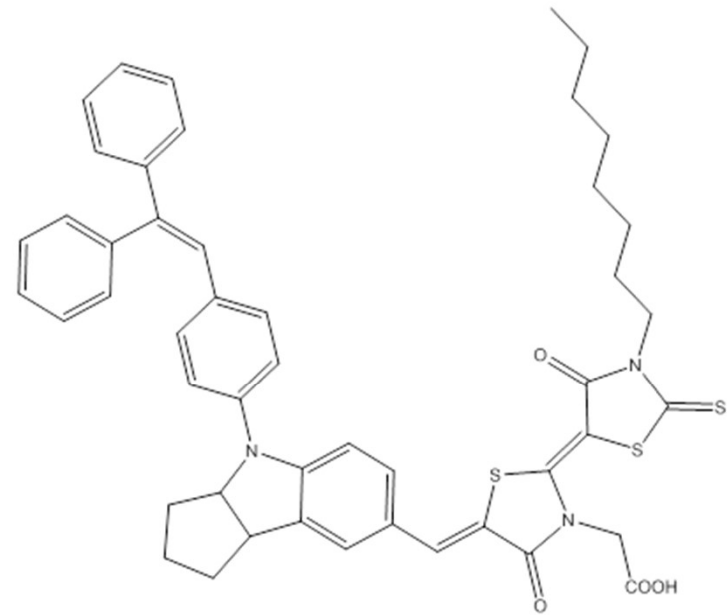
15
 V_{oc} : 747 mV; J_{sc} : 15,1 mA.cm⁻²
FF: 0,69; η : 8,0%

2.2 Células Solares Orgânicas



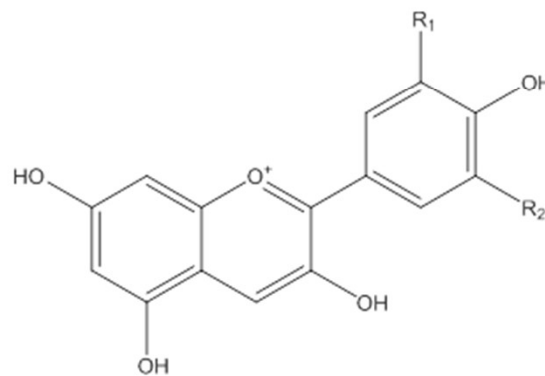
16

V_{oc} : 965 mV; J_{sc} : 17,3 mA.cm⁻²
FF: 0,71; η : 11,9%



17

V_{oc} : 728 mV; J_{sc} : 13,7 mA.cm⁻²
FF: 0,72; η : 7,2%



18

V_{oc} : 348 mV; J_{sc} : 15,1 mA.cm⁻²
FF: 0,43; η : 1,15%

2.2 Células Solares Orgânicas

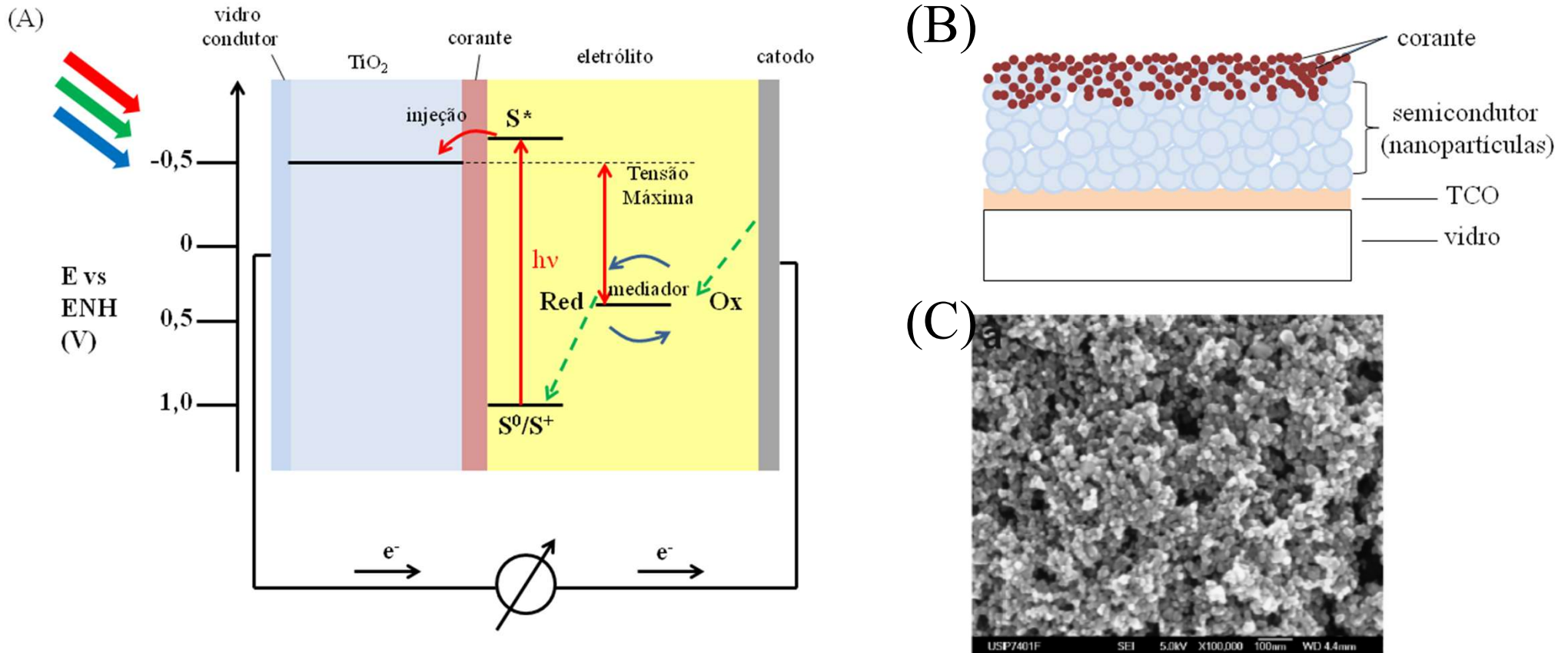
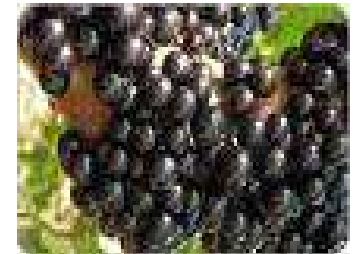
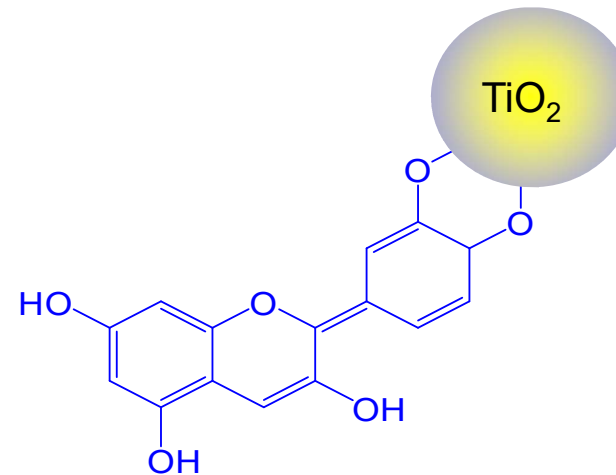
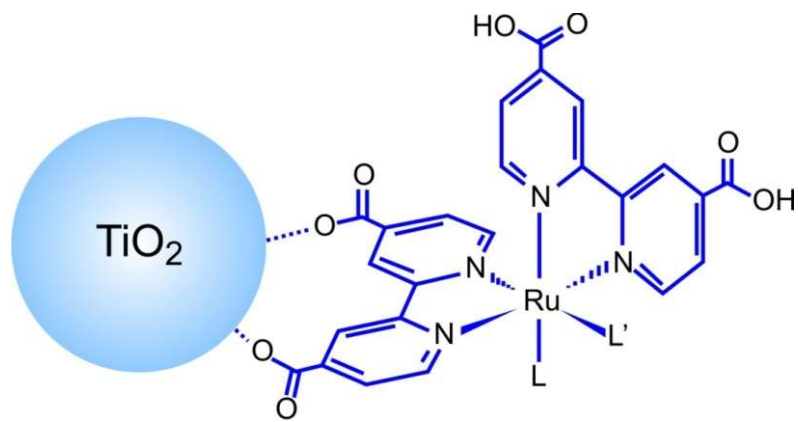


Ilustração esquemática de uma CSC. (A) vista lateral da CSC indicando os potenciais de óxido-redução do corante e mediador, e posição da banda de condução do semiconductor, em relação ao eletrodo normal de hidrogênio (ENH). (B) vista lateral ampliada do fotoanodo onde se observa as nanopartículas de semiconductor (azul) sensibilizadas com moléculas de corante (vermelho). (C) Micrografia da vista de topo de um filme de TiO_2 para CSC.

2.2 Células Solares Orgânicas

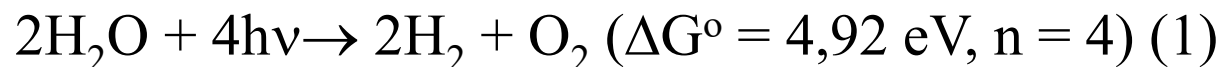


Esquema de de fotossensibilização da nanopartícula de TiO_2 com corante sintético e natural.

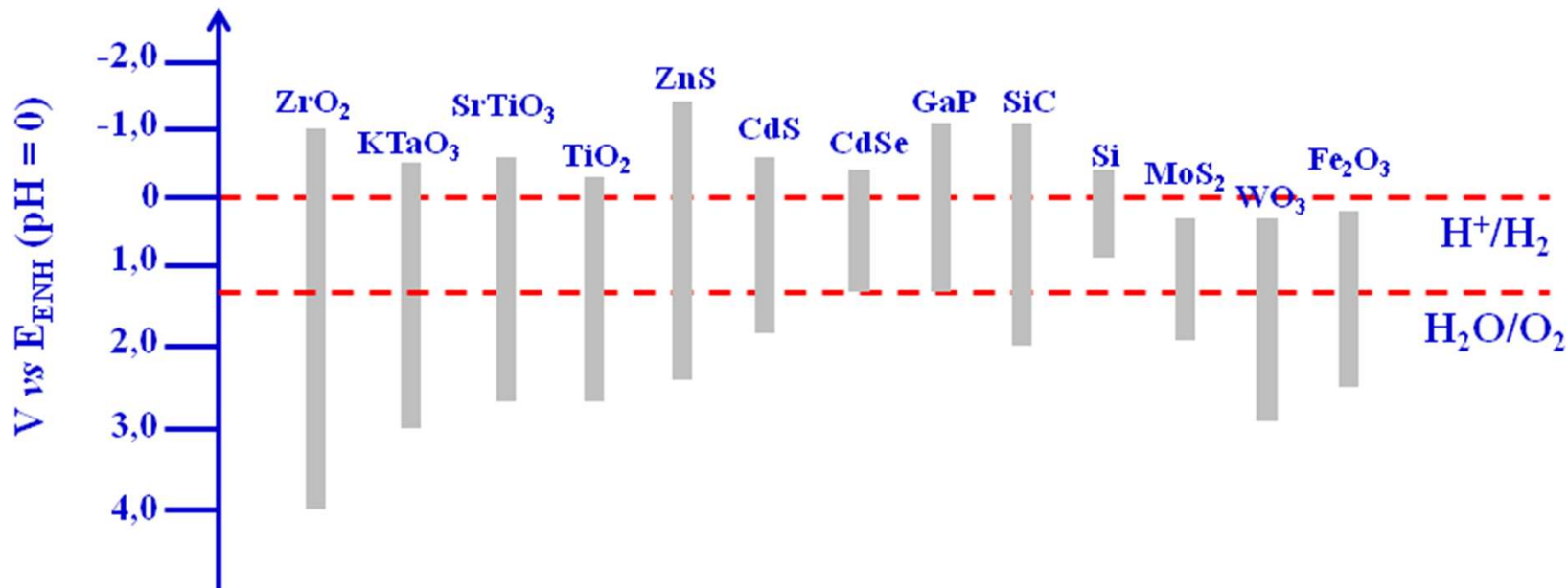
2.2 Células Solares Orgânicas

Fotossíntese Artificial

- Como armazenar a energia solar quando o sol desaparece na noite? R: fotossíntese!
- A fotossíntese pode ser descrita em poucas palavras como o processo pelo qual as plantas absorvem e convertem energia solar, em conjunto com CO_2 e H_2O , em energia química, na forma de substâncias com alto conteúdo energético como os carboidratos.
- A conversão direta de luz solar em combustíveis (combustíveis solares) consiste em converter com o auxílio de um fotocatalisador a energia solar em energia armazenada sob a forma de ligações químicas.
- As duas maneiras mais investigadas para a realização da fotossíntese artificial baseiam-se, respectivamente, na reação de clivagem da água (do inglês *watersplitting*), para a produção de hidrogênio molecular (reação 1) e na reação de redução de CO_2 para a produção de metanol ou hidrocarbonetos (reação 2):



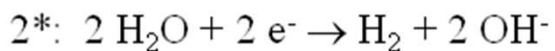
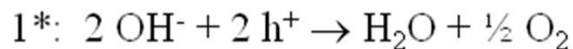
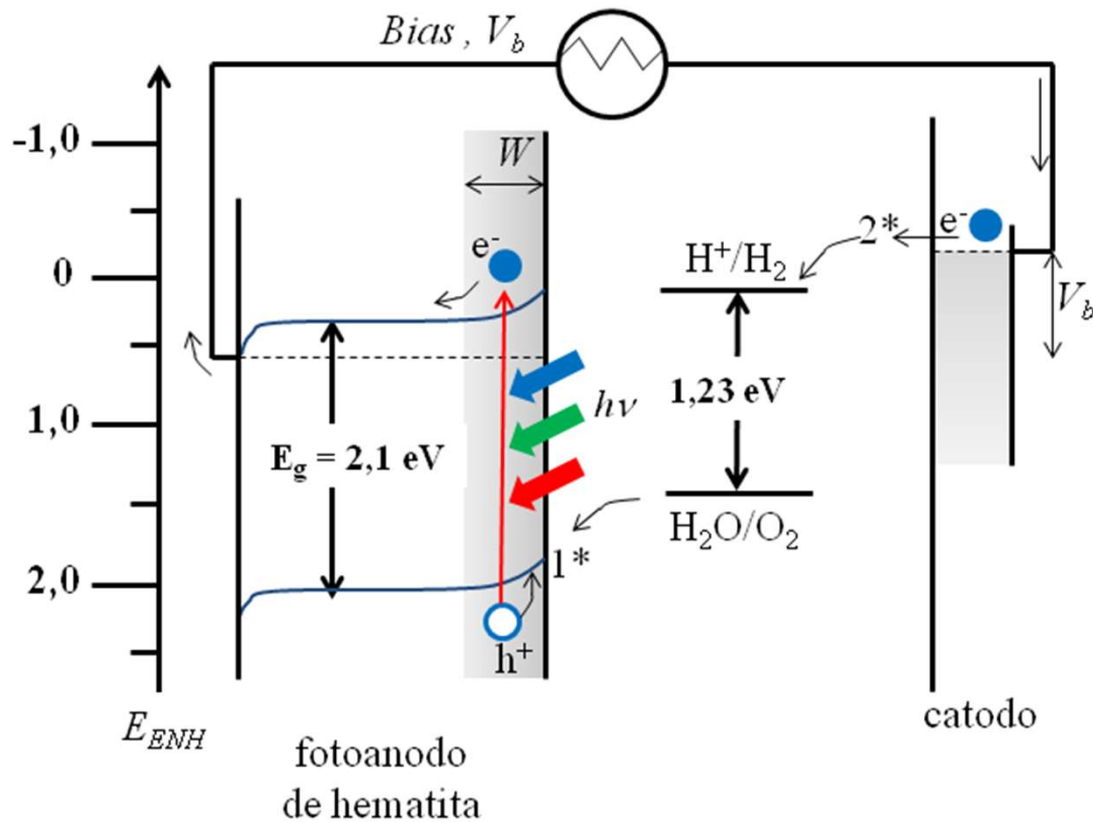
2.2 Células Solares Orgânicas



Níveis de energia para semicondutores inorgânicos em meio aquoso pH=0. As linhas horizontais tracejadas (vermelho) representam os potenciais de oxidação da água (=1,23 V) e de redução do próton (= 0 V).

TRAN, P. D. et al. Recent advances in hybrid photocatalysts for solar fuel production, *Energy Environ. Sci.*, v. 5, p. 5902-5918, 2012.

2.2 Células Solares Orgânicas



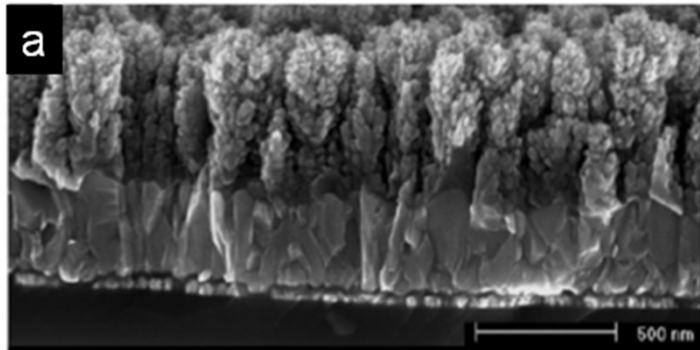
Protótipo de célula fotoeletroquímica a base de filmes de hematita para clivagem da água.

- A hematita é a forma cristalina mais estável de óxido de ferro. Exibe comportamento semicondutor, com energia de separação de bandas da ordem de 2,1 eV, é estável sob condições de operação e é de baixo custo.

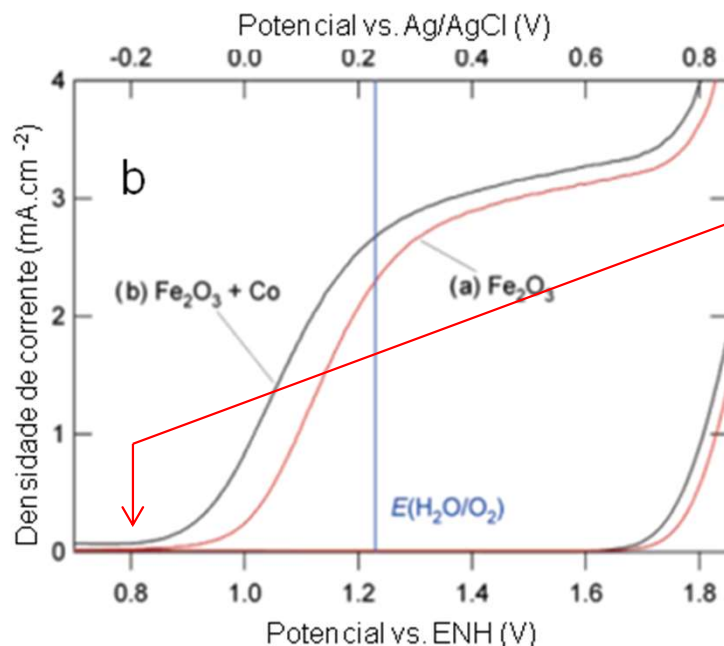
- Quando a luz é absorvida, elétrons são promovidos para a banda de condução da hematita e as lacunas remanescentes na banda de valência são utilizadas na reação de evolução de O_2 (reação 1).

- Na segunda etapa, os elétrons na banda de condução do fotoanodo são transferidos ao circuito externo até atingirem o cátodo, onde então conduzem a redução do próton gerando H_2 (reação 2). O meio eletrólito pode ser uma solução aquosa de uma base, como solução hidróxido de sódio pH ~ 13 .

2.2 Células Solares Orgânicas



- Filmes de hematita dopados com Si e de morfologia colunar, com colunas nanoestruturadas na forma de "couve-flor" exibem até o momento as maiores eficiências de conversão de luz solar em hidrogênio (2,1 %).



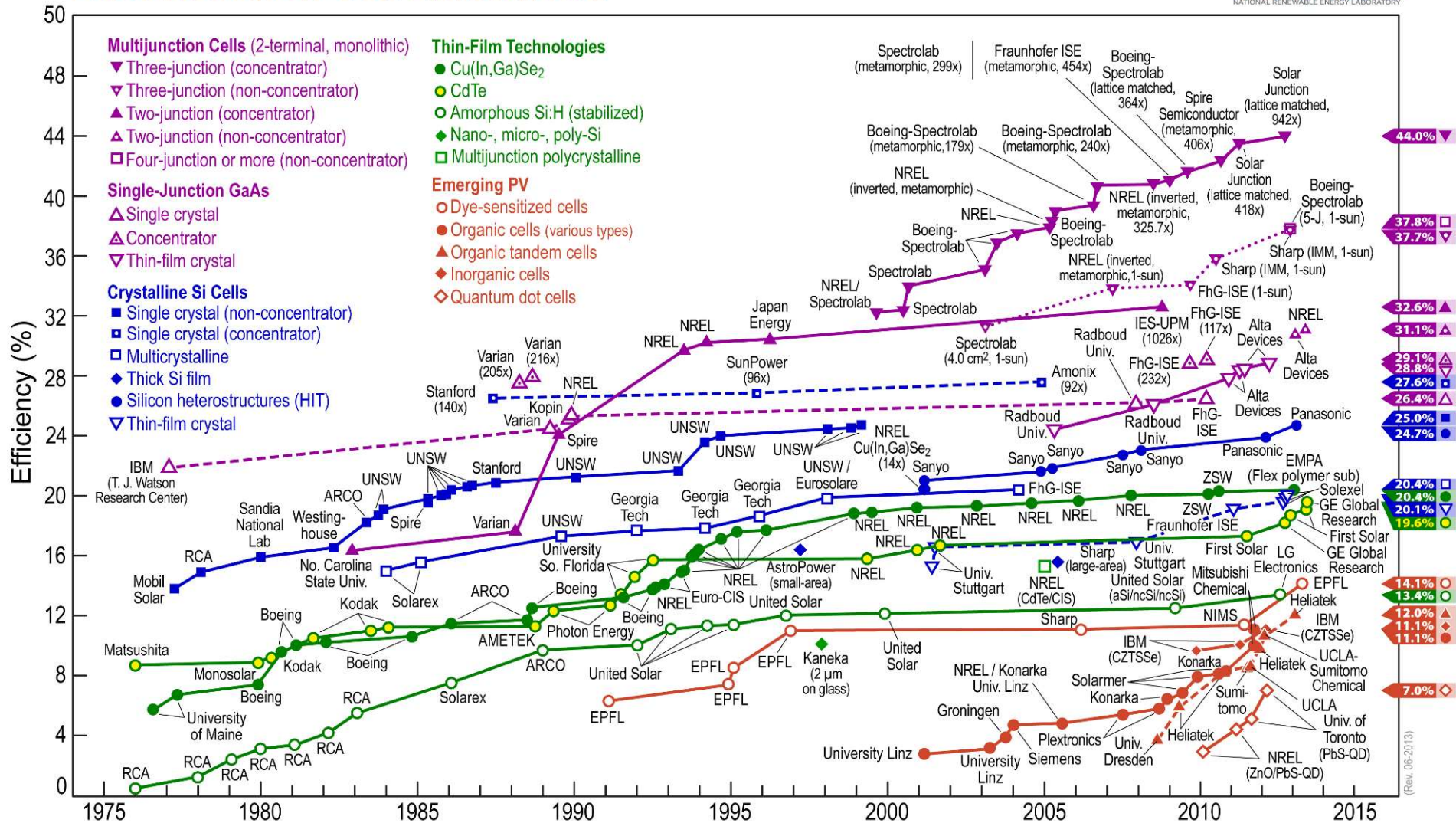
- A 1,23 V a densidade de fotocorrente é $2,3 \text{ mA.cm}^{-2}$, sendo a maior atingida até o momento. A funcionalização da superfície do eletrodo com cobalto (Co(OH)_2) aumenta a fotocorrente para $2,7 \text{ mA.cm}^{-2}$ e desloca o início da foto-oxidação em cerca de 80 mV.

KAY, A. et al., New Benchmark for Water Photooxidation by Nanostructured $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ Films, *J. Am. Chem. Soc.*, v. 128, p. 15714-15721, 2006.

Eficiência das CSO

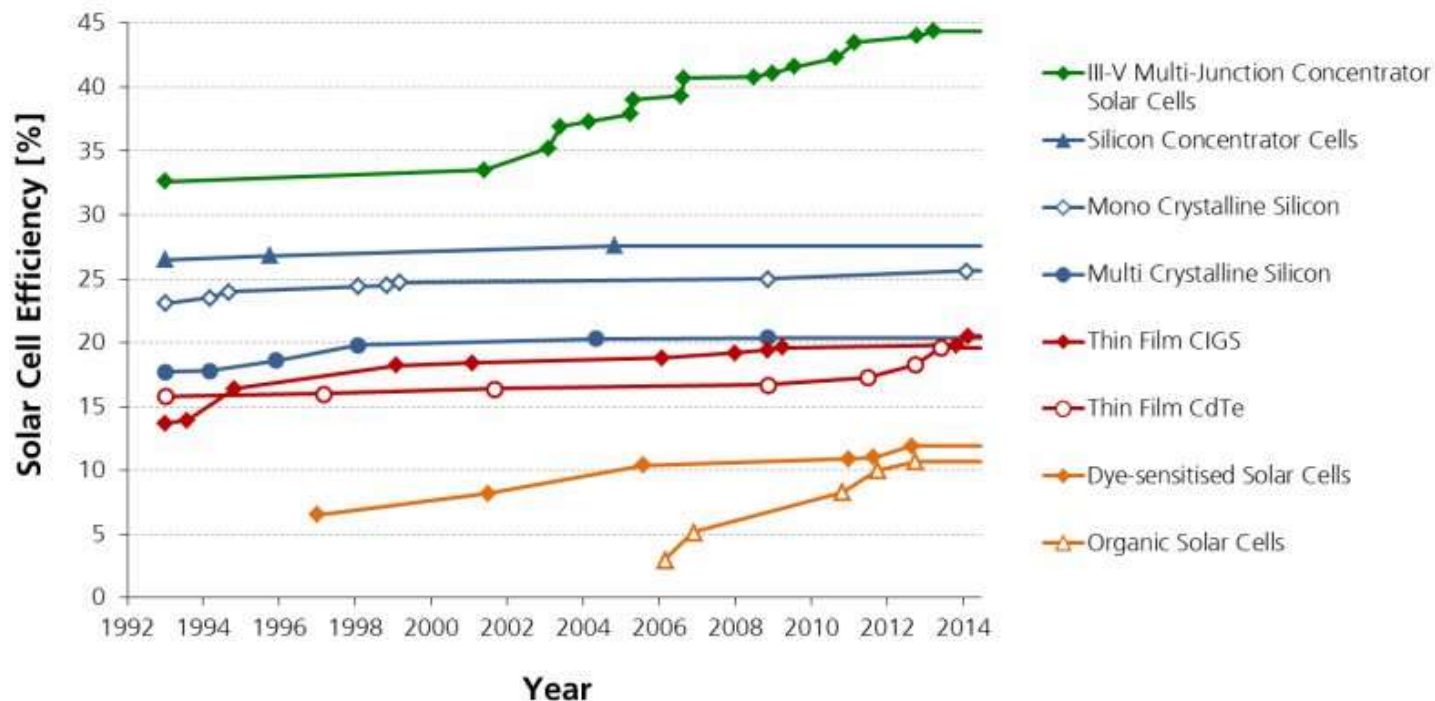


Best Research-Cell Efficiencies



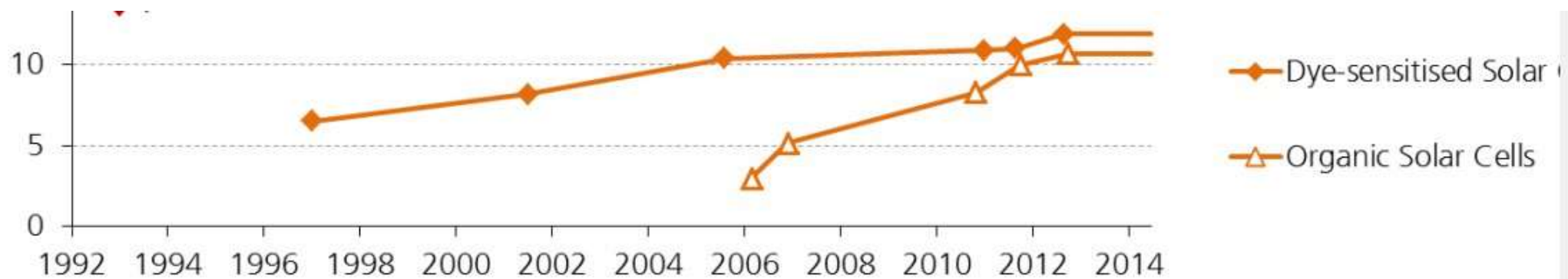
Comparação de eficiências de conversão

Development of Laboratory Solar Cell Efficiencies



Data: Solar Cell Efficiency Tables (Version 1-43), Progress in PV: Research and Applications, 1993-2014. Graph: Simon Philipps, Fraunhofer ISE 2014

Comparação de eficiências de conversão CSO



Indústrias de CSO



Announcements

Solarmer has increased the OPV cell Efficiency

Another World Record 8.13%

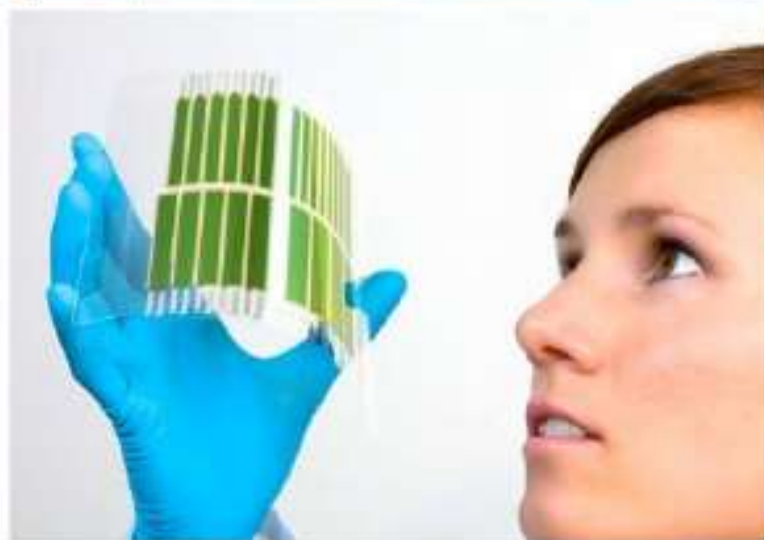


Deutsch

Search...

GO

Organic based Photovoltaics



Part of the solution to both the worlds energy and environmental issues

Affordable energy for emerging nations

Light-weight, flexible energy on the move

Welcome

New world record efficiency for organic photovoltaics has been independently certified at 8.13 % for an active area of 1.1 cm². Thus, Heliatek has very clearly exceeded its own previous record.





COMPANY

TECHNOLOGY

POWER PLASTIC®

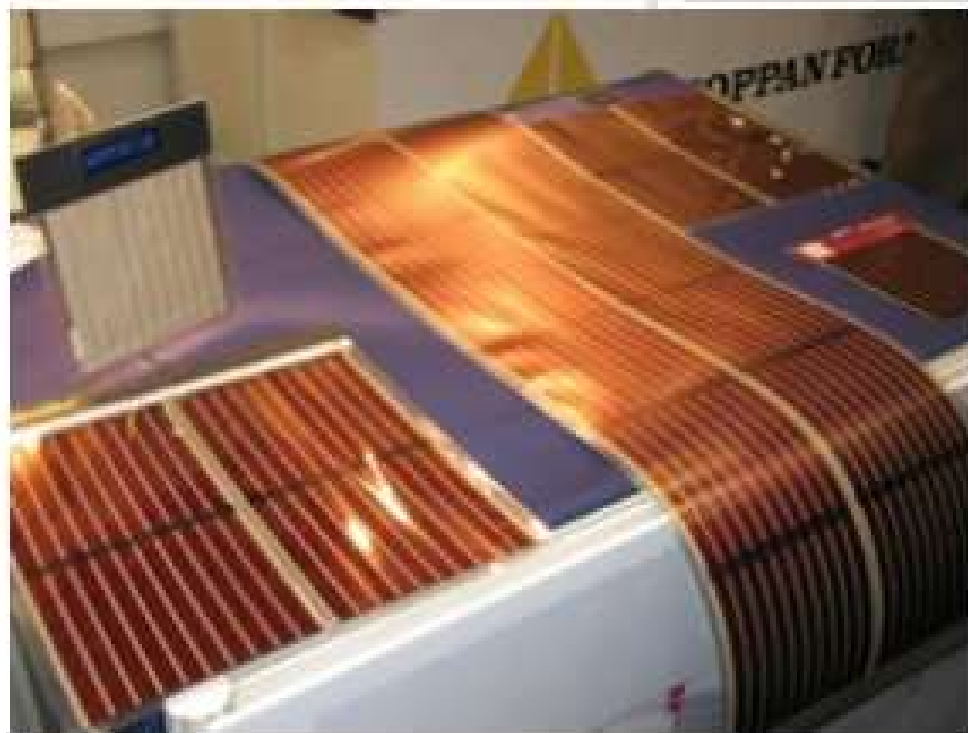
NEWSROOM

CONTACT

Konarka Press Release

KONARKA NEWSROOM

IN THE NEWS



Konarka manufacturing - Organic Thin film Solar Cell Modules

<https://youtu.be/MirozECd8S8>

Fundada em 2001, foi fechada em 2012.

Leia mais em:

<https://www.greentechmedia.com/articles/read/konarkas-organic-solar-cell-assets-acquired-by-belectric>

R2R - Roll to roll

The flexible electronics industry is advancing rapidly!



Flexible Circuitry
(The Sonoco Institute)

**Techniques for R2R of
vacuum-deposited materials
are also being pursued!**



Solar Coating Machinery GmbH

O CSEM é um centro de pesquisa em Belo Horizonte, MG, que desenvolve tecnologias relacionada à Eletrônica Orgânica. Recentemente deu origem a um spin-off chamado **SuNew**

Inovação e Progresso Sustentável

O CSEM Brasil atua como ponte entre a pesquisa básica e a indústria, transformando o conhecimento científico em produtos e processos de alta tecnologia.



csem brasil

agora

é

 ONINN

<https://www.oninn.com.br/>

Inaugurada em **2015**, a SUNEW surgiu na liderança mundial na produção de filmes fotovoltaicos orgânicos



A SUNEW possui maior infraestrutura instalada no mundo, produzindo mais de 400 mil m² de filmes fotovoltaicos orgânicos por ano



Sede da TOTVS em São Paulo





Instalação de 2 mil m² de painéis de Filmes Fotovoltaicos Orgânicos (OPV), terceira geração de células solares capazes de transformar a luz do sol em energia elétrica, na sede da Natura em Cajamar (SP).



 Mobilidade

Transportadora Americana



Dessa forma, o semi-reboque é adesivado com Filmes Fotovoltaicos Orgânicos (OPV), capazes de absorver luz solar de forma difusa. A energia é convertida por meio de um sistema eletrônico, que a distribui para os compartimentos necessários.

A tecnologia do OPV é a única adequada para esse tipo de aplicação, isso porque, por ser flexível não sofre impacto com a movimentação do veículo nas estradas.]

OPTREE by SunNew

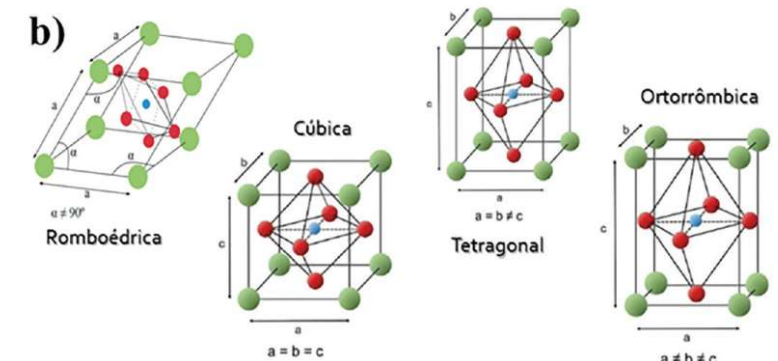
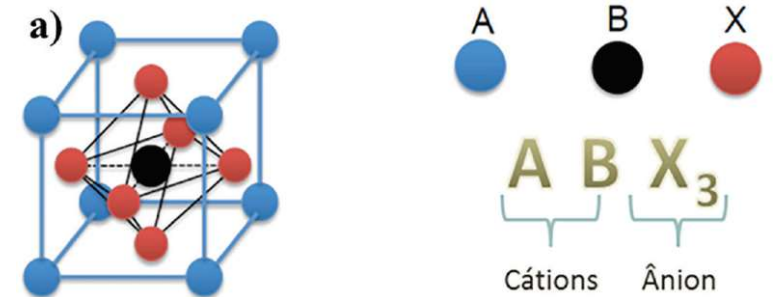
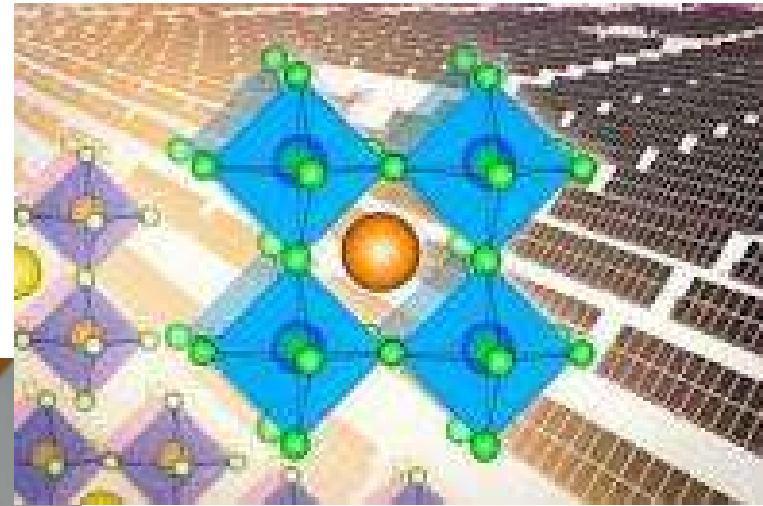


PEROVSKITAS

Os primeiros relatos de perovskitas orgânicas-inorgânicas para aplicações em células solares foram feitos por Miyasaka em 2009, que reportou eficiências em células em torno de **4.0%**.

Desde então, Perovskitas orgânica-inorgânicas derivadas de **halogeneto de chumbo** tornaram-se líderes entre os materiais fotovoltaicos emergentes e a pesquisa nessa área avançou drasticamente, com células solares chegando à níveis de eficiência **superiores à 20%**.

PEROVSKITAS



CRISTAIS IÔNICOS

Hoje, células solares de perovskita superam a eficiência de tecnologias fotovoltaicas conhecidas e bem estabelecidas, como **Telureto de Cádmio (CdTe)** e **Seleneto de Cobre, Gálio e Índio (CIGS)**.

Esses materiais são **cristais iônicos** que possuem propriedades semicondutoras e de forma semelhante ao OPV, podem ser processados a partir de uma solução usando **técnicas de deposição de filmes finos e substratos flexíveis em baixas temperaturas** de processamento. Além do custo de fabricação reduzido e do baixo consumo energético da produção, o uso de materiais abundantes e de camadas eletroativas muito finas faz desta tecnologia uma solução atrativa para geração de energia limpa e barata.

Exemplo de utilização de Células Solares em Edificações

Edifícios
Solares

Edifícios Solares



Dezhou, Província de Shangdong no nordeste da China.



Vaticano

Edifícios Solares



Estádios Solares

Taiwan



Alemanha