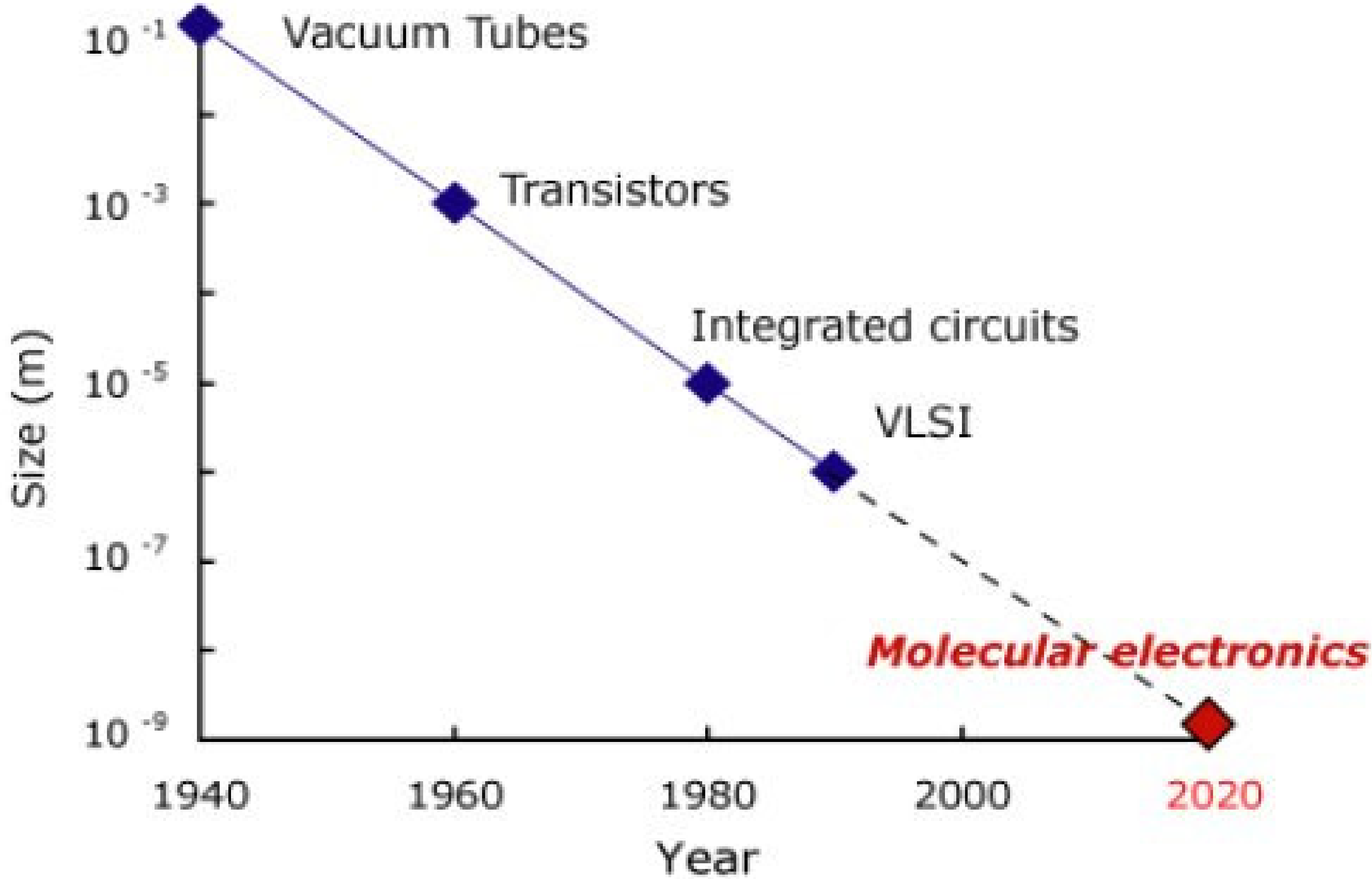
PMT 2200

Eletrônica Orgânica

Fernando Josepetti Fonseca
Depto de Eng de Sistemas Eletrônicos (PSI)

Lei de Moore

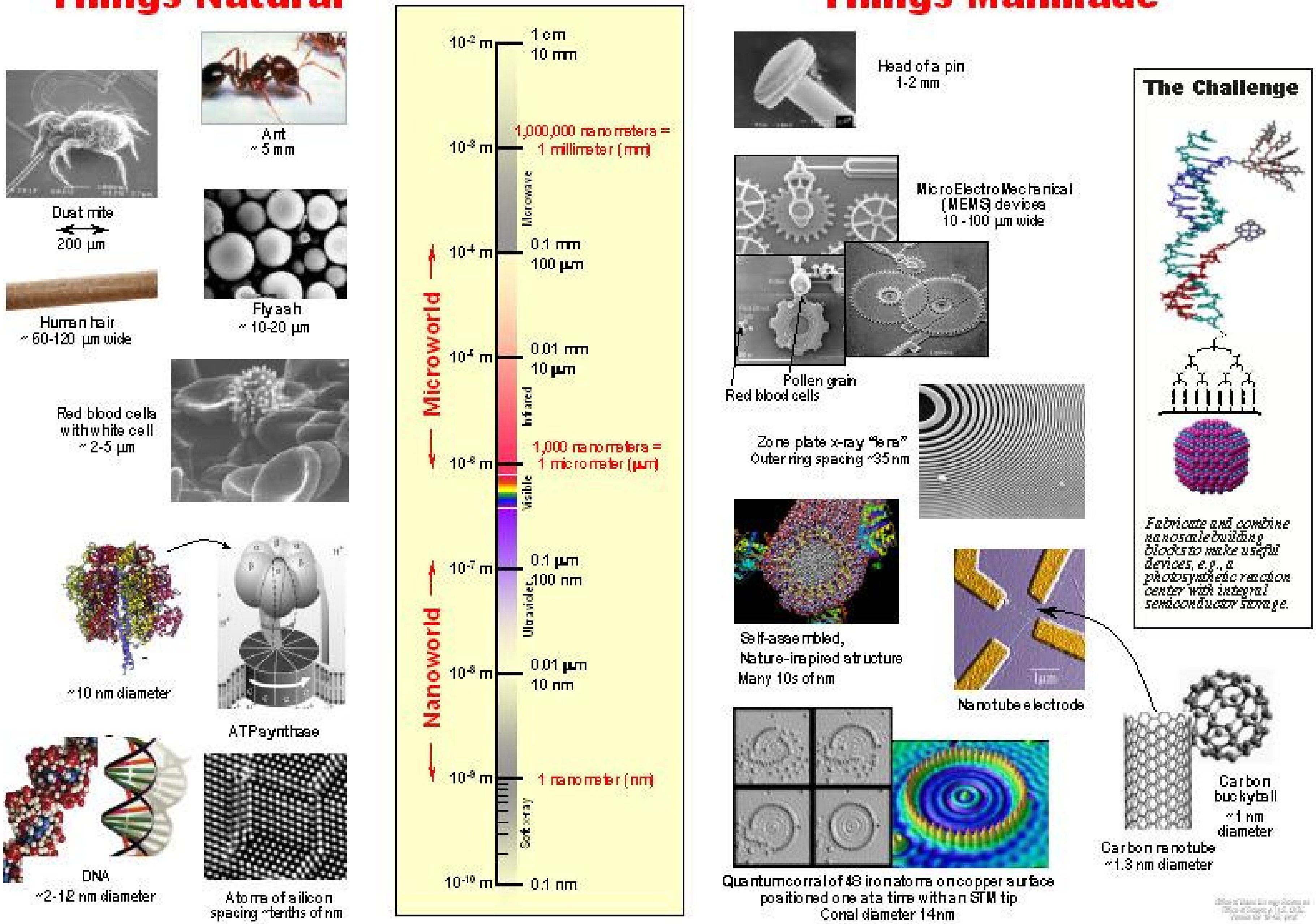


Vacuum Tubes
Transistors
Integrated circuits
VLSI
Molecular electronics
Size (m)
10 -1
10 -3
10 -5
10 -7
10 -9
1940
1960
1980
2000
2020
Year

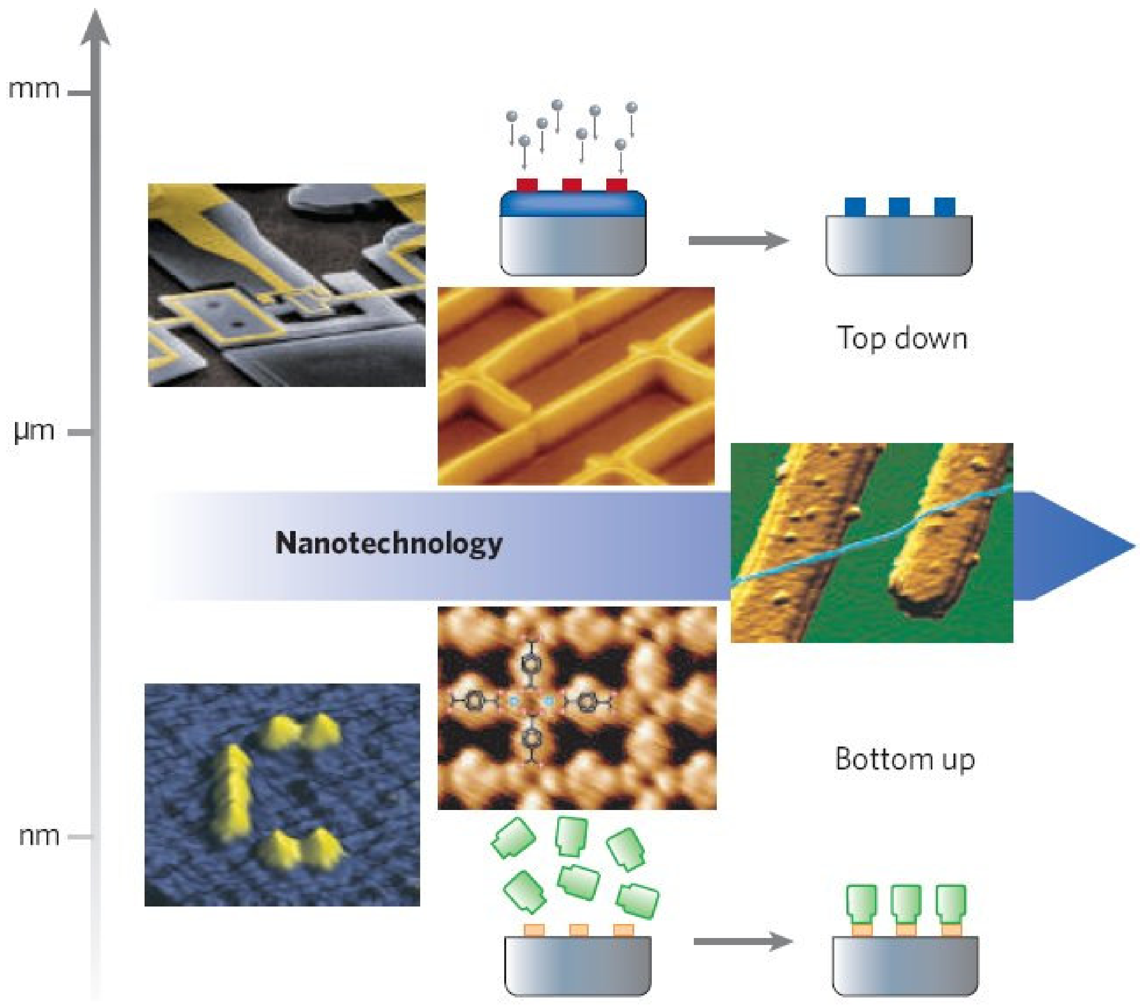
The Scale of Things – Nanometers and More

Things Natural

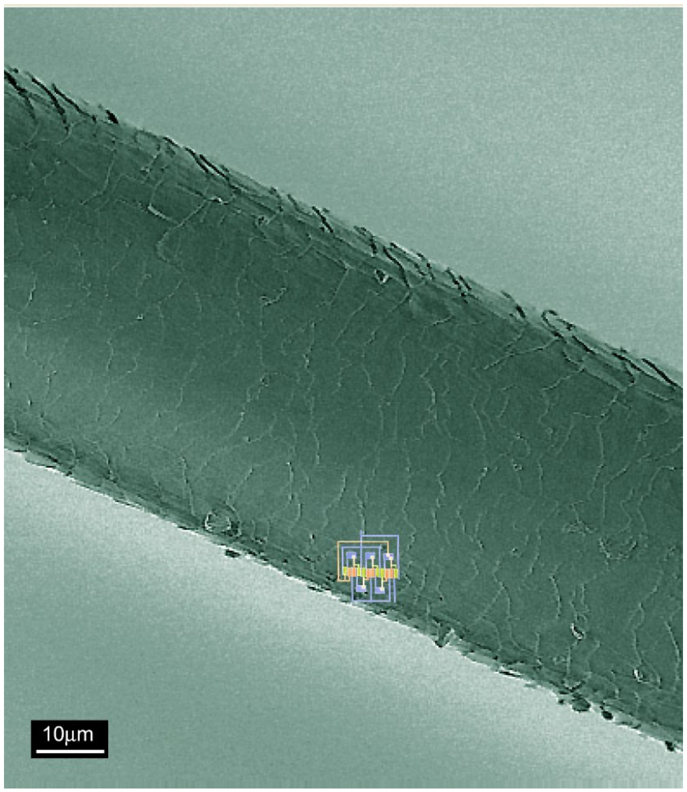
Things Manmade

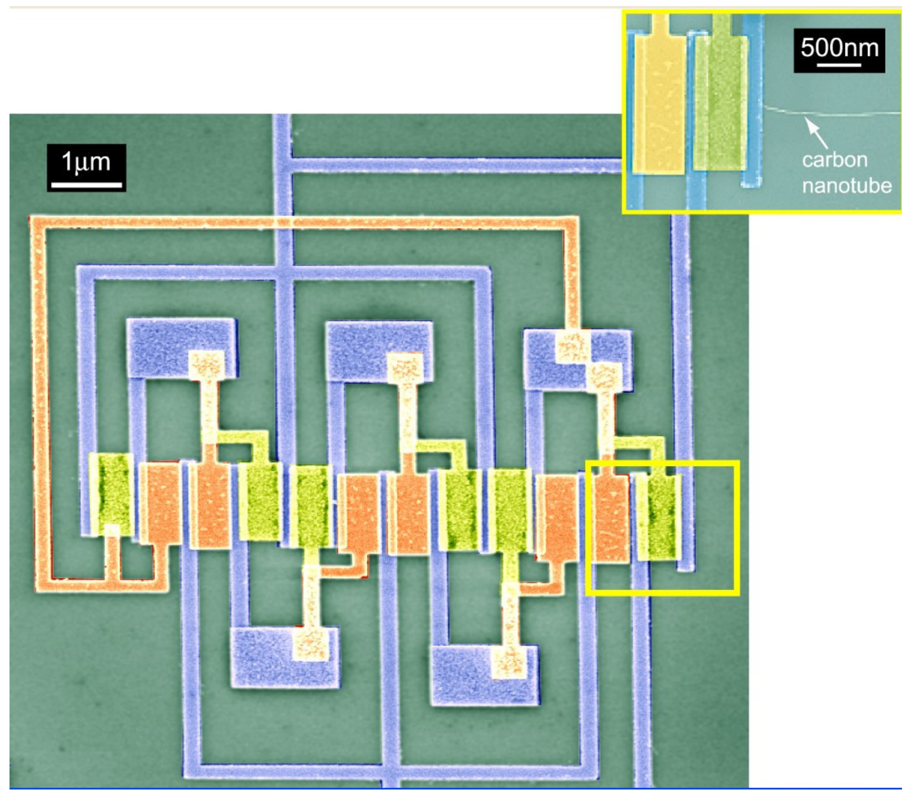


Top-down x Bottom-up ?



Nanotubos de Carbono
(CNT = Carbon NanoTube)





Source: IBM

Como continuar a fabricar dispositivos cada vez menores?

Eletrônica Molecular

Como continuar a fabricar dispositivos cada vez menores?

Eletrônica Orgânica

Eletrônica Molecular

Eletrônica Orgânica

Nova oportunidade para a fabricação de dispositivos eletrônicos de filmes finos.

Os materiais orgânicos conjugados podem apresentar características condutoras, semicondutoras e optoeletrônicas muito interessantes.

Com condições de processamento muito mais fáceis e baratas para serem utilizadas.

Possuem também a vantagens de serem processadas

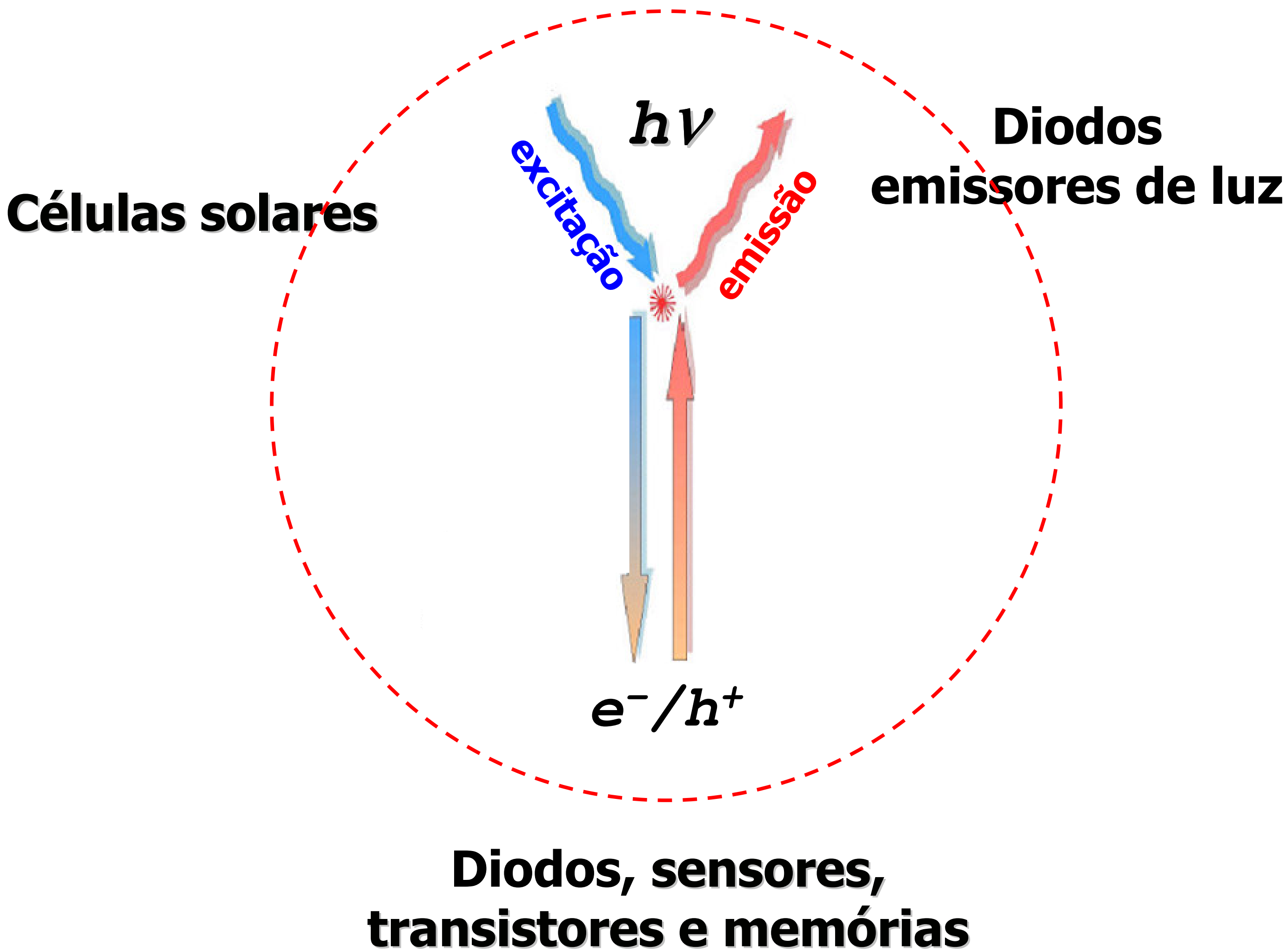
- à temperatura ambiente,
- com maior velocidade,
- com custos potencialmente menores.

Aplicações da Eletrônica Orgânica

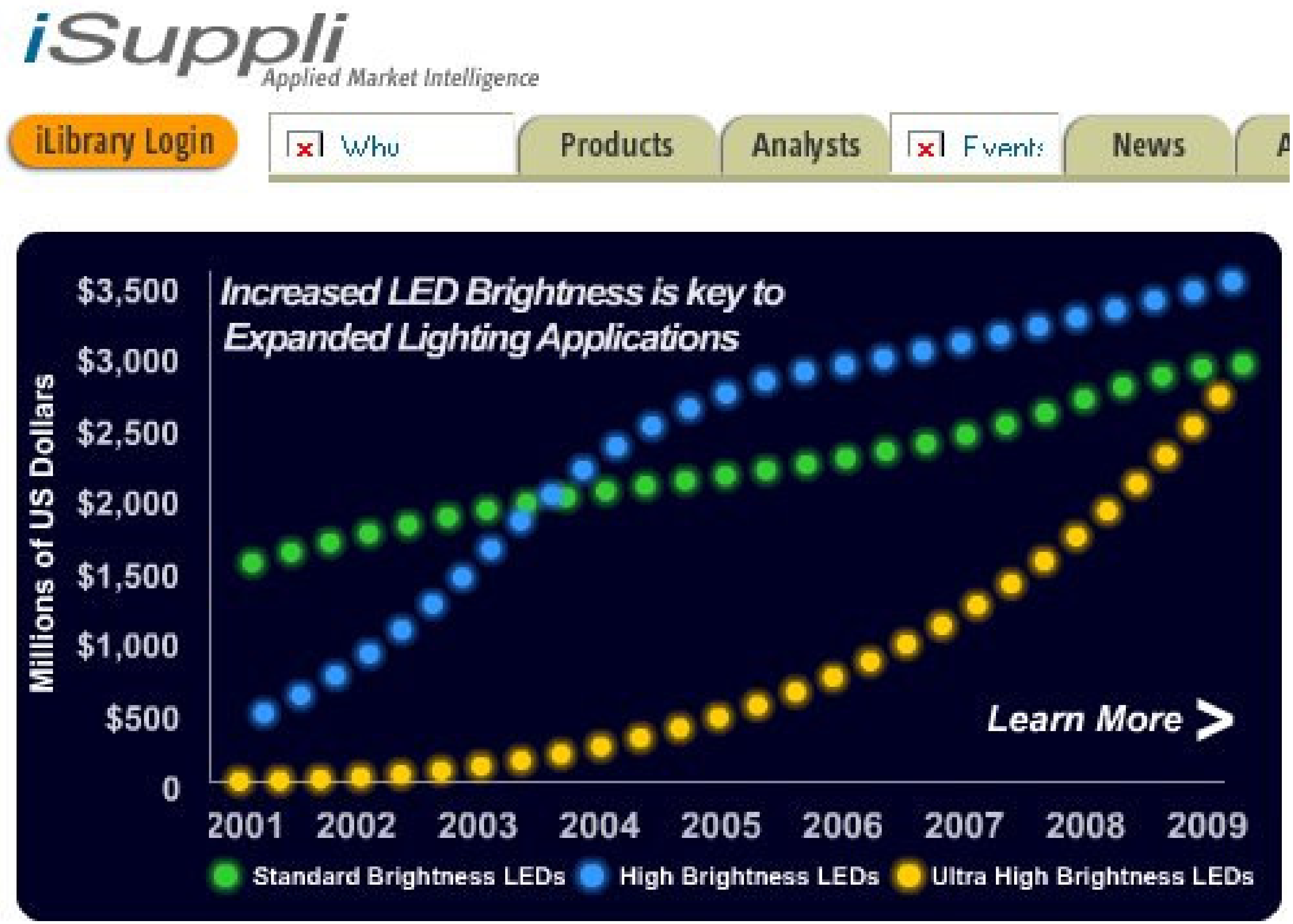
- As principais aplicações desenvolvidas são:
  - *Organic light emitting diodes (OLED)*
  - *Organic thin-film transistors (OTFT)*
  - *Organic photovoltaics (OPV)*
- Além de
  - *Sensores*
  - *Memórias*
  - *RFID*

http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=4548

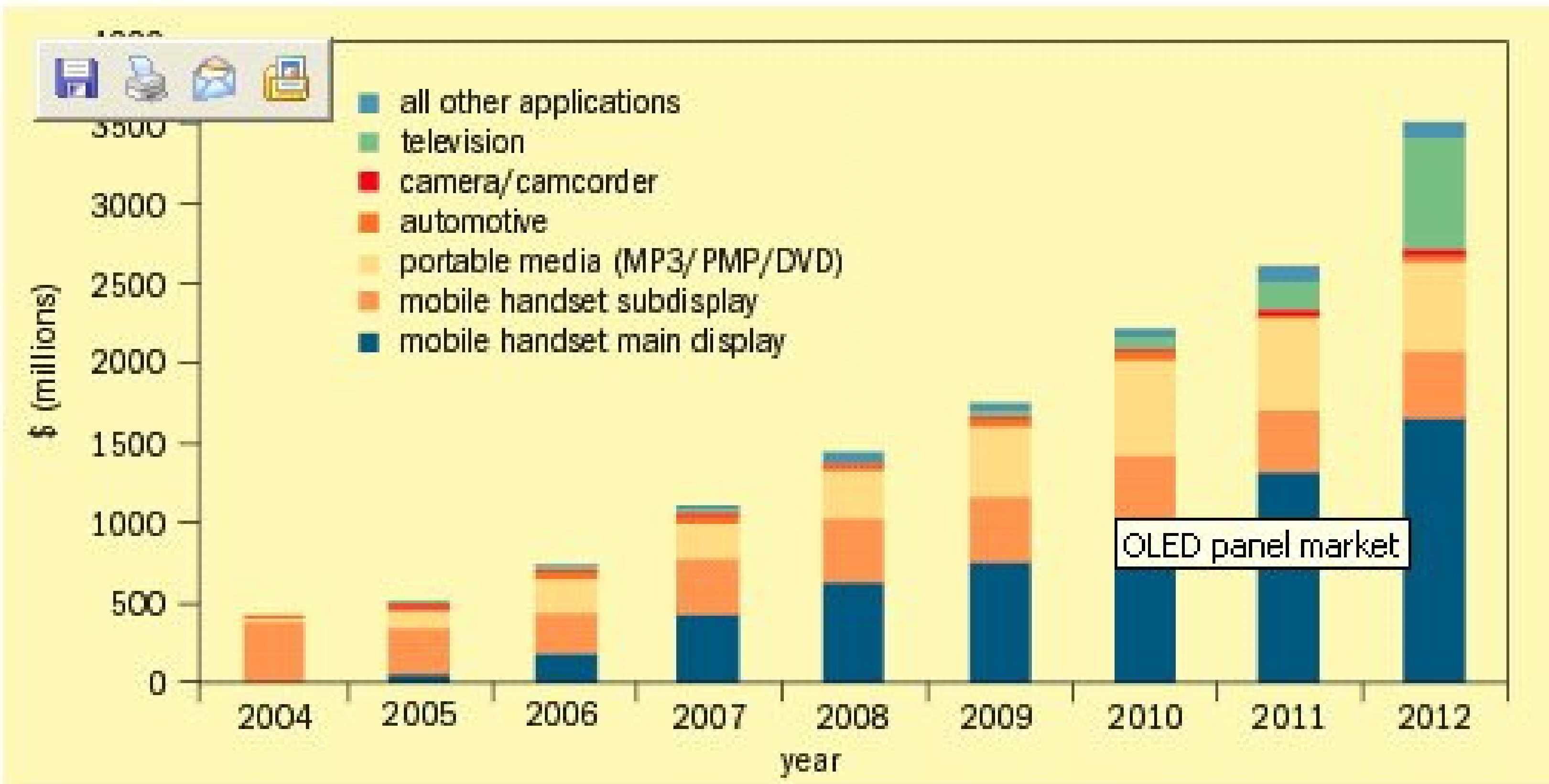
Eletrônica Orgânica



Mercado de LEDs

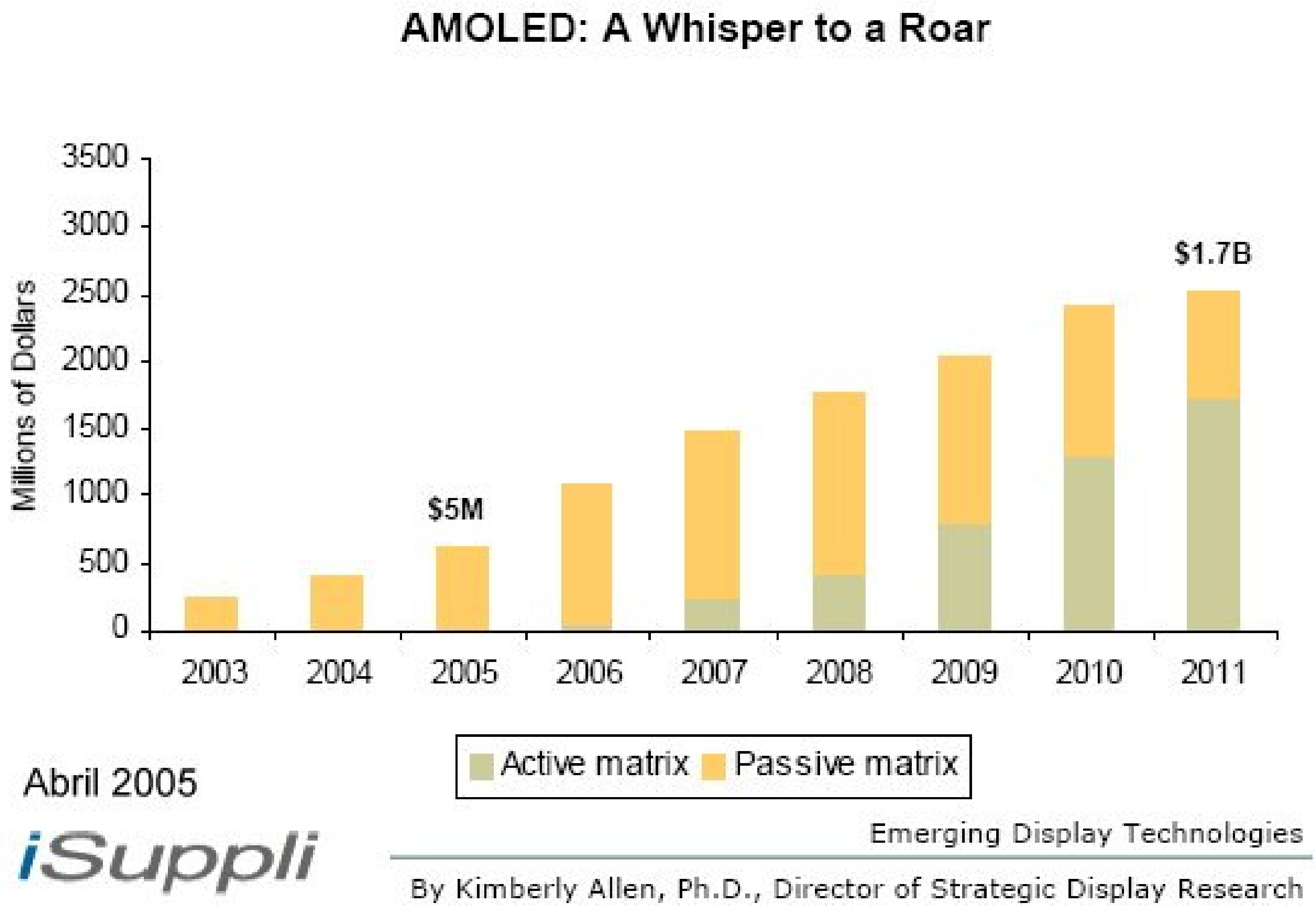


Mercado de OLEDs

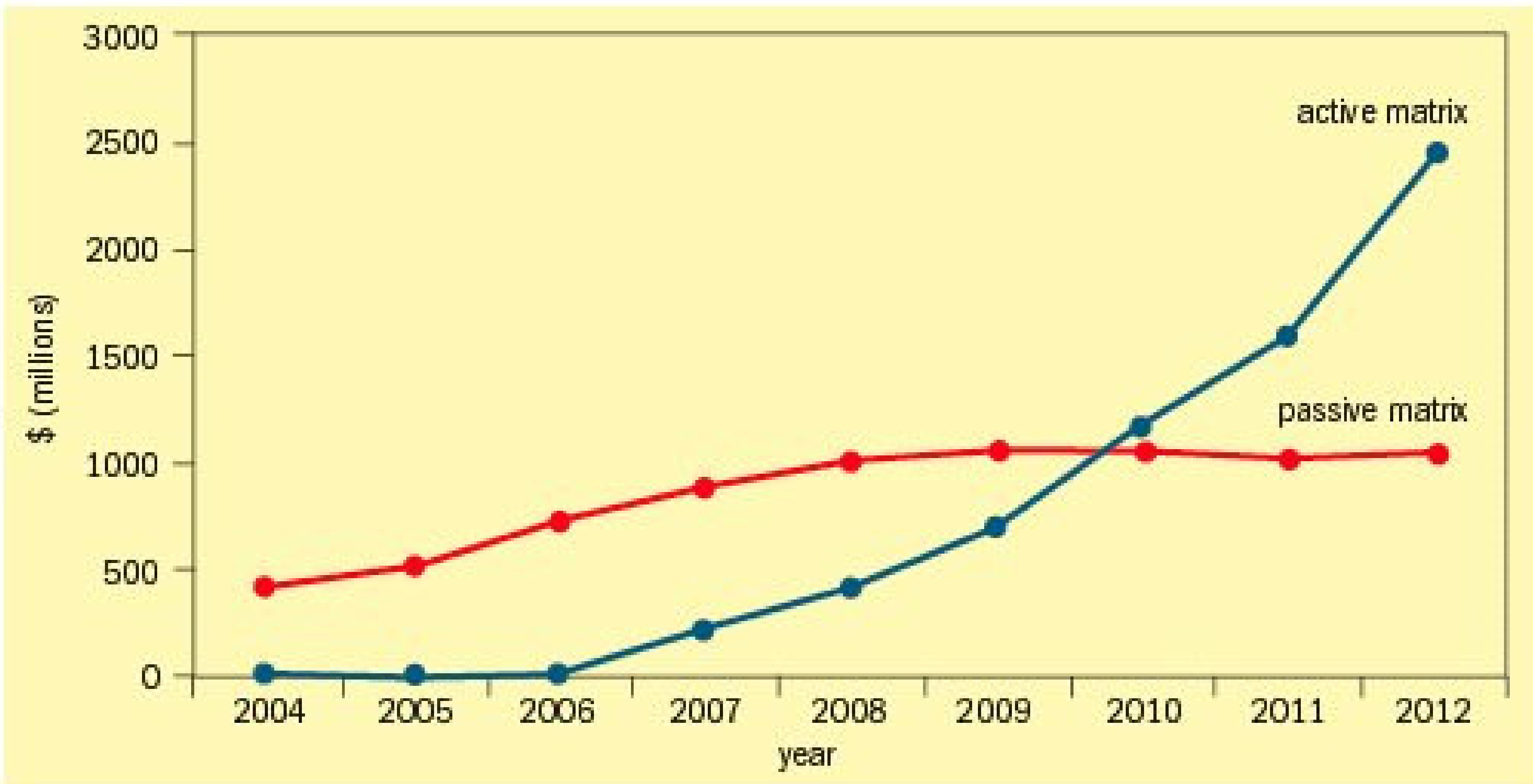


Worldwide OLED panel market, 2004-2012: TV could take off around 2010 if backed by major players. Image: iSuppli Corp, Organic Light-Emitting Diode Displays, 1H 2006

Active x Passive Matrix OLEDs



Mercado de OLEDs



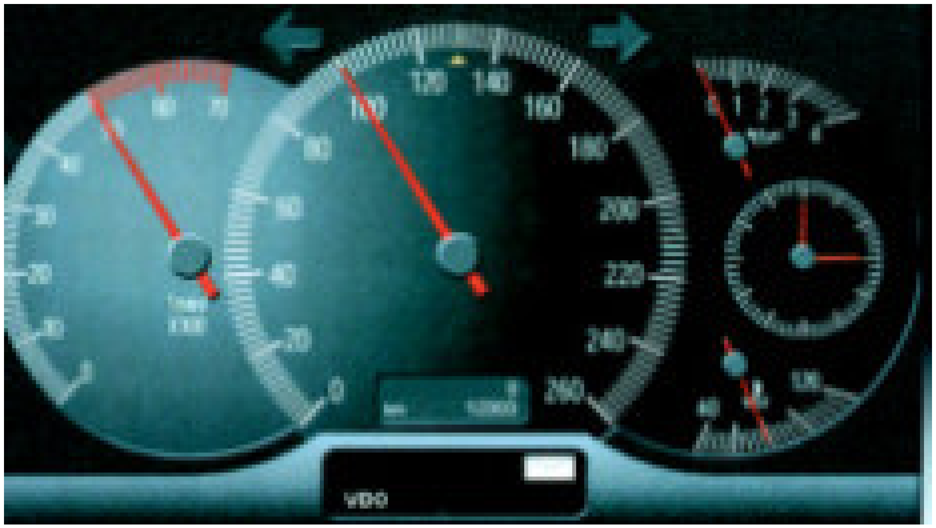
The growth of the OLED market depends heavily on the success of active matrix OLED technology. Image: iSuppli Corp, Organic Light-Emitting Diode Displays, 1H 2006

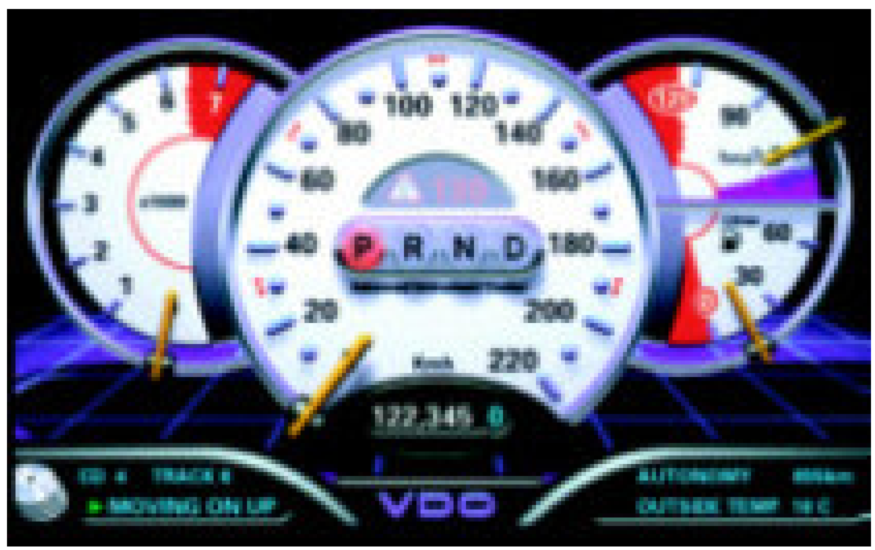
Desejamos fabricar displays finos, leves e flexíveis

Tela Retrátil

Tela retrátil, flexível e/ou dobrável

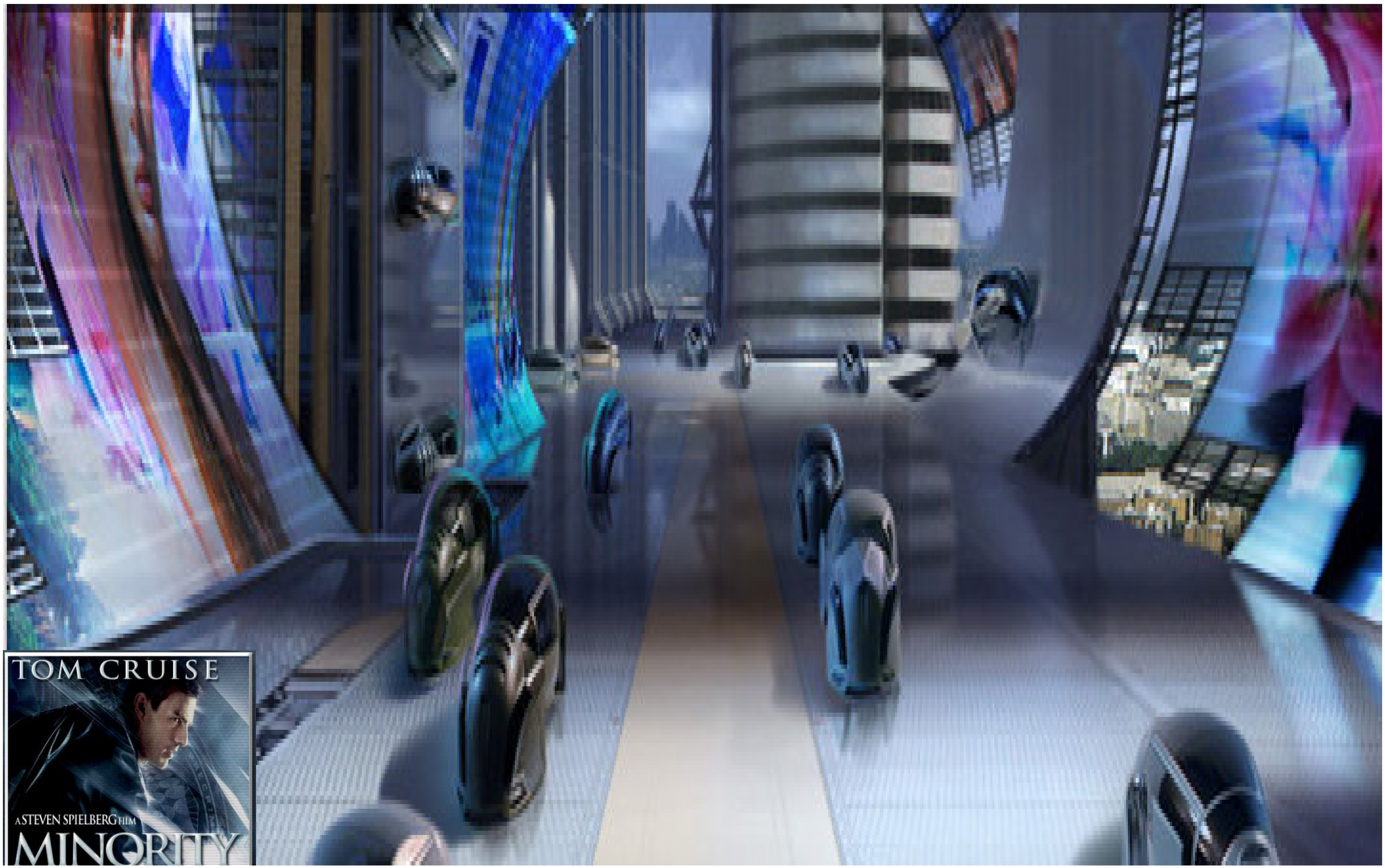
Aplicação: Indústria automobilística





Painel Automotivo

Motivação: Painéis grandes, externos e flexíveis



Aplicações de OLED

TV OLED Sony 11”
dez 2007
US$ 2.500,00

Motivação: Entretenimento

Brinquedos
e cartões

Motivação: Inovação tecnológica

Jaqueta Invisível, *Isto É* 1741,
Fev 2003

Como tudo começou?

1977: o nascimento dos polímeros eletrônicos

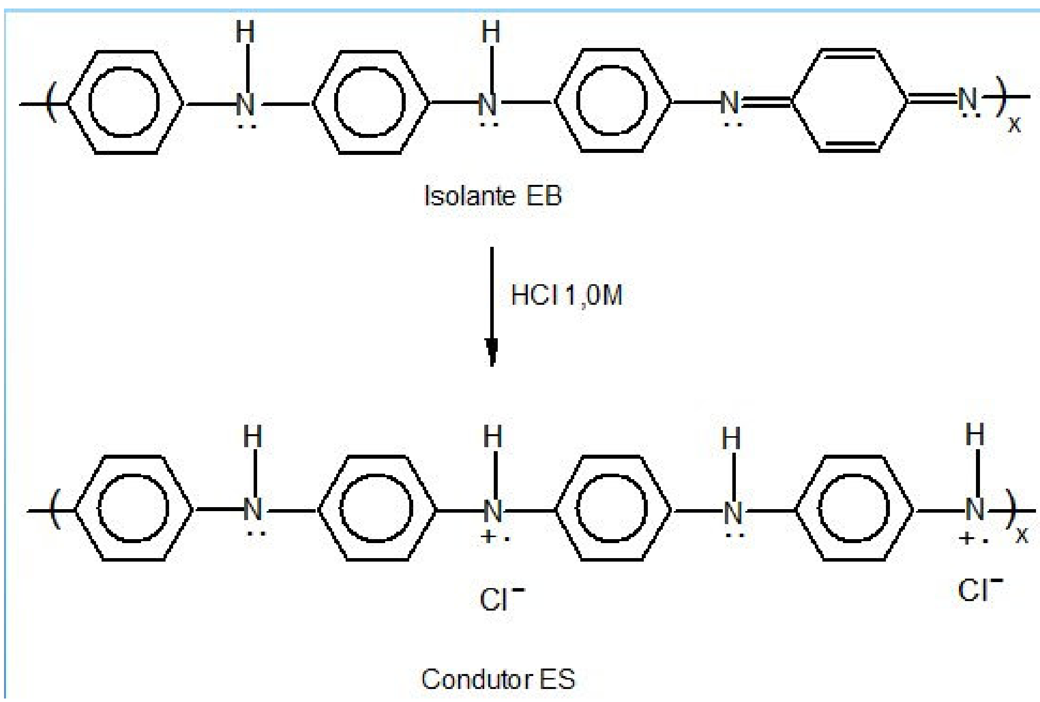
2000 - Prêmio Nobel em Química

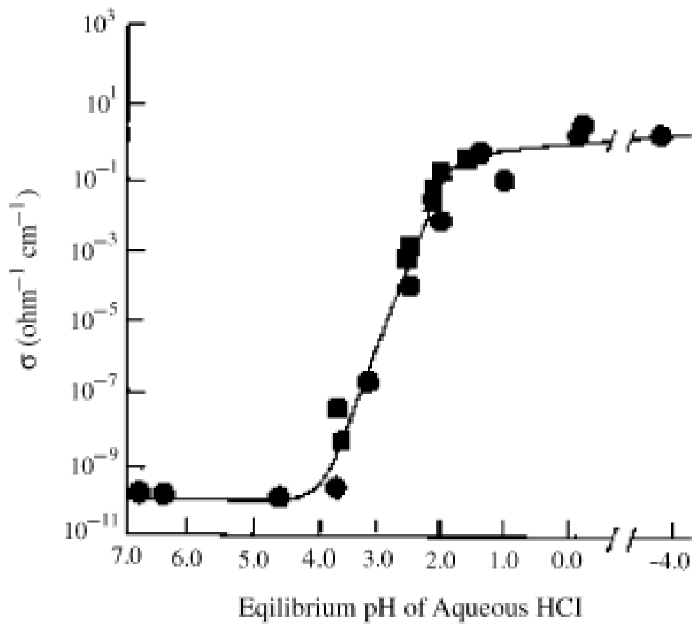
(A. J. Heeger, H. Shirakawa e A. G. MacDiarmid

"for the discovery and development of conductive polymers"

Polímeros condutores

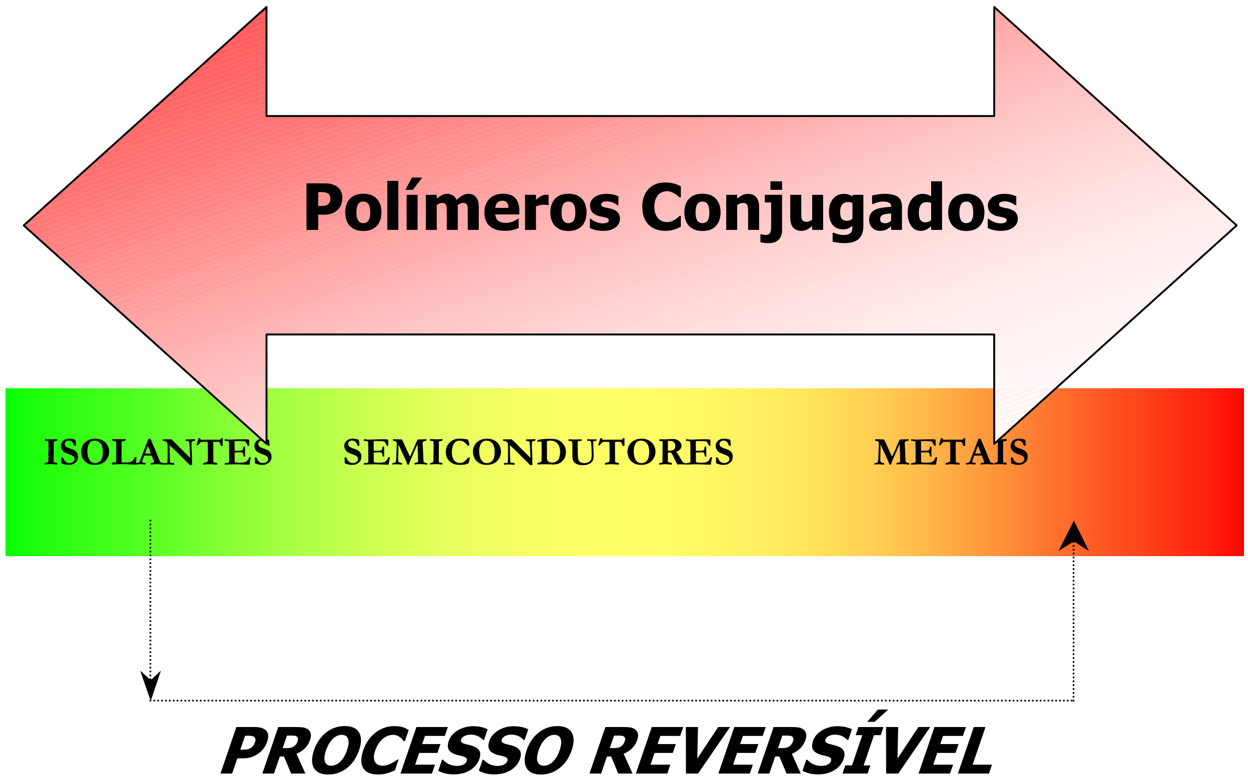
Materiais cuja condutividade elétrica depende das características físico-químicas do ambiente que os cerca $\rightarrow$ transdutores em sensores químicos



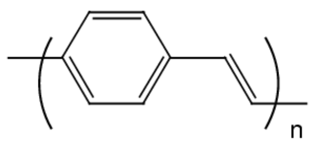


A condutividade depende do meio e é reversível!

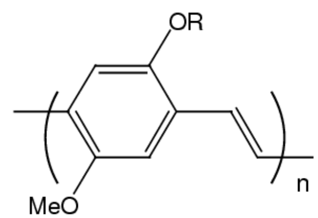
Propriedades Inovadoras



Alguns Polímeros conjugados



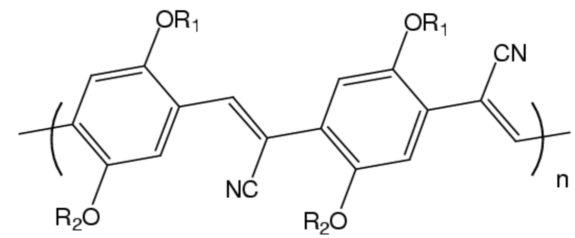
PPV



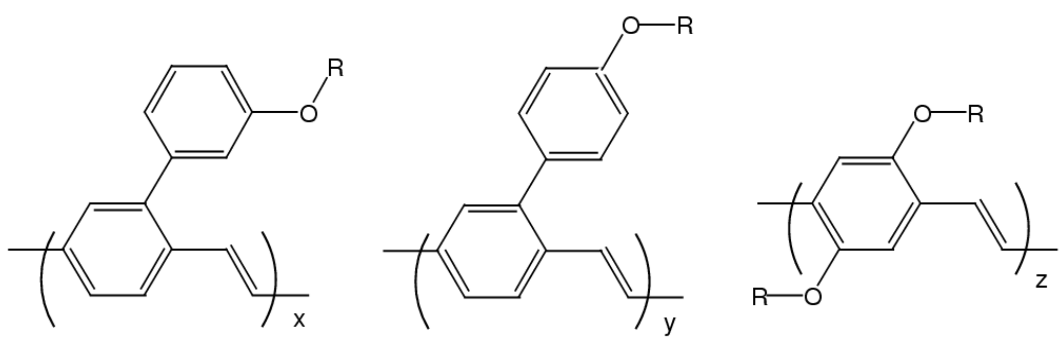
MEH-PPV R = $CH_2CH(Et)Bu$

"OC_1C_{10}" PPV R = $(CH_2)_3CH(Me)(CH_2)_2CHMe_2$

Soluble PPV's

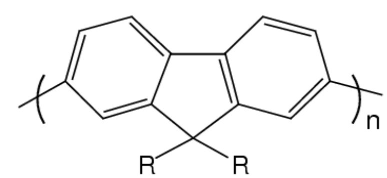


Cyano-PPV



R = $(CH_2)_3CH(Me)(CH_2)_2CHMe_2$

Hoechst/Aventis/Covion PPV co-polymers



Polyfluorene

Novos horizontes:

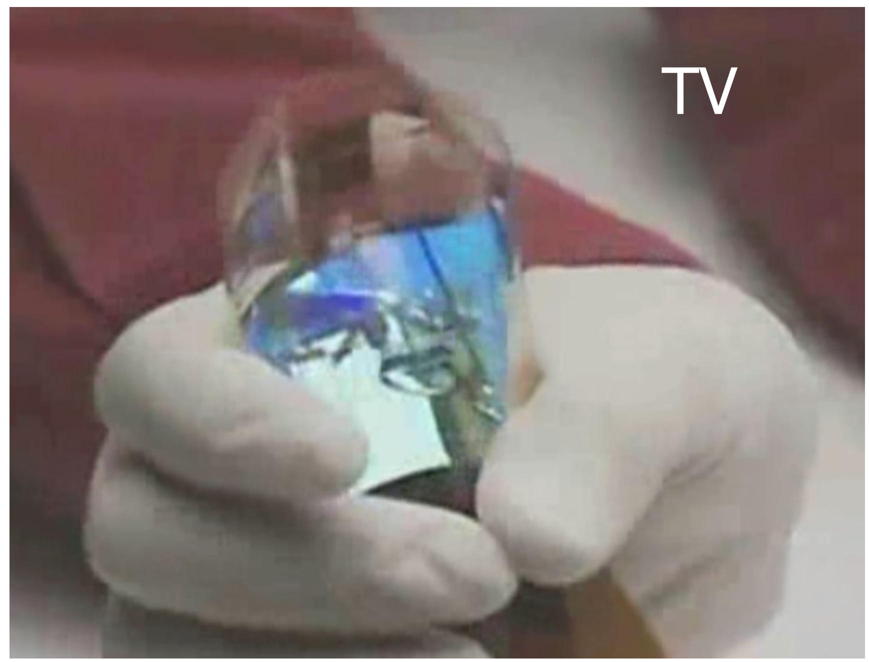
Propriedades semicondutoras ⟷ **Grande Potencial Tecnológico**

-Diodos e Transistores -
Sensores químicos e biológicos -
Dispositivos Emissores de Luz,
Células solares, etc...

monitores finos, leves e flexíveis.

Eletrônica Flexível
Eletrônica Impressa

Equipamentos flexíveis!!!!



Vantagens “potenciais”

Baixo custo e *fácil preparação*

Baixo consumo de energia

Grandes áreas de emissão

Flexibilidade / Espessura

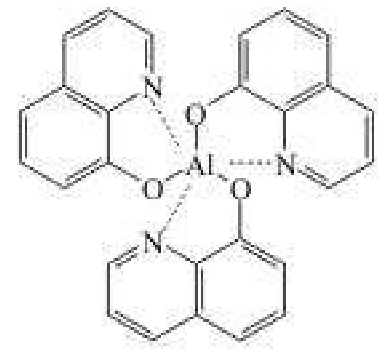
Nova tecnologia

Dispositivos de camadas finas de pequenas moléculas orgânicas ou polímeros conjugados

Primeira demonstração de LED com pequena molécula orgânica

(camadas preparadas por evaporação térmica)

C.W. Tang, S.A. Vanslyke, Appl. Phys. Lett. 51 (1987) 913



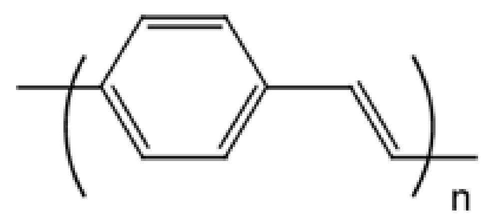
Alq3 = tris(8-hydroxyquinoline) aluminum (III)

Primeira demonstração de eletroluminescencia de um polímero conjugado

(camadas peparadas por *spin-coating*)

J.H. Burroughes et al., Nature 347 (1990) 539

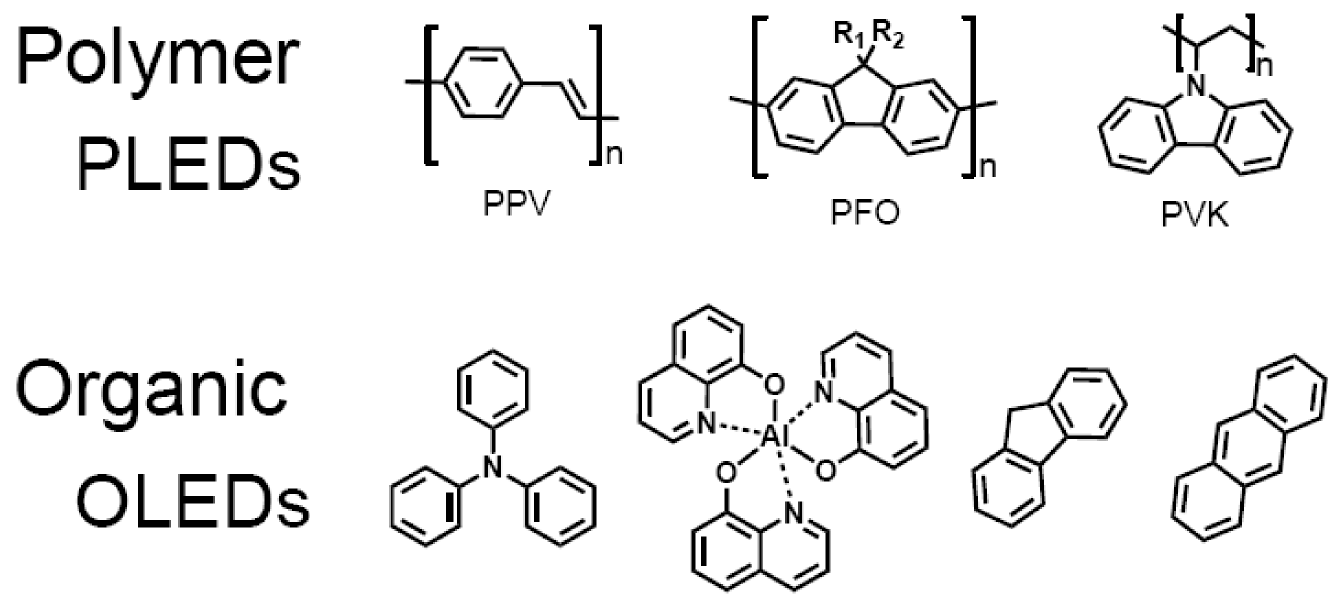
Patente USA 5.247.190



PPV = poly(para-phenylene vinylene)

Tipos de OLEDs

Atualmente, os tipos mais usuais de OLEDs são os poliméricos (PLEDs) e as pequenas moléculas organometálicas (OLEDs)



S. Schrader, *Proc. SPIE: Org. Photonic Mater. and Devices V* **2003**, *4991*, 45.

O primeiro produto comercial usando um polímero luminescente (PLED monocromático)

Norelco 8894XL Spectra "James Bond's Shaver of Choice" with Polymer Display

$179.99

Lançado em 2002

Primeiro produto utilizando display de OLED

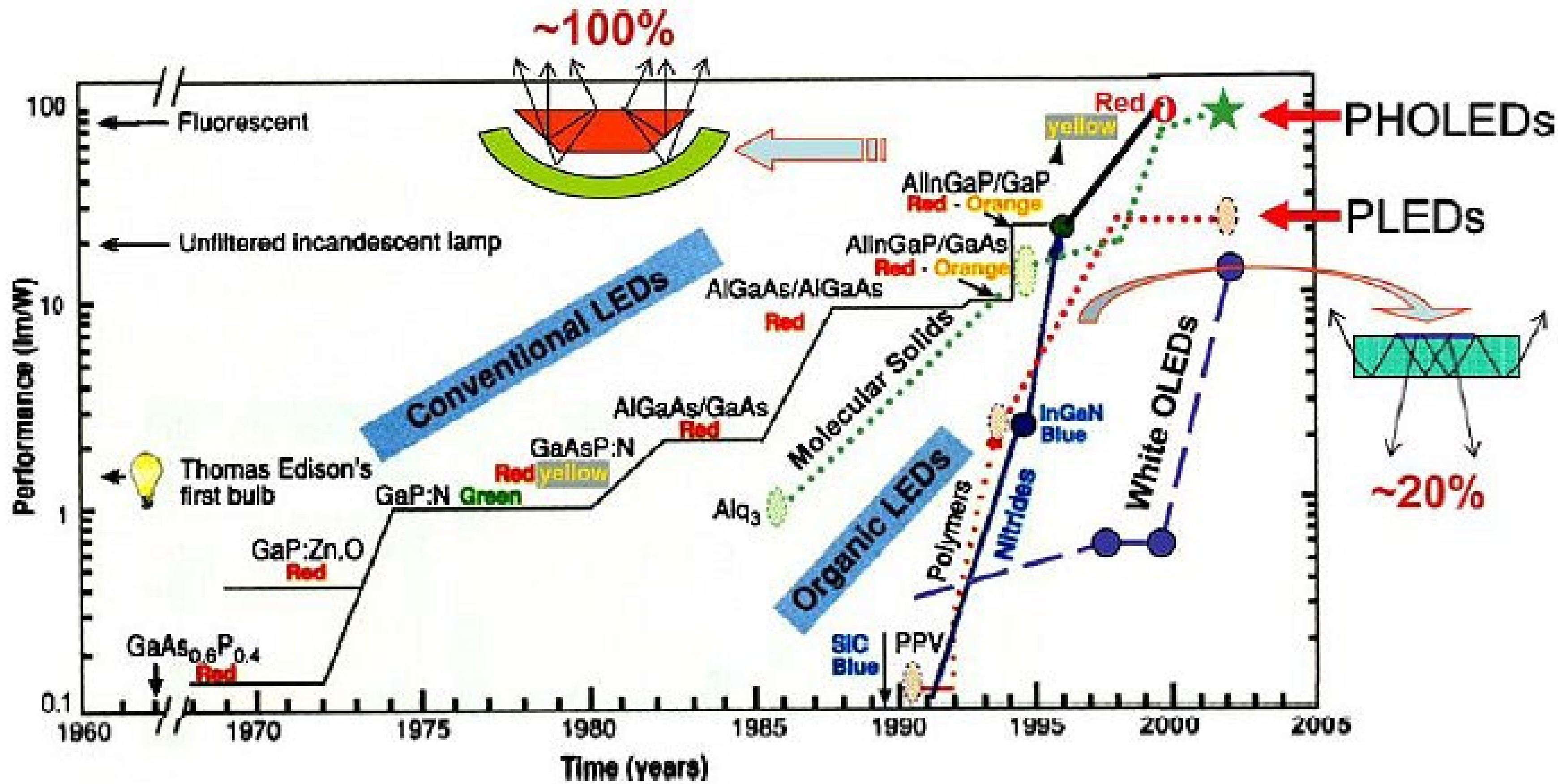
OLED

Organic Light-Emitting Diodes

- Baixo consumo
- Alta Resolução
- Custo de Produção competitivo
- **Limitação** 15” de diâmetro

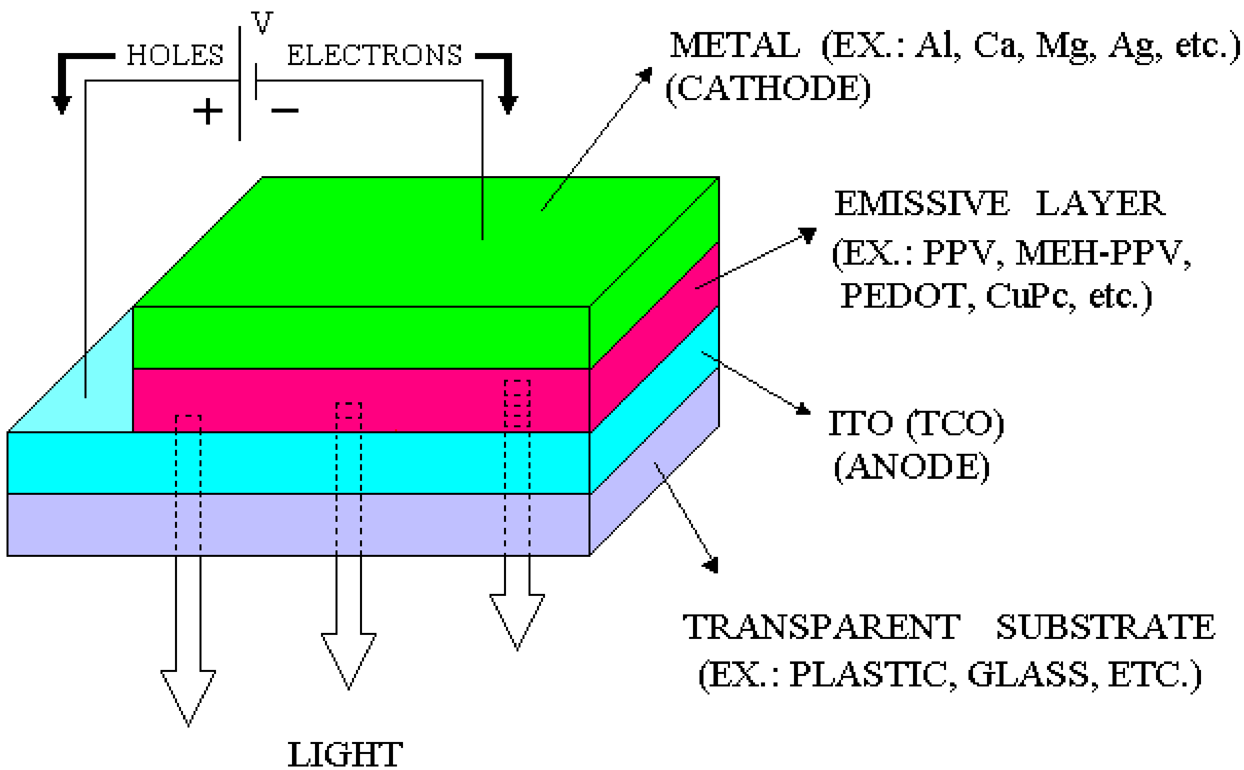
Lançamento KODAK 2003 !

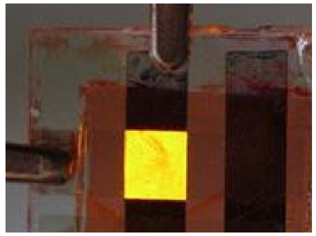
Progresso do desempenho dos LEDs orgânicos e inorgânicos nos últimos 45 anos



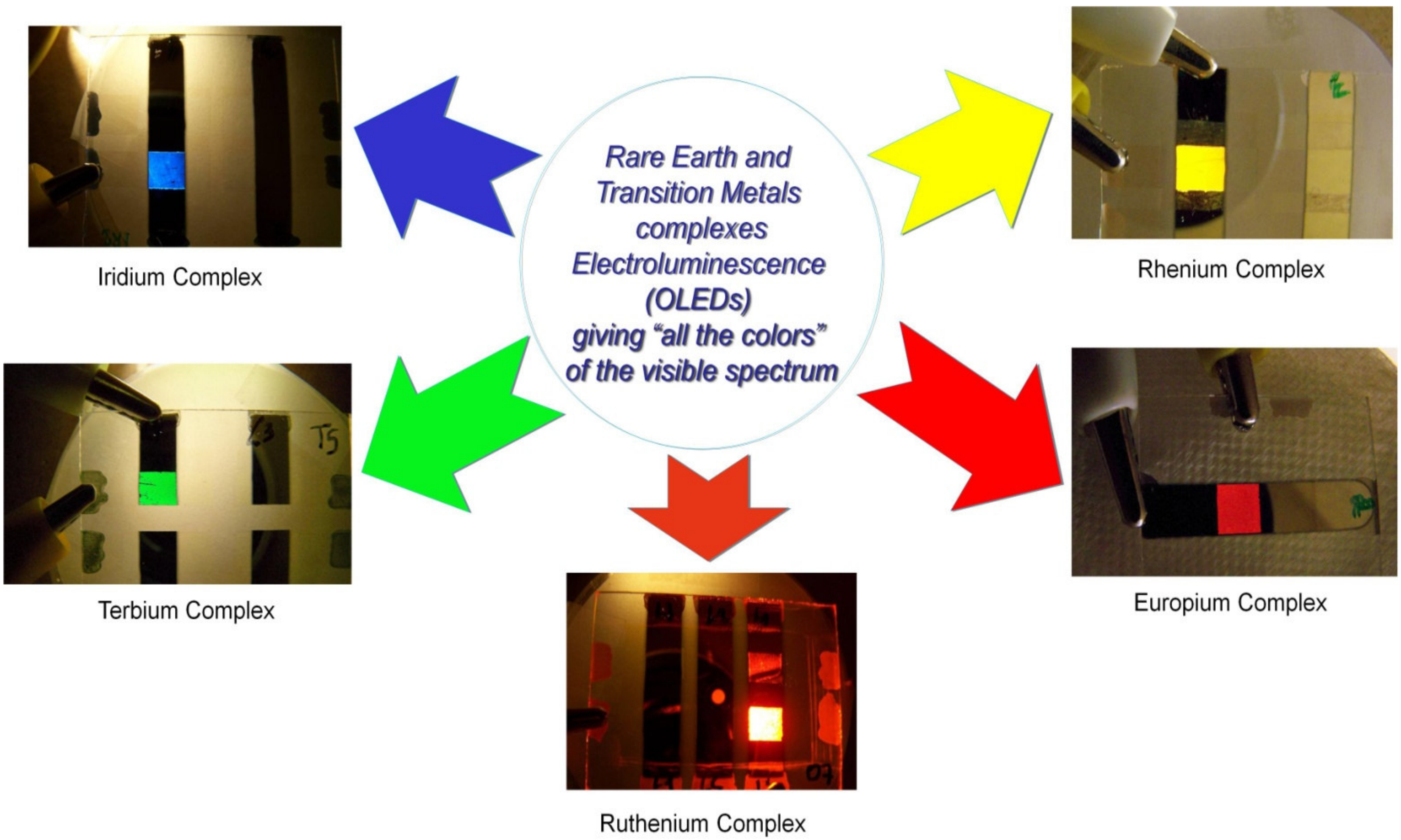
Fonte: Stephen R. Forrest, The road to high efficiency organic light emitting devices, *Organic Electronics*, 4, p. 45-48, 2003.

Polymeric Light-Emitting Diodes (PLED)

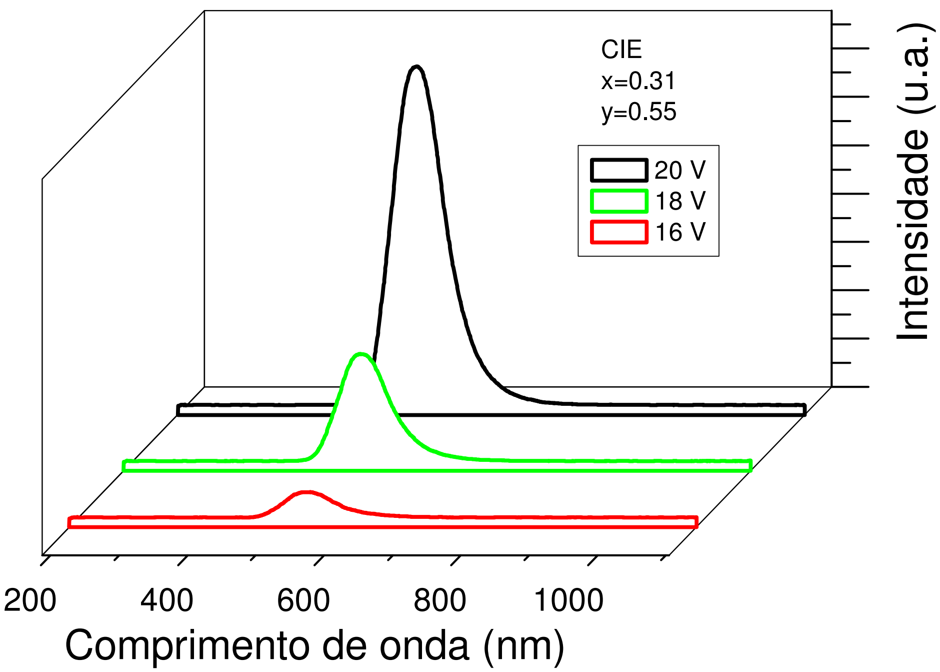


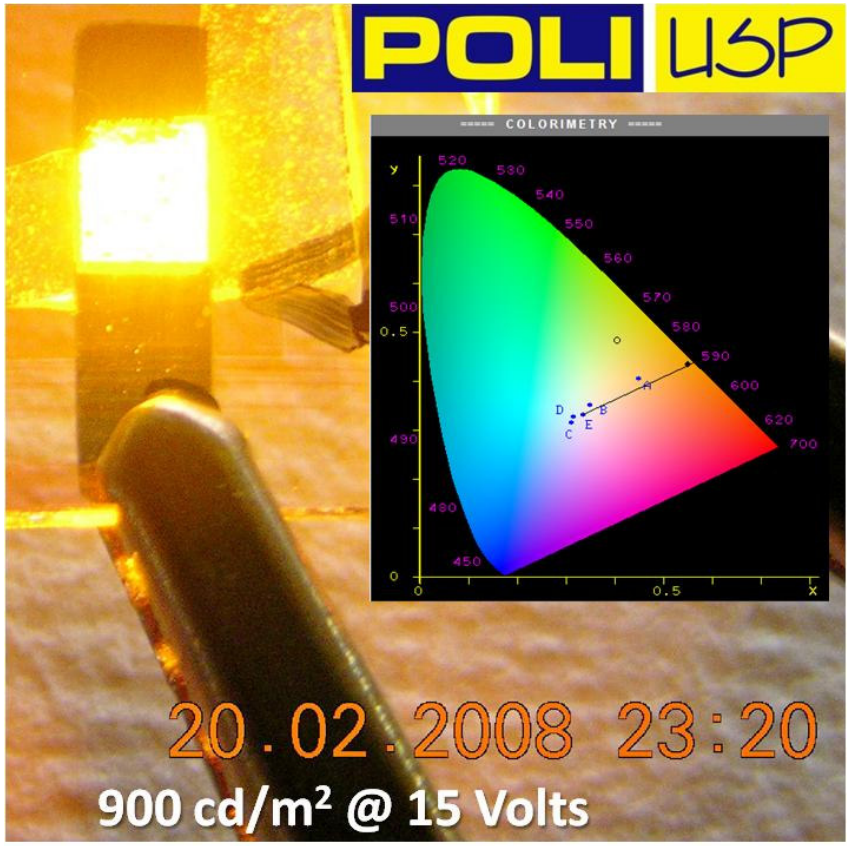


PLEDs, OLEDs e LECs



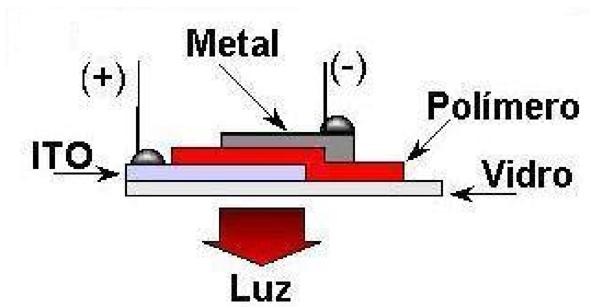
Caracterização Óptica



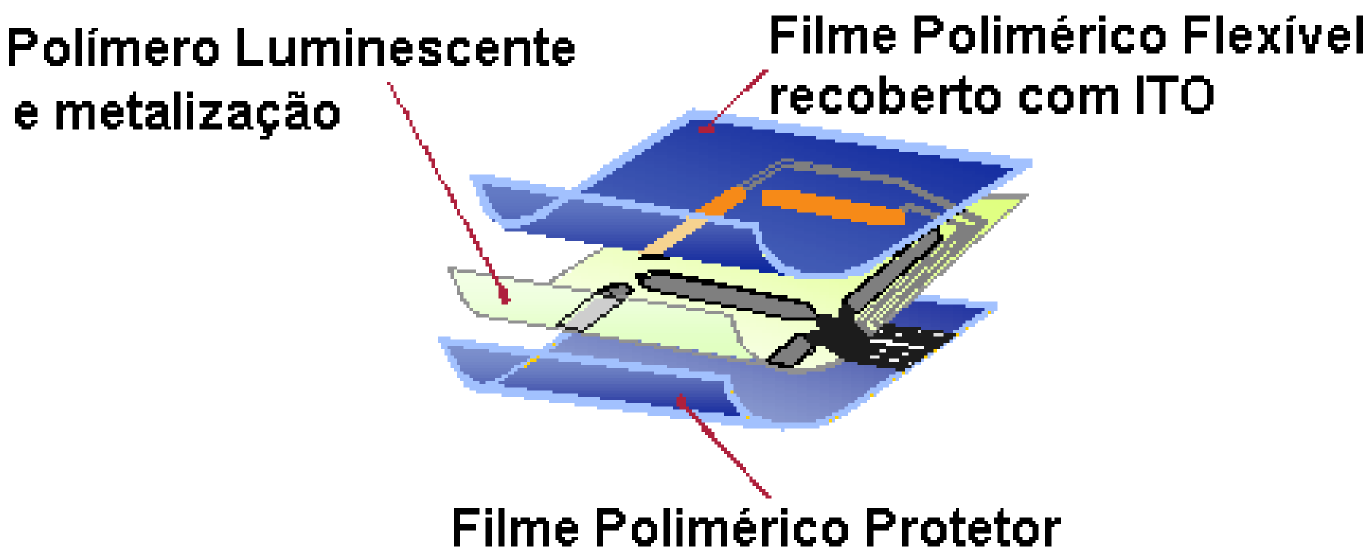


H. Gimaiel, G. Santos, E. T. A. Dirani , F. J. Fonseca,
e A. M. Andrade

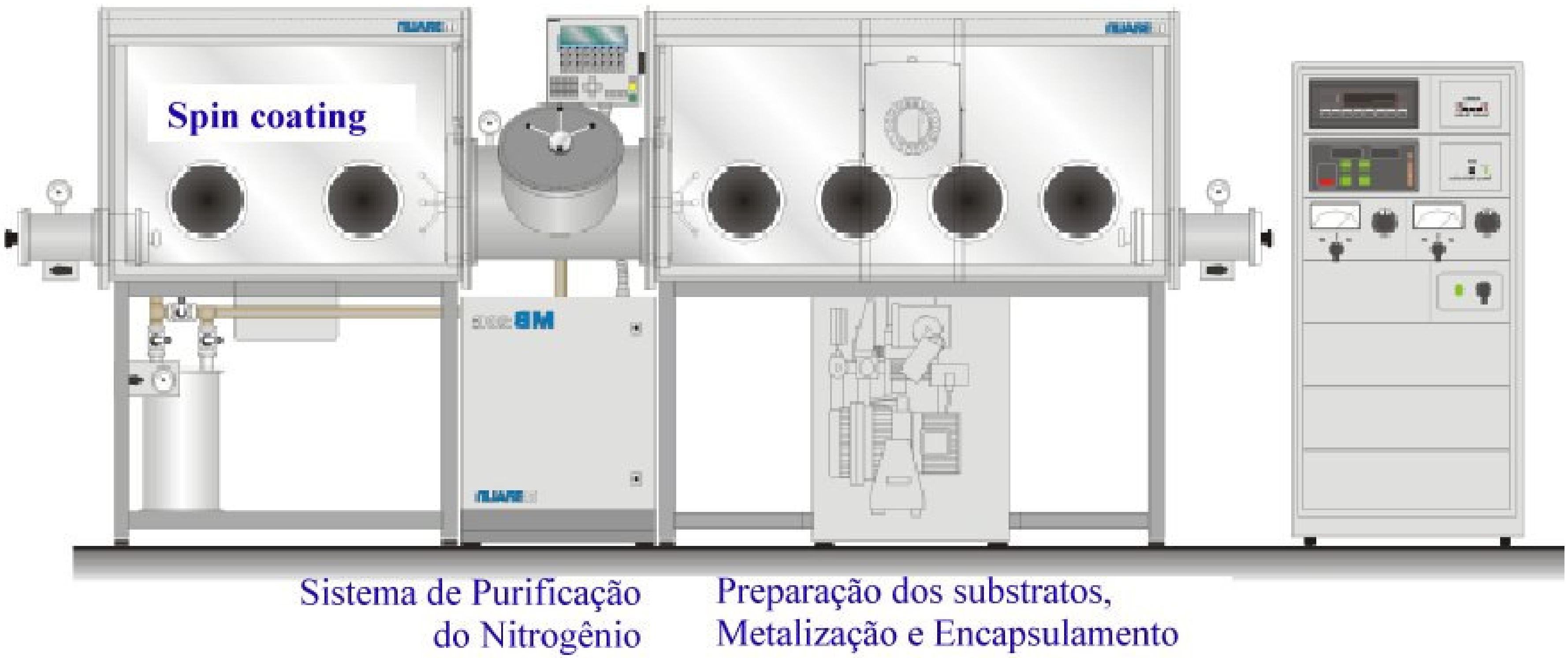
Fabricação de dispositivos



Dispositivo típico



Fabricação de *displays*



Infraestrutura

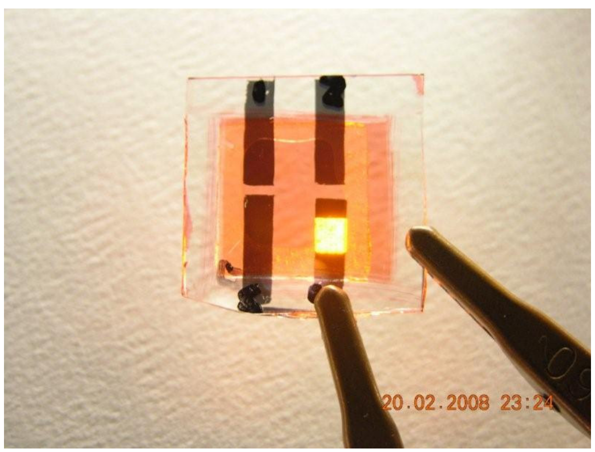
Glove Box com atmosfera controlada
com spinner e evaporadora

Cadeia de desenvolvimento

Produção de Materiais
(Polímeros)

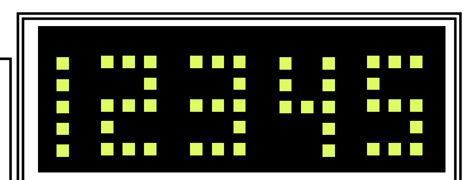
Correlacionar as propriedades elétricas e ópticas dos dispositivos com a estrutura dos polímeros.

Dispositivos



Combinar estudos experimentais com modelamentos.

Integração dos dispositivos
(Displays, CI, painéis solares)



Dispositivos Eletrônicos Poliméricos

Dispositivos Emissores de Luz
(PLEDs)

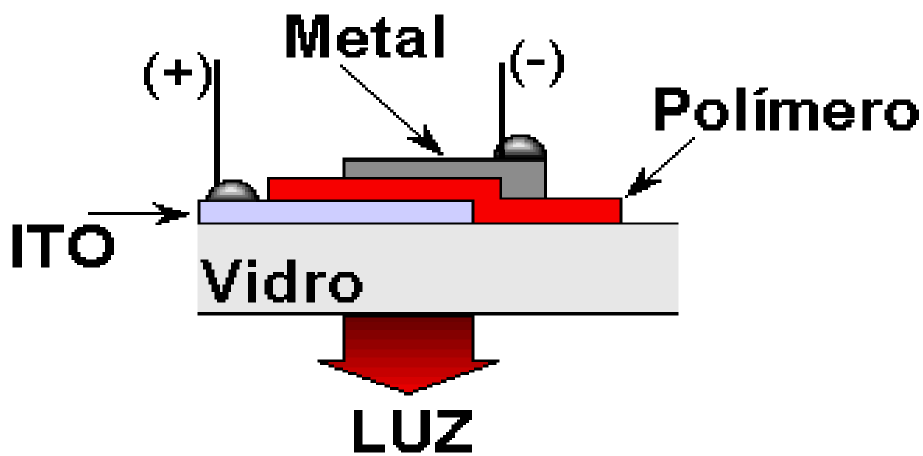
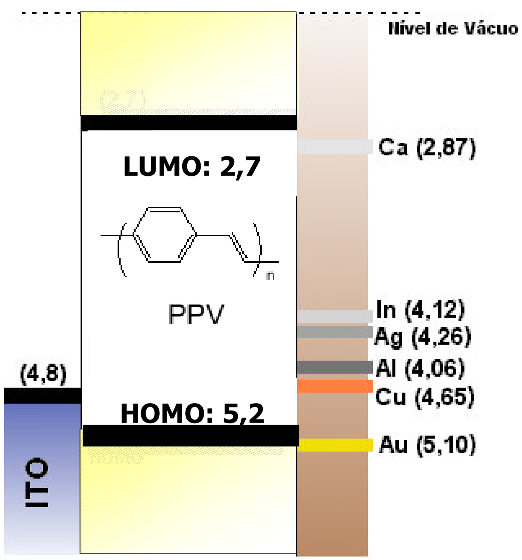
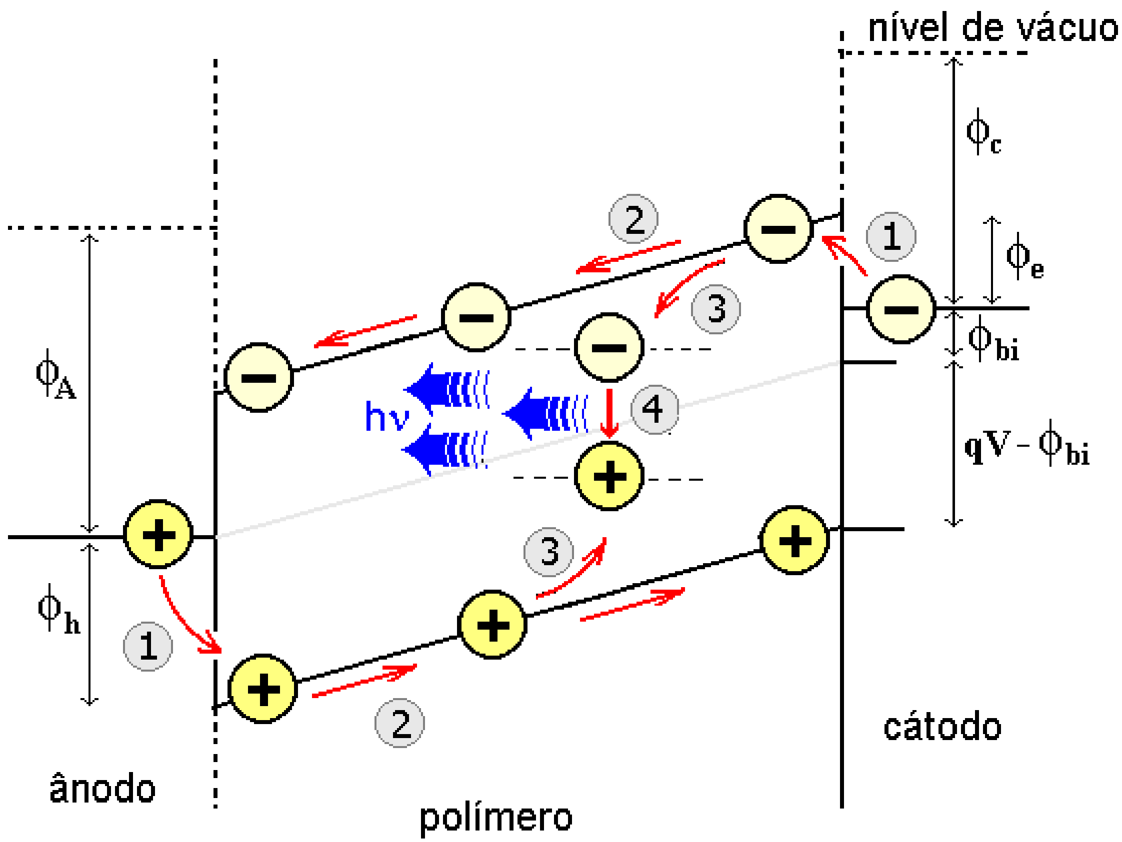


Diagrama de Energias



Princípios de Funcionamento

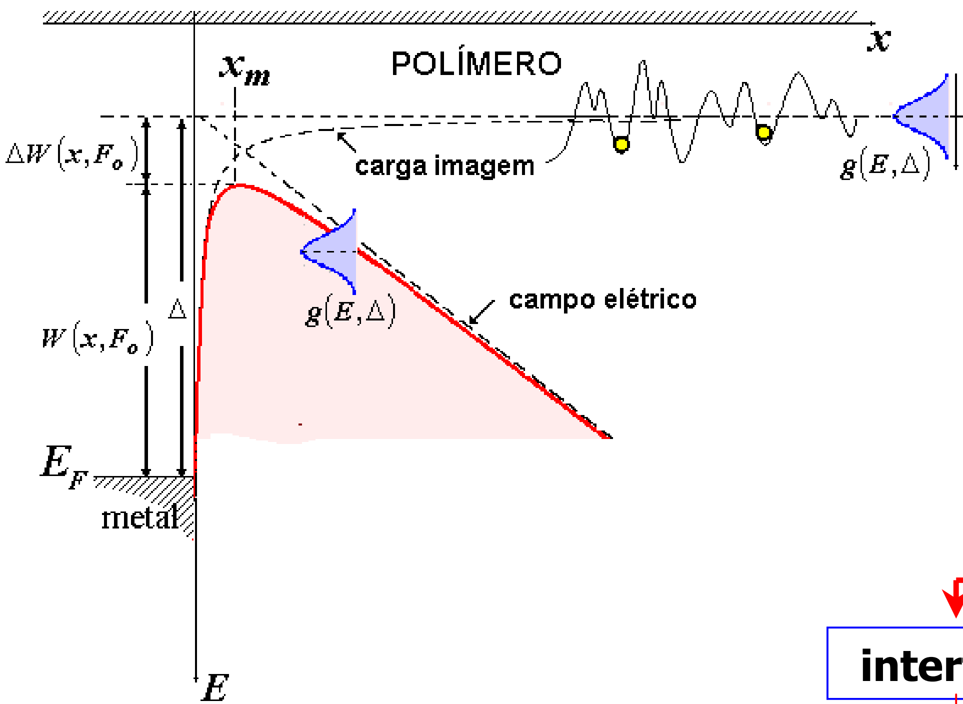


Passos básicos da eletroluminescência:

(1) injeção dos portadores, (2) transporte dos portadores,
(3) formação do éxciton e (4) processo de decaimento radiativo.

Mecanismos de Injeção e Transporte de Portadores

Interface metal-polímero



Transporte: Sistema sólido desordenado

CORRENTE ELÉTRICA

<u>Contribuições</u>

interface ? **volume**

Eficiência e durabilidade

Injeção, Transporte e Eficiência

INFLUÊNCIAS

- Características dos substratos.

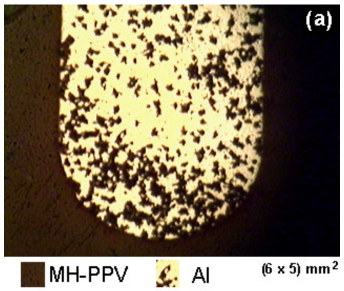
- Estrutura Química do polímero.

- Mobilidade dos portadores ($\mu_h > \mu_e$).

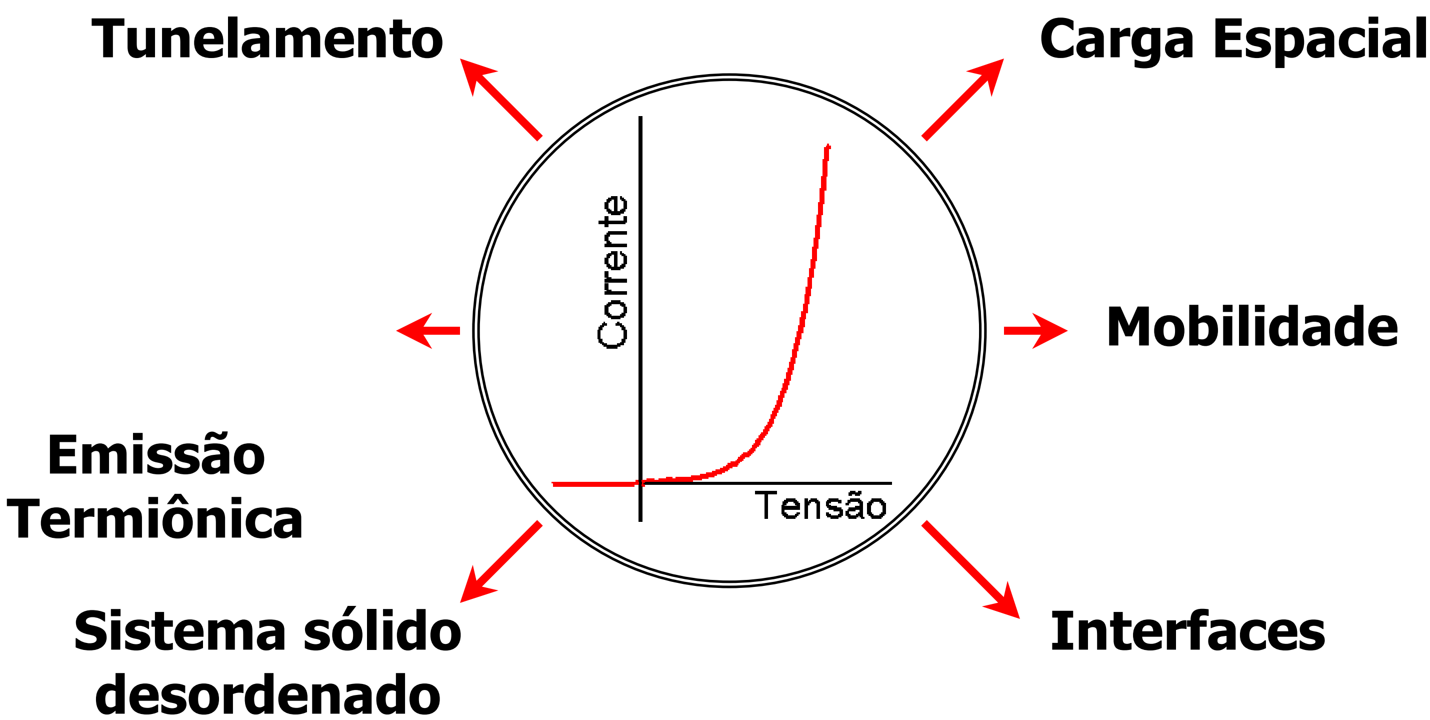
- Morfologia dos filmes.

- Temperatura.

- Degradações do polímero e das interfaces.



Processos envolvidos



Caracterizações

Contribuições do volume e das interfaces
- **I vs. V**
- **Impedância Complexa**
- **Capacitância**
- **Tempo de vôo**

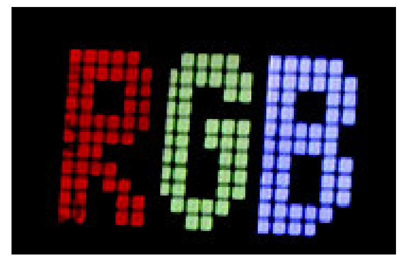
Estrutura eletrônica
- **Fotoluminescência**
- **Eletroluminescência**
- **Radiância espectral**

Morfologia
- **Microscopia de Força Atômica**
- **Espectroscopia de Elipsometria**

Eficiência
- **Eficiência quântica**
- **Tempo de vida (*degradação*)**

Síntese de Polímeros e novos materiais

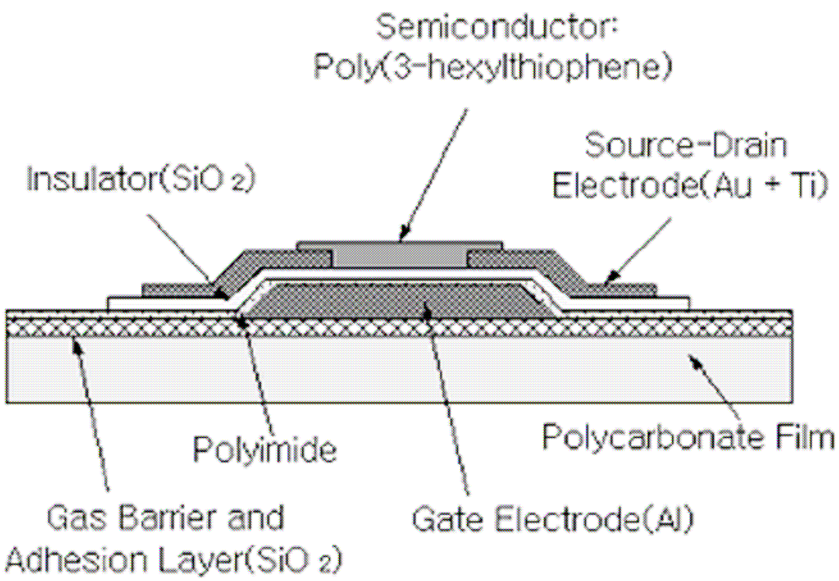
Displays

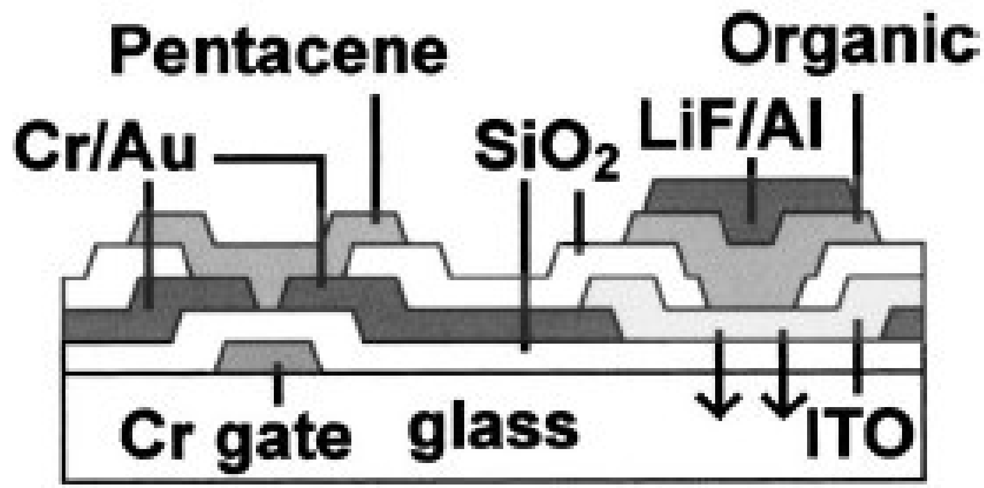


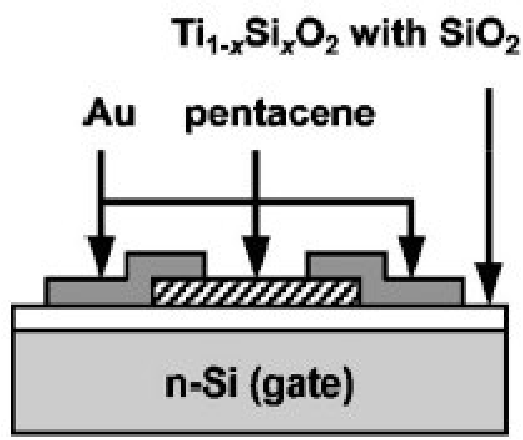
RED:	MEH-PPV	1 g	$ 220
GREEN:	BEHP-PPV	1 g	$ 560
BLUE:	PFE	1 g	$ 564

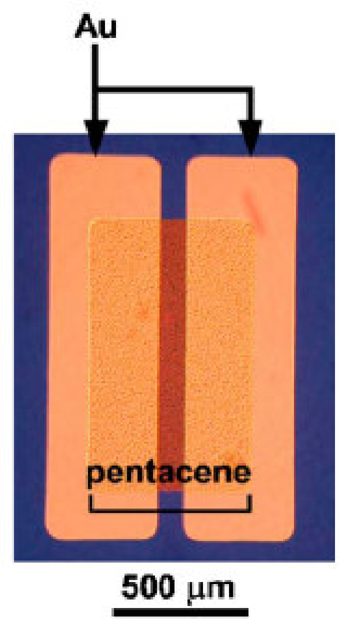
Desenvolvimento de Tintas Luminescentes e “descartáveis”

Organic Thin Film Transistor (OTFT)

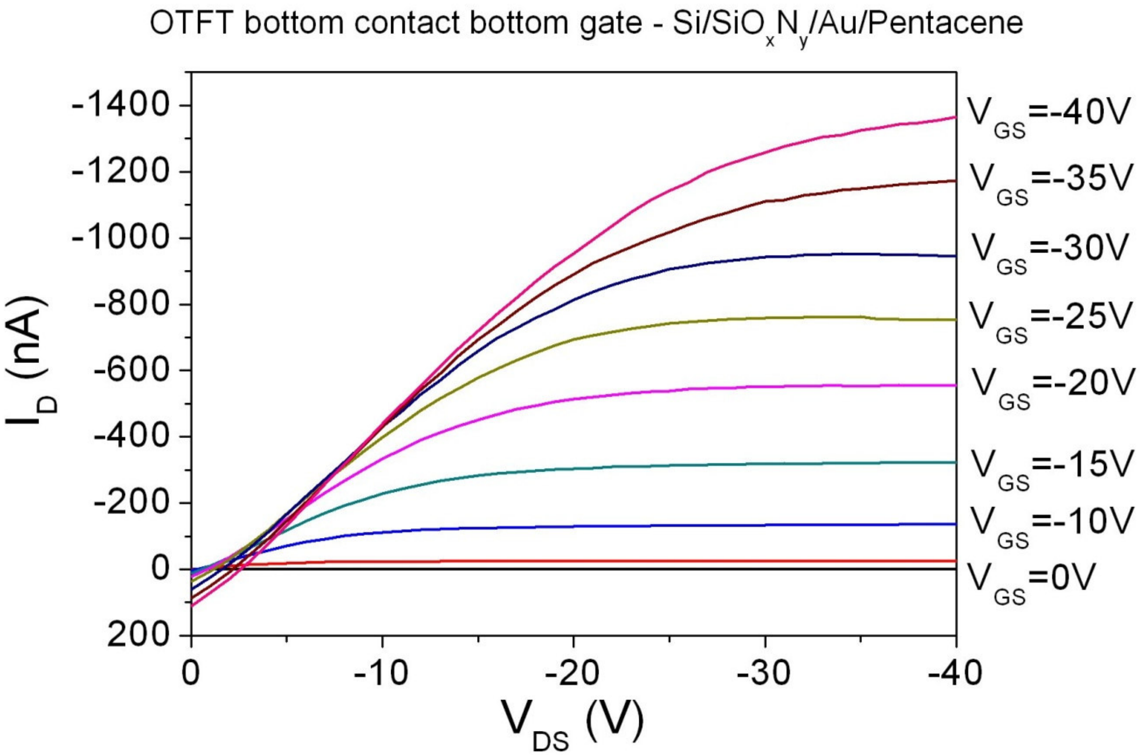




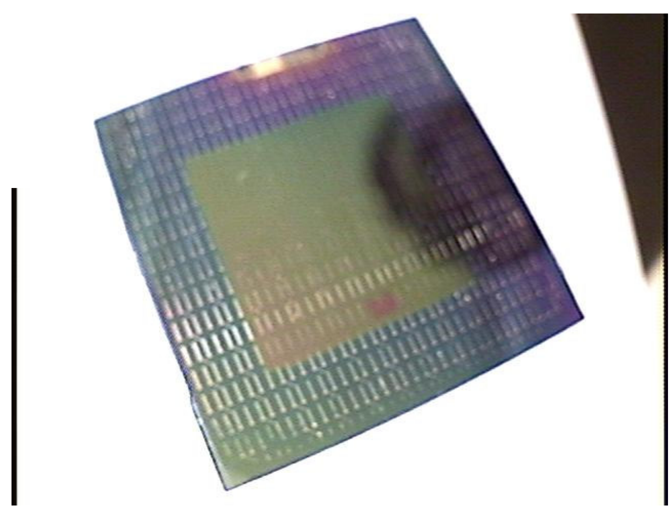




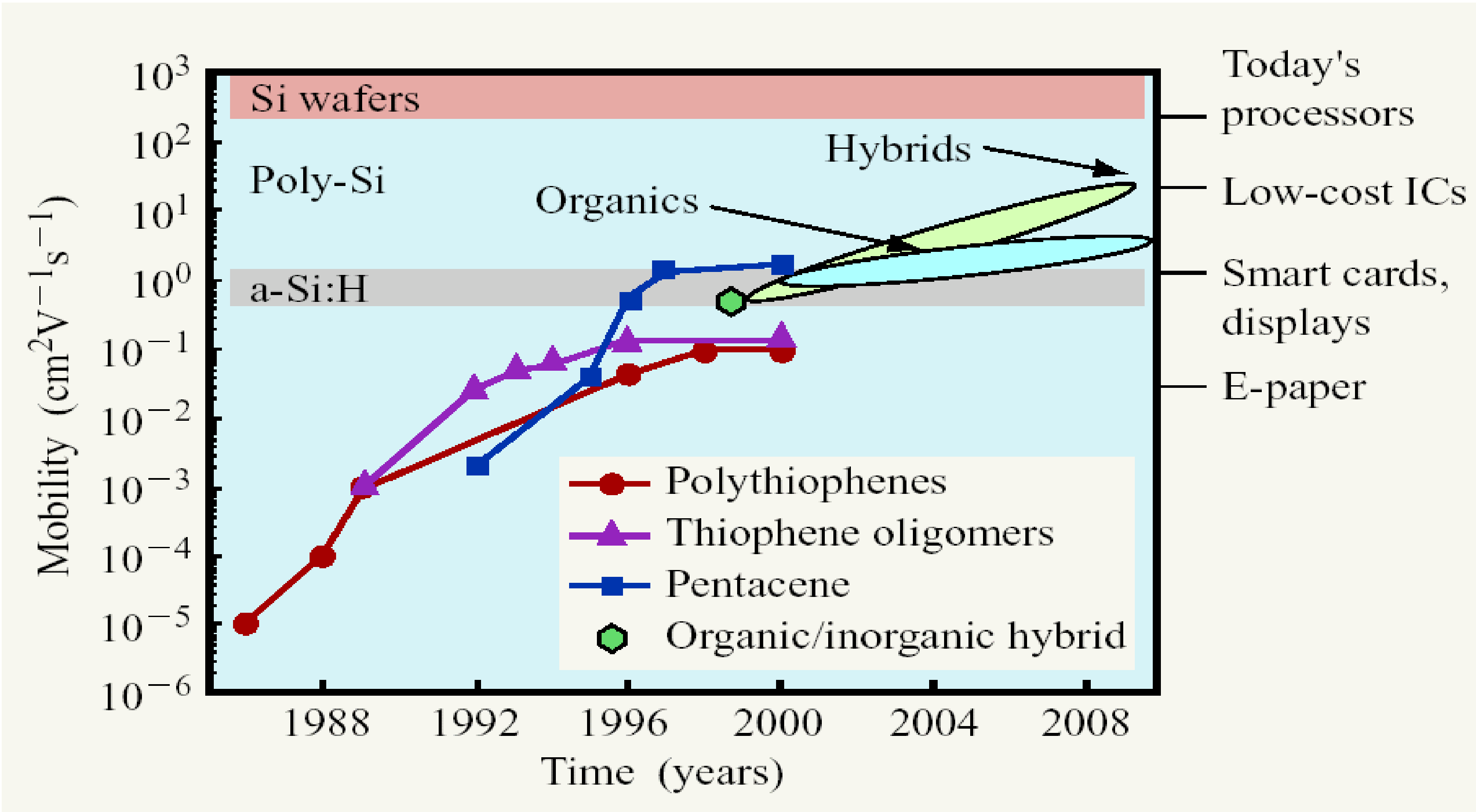
OTFT



OTFT bottom contact bottom gate - Si/SiO$_x$N$_y$/Au/Pentacene
I_D (nA)
V_{DS} (V)
-1400
-1200
-1000
-800
-600
-400
-200
0
200
0
-10
-20
-30
-40
V_{GS}=-40V
V_{GS}=-35V
V_{GS}=-30V
V_{GS}=-25V
V_{GS}=-20V
V_{GS}=-15V
V_{GS}=-10V
V_{GS}=0V



Mobilidade de portadores



Mobilidades dos semicondutores organicos melhoraram cinco ordens de grandeza nos últimos 15 anos. Grandes esforços em pesquisa em novos materiais são responsáveis por este aumento.

Tipos de sensores químicos

Específico

✓ ***Sensor específico***

✓ ***Um único sensor***

✓ ***Análise quantitativa***

- **Amônia**
- **Radiação UV e Gamma**

Seletividade Global

✓ ***Sensores NÃO específicos***

✓ ***Arranjos de sensores***

✓ ***Análise de dados multivariada***

✓ **Necessita "degustar/cheirar" analitos padrões**

✓ ***Comparação de desempenhos***

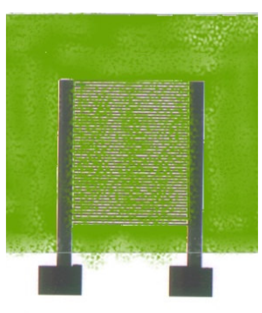
✓ **Correlação com análise sensorial**

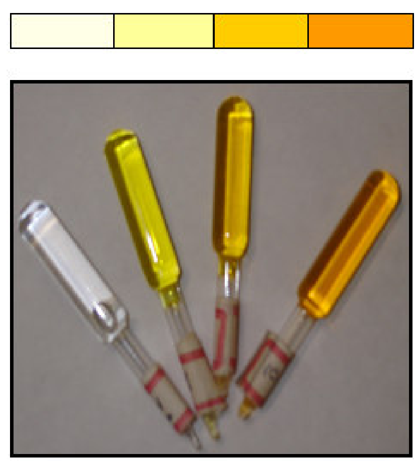
- **Língua Eletrônica**
- **Nariz Eletrônico**
- **LE + NE**

Caracterização de sensores

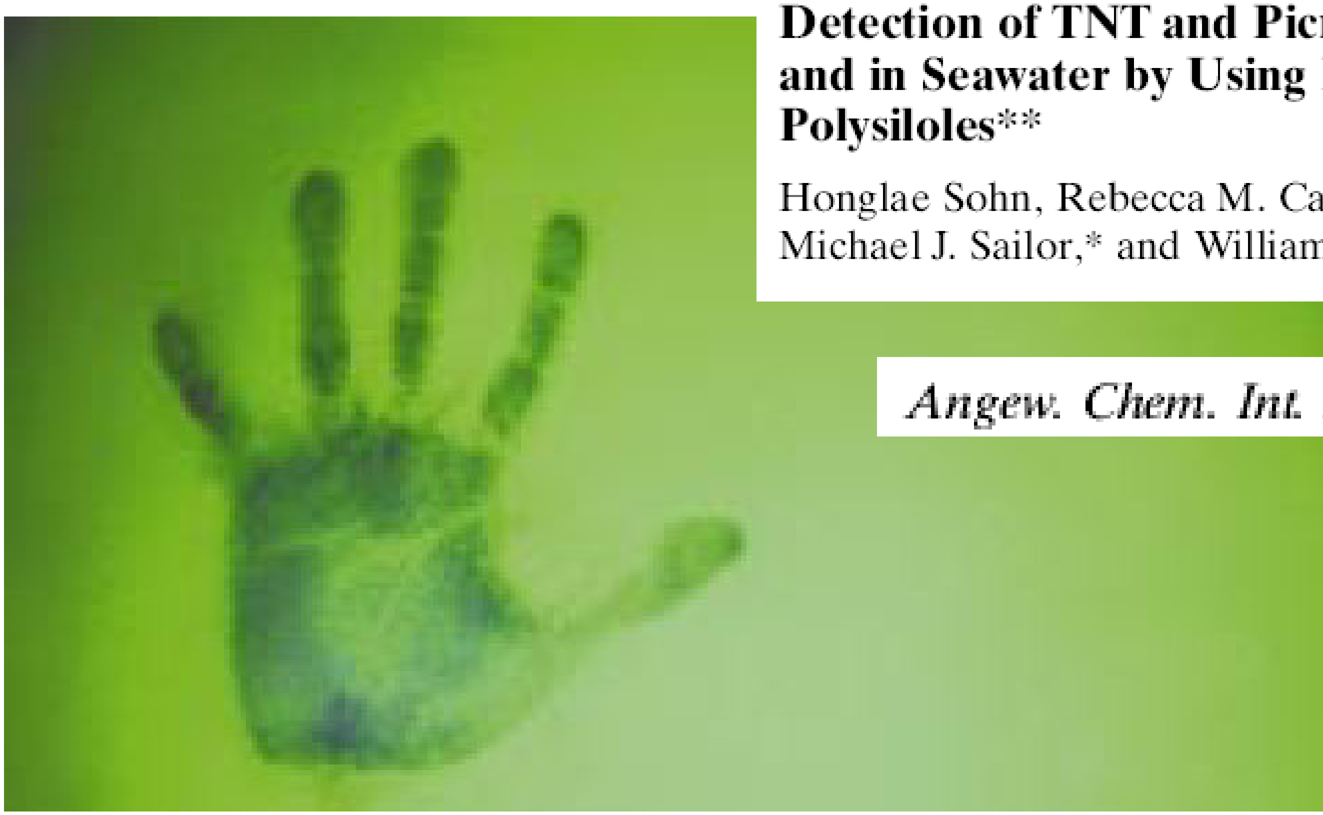
Teste de:
- Sensibilidade;
- Reprodutibilidade;
- Repetibilidade;
- Life-time;
- Response time;
- Reset.

Testes de Fabricação:
Microeletrodos
Envelhecimento
Monitoramento de Processos





Desenvolvimento de sensores químicos



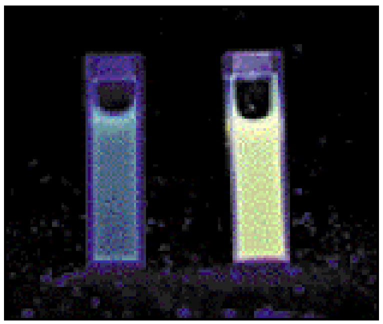
Detection of TNT and Picric Acid on Surfaces and in Seawater by Using Photoluminescent Polysiloles**

Honglae Sohn, Rebecca M. Calhoun, Michael J. Sailor,* and William C. Trogler*

Angew. Chem. Int. Ed. **2001**, *40*, No. 11

TNT: 2,4,6-trinitrophenol (picric acid)

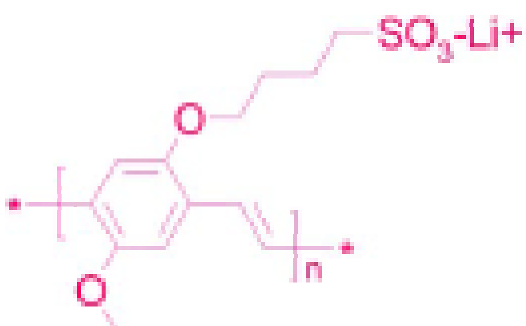
Desenvolvimento de sensores biológicos



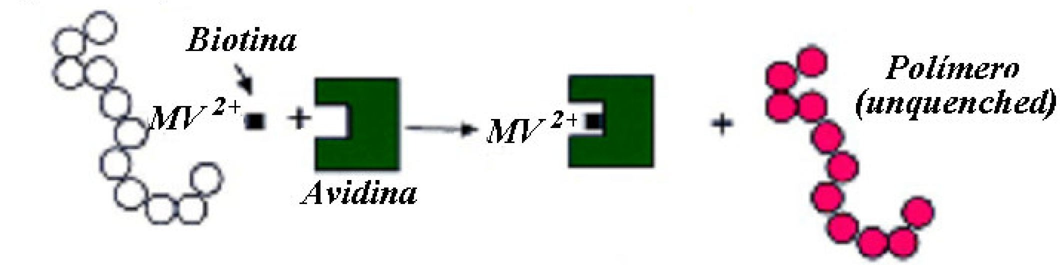
Making sense of polymer-based biosensors

Peter S. Heeger[†‡] and Alan J. Heeger[§]

PNAS | October 26, 1999 | vol. 96 | no. 22 | 12219–12221



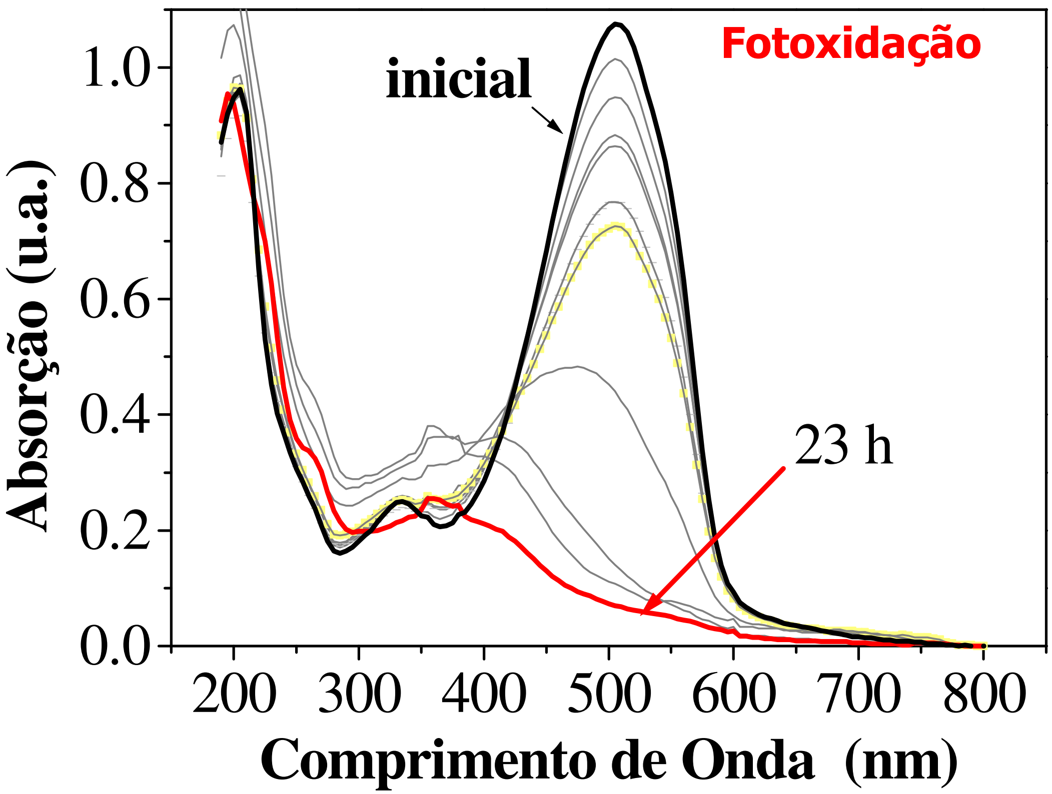
MPS-PPV: 2,5 –methoxy propyloxysulfonate



<u>Outros Aplicações:</u>

Sensores de Vírus e bactérias

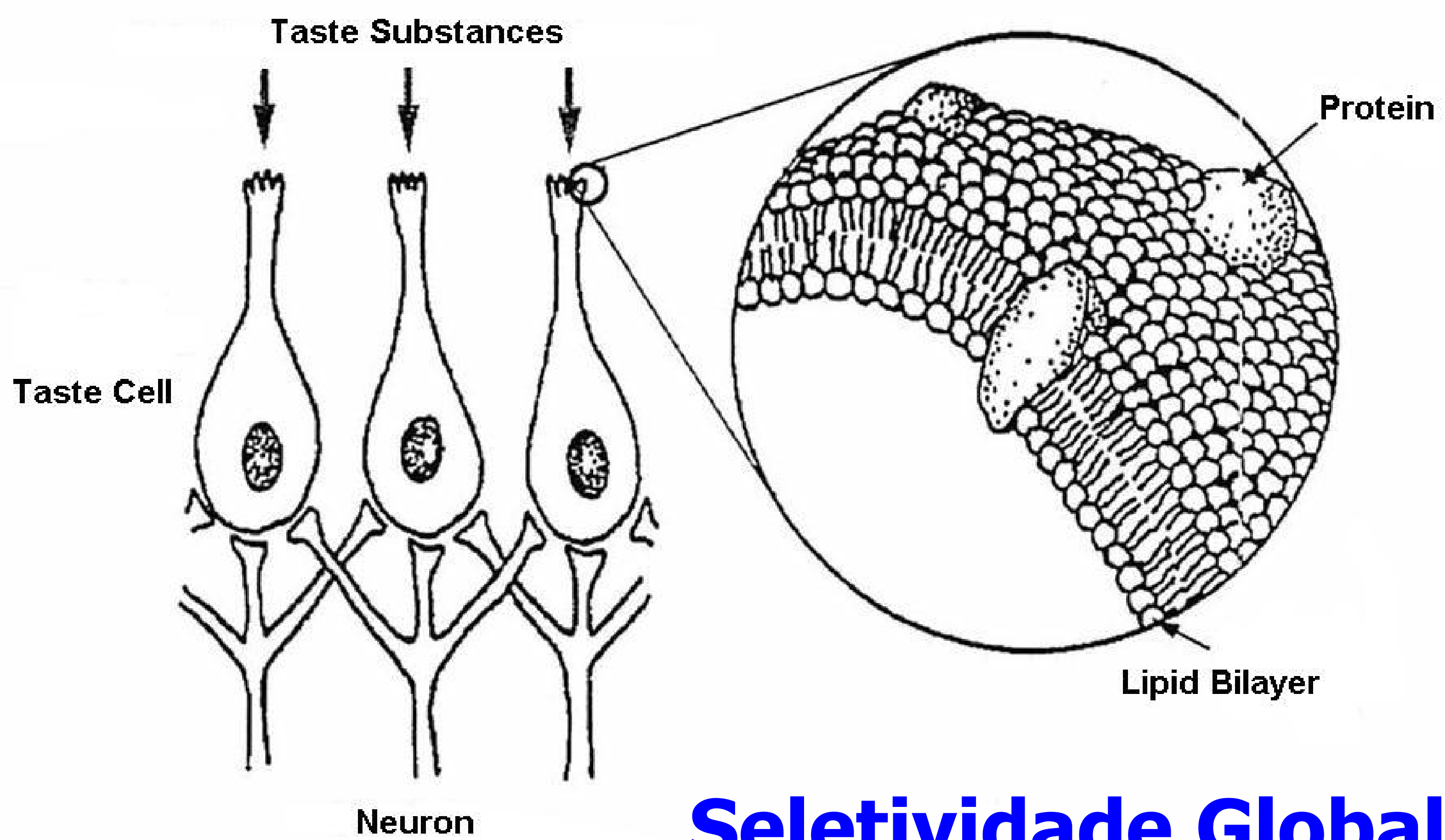
Dosímetros



Raios *x, gama, etc...*

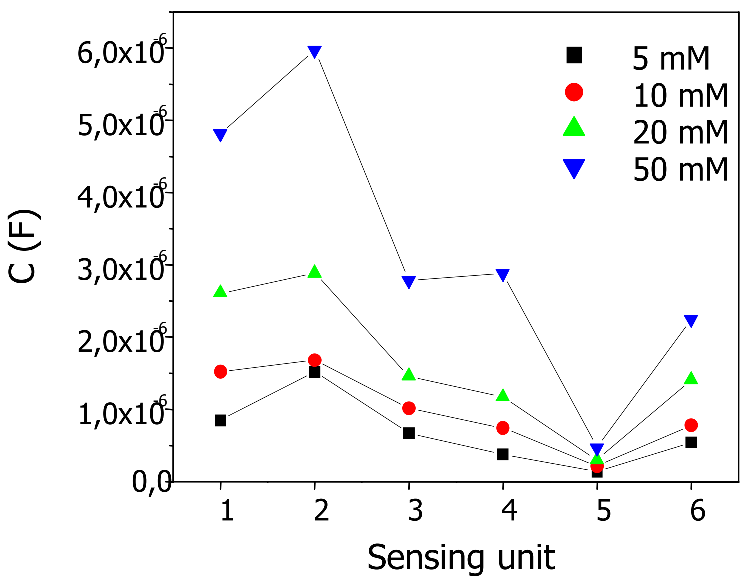
colorímetro

Língua Humana

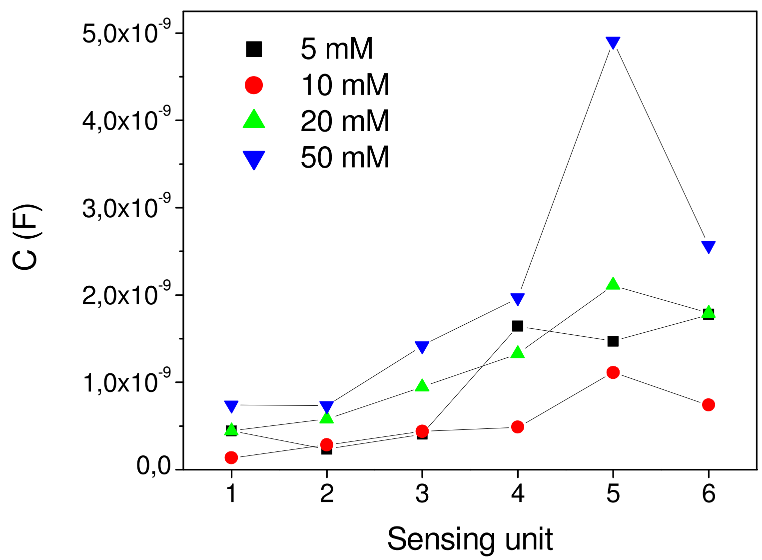


Seletividade Global

"Impressão digital" dos líquidos



NaCl



sucrose

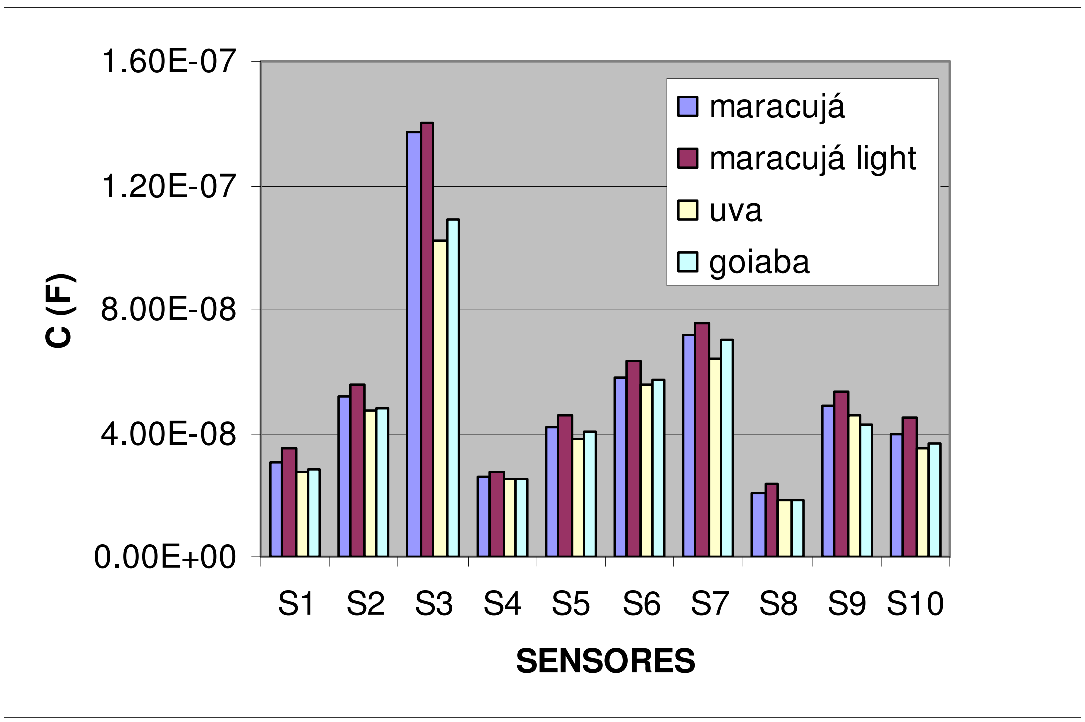
Língua Eletrônica e Seletividade Global

⇓

Arranjo de sensores não-específicos
+ análise multivariada

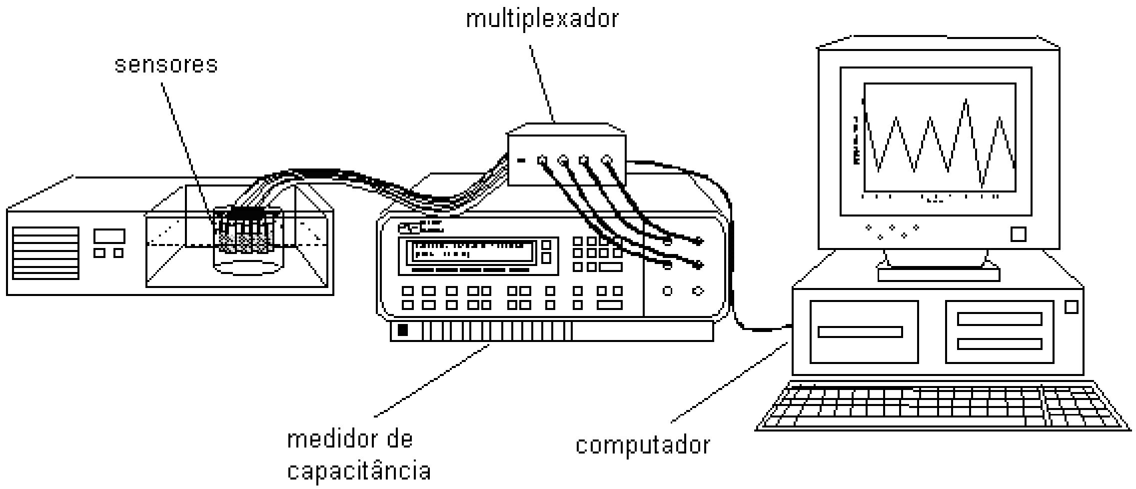
⇓

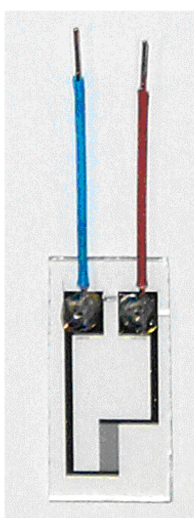
Impressão digital dos líquidos

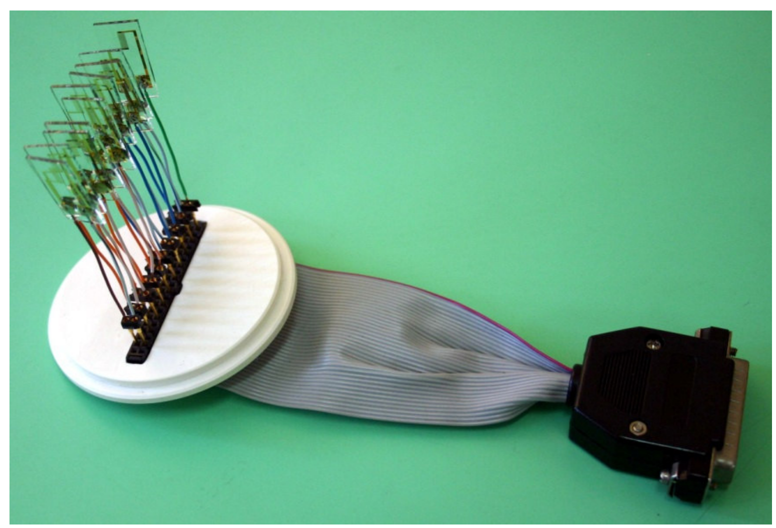


Impressões digitais de sucos de diferentes frutas, obtidas com a LE

Língua Eletrônica – "Hardware"

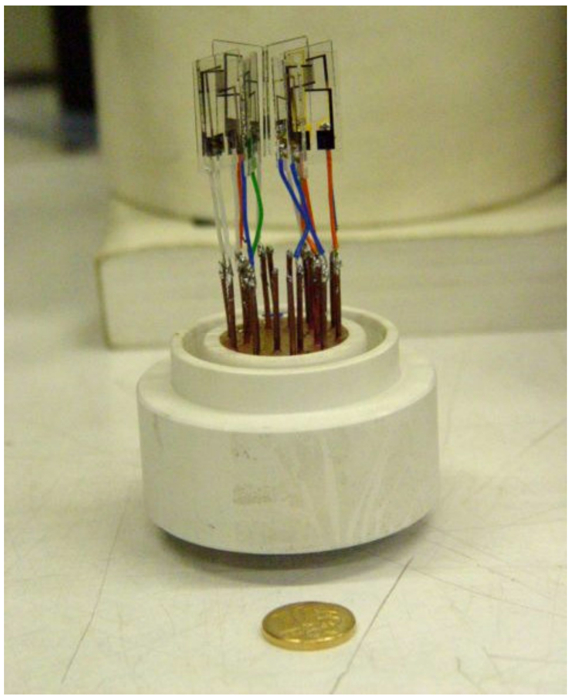






Motivação

Língua Eletrônica



Applications

✓**Water**

Control of contaminants in water reservoirs used for human supplying.

Monitoring sea water desalinization for human consumption.

- Measurements in real time improving time response
- Low cost
- Data acquisition *in locu* and sending via wireless system

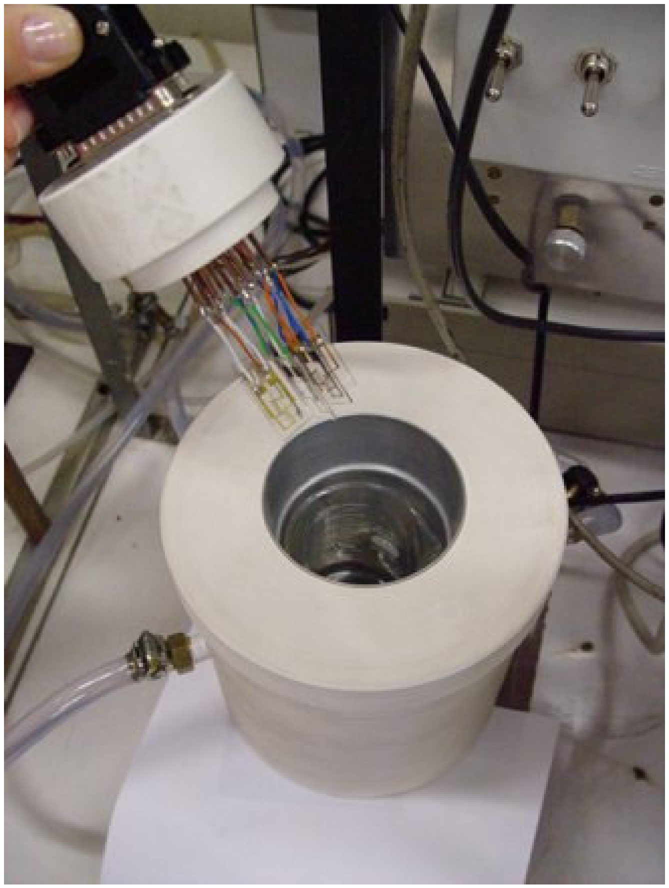
Nariz Eletrônico

Applications

- ✓**Food**
- ✓**Quality Control**
- ✓**Environmental**
- ✓**Chemistry**
- ✓**Terrorism prevention**

Flavour Identification / Classification, Adulteration, Contamination, Validity Time, etc..

Nariz e Língua Eletrônicas



Project:
Auxilio à Pesquisa - FAPESP

Applications

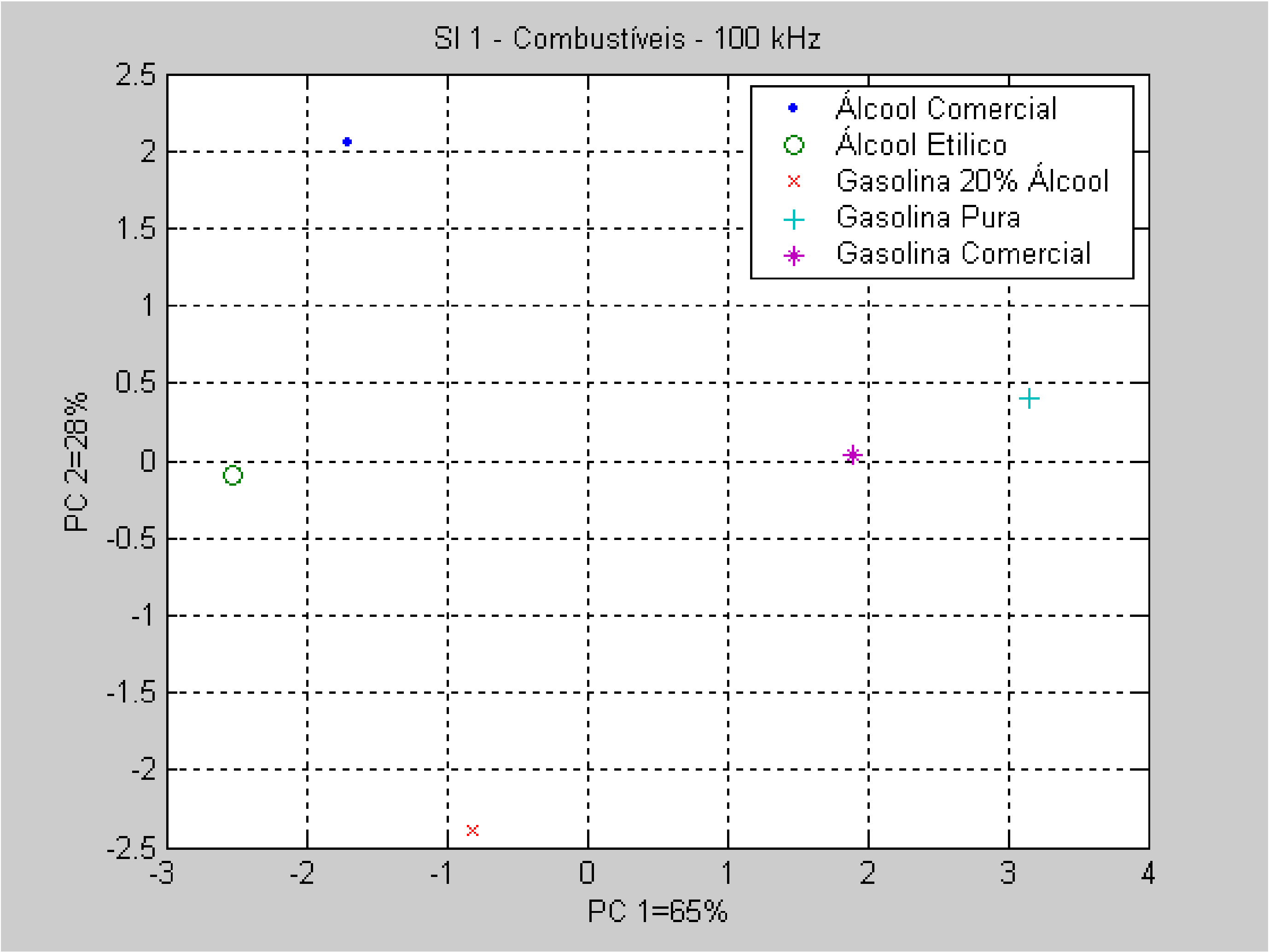
✓**Quality Control (Fuel)**

Quality evaluation of alcohol and gasoline in the distribution location

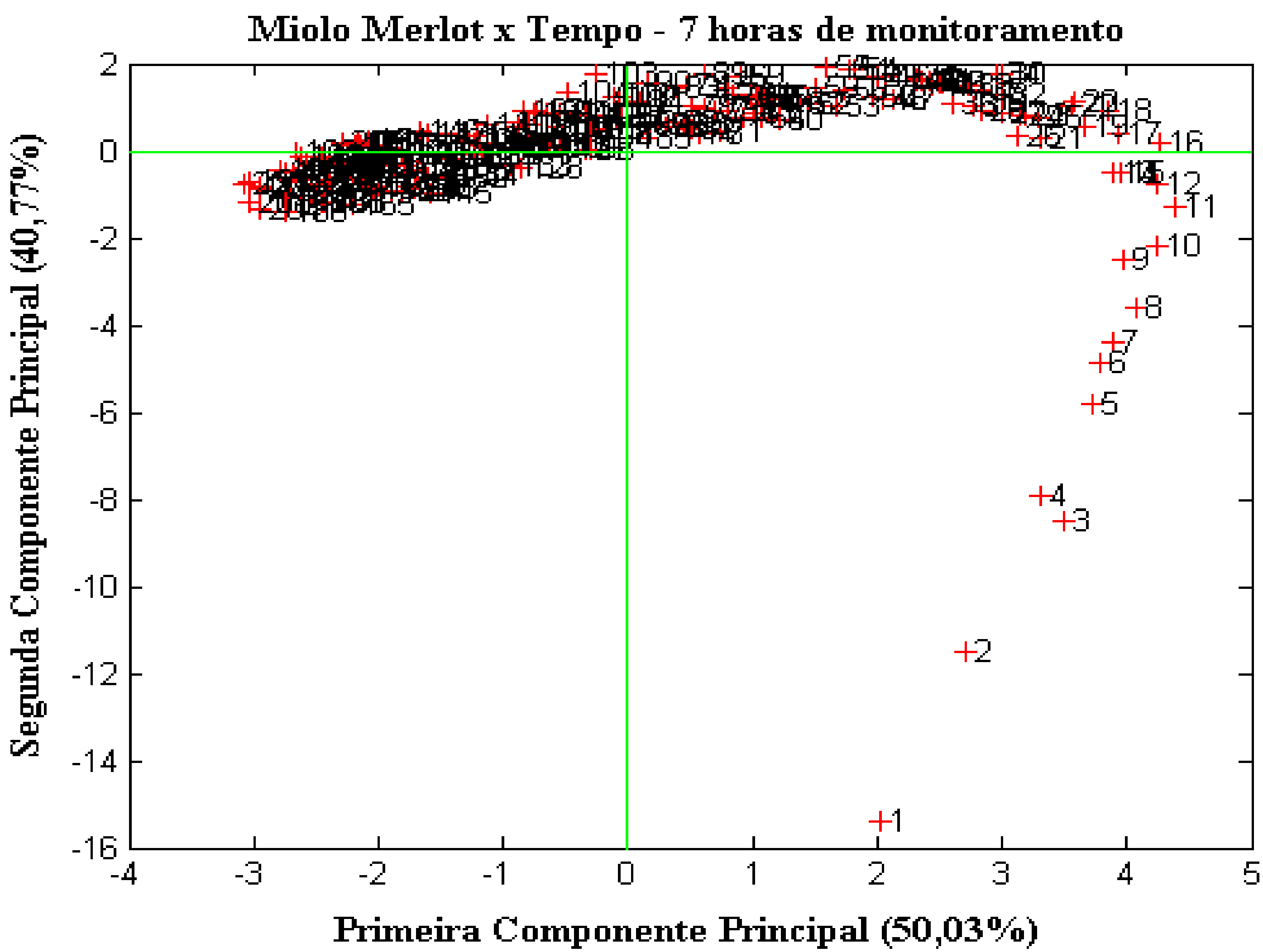
- Quick test *in locu*
- Data transmission in long distances
- **Low cost**
- **Integrated system EN+ET**

Drawbacks:
Sensors life-time
Friendly system

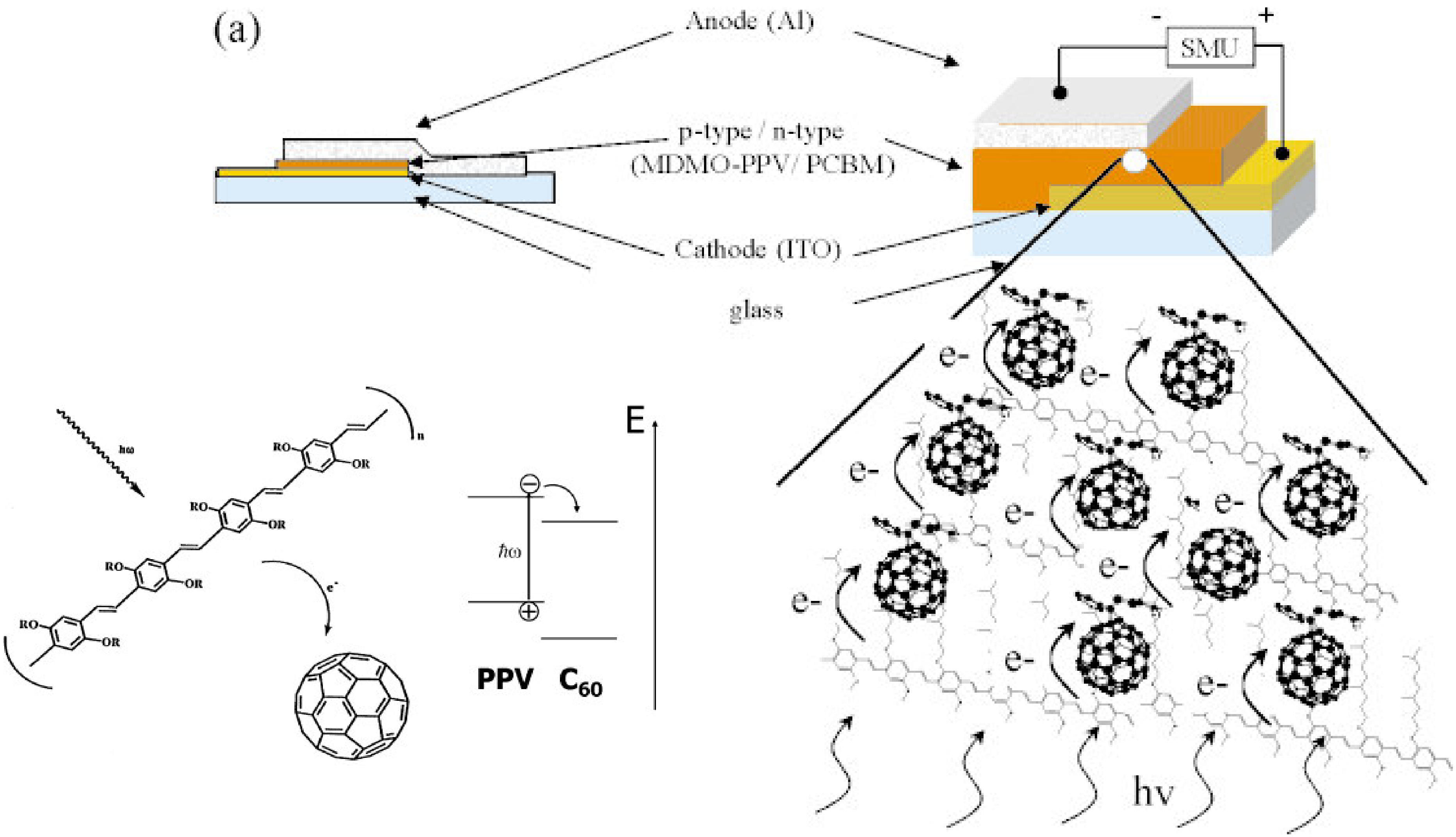
SI-1 – Discriminação de combustíveis



Monitoramento de qualidade de alimentos

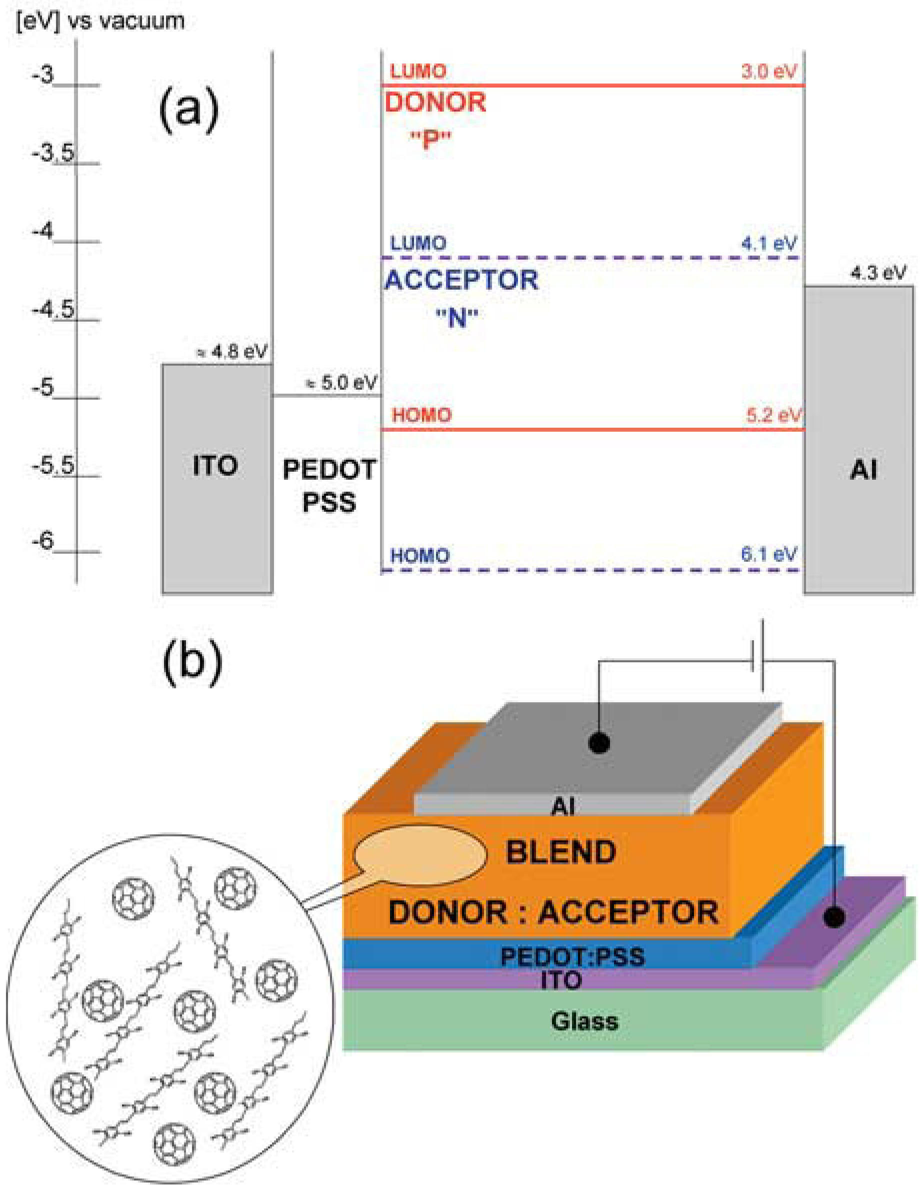


Célula solar orgânica de heterojunção em volume (“bulk heterojunction”)

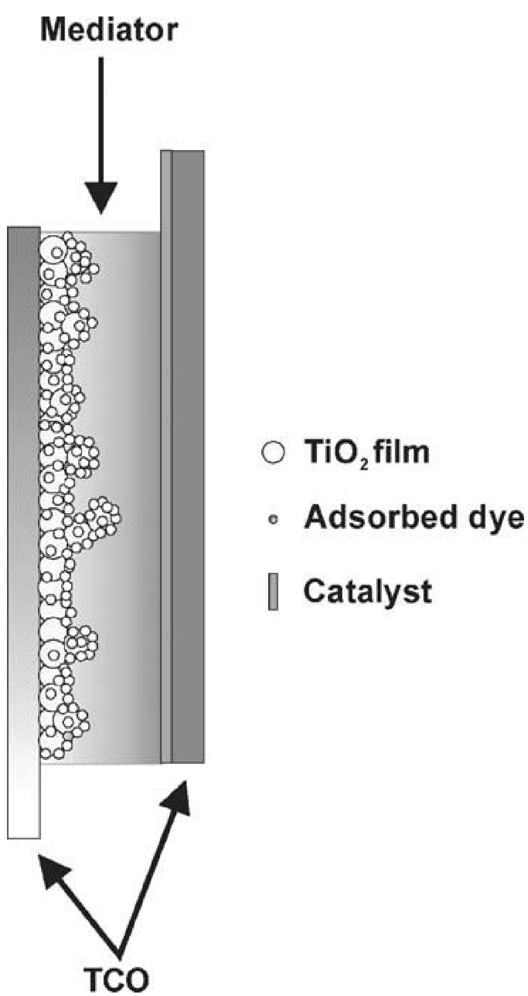


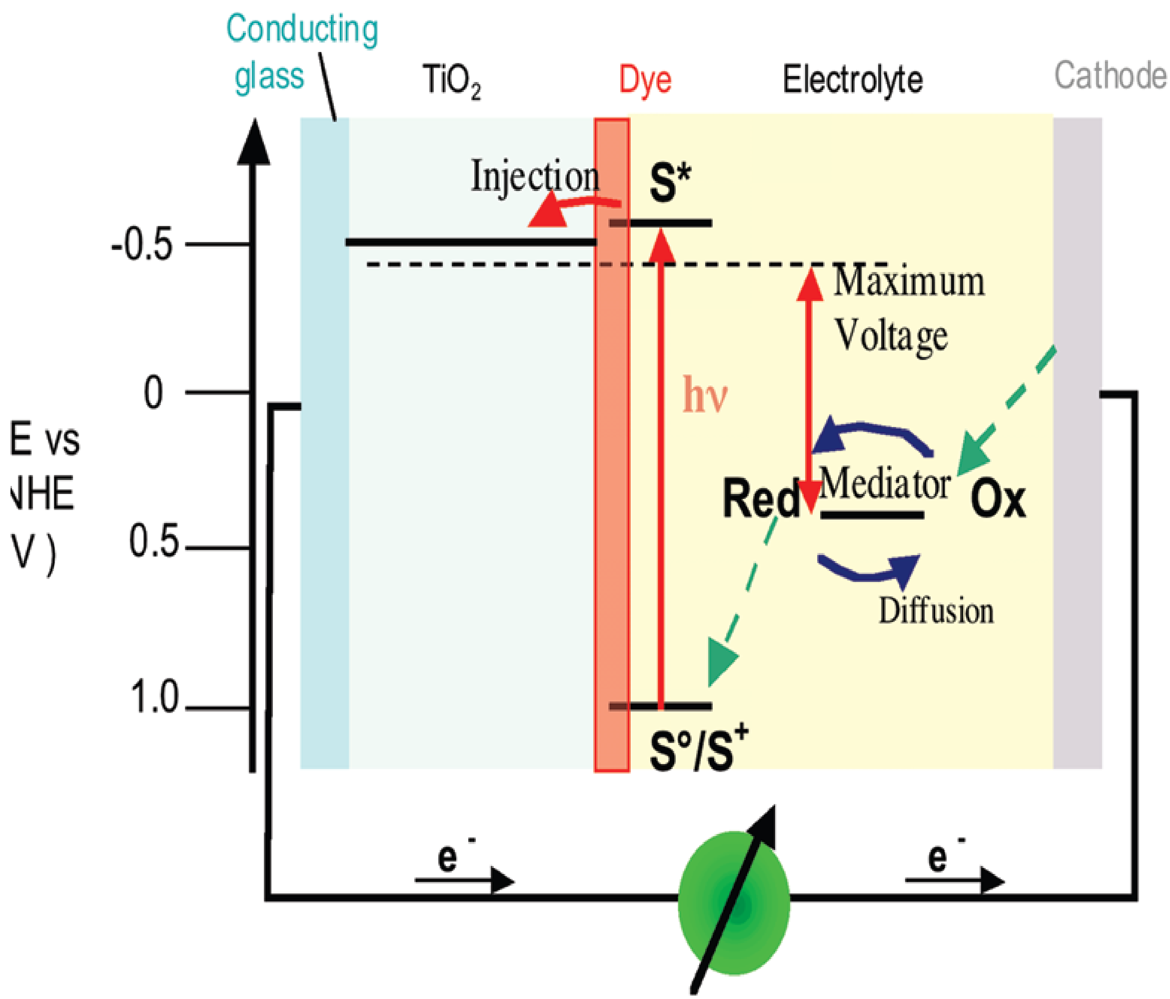
Adv. Funct. Mater. 2001, 11, No. 1, February

Diagrama dos níveis de energia na célula orgânica de heterojunção em volume (MDMO-PPV)/PCBM



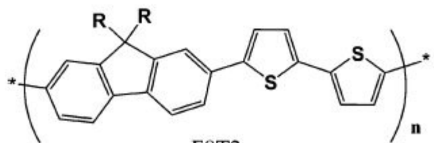
Célula solar sensibilizada por corante (“dye-sensitized solar cell”)

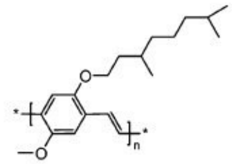


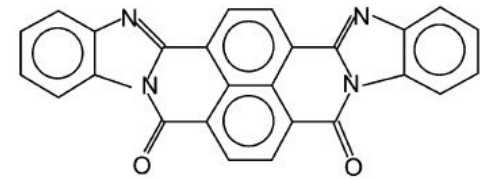


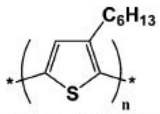
Vol. 42, No. 11 November 2009 1788-1798 **ACCOUNTS OF CHEMICAL RESEARCH**

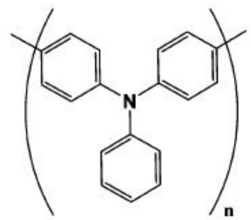
Materiais

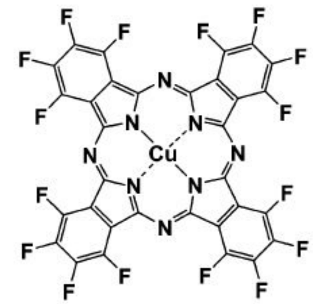

F8T2


MDMO-PPV

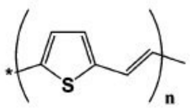

NDI

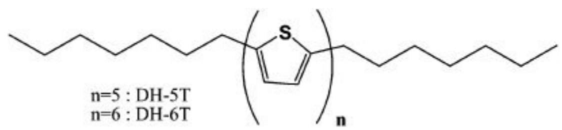

Poly(3- hexylthiophene)

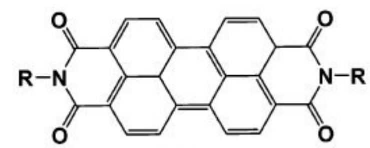

PTAA


F_{16}PcCu

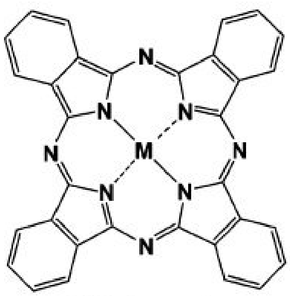

Perylene

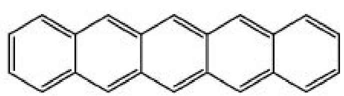

PVT

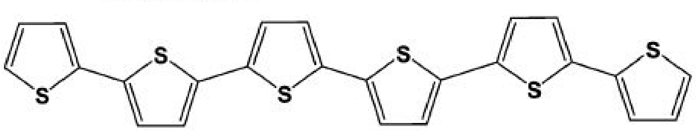

n=5 : DH-5T
n=6 : DH-6T


PDI

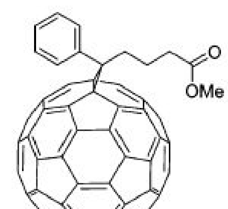

PTCDA

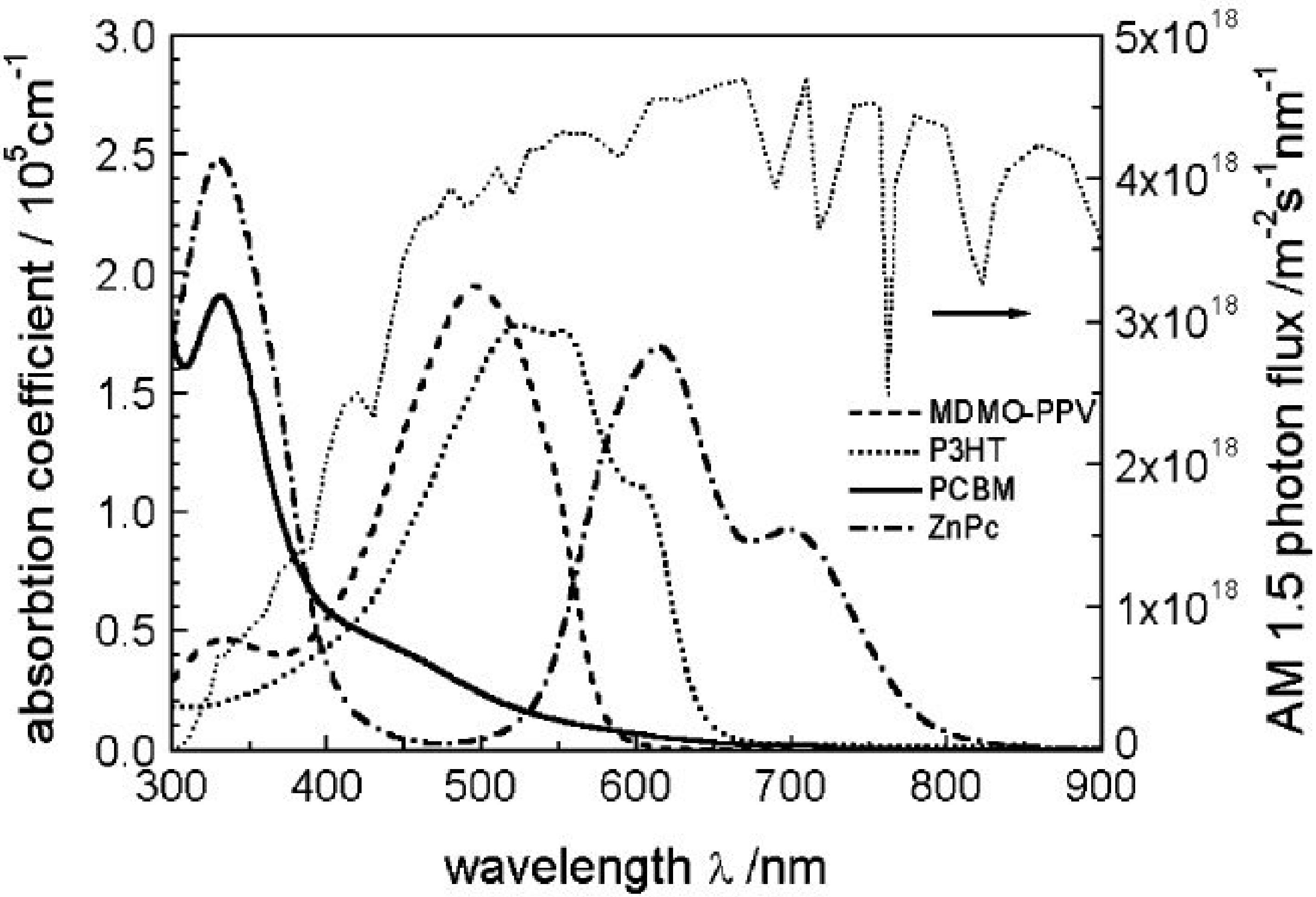

Phthalocyanine


Pentacene


α–sexithiophene

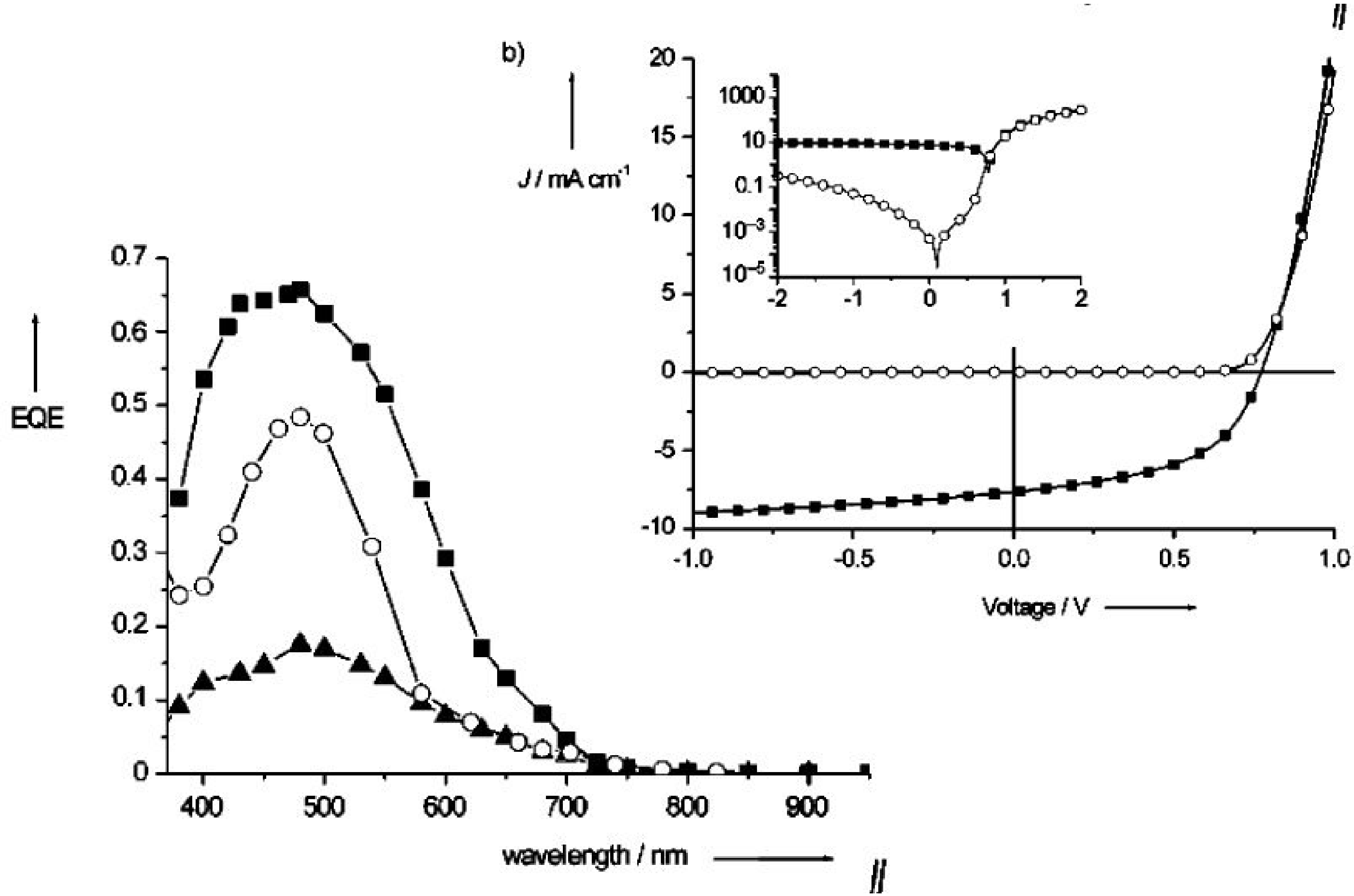

C_{60}


PCBM



Coeficiente absorção de filmes de materiais comumente usados em CSO
são apresentados comparativamente com o padrão AM 1.5
do espectro solar terrestre.

Características elétricas



Grupo de Eletrônica Orgânica

Interessados em trabalhar conosco podem escrever para:

Prof. Fernando J. Fonseca
fernando.fonseca@poli.usp.br
Fone 3091-5256 r218

Depto. de Eng. de Sistemas Eletrônicos (PSI)
Escola Politécnica da USP