

DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS ESTRATÉGICOS PARA FABRICAÇÃO DE CÉLULAS SOLARES DE BAIXO CUSTO

Jilian Nei de Freitas – jfreitas@iqm.unicamp.br

João E. Benedetti – jebenedetti@iqm.unicamp.br

Aginaldo de Souza Gonçalves - agnaldosg@yahoo.com.br

César Avellaneda - cesaravellaneda@yahoo.com

Giovanni de Lima Cabral Conturbia – gconturbia@yahoo.com.br

Ana Flávia Nogueira – anaflavia@iqm.unicamp.br

Laboratório de Nanotecnologia e Energia Solar, LNES, Instituto de Química, UNICAMP, C. Postal 6154, CEP 13084-971, Campinas – SP, Brasil.

Resumo. No ano passado celebramos 11 anos de pesquisa na área de células solares de corante (*dye-sensitized solar cells*). Neste trabalho mostraremos os nossos esforços na otimização dos materiais componentes da célula solar e o aumento da eficiência dos dispositivos a partir do uso desses materiais. Apresentaremos também a construção de um módulo de células solares, sendo o primeiro módulo de células de corante com eletrólito polimérico construído no Brasil. Em outra linha de pesquisa, estamos desenvolvendo células solares orgânicas (*plastic solar cells*,) desde 2005. O interesse neste tipo de tecnologia reside no fato de ser de baixo custo. Neste trabalho apresentaremos também a síntese de novos materiais estratégicos para utilização neste tipo de célula solar.

Palavras-chave: Energia Solar, célula solar de corante, célula solar orgânica, célula solar híbrida

1. INTRODUÇÃO

As células solares excitônicas consistem em dispositivos que convertem luz à eletricidade de uma maneira elegante e limpa. O principal interesse nesse tipo de tecnologia está no fato de serem preparadas com materiais baratos e procedimentos simples, levando à possibilidade de se explorar a energia solar com custos reduzidos, para pequenas aplicações, como em dispositivos móveis (celulares, câmeras, laptops, etc).

O *Laboratório de Nanotecnologia e Energia Solar (LNES)*, localizado no Instituto de Química da UNICAMP, foi criado em 2006 pela Profa. Ana Flávia Nogueira, como um centro de pesquisas para o desenvolvimento de células solares excitônicas de baixo custo, com tecnologias alternativas às tradicionais células solares de silício. Atualmente o grupo é composto por 13 estudantes, entre graduandos, mestres e doutores, nas áreas de química e física.

O *LNES* tem duas principais linhas de pesquisas. A primeira consiste no desenvolvimento de células solares de corante (*dye-sensitized solar cells*) usando eletrólitos poliméricos, visando à fabricação de dispositivos totalmente sólidos e flexíveis. Os estudos são focados no aumento da eficiência e tempo de vida dos dispositivos, além da síntese de novos materiais. Essa linha de pesquisas consiste em uma parceria com o grupo do Prof. Marco-Aurelio De Paoli, do *Laboratório de Polímeros Condutores e Reciclagem* do Instituto de Química da UNICAMP, e vem sendo desenvolvido desde 1996. Atualmente o grupo gerenciado pela Profa. Ana Flávia Nogueira é referência nacional para a montagem e caracterização deste tipo de célula solar.

A segunda linha de pesquisas consiste no desenvolvimento de células solares orgânicas. Esta linha é mais recente, iniciada em 2005 no *LNES*, e tem como principais objetivos a síntese de novos materiais para aplicação nessas células, visando melhorar a absorção de luz e o transporte de cargas na camada ativa. Os materiais que estamos desenvolvendo atualmente consistem em nanotubos de carbono modificados de paredes simples ou múltiplas, novas polímeros condutores, partículas inorgânicas de CdSe, TiO₂ e ZnO, e combinações desses materiais.

Neste trabalho apresentaremos os resultados mais recentes obtidos em nosso grupo na exploração das células solares excitônicas.

2. CÉLULAS SOLARES DE CORANTE

As células solares de corante, também conhecidas como células de Grätzel, (do inglês *dye sensitized solar cells*, *DSSC*) surgiram no início dos anos noventa e desde então têm atraído a atenção e curiosidade da comunidade científica internacional e do mercado de investimentos, que vêem nessa tecnologia uma alternativa promissora de gerar eletricidade a partir do Sol, de uma maneira barata e eficiente.

O funcionamento destas células é bastante simples e constitui um verdadeiro sistema químico integrado. A luz solar é absorvida por um eletrodo composto de nanopartículas de um óxido inorgânico semicondutor depositadas (geralmente TiO₂), na forma de filme, sobre um substrato de vidro condutor. O filme de nanopartículas do semicondutor é então recoberto por uma monocamada de corante (o composto de coordenação *cis*-[(dcbH₂)₂Ru(SCN)₂] onde dcbH₂ = 4,4'-dicarboxi-2,2'-bipiridina é o mais empregado devido ao seu desempenho). Quando o corante absorve luz, seu

estado excitado é capaz de transferir elétrons na banda de condução do óxido semiconductor. O corante oxidado é então regenerado através de sua redução pelos íons iodeto (I^-) que juntamente com os íons I_3^- formam o eletrólito (os eletrólitos usualmente utilizados empregam I_2 e LiI em uma mistura de solventes orgânicos de baixa volatilidade e mais recentemente líquidos iônicos derivados do imidazol). Os elétrons fotogerados são então transportados pelo circuito elétrico, realizam algum tipo de trabalho e atingem o contra-eletródo (platina depositada sobre vidro condutor), onde reduzem os íons tri-iodeto (I_3^-) presentes no eletrólito líquido. Nessas células existem dois processos de recombinação que originam perdas de corrente e potencial. Os elétrons presentes na banda de condução e/ou armadilhas situadas logo abaixo do nível de Fermi, podem ser recombinar com o corante no seu estado oxidado ou podem reagir com os íons I_3^- presentes no eletrólito que permeiam os filme nanoestruturado (esse processo também é conhecido como corrente de escuro). Um esquema da célula solar está apresentado na Fig. 1.

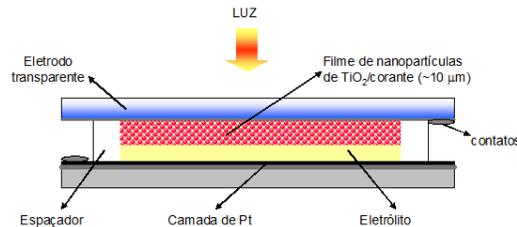


Figura 1- Esquema de uma célula solar de corante (*dye-sensitized solar cell*).

Atualmente, as células de TiO₂/corante apresentam eficiência de conversão de energia de 11 % (área ativa de 0,1 cm²) (Kroon, 2007). Embora a fotocorrente produzida pelas células seja superior a 20 mA cm⁻² e ainda possa ser elevada com o emprego de novos corantes que absorvam na região do infravermelho, uma das limitações está no potencial de circuito aberto que geralmente não ultrapassa 0,8 V. O potencial de circuito aberto é a diferença de energia entre o potencial do par redox presente no eletrólito e a posição do quase-nível de Fermi do semiconductor quando irradiado.

Um outro fator limitante, e talvez seja esse o que compromete a produção e comercialização em larga escala dessas células solares, é a presença de um eletrólito líquido em sua composição. Tendo um componente líquido, é necessária uma vedação perfeita do dispositivo a fim de se evitar evaporação do solvente, entrada de umidade e outras impurezas que possam comprometer a estabilidade e durabilidade do dispositivo (embora a estabilidade também seja comprometida pela degradação do corante e eletrólito).

Várias abordagens têm sido descritas na literatura com a finalidade de substituir o eletrólito líquido por um eletrólito de estado sólido. Eletrólitos poliméricos, principalmente baseados em derivados de poli(óxido de etileno) complexados com sais de sódio e lítio e eletrólitos na forma de gel, denominados “quase-sólidos”, têm sido utilizados neste tipo de dispositivo. Muitos estudos envolvem a utilização de “condutores de buraco” moleculares ou poliméricos em substituição ao eletrólito líquido.

Em 1996, nosso laboratório iniciou os primeiros testes com as células de TiO₂/corante com o objetivo principal de substituir o eletrólito líquido por um eletrólito polimérico. A primeira publicação ocorreu em 1999, entretanto a eficiência de conversão (η) era muito baixa, inferior a 0,5 % sob intensidade de 100 mWcm⁻² (Nogueira, 1999). Atualmente as células de TiO₂ produzidas no nosso laboratório apresentam eficiência de 5 % (em área ativa de 0,3 cm² a 10 mWcm⁻²) (Benedetti, 2008; Gonçalves, 2008). Ao longo desses anos novos eletrólitos poliméricos com maior condutividade iônica foram testados, novos aditivos acrescentados ao mesmo, novas estruturas do óxido semiconductor foram empregadas, de tal forma que pudéssemos avançar no aprimoramento desse dispositivo. Entretanto ainda existe muita coisa a se fazer na área de células de TiO₂/corante, tais como aumentar a estabilidade, o potencial de circuito-aberto, preparar novos corantes mais estáveis e por fim aumentar a eficiência em protótipos com maior área ativa.

2.2 Otimização do eletrólito polimérico

No LNES estamos trabalhando com eletrólitos baseados em copolímeros do poli(óxido de etileno), PEO (Fig. 2). Recentemente aperfeiçoamos a composição do eletrólito, modificando a concentração e o tipo de sal (NaI ou LiI) e adicionando pequenas quantidades de solventes orgânicos como gamma-butirolactona (GBL). Dessa forma conseguimos aumentar significativamente a condutividade iônica, atingindo valores próximos aos obtidos para eletrólitos líquidos (de Freitas, no prelo). Contudo, novos resultados mostraram que não é mais a condutividade do eletrólito polimérico o fator limitante no desempenho dessas células, mas sim os processos de recombinação na interface (tanto dos elétrons fotogerados com o corante, mas principalmente a corrente de escuro devido à alta concentração de iodo presente, 2% mm⁻¹) e a penetração ineficiente do eletrólito polimérico dentro da estrutura porosa do filme de TiO₂.

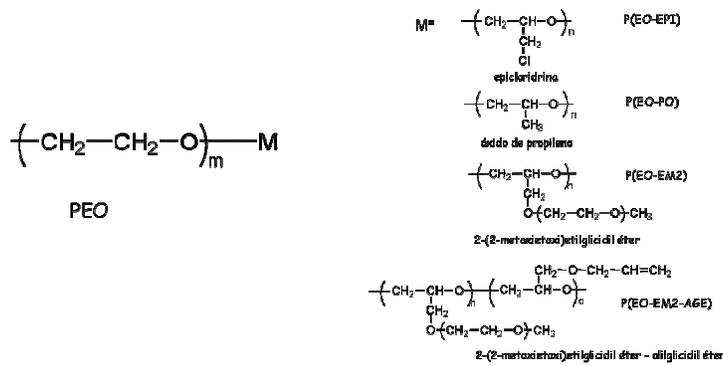


Figura 2- Estruturas dos copolímeros utilizados em eletrólitos poliméricos no LNES.

Esse estudo foi realizado em colaboração com o Prof. James R. Durrant no Imperial College onde foram realizados os experimentos de TAS. Observamos que copolímeros contendo plastificantes em sua composição permitem uma maior solubilidade do sal de LiI, gerando eletrólitos poliméricos com maior condutividade iônica em comparação aos eletrólitos de NaI previamente utilizados pelo grupo. Com o aumento da quantidade de LiI observamos um comportamento de curva “camelo” no gráfico de condutividade iônica em função do sal. Estudos de espectroscopia Raman indicaram a formação de poliiodetos e os estudos de TAS mostraram um aumento da velocidade da reação de regeneração do corante oxidado, muito embora ainda persista uma competição entre regeneração e recombinção. Foram montadas células solares com eletrólitos contendo 7,5, 20 e 30 % mm⁻¹ LiI (a quantidade de I₂ é sempre mantida numa razão 10:1 iodeto:iodo). O melhor resultado foi para o dispositivo contendo 20% LiI e embora a eficiência dessas células ainda esteja baixa e não ultrapasse 4% (sob baixa luminosidade), a modelagem das curvas I-V mostrou que a resistência *shunt* deve ser aumentada, em outras palavras, a eficiência está sendo dominada pelo aumento da recombinção (ou corrente de escuro) quando se aumenta a quantidade de LiI.

Uma grande descoberta na área de células de TiO₂/corante foi a introdução do éter 12-coroa-4 no eletrólito polimérico. Essa espécie é conhecida pela sua forte coordenação com íons Li⁺. Nossa idéia foi de introduzir essa espécie ao eletrólito com a finalidade de não só aumentar a dissociação do sal, diminuindo assim a formação de *clusters* e pares iônicos, mas também de imobilizar os íons Li⁺, deixando os íons iodetos (na verdade poliiodetos) livres para reagir com o corante oxidado. De fato, houve um aumento considerável tanto da fotocorrente quanto do potencial de circuito aberto, mesmo com a diminuição da condutividade do eletrólito (Benedetti, 2008). O aumento do potencial de circuito aberto se deve a retirada desses íons da estrutura nanoporosa do TiO₂, o que origina um aumento do nível de Fermi do óxido. Esses resultados nos conduziram a uma importante conclusão, a de que além da condutividade iônica do meio, outros fatores são importantes para aumentar o desempenho dessas células, tais como diminuição da recombinção, aumento da condutividade associada a espécie de interesse e maior penetração do eletrólito no filme nanoporoso.

Tabela 1. Desempenho de células solares de TiO₂/corante preparadas com eletrólitos poliméricos contendo diferentes concentrações de sal, com e sem adição de éter cora.

Composição do eletrólito	Intensidade / mW cm ⁻²	Corrente / mA cm ⁻²	Potencial / V	Eficiência / %
7,5 % LiI	100	6,3	0,71	2,1
	10	0,6	0,65	2,3
20 % LiI	100	9,1	0,67	3,3
	10	1,0	0,61	3,5
30 % LiI	100	8,3	0,61	2,5
	10	0,9	0,55	3,1
20 % LiI com éter coroa	100	11,4	0,78	3,7
	10	1,14	0,66	4,5

Nesse ano também elucidamos o papel da dopagem de filmes de ZnO com Ga³⁺ e sua aplicação em células solares do tipo Grätzel. Mostramos através de estudos de espectroscopia de absorção transiente (TAS) e SLIM-PCV (*stepped light-induced transient measurements of photocurrent and voltage*) que a dopagem com íons Ga³⁺ tem um profundo efeito na morfologia do filme e na densidade de estados, originando um aumento na eficiência do processo de injeção de elétrons. O dispositivo atingiu um valor recorde para esse tipo de substrato de 5,6 % (Gonçalves, 2008). Esse trabalho é uma colaboração com o grupo da Profa. Marian R. Davolos do Instituto de Química da UNESP, Araraquara que se iniciou ao final de 2003. A dopagem com gálio foi realizada até 5% de Ga³⁺ na matriz de ZnO. Os filmes foram caracterizados por XPS, DRX e MEV. No início desse ano, estudos do coeficiente de difusão e tempo de vida de elétrons por *time of flight* (TOF) SLIM-PCV (do inglês *stepped light-induced transient measurements of photocurrent and photovoltage*) foram realizados e mostraram que o filme torna-se mais condutor com a dopagem, e o tempo de vida dos elétrons aumenta devido a um aumento na densidade de estados.

Estudos de TAS realizados anteriormente no Imperial College indicaram um aumento na velocidade de injeção de elétrons, o que pode estar associado a maior condutividade do filme e ao aumento de níveis de energia na região do nível de Fermi. Dessa forma o dispositivo com $5\% \text{ mm}^{-1}$ de Ga^{3+} atingiu um valor recorde para esse tipo de célula solar com ZnO de 5,6 % (Gonçalves, 2008).

Além de ZnO, também sintetizamos partículas de TiO_2 para aplicação nas células solares de corante. Recentemente mostramos uma comparação entre o desempenho de células solares de corante preparadas com eletrólito polimérico para dois tipos de estruturas de TiO_2 , tubos e esferas (Fig. 3). Observamos que o uso de nanotubos permite a obtenção de filmes mais porosos e, portanto, uma melhor penetração do eletrólito sólido polimérico, melhorando a eficiência da célula solar (Flores, 2007).

Recentemente iniciamos um novo estudo, cujo objetivo é o recobrimento das nanopartículas de TiO_2 com uma fina camada de espessura nanométrica ($\sim 1\text{-}8 \text{ nm}$) de Nb_2O_5 , Al_2O_3 , MgO e SrTiO_3 preparados pelo processo sol-gel. A camada passivadora ou *core-shell* constitui uma barreira energética que diminui a velocidade do processo de recombinação de carga entre os elétrons injetados na banda de condução do TiO_2 e o corante oxidado. De fato o recobrimento com MgO levou a montagem de células com eficiência de 5 % a 100 mWcm^{-2} .

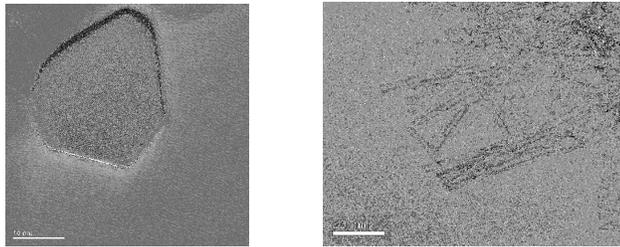


Figura 3- Imagens TEM de nanopartículas de TiO_2 utilizadas em células de corante.

2.3 Módulo fotovoltaico

Em uma parceria entre o LNES e o Prof. Marco-Aurelio De Paoli, investigaram-se células solares de TiO_2 /corante e eletrólito polimérico visando a construção de um módulo de 9 V. Foram montadas e caracterizadas células solares com área ativa de $1,0$ e $4,5 \text{ cm}^2$. As células menores foram irradiadas com uma lâmpada de Xe, e sob 10 mW cm^{-2} foram obtidas eficiências de conversão de energia de 2-3 %. As células com área ativa maior foram caracterizadas diretamente sob o Sol e apresentaram eficiência média de 0,9 % (às 12 h). Estes dispositivos foram usados na montagem de módulos de 16 células conectadas em série, produzindo 9 V de potencial e 183 mW (valor integrado em um dia), Fig. 4a,b. O desempenho do módulo excedeu as expectativas, porém a estabilidade continua sendo o principal desafio para permitir a sua aplicação em escala comercial para funcionamento em ambientes externos.

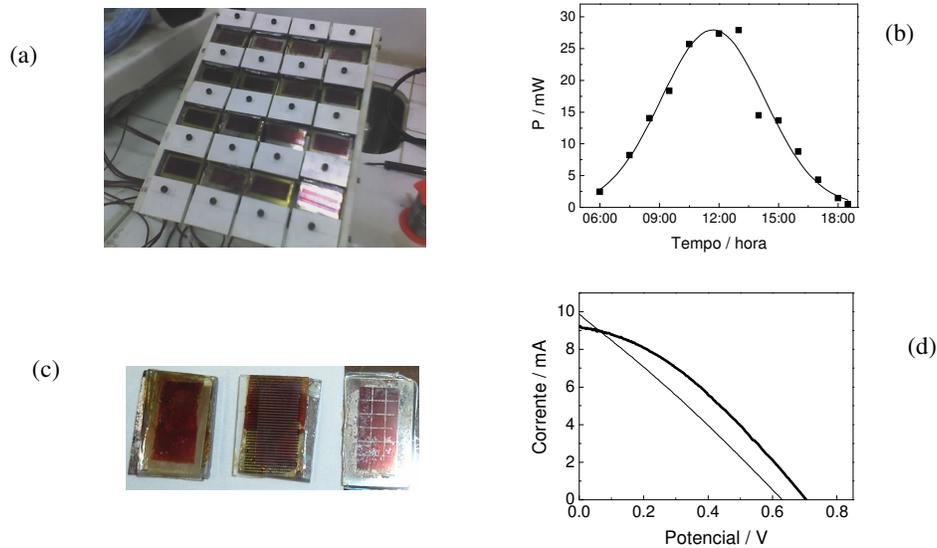


Figura 4- Imagem (a) do módulo de células solares construído no LNES e (b) potência gerada ao longo de um dia sob irradiação solar. Imagem (c) de uma única célula solar do módulo (área ativa $4,5 \text{ cm}^2$), preparada com substrato condutor com ou sem *grids* metálicos e (d) comparação entre as curvas de corrente-potencial obtidas para as células preparadas com substratos com e sem *grid* metálicos.

Em trabalhos anteriores mostramos que a eficiência de conversão de energia obtida empregando eletrólito sólido é bastante elevada para dispositivos com área ativa menor que $1,0 \text{ cm}^2$. Contudo, a eficiência de dispositivos com maior área ativa precisa ser melhorada para permitir sua comercialização. A baixa eficiência obtida para células com grande área ativa se deve principalmente à resistividade superficial do substrato transparente de FTO-vidro (*fluorine tin oxide*), sendo possível diminuir essa resistividade através da adição de linhas metálicas (*grids*) ao substrato.

Linhas de níquel com $500 \mu\text{m}$ de largura (*grids*) foram depositadas sobre a superfície de um substrato de FTO-vidro, utilizando fotografação, lift-off e evaporação térmica (Fig. 4c). A espessura da camada de Ni depositada foi de 200 nm. Esses substratos foram usados na montagem de células solares de TiO_2 /corante. Também foram utilizados substratos de FTO-vidro sem níquel, como padrão. A Fig. 4d mostra as curvas de corrente-potencial (I-V) obtidas sob irradiação policromática de 100 mW cm^{-2} para células solares com área ativa de $4,5 \text{ cm}^2$. Para o dispositivo preparado com substrato com níquel, o comportamento é de diodo, como esperado para uma célula solar. Já o dispositivo preparado sem níquel apresenta um comportamento ôhmico, ou seja, maior resistência em série. Fica evidente a melhora das propriedades da célula solar após adição do *grid* de níquel ao substrato de FTO. O aumento do fator de preenchimento é outro indicativo da redução da resistência interna do dispositivo e da melhora dos contatos elétricos.

3. CÉLULAS SOLARES ORGÂNICAS

Progressos recentes têm sido realizados na área de células solares orgânicas e híbridas empregando monocristais, filmes finos de multicamadas e sistemas de rede interpenetrantes. Acredita-se na possibilidade dessa tecnologia tornar-se competitiva com as células de silício cristalino, principalmente devido a possibilidade de fabricação utilizando métodos de impressão tipo *inkjet*. De fato, ocorreu um salto significativo na eficiência das células passando de 1% a 15 anos atrás para 6% divulgado em 2007 (Kim, 2007). Este salto foi possível com a introdução de uma heterojunção dispersa entre materiais doadores e receptores (Fig.5).

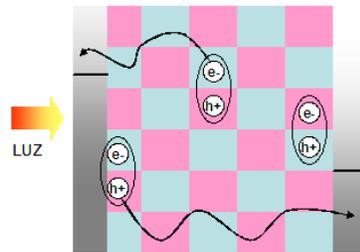


Figura 5- Esquema de uma célula solar orgânica de heterojunção dispersa.

Nesse tipo de célula solar, devido a mistura dos componentes doadores e receptores de elétrons ocorrer em escala ínfima (cerca de 10 nm), a interface fica distribuída por todo o material, de modo que portadores de cargas podem ser gerados de forma eficiente e devem então ser transportadas através de um material apropriado até os contatos. Atualmente esse tipo de célula orgânica é a que tem recebido mais atenção, muito embora ainda sua eficiência esteja longe do limite teórico.

Nos materiais semicondutores orgânicos, polímeros ou moléculas, devido ao enorme grau de desordem (fase amorfa/cristalina) a mobilidade dos transportadores de carga é muito inferior se comparada aos semicondutores inorgânicos, uma vez que o transporte ocorre pelo mecanismo de *hopping* entre partículas. Desse modo, muitos grupos tem se voltado a aplicação de semicondutores inorgânicos, como CdS, CdSe, TiO_2 , ZnO, para melhorar o transporte de elétrons e assim a eficiência. Essas células são conhecidas como células orgânicas híbridas.

Compósitos de polímeros condutores e nanotubos de carbono também são de grande interesse em termos de uma nova interação eletrônica entre esses dois compostos e uma melhora considerável das propriedades mecânicas do filme polimérico. Esta área de pesquisa é bastante interessante. Recentemente estes materiais foram empregados com sucesso na fabricação de OLEDs como camada transportadora de elétrons. Os nanotubos de carbono, por exemplo, agem como receptores de elétrons bem como permitem que os elétrons sejam transportados fornecendo caminhos de percolação. Estudos confirmam a possibilidade de transferência de carga em nanotubos de carbono mesmo quando esses materiais apresentam caráter tanto semicondutor como metálico.

Apesar do grande desenvolvimento das células solares orgânicas, muito ainda precisa ser feito para melhorar a eficiência, como por exemplo:

- (i) otimização da escolha de eletrodos metálicos para melhor o contato ôhmico e maior potencial de circuito aberto;
- (ii) escolha de novos pares doador-receptor;
- (iii) otimização da absorção de luz solar uma vez que os polímeros condutores que vem sendo utilizados não absorvem parte da radiação AM 1.5;
- (iv) otimização da morfologia da mistura (*annealing*, troca de solvente, método de preparação dos filmes)
- (v) emprego de novos materiais, assegurando uma melhora no transporte e mobilidade dos portadores de carga.

O LNES iniciou sua linha de pesquisas com células solares orgânicas em 2005. Desde então o principal foco tem sido a síntese de novos materiais que apresentem características de absorção de luz e transporte de cargas otimizadas para a aplicação nesses dispositivos.

2.1 Nanotubos de carbono

Em 2007 apresentamos a modificação química de nanotubos de carbono de paredes simples (SWCNT) com grupos tiofênicos e sua aplicação em células orgânicas de heterojunção dispersa (Nogueira, 2007). Demonstramos que a modificação química de nanotubos de carbono é uma etapa essencial que deve ser seguida para aumentar a dispersão desses materiais e desse modo aumentar a eficiência da dissociação de excitons na matriz polimérica e o transporte de carga (elétrons).

Estamos dando continuidade as modificações estruturais no SWNT, com a introdução de grupos carboxílicos e tiol (S-H). Após a modificação química, os materiais são caracterizados por técnicas de XPS (*X-ray Photoelectron Spectroscopy*), espectroscopia Raman e no Infravermelho, análise térmica (TGA) e microscopia de transmissão de alta resolução (TEM). Na Fig. 6a está apresentada uma imagem de TEM de nanotubos funcionalizados com tiol. Nesta imagem é possível observar que as modificações ocorrem preferencialmente nas extremidades dos tubos. Os mesmos nanotubos foram empregados em células solares de heterojunção dispersa com combinação com P3HT, com resultados bastante motivadores.

Apesar dos dispositivos contendo SWNT possuírem valores elevados de V_{OC} (0,75V), os mesmos ainda apresentam baixos valores de fotocorrente e fator de preenchimento. Acredita-se que o desempenho das células solares polímero/nanotubo sejam limitadas pela presença de nanotubos metálicos na mistura e pela agregação dos mesmos na matriz polimérica. Dessa forma, o emprego de amostras de SWNT enriquecidas em nanotubos semicondutores e uma melhora significativa na morfologia do compósito, podem vir a proporcionar dispositivos mais eficientes.

Em uma próxima etapa deste trabalho, os nanotubos modificados serão alinhados sobre substratos de ouro, visando obter um novo tipo de morfologia nas células solares que permita transporte de cargas de forma mais eficiente.

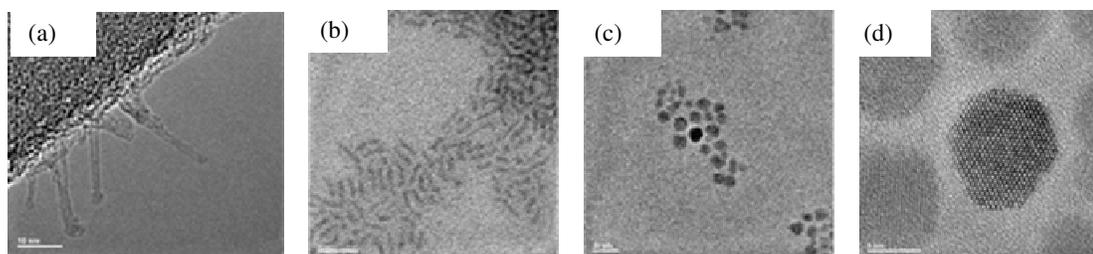


Figura 6- Imagens TEM de (a) nanotubos de carbono modificados com tiol, (b) nanorods de CdSe e (c,d) nanopartículas esféricas de CdSe.

2.2 Células solares orgânicas híbridas

Em uma parceria com o grupo do Prof. Jonas Gruber, do Instituto de Química da USP (São Paulo) estamos sintetizando polímeros condutores com estruturas inéditas para a aplicação em células solares utilizando nanopartículas de CdSe como materiais receptores de elétrons. Nesse trabalho, um dos copolímeros sintetizados foi baseado na combinação de unidades de fluoreno com unidades aromáticas contendo os grupos funcionais bromo e hexilóxi, que juntos atuam como uma estrutura do tipo *push-pull*, onde um grupo é doador e o outro retira densidade eletrônica (Fig 7a). O outro copolímero sintetizado consiste na combinação dos grupos fluoreno com um derivado de piridina (Fig. 7b), que tem como função melhorar a dispersão de nanopartículas inorgânicas nos filmes que serão aplicados nas células solares. O interesse nesses novos polímeros é a presença de heteroátomos que podem se coordenar à superfície das nanopartículas inorgânicas e melhorar a morfologia da camada ativa das células, melhorando a transferência fotoinduzida de cargas e aumentando a eficiência dos dispositivos. Uma outra forma de melhorar a eficiência das células híbridas consiste na otimização da forma e tamanho das nanopartículas inorgânicas. Dessa forma, no LNES estamos também sintetizando partículas nas formas esférica e bastão, com tamanhos variados, para aplicação nas células solares (Fig. 6b,c,d).

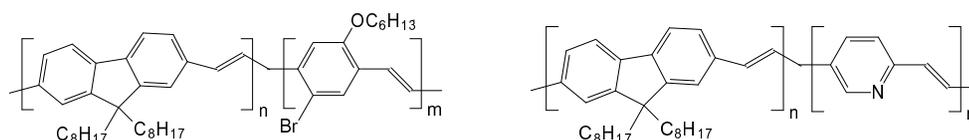


Figura 7- Estrutura química de novos polímeros condutores sintetizados no LNES para aplicação em células orgânicas híbridas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) e ao Centro de Componentes Semicondutores da UNICAMP (CCS) pela infra-estrutura cedida para a realização das análises TEM e dos *grids* metálicos. Agradecemos também à Fapesp (05/56924-0, 04/14829-8, 06/58998-3), Capes e CNPq pelo auxílio financeiro concedido.

REFERÊNCIAS

- Benedetti, J. E. *et al.*, 2008. Enhancement of photocurrent generation and open circuit voltage in dye-sensitized solar cells using Li^+ trapping species in the gel electrolyte, *Chemistry Communications*, 9, 1121-1123.
- De Freitas, J. N. *et al.*, 2006, Dye-sensitized solar cells and solar module using polymer: stability and performance investigations, *International Journal of Photoenergy*, 1-6.
- De Freitas, J. N. *et al.*, 2008. The role of gel electrolyte composition in the kinetics and performance of dye-sensitized solar cells, *Electrochimica Acta*, no prelo.
- Flores, I. C. *et al.*, 2007. Dye-sensitized solar cells based on TiO_2 nanotubes and a solid-state electrolyte, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 189, 153-160.
- Gonçalves, A. S. *et al.*, 2008. Synthesis and characterization of ZnO and ZnO:Ga films and their application in dye-sensitized solar cells, *Dalton Transactions*, 11, 1487-1491.
- Kim, J. Y. *et al.*, 2007. Efficient tandem polymer solar cells fabricated by all-solution processing, *Science*, 317, 222-225.
- Kroon, J. M. *et al.*, 2007. Nanocrystalline dye-sensitized solar cells having maximum performance, *Progress in Photovoltaics*, 15, 1-18.
- Nogueira, A. F. *et al.*, 1999. Solid-state photoelectrochemical device using poly(o-methoxycyaniline) as sensitizer and an ionic conductive elastomer as electrolyte, *Synthetic Metals*, 105, 23.
- Nogueira, A. F. *et al.*, 2007. Polymer solar cells using single-wall carbon nanotubes modified with thiophene pedant groups, 111, 18431.
- Patyk, R. L. *et al.*, 2007. Carbon nanotube-polybithiophene photovoltaic devices with high open-circuit voltage, 1, R43-R45.

DEVELOPMENT OF NEW STRATEGIC MATERIALS FOR APPLICATION IN LOW COST SOLAR CELLS

Abstract. *In the last year we celebrated 11 years of research with dye-sensitized solar cells. In this paper we show our recent efforts considering the optimization of the materials and their application to solar cells with increased efficiency. We also present the results obtained for the first solar module built with a polymeric electrolyte in Brazil. Another research line comprises the development of organic solar cells, which we have been performing since 2005. The interest in this kind of technology is related to its low cost of production. In this paper we also present the synthesis of new strategic materials for application in this kind of solar cell.*

Key words: Solar Energy, Dye-sensitized solar cells, Organic solar cells, Hybrid solar cells