

Propriedades Ópticas e Elétricas de Semicondutores Orgânicos à Base de Polímeros Conjugados

Silésia de Fátima Curcino da Silva, Márcia Dutra Ramos Silva, Newton Martins Barbosa Neto, Raigna Augusta Da Silva Zadra Armond, Alexandre Marletta.

Instituto de Física, Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila , 2160; CEP: 38400-902 - Uberlândia - Minas Gerais – Brasil e-mail: *sisifisica@yahoo.com.br*

Resumo: Os polímeros conjugados e emissores de luz apresentam propriedades ópticas e eletrônicas similares às dos semicondutores inorgânicos. A utilização destes materiais como camada ativa, através de seu processamento na forma de filmes finos, permite a fabricação de dispositivos eletroluminescentes que vão desde os diodos emissores de luz (LED) a células fotovoltaicas. Neste trabalho estudamos as propriedades ópticas e elétricas desses polímeros conjugados. O material estudado é o semicondutor orgânico poli(p-fenileno de vinilideno) (PPV). A apresentação dos resultados é feita através de medidas de absorção óptica, fotoluminescência, tensão x corrente e corrente x tempo.

Palavras chaves: propriedades ópticas e elétricas, polímeros conjugados, semicondutores orgânicos, PPV(poli(p-fenileno de vinilideno)), a célula fotovoltaica.

ABSTRACT: The polymer conjugated and light emission show optical and electronic properties similar to the of the inorganic semiconductors. The use of this materials as layer activates, through your processing in the form of fine films, it allows the production of devices electro-luminescent since light emission diodes (LED) to photovoltaic cell .In this work we have studied the optical and electric properties of this polymer conjugated. The studied materials are organic semiconductors to the base of the poly (p-phenylene vinylene) (PPV). The presentation of the results will be made through measures of optical absorption, photo-luminescent, tension x current and current x time.

KEY WORDS: optical and electric properties, synthesis poly (p-phenylene vinylene) (PPV).

1. Introdução

Polímeros, do grego *poli* que significa muitas e *meros* que significa unidades, são macromoléculas onde os

meros (ou monômeros) se repetem, ou seja, polímeros são moléculas longas cujas estruturas são obtidas através de processo químico de polimerização de unidades

estruturais menores e idênticas chamadas monômeros^[1]. Estes compostos orgânicos geralmente formam uma cadeia principal de átomos de carbono unidos por ligações covalentes e, eventualmente ligados aos átomos de carbono, átomos de hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e halogênios. O tamanho da molécula polimérica é definido pela sua massa molecular ou então pelo número de monômeros que se repetem ao longo da molécula. Esta repetição determina o grau de polimerização (n) da cadeia. Mais precisamente, grau de polimerização é o valor médio do número de monômeros que se repetem na cadeia. As macromoléculas que podem ser consideradas polímeros, que possuem propriedades físicas úteis, tem pesos moleculares da ordem de 10^3 a 10^6 .^[1] Se somente uma espécie de monômero está presente na estrutura do polímero, este é chamado homopolímero. Se espécies diferentes de monômeros são empregadas, este é chamado copolímero. Na figura 1 apresentamos a estrutura química do polímero comercial polietileno (PE), como exemplo.

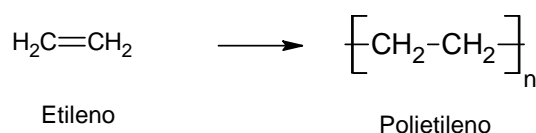


Figura 1. Exemplo de relação de polimerização monômero-polímero para o polietileno (PE) [2].

Dependendo da natureza química dos monômeros e da técnica empregada para a formação dos polímeros (polimerização), estes podem exibir diversas conformações espaciais. Os mais comuns são os de estrutura linear, ramificada ou em rede (reticulada). A figura 2 apresenta exemplos destas estruturas.

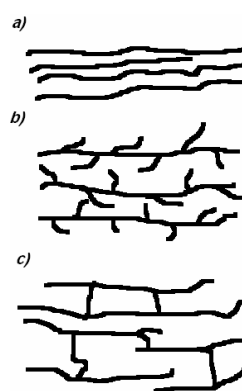


Figura 2. Representação das cadeias macromoleculares:
(a) cadeia sem ramificação, (b) cadeia com

As classificações mais comuns dos polímeros envolvem a **estrutura química**, o **método de preparação**, as **características tecnológicas** e o **comportamento mecânico**,^[1] como segue:

i) segundo a **estrutura química**, conforme os grupos funcionais presentes nas macromoléculas, estas serão classificadas em poliamidas, poliésteres, etc;

ii) quanto ao **método de preparação** são divididos, em linhas

gerais, em **polímeros de adição** e **polímeros de condensação**, conforme ocorra uma simples adição, sem subproduto, ou uma reação em que são abstraídas dos monômeros pequenas moléculas, como HCl, H₂O e KCl;

iii) as **características tecnológicas**, que impõem diferentes processos tecnológicos, são a base da classificação dos **polímeros termoplásticos** e **termorrígidos**. Os polímeros lineares ou ramificados, que permitem fusão por aquecimento e solidificação por resfriamento, são chamados **termoplásticos**. Os polímeros que, por aquecimento ou outra forma de tratamento, assumem estrutura tridimensional, reticulada, com ligações cruzadas, tornando-se insolúveis e infusíveis, são chamados **termorrígidos** (*thermoset*).

As ligações químicas são responsáveis pelas propriedades de condução ou não dos materiais, sendo que um polímero só se torna um condutor quando são removidos elétrons (oxidação) ou quando são adicionados elétrons (redução). Esse processo é denominado de *dopagem*. Assim, a característica principal dos polímeros semicondutores é a mudança de suas propriedades (óptica e elétrica) em função do seu estado de oxidação. Por exemplo, a mudança de cor conhecida como eletrocromismo é o fenômeno de mudança das propriedades ópticas de um

material causado pela aplicação de potencial externo. Este fenômeno ocorre em alguns óxidos de metais de transição e em várias substâncias orgânicas e é consequência das diferentes propriedades ópticas.^[3]

As propriedades eletrônicas, singulares aos polímeros eletrônicos, advêm do fato de existir ao longo da cadeia principal a alternância de ligações simples e duplas (polímeros conjugados). Nas ligações simples, a densidade eletrônica entre dois átomos se concentra sobre o eixo que os une e nas ligações duplas a densidade eletrônica também se concentra entre os átomos, mas de um lado e do outro sobre o plano que contém os dois átomos. Essas ligações acabam por gerar uma configuração eletrônica à molécula, abrindo uma região proibida (*gap*) exatamente no nível de Fermi da distribuição eletrônica; devido à dimerização do sistema (instabilidade de Peierls).^[4] Ao alterar a rota de síntese química do polímero, altera-se o *gap* do material e, conseqüentemente, suas propriedades ópticas, tais como, o espectro de absorção, gerando-se novos produtos com propriedades eletrônicas diferentes das originais.

No caso dos polímeros conjugados, a absorção da luz pela molécula resulta na promoção do elétron de um orbital

molecular de mais baixa energia π para um orbital de mais alta energia π^* , ou simplesmente uma transição intrabanda $\pi-\pi^*$ com energia entre 1 a 4 eV (de 1200 a 300nm).

Os polímeros semicondutores formam uma nova classe de materiais que combinam a flexibilidade e facilidade de processamento típico de polímeros, com propriedades ópticas e eletrônicas de metais e semicondutores. Eles tornam realidade várias aplicações que seriam impossíveis com outros materiais, ou reduzem os custos de produtos já existentes. Exemplos podem ser tão diversos como revestimentos anticorrosivos ou antiestáticos, baterias ultraleves e dispositivos optoeletrônicos flexíveis (lasers, monitores de vídeo coloridos, fotocélulas e fotodetectores de grande área, janelas de transparência controlada, papel de parede luminoso, etc). Algumas dessas aplicações já foram desenvolvidas e fazem parte do nosso dia-a-dia; muitas outras devem estar no mercado em breve.^[5]

Alguns desses polímeros descobertos têm outras propriedades interessantes: emitem luz quando conduzem eletricidade, dependendo do potencial aplicado. Esses polímeros são conhecidos como LEP - *light emitting polymers*. A condução eletrônica em

polímeros condutores (ou polímeros conjugados) pode ocorrer por mecanismos distintos, definidos na literatura com a formação de sólitons, pólarons e bipólarons, que são portadores de carga introduzidos ao longo da cadeia polimérica pela ionização da mesma por um aceitador ou doador de elétrons.^[8]

O poli(*p*-fenileno vinileno) (PPV) é um polímero semicondutor emissor de luz que possui estrutura com alternância de ligações simples e duplas, obtido a partir do processamento e da conversão térmica de um polímero precursor não conjugado, o poli (cloreto de xilideno tetrahidrotiofeno) (PTHT). A fórmula estrutural do PPV é apresentada na figura abaixo.

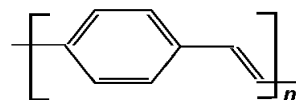


Figura3. Fórmula estrutural do PPV.

O PPV, além da fácil processabilidade e baixo custo, emite luz em várias frequências do visível. Assim, utilizaremos este semicondutor no nosso dispositivo e faremos medidas elétricas na tentativa de se entender seus mecanismos de condução de carga e sua eficiência no contexto do trabalho.

2. Metodologia

i) Eletrodo

Neste trabalho utilizamos lâminas de vidro recoberto com óxido de estanho dopado com flúor (FTO), onde foi confeccionado o eletrodo interdigitado, que é um circuito sobre a camada de FTO, como mostra a figura 4.a. O dispositivo contém 24 canais (interdigitado) de 1 mm de comprimento por 350 μm de largura. A figura 4.b mostra uma foto dos eletrodos.

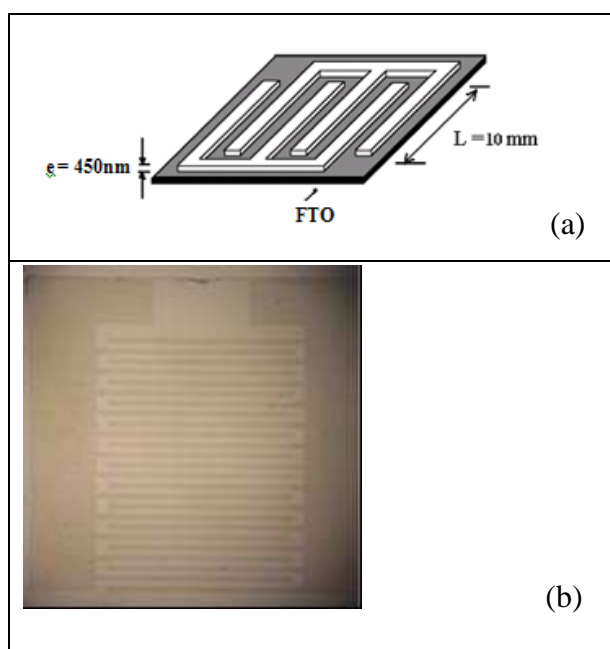


Figura 4. a) Representação esquemática do dispositivo interdigitado. b) Fotografia de um substrato de vidro coberto com FTO modelado no padrão de interdigitado.

ii) Preparação dos eletrodos interdigitados:

Inicialmente o padrão do eletrodo interdigitado é desenhado em escala através de um editor gráfico vetorial, por

exemplo, o AI (Adobe Illustrator). Em seguida, o mesmo desenho é impresso em alta resolução em um papel transfer, comercialmente encontrado em lojas especializadas para a confecção de circuitos integrados. Posteriormente o papel transfer é colocado sobre o substrato de FTO previamente lavado. A transferência é processada com o auxílio de uma prensa HT3020 da Ferragini Design. O material utilizado foi: Becker, acetona, zinco em pó fino, substrato FTO, água deionizada, pinça, HCl 1 M e multímetro digital. O procedimento segue as seguintes etapas:

1. Lavagem do substrato com acetona.
2. Enxágüe (água destilada).
3. Secagem.
4. Verificação do lado do FTO com multímetro.
5. Colocação do papel transfer (lado FTO).
6. Levar conjunto para Prensa já aquecida ($\sim 180^\circ$). O FTO + transfer ficam voltados para cima. A prensa deve descer paralela à base para evitar que o transfer se desloque da base. Assim que o tempo de impressão ($t \sim 45\text{s}$) terminar, o apito irá soar e o substrato deverá, com cuidado, ser retirado imediatamente. Observação: a pressão é ajustada manualmente.

7. Passar pasta de zinco no sentido das trilhas (catalisador do ácido que irá corroer o FTO não protegido pela tinta). Utilizamos 0,4580g do zinco para 0,5 ml de água para fazer a pasta.
8. Imersão em ácido clorídrico 1 MOL/L. Observação: não se deve deixar a amostra por mais de 30s na solução para evitar que o HCl+Zn venha corroer o FTO protegido.
9. Enxágüe (água destilada).
10. Lavagem com acetona para retirar o restante de tinta.
11. Enxágüe novamente.
12. Secagem.

iii) Processo de lavagem dos substratos

O material utilizado para lavar o substrato foi: hidróxido de amônia, peróxido de hidrogênio 30%, água deionizada, suporte para substrato e béquer. Utilizamos as seguintes etapas:

1ª Etapa: lavagem dos substratos, suporte de vidro e do béquer com água abundante e detergente.

2ª Etapa: montagem dos substratos no suporte de vidro dentro do béquer.

3ª Etapa: lavagem dos substratos com bastante água destilada.

4ª Etapa: banho térmico a 80° C dos substratos em solução de água

deionizada, peróxido de Hidrogênio e hidróxido de amônia (H₂O:H₂O₂:NH₄OH) na proporção 5:1:1, respectivamente, durante 1 hora para hidrofilição do substrato.

5ª Etapa: substratos descansam em água destilada.

iv) Preparação dos filmes automontados

A técnica utilizada foi a de automontagem, onde o substrato é previamente tratado e submerso por um tempo pré-determinado numa solução contendo polication. Em seguida é lavado em água ultrapura (Milli-Q) e submerso numa solução contendo poliânion por um tempo também pré-determinado. No final do processo é obtida uma camada dupla (bicamada) que pode ser repetida até atingir a espessura desejada após uma otimização dos parâmetros físicos e químicos que envolvem esta técnica.

Os filmes de PPV foram obtidos a partir da solução precursora formada de PTHT e DBS (sal de sódio do ácido dodecilbenzenosulfônico). Essa solução foi preparada como alternativa da técnica descrita por Decher e colaboradores de adsorver ao substrato o polication depois o poliânion, alternadamente.^[6] Os filmes automontados de 20 camadas de PTHT+DBS seguiram as seguintes etapas:

- Mergulhar o substrato na solução PTHT/DBS por 30s.
- Mergulhar na água destilada.
- Secagem da amostra por spinner.
- Repetir as etapas anteriores n vezes, conforme numero de camadas desejadas; nosso caso n=20.

Na figura 5 é apresentado o esquema de montagem dos filmes de PTHT/DBS de 20 camadas obtidas pela técnica de automontagem.

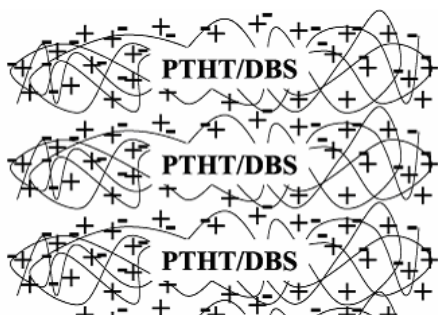


Figura 5. Esquema do filme PTHT/DBS de 20 camadas obtidas pela técnica de SA.

v) Síntese do PPV

As facilidades de processamento dos materiais poliméricos passam inicialmente pela rota de síntese química. Como o PPV não é solúvel em solventes polares ou apolares, utiliza-se uma rota química, denominada rota do precursor solúvel. Neste caso, obtém-se primeiramente o polímero precursor poli (cloreto de tetrahidrotiofeno de xililideno) (PTHT), que é solúvel até mesmo em água.

[7]

A síntese do PTHT inicia-se a partir do monômero *p*-xileno-bis (tetrahidrotiofeno) diluído em metanol a 0°C. A polimerização ocorre então pela adição da base (NaOH) e o processo é finalizado com a adição do ácido (HCl), eliminando os resíduos químicos pelo processo de diálise. A obtenção do polímero conjugado PPV é realizada através de uma conversão térmica, na qual o filme de PTHT é submetido a uma etapa de eliminação do grupo lateral tetrahidrotiofeno, como mostra a figura 6. Entretanto quando este grupo é estabilizado com o contra-íon Cl, as temperaturas de eliminação térmica são superiores a 200°C, como se verifica na reação (i) esquematizada na figura 6.

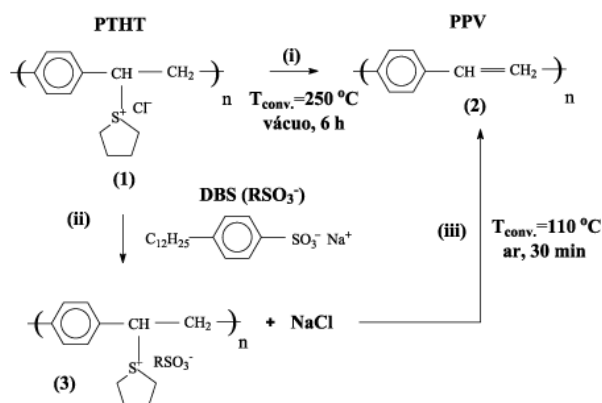


Figura 6. Esquema do processo de conversão do PPV à baixa temperatura: (i) esquema da rota convencional de tratamento térmico para obter PPV; (ii) adição do DBS ao PTHT; (iii) processo de eliminação do grupo de saída tetrahidrotiofeno complexado com o contra-íon DBS a baixas temperaturas (110°C) em tempos rápidos (30 min).

Uma rota alternativa para obter-se PPV a mais baixa temperatura é a troca em solução do contra-íon Cl do polímero precursor PTHT pelo sal de sódio do ácido dodecilbenzenosulfônico (DBS); a temperatura de conversão do PPV é reduzida consideravelmente para 110°C, como mostra a reação (iii) na figura 6. A vantagem deste procedimento é a produção de filmes poliméricos com menos defeitos estruturais.

Foram produzidas 10 amostras de filmes finos utilizando a técnica de automontagem de PTHT/DBS com 20 camadas, correspondente a aproximadamente 60 nm de espessura.

O substrato de FTO é previamente lavado e hidrofiliado e posteriormente submerso por um tempo pré-determinado ($t_1=30s$) na solução de PTHT (polication) e em seguida é lavado em água ultrapura. Este procedimento é repetido utilizando-se a solução de DBS (poliânion) por tempo pré-determinado ($t_2=t_1$), secando-o em seguida por rotação. No final destes dois passos é obtida uma camada dupla (bicamada) que foi repetida 20 vezes para obter a espessura desejada.

Para a conversão do PPV, utilizamos as amostra 2,3,4 e 6 que foram colocadas em uma estufa a vácuo com uma temperatura de 110°C por 30 minutos.

vi) Caracterizações ópticas

a) Absorção óptica

As medidas de absorção óptica foram realizadas utilizando um equipamento que tem como fonte de luz uma lâmpada de Deutério-Tungstênio da Ocean Optics (modelo Dtmmini) operando numa faixa de comprimento de onda de 200 a 800 nm como mostra o esquema da Figura 7. A montagem experimental é do tipo caseiro e usa dois espelhos côncavos focando o feixe de luz na amostra a ser analisada e consequentemente sendo lido em um espectrofotômetro CCD da Ocean Óptics (modelo USB 2000).

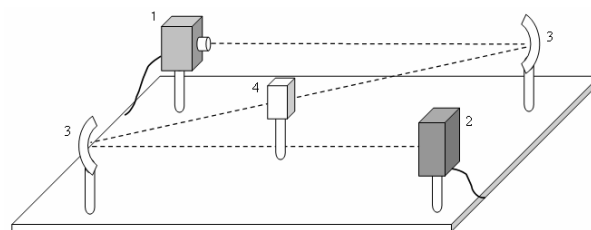


Figura 7. Montagem experimental para absorção óptica.

b) Fotoluminescência

As medidas de fotoluminescência foram realizadas no Laboratório de Polímeros do Grupo Benhard Gross no Instituto de Física da USP de São Carlos utilizando um equipamento Shimadzu spectrofluorophotometer(RF-5301 PC).

3. Resultados e discussões:

i) Medidas de absorbância e fotoluminescência

A figura 8 apresenta os espectros de absorção de 6 amostras de PTHT na região do visível (comprimento de onda que vai , aproximadamente, de 350 a 550nm). Esses espectros nos mostram 2 regiões características: uma de 370 a 410nm e a outra, bem menor, de 415 a 450 nm. Os espectros das amostras demonstram comportamentos semelhantes, o que nos leva a concluir que o processo de deposição é reprodutivo. Para comparação, o espectro do substrato FTO está presente.

A primeira banda está associada às transições localizada dos anéis de benzeno e ou agregados moleculares do estilbeno. A segunda banda está associada a estados não localizados do PPV de diferentes graus de conjugação.

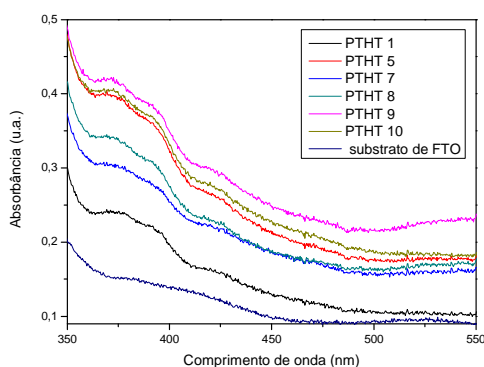


Figura 8. Espectro de absorção de filmes de PTHT/DBS depositados sobre o interdigitado (FTO) obtidos pela técnica de automontagem, juntamente com o espectro do substrato de FTO.

A figura 9 apresenta os espectros de absorção de 4 amostras de PPV convertidos à vácuo a uma temperatura de 110°C por 30 minutos, após o tratamento térmico, os quais mostram uma curva na região do visível com uma banda larga que vai de 470 a 525 nm. Todos os espectros demonstram comportamentos iguais, o que confirma a hipótese de que os filmes são reprodutivos utilizando a técnica de automontagem. Além disso, esta banda está diretamente associada aos estados não localizados do PPV, o que confere a este o caráter de semicondutor. Esta banda se deve à presença de segmentos de PPV com vários tamanhos de conjugação ao longo da cadeia principal. Devidos a presença de defeitos conformacionais e estruturais.

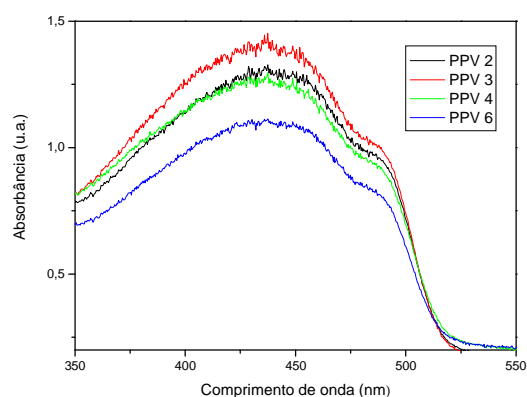


Figura 9. Espectro de absorção de filmes de PPV depositados sobre o interdigitado (FTO) obtidos pela técnica de automontagem.

Na figura 10 apresentamos os espectros de fotoluminescência das 6

amostras estudadas neste trabalho (absorção-figura 8) de PTHT, os quais mostram uma curva na região do visível com um pico nas proximidades de 475 nm. Novamente podemos observar que os espectros de todas as amostras são iguais, reafirmando a hipótese de o processamento ser reprodutivo. Basicamente, os espectros apresentam três picos característicos. O primeiro a altas energias (~475nm) se refere às transições eletrônicas e os outros dois (~515 e 550nm) às replicas de fônon.

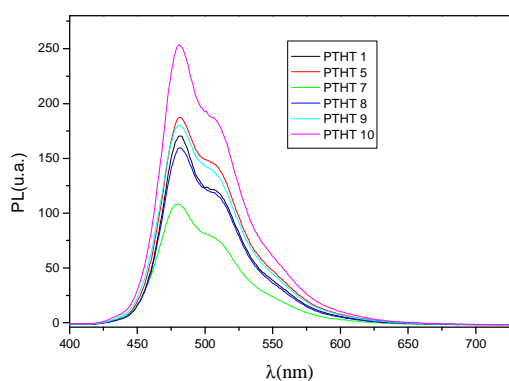


Figura 10. Medida de fotoluminescência das amostras de filmes de PTHT/DBS depositado sobre o interdigitado (FTO) obtidos pela técnica de automontagem.

Na figura 11 encontra-se os espectros de fotoluminescência de 4 amostras de PPV(absorção-figura 9) com uma curva apresentando dois picos na região do visível. O primeiro pico se apresenta nas proximidades de 525nm, enquanto que o segundo pico esta próximo de 550nm. Essa curva demonstra também uma pequena banda à direita que vai de

575 a 625 nm. E novamente os espectros das amostras demonstraram igualdade de comportamento reafirmando a hipótese de o material ser reprodutivo.

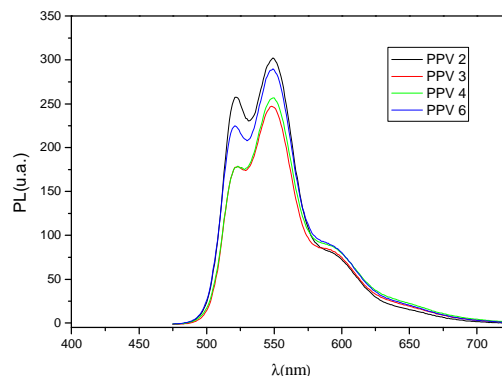


Figura 11. Medida de fotoluminescência das amostras de filmes de PPV, depositado sobre o interdigitado.

ii) Caracterização elétrica

As medidas de tensão versus corrente das amostras depositadas sobre interdigitado (FTO), obtido pela técnica de automontagem, foram obtidas utilizando um porta-amostra, o qual garante um contato ôhmico entre o aparato experimental e o dispositivo. O aparelho utilizado nas medidas é o KEITHLEY, modelo 2410-c.

No gráfico dado pela figura 12 apresentamos o resultado da medida elétrica do dispositivo interdigitado. Através do ajuste linear dos dados (linha vermelha) obtemos valores de resistência igual a $8,1 \times 10^9 \Omega$ para os 24 pares de eletrodos. Este resultado mostra que o

processo de corrosão dos canais é altamente eficiente, uma vez que a resistividade do FTO é de $10\Omega/\text{cm}$.

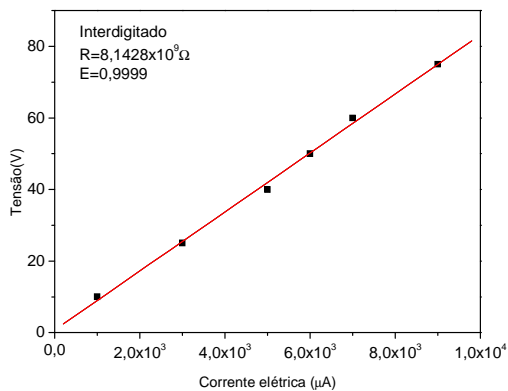


Figura 12. Medida de tensão versus corrente do interdigitado.

Resistência do PTHT/DBS:

Nas figuras 13.a a 13.e apresentamos os gráficos dos resultados para o dispositivo interdigitado contendo um filme de 20 camadas de PTHT/DBS, a linha vermelha corresponde ao ajuste linear dos dados. Os valores da resistência de cada amostra são dados na tabela 1, o que mostra que o material é, razoavelmente, um isolante. Além disso, que os contatos metal/polímero podem ser considerados ôhmicos.

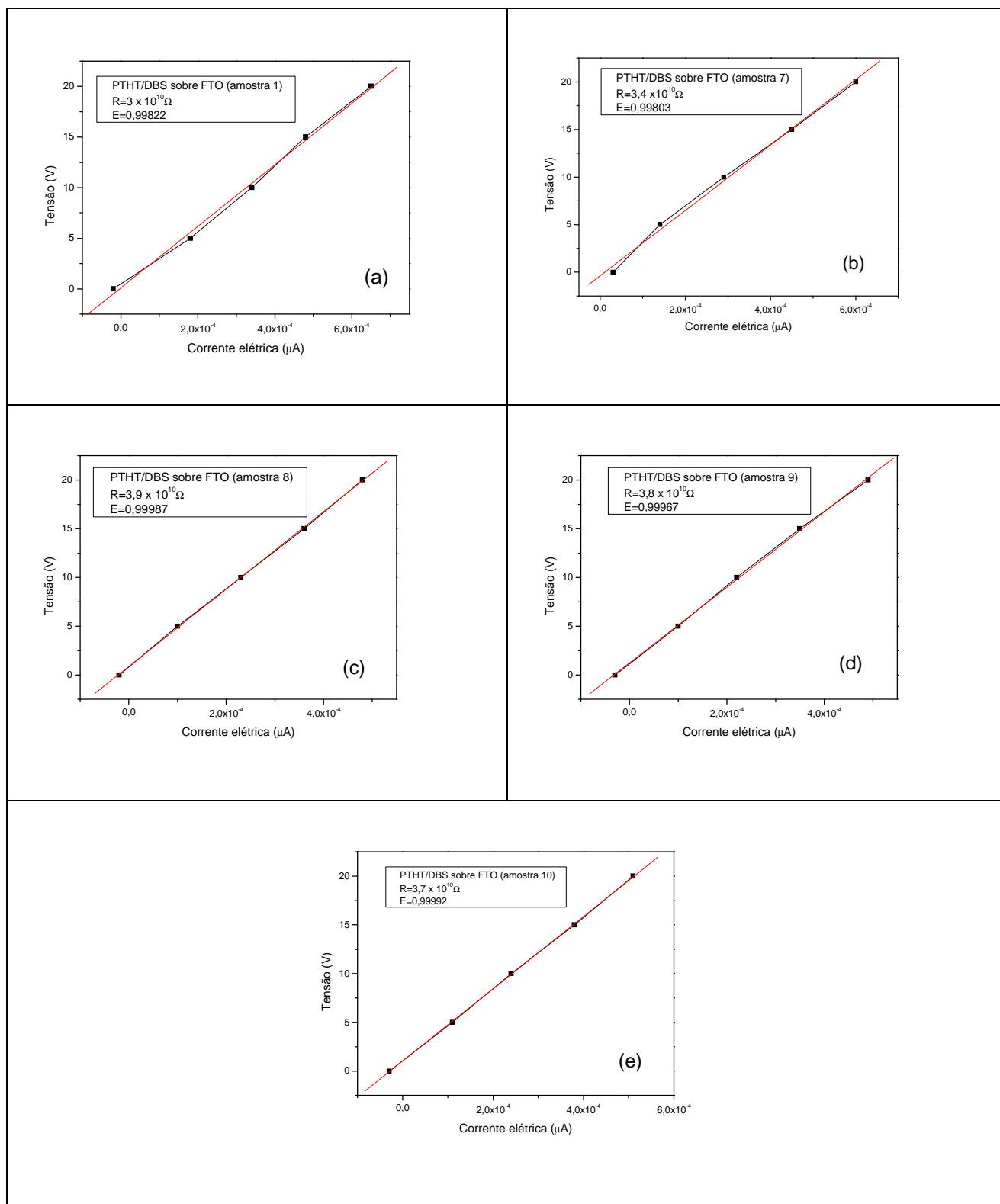


Figura 13: Medida de tensão versus corrente da amostra de PTHT/DBS: a) amostra 1; b) amostra 7; c) amostra 8; d) amostra 9; e) amostra 10.

Tabela 1: Resistência das amostras de PTHT/DBS.

Amostras de PTHT/DBS	Resistência (Ω)
Amostra 1	3×10^{10}
Amostra 7	$3,4 \times 10^{10}$
Amostra 8	$3,9 \times 10^{10}$
Amostra 9	$3,8 \times 10^{10}$
Amostra 10	$3,7 \times 10^{10}$

Resistência do PPV:

Nas figuras 14.a a 14.d apresentamos os gráfico de I vs. V para um

filme de PTHT/DBS de 20 camadas convertidas para PPV a 100°C , a linha vermelha corresponde a um ajuste linear. Novamente podemos observar que os contatos metal/polímero podem ser considerados ôhmicos. A resistência total do dispositivo de PPV diminui de 2 ordens de grandeza quando comparado com o dispositivo de PTHT/DBS, o que nos mostra que o PPV pode ser considerado um semiconductor e o PTHT/DBS um isolante. Os valores de resistência das amostras de PPV estão dispostas na tabela 2.

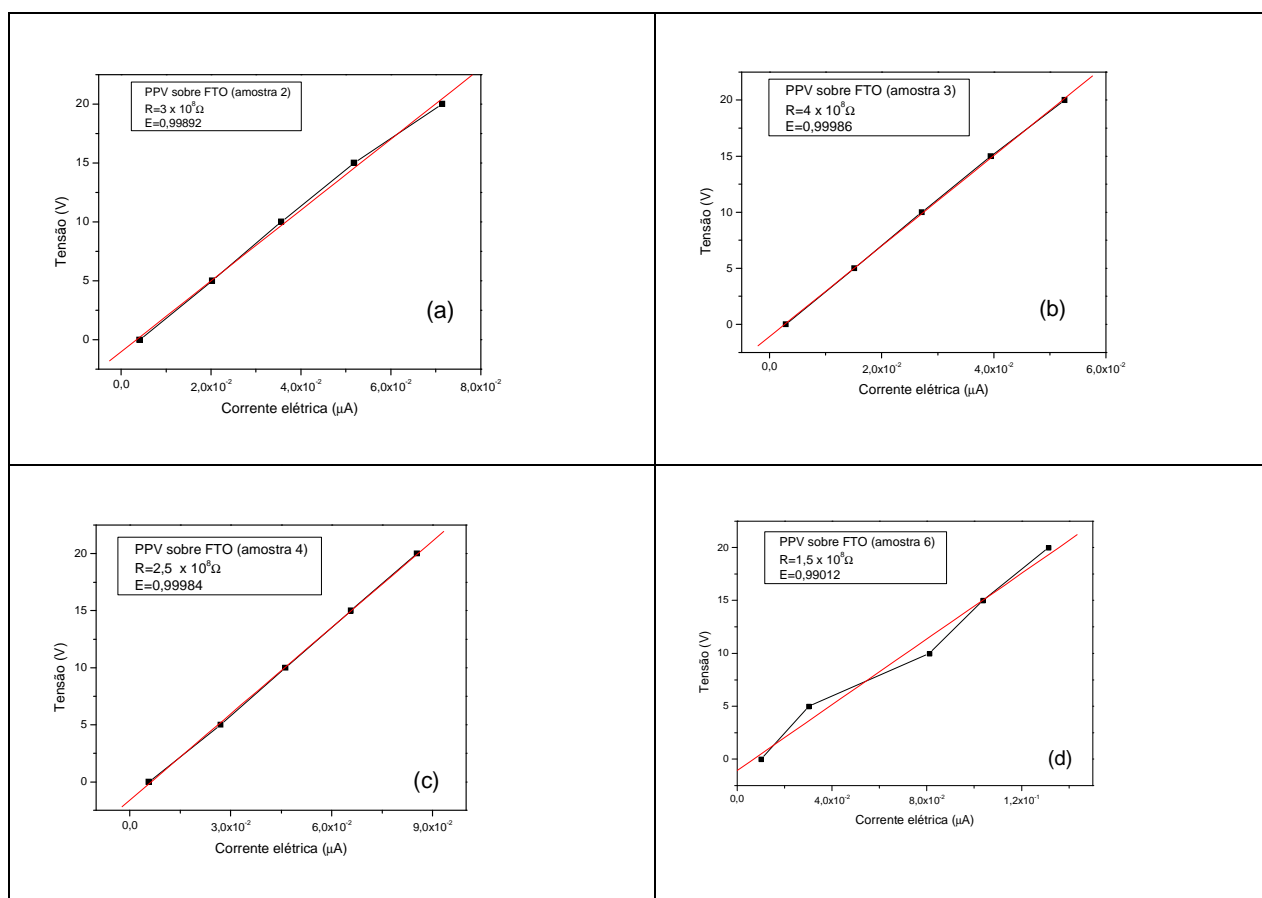


Figura 14: Medida de tensão versus corrente das amostras de PPV: a) amostra 2; b) amostra 3; c) amostra 4; d) amostra 6.

Tabela 2. Resistência das amostras de PPV.

Amostras de PPV	Resistência (Ω)
Amostra 2	3×10^8
Amostra 3	4×10^8
Amostra 4	$2,5 \times 10^8$
Amostra 6	$1,5 \times 10^8$

Através das curvas de I vs. V para o dispositivo (Fig. 12) e os filmes de PTHT/DBS (Fig. 13) e PPV/DBS (Fig.14) foi possível obter as resistências equivalentes com boa aproximação ôhmica. Isto é verificado na dependência aproximadamente linear da corrente com a ddp aplicada. Assim, os contatos FTO/PTHT e FTO/PPV são considerados ôhmicos para baixos valores de tensão, ou seja, na faixa de linearidade da camada polimérica ($V < 150$ volts). Lembrando que o dispositivo possui 24 pares ligados em paralelo e iguais, dividiremos o valor da resistência equivalente por 24 para encontrar o valor da resistência em cada par. Lembrando ainda que na aproximação ôhmica a resistividade será dada por:

$$\rho = \frac{A}{d} \times R \quad (1)$$

onde ρ é a resistividade, A é a área da secção transversal do canal e d é

comprimento do canal e considerando o número de pares w , a equação 1 pode ser reescrita como:

$$\rho = \frac{A}{d} \times \frac{R}{w} \quad (2)$$

A partir do layout dado na figura 4.a, a área da secção transversal do canal $A = L \times e$ é igual a $4,5 \times 10^{-9} \text{ m}^2$ e o d igual a $3,0 \times 10^{-4} \text{ m}$. Os valores de ρ das amostras de PTHT/DBS, PPV/DBS e Interdigitado estão listados na tabela 3.

Tabela 3. Resistividade média das amostras de PTHT/DBS; PPV e do interdigitado.

Dispositivo	ρ (Ωm)
PTHT/DBS	2×10^4
PPV/DBS	$1,7 \times 10^2$
Interdigitado	$5,1 \times 10^3$

Fazendo a média da resistividade para as amostras de PTHT/DBS e PPV, conforme mostra a tabela 3, podemos analisar a resistividade de cada dispositivo, e observar que o dispositivo PPV apresenta a resistividade menor, o que comprova o que já mencionamos, que o PPV pode ser considerado como um semiconductor, com

uma ordem de 3 vezes menor que o PTHT/DBS.

iii) Estabilidade dos dispositivos

Para testar a estabilidade de nossos dispositivos, os filmes foram submetidos a uma ddp constante (V_{cc}) igual a 10V pelo intervalo de 60 minutos, após decorrido este tempo, a ddp foi aplicada

reversamente com o objetivo de avaliar a difusão de cargas.

Nas figuras 15.a a 15.d são apresentados os resultados para as amostras de PTHT/DBS e nas figuras 16.a a 16.d para as amostras de PPV/DBS. Em ambos os casos não houve variações significativas de tensão, demonstrando que o dispositivo se manteve estável nessas condições e temperatura ambiente.

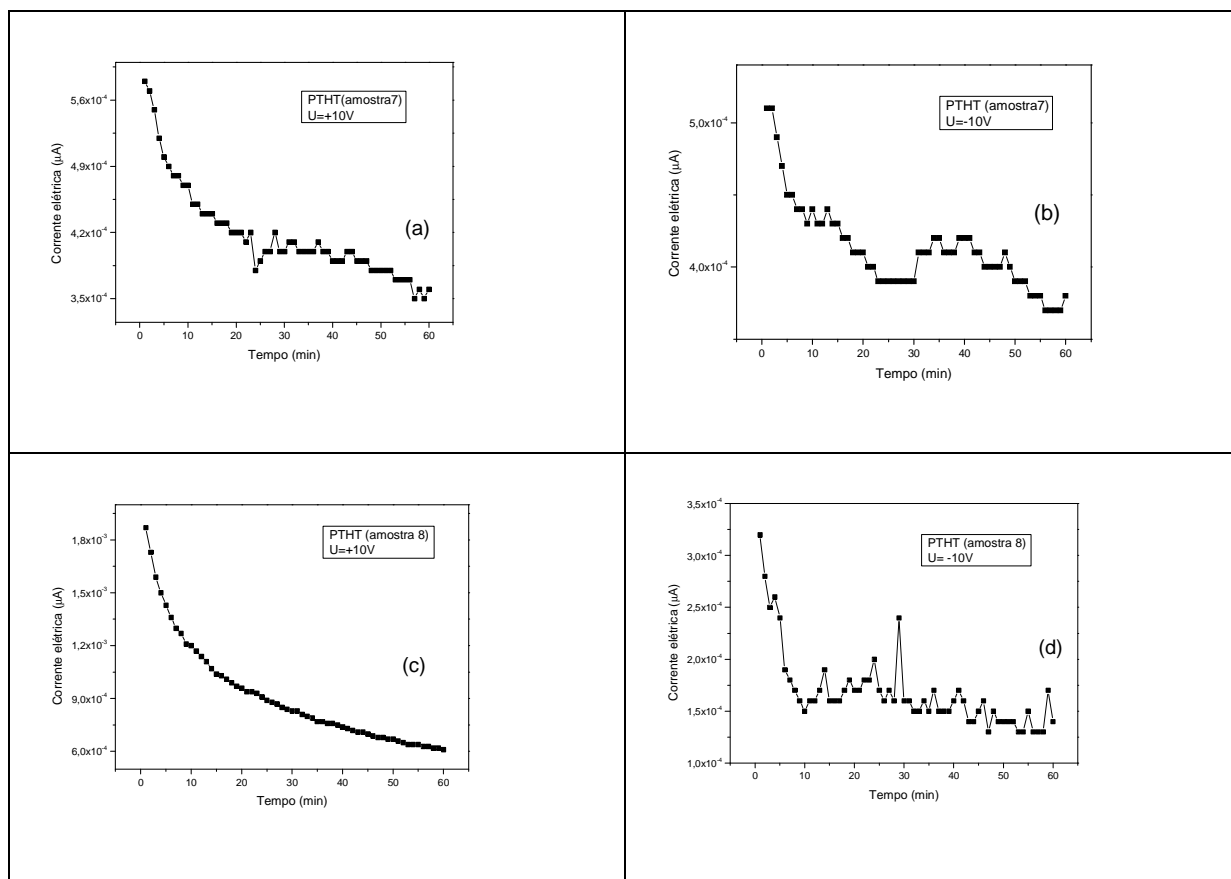


Figura 15. Medida de corrente versus tempo das amostras de PTHT/DBS: a) amostra 7 para ddp=+10V; b) amostra 7 para ddp=-10V; c) amostra 8 para ddp=+10V; d) amostra 8 para ddp=-10V.

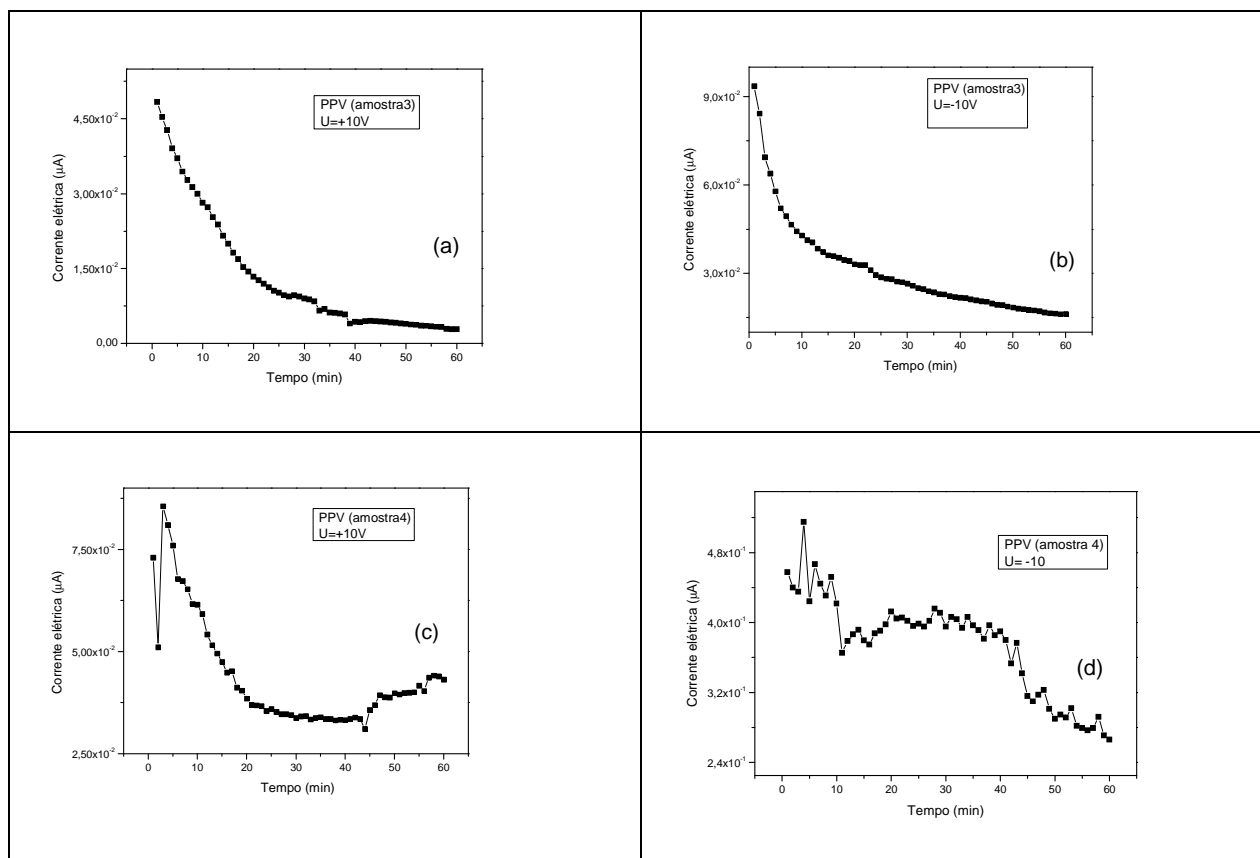


Figura 16. Medida de corrente versus tempo das amostras de PPV: a) amostra 3 para $ddp=+10V$; b) amostra 3 para $ddp=-10V$; c) amostra 4 para $ddp=+10V$; d) amostra 4 para $ddp=-10V$.

Conclusões

Através das medidas de absorção e fotoluminescência podemos observar as propriedades ópticas dos filmes de PPV e concluir que a produção de filmes poliméricos via a técnica de automontagem é reprodutiva.

A área de polímeros semicondutores é relativamente recente na história científica (década de 70) e já tão importante e presente em nossas vidas. Apesar disso, os dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos de polímeros tem alcançado enorme sucesso e desponta

como uma área de grande interesse tecnológico. No entanto, muitos problemas tecnológicos relacionados à eficiência e ao tempo de vida do dispositivo ainda não estão solucionados. Baseados nos dados obtidos, desenvolvemos neste trabalho um dispositivo interdigitado de FTO com amplificação de corrente, uma vez que a resistividade destes materiais são altas.

Através das curvas de tensão versus corrente verificamos que a resistividade no dispositivo à base de PPV é duas vezes mais baixa que o dispositivo à base de PTH/DBS, o que nos leva a pensar que o PPV pode ser considerado como um

semicondutor, enquanto que o PTHT/DBS pode ser considerado como um isolante, o que já era esperado.

Constatamos ainda, através das curvas do experimento de I vs. t , que o dispositivo se mantém estável à condições ambientes ao longo do tempo utilizado. Assim, dispositivos de *layout* interdigitado podem ser utilizados com eficiência para caracterização da camada ativa de filmes finos e apresentam grande potencialidade em várias aplicações.

Agradecimentos.

Os autores agradecem o apoio financeiro das seguintes instituições brasileiras de fomento à pesquisa: Fapemig, CNPq e UFU. Aos integrantes do GEM (Grupo de Espectroscopia de Materiais) da Faculdade de Física pela ajuda durante a pesquisa.

Referências bibliográficas

[1] Mano, Eloísa B., *Introdução a polímeros, cap.1, Editora Edgard Blucher, São Paulo, Brasil (1994)*

[2]] CURSO BÁSICO INTENSIVO DE PLÁSTICOS. Disponível em: <http://www. Jorplast.com.br/seções/aulas-5.htm >.

[3] Berton, Alessandra N.B., *Eletropolimerização do 0-aminofenol e caracterização de filmes formados.*

Universidade Federal do Paraná. 2005. 167p. Tese de doutorado.

[4] Bianchi, Rodrigo., *Estudo das propriedades eletrônicas e ópticas de filmes e dispositivos poliméricos.* Universidade de São Paulo. 2002. 141p. Tese de doutorado.

[5] Pesquisadores em polímeros ganham Nobel de Química. **Polímeros.** São Carlos, v. 10, n. 3, 2000. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282000000300005&lng=pt&nrm=iso>.

[6] Paterno, L.G., *Filmes Poliméricos Ultrafinos Produzidos Pela Técnica De Automontagem: Preparação, Propriedades e Aplicações.* Departamento de Engenharia de Materiais/DEMa-UFSCar, CP 676, 13565-905 São Carlos - SP

[7] D. D. C. Bradley, *J.Phys. D: Appl. Phys.* **20**, 1389 (1987).