



**Kelly de Carvalho Teixeira**

**Estudo das propriedades eletroluminescentes  
de novos complexos tetrakis beta-dicetonatos  
de európio utilizados em OLEDs**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-  
Graduação em Física da PUC-Rio.

Orientador: Marco Cremona  
Co-orientador: Welber Gianini Quirino

Rio de Janeiro  
Março de 2010



**Kelly de Carvalho Teixeira**

**Estudo das propriedades eletroluminescentes  
de novos complexos tetrakis beta-dicetonatos  
de európio utilizados em OLEDs**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Física da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Marco Cremona**

Orientador

Departamento de Física – PUC-Rio

**Prof. Welber Gianini Quirino**

Co-orientador

Inmetro

**Prof. Hermi Felinto de Brito**

USP

**Profa. Sônia Renaux W. Louro**

Departamento de Física – PUC-Rio

**Prof. José Eugênio Leal**

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 26 de março de 2010

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

### **Kelly de Carvalho Teixeira**

Possui técnico em Química pela ETE Getúlio Vargas (2001) e Bacharelado em Física pela Universidade de São Paulo (USP – São Carlos, em 2006). Tem experiência na área de Física da Matéria Condensada, com ênfase em filmes finos depositados termicamente, filmes de Lagmuir e LB, complexos beta-dicetonatos de európio e dispositivos orgânicos eletroluminescentes (OLEDs).

#### Ficha Catalográfica

Teixeira, Kelly de Carvalho

Estudo das propriedades eletroluminescentes de novos complexos tetrakis beta-dicetonatos de európio utilizados em OLEDs / Kelly de Carvalho Teixeira ; orientador: Marco Cremona ; co-orientador: Welber Gianini Quirino. – 2010.

115f. : il.(color.) ; 30 cm

Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Física, 2010.

Inclui bibliografia.

1. Física – Teses. 2. Dispositivos orgânicos eletroluminescentes. 3. OLED. 4. Complexos tetrakis beta-dicetonatos. 5. Terras-raras. 6. Fotoluminescência. 7. Eletroluminescência. 8. Nanotecnologia. 9. Filmes finos. I. Cremona, Marco. II. Quirino, Welber Gianini. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Física. IV. Título.

CDD: 530

*Aos meus pais, Cícero e Shirley, pelo amor e apoio incondicionais ao longo destes anos. Pela compreensão, pelos ensinamentos, por acreditarem em mim quando nem eu mesma conseguia e por não me deixarem desistir.  
À minha querida irmã Sabrina, pelo amor e incentivo.*

## Agradecimentos

A Deus, Criador de tudo.

Aos meus pais, Cícero e Shirley, e à minha “hermanita gemela” Sabrina, pela compreensão, incentivo e paciência.

Ao Prof. Marco Cremona, pela orientação neste trabalho, pelas valiosas discussões e também pela compreensão nas conversas regadas a choro quando necessário. Por acolher de braços abertos sua aluna PAULISTA preferida!

Ao meu co-orientador Welber Gianini Quirino, pela oportunidade oferecida no Inmetro, pelas sugestões e ensinamentos durante esta dissertação. Ao colega Cristiano Legnani, por sempre me ajudar no laboratório nos tempos de Inmetro.

Às minha amigas Vanessa Luz e Mary, pela amizade sincera, convivência harmoniosa, paciência e ajuda nos momentos difíceis. E é claro, por todas as garrafas de Zhumir consumidas ao longo destes 2 anos: 26, 304! Novamente à Vanessa, por me trazer com ela quando veio de sanca, por saudades! =)

Aos meus amigos Renata, Jacqueline, Casão, Adriana e Roberta, por todos os telefonemas atendidos de madrugada, e sem a ajuda dos quais, com certeza, este mestrado não teria sido concluído.

À querida Aline (Castanha), pela amizade, pelas longas conversas, por ter me apresentado Harry Potter e por me acolher com tanto carinho quando cheguei ao Rio. Serei eternamente grata.

Aos colegas do LOEM, em especial aos amigos Rafael, Juan e Washington, por sempre me ajudarem no laboratório, muito cedo ou muito tarde.

Aos amigos do Cavernão Rafael Mendes, Rafael Coutinho, Paula, César, Eric,

Lucas e Leila, pela amizade, convivência, paintball, Saquarema e é claro, Pires.

Aos amigos e colegas do sexto andar, em especial, Mariana, Paulina, Thiago, Fabio Alex e Johanna. E também àqueles que não são do sexto andar, mas fazem parte da lista, Alexandre e o “morador honorário do 304” Dunieskys. Por todos os jogos de futebol assistidos e discutidos, e pela companhia, seja na PUC, em churrascos, no Pires, no Baixo Gávea ou na Lapa.

Aos colegas da Dimat, em especial, às amigas Gabriela e Ciça, por todos os momentos de descontração e risadas. Novamente à Gaby que por me ajudar com as análises de degradação térmica.

Ao querido Serginho (Prof. Dr. Sérgio A. M. Lima), pelas conversas infundáveis, pela alegria contagiante, pela companhia e por me esclarecer tantas dúvidas de química.

Ao Prof. Dr. Ercules Epaminondas, pelos esclarecimentos de química.

Aos amigos da GV e da USP São Carlos, que continuam torcendo por mim mesmo à distância: Edson, Tathiana, Janaina, Clorofila, Vanessa Gonçalves e Roseane. Ao Diogo pelas visitas descontraídas e pelos jantares maravilhosos... feitos para a Vanessa e devidamente filados!!!

Aos professores e funcionários da USP São Carlos, principalmente do Grupo de Polímeros do IFSC, pela amizade e ensinamentos. À Dra. Debora Balogh, pela excelente orientação no estágio e iniciação científica.

Aos funcionários do Depto. de Física da PUC-Rio Giza, Julinho, Márcia e Hélio, pela ajuda, sempre com enorme competência.

A todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para que este trabalho fosse concluído.

Ao CNPq, RENAMI (Rede de Nanotecnologia Molecular e de Interfaces) e FAPERJ pelo apoio financeiro, e à PUC-Rio e ao Inmetro, pela utilização das instalações e laboratórios.

## Resumo

Teixeira, Kelly de Carvalho; Cremona, Marco (orientador); Quirino, Welber Gianini (co-orientador). **Estudo das propriedades eletroluminescentes de novos complexos tetrakis beta-dicetonatos de európio utilizados em OLEDs.** Rio de Janeiro, 2010. 115p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Neste trabalho é apresentado o estudo de três complexos tetrakis beta-dicetonatos de európio:  $\text{Li}[\text{Eu}(\text{dbm})_4] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{TMPip}[\text{Eu}(\text{dbm})_4]$  e  $\text{Morf}[\text{Eu}(\text{dbm})_4]$ . Todos os compostos foram caracterizados à temperatura ambiente por diversas técnicas, tais como absorção óptica, fotoluminescência estacionária (PL) e voltametria cíclica. Já os dispositivos eletroluminescentes orgânicos (OLEDs) baseados nestes materiais e fabricados por evaporação térmica resistiva foram caracterizados eletro-opicamente. Os espectros de PL dos compostos apresentaram as linhas características de emissão das transições  ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_{0-3}$  do íon európio, e não exibiram bandas relativas à emissão dos ligantes. Porém, comparações entre os espectros de PL dos materiais na forma de pó e de filme fino indicaram prováveis mudanças na estrutura dos compostos  $\text{TMPip}[\text{Eu}(\text{dbm})_4]$  e  $\text{Morf}[\text{Eu}(\text{dbm})_4]$ . Uma das possibilidades é a de que a deposição térmica estaria degradando estes materiais, dando origem às espécies tris beta-dicetonato. Os OLEDs com complexos de európio atuando simultaneamente como camada emissora e transportadora de elétrons apresentaram também, em seus espectros, os picos relativos às transições do íon  $\text{Eu}^{3+}$ . Para aumentar a eficiência luminosa dos dispositivos foi testada uma nova configuração, acrescentando-se uma camada bloqueadora de buracos e uma transportadora de elétrons. Esta nova arquitetura aprimorou o funcionamento dos OLEDs, cuja eletroluminescência (EL) passou a ser visível a olho nu. Por outro lado, ela causou o aparecimento de uma banda larga centrada em 480nm no espectro de EL. O estudo realizado para investigar a origem desta banda mostrou que ela é proveniente da emissão da camada bloqueadora de buracos.

## Palavras-chave

dispositivos orgânicos eletroluminescentes; OLED; complexos tetrakis beta-dicetonatos; terras-raras; fotoluminescência; eletroluminescência, nanotecnologia; filmes finos

## Abstract

Teixeira, Kelly de Carvalho; Cremona, Marco (advisor); Quirino, Welber Gianini (co-advisor). **Investigation on electroluminescent properties of novel tetrakis beta-diketonate complexes used in OLEDs.** Rio de Janeiro, 2010. 115p. MSc. Dissertation - Departamento de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Rare-earth complexes present extremely sharp line emission making possible to use them in organic light-emitting devices (OLEDs) technology. This dissertation reports the study of three europium tetrakis beta-diketonate complexes:  $\text{Li}[\text{Eu}(\text{dbm})_4] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{TMPip}[\text{Eu}(\text{dbm})_4]$  and  $\text{Morf}[\text{Eu}(\text{dbm})_4]$ . UV-Vis absorption, photoluminescence (PL) and cyclic voltammetry measurements were used to characterize the complexes, at room temperature. The PL spectra displayed the characteristic europium narrow bands from  ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_{0-3}$  transitions and exhibited red color emission, without a contribution from ligand emission. However, a comparison between thin films spectra and powder spectra suggested probable changes in the  $\text{TMPip}[\text{Eu}(\text{dbm})_4]$  e  $\text{Morf}[\text{Eu}(\text{dbm})_4]$  complexes composition. One possibility is that the thermal deposition is causing degradation, breaking the tetrakis structure into tris beta-diketonate complexes. This hypothesis was investigated using TGA technique associated with FTIR analysis of chemical species. Europium complexes based OLEDs produced by thermal evaporation and using different device configuration were characterized by electroluminescence (EL) measurements. Bilayer OLEDs fabricated with a europium complex acting simultaneously as the emissive layer and as the electron transporting layer showed the bands from  $\text{Eu}^{3+}$  transitions in the EL spectra. Another configuration was used to increase the device efficiency, adding a hole-blocking layer and an electron transporting layer. This new architecture improved the OLEDs performance, enabling the electroluminescence to be visible with the naked eye. On the other hand, it caused the appearance of a wide emission band centered at 480nm. A study performed about the source of this emission band showed that it was originated by the hole-blocking layer.

## Keywords

organic light-emitting devices; OLED; tetrakis beta-diketonate complexes; Rare-earth; thin films; photoluminescence, electroluminescence, nanotechnology



# Sumário

Apresentação	19
Objetivos	20
Objetivos específicos	20
1 Introdução	21
1.1. Luminescência e Dispositivos Orgânicos Emissores de Luz (OLEDs)	22
1.1.1. Fabricação e arquitetura de OLEDs	24
1.1.2. Princípio de funcionamento de um OLED	26
1.1.3. Injeção e transporte	27
1.1.4. Eletroluminescência dos OLEDs	30
1.1.4.1. Diagrama de cromaticidade	31
1.2. Íons terras-raras (TR <sup>3+</sup> )	33
1.2.1. História	33
1.2.2. Configuração eletrônica e efeito antena	35
1.2.3. Complexos beta-dicetonatos de TR <sup>3+</sup>	40
1.3. OLEDs baseados em complexos de íons terras-raras	42
1.4. Motivação e objetivos	44
Referências – Capítulo 1	45
2 Materiais e procedimentos experimentais	47
2.1. Materiais utilizados	47
2.2. Escolha dos substratos	49
2.2.1. Preparação do ânodo	49
2.2.2. Limpeza dos substratos	50
2.3. Deposição de filmes finos	51
2.3.1. <i>Spin-coating</i>	51
2.3.2. Evaporação térmica resistiva	52
2.4. Sistemas de deposição térmica utilizados	53
2.4.1. Laboratório de Optoeletrônica Molecular – PUC-Rio	53
2.4.2. Laboratório de Dispositivos Orgânicos – Inmetro	55
2.4.3. Parâmetros utilizados na produção dos filmes e dispositivos eletroluminescentes	58

Referências – Capítulo 2	60
3 Técnicas Analíticas	61
3.1. Interação da radiação com a matéria	61
3.2. Espectrofotometria na região do ultravioleta-visível (UV-Vis)	62
3.3. Fotoluminescência e Eletroluminescência	63
3.4. Espectroscopia de absorção no infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)	65
3.5. Perfilometria	65
3.6. Voltametria Cíclica	66
3.7. Medidas de Corrente vs. Tensão ( $I \times V$ ) e Potência Luminosa vs. Tensão ( $P \times V$ )	67
3.8. Termogravimetria (TG).	67
Referências – Capítulo 3	69
4 Resultados e discussões	70
4.1. Medidas ópticas	70
4.2. Medidas Eletroquímicas	84
4.2.1. Voltametria cíclica	84
4.3. Medidas eletro-ópticas	87
Referências – Capítulo 4	110
5 Conclusões e perspectivas	111

## Lista de figuras

Figura 1-1 – (a) Televisor Sony, com monitor de OLED, de 11” e 3 mm de espessura; (b) bracelete de OLED flexível da ROHM; (c) notebook Samsung com tela de OLED transparente.	22
Figura 1-2 – Diferentes arquiteturas para os OLEDs: (a) monocamada, (b) bicamada, (c) tricamada e (d) multicamada. Função das camadas: (I) eletroluminescente, (II) transportadora de buracos, (III) transportadora de elétrons, (IV) injetora de buracos e (V) injetora de elétrons.	25
Figura 1-3 – Representação do processo de eletroluminescência.	26
Figura 1-4 – Representação dos mecanismos de injeção Fowler-Nordheim e emissão termoiônica, onde $\varphi$ é a altura da barreira de potencial e $V$ é a tensão aplicada.	27
Figura 1-5 – Comportamento $Jx\xi$ para um OLED, e os respectivos tipos de transporte em cada região da curva.	29
Figura 1-6 – Curvas das cores padrões CIE para $x(\lambda)$ , $y(\lambda)$ e $z(\lambda)$ .	32
Figura 1-7 – Diagrama de cromaticidade CIE ilustrando as coordenadas e cores da luz visível.	33
Figura 1-8 – Separação e identificação dos íons lantanídeos ao longo dos anos	35
Figura 1-9 – Representação esquemática do mecanismo transferência de energia entre um ligante orgânico e um íon terra-rara.	37
Figura 1-10 – Diagrama parcial dos níveis de energia dos íons terras-raras	39
Figura 1-11: (a) Fórmula estrutural de uma beta-dicetona; (b) fórmula estrutural do íon dibenzoilmetanato.	40
Figura 1-12 – Equilíbrio ceto-enólico em beta-dicetonas	41
Figura 1-13 – Beta-dicetona atuando como ligante bidentado.	41
Figura 2-1 – Fórmula estrutural dos compostos utilizados: (a) $[\text{Eu}(\text{dbm})_4]$ ; (b) NPB; (c) Morf; (d) TMPip; (e) $\text{Alq}_3$ ; (f) BCP e (g) CuPC.	48
Figura 2-2 – Procedimento para obtenção de padrões de ITO sobre uma lâmina de vidro.	50

Figura 2-3 – Estágios de formação de um filme pela técnica spin-coating.	52
Figura 2-4 – Sistema de deposição de filmes finos no LOEM – PUC-Rio.	54
Figura 2-5 – (a) Sistema de deposição de filmes finos no LADOR – Inmetro, (b) detalhe da câmara de metais, (c) detalhe da câmara de orgânicos.	56
Figura 2-6 – Detalhe da antecâmara que conecta as câmaras de deposição.	57
Figura 2-7 – Esquema do sistema de deposição de filmes finos no LADOR.	57
Figura 2-8 – Estrutura esquemática do dispositivo 1.	59
Figura 3-1 – Espectro da radiação eletromagnética.	61
Figura 3-2 – Espectro de absorção de um material e método para determinação do gap óptico.	63
Figura 3-3 – Representação dos níveis de energia e das transições eletrônicas, assim como dos espectros de absorção e de emissão correspondentes. <sup>2</sup>	64
Figura 4-1 - Espectros de absorbância dos complexos beta-dicetonatos em forma de filme fino e em solução em clorofórmio.	71
Figura 4-2 - Espectros de absorbância e excitação do complexo beta-dicetonato $\text{Li}[\text{Eu}(\text{dbm})_4] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	72
Figura 4-3 – Espectros de emissão dos complexos beta-dicetonatos de európio ( $\lambda_{\text{exc}} = 360\text{nm}$ ) registrados à temperatura ambiente.	73
Figura 4-4 – Comparação entre as intensidades de fotoluminescência dos complexos $\text{Li}[\text{Eu}(\text{dbm})_4] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , $\text{Morf}[\text{Eu}(\text{dbm})_4]$ e $\text{TMPip}[\text{Eu}(\text{dbm})_4]$ .	74
Figura 4-5 – Comparação entre os espectros de fotoluminescência do $\text{Li}[\text{Eu}(\text{dbm})_4] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ na forma de pó e de filme fino.	75
Figura 4-6 – Espectro TG/FTIR para o composto $\text{Li}[\text{Eu}(\text{dbm})_4] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	76
Figura 4-7 – Comparação entre os espectros de fotoluminescência do $\text{Morf}[\text{Eu}(\text{dbm})_4]$ na forma de pó e de filme fino.	77
Figura 4-8 – Comparação entre os espectros de fotoluminescência do $\text{TMPip}[\text{Eu}(\text{dbm})_4]$ na forma de pó e de filme fino.	77
Figura 4-9 – Comparação entre os espectros de fotoluminescência dos filmes finos de $[\text{Eu}(\text{dbm})_3(\text{dms})]$ , $\text{Morf}[\text{Eu}(\text{dbm})_4]$ e $\text{TMPip}[\text{Eu}(\text{dbm})_4]$ .	79
Figura 4-10 – Espectro TG/FTIR para o composto $\text{TMPip}[\text{Eu}(\text{dbm})_4]$ .	80
Figura 4-11 – Espectro TG/FTIR para o composto $\text{Morf}[\text{Eu}(\text{dbm})_4]$ .	80

- Figura 4-12 – Comparação entre os espectros de fotoluminescência do material na forma de pó e de filmes finos depositados por evaporação térmica e por *spin-coating* (solventes clorofórmio e acetona). 81
- Figura 4-13 – Espectro na região do infravermelho (FTIR) dos complexos (a)  $\text{Li}[\text{Eu}(\text{dbm})_4] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , (b)  $\text{TMPip}[\text{Eu}(\text{dbm})_4]$  e (c)  $\text{Morf}[\text{Eu}(\text{dbm})_4]$ . 83
- Figura 4-14 – Espectros na região do infravermelho (FTIR) do complexo  $\text{Morf}[\text{Eu}(\text{dbm})_4]$  em forma pó e de filme fino depositado termicamente. 83
- Figura 4-15 – Voltamograma obtido para o complexos  $\text{Li}[\text{Eu}(\text{dbm})_4] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Morf}[\text{Eu}(\text{dbm})_4]$  e  $\text{TMPip}[\text{Eu}(\text{dbm})_4]$  respectivo valor de HOMO. 85
- Figura 4-16 – Diagrama rígido de bandas de energia, no qual são apresentados os valores dos níveis HOMO e LUMO dos materiais utilizados nos dispositivos bicamada e as funções trabalho do ITO e do alumínio. 86
- Figura 4-17 – Diagrama rígido de bandas de energia, no qual são apresentados os valores dos níveis HOMO e LUMO dos materiais utilizados nos dispositivos multicamada e as funções trabalho do ITO e do alumínio. 86
- Figura 4-18 – Espectros de eletroluminescência do complexo  $\text{Li}[\text{Eu}(\text{dbm})_4] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  em função de algumas tensões aplicadas. Gráfico inserido: aumento da região entre 400nm – 585nm. 88
- Figura 4-19 – EL dos complexos beta-dicetonatos de európio na região 400-575nm e PL de cada ligante a  $T=77\text{K}$  e  $\lambda_{\text{exc}}=330\text{nm}$  para os contra-íons  $\text{Li}^+$ ,  $\text{TMPip}^+$  e  $\text{Morf}^+$ . 89
- Figura 4-20 - Curva  $I \times V$  para o dispositivo bicamada do complexo  $\text{Li}[\text{Eu}(\text{dbm})_4] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ . A curva vermelha corresponde ao ajuste obtido para uma lei de diodo. 90
- Figura 4-21 – Espectros de eletroluminescência do complexo  $\text{TMPip}[\text{Eu}(\text{dbm})_4]$  em função de diferentes tensões aplicadas. Gráfico inserido: aumento da região 400nm-585nm. 91
- Figura 4-22 – Espectros de eletroluminescência do complexo  $\text{Morf}[\text{Eu}(\text{dbm})_4]$  em função de diferentes tensões aplicadas. Gráfico inserido: aumento da região 400nm-585nm. 91
- Figura 4-23 – Curva  $I \times V$  para o dispositivo bicamada do complexo  $\text{TMPip}[\text{Eu}(\text{dbm})_4]$ . A curva vermelha corresponde ao ajuste obtido para uma lei de diodo. 93

Figura 4-24 – Espectros de EL dos dispositivos com estrutura ITO / NPB(35) / Q[Eu(dbm) <sub>4</sub> ](30) / Alq <sub>3</sub> (30) / BCP(20) / LiF(0,5) / Al(150). Gráfico inserido: aumento da região 420nm-570nm para o complexo Li[Eu(dbm) <sub>4</sub> ].4H <sub>2</sub> O.	94
Figura 4-25 – Comparação entre ELs dos OLEDs do complexo TMPip[Eu(dbm) <sub>4</sub> ] com e sem a camada de Alq <sub>3</sub> .	95
Figura 4-26 – Comparação entre os espectros de EL dos complexos beta-dicetonatos de európio na região da banda espúria e entre os espectros de PL de cada ligante a T=77K e $\lambda_{exc}$ =360nm para os contra-íons Li <sup>+</sup> , TMPip <sup>+</sup> e Morf <sup>+</sup> .	96
Figura 4-27 – Espectro de EL do OLED com estrutura ITO / CuPC(5) / BCP(100) / Mg:Ag(50:5) / Ag(50).	97
Figura 4-28 – Comparação entre o espectro de EL do OLED do complexo TMPip[Eu(dbm) <sub>4</sub> ] e o ajuste obtido para a EL do OLED baseado em BCP.	98
Figura 4-29 – Curvas JxV e PxV para o OLED multicamada baseado no complexo Li[Eu(dbm) <sub>4</sub> ].4H <sub>2</sub> O.	99
Figura 4-30 - Curvas JxV e PxV para o OLED multicamada baseado no complexo TMPip[Eu(dbm) <sub>4</sub> ].	99
Figura 4-31 - Curvas JxV e PxV para o OLED multicamada baseado no complexo Morf[Eu(dbm) <sub>4</sub> ].	100
Figura 4-32 – Foto do OLED multicamada de Li[Eu(dbm) <sub>4</sub> ].4H <sub>2</sub> O em operação.	102
Figura 4-33 – Foto do OLED multicamada baseado em Morf[Eu(dbm) <sub>4</sub> ] em operação.	102
Figura 4-34 – Diagrama de cromaticidade do CIE para o OLED multicamada baseado em Morf[Eu(dbm) <sub>4</sub> ] sem correção.	104
Figura 4-35 – Curva de correção do fluorímetro PTI utilizado nas medidas.	104
Figura 4-36 – Comparação entre os espectros de EL corrigido e não corrigido do dispositivo multicamada de Li[Eu(dbm) <sub>4</sub> ].4H <sub>2</sub> O.	105
Figura 4-37 – Comparação entre os espectros de EL corrigido e não corrigido do dispositivo multicamada de TMPip[Eu(dbm) <sub>4</sub> ].	106
Figura 4-38 – Comparação entre os espectros de EL corrigido e não corrigido do dispositivo multicamada de Morf[Eu(dbm) <sub>4</sub> ].	106

Figura 4-39 – Diagrama de cromaticidade do CIE para os OLEDs multicamada com Morf[Eu(dbm)<sub>4</sub>]: (A) espectro não corrigido, (B) espectro corrigido. 108

Figura 4-40 – Diagrama de cromaticidade do CIE para os OLEDs multicamada fabricados: (I) Li[Eu(dbm)<sub>4</sub>].4H<sub>2</sub>O, (II) TMPip[Eu(dbm)<sub>4</sub>] e (III) Morf[Eu(dbm)<sub>4</sub>]. 108

## Lista de tabelas

Tabela 2-1 – Materiais utilizados neste trabalho.	47
Tabela 4-1 – Comparação entre tensão aplicada e densidade de potência para valores próximos de densidade de corrente nos OLEDs multicamada.	101



## Lista de abreviações e símbolos

LCD: Liquid cristal display (tela de cristal líquido)

OLED: Organic light-emitting device (dispositivo orgânico emissor de luz)

CES: *Consumer Electronic Show*

EL: Eletroluminescência

PL: Fotoluminescência

HOMO: Highest occupied molecular orbital (orbital molecular mais alto ocupado)

LUMO: Lowest unoccupied molecular orbital (orbital molecular mais baixo desocupado)

$\xi$  : campo elétrico

$\varphi$  : altura da barreira de potencial

SCLC: *space charge limited current* (corrente limitada por carga espacial)

TCL: *trapped-charge limited current* (corrente limitada por cargas aprisionadas)

TFSCLC: *trap-free space charge limited current* (corrente limitada por carga espacial livre de armadilhas).

$\mu_n$  : mobilidade do elétron

TCO: Transparent conducting oxides (óxidos condutores transparentes)

TR3+: íon terra-rara

TE: transferência de energia

CIS: cruzamento intersistema (ISC – intersystem crossing)

*PVD: Physical Vapor Deposition* (deposição por fase vapor)

LADOR: Laboratório de Dispositivos Orgânicos

LOEM: Laboratório de Optoeletrônica Molecular

LATEP: Laboratório de Análises Térmicas e Materiais Particulados

*“... For long you live and high you fly  
And smiles you'll give and tears you'll cry  
And all you touch and all you see  
Is all your life will ever be. ...”*

**Breathe – Pink Floyd**

*“Cría cuervos y te sacarán los ojos”*

**Ditado espanhol**