

CARACTERIZAÇÃO DE TELAS DE CRISTAL LÍQUIDO INSERVÍVEIS DE APARELHO CELULAR VISANDO A RECICLAGEM ¹

V. Tavares ²
D. C. R. Espinosa ³
A. P. Chaves ⁴
J. A. S. Tenório ⁵

Resumo

As telas de cristal líquido (LCD) de aparelhos de telefonia celular com tecnologia obsoleta, aumenta o descarte de LCDs, diminuindo a vida útil de aterros. Por isso é necessário o desenvolvimento de uma metodologia de reciclagem de LCDs. Assim a caracterização das LCDs é o primeiro passo para o processo de reciclagem. Os métodos analíticos de solubilização em solvente; chama; infravermelho; DSC; MEV com EDS; difração de raios-X; e perda ao fogo foram usados para identificar as principais camadas de polímeros das LCDs. A seqüência dos materiais foi: triacetato de celulose, poli (álcool) vinil dopado com iodo, triacetato de celulose, cristal líquido, vidro com ITO, triacetato de celulose, poli (álcool) vinil dopado com iodo, triacetato de celulose e polímero com muscovita.

Palavras-chave: Tela de cristal líquido; Reciclagem; LCD

THE USEFUL MOBILE LIQUID CRYSTAL DISPLAY CHARACTERIZATION AIMING AT RECYCLING

Abstract

The liquid crystal displays (LCDs) of mobile telephones with obsolete technology, grows the discharge the LCDs, decreasing the landfill's life. Through this is necessary the development of methodology LCD recycling. Thus the LCDs characterization is the first step to draw a recycling process. Analytical methods such as solvent dissolution method, flame test, FTIR and MEV/DSC were used to identify the main polymers layers of LCDs. The materials sequence was: cellulose triacetate, poly (alcohol) vinyl doped with iodine, cellulose triacetate, liquid crystal, ITO glass, cellulose triacetate, poly (alcohol) vinyl doped with iodine, cellulose triacetate, and polymer with muscovite.

Key words: Liquid crystal display; Recycling; LCD

¹ *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

² *Mestre em Engenharia de Materiais, Tecnólogo em Meio Ambiente.*

³ *Doutora em Engenharia de Materiais.*

⁴ *Professor Titular da Escola Politécnica - Departamento de Engenharia de Minas.*

⁵ *Professor Titular da Escola Politécnica - Departamento de Engenharia de Materiais.*

1 INTRODUÇÃO

Os componentes principais das telas de cristal líquido de aparelhos de telefonia celular são descritos como: cristal líquido, vidro laminado, polarizador e analisador.

Uma definição usada para descrever esses materiais é a existência de uma fase parcialmente organizada, que é um estado organizado entre o estado cristalino e o estado desordenado ou isotrópico.^(1,2)

Para aplicações em telas eletrônicas é comum utilizar cristais líquidos,⁽³⁾ que servem para direcionar os feixes de luz que passam pela tela através de um campo elétrico, com objetivo de formar a imagem.⁽⁴⁾

As telas de cristal líquido são produzidas com vidro laminado, que é um vidro do tipo soda - cal formado por duas lâminas delgadas e entre estas lâminas uma camada de plástico com boa resistência mecânica, dificultando, assim, a ruptura da tela.⁽⁵⁾

O vidro laminado, presente na tela, é um tipo de vidro constituído por duas ou mais lâminas delgadas, com espessura de 0,2 cm a 0,25 cm.⁽⁵⁾

Nas LCDs o cristal líquido fica entre as camadas de vidro laminado, onde é necessária a presença de um material condutor elétrico e transparente, que conduza eletricidade para o cristal líquido de forma que este direcione o feixe de luz para a formação da imagem.

O condutor que apresenta condutividade elétrica e transparência para as LCDs é o óxido de índio dopado com óxido de estanho (*indium tin oxide - ITO*), formado de In_2O_3 e SnO_2 , onde o óxido de estanho está presente entre 10% a 17% em peso.⁽⁶⁾

Os polarizadores e os analisadores devem ser compostos por plásticos com alta resistência mecânica e flexibilidade, além de permanecerem transparentes e não ter suas características alteradas com a luz solar.⁽⁷⁾

Assim, o triacetato de celulose nos polarizadores e analisadores de LCDs atende aos requisitos de transparência, resistência mecânica e flexibilidade.

Porém, para as LCDs, existe a necessidade de um filtro de luz, a fim de evitar a degradação das moléculas de cristal líquido presentes nas telas e, assim, juntamente com o filme de triacetato de celulose é colocado um filme de poli (álcool) vinil, dopado com iodo, para evitar a passagem de raios ultravioleta para a tela.^(8,9,10)

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A caracterização divide-se basicamente em duas partes: desmantelamento e ensaios.

As LCDs são dispositivos complexos com diversas camadas de diferentes tipos de materiais. Assim, para se determinar cada componente foi feita a separação dos mesmos usando instrumentos manuais e imersão em água, pois um dos polímeros que compõem a LCD é solúvel.

Além da separação física dos componentes foi feita a caracterização de cada material usando-se técnicas de caracterização de materiais, tais como difração de raios-X e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Uma LCD é composta por diversas camadas de materiais depositados um em cima do outro como se fosse um sanduíche de diversas camadas. Nota-se 5 materiais obtidos por separação manual: eletrodo, vidro, polímero condutor, polarizador e analisador. O polarizador e o analisador são compostos por camadas de polímeros as quais se destacam quando imersas em água.

2.1 Desmantelamento da Sucata

A LCD foi desmontada manualmente em polarizador, analisador, duas lâminas de vidro, eletrodo, e polímero condutor.

O polarizador e analisador são filtros que ficam aderidos ao vidro com um adesivo e, portanto, a remoção deles foi feita com auxílio de um estilete.

O polímero condutor foi desconectado manualmente da tela, pois não possuía adesivo que o prendia ao eletrodo.

As lâminas de vidro são fixadas umas às outras com um adesivo e entre essas lâminas são encontradas as moléculas de cristal líquido, que correspondem a cerca de 0,001% em peso da tela.⁽¹¹⁾ Além disso, os cristais líquidos se degradam facilmente com a radiação ultravioleta e quando são expostos à atmosfera, portanto, quando é feito o desmantelamento do polarizador e analisador, o cristal líquido começa a degradar. Logo em seguida quando é feita a separação das lâminas de vidro, o cristal líquido se degrada totalmente,⁽¹¹⁾ sendo assim, não foi possível a caracterização e recuperação do cristal líquido das telas.

Após a separação do polímero condutor, polarizador e analisador, as lâminas de vidro e eletrodo passaram por uma etapa de aquecimento a 550°C, por 3h, para remoção do adesivo.

Este desmantelamento permitiu a separação dos componentes principais da tela, porém o polarizador e analisador são compostos de alguns polímeros. Sendo assim, o desmantelamento desses filtros seguiu para a dissolução em água, pois um dos polímeros que constituem os polarizadores e analisadores é solúvel em água.⁽¹²⁾

2.2 Dissolução em Água

Em béquer de 250 mL de água à temperatura ambiente, foram colocados os polarizadores e os analisadores, que permaneceram em imersão por 2 h.

O polarizador liberou três polímeros após a imersão em água, que foram identificados como dois filmes de polímeros transparentes e um filme de polímero acinzentado, solúvel em água.

O analisador, além de liberar os mesmos polímeros do polarizador, liberou um quarto polímero identificado como polímero perolado.

Assim, conseguiu-se separar todos os componentes principais das telas.

A seguir foi feita a caracterização de cada componente, ou seja, das diversas camadas. Para tanto, foram usadas técnicas convencionais de caracterização de materiais.

Foram usadas as seguintes técnicas para a caracterização dos materiais obtidos no processo de desmantelamento:

1. Ensaio com solvente,
2. Ensaio da chama,
3. Infravermelho,
4. DSC (calorimetria exploratória diferencial),
5. Perda ao fogo,
6. Difração de raios-X, e
7. Microscopia eletrônica de varredura (MEV) com EDS.

A técnica de solubilização com solventes foi usada para caracterizar os polímeros transparente e acinzentado através da solubilização e amolecimento dos mesmos quando em contato com os solventes: etanol, acetona, acetato de etila,

tetracloreto de carbono, ácido acético, tolueno, nitrobenzeno, ácido sulfúrico, e água, para identificar os grupos funcionais de cada polímero.^(12,13)

O ensaio de chama é apenas qualitativo e serve para mostrar características do material, através do odor, e coloração da chama liberados na queima do polímero transparente e acinzentado.⁽¹³⁾

A técnica de espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) foi usada para caracterizar os polímeros transparente e acinzentado.

A análise de infravermelho teve como objetivo verificar os picos específicos formados pelas vibrações dos grupos funcionais dos polímeros.⁽¹⁴⁾

A técnica calorimetria exploratória diferencial (DSC) foi usada para caracterizar o polímero transparente, através da determinação de sua temperatura de transição vítrea.

A técnica difração de raios-X foi usada para caracterizar os polímeros acinzentado e perolado.

A técnica de microscopia eletrônica de varredura com EDS acoplado foi usada para caracterizar os polímero acinzentado e perolado.

A análise de microscopia eletrônica de varredura com EDS acoplado teve como objetivo identificar os principais elementos químicos dos materiais, além de observar o material através da imagem de elétrons secundários obtida em MEV.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de dismantelamento manual e dissolução em água permitiu identificar os componentes em destaque na Figura 1:

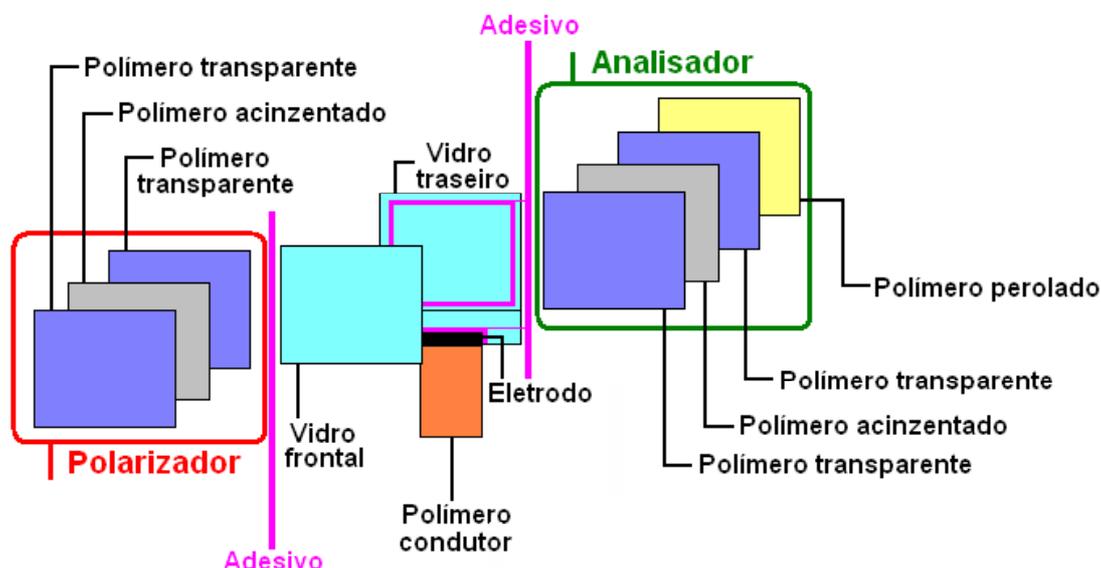


Figura 1 – Sequência dos componentes da LCD.

Os polímeros transparentes do polarizador e analisador estavam aderidos ao vidro por adesivos, o mesmo vale para o eletrodo e lâminas de vidro.

Portanto, a tela é constituída dos seguintes componentes principais:

1. Polímero transparente,
2. Polímero acinzentado,
3. Polímero perolado,
4. Polímero condutor,
5. Eletrodo, e
6. Vidro.

A caracterização dos materiais foi obtida com a comparação dos resultados de todos os ensaios, isto é, a cada ensaio realizado era excluída uma classe de polímeros, sendo assim a caracterização dos polímeros transparentes e polímeros acinzentados foi realizada por exclusão.

A Tabela 1 mostra a solubilidade e o amolecimento dos polímeros em solventes, onde: S indica que o polímero solubilizou no solvente; I significa que o polímero permaneceu insolúvel no solvente; e M indica que o polímero amoleceu no solvente.

Tabela 1 – Solubilidade e amolecimento de polímeros em solventes.

Solvente	Polímero	
	transparente	acinzentado
Etanol	I	I
Acetona	S	I
Acetato de etila	S	I
Tetracloroeto de carbono	I	I
Ácido acético	S	I
Tolueno	M	I
Nitrobenzeno	I	I
Ácido sulfúrico	S	S
Água	I	S

Nota-se que o polímero transparente apresentou solubilidade na acetona, acetato de etila e ácido acético e amolecimento em tolueno, assim os polímeros transparentes podem ser derivados do acetato.⁽¹²⁾

Para o polímero acinzentado verifica-se solubilidade em água, o que ocorre com poucos polímeros, que seria o caso de poli (álcool) vinil e poli(acrilamida) de alto peso molecular.

Com a degradação dos polímero transparente e acinzentado em contato com a chama oxidante da vela, foi observado que o polímero transparente tem a liberação de odor de ácido acético, o que confirmou o resultado obtido no ensaio com solventes, que os polímeros transparentes podem ser derivados do acetato, como mostra a Tabela 2.⁽¹²⁾

Tabela 2 – Ensaio de chama.

Polímeros	Coloração	Odor	Permanência
Polímero transparente	Amarela	Ácido acético	Sustentável
Polímero acinzentado	Amarela	Nenhum	Sustentável

Para a análise de infravermelho foi coletada um filme de polímero transparente e um filme do polímero acinzentado.

O polímero transparente apresentou pico de 1747 cm^{-1} indica a presença de grupos C=O com ponte de hidrogênio intermolecular (formação de dímero) e vibração de estiramento; isto indica a presença de carbonila existente em acetato,⁽¹³⁾ o pico de 1369 cm^{-1} indica a presenças de vibrações de flexão no plano de C-H, isto é, de uma cadeia polimérica.

Os picos de 1230 cm^{-1} e 1163 cm^{-1} indicam a presença de grupos O-H e C-H, respectivamente, indicando que o material é de acetato de cadeia polimérica. O pico de 1047 cm^{-1} verifica-se a presença de grupos C-C, indicando mais uma vez que é a cadeia polimérica.

Comparando com espectros da literatura, pode-se verificar que as regiões e as vibrações do material analisado é semelhante às encontradas no triacetato de celulose, segundo Pouchert.⁽¹⁴⁾

O polímero acinzentado apresentou pico de 3315 cm^{-1} sugere a presença de grupos O-H com vibração de estiramento, isto indica que o material pode ser um álcool,⁽¹³⁾ os picos de 2944 cm^{-1} e 2854 cm^{-1} sugerem a presença de vibrações de estiramento em C-H, e em 1422 cm^{-1} flexão no plano, indicando uma cadeia polimérica. Os picos de 1500 cm^{-1} e 1480 cm^{-1} indicam C-H com flexão no plano e O-H com deformação.

Os picos de 1143 cm^{-1} e 1092 cm^{-1} sugerem a presença de grupos C-C com estiramento, indicando mais uma vez que é a cadeia polimérica.

Comparando com espectros da literatura pode-se verificar que as regiões e as vibrações do material analisado é semelhante às encontradas no poli (álcool) vinil, segundo Pouchert.⁽¹⁴⁾

O DSC do polímero transparente apresentou uma temperatura de transição vítrea de aproximadamente 290°C, correspondente ao triacetato de celulose.⁽¹⁴⁾

Juntando os resultados do ensaio com solventes, ensaio da chama, infravermelho e DSC, tem-se a caracterização dos componentes da tela, conforme tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização dos componentes da tela de cristal líquido.

Componente	Caracterização
Polímero transparente	Triacetato de celulose
Polímero acinzentado	Poli (álcool) vinil

A técnica difração de raios-X foi usada para caracterizar a carga mineral do polímero perolado apresentou picos de difração compatíveis com o espectro da muscovita.

O espectro de EDS do polímero acinzentado do polarizador apresenta o pico de ouro (Au) que são provenientes da preparação da amostra. Os picos de carbono, oxigênio e iodo indicam que o material é um polímero dopado com iodo.

Analisando o espectro de EDS da carga do polímero perolado verificam-se picos de oxigênio, alumínio, ferro, potássio, silício, e titânio. Este resultado está de acordo com o que fora verificado nas demais análises da caracterização, onde se concluiu que esta placa é composta de mica. A mica pode ser identificada pelos picos de potássio, ferro, alumínio, titânio, silício e oxigênio, conforme a fórmula química da muscovita $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$, ou ainda uma variedade da biotita (que também é uma mica) chamada wodanita que apresenta titânio na estrutura química.⁽¹⁵⁾

Assim, a tela de cristal líquido de aparelhos de celulares é composta de polarizador, seguida de uma camada de vidro, cristal líquido, outra camada de vidro e finalmente o analisador. O polarizador é composto de camadas de triacetato de celulose, poli (álcool) vinil, e triacetato de celulose. O analisador, por sua vez, é constituído de placas de triacetato, poli (álcool) vinil, triacetato e o polímero não identificado com mica.

A segunda camada de vidro é composta por vidro com ITO.⁽⁴⁾

4 CONCLUSÃO

Para as condições deste trabalho, os resultados alcançados permitem a seguinte conclusão:

1. Os LCDs de telefonia celular são constituídos por diversas camadas de materiais aderidos. A seqüência de materiais de fora para dentro é: triacetato de celulose, poli (álcool) vinil dopado com iodo, triacetato de celulose, vidro, cristal líquido, vidro com ITO, triacetato de celulose, poli (álcool) vinil dopado com iodo, triacetato de celulose, polímero com mica.

REFERÊNCIAS

- 1 WEISS, R. A.; OBER, C. K. **Liquid-crystalline polymers**. Washington, ACS, 1990.
- 2 MERLO, A.A.; GALLARDO, H.; TAYLOR, T.R. **Cristais líquidos ferroelétricos – CLF – uma abordagem sintética**. *Quim. Nova*, v. 24, nº 3, p. 354-362, 2001.
- 3 GRAY, G. W. **Gallery of liquid crystal photomicrographs**. *Micscape Magazine*, Canadá, 2003.
- 4 **Cristais líquidos**. Disponível em: <<http://lince.cii.fc.ul.pt>>. Acesso em: 11 jan, 2005.
- 5 MESTER, A. et al. Characterization of the hazardous components in the end-of-life notebook display. In: **Light metals**, Califonia, TMS, 2005. p. 1213 – 1216.
- 6 OSADA, T., KUGLER, Th., BROMS, P., SALANECK, W.R. Polymer-based light-emitting devices: investigations on the role of the indium-tin oxide (ITO) electrode. **Synthetic metals**, v. 96, p 77-80, abr. 1998.
- 7 STANNETT, V. **Cellulose acetate plastics**. Chemical publishing, NY, 1951, p. 1-10; p256-268.
- 8 BRYDSON, J. A. **Plastics materials**. 6ª Ed, Oxford, Butterworth Heinemann, 1995. p 594-615.
- 9 United States Patent Application. WANG, Y. et al. **Polarizing plate laminated with an improved glue composition and a method of manufacturing the same**. USA A1 – 20050249932, 10 nov, 2005.
- 10 Konica Minolta Opto Inc. SHOICHI, Sugitani. Cellulose ester film, method for producing the same, polarizing plate produced by using the film and liquid crystal display device produced by using the polarizing plate. JP A - 2005-239916, 08 set, 2005.
- 11 MARTIN, R., HETTICH, B. S., BECKER, W. **Safety of liquid crystal (LCs) and recycling of liquid crystal display (LCDs) in compliance with WEEE**. USA: Ed. MERCK, 03 maio, 2004.
- 12 WIEBECK, H.; PIVA, A. M. **Reciclagem do plástico – como fazer da reciclagem um negócio lucrativo**. São Paulo, Artiliber, 2004. p 26-33.
- 13 CAMPOS, J. T. de S. **Métodos instrumentais de análise química**. São Paulo: Edgard Blucher, 1972. p 101-106.
- 14 POUCHERT, C. J. **The aldrich library of infrares spectra**. 3ª Ed, Ed Aldrich Chemical Company, 1981, p 1570-1605.
- 15 BARROS, F. M. **Beneficiamento de rejeito de moscovita da região de Seridó-Borborema (NE) para aplicações industriais**. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8. 2005. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacao/serie_anais_XIII_jic_2005/Fernanda%20Motta.pdf>. Acesso em: 27 out, 2006.