



PIBIC/CNPq/UFPG-2009

## **CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA E ESPECTROSCÓPICA DE MONÔMEROS E FOTOINICIADORES CURADOS POR FOTOPOLIMERIZAÇÃO**

**Ytalo Silva de Araújo<sup>1</sup>, Crislene Rodrigues da Silva<sup>2</sup>**

### **RESUMO**

Na busca por materiais inovadores com excelentes propriedades, tais como, baixo peso específico e resistência ao impacto, empresas vêm cada vez mais investindo na pesquisa desses materiais e no aperfeiçoamento dos processos industriais que culmina na produção dos mesmos. Retroceder a degradação do meio ambiente e diminuir o tempo de produção são os objetivos cruciais desse projeto, que consiste especificamente em substituir o processo de cura térmica (termopolimerização) pela cura por radiação UV (fotopolimerização) de misturas de monômeros e fotoiniciadores utilizados na produção de lentes oftálmicas. Os monômeros e fotoiniciadores utilizados eram provenientes de indústrias como SARTOMER, CIBA, Ipiranga e CHEMTURA, adquiridas através da BANDEIRANTE BRAZMO. Foram utilizadas várias técnicas de caracterização dessas matérias-primas como, termogravimetria / análise térmica diferencial (TG/DTG), calorimetria exploratória diferencial (DSC), espectroscopia vibracional de absorção na região do infravermelho (IR) e espectrofotometria de absorção eletrônica no UV-Visível (UV-Vis). Os estudos de caracterização dos monômeros, do oligômero e dos fotoiniciadores permitiram concluir que todas as amostras apresentaram estabilidade térmica baixa.

**Palavras-chave:** fotopolimerização, monômero, fotoiniciador.

### **THERMAL CHARACTERIZATION AND SPECTROSCOPY OF MONOMERS AND PHOTOINITIATORS CURED BY PHOTOPOLYMERIZATION**

In the search for innovative materials with excellent properties such as low specific weight and resistance to impact, companies are increasingly investing in research of these materials and the improvement of industrial processes leading to the production of them. Back to environmental degradation and reduce the time of production are the key objectives of this project, which is specifically to replace the process of thermal curing (termopolimerização) by UV radiation curing (photopolymerization) of mixtures of monomers and fotoiniciadores used in the production of ophthalmic lenses. The monomers and fotoiniciadores used were from industries as SARTOMER, CIBA, Ipiranga and Chemtura, acquired through BRAZMO Bandeirante. We used various techniques for characterization of raw materials such as thermogravimetry / differential thermal analysis (TG / DTG), differential scanning calorimetry (DSC), vibrational spectroscopy for absorption in the infrared (IR) and electronic absorption spectrophotometry in the UV-Visible (UV-Vis). The studies of characterization of monomers, oligomers and the fotoiniciadores indicated that all samples showed low thermal stability .

**Keywords:** photopolymerization, monomers.

<sup>1</sup> Aluno do Curso de Engenharia de Materiais, Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: [ytalo\\_araujo@hotmail.com](mailto:ytalo_araujo@hotmail.com)

<sup>2</sup> Química Industrial, Profa. Doutora, Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: [crislene@dema.ufcg.edu.br](mailto:crislene@dema.ufcg.edu.br)

## INTRODUÇÃO

Atualmente, o mercado procura materiais com qualidades ópticas que satisfaçam as exigências dos usuários e que possuam facilidades de processamento (FREGOLENTE, 2006). De forma geral, para um polímero apresentar boas propriedades ópticas, este necessita ter boas características como alto índice de refração, alta transmitância da luz, baixo peso específico, resistência ao impacto, estabilidade dimensional pós-cura e estabilidade por exposição à luz e ao calor.

Industrialmente, utiliza-se para a fabricação de lentes oftálmicas, a técnica de polimerização térmica, ou cura térmica. O processo de produção de lentes oftálmicas requer uma série de procedimentos, envolvendo não somente a preparação da mescla (mistura de diferentes produtos químicos) dentre os quais o termo iniciador, mas também outras atividades relacionadas ao emprego de outros materiais auxiliares. Em síntese, o processo envolve as etapas de: preparação da mescla; seleção dos moldes de vidro; seleção da gaxeta (para junção do molde e contra molde); lavagem apurada dos moldes e contra moldes; injeção da mistura no conjunto molde contramolde e a polimerização.

No processo convencional (cura térmica) são utilizados termo iniciadores para a produção de radicais livres na polimerização das resinas. No entanto, quando ocorre aquecimento excessivo, as reações acontecem mais rapidamente, aumentando a taxa de liberação de calor. As tensões criadas pela rápida cura causam fraturas nas lentes e a alta temperatura reduz a eficiência do iniciador (BROGNA, 2002). Os longos ciclos necessários para se evitar defeitos nas lentes são inconvenientes deste tipo de iniciação. Por esse motivo, a geração de radicais através de um processo que não necessite de calor, como a cura por radiação ultravioleta, torna-se uma alternativa viável.

Por este processo (cura por radiação) a luz interage na etapa de iniciação da polimerização e os materiais líquidos são convertidos rapidamente para o estado sólido. Uma das principais vantagens deste processo inovador é a rapidez com que a polimerização acontece. Enquanto o ciclo convencional dura cerca de 20 horas, a polimerização por foto-iniciação é completada em poucos minutos.

O vidro está cada vez mais sendo substituído por materiais poliméricos por serem estes mais leves (possuem baixa massa específica), capazes de obter lentes oftálmicas mais finas, pois apresentam alto índice de refração (1,49 – 1,60) e são mais resistentes ao impacto, possibilitando assim, mais segurança e conforto ao usuário.

A procura por materiais que possuam propriedades ópticas e mecânicas desejáveis para fins oftálmicos está crescendo cada vez mais e interessando mais pesquisadores sobre o assunto (FREGOLENTE, 2006). Materiais que possam ser obtidos de forma rápida e com facilidades de processamento (geralmente por injeção) e que principalmente sejam de baixo custo é o objetivo de estudo de muitos cientistas.

Diante do exposto, propõe-se substituir o processo de cura térmica (termopolimerização) pela cura por radiação UV (fotopolimerização), visando melhorar a qualidade das lentes produzidas, bem como, reduzir substancialmente o consumo energético durante o processamento.

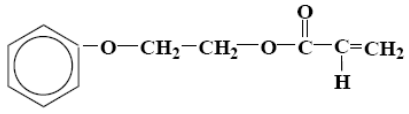
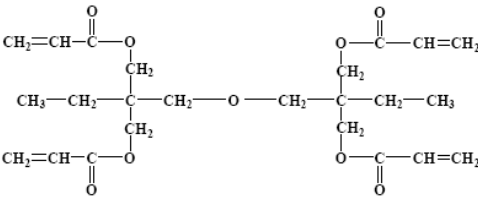
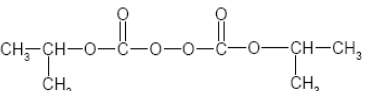
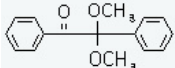
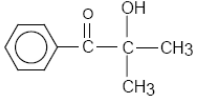
## MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Caracterização de Materiais da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais no Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande-PB e na Universidade Federal da Paraíba no Departamento de Química.

### Material

Os materiais utilizados nesta pesquisa são monômeros, oligômero e fotoiniciadores, um total de sete amostras sendo 3 (três) de monômeros (SR-339 (MSR9), SR-355 (MSR5) e RAV-700 (MRV)), 1 (uma) de oligômero (CN-151 (MCN1)), e 3 (três) de fotoiniciadores (CHIVACURE DBK (CHIVA), DAROCUR (DARO) e IRGACURE (IRGA)). Este último trata-se de uma composição de 20% de IRGACURE 819 e 80% de DAROCUR 1117. As amostras foram provenientes de indústrias como SARTOMER, CIBA, Ipiranga e CHEMTURA, e adquiridas da empresa BANDEIRANTE BRAZMO. A Tabela 1 apresenta as características físico-químicas das amostras.

**Tabela 1 – Características físico-químicas das amostras**

Amostras	Peso Molecular (g/mol)	Estrutura Química	Estado Físico	Ponto de Ebulição (°C)
MSR9	192,0		Líquido	103
MSR5	482,0		Líquido	-
MRAV	274,3		Líquido	-
CHIVA	244,0		Sólido	-
DARO	164,2		Líquido	80-81

#### Termogravimetria / Análise térmica diferencial (TG/DTG)

As curvas termogravimétricas foram obtidas em uma termobalança modelo SDT 2960 – Simultaneous TGA – DTA, TA Instruments®, utilizando o método não-isotérmico de análise, com objetivo de se estudar a estabilidade e a cinética da decomposição térmica dos monômeros e fotoiniciadores.

As curvas referentes à decomposição térmica dos complexos foram obtidas em atmosfera de nitrogênio, com vazão de 50 ml/min., numa faixa de temperatura entre a ambiente até 600°C, com razões de aquecimento de 10°C/min. e a quantidade de massa utilizada foi em torno de 2,0±0,5 mg.

#### Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

As curvas DSC foram obtidas em um sistema, DSC-50 SHIMADZU, DIFFERENTIAL SCANNING CALORIMETER, com o objetivo de medir os fluxos de calor de transições dos compostos.

As curvas foram obtidas em atmosfera de ar, numa faixa de temperatura entre a ambiente até 500°C, com razão de aquecimento de 10° C/min. e a quantidade de massa utilizada foi em torno de 2,0±0,5 mg.

#### Espectroscopia vibracional de absorção na região do infravermelho (IR)

A espectroscopia vibracional de absorção no infravermelho é uma das técnicas mais importantes para análise de compostos orgânicos.

Os espectros de absorção na região do infravermelho dos monômeros e dos fotoiniciadores foram obtidos em pastilhas de KBr, prensadas sob vácuo; neste experimento foi utilizado um espectrofotômetro marca Nicolet, AVATAR 360 FT-IR, na região compreendida entre 4000 e 400 cm<sup>-1</sup>, com resolução de 2 cm<sup>-1</sup>.

#### Espectrofotometria de absorção eletrônica no UV-Visível (UV-Vis)

A intensa absorção na região do ultravioleta é, geralmente, uma característica fundamental dos compostos com intensa luminescência na região do visível. Para obtenção dos espectros de absorção dos monômeros e fotoiniciadores, foram utilizadas soluções etanólicas com concentrações diversas.



**Figura 1** - Termobalança, marca TA Instruments, modelo SDT 2960.



**Figura 2** - Calorímetro Modelo DSC-50, marca SHIMADZU.



**Figura 3** - Espectrofotômetro marca Nicolet, AVATAR 360 FT-IR.



**Figura 4** - Espectrofotômetro Marca VARIAN, modelo CARY 50 Bio.

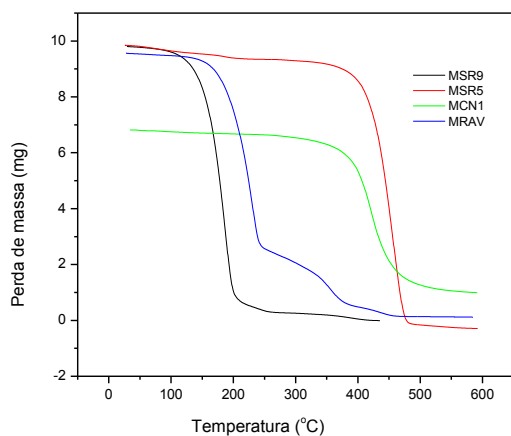
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Termogravimetria / Análise térmica diferencial (TG/DTG)

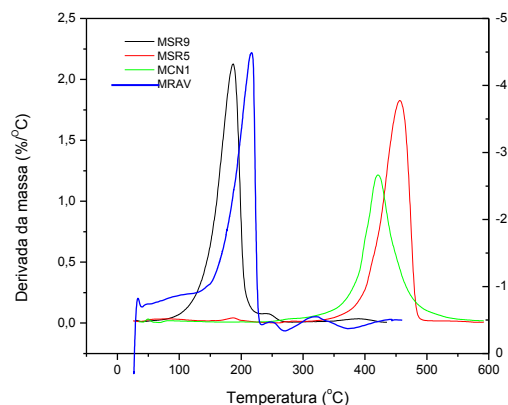
As Figuras 5 e 6 apresentam as sobreposições das curvas termogravimétricas (TG) e da 1ª derivada (DTG) dos monômeros e oligômero estudados, enquanto que a Tabela 2 apresenta os dados referentes às etapas de decomposição, faixas de temperatura (°C); temperatura de pico (°C) e perda de massa destes materiais.

Pode-se observar que os monômeros e o oligômero apresentaram baixa estabilidade térmica, com decomposição em uma, duas e três etapas. A amostra MCN1 apresentou a menor temperatura inicial de decomposição em torno de 34°C e o MRV a maior, em torno de 53°C. Verificou-se ainda que todas as amostras estudadas apresentaram perda de massa entre 200°C e 600°C, que é característico de compostos orgânicos de cadeia complexa e de elevado peso molecular.

As Figuras 7 e 8 apresentam as sobreposições das curvas termogravimétricas (TG) e da 1ª derivada (DTG) dos fotoiniciadores.



**Figura 5** – Curvas TG dos monômeros e do oligômero, a razão de aquecimento de 10°C/min e atmosfera de N<sub>2</sub>.

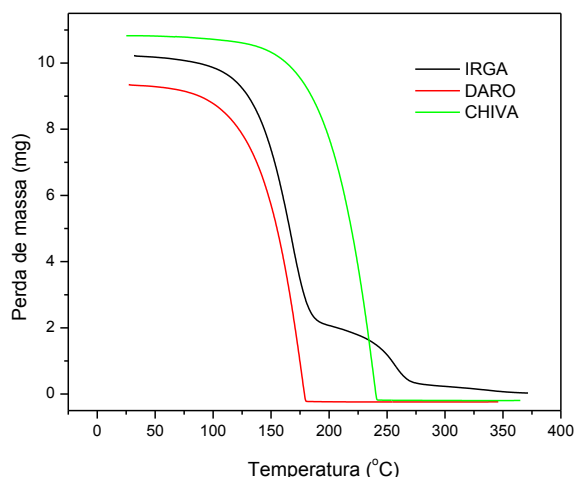


**Figura 6** – Curvas DTG dos monômeros e do oligômero, a razão de aquecimento de 10°C/min e atmosfera de N<sub>2</sub>.

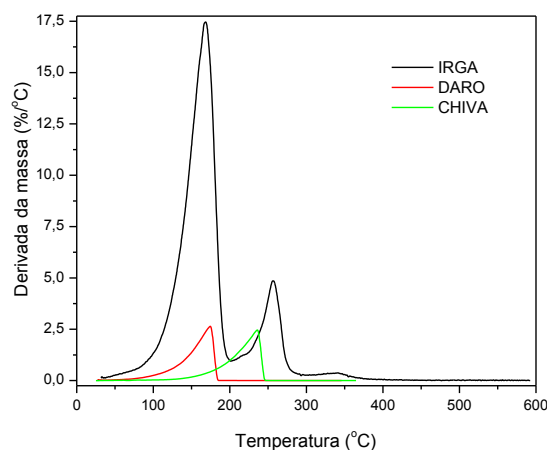
**Tabela 2.** Dados da decomposição térmica dos monômeros e do oligômero, a razão de aquecimento de 10°C/min.

Amostras	Etapas de Decomposição	Faixas de Temperatura (°C)	Temperatura de Pico (°C)	Perda de Massa	
				%	mg
MSR9	1	39 - 295	187	97,0	9,50
	2	295 - 427	389	2,7	0,30
MSR5	1	45 - 146	81	2,8	0,30
	2	146 - 264	186	2,0	0,20
	3	264 - 569	457	97,6	9,60
MCN1	1	34 - 94	50	0,5	0,03
	2	94 - 591	421	84,6	5,80
MRAV	1	53 - 282	230	76,2	7,30
	2	282 - 405	356	18,6	1,80
	3	405 - 487	440	3,4	0,30

Pela análise das curvas das Figuras 7 e 8, pode-se observar que os fotoiniciadores CHIVA e DARO apresentaram apenas uma etapa de decomposição com perda de massa de 76,2% (53 – 230°C) e 100,0%(39 – 191 °C), respectivamente. Para o fotoiniciador IRGA, observa-se 3 etapas de decomposição, sendo que a primeira etapa apresentou maior perda de massa (79,7%) na faixa de temperatura de 43-203°C. Na Tabela 2, pode-se observar, que o fotoiniciador CHIVA apresentou temperatura inicial de perda de massa em torno de 53°C, enquanto que DARO e IRGA apresentaram temperatura inicial de perda de massa em torno de 39°C e 43°C, respectivamente.



**Figura 7** – Curvas TG dos fotoiniciadores a razão de 10°C/min e atmosfera de N<sub>2</sub>



**Figura 8** – Curvas DTG dos fotoiniciadores a razão de 10°C/min e atmosfera de N<sub>2</sub>.

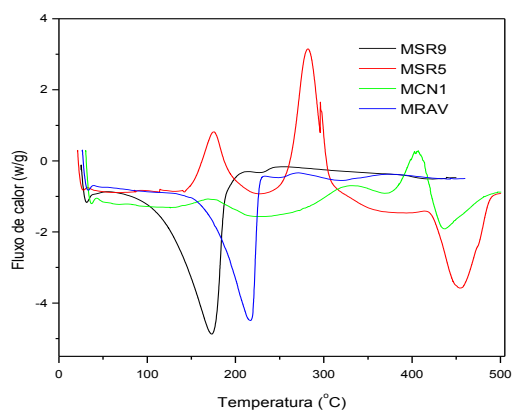
**Tabela 3.** Dados da decomposição térmica dos fotoiniciadores.

Fotoiniciadores	Etapas de Decomposição	Faixa de Temperatura (°C)	Temperatura de Pico (°C)	Perda de Massa %	Perda de Massa mg
CHIVA	1	53 - 230	230	76,2	7,3
DARO	1	39 - 191	174	100,0	9,5
IRGA	1	43 - 203	167	79,7	8,2
	2	203 - 302	256	17,8	1,8
	3	302 - 394	340	2,1	0,2

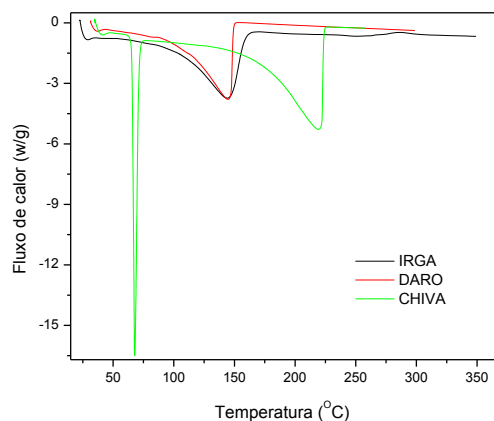
### Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

A Figura 9 apresenta a sobreposição das curvas DSC dos monômeros e do oligômero. Pode-se verificar que o monômero MSR9 apresentou três eventos endotérmicos referente à decomposição do material em 175°C, 230°C e 400°C, respectivamente. O monômero MSR5 apresentou dois eventos exotérmicos em 175°C e 282°C, seguida de um evento endotérmico referente à decomposição do material com máximo em 456°C. O monômero MRV possui um evento endotérmico com máximo em 220°C referente à decomposição e duas pequenas bandas endotérmicas em torno de 240°C e em 325°C, que também é atribuída à decomposição do material. Já o oligômero MCN1 apresentou três eventos endotérmicos em 123°C, 230°C e 436°C e dois eventos endotérmicos 333°C e 410°C referente à decomposição do material.

A Figura 10 apresenta as sobreposições das curvas DSC dos fotoiniciadores. Os resultados evidenciam que o fotoiniciador CHIVA possui temperatura de vaporização em torno 68°C e um evento endotérmico referente à decomposição do material em 220°C. O fotoiniciador DARO apresentou uma pequena banda em torno de 82°C, que pode ser atribuída à ebulição, seguida de um evento endotérmico referente à decomposição com máximo em 145°C. Já o fotoiniciador IRGA apresentou comportamento similar ao DARO e um evento exotérmico com máximo em 287°C referente à decomposição térmica.



**Figura 9** - Curvas DSC dos monômeros e oligômeros, à razão de aquecimento de 10°C/min.

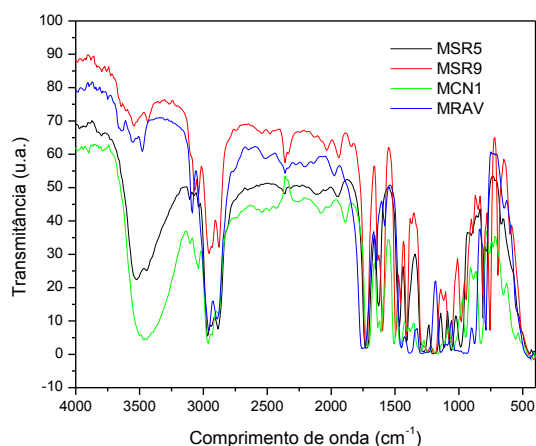


**Figura 10** – Sobreposição das curvas DSC dos fotoiniciadores à razão de aquecimento de 10°C/min.

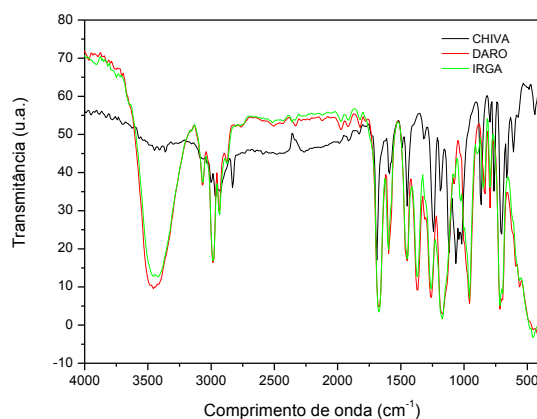
### Espectroscopia Vibracional de Absorção na Região do Infravermelho (IR)

A espectroscopia vibracional de absorção no infravermelho foi utilizada como método complementar de caracterização, facilitando assim a identificação dos grupos funcionais pertencentes às estruturas dos monômeros e oligômero. Os espectros na região do infravermelho confirmaram algumas estruturas já encontradas na literatura.

A Figura 11 apresenta a sobreposição dos espectros dos monômeros e oligômero e a Tabela 3 apresenta os valores das principais bandas de absorção.



**Figura 11** - Espectro de infravermelho das amostras, obtidos em pastilha de KBr.



**Figura 12** - Espectro de IR dos fotoiniciadores, obtidos em pastilha de KBr.

Os espectros da amostra MSR9 e MCN1 apresentaram uma banda de deformação axial de C-H aromático em 3043  $\text{cm}^{-1}$ , demonstrando a presença de anel aromático na estrutura do monômero, confirmado também pela presença de bandas de deformação da ligação C=C do anel em 1596 e 1498  $\text{cm}^{-1}$ , as bandas observadas em 2952 e 2875  $\text{cm}^{-1}$  podem ser atribuídas à deformação axial do C-H do grupo metila. As bandas observadas em 1722 e 1239  $\text{cm}^{-1}$  podem ser atribuídas às bandas de deformação de C=O e C-O, e a parte alifática da estrutura do composto. Estiramentos simétricos do grupamento C-O-C foram observados em 1064  $\text{cm}^{-1}$ . Deformações fora do plano para os grupamentos C-H e C=C foram encontrados em 757 e 694  $\text{cm}^{-1}$ , respectivamente. Todas as amostras apresentaram uma banda larga em torno 3450  $\text{cm}^{-1}$ , atribuída ao grupo OH, confirmando que pode ser decorrente das ligações dentro da cadeia dos monômeros e oligômero, como também pela presença de pontes de hidrogênio com átomo do oxigênio.

As amostras SR-355 e RAV-700 por serem estruturalmente cadeias alifáticas apresentaram bandas de estiramento de C-H de metila em torno de 2966  $\text{cm}^{-1}$ . As bandas observadas em 1740 e 1327  $\text{cm}^{-1}$  podem ser atribuídas às bandas de deformação de C=O e C-O, respectivamente. A presença de deformações assimétricas foram encontradas em torno de 1539  $\text{cm}^{-1}$  relacionada à interação do tipo C=C, nas duas amostras. Estas últimas vibrações podem ser atribuídas a carbonos periféricos da cadeia devido a sua variação em relação a picos característicos desses grupos.

**Tabela 4** - Principais bandas de absorção na região do infravermelho das amostras de monômeros e oligômero.

MRS9	MSR5	MCN1	MRAV	Atribuições
ND	3519(F)	3462(F)	ND	$\nu(\text{OH})$
3043(f)	ND	3035(f)	ND	$\nu_{\text{daa}}(\text{CH})$
2952(m)	2966(F)	2966(F)	2852(F)	$\nu_{\text{dam}}(\text{CH})$
1722(F)	1729(F)	1715(F)	1750(F)	$\nu(\text{C=O})$
1596(F)	1630(m)	1609(f)	1449(F)	$\nu_{\text{dal}}(\text{CC})$
1239(F)	1275(F)	1240(f)	ND	$\nu_{\text{ass}}(\text{COC})$
1064(F)	1058(F)	1044(m)	1142(f)	$\nu_{\text{sin}}(\text{COC})$
757(F)	806(F)	827(F)	778(F)	$\nu_{\text{fp}}(\text{CH})$
694(m)	ND	643(f)	ND	$\nu_{\text{fpl}}(\text{CC})$

Na Tabela 4, daa significa deformação axial de aromático; dam deformação axial de metila; dal deformação axial das ligações; ass é deformação axial assimétrica; sin é deformação axial simétrica; fp deformação angular fora de plano; fpl é deformação angular fora do plano das ligações; f é banda fraca; m é banda média; F é banda forte; ND= não detectado.

Conforme a Figura 12 e a Tabela 4, os espectros dos fotoiniciadores apresentaram uma banda em torno de 3043  $\text{cm}^{-1}$ , característica da deformação axial de C-H aromático, além da presença de bandas em 1596 e 1498  $\text{cm}^{-1}$  características de deformação da ligação C=C aromático, que confirmam a presença de grupos aromáticos na estrutura dos fotoiniciadores. As bandas observadas em 2952 e 2875  $\text{cm}^{-1}$  podem ser atribuídas à deformação axial do C-H do grupo metil. As bandas observadas em 1722 e 1239  $\text{cm}^{-1}$  podem ser atribuídas às bandas de deformação de C=O e C-O, respectivamente, indicando à parte alifática da estrutura do composto. Estiramentos simétricos do grupamento C-O-C foram observados em 1064  $\text{cm}^{-1}$ . Deformações fora do plano para os grupamentos C-H e C=C foram encontrados em 757 e 694  $\text{cm}^{-1}$ , respectivamente. Os espectros dos fotoiniciadores CHIVA e DARO apresentaram uma banda larga em torno 3450  $\text{cm}^{-1}$  característica do grupo OH, que podem ser decorrentes de ligações intramoleculares, como também pela presença de pontes de hidrogênio com átomo do oxigênio.

**Tabela 5** - Principais bandas de absorção na região do infravermelho das amostras de fotoiniciadores.

CHIVA	DARO	IRGA	Atribuições $\nu(\text{cm}^{-1})$
ND	3457(F)	3444(F)	$\nu(\text{OH})$
3000(f)	3071(f)	3071(f)	$\nu_{\text{daa}}(\text{CH})$
ND	2983(m)	2987(m)	$\nu_{\text{dam}}(\text{CH})$
1687(F)	1671(F)	1672(F)	$\nu(\text{C=O})$
1687(F)	1671(F)	1672(F)	$\nu_{\text{dal}}(\text{C=C})$
ND	ND	1260(m)	$\nu_{\text{ass}}(\text{COC})$
1065(F)	1166(F)	1170(F)	$\nu_{\text{sin}}(\text{COC})$

daa=deformação axial de aromático; dam=deformação axial de metila; dal=deformação axial das ligações; ass=deformação axial assimétrica; sin=deformação axial simétrica; fp=deformação angular fora de plano; fpl=deformação angular fora do plano das ligações; f=banda fraca; m=banda média; F=banda forte; ND= não determinado.

### Espectrofotometria de absorção eletrônica no UV-Visível (UV-Vis)

A Tabela 5 apresenta as principais bandas dos espectros de ultravioleta das amostras estudadas. Pode-se observar a presença do grupo OCO, confirmado pela análise de infravermelho nas amostras. O grupo dos ésteres apresenta duas bandas de absorção características que são atribuídas à absorção e excitação eletrônica no átomo de oxigênio quando forma uma ligação simples é uma dupla com carbono presentes na estrutura. Uma dessas bandas está situada próxima a 272 nm, e é devido à transição denominada  $n \rightarrow \pi^*$ , já que o elétron não-ligante (n) é promovido para um orbital antiligante ( $\pi^*$ ). A segunda banda de absorção situa-se próximo de 216 nm, que esta associada à transição do tipo  $\pi \rightarrow \pi^*$  que ocorre quando temos uma transição eletrônica de um orbital ligante para um antiligante.



As amostras apresentaram variações bastante distintas conforme a sua estrutura apresentando variações para valores menores na primeira e segunda banda, a variação é maior quando existe a presença de um grupo benzeno na estrutura da amostra.

**Tabela 5** - Principais bandas na região do ultravioleta das amostras de monômeros e oligômero.

Amostra	Banda 1	Banda 2
MSR9	212	269
MSR5	208	ND
MCN1	215	276
MRAV	203	ND
CHIVA	208	253

### CONCLUSÕES

Os estudos de caracterização dos monômeros e do oligômero permitiram concluir que todas as amostras apresentaram estabilidade térmica baixa, onde o MCN1 apresentou menor estabilidade térmica e o MRAV maior estabilidade térmica. A espectroscopia vibracional de absorção no infravermelho possibilitou a identificação dos grupos funcionais pertencentes às estruturas dos monômeros e oligômero. A espectrofotometria de absorção eletrônica no UV-Visível confirmou a presença de alguns grupos funcionais determinados pela análise de infravermelho nas amostras, e apresentaram variações bastante distintas conforme a sua estrutura.

Conclui-se a respeito das amostras dos fotoiniciadores que todas apresentaram estabilidade térmica baixa, onde o DARO apresentou menor estabilidade térmica e o CHIVA maior estabilidade térmica; os fotoiniciadores DARO e IRGA apresentaram comportamento calorimétrico similar. A espectroscopia vibracional de absorção no infravermelho possibilitou a identificação dos grupos funcionais pertencentes às estruturas dos fotoiniciadores CHIVA, DARO e IRGA.

### AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRZEJEWSKA E., Photopolymerization kinetics of multifunctional monomers. **Progressing in Polymer Science**. v.26, p. 605-665, 2001.

CAMPOS, A. C. S., A importância do fotoiniciador no sistema de fotoiniciação de tintas e vernizes curáveis por radiação UV. **Ipiranga Comercial Química**, Brasil. Disponível em: <<http://www.ipirangaquimica.com.br>> Acesso em: 20 jun. 2008.

COATS, A. W. and REDFERN, J. P., *Nature*, 201, 68, 1964.

FÁBIO M. S. BROGNA, SERGIO P. RAVAGNANI. Modelagem e Simulação da Polimerização Termo e Fotoiniciada de Resinas Di-Carbonato Di-Alila do Etileno Glicol para a Produção de Lentes Oftálmicas. **Polímeros**. São Carlos, vol. 12, n.4, Oct./Dec. (2002).

FINLAYSON, B. A., "Nonlinear Analysis in Chemical Engineering", McGraw-Hill Inc., New York (1980).

FREGOLENTE, P. B. L., **Estudo da fotopolimerização de monômeros monofuncionais e multifuncionais para produção e recobrimento de lentes oftálmicas** 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. 2006. 85f.

HOROWITZ, H. H. and METZGER, R., **Anal. Chem.**, 35 (1963) 1964.

LEON, H. R., TROCHMANN, J. L. L. & BITTENCOURT, E., Desenvolvimento e Otimização de Processos para a Obtenção de Dispositivos Ópticos com Propriedades Controladas, **Anais do 6º Congresso Brasileiro de Polímeros**, Gramado-RS Nov. (2001).

LEON R. H., BITTENCOURT E. Desenvolvimento e estudo cinético de sistemas poliméricos para utilização na indústria de dispositivos ópticos. 2002. 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campina, Campinas, 2002.

MACHADO, M. C. N., SOUZA, A. G., NUNES, L. M., PINHEIRO, C. D. *Thermochimica Acta*, (1999).

MACHADO, M. C. N., Estudo cinético da termodecomposição de complexos bis(dialquilditiocarbamato) Cd (II) por termogravimetria dinâmica e isotérmica, Dissertação de Mestrado, UFPB, João Pessoa, 1996.

MADHUSUDANAN, P. M., KRISHNAN, K. and NINAN, K. N., *Thermochimica Acta*, 221 (1993) 13.

NIESEL L. E., LANDEL R. F, *Mechanical Properties of Polymers and Composites*, Second Edition, New York, Marcel Dekker, Inc, 1994.

ODIAN, G. "Principles of Polymerization", McGraw-Hill (1970)

RODRIGUES M., NEUMANN M., *Fotopolimerização: Princípios e Métodos*, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 13, nº 14, 276-286, 2003.