

EFEITOS TERMOELÁSTICOS INDUZIDOS VIA LUZ LASER

Angelo Thiago de Souza Catanio (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Nelson Guilherme Castelli Astrath (Orientador), e-mail: angelocatania@hotmail.com

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Ciências Exatas e da Terra/ Maringá, PR.

Ciências Exatas e da Terra: Física

Palavras-chave: fenômenos fototérmicos, difusão de calor, termoelasticidade.

Resumo

O projeto visou o estudo de tópicos relacionados com a interação luz matéria, especialmente nos efeitos termoelásticos induzidos via excitação laser. O projeto foi executado com o auxílio do programa *Wolfram Mathematica* (Licença L3206-5660) para o desenvolvimento algébrico. Os efeitos termoelásticos são de fundamental importância em várias técnicas experimentais atualmente em uso no grupo CIILM (Centro de Investigação da Interação Luz-Matéria) do Departamento de Física da UEM. Neste trabalho, as equações diferenciais que descrevem os fenômenos induzidos por laser nas amostras foram resolvidas e também foi feita uma conexão destes efeitos com o transiente experimental da técnica de Espectroscopia de Lente Térmica (LT). Além disso, o estudo da fotodegradação da Eosina Y foi realizado, visto que este corante tem uma grande importância para tratamentos de terapia fotodinâmica.

Introdução

A luz pode ser considerada um dos principais elementos da natureza que possibilitaram a existência da vida. Os processos de interação da luz com a matéria é objeto de estudo a muito tempo. A luz ao interagir com a matéria pode induzir diversos processos físico/químicos, como por exemplo, absorção, reflexão, espalhamento e a fotorreação. Contudo, foram nos séculos XIX e XX que os estudos da luz ultravioleta e visível começaram a ser difundidos nos estudos da área médica.

Nesta direção, temos a terapia fotodinâmica (TFD), que é uma das técnicas médico-terapêuticas utilizadas no tratamento de doenças causadas por bactérias, vírus e até mesmo o câncer. Esta terapia é baseada em um fotossensibilizador, que ao ser estimulado por luz, passa para o estado excitado, chamado de estado singleto, podendo voltar para o seu estado fundamental emitindo energia por fluorescência ou sofrer inversão de spin e ir para o estado tripleto. A partir do estado tripleto, o retorno para o estado fundamental consiste na perda de energia por fosforescência. Entretanto, os fotossensibilizadores também podem transferir energia para a molécula de O_2 , levando a produção de espécies reativas de oxigênio, especialmente o oxigênio singleto. O oxigênio singleto é altamente reativo causando desordem na parede celular e danos nas organelas celulares induzindo a morte celular e destruição do tecido doente. A TFD tem sido aplicada no combate

de acne, psoríase, degeneração macular relacionada à idade e vários tipos de câncer, como câncer de pele, pulmão, cérebro, bexiga, bile-duto, esôfago, cabeça e pescoço. PDT também é comprovada para erradicar microorganismos patogênicos (bactérias Gram-positivas e Gram-negativas), leveduras e fungos, sendo neste caso chamada de Inativação Fotodinâmica de Microorganismos (IFDMO). Nesta direção, a técnica de LT tem sido usada como ferramenta adicional na caracterização físico-química de fotossensibilizadores aplicados a TFD.

Materiais e métodos

Através dos estudos da literatura, a solução da equação de difusão de calor (com o coeficiente de absorção óptica dependente do tempo) foi obtida pelo uso do método das transformadas integrais, os quais foram feitas no software Mathematica. Este software permite cálculos algébricos simples e as soluções obtidas podem ser comparadas com resultados numéricos. Além disso, foi feita uma montagem experimental de lente térmica, a fim de obter o transiente da água mili-Q (a 25°C) e também para obter os transientes da eosina Y (a 25°C) para quatro potências diferentes do laser de excitação, 50mW, 100mW, 150mW e 200mW.

Resultados e Discussão

Após o estudo da literatura e realizado todos os cálculos matemáticos necessários da LT, a intensidade do feixe de prova pode ser resumido na forma,

$$I(t) = I(0) \left| \int_0^\infty e^{-(1+iV)g} e^{-i\phi(g,t)} dg \right|^2$$

onde V é um parâmetro geométrico do setup. A diferença de fase (ϕ) induzida pelo laser de excitação para líquidos com fotorreação é dado da forma [1],

$$\Phi = \frac{\theta_{th}}{t_c} (1 - \epsilon) e^{-tK_T} \int_0^t e^{\tau K_T} e^{\frac{2\tau^2/\omega_{0e}^2}{(t_c^2+1)}} \frac{d\tau}{\left(\frac{2\tau}{t_c} + 1\right)} + \epsilon \frac{\theta_{th}}{t_c} \int_0^t e^{\frac{2\tau^2/\omega_{0e}^2}{(t_c^2+1)}} \frac{d\tau}{\left(\frac{2\tau}{t_c} + 1\right)}$$

onde $t_c = \omega^2 / 4D$, sendo D a difusividade térmica, K_T a constante de fotodegradação, ϵ é a razão entre a absorvidade molar do produto e reactante, e θ_{th} dado por

$$\theta_{th} = \frac{-P_e \beta_0 L \phi}{\lambda_P K} \frac{dn}{dt}$$

Nas Figuras 1 e 2 são mostrados transientes de LT para amostras com e sem fotorreação. Para o caso da água mili-Q, Fig. 1, após o *Shutter* ser aberto (laser on), é notado que rapidamente ocorre uma diminuição brusca na intensidade do feixe de prova até aproximadamente 1s, com comportamento característico de efeito puramente térmico. Quando o *Shutter* é fechado (laser off), é notado que ocorre um aumento muito rápido, sendo que o sinal volta para a intensidade inicial. Esse processo de relaxação também é puramente térmico.

No caso de amostras de eosina Y, Fig. 2, observamos um comportamento característico de amostras que apresentam fotorreação. No intervalo onde o laser está ligado, observamos o decaimento térmico seguido de uma diminuição na

amplitude decorrente da diminuição da absorção devido a foto-degradação. Após o feixe de excitação ser desligado (laser off), somente o relaxamento térmico domina o transiente. O ajuste deste transiente nos fornece os parâmetros t_c , θ_{th} , ε e K_T . Devido a dificuldade de ajuste multi-paramétrico, usualmente se fixa os parâmetros t_c e ε , os quais são determinados por técnicas alternativas.

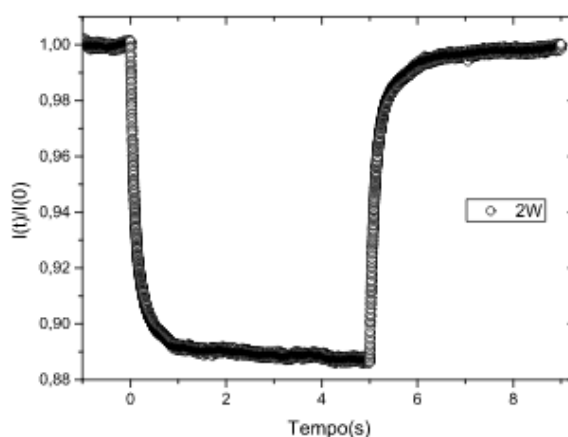


Figura 1 – Transiente da água mili-Q em uma potência de 2W.

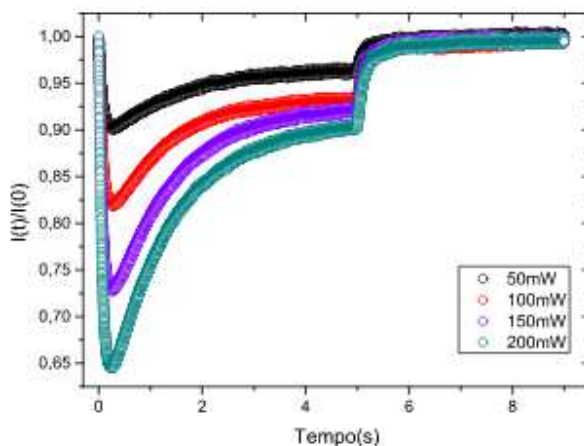


Figura 2 – Transientes de eosina Y com concentração de 400µM variando a potência.

O ajuste dos transientes mostrados na Fig. 2, mantendo t_c fixo obtido do ajuste do transiente do solvente puro, ε obtido pelo espectro de absorção para amostras de eosina não degradada e degradada, nos forneceram os valores de θ_{th} e K_T . A figura 3 mostra como é o comportamento de θ_{th} e K_T em função da potência de excitação. O parâmetro θ_{th} é linear como esperado. O parâmetro K_T apresenta um comportamento ligeiramente não linear, provavelmente indicando que o processo de foto-degradação não é puramente de primeira ordem.

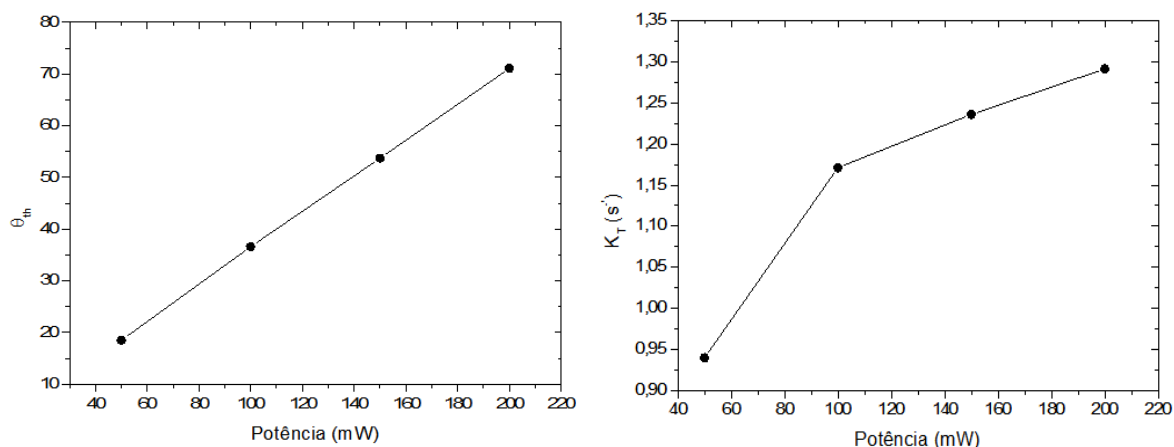


Figura 3 – Comportamento dos parâmetros θ_{th} e K_T em função da potência.

Conclusões

A partir dos resultados obtidos, podemos concluir que o método das transformadas integrais tem uma aplicação muito útil para encontrar solução de equações diferenciais, as quais nos permitem obter a expressão da diferença de fase induzida para amostras apresentando fotorreação. O ajuste do transiente experimental com o modelo proposto nos permitiu a utilização da técnica de LT na caracterização do processo de foto-degradação de fotossensibilizadores, processo de alto interesse para a determinação dos protocolos de aplicação da TFD. Isto amplia o uso da Espectroscopia de Lente Térmica além do simples uso para a caracterização de propriedades térmicas de materiais.

Agradecimentos

Agradeço às agências Capes, Fundação Araucária e CNPq pelo apoio financeiro.

Referências

- [1] Colet, J. M., “Aplicação da Espectroscopia de Lente Térmica para o Estudo de Fotorredução do Óxido de Grafeno”, Dissertação de Mestrado, Pós-graduação em Física, Universidade Estadual de Maringá, 2017.
- [2] Malacarne, L. C., Savi, E.L., Baesso, M. L., Lenzi, E. K., Astrath, N. G. C.* “Role of Photophysics Process in Thermal Lens Spectroscopy of Fluids: A Theoretical Study”, J. Phys. Chem. A 2014, 118, 5983-5988.
- [3] Herculado L. S.,* Malacarne, L. C., Zanuto V. S., Lukasiewicz, G. V. B., Capeloto, O. A., Astrath, N. G. G.* “Investigation of the Photobleaching Process of Eosin Y in Aqueous Solution by Thermal Lens Spectroscopy”, J. Phys. Chem. B 2013, 117, 1932-1937.