

LENTE TÉRMICA: UMA COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS TEÓRICOS QUE DESCREVEM O EFEITO E SEUS RESULTADOS EXPERIMENTAIS II

Felipe Borowiec Teodoro (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Nelson Guilherme Castelli Astrath (Orientador). E-mail: ngcastrath@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Maringá, PR.

Física, Física da matéria condensada

Palavras-chave: Propriedades Termo-ópticas, Espectroscopia, Fototérmica.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo o estudo e a aplicação prática da técnica de Espectroscopia de Lente Térmica, método fototérmico amplamente utilizado para a caracterização de propriedades ópticas e termo-ópticas de materiais. Inicialmente, foram revisados os fundamentos teóricos que descrevem o fenômeno da lente térmica, considerando os regimes de baixa absorção e absorção considerando a Lei de Beer, os quais apresentam diferentes abordagens matemáticas e físicas para a modelagem da propagação e absorção da radiação laser no meio amostral. Na etapa experimental, realizou-se a implementação prática da técnica, utilizando-se água ultrapura e o corante Sirius Red como amostra, em diferentes concentrações em água ultrapura. As medidas experimentais obtidas foram posteriormente analisadas e comparadas com os modelos teóricos, a fim de verificar a consistência entre teoria e prática. Para o tratamento e análise dos dados, empregou-se softwares matemáticos, o que possibilitou a simulação numérica dos modelos e a avaliação da precisão das previsões teóricas em relação aos resultados experimentais. Os resultados demonstraram concordância satisfatória entre as simulações e as medidas realizadas, validando os modelos teóricos e confirmando a aplicabilidade da técnica em diferentes regimes de absorção.

INTRODUÇÃO

A técnica de Lente Térmica fundamenta-se no aquecimento localizado da amostra por meio da absorção da radiação de um feixe laser (Gordon et al., 1965). Esse processo produz um gradiente espacial de temperatura no interior do material, o que, por sua vez, induz uma variação no índice de refração do meio. Tal variação modifica o caminho óptico percorrido pelo feixe de prova, resultando em perturbações na frente de onda e, conseqüentemente, em uma diferença de fase detectável (Shen., 1993). Esse efeito fototérmico, altamente sensível, constitui a

base do método, permitindo a caracterização de propriedades ópticas e termo-ópticas de materiais.

Para a modelagem teórica do fenômeno, foram considerados diferentes regimes de absorção ao longo do eixo z . No caso de baixas absorções, adota-se o modelo Shen (Shen., 1992), no qual a atenuação do feixe incidente é desprezível, permitindo simplificações analíticas no tratamento do campo térmico e óptico. Para absorções intermediárias, aplica-se a Lei de Beer, originando o Beer Absorption Model (BAM), que leva em conta a atenuação exponencial da intensidade luminosa no meio (Sato et al., 2008).

Para a resolução dos modelos teóricos, empregou-se o método das transformadas integrais, com a aplicação das transformadas de Laplace, Fourier-Cosseno e Hankel (Debnath., 2015), bem como de suas respectivas inversas. Essa abordagem permitiu simplificar as equações diferenciais envolvidas e obter soluções analíticas mais adequadas para a descrição do efeito de Lente Térmica.

A distinção entre esses modelos é essencial para a interpretação correta dos resultados experimentais, uma vez que a escolha do regime de absorção influencia diretamente tanto as equações que descrevem a evolução térmica quanto as previsões da resposta óptica medida. Dessa forma, a técnica de Lente Térmica revela-se versátil e precisa, adaptando-se a diferentes condições de absorção do material investigado.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a comparação dos modelos teóricos de Lente Térmica, foram realizadas medidas experimentais de água ultrapura e soluções aquosas do corante *Sirius Red* em diferentes concentrações (1 mM, 0,1 mM e 0,01 mM). O *Sirius Red* foi escolhido por ser um corante amplamente utilizado em aplicações biológicas e químicas, apresentando forte absorção no comprimento de onda de nosso feixe de excitação (532nm), boa solubilidade em água e por não apresentar fotoatividade e fluorescência, o que o torna adequado para experimentos de absorção controlada. A variação da concentração possibilitou investigar como diferentes regimes de absorção influenciam a resposta transiente da Lente Térmica e, conseqüentemente, a aplicabilidade de cada modelo teórico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para cada solução preparada, bem como para a amostra de água ultrapura utilizada como referência, foram obtidas quatro curvas transientes correspondentes a diferentes potências do feixe de excitação. A variação da potência do laser e da concentração de nosso corante permitiu explorar diferentes regimes de absorção de energia, possibilitando uma melhor visualização das curvas de decaimento transiente associadas ao efeito de Lente Térmica. Esse procedimento foi

fundamental para aumentar a confiabilidade dos dados e garantir uma interpretação mais precisa das respostas experimentais.

A análise comparativa das curvas revelou como a intensidade do feixe de excitação e a concentração do corante influencia o tempo característico de formação da lente térmica, bem como a amplitude do sinal obtido. Além disso, a repetição das medidas em diferentes potências possibilitou verificar a reprodutibilidade dos resultados e identificar variações sutis entre as soluções de diferentes concentrações. Esses aspectos se mostraram essenciais para a etapa posterior de ajuste aos modelos teóricos de Shen e BAM, fornecendo subsídios para avaliar a aplicabilidade e os limites de cada um frente às condições de absorção estudadas.

CONCLUSÕES

A análise dos resultados mostrou a precisão da técnica de Lente Térmica e permitiu identificar os regimes de aplicabilidade dos modelos teóricos. O modelo de Shen apresentou boa concordância em baixas absorções, sendo válido para sinais abaixo de cerca de 15%, enquanto o modelo BAM mostrou-se mais adequado em condições de maior absorção. Dessa forma, foi possível delimitar com clareza as situações em que cada modelo descreve o fenômeno com maior precisão, destacando a importância da escolha adequada do modelo na interpretação dos dados experimentais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao órgão financiador CNPQ, agradeço ao meu orientador Professor Nelson por me disponibilizar a oportunidade e agradeço a Deus pela minha vida.

REFERÊNCIAS

DEBNATH, L.; BHATTA, D. **Integral Transforms and Their Applications**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2015. ISBN 978-1-4822-2358-3. p. 98-104; p. 143-187; p. 343-359.

GORDON, J. P.; et al. Long-Transient Effects in Lasers with Inserted Liquid Samples. **J. Appl. Phys.**, [S.l.], v. 36, n. 1, p. 3-8, jan. 1965. DOI: 10.1063/1.1713919. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1063/1.1713919>.

SATO, F; et al. Time-resolved thermal mirror method: A theoretical study. **Journal of Applied Physics**, [S.l.], v. 104, p. 1-9, 2008. DOI: 10.1063/1.2960331. Disponível em: <https://doi.org/10.1063/1.2960331>.

SHEN, J; LOWE, R.D.; SNOOK, R. D. A model for cw laser induced mode-mismatched dual-beam thermal lens spectrometry. **Chemical Physics**, [S.l.], v. 165, p. 385-396, 1992.

34º Encontro Anual de Iniciação Científica
14º Encontro Anual de Iniciação Científica Júnior



12 e 13 de novembro de 2025

SHEN, J. **Theoretical Modelling of Photothermal Lens Spectrometry and Its Experimental Applications**. 1993. Tese (Doutorado em Filosofia – Faculty of Technology) – University of Manchester, Department of Instrumentation and Analytical Science, Manchester, 1993.