

Estudo do tempo de resposta em cristais líquidos nemáticos com superfícies ativas

RESUMO

Suelen Amanda Granado
suelen_granado@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil

Rafael Soares Zola
rzola@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil

A teoria elástica para nemáticos é utilizada para explicar a organização do diretor na presença de superfícies ativas. Analisamos o tempo de resposta óptico e molecular de uma célula nemática com espessura d limitada por dois substratos tratados, na qual o diretor varia apenas na direção z , com superfícies que promovem um ancoramento que depende do tempo com inclinação inicial do diretor igual a θ_0 decaindo de forma exponencial. Para isto, as equações que governam o sistema são resolvidas analiticamente via transformadas integrais e os tempos característicos do sistema são analisados com o método de Jones. Encontramos que o perfil do diretor através da amostra depende de forma crítica do tempo de decaimento na superfície, ou seja, o sistema é muito sensível ao decaimento nas superfícies. O comportamento usual (onde o tempo de resposta molecular varia com a espessura ao quadrado) é fortemente alterado na presença das superfícies ativas. O problema aqui tratado teoricamente é relevante na modelagem de sistemas cujas superfícies podem ser alteradas remotamente via radiação ultravioleta, devido a necessidade de velocidade para os displays modernos. Nossos resultados indicam que a dinâmica da superfície que promove um ancoramento que depende do tempo altera o comportamento de toda a amostra.

PALAVRAS-CHAVE: Cristais líquidos nemáticos; Tempo de decaimento; Alinhamento foto-sensível; Método de Jones.

INTRODUÇÃO

Um sistema líquido cristalino (CL) é caracterizado por possuir fluidez e ordem molecular em uma única fase. A descoberta deste é atribuída a Friedrich Reinitzer em 1888 que denominou o Cristal Líquido como sendo um estado intermediário entre a fase sólida cristalina e a fase líquida isotrópica. No cristal líquido nemático (N), as moléculas possuem ordem orientacional, na qual espontaneamente os eixos de simetria das moléculas ficam paralelos uns aos outros, a qual se associa o vetor unitário \mathbf{n} , chamado de diretor. A teoria elástica para nemáticos é utilizada para explicar a organização do diretor desprezando a escala microscópica visto que a energia de interação das moléculas é muito maior que a energia livre por molécula. Um parâmetro muito importante para cristais líquidos é o tempo de resposta, ou seja, o quanto rápido uma informação pode ser escrita no meio para a utilização em displays. Esse tempo de resposta pode ser modificado por vários fatores entre eles, os efeitos de superfície do sistema. Neste trabalho, analisaremos o tempo de resposta óptico e molecular de uma célula nemática com superfícies ativas, cujo eixo óptico varia com o tempo. Para isto, as equações que governam o sistema são resolvidas analiticamente via transformadas integrais e os tempos característicos do sistema são analisados com o método de Jones. Encontramos que o sistema é muito sensível ao decaimento nas superfícies. O comportamento usual (onde o tempo de resposta molecular varia com a espessura ao quadrado) é fortemente alterado na presença das superfícies ativas (PEREIRA, 2003; SOUZA, 2013; YANG, WU, 2006).

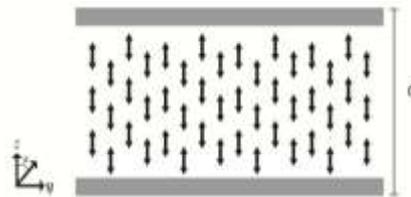
MÉTODOS

A energia elástica do sistema é dada pela equação de Frank que depende das constantes elásticas K_{11} , K_{22} , K_{33} relacionadas a deformações de divergências (Splay), a deformações do tipo torção (Twist) e a deformações do tipo flexão (Bend), respectivamente.

As superfícies de contorno as quais um cristal líquido esta alojado inserem uma desagregação na simetria translacional das moléculas que pode se dar devido alguns fatores como as interações químicas do cristal líquido com o substrato e também devido à forma geométrica da superfície. A energia de superfície tende a ser mínima quando um CL é orientado na direção do eixo fácil, que é a direção preferencial induzida pela superfície (YANG; WU, 2006; WANG et al, 2004).

Assumimos um sistema composto por um cristal líquido nemático limitado por dois substratos tratados. A espessura da amostra é d e assumimos que o diretor varie apenas na direção z como demonstrado na Figura 1. As superfícies promovem um ancoramento que depende do tempo de forma que o eixo fácil decai exponencialmente, de um valor inicial a ($\theta(z,t=0)=a$) até 0, com uma constante de decaimento τ .

Figura 01 - Geometria do Sistema



Fonte: Autoria própria (2016).

Para encontrar a energia livre do sistema, que é composta pela densidade de energia elástica, densidade da energia livre do campo elétrico e a densidade de energia livre da superfície, foram feitas as seguintes considerações: o vetor diretor n é dado por $n = \cos\theta k + \sin\theta j$, em que $\theta = \theta(z)$ é o ângulo de inclinação do diretor.

A energia total do sistema é obtida através da integração da soma das densidades de energia em todo o volume. Com os resultados deve-se encontrar uma função $\theta(z)$ que satisfaça a equação de Euler-Lagrange (YANG, WU, 2006), situação na qual o cristal líquido estará em equilíbrio, ou seja toda energia livre do sistema é mínima. Substituindo o funcional da energia superficial na equação de Euler-Lagrange resulta em:

$$K_{33}\theta'' = \gamma_1 \frac{\partial\theta(z, t)}{\partial t} \quad (1)$$

onde γ_1 é a viscosidade rotacional do sistema. Assim, a equação (1), levando em consideração a viscosidade na superfície, está sujeita as seguintes condições de contorno

$$\pm k_{33} \frac{\partial\theta(z, t)}{\partial z} + W \left[\theta(z, t) - ae^{-\frac{z}{\tau}} \right] + \gamma_s \frac{\partial\theta(z, t)}{\partial t} \Big|_{z=0, d} = 0 \quad (2)$$

nas quais, W é a energia de ancoramento e γ_s é a viscosidade da superfície.

Para encontrar a solução de nossa EDP é necessária a aplicação da Transformada de Laplace (TL). A solução final é encontrada ao fazer a inversa da TL e para isto foi necessário usar o teorema do resíduo (BUTKOV, 2013).

$$F2 = \frac{\left(ae^{-\frac{z}{\tau}} W \tau \operatorname{Sech} \left[d \sqrt{-\frac{\gamma_1}{k_{33}\tau}} \left(\begin{aligned} & -\gamma_1 \operatorname{Cosh} \left[(d-z) \sqrt{-\frac{\gamma_1}{k_{33}\tau}} \right] - \gamma_1 \operatorname{Cosh} \left[z \sqrt{-\frac{\gamma_1}{k_{33}\tau}} \right] + \right. \right. \\ & \left. \left. \sqrt{-\frac{\gamma_1}{k_{33}\tau}} (-\gamma_s + W\tau) \left(\operatorname{Sinh} \left[(d-z) \sqrt{-\frac{\gamma_1}{k_{33}\tau}} \right] + \operatorname{Sinh} \left[z \sqrt{-\frac{\gamma_1}{k_{33}\tau}} \right] \right) \right) \right] \right)}{\left(2\gamma_1(\gamma_s - W\tau) - \sqrt{-\frac{\gamma_1}{k_{33}\tau}} (-\gamma_s^2 + 2W\gamma_s\tau + \tau(k_{33}\gamma_1 - W^2\tau)) \operatorname{Tanh} \left[d \sqrt{-\frac{\gamma_1}{k_{33}\tau}} \right] \right)} \quad (3)$$

$$F3 = \sum_x \left[\left(-((4ae^{-(k_{33}tX^2)/(d^2\gamma_1)}) W \operatorname{Cos}[X(d-2z)/2d] \operatorname{Sec}[X](dk_{33}X\gamma_1 \operatorname{Cos}[X/2] + (d^2 W\gamma_1 - k_{33} 2X^2 \gamma_s) \operatorname{Sin}[X/2])) / (dX\gamma_1 (-d - ((k_{33})^2 X^2 / d^2 + (W - (k_{33}X^2 \gamma_s) / (d^2 \gamma_1))^2) (-1 + (k_{33}X^2 \tau) / (d^2 \gamma_1))) \operatorname{Sec}[(\sqrt{k_{33} X \sqrt{\gamma_1/k_{33}}) / \sqrt{\gamma_1}]^2 + 1 / (d^5 [\gamma_1]^{7/2}) 2\sqrt{k_{33}} (d\sqrt{k_{33}} [\gamma_1]^{3/2}) (3d^4 W [\gamma_1]^2 + 7 [(k_{33})^2 X^4 \gamma_s \tau - 5d^2 k_{33} X^2 \gamma_1 (\gamma_s + W\tau)) + 1/X \sqrt{\gamma_1/k_{33}} (d^6 W^2 [\gamma_1]^3 - 4 [(k_{33})^3 X^6 [\gamma_s]^2 \tau + 3d^2 [(k_{33})^2 X^4 \gamma_1 (\gamma_s)^2 + k_{33} \gamma_1 \tau + 2W\gamma_s \tau] - 2d^4 k_{33} X^2 [\gamma_1]^2 (k_{33} \gamma_1 + W(2\gamma_s + W\tau))) \operatorname{Tan}[(\sqrt{k_{33} X \sqrt{\gamma_1/k_{33}}) / \sqrt{\gamma_1}]]) \right) \right) \right] \quad (4)$$

$$\theta(z,t) = F_2 + F_3 \quad (5)$$

A equação 5 descreve como o ângulo do diretor varia no espaço e no tempo devido à relaxação imposta pelas superfícies ativas.

A transmissão óptica é encontrada utilizando o método de Jones. Com o tempo óptico calculamos o tempo molecular através da relação encontrada em (WANG et al, 2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando o método de Jones para encontrar a intensidade de um feixe de luz que passa através do nosso sistema líquido cristalino, foi possível calcular o tempo molecular e óptico desse sistema para as condições apresentadas, nas quais $k_{33} = 18,1 \times 10^{-12} \text{ N/m}^2$ e $\gamma_1 = 10^{-1} \text{ Pa.s}$.

Os cálculos foram feitos de $t=0$ até o sistema relaxar ao equilíbrio. Analisamos o tempo de resposta óptico e molecular para 10 espessuras diferentes de amostra entre $d=10^{-6}$ e $d=10^{-5} \text{ m}$.

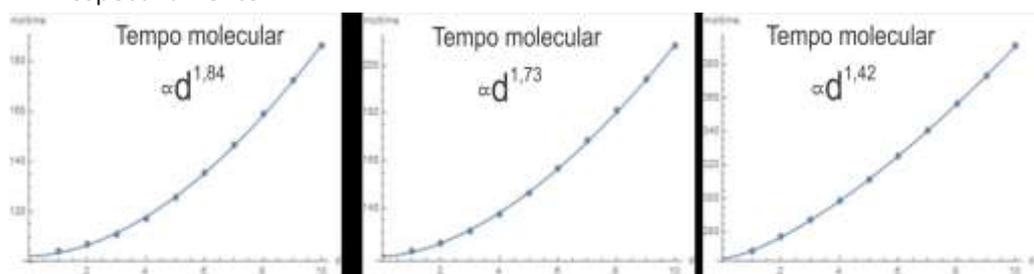
Estudamos também alguns valores de energia de ancoramento, viscosidade de superfície e tempos de relaxação τ . Os valores de ancoramento utilizados foram 10^{-3} , 10^{-4} e 10^{-5} J/m^2 . De viscosidade de superfície 10^{-6} , 10^{-7} e 10^{-8} Pa.s/m . E tais iguais a 0,1 0,01 0,001 e 0s.

Com os resultados foram traçados diversos gráficos do tempo óptico pela espessura e do tempo molecular pela espessura, a fim de se analisar a diferença dentre esses de acordo com os valores de ancoramento, viscosidade superficial e tempo de decaimento utilizados.

Nosso modelo prediz o comportamento usual no qual o tempo de resposta molecular varia com a espessura ao quadrado para ancoramento forte e na ausência de relaxação na superfície.

Na figura 2, é evidente a influência da energia de ancoramento nos tempos de resposta quando a viscosidade de superfície e a taxa de decaimento superficial são mantidas constantes, porém com valores altos para realçar seus efeitos. Quanto mais fraca a energia de ancoramento mais o valor do expoente se distancia de 2, valor convencional, ou seja, mais a amostra é influenciada pela superfície.

Figura 02 - Tempo molecular pela espessura para valores de $\gamma_s = 10^{-6} \text{ Pa.s/m}$ e $\tau = 0,1 \text{ s}$ variando o ancoramento com os valores de $W = 10^{-3}$, $W = 10^{-4}$ e $W = 10^{-5} \text{ J/m}^2$, respectivamente



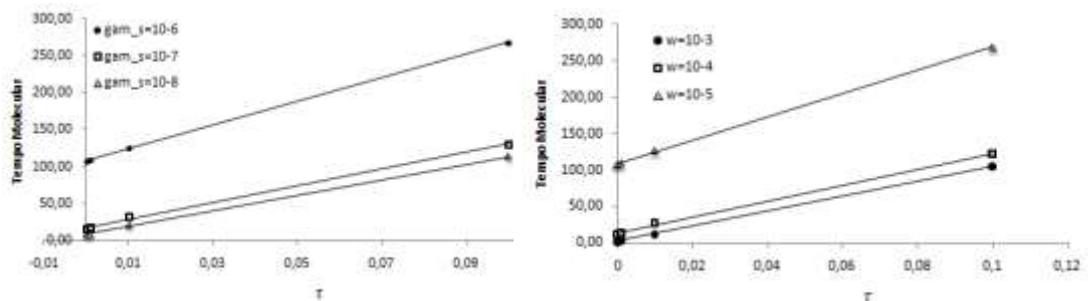
Fonte: Autoria própria (2017).

Para encontrarmos o perfil dos tempos de resposta versus τ , traçou-se gráficos para um sistema de espessura $d=10^{-6} \text{ m}$, primeiramente mantendo fixo o

ancoramento em $W=10^{-5} \text{J/m}^2$ e mudando o valor de viscosidade, e, posteriormente mantendo a viscosidade de superfície fixa em $\gamma_s=10^{-6} \text{Pa.s/m}$ e alterando o valor da energia de ancoramento.

Podemos analisar pela Figura 3 que o tempo de resposta molecular cresce linearmente de acordo com τ . Pode-se perceber que quanto maior a viscosidade de superfície maior é o tempo de resposta para um mesmo τ . Em relação ao ancoramento quanto mais fraco a magnitude deste maior é o tempo de resposta.

Figura 03 - Tempo molecular versus τ com $W=10^{-5} \text{J/m}^2$ variando a viscosidade e com $\gamma_s=10^{-6} \text{Pa.s/m}$ variando a energia de ancoramento



Fonte: Autoria própria (2017).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisamos o tempo de resposta óptico e molecular de uma célula nemática com espessura d limitada por dois substratos tratados que promovem um ancoramento que depende do tempo. O sistema é resolvido analiticamente via transformadas integrais e os tempos característicos do sistema são analisados com o método de Jones. Encontramos que o perfil do diretor através da amostra depende de forma crítica do tempo de decaimento na superfície.

Da literatura convencional temos que para ancoramentos fortes a relação do tempo de resposta com a espessura da amostra se dá de forma quadrática ou seja $t=a*d^2$. Sendo este resultado encontrado para ancoramento forte $W=10^{-3} \text{J/m}^2$ e taxa de decaimento rápida como esperado. Para ancoramentos fracos, observou-se a influencia da superfície na amostra, onde nossos resultados indicam valores na faixa de 1 a 2. A dependência dos tempos de resposta variam linearmente com τ para valores fixos de viscosidade de superfície e energia de ancoramento. Nossos resultados indicam que a dinâmica da superfície que promove um ancoramento que depende do tempo altera o comportamento de toda a amostra.

Study of the response time on nematic liquid crystals with active surfaces

ABSTRACT

The elastic theory for nematics is used to explain a director's organization in the presence of active surfaces. We analyzed the optical and molecular response time of a nematic cell with thickness d limited by two treated substrates, in which the director varies only in the z -direction, with surfaces that promote a time-dependent anchoring with the director's initial inclination equal to ' α ' declining exponentially. For this, the equations that govern the system are solved analytically via integral transformations and the characteristic times of the system are analyzed with the Jones method. We find that the role of the director through the sample depending critically of the decay time on the surface, ie the system is very sensitive to the decay of the surfaces. The usual behavior (where the molecular response time varies with the squared thickness) is strongly altered in the presence of the active surfaces. The problem addressed herein is relevant in modeling systems whose surfaces can be altered remotely via ultraviolet radiation due to the need for speed for modern displays. Our results indicate that the dynamics of the surface that promotes a time-dependent anchorage changes the behavior of an entire sample.

KEYWORDS: Nematic liquid crystals; Decay time; Alignment photo-sensitive, Jones Method.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

BUTKOV, E. **Física Matemática**. 1. ed. Rio de Janeiro. LTC, 2013.

PEREIRA, H. A. **Efeito da Adsorção Iônica Seletiva na Energia de Ancoramento e na Orientação Molecular de Cristais Líquidos Nemáticos**. 2003. 100f. Tese (Doutorado em Física) - Universidade Estadual de Maringá e Universidade Estadual de Londrina. Maringá, 2003 p. 4-43.

SOUZA, R. F. de. **Influência da Viscosidade de Superfície, Energia de Ancoramento, Espessura de Ângulo na Superfície no Tempo de Relaxamento de Cristais Líquidos Nemáticos**. 2013. 101f. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2013 p. 9-40.

WANG, H. et al. **Correlations between liquid crystal director reorientation and optical response time of a homeotropic cell**. Journal of Applied Physics. p. 5502-5508. May, 2004.

YANG, D.K.;WU, S.T. **Fundamentals of Liquid Crystal Devices**. Wiley-SID, Chichester, 2006.

Recebido: 31 ago. 2017.

Aprovado: 02 out. 2017.

Como citar:

GRANADO, S. A. et al. Estudo do tempo de resposta em cristais líquidos nemáticos com superfícies ativas. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPR, 22., 2017, Londrina. **Anais eletrônicos...** Londrina: UTFPR, 2017. Disponível em:< <https://eventos.utfpr.edu.br/sicite/sicite2017/index>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Suelen Amanda Granado
Rua Marcílio Dias, 635, Apucarana, Paraná, Brasil.

Direito autoral:

Este resumo expandido está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.

