Polarização Elíptica e Misturas Racêmicas: Investigação Experimental com Enantiômeros do Limoneno

SILVA, Thiago Konofal[1]; NETO, Júlio Flemming[2];

Universidade Estadual de Ponta Grossa – Departamento de Engenharia de Alimentos[1]
Universidade Estadual de Ponta Grossa – Departamento de Física[2]

22001625@uepg.br[1]

Palavras-Chave: Polarização elíptica; Mistura racêmica; Quiralidade.

Resumo

Este trabalho investigou a polarização elíptica da luz em misturas racêmicas de limoneno. Mediram-se as rotações ópticas específicas dos enantiômeros Rectus e Sinistrus em 405, 532 e 633 nm, com relação linear ao caminho óptico. A diferença entre as rotações permitiu determinar a proporção volumétrica da mistura racêmica. Em 633 nm, avaliou-se a rotação do semieixo maior da elipse após a passagem pela mistura, sem evidências desse efeito nas condições experimentais.

I. Introdução

A polarização é uma propriedade fundamental da luz, descrevendo a direção de oscilação do campo elétrico durante a propagação da onda eletromagnética. Conforme Lerner e Trigg (1991), a polarização de uma onda plana pode ser classificada em linear, circular e elíptica. A polarização elíptica ocorre quando duas componentes perpendiculares do campo elétrico apresentam amplitudes distintas e diferença de fase, fazendo com que o vetor elétrico, em um ponto do espaço, descreva uma trajetória elíptica.

Moléculas quirais, aquelas que não podem ser sobrepostas à sua imagem especular, têm índices de refração diferentes com polarizações circulares opostas, produzindo rotação óptica de luz linearmente polarizada. Quando quantidades equimolares de dois enantiômeros coexistem em solução, forma-se uma mistura racêmica, na qual os efeitos de rotação se cancelam mutuamente.

O presente trabalho tem como objetivo principal analisar experimentalmente a polarização elíptica e seu comportamento em presença de misturas racêmicas de limoneno. Como objetivo específico, investiga-se a hipótese de rotação do semieixo maior da elipse de polarização ao atravessar uma mistura racêmica, conforme proposta por Barron (2004).

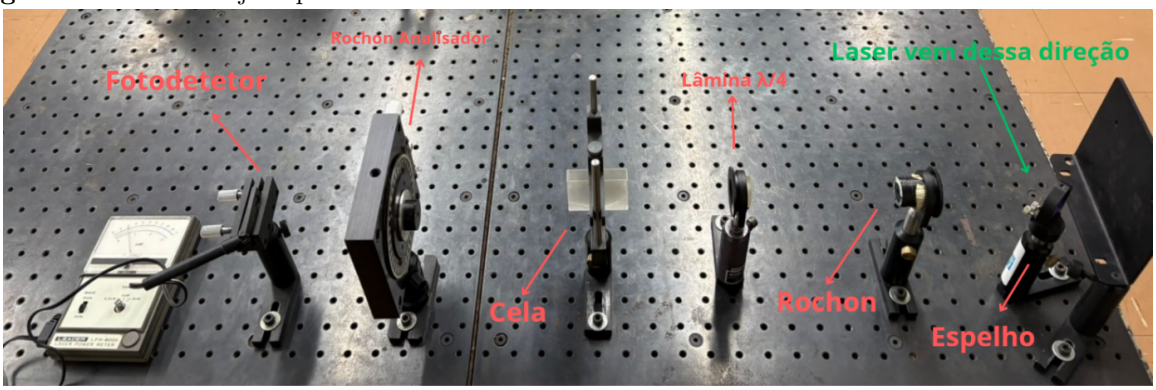
II. Fundamentação Teórica/Materiais e Métodos

A análise das simetrias envolvidas é essencial para compreender a atividade óptica. A inversão espacial (P) e a reversão temporal (T) classificam grandezas físicas como vetores polares ou axiais, pares ou ímpares. O ângulo de rotação óptica é um pseudoescalar tempo-par: muda de sinal sob P, gerando o enantiômero, e é invariante sob T, o que garante a reciprocidade do fenômeno (BARRON, 2004). Essa análise distingue a quiralidade "verdadeira", como a rotação óptica natural, da quiralidade "falsa", como o efeito Faraday (SALEH; TEICH, 1991).

Citando Barron (2004, p. 36), temos que: "An interesting speculation is that a mechanism could exist for producing optical rotation of an elliptically polarized light beam in a racemic mixture which would be a function of the optical activity of one of the enantiomers, for such an effect would not violate parity and reversality."

O experimento utilizou os enantiômeros do limoneno: Rectus, dextrógiro, Cutrale, pureza 95–98%, e Sinistrus, levógiro, Acros Organics, pureza 96%. O arranjo óptico foi composto por seis espelhos planos, dois polarizadores Rochon PE 6 (Optics for Research) – um como polarizador e outro como analisador –, uma lâmina de quarto de onda ($\lambda/4$) para geração de polarização elíptica, e lasers diodo ($\lambda = 405$ nm), DPSS ($\lambda = 532$ nm) e Hélio-Neônio ($\lambda = 632$ nm). O estágio de rotação Daedal 20000, acoplado ao Rochon analisador, tem precisão de 6 minutos de arco. A temperatura foi mantida a 22 °C. A Figura 1 ilustra parte do arranjo experimental.

Fig. 1. Parte do arranjo experimental.



Fonte: Os autores.

As amostras foram acondicionadas em celas ópticas com comprimentos de caminho óptico de 0,01 dm a 1,0 dm. A intensidade transmitida foi medida com Laser Power Meter LPM-8000 (Leader) e luxímetro digital MLM-1332 (Minipa). Para experimentos com luz linearmente polarizada, foram realizadas seis medições por cela e por comprimento de

onda. Para luz elipticamente polarizada, apenas em $\lambda = 633$ nm, específico da lâmina $\lambda/4$, foram realizadas 72 medições angulares com intervalos de 5°. A proporção volumétrica da mistura racêmica foi determinada a partir das diferenças de atividade óptica observadas entre os enantiômeros.

III. Resultados

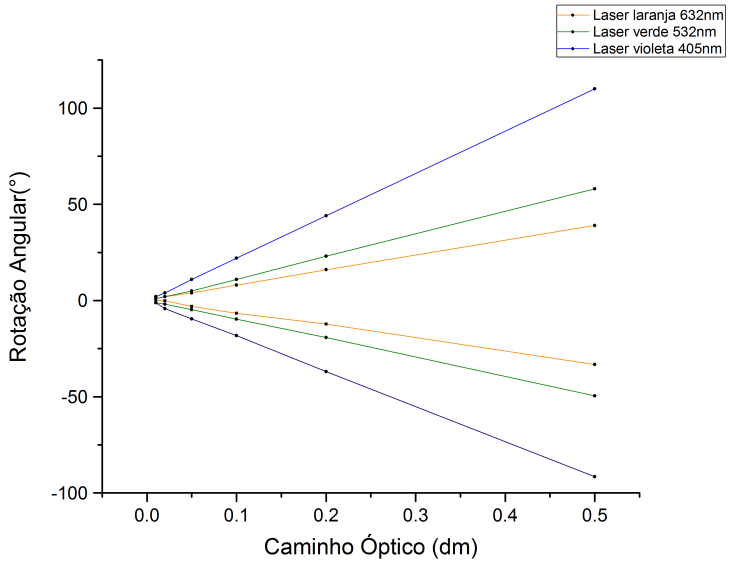
Os enantiômeros do limoneno apresentaram atividade óptica bem definida, com rotação angular linearmente proporcional ao caminho óptico e forte dependência do comprimento de onda, compatível com dispersão rotatória. A Tabela I e a Figura 2 sintetizam os resultados obtidos.

Tabela I. Coeficientes angulares (°/dm) dos enantiômeros puros do limoneno.

Comprimento de onda	**Limoneno Rectus (°/dm)**	**Limoneno Sinistrus (°/dm)**
Violeta – 405 nm	220,5 ± 0,4	$-183,2 \pm 1,2$
Verde – 532 nm	116,9 ± 0,7	$-99,1 \pm 0,7$
Laranja – 633 nm	77,6 ± 0,4	$-67,5 \pm 1,2$

Fonte: Os autores.

Fig. 2. Rotação óptica em função do caminho óptico para os enantiômeros do limoneno nos três comprimentos de onda investigados.



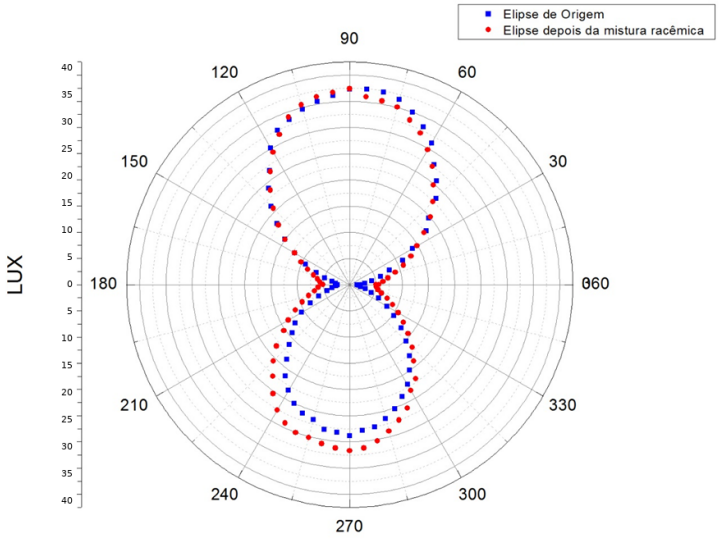
Fonte: Os autores.

Nota-se que o Rectus é mais ativo em módulo do que o Sinistrus em todos os comprimentos de onda: a diferença é de aproximadamente 15% em 633 nm, 18% em 532 nm e 20% em 405 nm. Isso implica que a obtenção de uma mistura racêmica não pode ser feita com volumes iguais dos dois enantiômeros. Para o laser laranja, 633 nm, o volume

de Rectus deve corresponder a cerca de 85% do volume de Sinistrus, ou seja, 0,85 mL de Rectus para 1,00 mL de Sinistrus.

Os experimentos com luz elipticamente polarizada ($\lambda = 633$ nm) compararam a elipse de polarização da cela vazia com a cela com mistura racêmica. A Figura 3 apresenta o gráfico polar obtido, onde o padrão em forma de "8" resulta da natureza elíptica da luz: ao girar o analisador, a projeção da elipse sobre seu eixo varia periodicamente, com máximos e mínimos a cada 90°, e a intensidade nunca atinge o valor zero.

Fig. 3. Elipses de polarização, em gráfico polar, da cela sem e com mistura racêmica do limoneno.



Fonte: Os autores.

Para avaliar a possível rotação, ou "tombamento", do semieixo maior da elipse, os valores médios obtidos foram $-0,08$ e $-0,12$, em módulo, com desvios padrão de 0,16 e 0,09, respectivamente. Como os desvios padrão são da mesma ordem de grandeza ou superiores aos valores médios, não foi possível identificar evidência estatisticamente consistente desse efeito nas condições experimentais avaliadas. Os valores médios próximos de zero reforçam a ausência de efeito significativo, como se observa mais claramente no gráfico polar da Figura 3, pela coincidência dos eixos das figuras azul e vermelho.

IV. Conclusões

O limoneno apresentou atividade óptica bem definida, com rotação proporcional ao caminho óptico e intensificada em menores comprimentos de onda. A assimetria entre os enantiômeros, cerca de 15% a 20% em módulo, exigiu ajuste volumétrico para obtenção de mistura efetivamente racêmica. Com luz elipticamente polarizada, os experimentos não produziram evidências suficientes para confirmar o tombamento da elipse ao atravessar

a mistura racêmica, o que indica a ausência do efeito nas condições do experimento. Possíveis alternativas seriam trocar a substância quiral ou utilizar arranjos diferentes de luz elipticamente polarizada, como luz com gradiente espacial de intensidade, a exemplo de um feixe convergente.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação Araucária pelo financiamento mediante concessão de bolsa de iniciação científica e ao Mike André Sowa pela ajuda nos estágios iniciais deste trabalho.

Referências

BARRON, L. D. **Molecular Light Scattering and Optical Activity**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.

LERNER, R. G.; TRIGG, G. L. **Encyclopedia of Physics**. 2. ed. Weinheim: VCH Publishers, 1991.

SALEH, B. E. A.; TEICH, M. C. **Fundamentals of Photonics**. New York: Wiley Interscience, 1991.