A óptica de Cruz para bolas d'água e a descoberta das gotas gêmeas

CRUZ, Gerson Kniphoff da

Universidade Estadual de Ponta Grossa – Departamento de Física

gersonkc@uepg.br

Palavras-Chave: óptica geométrica; bolas d'água; lupa.

Resumo

Bolas d'água constituem elementos ópticos ativos, caracterizados por uma simetria esférica e formados por água. Não são objeto de estudo, pois não apresentam aplicações tecnológicas. Todavia, a compreensão dos processos ópticos a eles associados é essencial para a análise de fenômenos atmosféricos relacionados à óptica. Neste estudo, apresento a óptica geométrica de raios aplicada a bolas d'água, utilizando-a para prever e descrever as gotas gêmeas. Na sequência, antecipo a observação do arco-íris branco, tanto o artificial quanto o natural, na cidade de Ponta Grossa. Em ambas as situações, foram documentadas imagens que corroboram as previsões, e estas são apresentadas aqui.

I. Introdução

Lentes bola são elementos ópticos ativos e de interesse tecnológico, mas cuja aplicabilidade se restringe à aproximação gaussiana (RIEDL, 2009). Entretanto, a mesma importância não é dada a bolas d'água. Durante o período pandêmico iniciado em 2020, Cruz definiu um conjunto de equações, indicou e comprovou uma série de previsões que surgem em função da redução do índice de refração da água quando comparado ao do vidro (CRUZ, 2022). Diante disso, Cruz considerou a Terra, no sistema Terra-Sol, como sendo uma grande lente bola (CRUZ, 2022), e aplicou suas equações na interpretação de fenômenos ópticos atmosféricos (CRUZ, 2025; CRUZ, 2026). Os resultados levaram à descoberta da lente térmica atmosférica e a uma releitura de interpretações de alguns fenômenos ópticos atmosféricos clássicos (CRUZ, 2026). Além disso, Cruz aplicou sua teoria na busca de uma resposta ao seguinte questionamento: por que as nuvens desaparecem no céu?

Nesse trabalho é apresentado o conjunto de equações deduzidas por Cruz (CRUZ, 2022) e que levam à previsão das gotas gêmeas: um sistema composto por gotas d'água

DOI: doi.org/10.5212/xxviifsica017

que aparecem e desaparecem em função do ângulo de observação. Dessa comprovação decorreu a possibilidade de visualização do arco-íris branco, que foi produzido e registrado artificialmente. Por fim, o mesmo arco-íris branco foi registrado de forma natural. Todos os resultados serão apresentados nesse trabalho.

II. Fundamentação Teórica/Materiais e Métodos

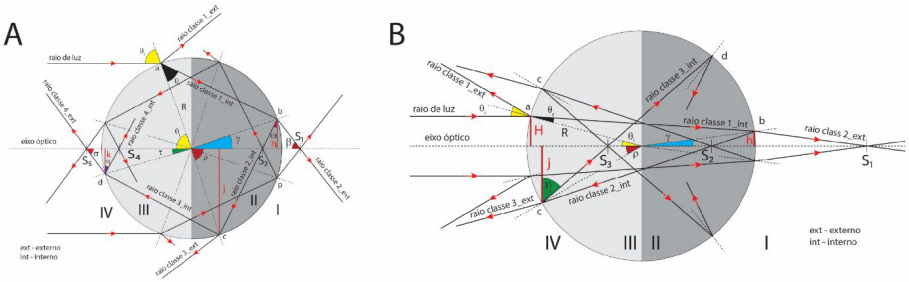
Um raio incidente paralelo ao eixo óptico, conforme a Figura 1, que incide no ponto a, é refratado de acordo com a lei da refração:

$$n_{\text{ar}} \sin(\theta_i) = n_{\text{água}} \sin(\theta_r). \tag{1}$$

Esse compõe o raio classe 1_int, que incide na superfície traseira da bola d'água no ponto b. Parte dele refrata de volta para o ar e cria o raio classe 2_ext, que cruzará sobre a direção do eixo óptico no ponto imagem em S_1. O ponto imagem S_1 pode ser calculado pela expressão 2, que relaciona o ponto imagem S_1 com o índice de refração da água e o raio da bola d'água.

$$S_1 = \frac{R \sin(2\theta_r - \theta_i)}{\tan[2(\theta_i - \theta_r)]} - R[1 - \cos(2\theta_r - \theta_i)]. \tag{2}$$

Fig. 1. Diagramas de raios auxiliares para a dedução das equações 1, 2, 3, 4 e 5.



Fonte: O autor.

A superfície traseira da bola d'água trabalha como um espelho esférico côncavo, e o raio refletido nela dá origem ao raio classe 2_int, que cruzará sobre a direção do eixo óptico no ponto imagem em S_2, que pode ser determinado pela expressão:

$$S_2 = R\frac{\sin(2\theta_r - \theta_i)}{\tan(90° - 3\theta_r + \theta_i)} + R[1 - \cos(2\theta_r - \theta_i)]. \tag{3}$$

Por sua vez, o raio classe 2_int incidirá no ponto c da superfície posterior da bola d'água. Nele, é criado o raio classe 3_ext, que incidirá no ponto d da superfície anterior. Então, surge o raio classe 4_int, que cruzará sobre o eixo óptico do sistema no ponto

imagem em S_4, calculado pela expressão:

$$S_4 = R\sin(6\theta_r - \theta_i - 180^\circ)\tan(270^\circ - 7\theta_r + \theta_i) + R[1 - \cos(6\theta_r - \theta_i - 180^\circ)]. \quad (4)$$

No ponto d, por refração, também é criado o raio classe 5_ext, que cruzará o eixo óptico no ponto imagem em S_5, determinado por:

$$S_5 = \frac{R\sin(6\theta_r - \theta_i - 180^\circ)}{\tan(2\theta_i - 6\theta_r + 180^\circ)} + R[1 - \cos(6\theta_r - \theta_i - 180^\circ)]. \quad (5)$$

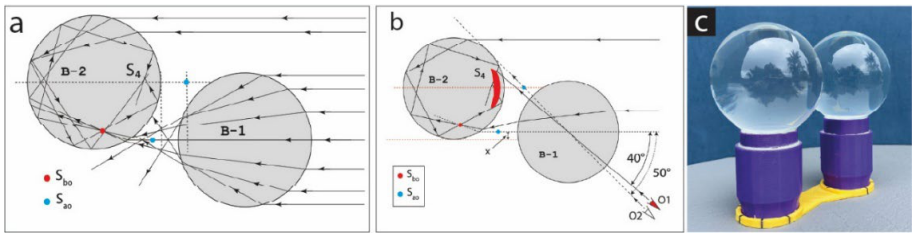
Por fim, deve-se considerar o diagrama de raios, Figura 1B, que permite a determinação da posição do ponto imagem em S_3, obtido por:

$$S_3 = R\sin(4\theta_r - \theta_i)\tan(90^\circ - 5\theta_r + \theta_i) + R[1 - \cos(4\theta_r - \theta_i)]. \quad (6)$$

Por comparação, os diagramas de raios da Figura 1 dividem a óptica geométrica de raios de bolas d'água em alta, Figura 1A, e baixa óptica geométrica, Figura 1B. Essa divisão ocorre para o ângulo de incidência em que o ponto d cruza sobre o eixo óptico. Ângulos maiores definem a alta óptica geométrica, composta pelos pontos imagens S_1, S_2, S_4 e S_5; ângulos menores definem a baixa óptica geométrica, composta pelos pontos imagens S_1, S_2 e S_3.

Na Figura 2a é apresentado um diagrama de raios que dá previsão teórica à existência das gotas gêmeas. Raios solares incidem paralelamente ao eixo óptico principal da bola d'água B-1, que atua como lente concentradora de energia do sistema. Esses raios focalizados, após refratarem em B-2, irão compor os raios de classe 4_int, Figura 1A, que criarão um ponto de energia, ou imagem real, na posição de S_4. Esse ponto imagem servirá de objeto para a bola B-1, que atuará como lupa. Devido ao grande poder de ampliação da imagem virtual gerada por B-1, a partir da direção do eixo óptico secundário, a bola B-1 apresenta aspecto de superfície "pintada" na cor da imagem gerada na posição de S_4 da bola B-2. Essa condição ocorre para ângulos de observação, formados entre o eixo óptico principal e o secundário, inferiores a 40°, conforme a Figura 2b. Na Figura 2c, é apresentado o conjunto de bolas d'água, com diâmetro de 80 mm, utilizadas na experimentação. O experimento é realizado em consonância e conformidade aos diagramas de raios das Figuras 2a e 2b.

Fig. 2. (a) Diagrama de raios das gotas gêmeas; (b) diagrama de raios para observação das gotas gêmeas; (c) imagem do primeiro arranjo experimental.

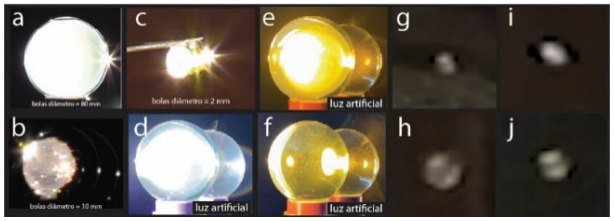


Fonte: O autor.

III. Resultados

Na imagem da Figura 3a, é apresentado o resultado produzido com luz solar para bolas de 80 mm de diâmetro. Observa-se que a aparência da superfície da bola concentradora é branca, como previsto pelo modelo de Cruz. Nas Figuras 3b e 3c, o resultado para bolas d'água de diâmetro 10 mm, hidrogel, e 2 mm, gotas d'água gelada próximas a 0 °C, respectivamente, comprova a independência com o tamanho das bolas d'água que compõem as gotas gêmeas. Em seguida, são apresentados resultados observados em laboratório com luz branca artificial, Figura 3d, e parcialmente amarelada, Figura 3e. A investigação do limite do ângulo de observação mostrou que, a partir de 40°, o sistema se torna transparente para o observador, Figura 3f. Finalmente, são apresentadas imagens de gotas gêmeas em dia de visualização de um arco-íris natural, Figuras 3g a 3j. Essas quatro imagens são fundamentais porque comprovam a existência das gotas gêmeas na natureza e dão resposta ao aparecimento e desaparecimento das nuvens no céu. Além disso, a visualização das gotas gêmeas, que são visíveis a olho nu ao olharmos na direção do Sol, sentido oeste, é uma previsão de que o arco-íris, alguns instantes após, se tornará visível para o observador no lado leste.

Fig. 3. Primeiras imagens registradas de comprovação da existência das gotas gêmeas em laboratório e no ambiente natural. (a) Bolas d'água de 80 mm de diâmetro; (b) bolas de hidrogel de 10 mm de diâmetro; (c) gotas d'água de 2 mm de diâmetro, água gelada próxima a 0 °C; (d) bolas de 80 mm com luz artificial; (e) bolas de 80 mm com luz artificial parcialmente amarelada; (g), (h), (i) e (j) ambiente natural, gotas de chuva precedendo a aparição do arco-íris.

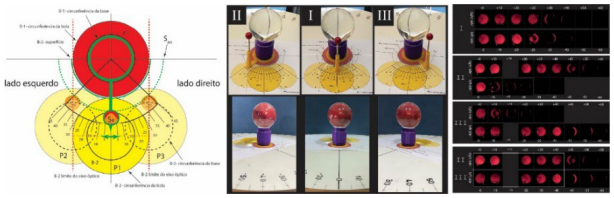


Fonte: O autor.

Um estudo detalhado das características de observação das gotas gêmeas foi proposto. Para isso, uma diminuta esfera vermelha, de 10 mm de diâmetro, simulava

a imagem real produzida pelos raios solares em S_4, da bola B-2. Na Figura 4a, está a imagem da folha de experimentação, em escala 1:1 mm, que foi criada para garantir o alinhamento do sistema óptico, e cujos resultados são apresentados nas Figuras 4b e 4c. Como previsto teoricamente, o resultado experimental confirma que o ângulo máximo de observação é de 40°. A partir desse ângulo, as gotas gêmeas se tornam invisíveis para o observador.

Fig. 4. (a) Imagem da folha elaborada para a experimentação; (b) imagem do arranjo experimental e do visual de observação; (c) registros dos resultados do experimento.



Fonte: O autor.

A existência das gotas gêmeas foi aplicada na explicação do arco-íris e, na posterior previsão de que seria possível observar artificialmente o arco-íris branco. Esse experimento foi realizado com sucesso em 13/07/2020, Figura 5a, e repetido posteriormente. Diante desse resultado e das imagens das Figuras 4b e 3e, concluiu-se que o arco-íris colorido e o branco são os mesmos e que eles poderiam ser observados na cidade de Ponta Grossa. A previsão do arco-íris branco foi registrada pela primeira vez na casa do autor, no dia 3 de fevereiro de 2023, às 18 h e 38 min, Figuras 5c e 5d. Essas imagens são históricas, pois comprovam as previsões teóricas que permitem prever a aparição de um arco-íris natural.

Fig. 5. (a)(b) Imagens dos primeiros arcos brancos produzidos artificialmente; (c) imagem do primeiro arco branco natural registrado na cidade de Ponta Grossa – PR – Brasil; (d) imagem do arco-íris associado ao arco branco da imagem (c).



Fonte: O autor.

IV. Conclusões

Apresentamos o conjunto integral das equações da óptica geométrica de Cruz para esferas de água. Com ele, realizou-se a previsão das gotas geminadas e da observação do arco-íris branco, tanto artificial quanto natural, na cidade de Ponta Grossa. Os resultados foram verificados por meio de experimentos realizados em 2020. Conclui-se que o surgimento

das gotas gêmeas representa uma antecipação, um indício de que o arco-íris se tornará visível no céu.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com financiamento privado do próprio autor.

Referências

CRUZ, G. K. The earth's atmosphere works like a spherical lens. In: **Imaging and Applied Optics Congress 2022 (3D, AOA, COSI, ISA, pcAOP), Technical Digest Series**. Optica Publishing Group, 2022. p. PTh4F.5. Disponível em: <https://opg.optica.org/abstract.cfm?URI=pcAOP-2022-PTh4F.5>.

CRUZ, G. K. **Meus experimentos de Física: As questões fundamentais**. São Paulo: LF Editorial, 2025. v. 1.

CRUZ, G. K. **Meus experimentos de Física: O grande desafio**. São Paulo: LF Editorial, 2026. v. 2.

RIEDL, M. J. **Optical Design – Applying the Fundamentals**. Bellingham, Washington: SPIE Press, 2009. TT84.