

Uma atividade experimental sobre sombras inspirada em um cartum

(An experimental activity about shadows inspired on a cartoon)

Jair Lúcio Prados Ribeiro¹,

Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências, Instituto de Química,
Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil

Recebido em 19/05/2015; Aceito em 24/06/2015; Publicado em 30/9/2015

Um desenho de Gervasio Troche, representando um pai e uma filha caminhando, com a sombra da menina sendo maior que a projetada pelo pai, foi utilizado em uma proposta de reconceitualização de atividades experimentais, conforme conceituada por Hodson. A imagem foi apresentada a estudantes de óptica no ensino médio, que deveriam discutir sua possibilidade física, além de construir e testar um modelo experimental baseado na figura. Uma recriação dos modelos é apresentada nesse artigo, além da sua formulação algébrica e da descrição das atividades pedagógicas desenvolvidas. A atividade foi considerada motivadora para os estudantes, por permitir uma maior compreensão sobre os modelos da óptica geométrica e também sobre as práticas científicas.

Palavras-chave: sombra, óptica, experimento, ensino de física, ensino de ciências.

A drawing by Gervasio Troche, depicting a father walking along with his daughter, shows a larger shadow for the girl. The image was used in a proposal for reconceptualization of experimental activities, as advocated by Hodson. The drawing was presented to optics high school students, and they should discuss their physical viability, and also build and test an experimental model based on the figure. A model was rebuilt and presented in this article, along with its algebraic formulation and the description of the educational activities. The activity was deemed motivational for students, as it allowed a greater understanding about the geometrical optics models and scientific practices.

Keywords: shadow, optics, experiment, physics teaching, science teaching.

1. Introdução

A presença de sombras é tão corriqueira no cotidiano que pode vir a amortecer os instintos de um pesquisador ou professor de física sobre o tema. Essa desatenção para com o fenômeno pode contribuir para uma apresentação estática desse conteúdo em salas de ensino médio, com a repetição de esquemas e problemas didáticos tradicionais. Assim, oportunidades de atividades pedagógicas diferenciadas devem ser buscadas.

A literatura acadêmica recente já apresenta algumas sugestões para revitalizar a apresentação dessa temática [1-5]. Entretanto, a gênese desse trabalho se deu a partir da leitura de uma fonte não acadêmica, o livro “Desenhos invisíveis” [6], que condensa desenhos que o autor Gervasio Troche apresenta em seu sítio na internet. Uma intrigante imagem nos chamou a atenção: ela mostra um pai e sua filha caminhando de mãos dadas, com a sombra da filha paralela à do pai, mas com tamanho superior à projetada pelo pai (Fig. 1).

Percebemos que a simplicidade da situação se ade-

quaria a uma atividade experimental no ensino médio sobre a formação de sombras. Como suporte pedagógico, buscamos correlacionar o experimento proposto com o quadro filosófico defendido por Hodson [7], o qual afirma que as vantagens intuitivas creditadas pelos professores ao trabalho laboratorial, tais como a motivação dos alunos e a possibilidade de verificar leis teóricas, não são percebidas pelos estudantes da mesma forma. Assim, Hodson defende a necessidade de reconceitualização de atividades experimentais, priorizando uma tríade de conceitos: a aprendizagem da ciência, a aprendizagem da natureza da ciência e a aprendizagem da prática da ciência.

A atividade experimental descrita nesse artigo se adequa a essa tríade. Partindo da situação apresentada no cartum, foi proposta aos estudantes a discussão sobre a possibilidade física da situação, a criação de um protótipo experimental para verificar essa possibilidade, o teste de um modelo mais elaborado e a comparação entre a formulação algébrica (apresentada a posteriori, ao contrário da sequência didática tradicional) e o apa-

¹E-mail: jairlucio@gmail.com.

rato experimental construído. Essa relação de atividades corresponde a diversas etapas do método científico, permitindo aos estudantes uma visão contextualizada das práticas na ciência e da natureza do conhecimento científico.



Figura 1 - Cartum usado para atividade de reconceitualização. Autor: Gervasio Troche. Sem título, 2011. Fonte: http://portroche.blogspot.com.br/2011/05/blog-post_22.html. Acesso 29/4/2015.

2. Modelo geométrico

Considerando a superfície de projeção plana, a imagem original apresenta uma situação física impossível, pois as sombras mostradas têm eixos paralelos, fato possível apenas se uma fonte de luz estiver bastante distante e os raios incidentes puderem ser supostos paralelos, o que levaria a sombras maiores para os corpos de maior altura. Tal fato levou a uma adaptação da situação representada na Fig. 1 para o desenvolvimento da atividade experimental pelos estudantes.

Considerou-se então a possibilidade que as sombras de diferentes tamanhos pudessem ser produzidas a partir da luz emitida por uma fonte puntiforme a uma altura h do plano horizontal, disposta atrás dos objetos opacos de altura a e b , que representam respectivamente o pai e a filha ($a > b$). Nesse caso, é possível a projeção de uma sombra de maior tamanho para o menor objeto, contanto que seja obedecida uma relação entre as distâncias horizontais da base dos objetos (d_A e d_B) até a projeção da fonte, conforme representado na Fig. 2. A possibilidade de paralelismo entre as sombras, entretanto, deve ser abandonada nessa situação, pois seus eixos passam a ser divergentes.

A relação entre as distâncias d_A e d_B pode ser estabelecida por uma simples aplicação da geometria plana. Por semelhança, é possível escrever

$$a' = \frac{adA}{h-a}, \quad (1)$$

$$b' = \frac{bdB}{h-b}. \quad (2)$$

Para que a situação da Fig. 1 seja representada, é necessário assumir $b' > a'$, logo

$$\frac{bdB}{h-b} > \frac{adA}{h-a} \rightarrow dB > dA \left[\frac{a(h-b)}{b(h-a)} \right]. \quad (3)$$

A relação estabelecida pela Eq. (3) mostra que a projeção de uma sombra b' maior que a' só será verificada se o objeto b estiver mais distante da fonte do que o objeto a . Assim, há duas possibilidades, sendo a primeira representada na Fig. 2, quando a fonte de luz está disposta lateralmente aos dois objetos, mais próxima ao objeto a . A segunda disposição possível envolve um posicionamento da fonte entre os dois objetos, novamente mais próxima ao objeto a (Fig. 3).

Ambas as condições podem ser testadas com um aparato experimental simples, apresentado na próxima seção, o qual foi desenvolvido a partir das sugestões concebidas pelos estudantes.

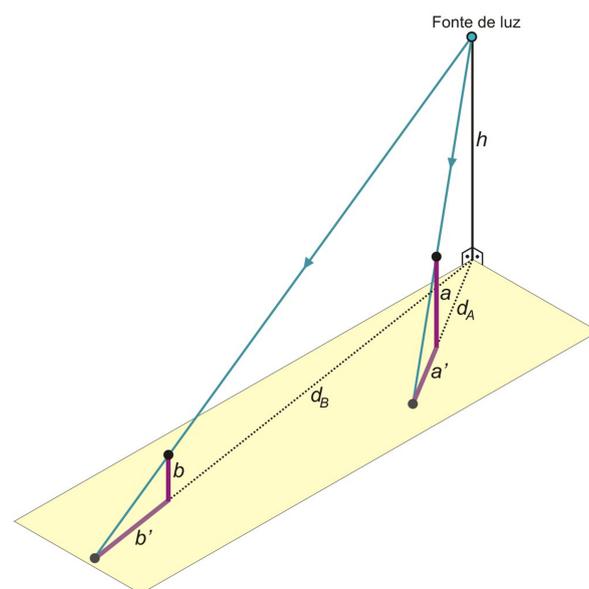


Figura 2 - Perspectiva isométrica mostrando a fonte de luz F disposta lateralmente, os raios de luz que incidem nos extremos dos objetos a e b e as sombras a' e b' projetadas.

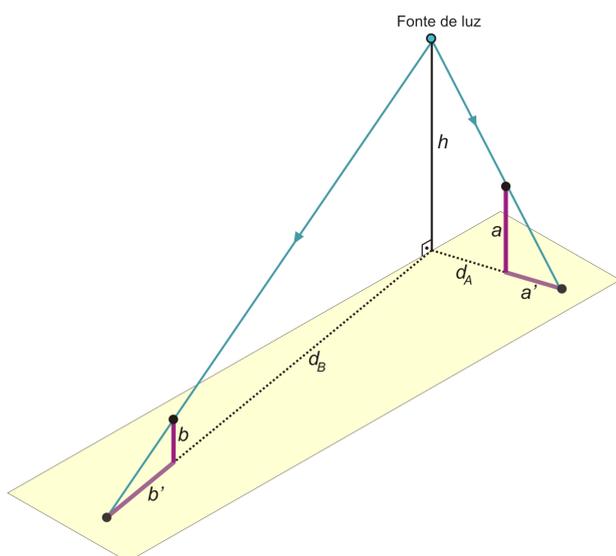


Figura 3 - Perspectiva isométrica mostrando a fonte de luz F disposta entre os objetos, os raios de luz que incidem nos extremos dos objetos a e b e as sombras a' e b' projetadas.

Na etapa de revisão desse trabalho, nos foi apontada uma possibilidade que não havíamos previsto, a qual também não foi relatada pelos estudantes, talvez pelo pequeno número de turmas a que o trabalho foi

submetido: caso a superfície de projeção da sombra da menina apresentasse um desnível em relação àquela (suposta plana) em que a sombra do pai é projetada, a sombra da filha poderia ser superior em tamanho à do pai, mesmo com raios paralelos. O fato do chão no desenho não apresentar gradiente algum de luminosidade permitiria essa explicação.

Essa situação não foi ventilada pelos estudantes, razão pela qual seus modelos não permitiram o teste dessa segunda hipótese. A formulação algébrica dessa segunda hipótese é um pouco mais complexa que a anterior, apesar de envolver apenas conceitos de geometria plana. Embora essa possibilidade não tenha sido testada com o nosso aparato experimental, cabe discuti-la aqui.

A Fig. 4 apresenta a nova situação: a fonte de luz é suposta agora no infinito (raios paralelos), chegando ao plano de projeção horizontal com inclinação α . Por sua vez, o plano onde a sombra da menina está projetada deve estar inclinado em relação à horizontal com um ângulo $\beta < \alpha$, para que a projeção seja possível.

A partir da Fig. 4, vem

$$a' = \frac{a}{\operatorname{tg}\alpha}. \quad (4)$$

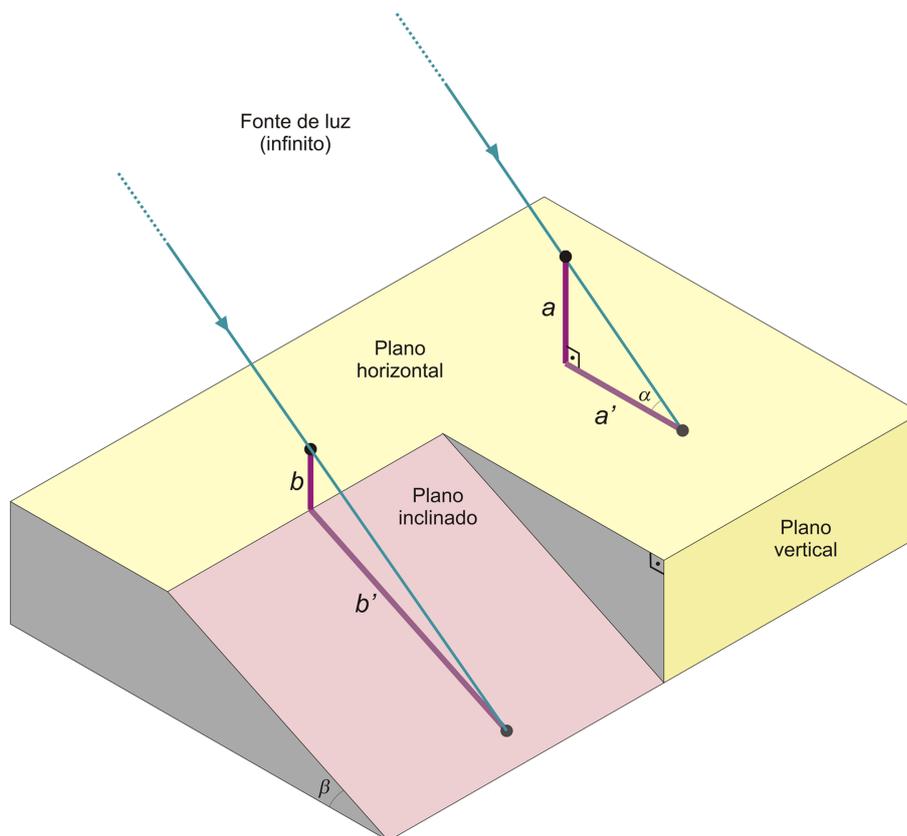


Figura 4 - Perspectiva isométrica mostrando raios de luz vindos de uma fonte de luz disposta no infinito, os raios de luz que incidem nos extremos dos objetos a e b e as sombras a' e b' projetadas.

Aplicando-se a lei dos senos no triângulo da Fig. 4 que contém a altura da menina (b) e sua projeção (b')

$$b' = \frac{b \cos \alpha}{\sin(\alpha - \beta)}. \quad (5)$$

Novamente, deve ser garantida a relação entre as projeções $b' > a'$. Estabelecida essa condição e desenvolvendo-se a expressão resultante a partir das Eqs (4) e (5), obtém-se

$$\alpha > \arctg\left(\frac{a \sin \beta}{a \cos \beta - b}\right) \quad (6)$$

A Eq. (6) apresenta qual o ângulo mínimo α que os raios de luz devem possuir em relação à horizontal para que a sombra da menina seja maior, considerando fixo o ângulo β que o plano inclinado faz com a horizontal. Se interpretada no cotidiano, pode-se concluir que a sombra da filha terá tamanho maior que a do pai em alguns horários do dia, dependendo da relação entre seus tamanhos reais. Deve-se frisar que nessa condição as sombras serão notadas como paralelas por um hipotético observador que tenha uma vista superior da situação, mesmo que a Fig. 4 não as represente dessa maneira, devido às limitações da representação por perspectiva isométrica.

3. Descrição das atividades experimentais

A imagem foi apresentada a duas turmas do segundo ano do ensino médio de uma escola particular de Brasília, sem que a discussão teórica da seção anterior fosse exibida. Os alunos haviam sido expostos apenas à aula introdutória de óptica, sobre a natureza dual da luz. O professor expôs a imagem por projeção digital para a turma, e pediu que os estudantes se dividissem em grupos de quatro ou cinco integrantes, a fim de discutir se a situação apresentada era fisicamente possível, além de buscarem elaborar um modelo experimental para testar a sua viabilidade, usando materiais cotidianos.

Durante o primeiro encontro, o professor acompanhou as discussões dos estudantes, transitando entre os grupos para dirimir eventuais dúvidas e direcionar a pesquisa. Percebeu-se que o padrão observado nessa discussão era uma negativa inicial à possibilidade da Fig. 1 representar uma situação física possível, o qual se revelava passível de alteração quando os alunos começavam a buscar alternativas de experimentação.

Uma experimentação comum entre os grupos foi o uso da lanterna de um celular como fonte de luz, com os dedos da mão representando os objetos de tamanhos diferentes. A proximidade entre os dedos, entretanto, se mostrou um problema, superado por alguns grupos quando lápis e canetas passaram a ser utilizados como objetos.

Também foi observado que a posição da fonte de luz se revelou uma fonte de investigação para os grupos. Foi observado que os estudantes tenderam a iniciar seus testes com a fonte de luz entre os dois objetos, afastando o menor deles até que a sombra se tornasse maior. Enquanto alguns grupos se satisfaziam com essa condição, outros buscavam explorar outros posicionamentos da lâmpada, até verificar as duas possibilidades descritas nas Figs. 2 e 3.

Ao final do primeiro encontro, o professor alertou que os grupos deveriam construir um modelo experimental mais elaborado em suas residências, o qual deveria ser apresentado no encontro da semana seguinte. Durante a aula dedicada à exposição dos modelos, foi percebido que, infelizmente, a maior parte dos grupos pouco sofisticou o protótipo desenvolvido no primeiro encontro, limitando-se a colar lápis ou canetas de tamanhos diferentes em uma superfície rígida, como papelão, e iluminá-los com a lâmpada de um celular. Entretanto, pelo menos dois grupos em cada sala utilizaram bonecas ou figuras de ação como representação das pessoas do cartum, além de manterem a fonte de iluminação fixa, tornando o modelo mais próximo da situação inicial. A Fig. 5 apresenta uma reconstrução desses modelos.



Figura 5 - Reconstrução de um modelo experimental, baseado nas criações dos estudantes.

A Fig. 6 apresenta a projeção das sombras do modelo experimental em papel milimetrado, com a fonte disposta lateralmente ou entre os objetos. Um eixo foi desenhado em cada sombra para melhor visualização. Em ambos os casos, a sombra obtida para o objeto que representa o pai ($a = 11$ cm) é menor que a sombra

projetada pelo objeto representativo da filha ($b = 7,5$ cm). As medições dos tamanhos das sombras foram feitas diretamente, a partir do eixo desenhado sobre o papel milimetrado.

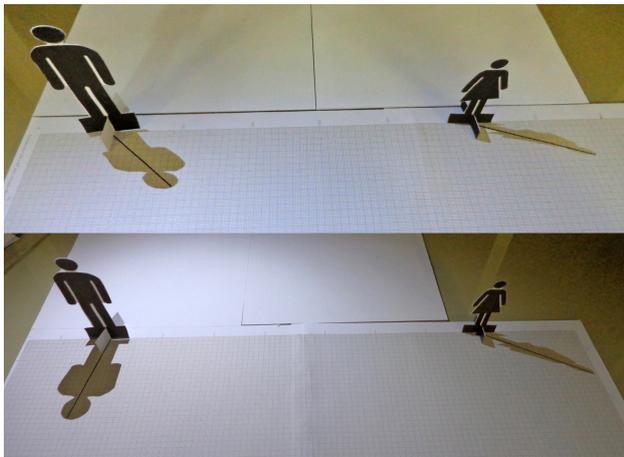


Figura 6 - Modelo experimental com a fonte disposta lateralmente (acima) ou entre os objetos (abaixo).

Após a apresentação das criações experimentais dos grupos, o professor conduziu uma aula expositiva sobre os modelos, apresentando a argumentação algébrica desenvolvida na seção 2. Essa exposição se revelou mais interativa que o usual, e foi constatado um grande número de questionamentos dos estudantes acerca do desenvolvimento e aplicação da Eq. (3). Creditamos à manipulação dos modelos pelos próprios estudantes esse maior interesse pela explicação geométrica, fato que veio a facilitar a apresentação dessa abordagem.

Apesar da formulação geométrica e algébrica ter sido apresentada aos alunos, não foi possível submeter os modelos experimentais construídos por eles a testes quantitativos, os quais permitiriam confirmar a validade da Eq. (3). Esses testes estavam previstos no planejamento inicial do trabalho, mas não foram conduzidos devido à indisponibilidade de aulas adicionais para a discussão do tema.

Usando o modelo que construímos para as fotografias desse trabalho, entretanto, foram feitos testes quantitativos para verificação da validade da Eq. (3). A hipótese adicional de inclinação do plano de projeção, entretanto, não pôde ser testada, pois nos foi apontada após o desenvolvimento do aparato experimental, exigindo alterações na sua concepção e na instrumentação usada para as medidas.

As alturas dos objetos eram conhecidas ($a = 11$ cm e $b = 7,5$ cm) e a lâmpada do celular foi colocada a uma altura $h = 53$ cm, em um suporte que permitia o giro da mesma, facilitando o ajuste fino desse posicionamento. As medidas das sombras foram determinadas a partir das projeções no papel milimetrado com uma régua milimetrada. As distâncias d_A e d_B também foram feitas de forma muito simples: ao prolongar os eixos que representam as sombras a' e b' (Fig. 5), esses

prolongamentos se encontravam no ponto de projeção vertical da fonte luminosa, permitindo a medida dessas distâncias com a régua.

Com a lâmpada disposta lateralmente, o objeto representativo do pai (a) foi colocado à distância $d_A = 21,5$ cm da reta vertical que trespassa a lâmpada, projetando uma sombra de tamanho $a' = 6,5$ cm. O objeto representativo da filha (b) foi deslocado horizontalmente (Fig. 5), até que sua sombra b' tivesse esse mesmo tamanho. Foi então medida a distância entre esse objeto e a reta vertical citada, obtendo-se $36,2$ cm. O valor esperado era $34,2$ cm, sendo percebida uma diferença percentual de $6,1\%$ entre os dois valores, a qual consideramos aceitável para o experimento.

Usamos o mesmo método com a fonte disposta entre os objetos, à mesma altura. Nesse caso, foi verificada que uma sombra do objeto representativo do pai com tamanho $a' = 9,2$ cm era projetada quando sua distância até o ponto de projeção da fonte era $d_A = 19,5$ cm. O objeto representativo da filha foi novamente deslocado até que a igualdade entre os tamanhos das sombras fosse garantida, o que ocorreu quando a distância d_B era $33,1$ cm. A previsão teórica era de uma distância mínima de $31,0$ cm, sendo verificado um erro de $6,7\%$, novamente considerado aceitável, dado o fato da fonte não ser absolutamente pontual, gerando imprecisões nas medidas das projeções.

Outra possibilidade de uso do aparato experimental seria fixar os objetos e testar a altura mínima h a partir da qual os tamanhos das sombras se iguallassem, supondo as distâncias d_A e d_B também fixas. O modelo experimental também poderia ser comparado com o geométrico (Figs. 2 e 3), pois os prolongamentos dos eixos desenhados em cada sombra devem coincidir com o ponto de projeção da fonte no plano horizontal. Os estudantes poderiam ainda tentar colocar os objetos bem próximos, como representado na Fig. 1, e verificar diretamente a posição da fonte para a obtenção das sombras representadas.

4. Conclusões e perspectivas

É inevitável que a representação gráfica de um fenômeno seja limitada pela mídia utilizada. Livros, telas, quadros-negros, entre outros, permitem a representação bidimensional de fenômenos que ocorrem em um universo tridimensional. O desenho que deu origem a esse trabalho se inspira nessa capacidade de avaliação de uma representação da realidade, criando complicações em um fenômeno que é aparentemente simples e permitindo uma reflexão sobre o papel que as reproduções gráficas possuem na nossa cognição.

A atividade experimental descrita nesse artigo, a nosso ver, se relaciona com o tripé conceitual da reconceitualização [7], viés filosófico adotado como suporte desse trabalho. A nosso ver, a discussão sobre a viabilidade física de uma situação e o ato de construir

um modelo experimental para testá-la colabora para a *aprendizagem da ciência* pelos estudantes, pois a realização de experiências e sua discussão colaboram para o desenvolvimento do aparato cognitivo.

A *aprendizagem sobre a natureza da ciência* também foi contemplada, pois a atividade permitiu aos estudantes acompanhar as fases de planejamento (construção do protótipo experimental), realização (teste do modelo experimental definitivo), reflexão (confronto dos dados com a figura original e o modelo algébrico) e registro (feito de forma oral, durante a aula de apresentação dos modelos experimentais). Finalmente, a *aprendizagem da prática da ciência* também está presente, pois além da demonstração prática do fenômeno, os alunos puderam comparar os modelos construídos pelos diferentes grupos, levando a uma reflexão sobre a valoração de experimentos realizados por diferentes grupos de pesquisa, além da oportunidade de relacionar de maneira interdisciplinar os temas da óptica e das artes visuais.

O trabalho buscou também demonstrar aos estudantes que a inspiração para a investigação científica é oriunda de diversas fontes. Como relatado por Hodson [7], o trabalho científico experimental tende a ser visto pelos alunos de forma estereotipada, com alguns grandes temas sendo trabalhados, por cientistas profissionais em laboratórios sofisticados. Acreditamos que

oportunidades para a desmitificação do trabalho laboratorial, como a relatada nesse artigo, devem ser buscadas ainda nas fases de formação, a fim de levar a uma maior difusão da ciência e de seus métodos na sociedade.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao artista Gervasio Troche e à editora Lote 42 pela concessão de autorização para o uso e reprodução da imagem que inspirou essa atividade didática.

Referências

- [1] S. Hughes, *Physics Education* **44**, 292 (2009).
- [2] J. Moreira, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **25**, 62 (2003).
- [3] M. Larson, *The Physics Teacher* **37**, 113 (1999).
- [4] F. Silveira e M. Saraiva, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **25**, 228 (2008).
- [5] K. Horst, *The Physics Teacher* **39**, 139 (2001).
- [6] G. Troche, *Desenhos Invisíveis* (Lote 42, São Paulo, 2014), 1ª ed., p. 86.
- [7] D. Hodson, *Enseñanza de las Ciencias* **12**, 299 (1994).