

A “atração” entre as sombras!

Publicado em *A Física na Escola*, 8(1): 17-21, 2007.

Fernando Lang da Silveira
lang@if.ufrgs.br

Rolando Axt

Instituto de Física da UFRGS

Resumo. Um inusitado efeito ocorre quando a distância entre duas sombras se torna muito pequena: uma das sombras se deforma, como que atraída pela outra, preenchendo prematuramente o espaço que as separa. Apresentamos uma explicação geométrica para esse fascinante efeito, tendo por base o fato de que as fontes luminosas são extensas, produzindo sombras com bordas indefinidas, devido à penumbra.

I. Um intrigante fenômeno óptico!

Quando a distância entre duas *sombras* se torna muito pequena, uma delas “*atrai*” a outra, deformando-a! Vejamos como esse fascinante fenômeno ocorre e pode ser explicado.

Na figura 1, uma seqüência de fotos mostra a *sombra* da cabeça do fotógrafo se aproximando da *sombra* de uma parede. Observa-se que dessa aproximação resulta a deformação da *sombra* da parede e o prematuro preenchimento do espaço antes iluminado.

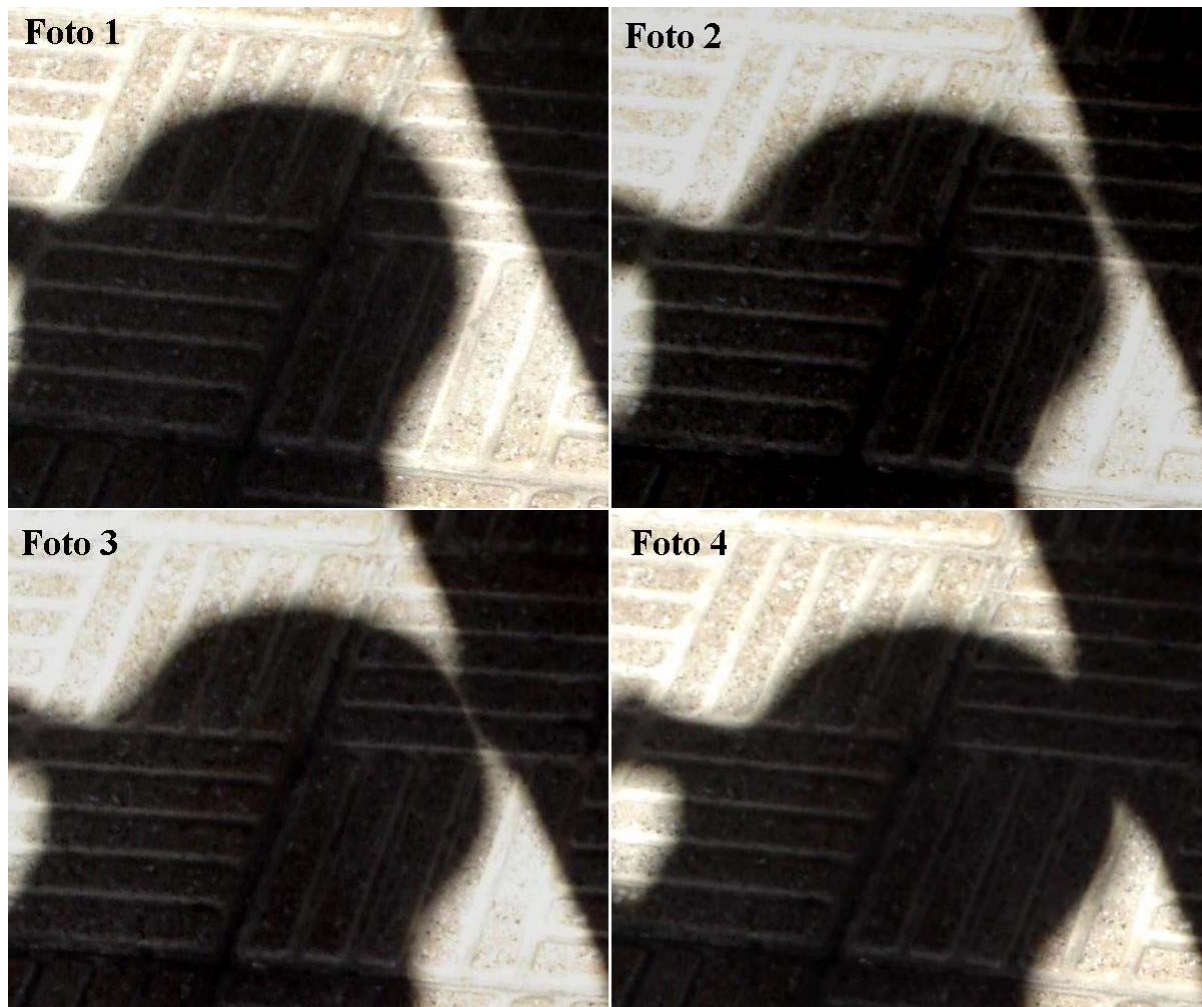


Figura 1 – Projetada sobre a calçada, a sombra da cabeça do fotógrafo “atrai” a sombra da parede, deformando-a.

Na figura 2, uma seqüência de fotos mostra a *sombra* da aba do alpendre “*atraindo*” a *sombra* da cabeça do fotógrafo e a deformando. Diferentemente do caso anterior, agora é a *sombra* da cabeça do fotógrafo que se deforma e avança em direção à *sombra* do alpendre.

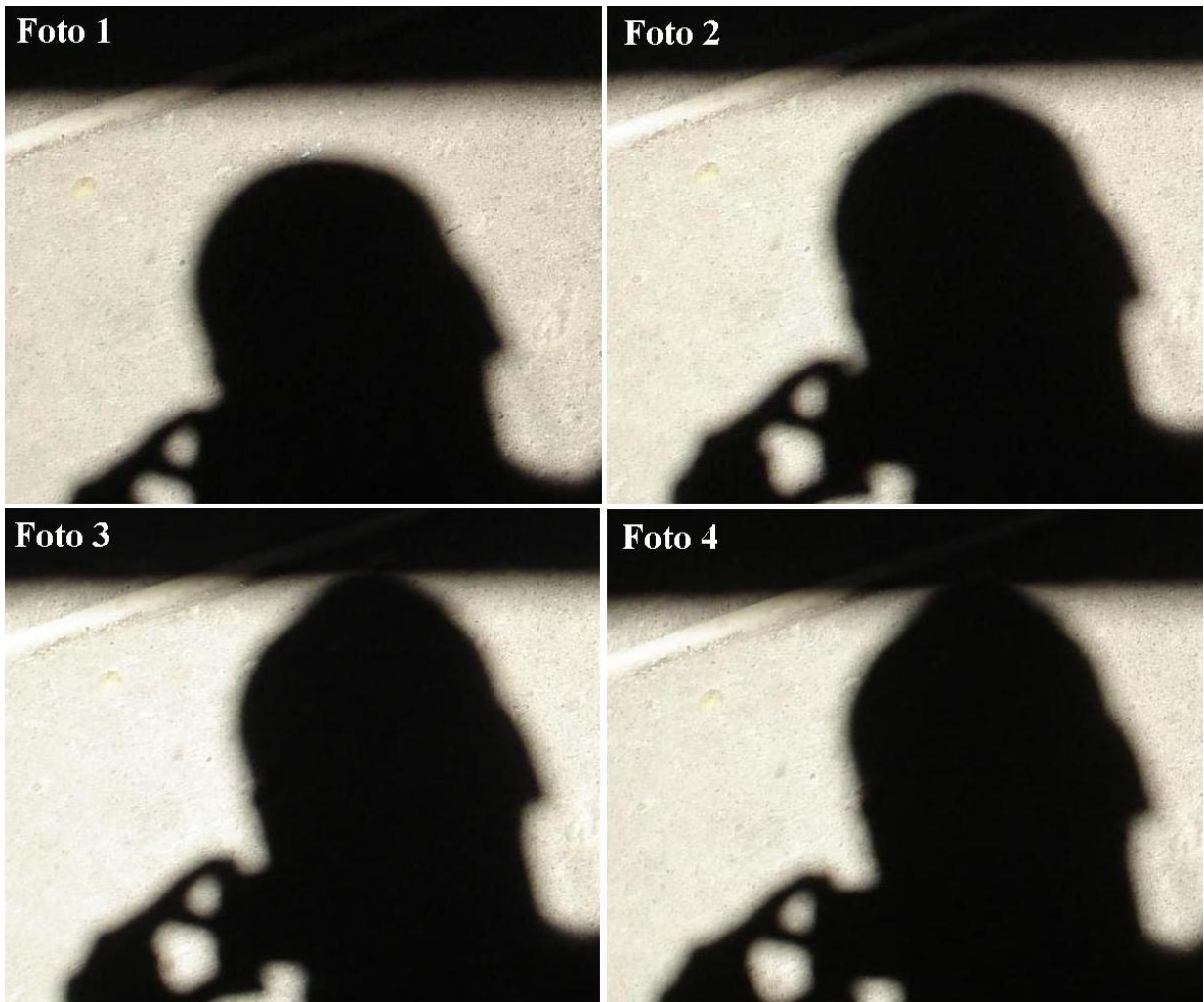


Figura 2 – Projetada sobre a calçada a sombra da aba do alpendre “atrai” a sombra da cabeça do fotógrafo, deformando-a.

Embora a “*atração*” *entre as sombras* seja conhecida no *teatro de sombras*¹, ela parece ser muito pouco conhecida entre os físicos. Ao demonstrarmos esse efeito para vinte e três colegas, professores universitários de física, apenas um o conhecia (lembrando da sua infância a brincadeira de ‘*espichar a sombra*’); ele ignorava, entretanto, a razão de tal inusitado comportamento. Quando alguns dos colegas ensaiavam espontaneamente uma explicação científica, recorriam invariavelmente à difração e à interferência da luz².

Antes de esclarecermos as razões do inusitado comportamento, esboçaremos o enunciado de uma *lei de “atração” entre sombras* que pode ser testada facilmente pelo

¹ - Uma professora de física do ensino médio que faz *teatro de sombras* nos relatou ser o efeito conhecido e usado pelos praticantes desta arte.

² - Eles logo consideravam a explicação falsa ao serem alertados de que a distância entre os dois corpos que produziam *sombras* era muitíssimo maior do que o comprimento de onda da luz, condição essa que impede efeitos perceptíveis de difração.

leitor: *Quando duas sombras se aproximam, aquela que se encontra mais próxima do objeto que lhe corresponde será “atraída” (deformada) pela outra sombra, a do objeto mais distante.*

Na figura 1, para obter a deformação da *sombra* da parede, o fotógrafo encontrava-se mais distante da própria *sombra* do que a parede da sua. Na figura 2, a situação se inverte: o chão estava mais próximo da cabeça do fotógrafo do que da aba do alpendre.

II. Fontes luminosas extensas produzem sombras com bordas indefinidas

O fato de o Sol ser uma fonte luminosa extensa que subtende, para pontos situados na Terra, um pequeno ângulo, de aproximadamente $0,5^\circ$, faz com que raios luminosos provenientes de regiões diferentes do disco solar incidam aqui na Terra segundo direções diferentes. Por isso as *sombras* produzidas por obstáculos que interceptam a luz solar não têm bordas bem definidas. As *sombras* só teriam bordas bem definidas caso todos os raios luminosos solares fossem paralelos entre si (o que se assume para fazer representações simplificadas da radiação solar) e então o fascinante fenômeno da “*atração*” entre *sombras* não ocorreria.

As figuras 3a e 3b representam de maneira esquemática a luz emitida pelos extremos do disco solar, passando por um ponto da borda de um obstáculo e gerando uma região de *penumbra* (região dentro da qual a iluminação varia desde um mínimo – *sombra* – até a iluminação plena).

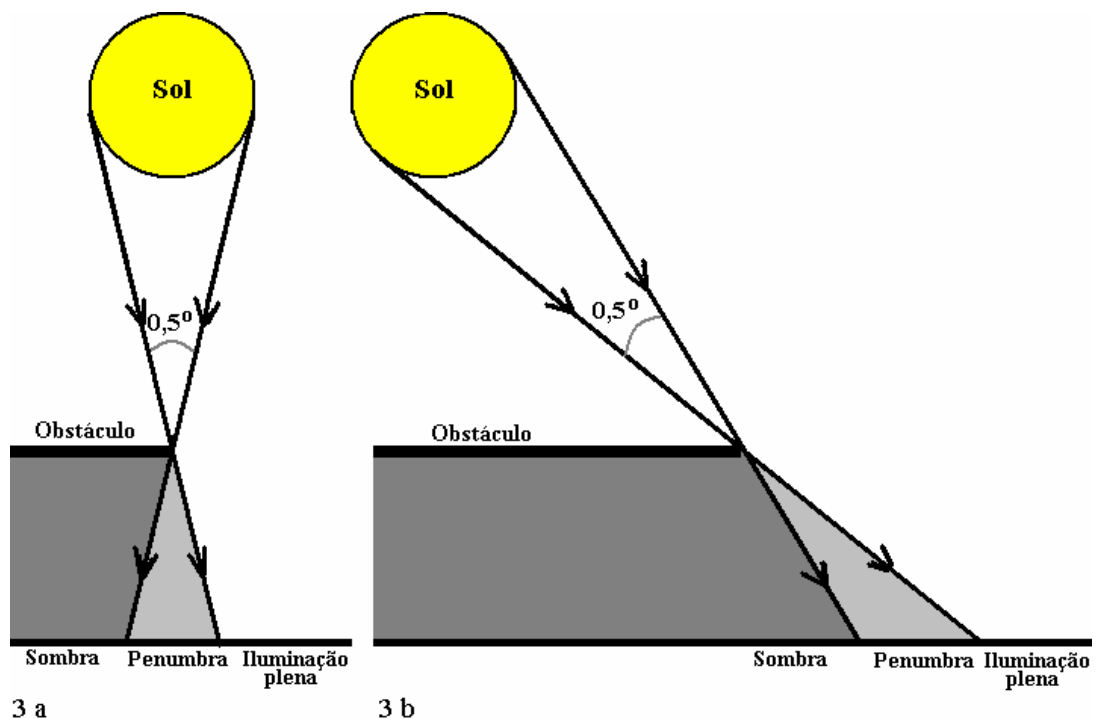


Figura 3 – A luz solar que se origina em regiões diferentes do disco solar produz sombras com bordas não definidas (*penumbra*).

Na figura 3a a incidência dos raios solares que atingem o plano horizontal onde ocorre a *sombra*, é quase perpendicular a este plano³. A situação em que o Sol se encontra baixo no céu é apresentada na figura 3b. Comparando essa figura com a figura 3a, podemos observar uma maior extensão de *penumbra* sobre o plano horizontal⁴. A rigor, em vez de usar um tom cinza claro para indicar o intervalo que corresponde à *penumbra* nas situações apresentadas nas figuras 3a e 3b, deveríamos preencher esse intervalo com uma variação contínua entre o cinza escuro (*sombra*) e o branco (iluminação plena), ratificando a inexistência de bordas não definidas, como indicado na legenda dessas figuras.

A figura 4 representa, em uma escala conveniente, o aumento da iluminação solar, calculada sobre o plano onde é projetada a *sombra*, a partir do interior desta até a região de iluminação plena, em função da posição sobre uma reta neste plano, tal como esquematizado na figura 3. Entre as regiões de *sombra* e de iluminação plena, existe a *penumbra*, onde a iluminação varia proporcionalmente à área da parte do disco solar não encoberta pelo obstáculo. Abaixo do eixo horizontal das posições, na figura 4, representamos um obstáculo (indicado por um retângulo), juntamente com as partes por este encoberta, ou não, do disco solar, correspondente às seguintes cinco posições específicas do gráfico apresentado: o disco solar totalmente encoberto (*sombra*), três posições distintas de Sol parcialmente encoberto (*penumbra*) e ainda o disco solar totalmente exposto (iluminação plena).

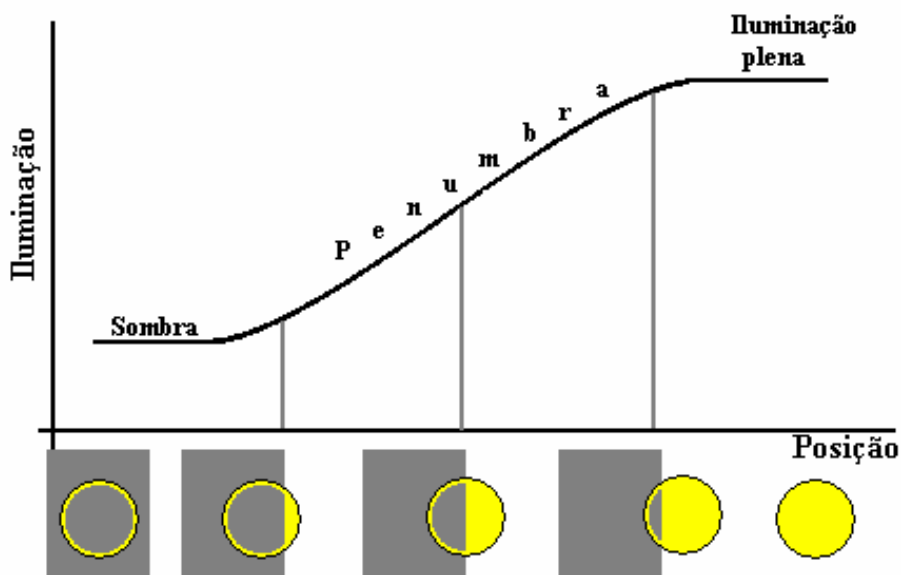


Figura 4 – Variação de iluminação sobre diferentes regiões do plano onde a *sombra* ocorre.

³ - A incidência perpendicular dos raios de luz solar sobre o plano onde acontece a *sombra* é a condição para a menor extensão da região de *penumbra*, isto é, aproximadamente 0,9 cm para cada metro de distância entre o objeto que projeta a *sombra* e o plano.

⁴ - As fotos apresentadas nas figuras 1 e 2 foram tiradas no final da tarde com o Sol baixo no céu, sobre uma calçada horizontal.

III. A intersecção das regiões de penumbra produz a “atração” entre as sombras

A figura 5 representa dois obstáculos próximos um do outro e posicionados a diferentes distâncias do plano que contém as suas *sombras*, de tal forma que ocorra intersecção das regiões de *penumbra* associadas a cada obstáculo⁵. Nesta figura representa-se a iluminação na região de *penumbra* (entre “Sombra 1” e “Sombra 2”) por barras claras sobre um fundo cinza. O espaçamento entre as barras torna-se menor conforme a iluminação aumenta. Além disso, à semelhança do que visualizamos na figura 4, desenhamos também cada um dos obstáculos, juntamente com as partes expostas e encobertas do disco solar para diversas posições no plano que contém as *sombras*.

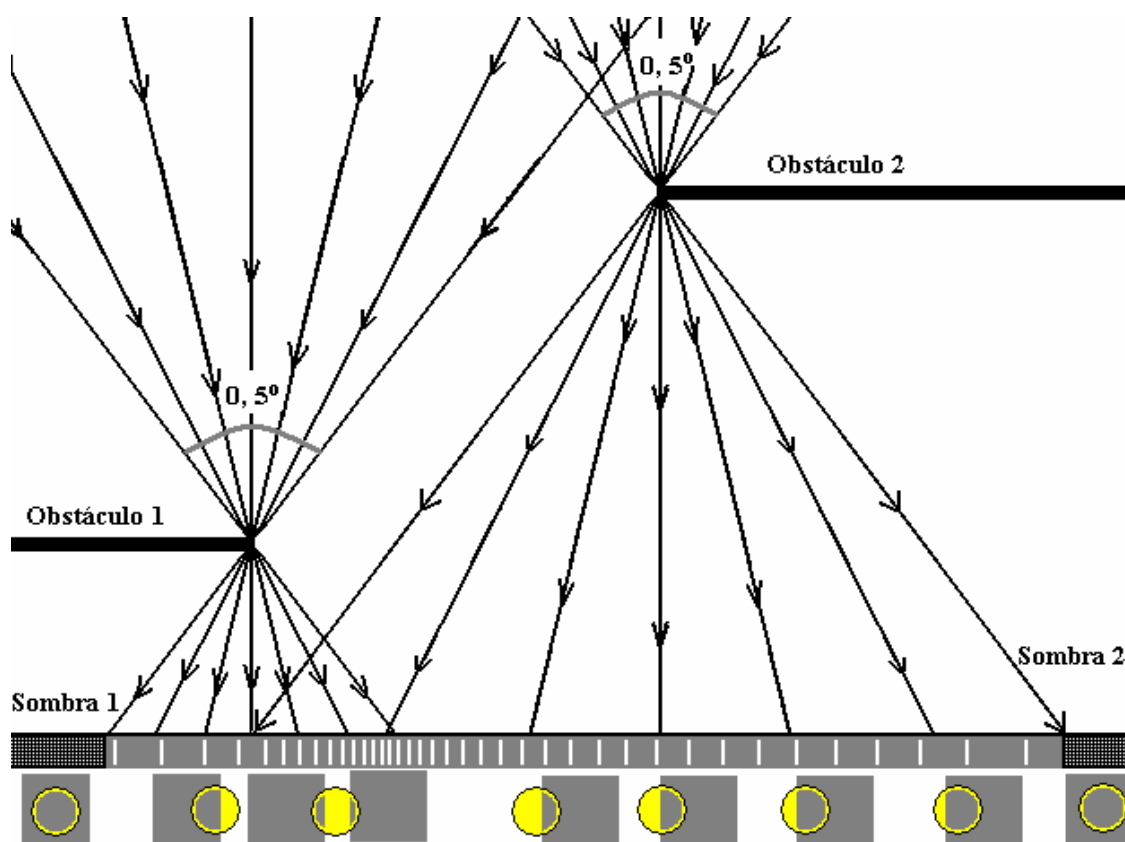


Figura 5 – Dois obstáculos originando uma pequena intersecção entre regiões de penumbra.

A figura 6 representa obstáculos ainda mais próximos um do outro. Neste caso, o obstáculo 2 suprime raios luminosos no lado mais escuro da região de *penumbra* do obstáculo 1, contígua à *sombra 1* original (representada na figura 5). Desta forma, a *sombra* do obstáculo 1 se *amplia* explicando-se assim a “*atração*” da *sombra* do obstáculo 1 pela *sombra* do obstáculo 2.

⁵ - Para melhor compreensão, o ângulo máximo entre os raios de luz provindos do disco solar em todas as figuras está muito exagerado pois, conforme já notado, esse ângulo é de apenas 0,5°.

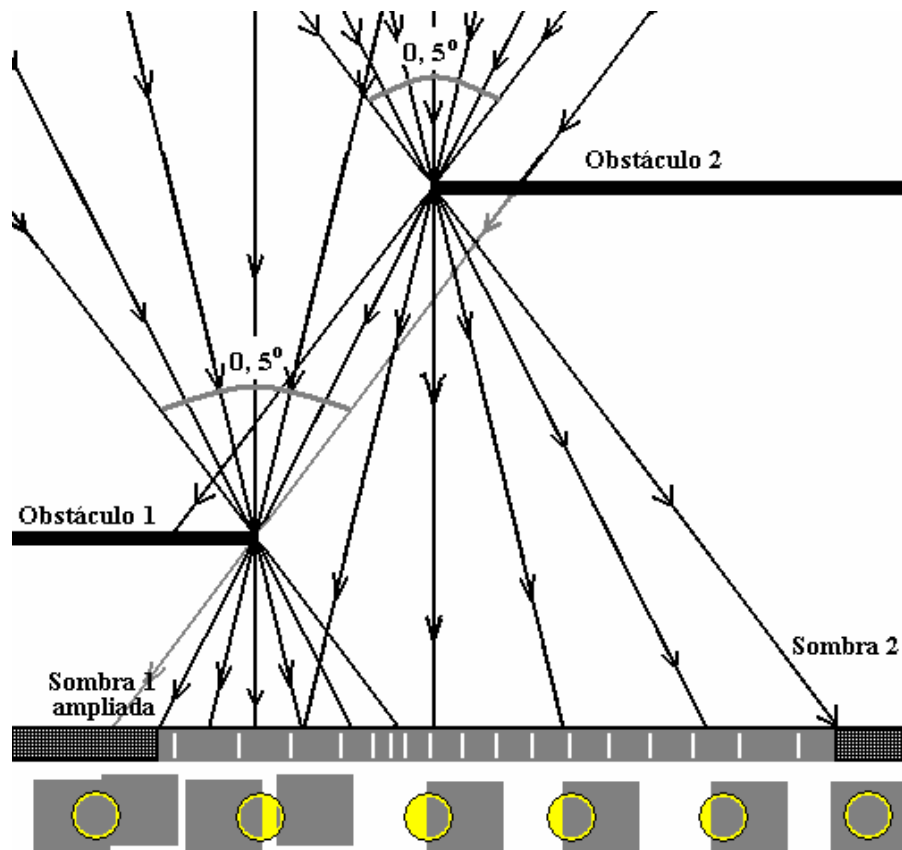


Figura 6 – Devido ao aumento da intersecção entre as regiões de penumbra, a sombra que está mais próxima do seu correspondente obstáculo acaba sendo ampliada.

É importante destacar que a construção geométrica na figura 6 implica necessariamente a *ampliação* da *sombra* projetada pelo obstáculo 1. É impossível que o mesmo efeito ocorra na *sombra* do obstáculo 2, pois seria necessária a supressão de raios luminosos próximos a essa *sombra*, o que é geometricamente injustificável. Explica-se assim, qualitativamente, o enunciado que denominamos a *lei da “atração” entre as sombras*.

IV. Curvas de iluminação no plano onde as sombras ocorrem

Uma abordagem quantitativa para a explicação da “*atração*” *entre as sombras* é possível com auxílio do traçado das curvas de iluminação no plano onde o efeito ocorre. O princípio subjacente ao cálculo dessas curvas é que a iluminação, em uma região do plano que contém as *sombras* e a *penumbra*, varia proporcionalmente à área do disco solar exposta (a parte do Sol não encoberta pelos obstáculos) para aquela região. Com base nesse pressuposto, calculamos e representamos as curvas de iluminação (figura 7), no plano onde as *sombras* ocorrem, para quatro posições relativas dos dois obstáculos, supondo que o obstáculo 2 se encontre três vezes e meia mais afastado da superfície onde as *sombras* são observadas do que o obstáculo 1. O obstáculo 2 avança para a esquerda (sua borda

passando sucessivamente pelas posições A, B, C e D indicadas na parte superior da figura 7), paralelamente à superfície onde as *sombras* são observadas, enquanto o obstáculo 1 permanece parado em relação à origem do eixo das posições. Tomamos como unidade de medida de posição a metade da largura da região de *penumbra* que apenas o obstáculo 1 determinaria caso não existisse o outro obstáculo.

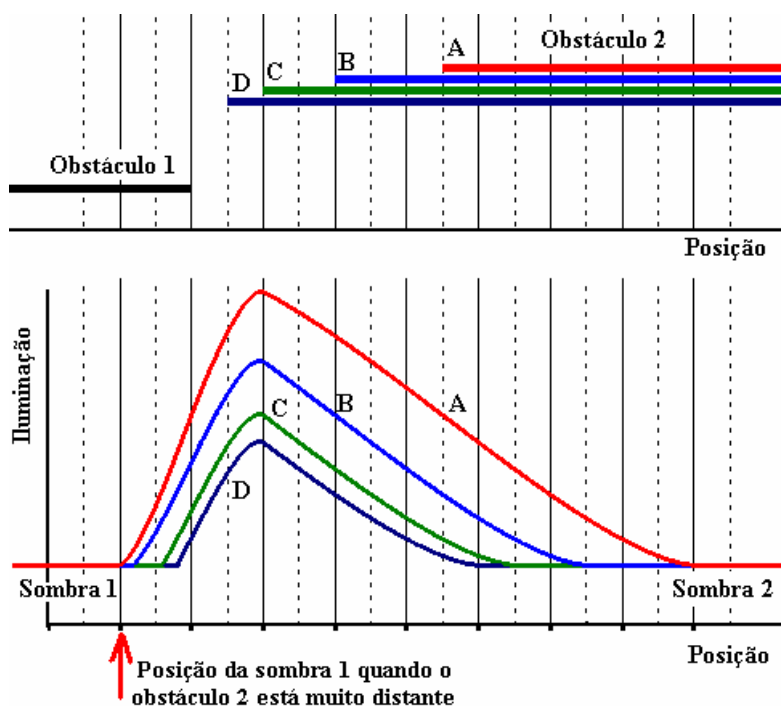


Figura 7 – Curvas de iluminação no plano onde as sombras ocorrem para diversas posições relativas dos dois obstáculos.

Vejamos inicialmente, tomando por base as curvas de iluminação representadas na figura 7, o que acontece com a *sombra* do obstáculo 2. Quando este obstáculo avança paralelamente ao plano onde as *sombras* ocorrem, aproximando-se do obstáculo 1, a *sombra 2* avança pelo mesmo espaço que o obstáculo 2 percorreu (para verificar isto, basta comparar as posições da borda do obstáculo 2, no topo da figura 7, com a posição do início da *sombra 2* – início da linha de iluminação constante). Desta forma, este resultado teórico é consistente com o que se observa quando as duas *sombras* são aproximadas: uma delas, a *sombra 2*, avança sem sofrer modificações na sua forma.

A seguir vamos analisar o que ocorre com a *sombra* do obstáculo 1. As curvas de iluminação mostram que inicialmente, quando o obstáculo 2 se encontra mais afastado (posição A do obstáculo 2), a extensão da *sombra 1* não é ainda afetada por esse obstáculo. Mas, quando o *obstáculo 2* passa sucessivamente pelas posições B, C e D, nota-se que a linha que corresponde à iluminação constante no lado esquerdo da figura 7 (identificando a *sombra 1*), avança para a direita, ou seja, a *sombra 1* se *amplia*, deformando-se. Este resultado teórico, já antecipado qualitativamente na seção anterior, é consistente com o que se observa quando uma *sombra* se aproxima da outra (conforme as fotografias das figuras 1 e 2): uma das duas *sombras* (sempre aquela que corresponde ao obstáculo mais próximo do

plano onde o efeito ocorre) será “*atraída*” pela outra *sombra*, preenchendo prematuramente o espaço iluminado que separava originalmente as duas *sombras*.

V. A “*atração*” entre as *sombras* no laboratório

É possível também em laboratório se observar o fenômeno da “*atração*” *entre as sombras*. Em uma sala escura colocamos uma lâmpada e em uma parede do outro lado da sala fotografamos as *sombras* de objetos postados próximos à parede. A figura 8 apresenta as fotografias das *sombras* de uma placa e de uma bola, estando a primeira mais próxima da parede do que a segunda. Observa-se então a “*atração*” da *sombra* da placa pela *sombra* da bola.

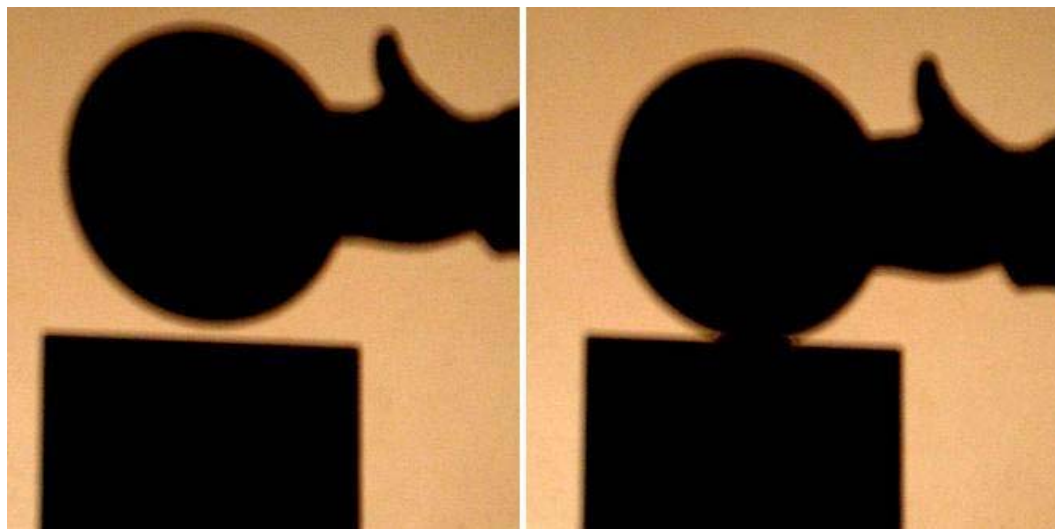


Figura 8 – A sombra da placa é “atraída” pela sombra da bola.

Na figura 9 a *sombra* da bola é “*atraída*” pela *sombra* da placa pois agora a bola encontra-se mais próxima da parede.

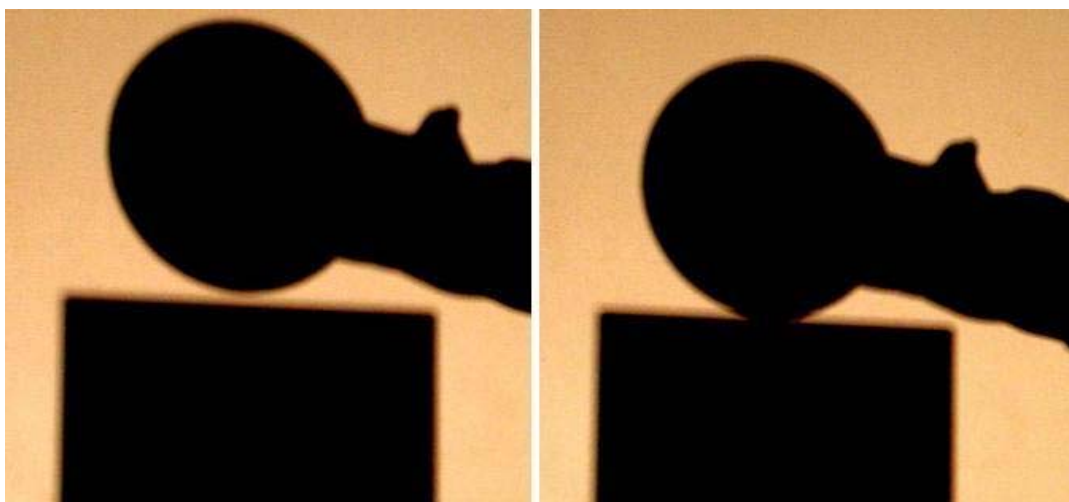


Figura 9 – A sombra da bola é atraída pela sombra da placa.

VI. Conclusão

As *sombras* exercem um grande fascínio na humanidade desde épocas remotas, conforme conta Casati (2001) em *A descoberta da sombra* (texto imperdível para quem queira se inteirar sobre uma grande quantidade de fenômenos, aplicações e eventos históricos nos quais as *sombras* tiveram papel central). Mas o tema que discutimos neste artigo não é notado no livro de Casati, nem em diversos outros livros pesquisados. Na extensa obra de Minnaert (1954), um clássico da literatura sobre luz e óptica ao ar livre, o efeito da “*atração*” *entre as sombras* não é sequer mencionado. Apenas em um texto paradidático sobre experimentos de física (Wittmann, 1986) encontramos uma atividade de ‘*espichamento de sombras*’, cujo título poderíamos traduzir livremente do alemão como ‘*o nariz de Pinóquio*’⁶.

Alertados por um aluno sobre o efeito de “*atração*” *entre as sombras* e tendo sido indagados sobre as suas razões, decidimos buscar uma explicação, agora concretizada neste artigo. Cremos que o apelo do inusitado, que tal efeito apresenta, pode servir de motivação (e tem servido em nossas aulas) para uma discussão profícua sobre óptica geométrica.

Agradecimento. Agradecemos à Prof^a Maria Cristina Varriale do IM-UFRGS pela leitura crítica deste artigo e pelas sugestões apresentadas.

Referências

CASATI, R. *A descoberta da sombra*. São Paulo: Companhia das Letras 2001.

MINNAERT, M. *The nature of light and colour in the open air*. New York: Dover, 1954.

WITTMANN, J. *Trickkiste 1 – Experimente, wie sie nicht im Physickbuch stehen*. München: Bayerischer Schulbuch-Verlag, 1986.

⁶ - Este autor apresenta uma explicação para o efeito do ‘*espichamento de sombras*’ que, em nossa opinião, não é suficientemente clara. Ela envolve aspectos objetivos da óptica geométrica, incorporando também detalhes subjetivos da percepção visual humana. A nossa explicação é completamente objetiva, consistente com o que se registra nas fotografias.