
ÓPTICA GEOMÉTRICA NO CAFÉ DA MANHÃ⁺*

Francisco Catelli

Departamento de Física e Química – Universidade de Caxias do Sul

Caxias do Sul – RS

Faculdade de Física – PUC-RS

Porto Alegre – RS

Scheila Vicenzi

Departamento de Física e Química – Universidade de Caxias do Sul

Caxias do Sul – RS

Resumo

O ensino é muito mais eficaz quando há descoberta. Ela estimula o aluno, provoca-o e faz com que a aprendizagem se torne menos maçante porque, afinal, é um prazer aprender! É claro que um quadro cheio de teoria e uma lista quilométrica de exercícios nem sempre são muito atraentes, mas foi nesse ambiente que duas colegas acabaram tendo uma surpresa: além de resolver um problema, elas se depararam com uma descoberta intrigante acerca da forma do reflexo da luz em xícaras de café... Este texto é um relato resumido das peripécias das duas estudantes.

Palavras-chave: *Ensino de Física, óptica geométrica, cáustica.*

Abstract

Teaching is much more efficient when there is discovery. Research stimulates, encourage, makes students to enjoy learning, after all it's a pleasure to learn! Of course that a blackboard full of theory and exercises is not attractive but it was in this environment that two followers founded a great surprise: further than solving a problem, they confront a mysterious discovery of how light reflex inside a coffee cup. This is a resumed narration of this two students adventure.

⁺ Geometrical Optics in breakfast

^{*} *Recebido: março de 2004.
Aceito: julho de 2004.*

Keywords: *Physics teaching, geometrical optics, caustic.*

I. Introdução

Este texto é um relato de um episódio que ocorreu quando um de nós era monitor de uma disciplina de Física na universidade. O essencial das atividades de monitoria consiste no auxílio à solução de uma lista de problemas, fornecida pelo professor. Quem auxilia os alunos – o monitor – é também um estudante, mas que já cursou a disciplina com aproveitamento acima da média. Não é comum que essas ocasiões propiciem um ambiente de aprendizagem criativo e independente, visto que os trabalhos desenvolvidos voltam-se prioritariamente à resolução de alguns verdadeiros “clássicos” da Física introdutória da universidade. *“Muitas vezes, contudo, esse processo [resolução de problemas] se efetiva com pouca ou nenhuma compreensão conceitual”* (PEDUZZI; PEDUZZI, p. 103, 2001).

Este relato trata de uma exceção: ao ajudar uma aluna a resolver um dos muitos problemas da lista, um dos quais consistia no desenho em escala da imagem de um objeto que estava sobre o centro de curvatura de um espelho côncavo, ela “teimava” em dizer que ele não aparecia onde devia, ou seja, sobre o centro de curvatura. A estudante fez várias tentativas, sem sucesso. No início, não percebíamos claramente o que estava acontecendo.

Pensando um pouco mais, percebi que se tratava de um problema de aberração esférica, mas resolvi me divertir um pouco; voltei a conversar com a aluna e começamos a traçar diagramas.

II. Relato (resumido) dos diálogos

Relataremos os diálogos que se seguiram e mostraremos alguns dos desenhos que tentamos. Para maior clareza, apresentaremos desenhos melhorados, feitos em computador, visto que os originais, feitos a mão, nem sempre tinham a qualidade desejada. Daremos nomes fictícios às personagens. Entretanto, “qualquer semelhança com nomes e/ou fatos reais é uma mera coincidência”.

Primeiramente, Gabriela pediu para que Alice desenhasse a imagem de um objeto colocado no centro de curvatura de um espelho côncavo, obedecendo algumas das regras usuais para espelhos de pequena abertura. Como o leitor deve lembrar: *“Todo o raio que incide paralelo ao eixo principal é refletido passando pelo foco e todo raio que passa pelo foco é refletido paralelamente ao eixo principal”*.

- *Bom, como todo mundo sabe, a imagem fica embaixo do objeto. Mas... ficou antes!* Exclama Alice.

- E se o objeto fosse menor? Retruca Gabriela.
Alice desenhou um objeto menor e então...

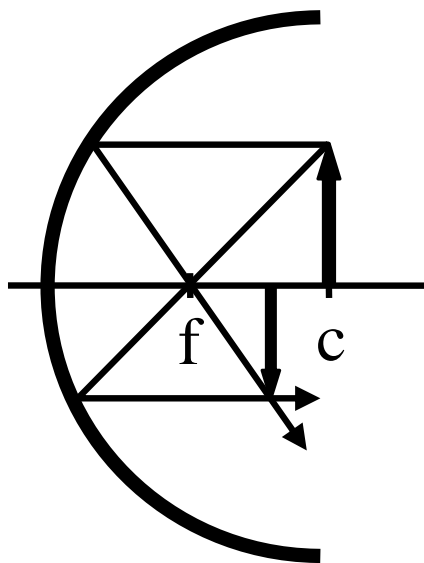


Fig. 1 - A imagem não aparece sob o centro de curvatura, como esperava a estudante.

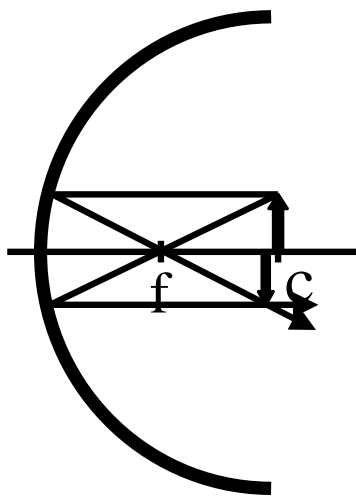


Fig. 2 - Quando o objeto é menor, a imagem fica mais próxima do centro de curvatura.

- ... ainda está fora, mas não tanto quanto antes! Disse Alice.

Gabriela resmunga:

- O que está acontecendo? E sugere:

- Então, quem sabe, dividindo um objeto grande em “pedaços”?

Alice coça a cabeça, um pouco confusa, e pergunta:

- Dividir um objeto grande em pedaços? Como assim?

- Veja só Alice, quando pedi a você que fizesse as construções, você usou ‘a lei’ não foi?

- Foi! Respondeu Alice.

- Então, você desenhava uma seta e fazia o traçado dos raios de luz que a ponta da seta emitia, não? Continuou Gabriela.

- É isso! Concorda Alice.

Gabriela se empolga, e continua.

- Pois é, estou imaginando uma seta grande, larga, com vários pontos marcados nela; aí aplico a lei para todos esses pontos.

Alice desenha, seguindo a sugestão de Gabriela.

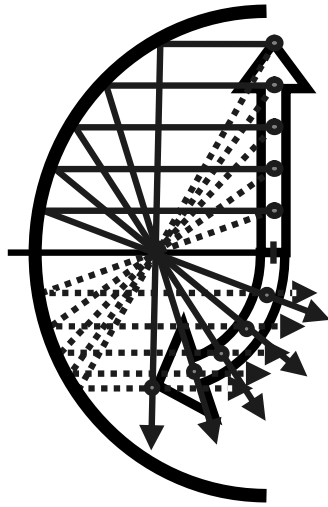


Fig. 3 - Uma imagem "torta" de um objeto "reto"?

- Torta! A imagem saiu torta!

- Não pode ser... Será que a lei que estamos usando é de algum modo inadequada? Alice continuou pensando em voz alta no que havia feito.

Gabriela pensou consigo mesma que estavam usando regras fora do contexto no qual elas são válidas, já que não existem imagens como a que acabaram de obter no desenho (Fig. 3), tortas... E tentou uma saída:

- Em todo caso, Alice, lembre da lei básica da reflexão: o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão, e Gabriela completa rascunhando o que acabara de falar.

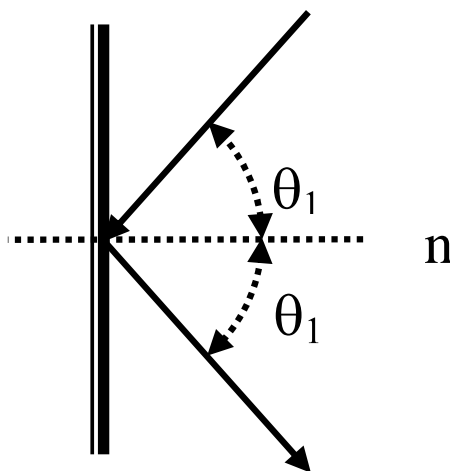


Fig. 4 - Em um espelho, plano ou não, o ângulo de incidência, medido em relação à normal (n), é igual ao ângulo de reflexão.

Gabriela continuou:

- Bom, poderíamos ver o que acontece com raios paralelos, vindos do infinito. Como se comportaria a imagem de um objeto que está muito, mas muito distante, de tal forma que os raios luminosos que ele emite cheguem paralelos até o espelho?

- E mais! Pensando nesses dois fatores: lei da reflexão e raios vindos do infinito, como você faria a construção?

Alice ficou um pouco confusa, mas não se intimidou, pegou o material e...

Mostraremos ao leitor os primeiros rabiscos.

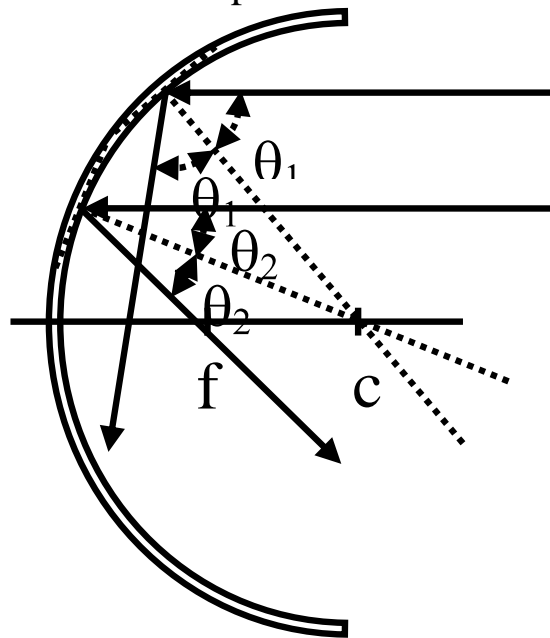


Fig. 5 - A lei da reflexão aplicada a dois raios incidentes, paralelos ao eixo principal.

Continuamos...

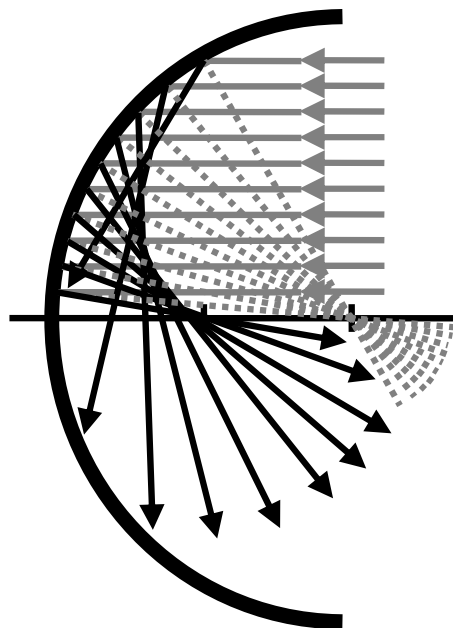


Fig. 6 - Uma versão “passada a limpo” do primeiro “rabisco”. Para não sobrecarregar o desenho, foi representada apenas a primeira reflexão no espelho.

- *Mas... o que é isso?!*, diz Alice assustada.
Continuamos o desenho...

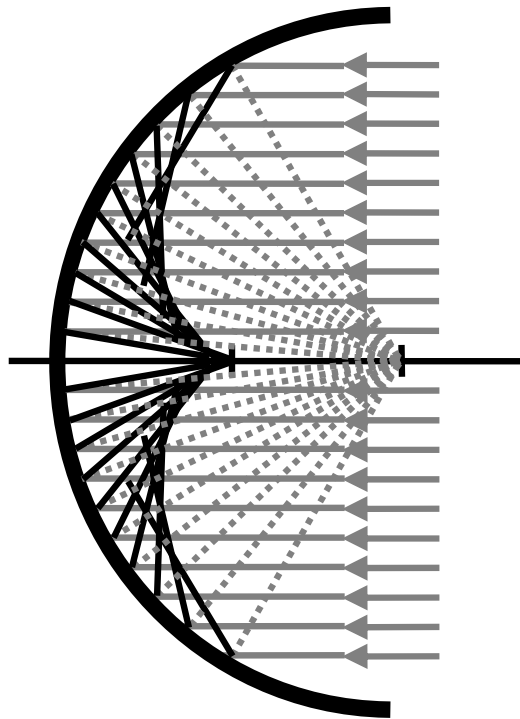


Fig. 7 - O segundo “rabisco”.

- *Nossa, que figura interessante!*
- *É uma curva matemática chamada ‘cústica’,* responde imediatamente

Alice.

Gabriela se impressiona com a erudição matemática de sua interlocutora.

- *É mesmo! Já ouvi falar nessa curva, mas me lembrou outra coisa [...].*

- *Olha só! Eu brincava com isso quando era criança! Lembro que quando minha mãe servia o café aparecia nela uma imagem estranha, e por mais que eu movesse a xícara de um lado para o outro, ela não desaparecia, apenas sua forma era um pouco alterada. Ficava tão intrigada com aquilo que diversas vezes mergulhei o dedo no café para tentar tocá-la...* lembrou Gabriela.

- *É mesmo?*, retruca Alice, num misto de surpresa e curiosidade!

- *Vou te mostrar!* Gabriela sai à procura de uma xícara.

Quando volta, Alice já havia encontrado não apenas a xícara, mas também a curva, era possível visualizá-la no fundo da xícara, mesmo sem café.

Passaram-se alguns dias e Gabriela encontra Alice.

- *Alice! Lembra dos nossos desenhos da semana passada?*

- *Claro,* respondeu Alice.

- *Pois é, as coisas funcionavam bem para objetos pequenos,* continua Gabriela.

- Então, raios paralelos próximos ao eixo principal convergirão no foco do espelho. Não é isso?

- É... Espera aí, você quer dizer que a 'ponta' daquela curva esquisita é o foco do espelho, no caso, a parede da xícara?

- Vamos ver isso?, provoca Gabriela.

- Tens uma régua?

- Está aqui!

- Posso cortá-la?

- Se eu ganhar outra, sim!

- Você não quer saber se a 'ponta' da curva é mesmo o foco?

- Claro!

- Então, sacrifique sua régua!

- Está bem!, exclama Alice, que não consegue conter sua curiosidade.

Gabriela e Alice cortam a régua na medida do diâmetro da xícara, de forma que possa 'entrar' nesta.

- Não acredito!

- O diâmetro da xícara é de oito centímetros e o vértice da curva está a dois centímetros da borda!

- Tá, mas... e daí? Retruca Alice.

- Olhe a curva que a gente desenhou! O vértice não está no foco?

- Sim!

- E o foco está entre o centro da circunferência e a sua borda, ou seja, um quarto da circunferência.

Algumas semanas depois, quando terminadas as provas, e já com a idéia de escrever toda essa bela história, Gabriela fez algumas fotos e mostra-as para Alice:

- Olhe, na foto dá para ver direito a história da distância focal ser igual à quarta parte do diâmetro da xícara. Fantástico, não?

- Exatamente como nos livros, completa Alice.

- E nessa outra, o desenho que fizemos se ajusta perfeitamente à 'cáustica'. Não é legal?

Alice sorri, um sorriso alegre, cúmplice de uma descoberta singela e bela.

III. Moral da história

Dentre as várias "lições" que podemos extrair da história, temos a seguinte como primeira: quando surgem as dificuldades é momento de explorá-las ainda mais, pois aprendemos apenas quando enfrentamos obstáculos e não quando tudo dá certo. Um filósofo (Gaston Bachelard) dizia mais ou menos isso: "O conhecimento avança quando surgem os obstáculos". Talvez o estudante (e até mesmo o professor) perceba que esses "obstáculos" que fazem avançar o

conhecimento são interiores, isto é, nascem da própria curiosidade do estudante (o qual se transforma aqui em um autêntico pesquisador). Os mais férteis certamente não são aqueles de natureza “externa” ao aluno, tais como os “problemas” usualmente colocados em provas tradicionais. E o que dizer do inebriante e excitante prazer da descoberta? Mesmo que esta seja uma re-descoberta, um encontro com uma velha conhecida (a curva cáustica), a empolgação não será menor!

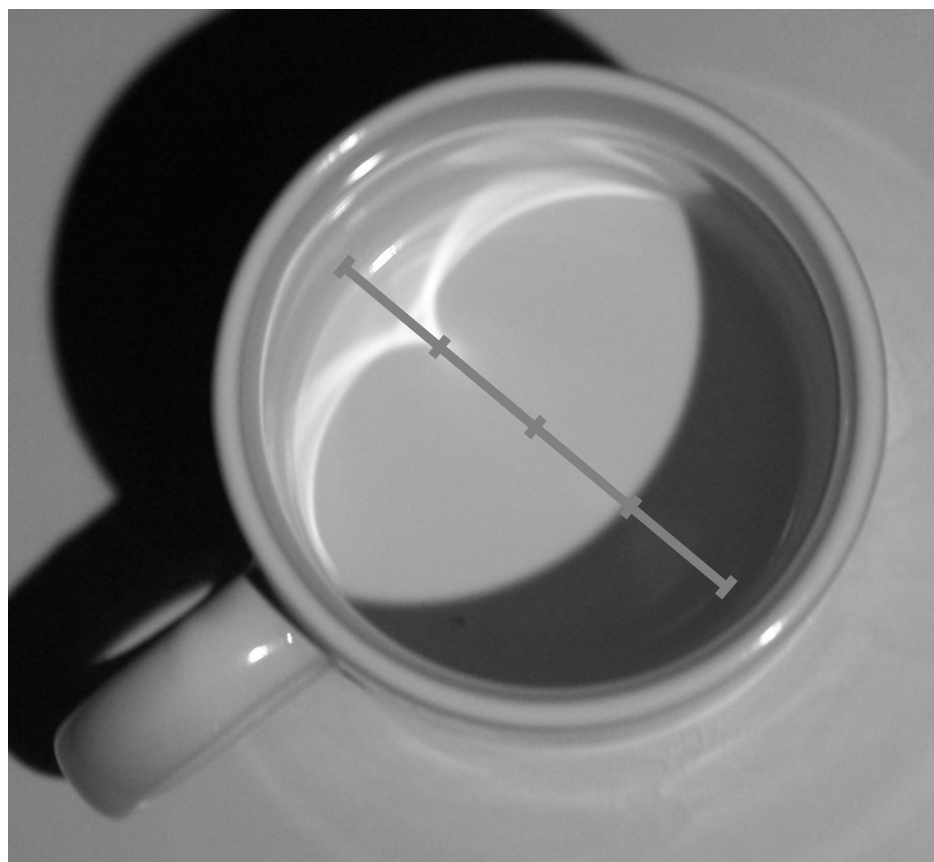


Fig. 8 - A cáustica dentro da xícara. O ápice da curva (o “foco do espelho”) fica aproximadamente a um quarto do diâmetro interno da xícara.

A segunda poderia ser a da estratégia da “obediência ao pé da letra das regras”. Nesse ponto da narrativa, o leitor poderá se perguntar se não teria sido “mais econômico” dizer logo à estudante que se tratava de um problema de aberração esférica. Pensamos – definitivamente – que não! Refletindo um pouco sobre o nosso comportamento no episódio, podemos extrair dele uma estratégia pedagógica de grande valor: a estratégia “legalista”, que trata de seguir regras ao pé da letra, só para ver onde se vai parar. Muito mais do que memorizar procedimentos, o aprendiz necessitará usar de todo seu espírito crítico para se posicionar sobre a plausibilidade dos resultados obtidos (veja a Fig. 3). Ele aprenderá que regras são frequentemente generalizações, nem sempre válidas, e que é assim também em níveis mais avançados da Física. Talvez o estudante “aprenda” também que o conhecimento avança exatamente quando as “coisas não funcionam”.



Fig. 9 - Parte do desenho da Fig. 7, sobreposto à imagem da cáustica na foto.

Neste relato, pode-se vislumbrar uma faceta maravilhosa da ciência: a de pretender ser um “quadro”, uma “pintura” do mundo, mesmo que seja de um detalhe “banal” desse mundo; a curva encontrada em uma xícara de café. E talvez o aluno acabe até mesmo adquirindo a consciência de que o cotidiano não banaliza a Física; ao contrário, é ele que a reveste de uma nobreza ímpar!

Talvez seja um pouco otimista pretender que um episódio como o que foi relatado leve o estudante a perceber que a ciência é *uma* das muitas maneiras que o homem lança mão para tentar “tomar posse” do mundo, e que, nessa forma de representá-lo, a Física e a Matemática têm um lugar de destaque. Talvez... ou não?

Referências Bibliográficas

PEDUZZI, L. O.; PEDUZZI, S. S. Sobre o papel da resolução literal de problemas no ensino de Física: exemplos em Mecânica. In: PIETROCOLA, M (Org.). **Ensino de Física**: conteúdo, metodologia e epistemologia em uma abordagem integradora. Florianópolis: Editora da UFSC, INEP, 2001. p. 101-123.