

Ótica e Geometria Dinâmica

Carlos Eduardo Aguiar

Instituto de Física - UFRJ

*Programa de Pós-Graduação em
Ensino de Física, UFRJ, 2009*

Resumo

- Geometria dinâmica
- Dificuldades no aprendizado de ótica
- Reflexão
- Refração
- Trabalhos em desenvolvimento:
 - índice de refração negativo
 - ótica geométrica não-euclidiana
- Conclusões

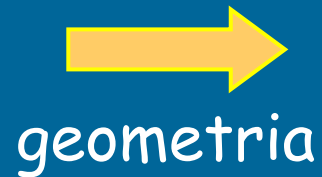
Geometria Dinâmica

- Régua e compasso virtual.
- Exploração interativa (dinâmica) de relações geométricas.
- Estimula a formulação de conjecturas; motiva a busca por demonstrações formais.

Programas de Geometria Dinâmica:
Geometer's Sketchpad, Cabri, iGeom, Tabulæ, ...

Ótica Geométrica

- raios
- reflexão
- refração



- espelhos e lentes
- telescópios, microscópios, fotografia, olho...
- prismas, arco-íris, ...

Ensinar ótica geométrica deveria ser fácil:

- matemática simples
- ligação com nossa experiência cotidiana

mas não é ...

Por que?

- A familiaridade que temos com fenômenos visuais cria conceitos e interpretações que contrariam os princípios físicos da ótica e atuam como barreiras ao aprendizado.
- Má compreensão do conceito de raio luminoso e sua representação gráfica; interpretação inadequada dos "raios de construção" (concepções errôneas geradas durante os cursos).
- Pouca atenção dada ao papel desempenhado pelo olho do observador e à definição do campo visual.

Muitos estudos demonstram isso:

- Student difficulties in understanding image formation by a plane mirror. F. M. Goldberg, L. M. McDermott, *The Physics Teacher* 24, 472 (1986).
- An investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror. F. M. Goldberg, L. M. McDermott, *American Journal of Physics* 55, 108 (1987).
- Learners' knowledge in optics: interpretation, structure and analysis. I. Galili, A. Hazan, *International Journal of Science Education* 22, 57 (2000).
- Many rays are better than two. D. Grayson, *The Physics Teacher* 33, 42 (1995).
- Mudanças conceituais no ensino de ótica: a formação de imagens pelo espelho côncavo. S. L. Talim, *Anais do IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física* (Jaboticatubas, MG, 2004).
- Some reflections on plane mirrors and images. I. Galili, F. Goldberg, S. Bendall, *The Physics Teacher* 29, 471 (1991).
- O que vemos quando nos miramos em um espelho côncavo? F. L. da Silveira, R. Axt e M. A. Pires, *Revista Brasileira de Ensino de Física* 26, 19 (2004).
- Uma dificuldade recorrente em óptica geométrica - uma imperceptível descontinuidade de imagem na lupa. F. L. da Silveira e R. Axt, *Revista Brasileira de Ensino de Física* 28, 421 (2006).

Espelhos planos: algumas dificuldades comuns entre os alunos

Localização da imagem:

- A imagem é formada sobre o espelho (30% pré-instrução, 0% pós-instrução)
- A posição da imagem depende do observador (50% pré-instrução, 30% pós-instrução)

Student difficulties in understanding image formation by a plane mirror.
F. Goldberg & L. McDermott, Physics Teacher 24, 472 (1986).

Espelhos planos: algumas dificuldades comuns entre os alunos

Campo visual:

- Muitos estudantes têm dificuldades em determinar quando uma imagem pode ser vista, ou quanto dela está visível.

Exemplo:

Você pode ver mais de si próprio afastando-se do espelho?

Espelhos esféricos: algumas dificuldades comuns entre os alunos

- Se metade do espelho for coberta, metade da imagem desaparece (30% pós-instrução).
- Problemas em distinguir imagens reais e virtuais (~40% pós-instrução).
- Formação de imagem real depende da existência de tela de projeção (~50% pós-instrução).

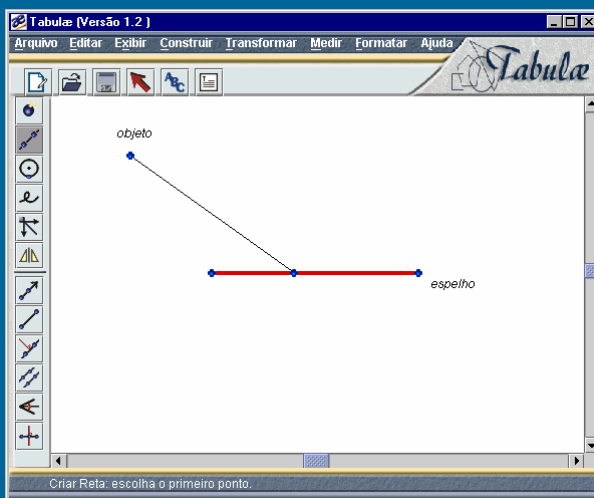
An investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror. F. Goldberg & L. McDermott, Am. J. Phys. 55, 108 (1987).

A Geometria Dinâmica pode ajudar?

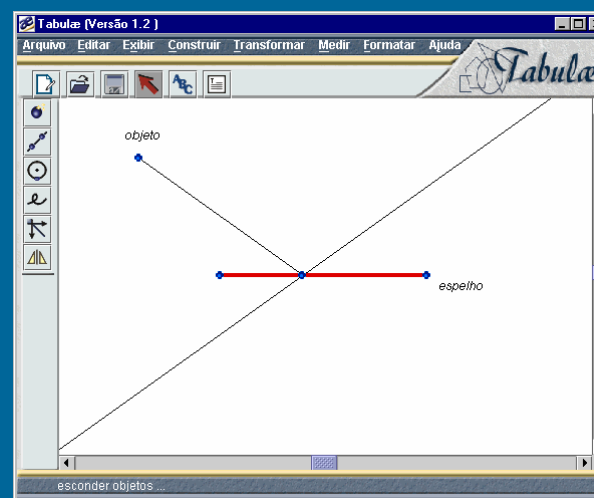
- Modelos de sistemas óticos:
 - interativos
 - grande impacto visual
 - ⇒ capazes de "competir" com o senso comum nos casos em que este gera concepções equivocadas.
- Representações acuradas do comportamento de raios luminosos, obtidas a partir das leis físicas que regem a reflexão e refração.

Imagens no espelho plano

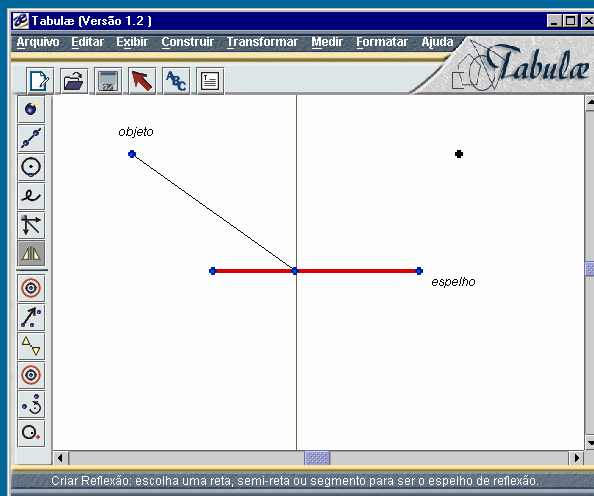
1



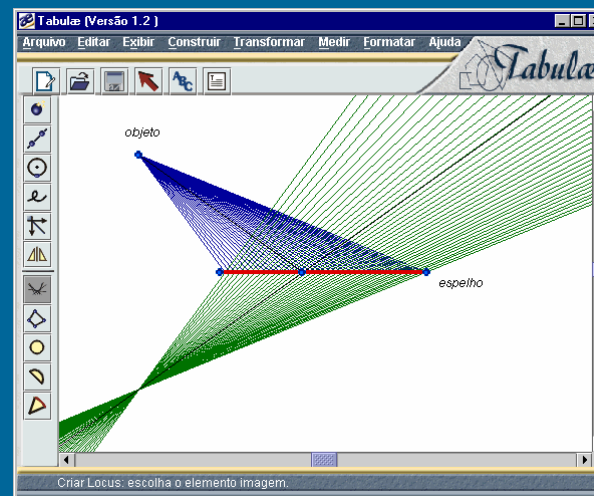
3



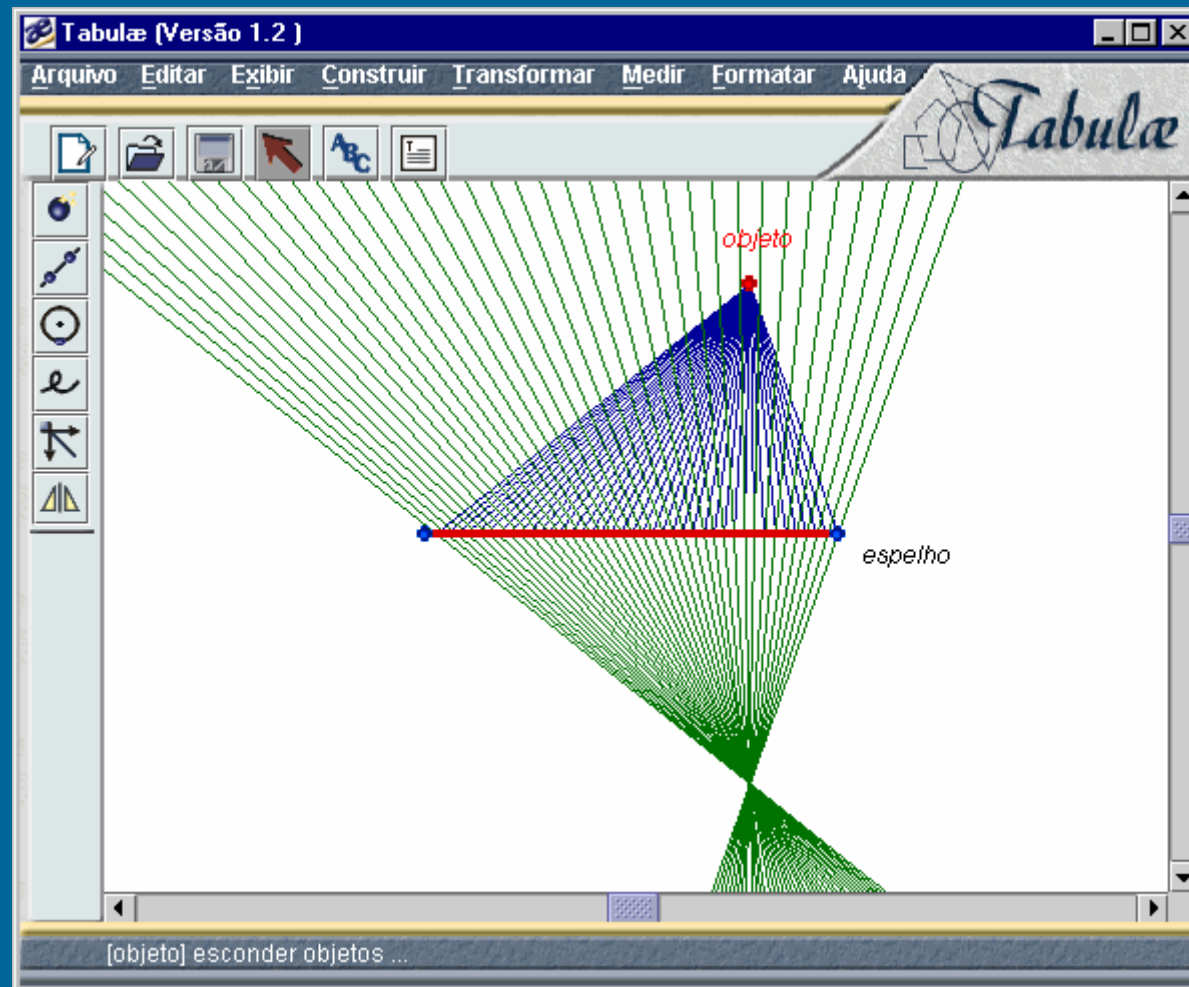
2



4



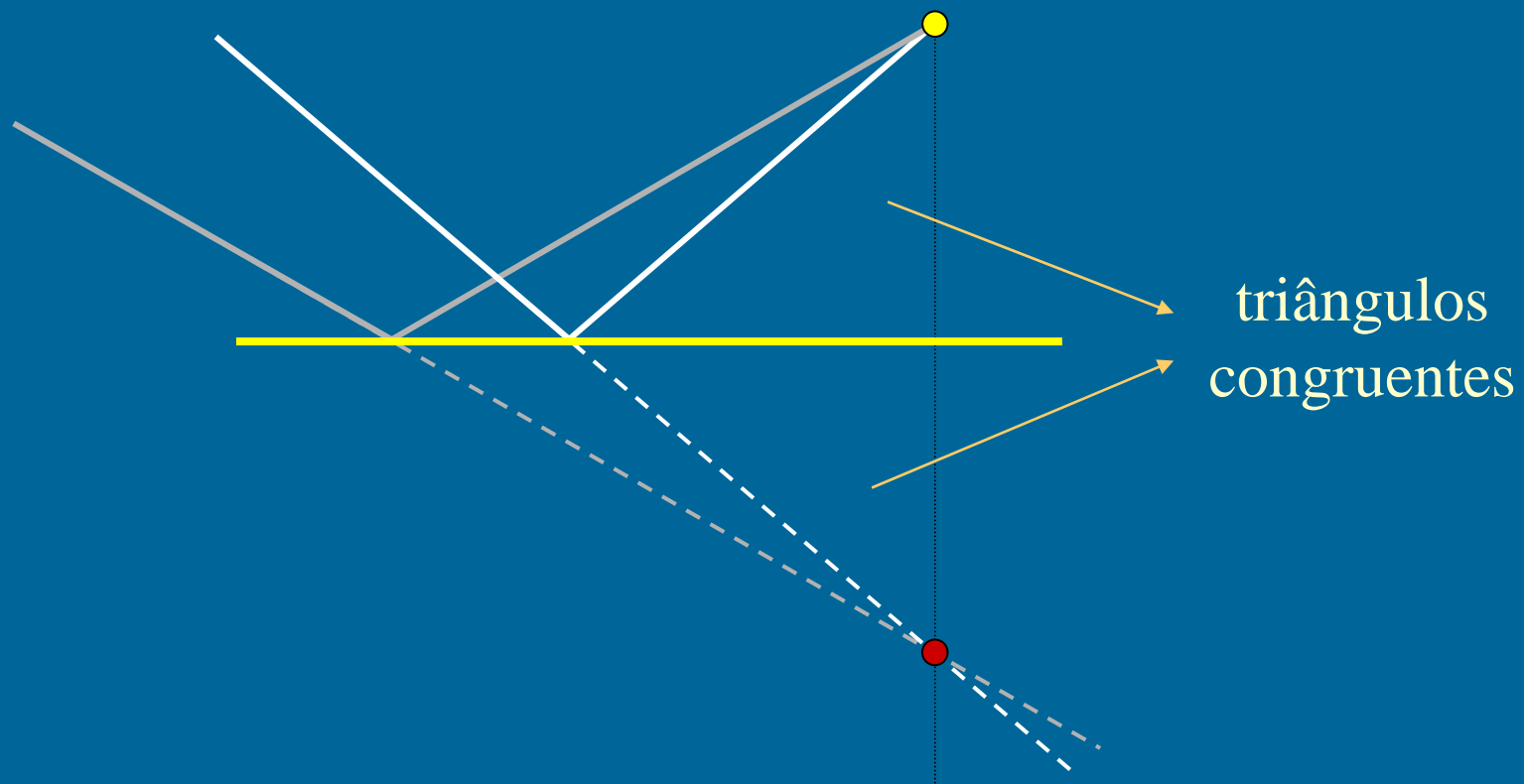
Imagens no espelho plano



O que há de novo?

- O conceito físico de imagem é descoberto de maneira "heurística".
- A descoberta (surpresa?) pode motivar a demonstração formal.
- Diferente dos métodos usuais, que começam com demonstrações matemáticas.
- Diversos aspectos ressaltados ao mesmo tempo: formação da imagem, campo visual, ...
- Fixação de conceitos facilitada pelo impacto visual e interatividade.

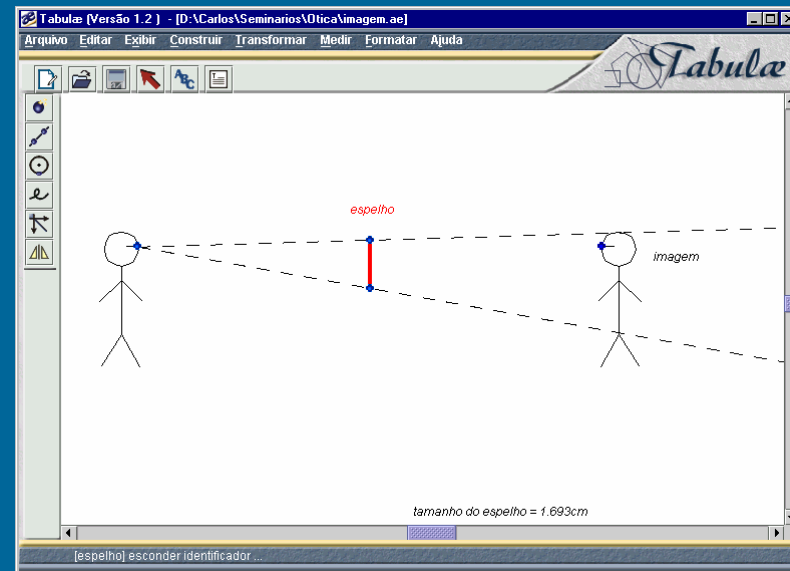
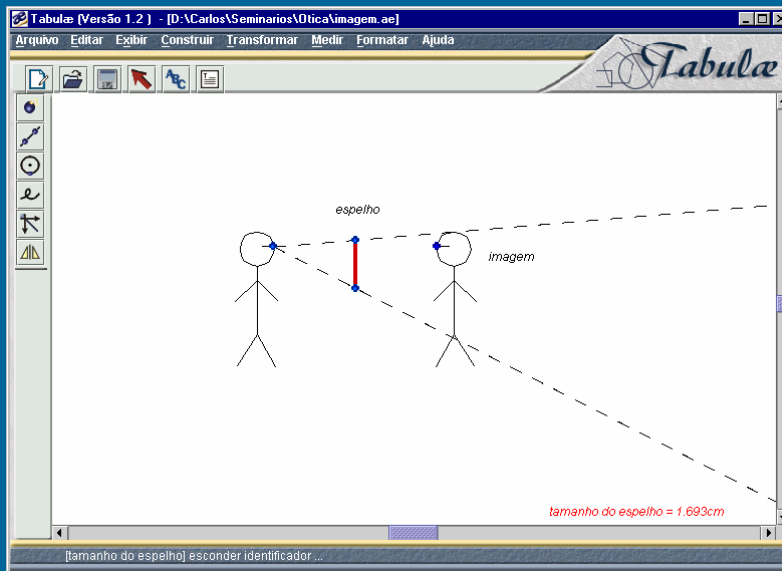
O tratamento formal



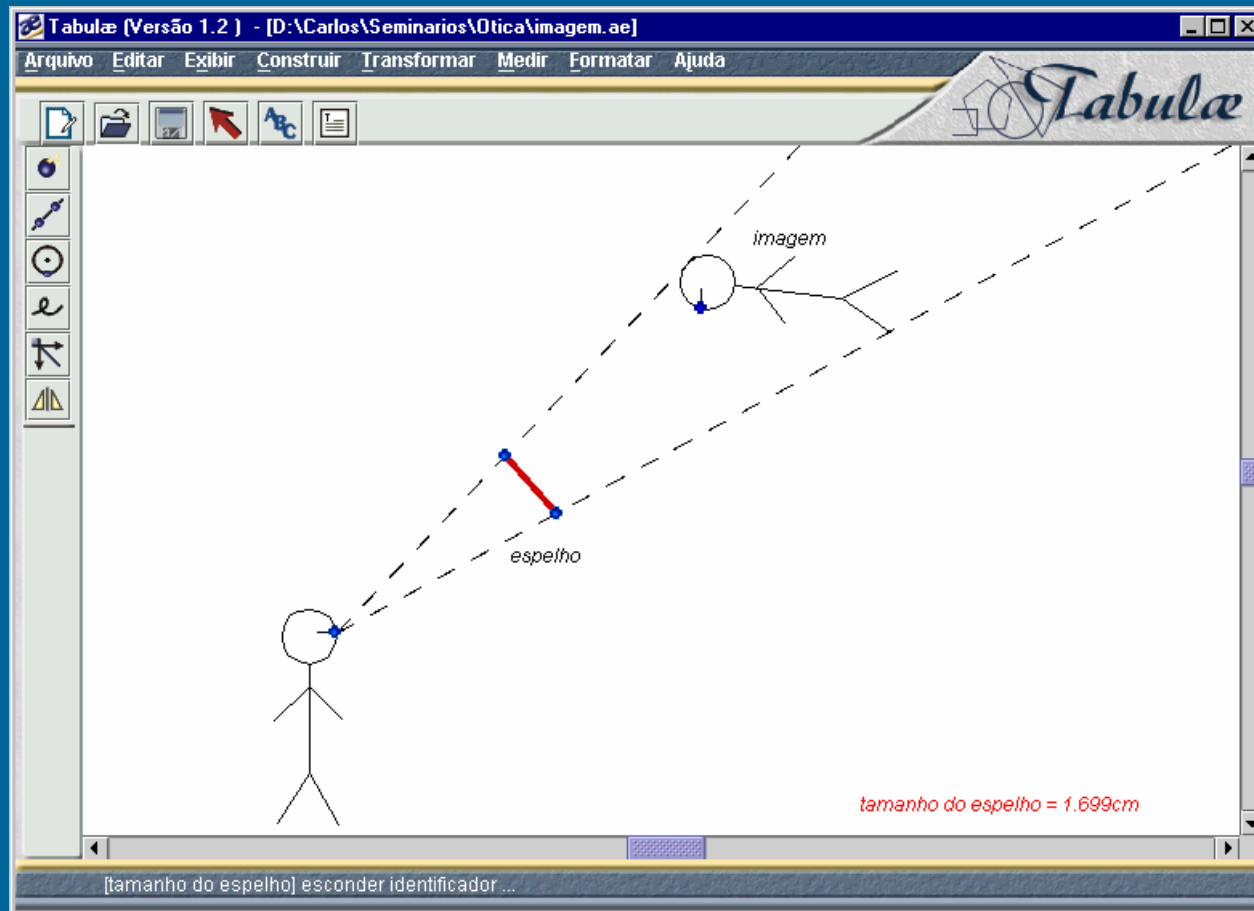
Voltando à pergunta sobre espelhos:

Você pode ver mais de si próprio
afastando-se do espelho?

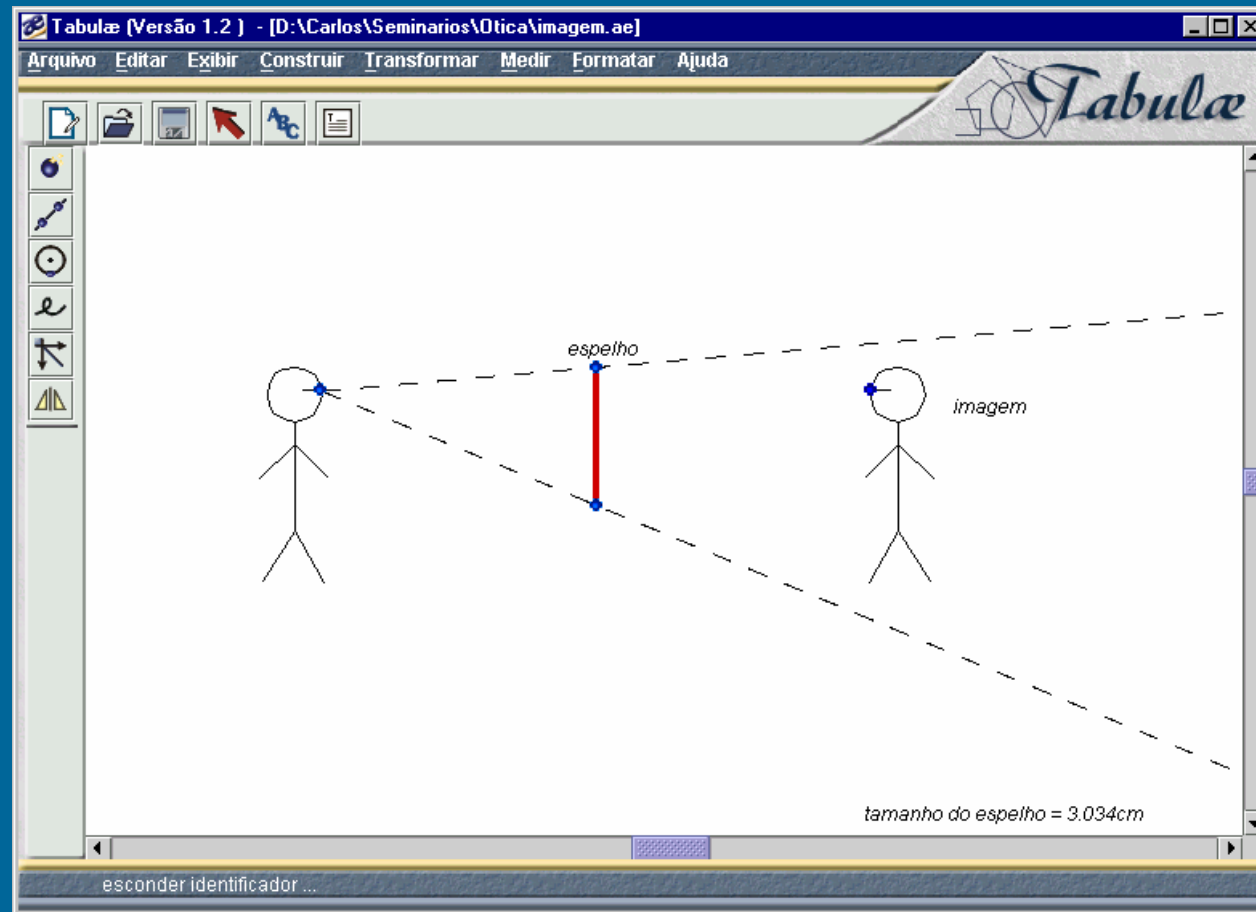
Sim: 90% pré-instrução,
70% pós-instrução.



Inclinando o espelho ...

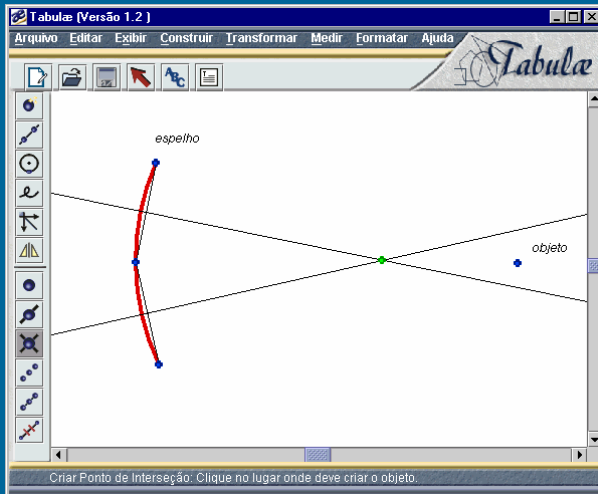


Usando um espelho maior

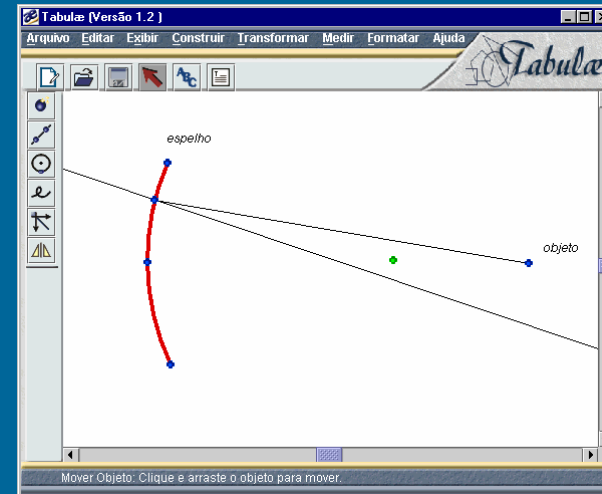


Espelhos esféricos

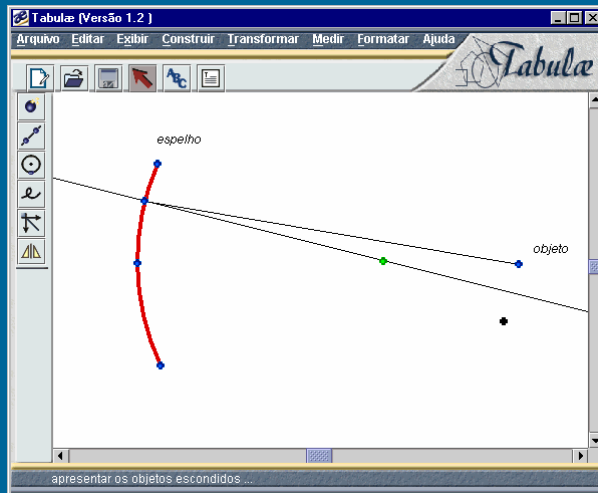
1



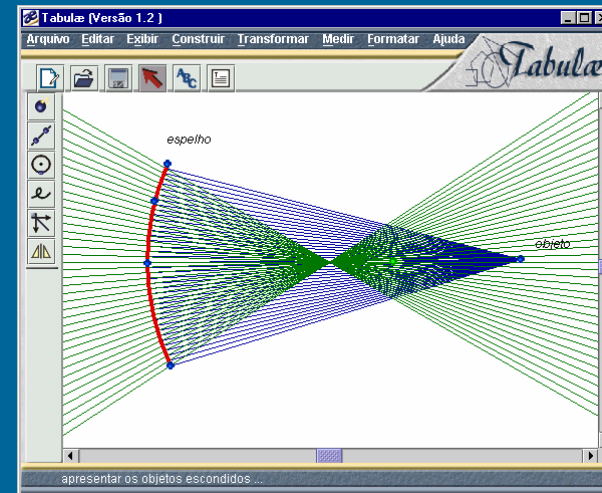
3



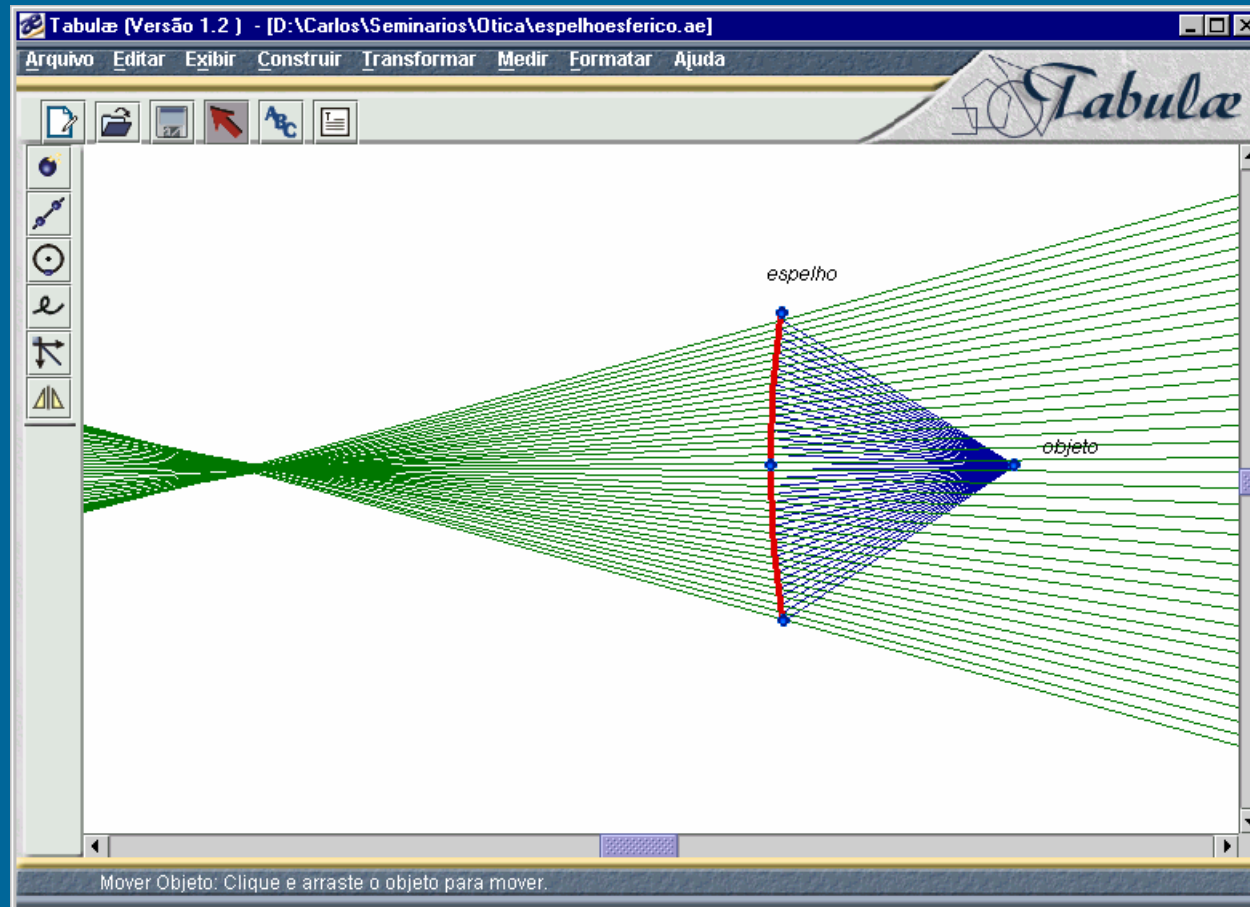
2



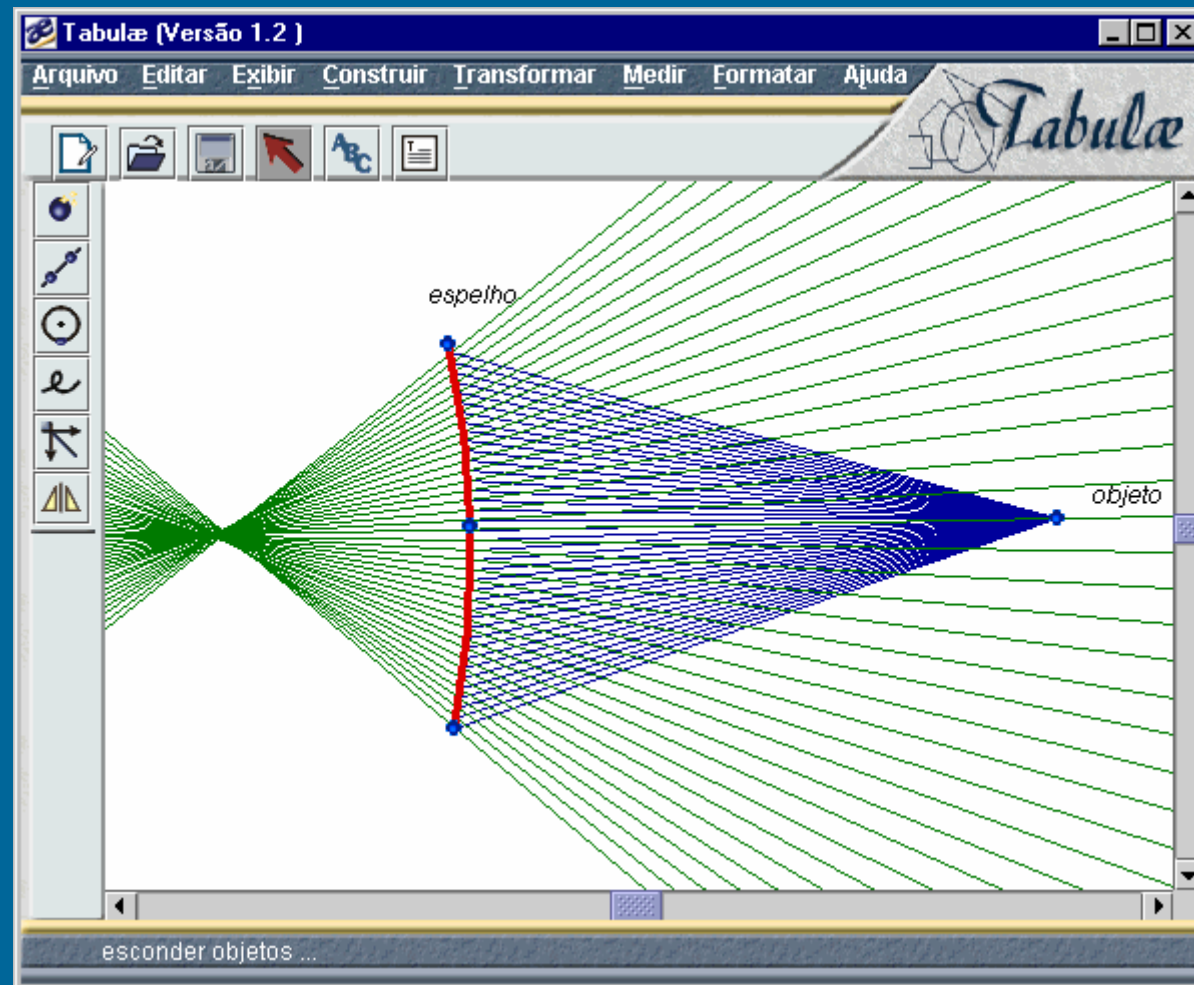
4



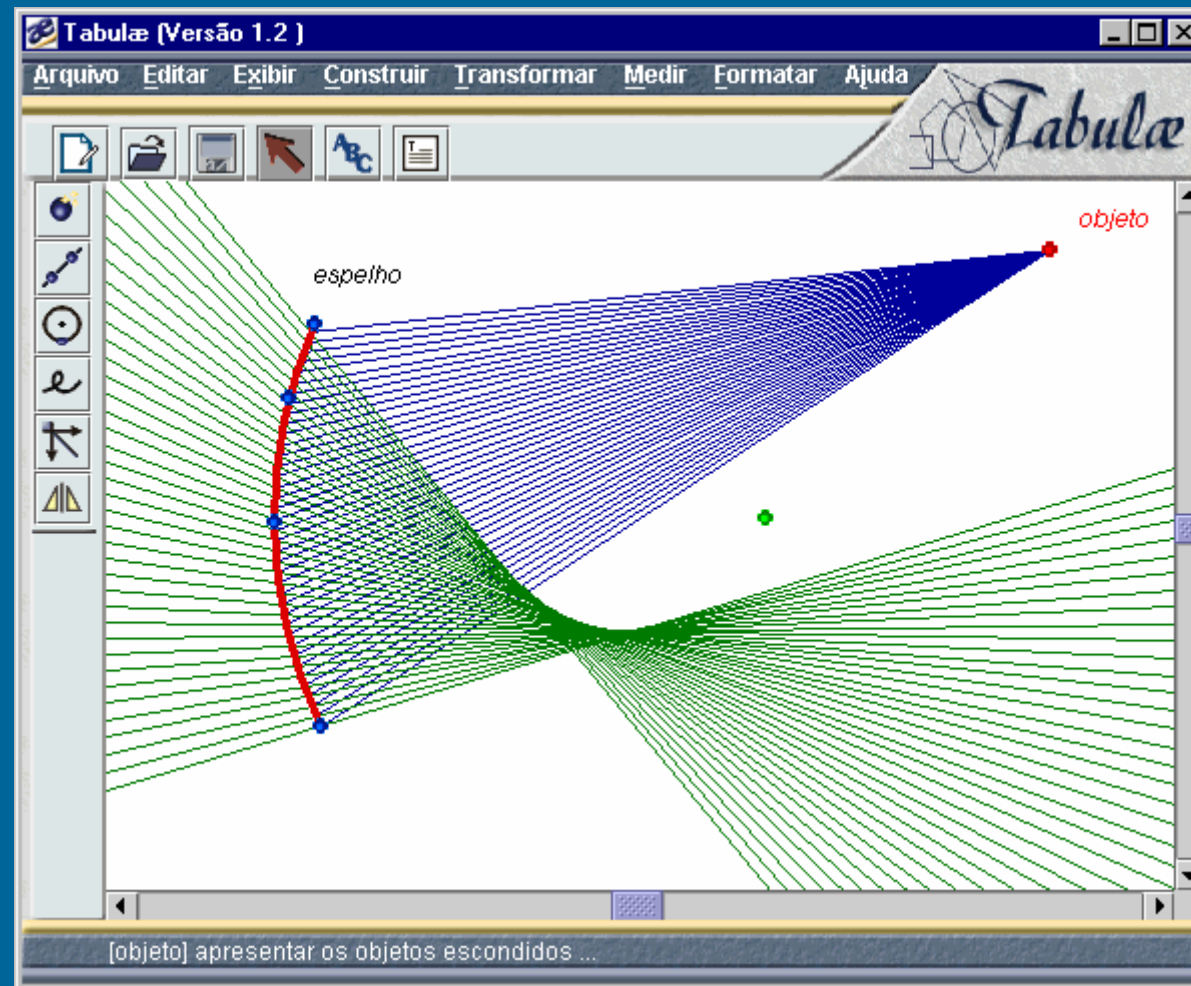
Espelhos esféricos



Espelhos esféricos



Aberrações



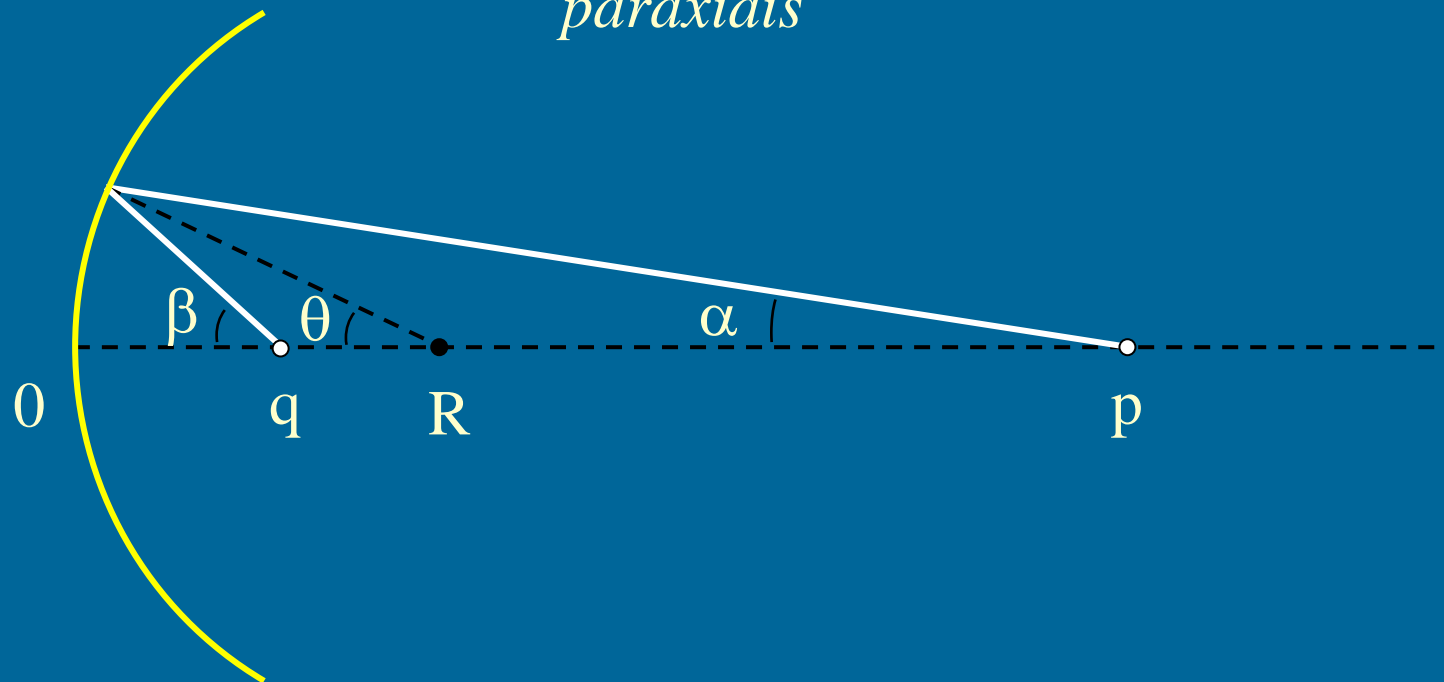
O tratamento formal

$$\alpha + \beta = 2\theta$$



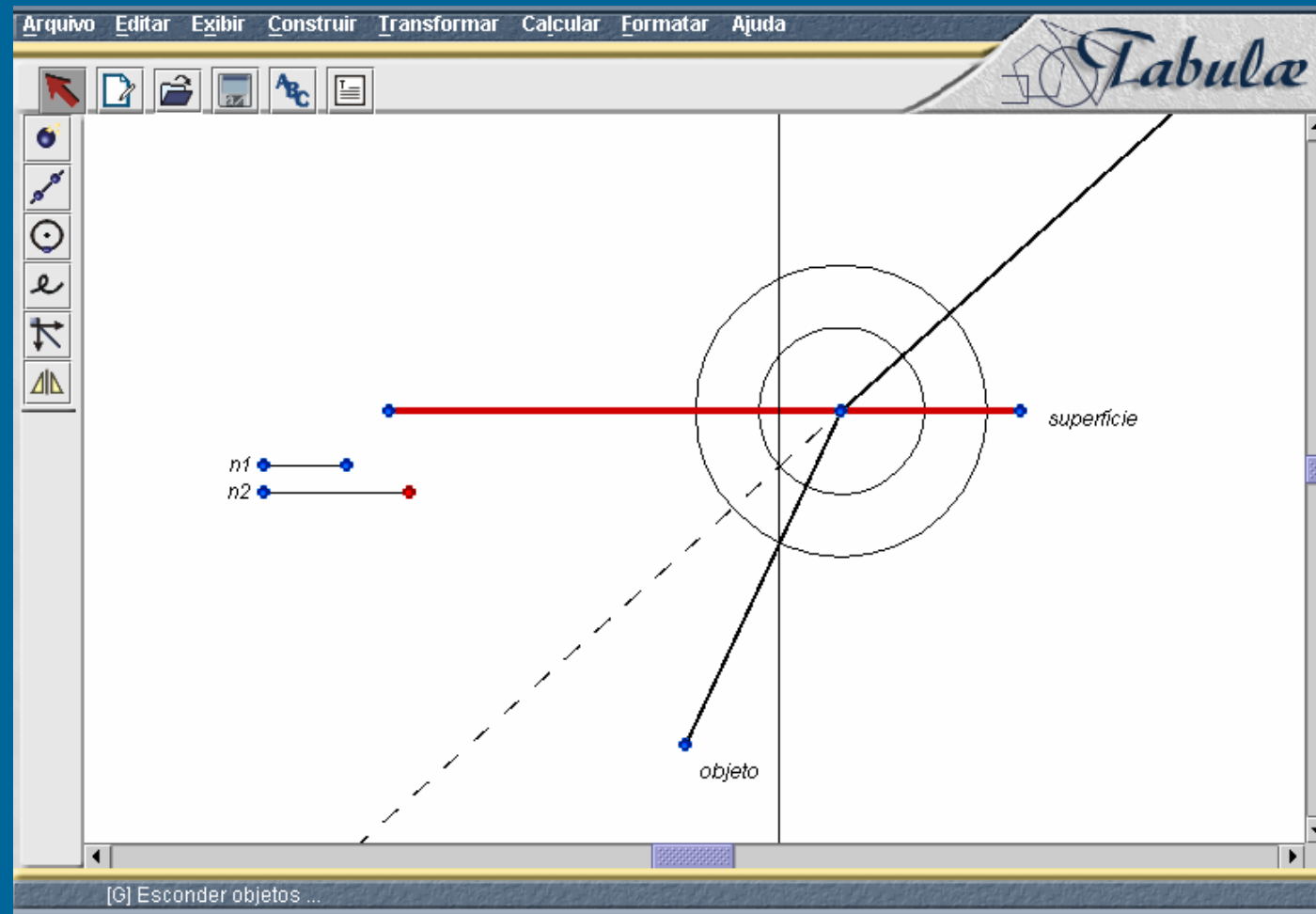
*raios
paraxiais*

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{2}{R}$$

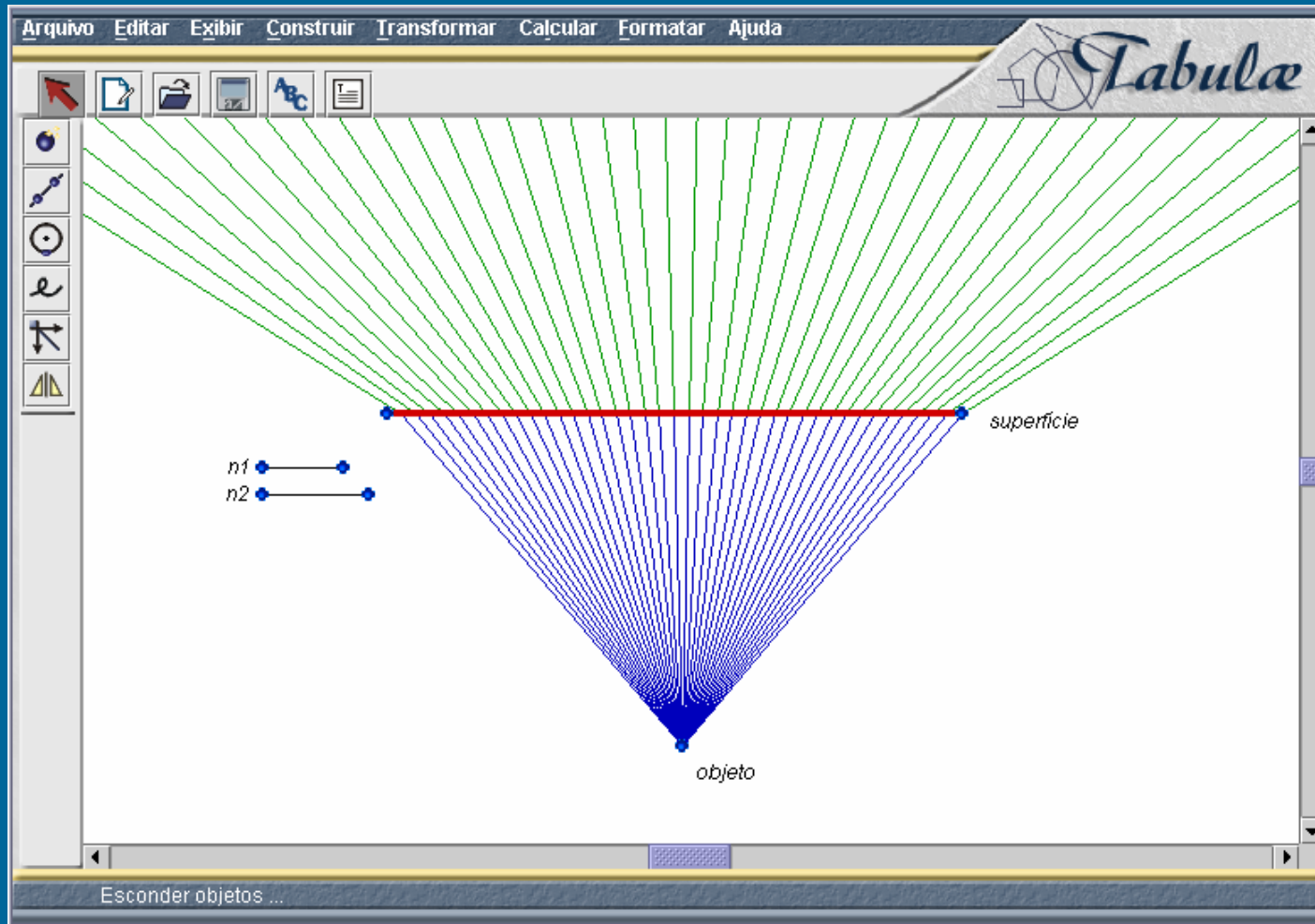


Refração - Lei de Snell

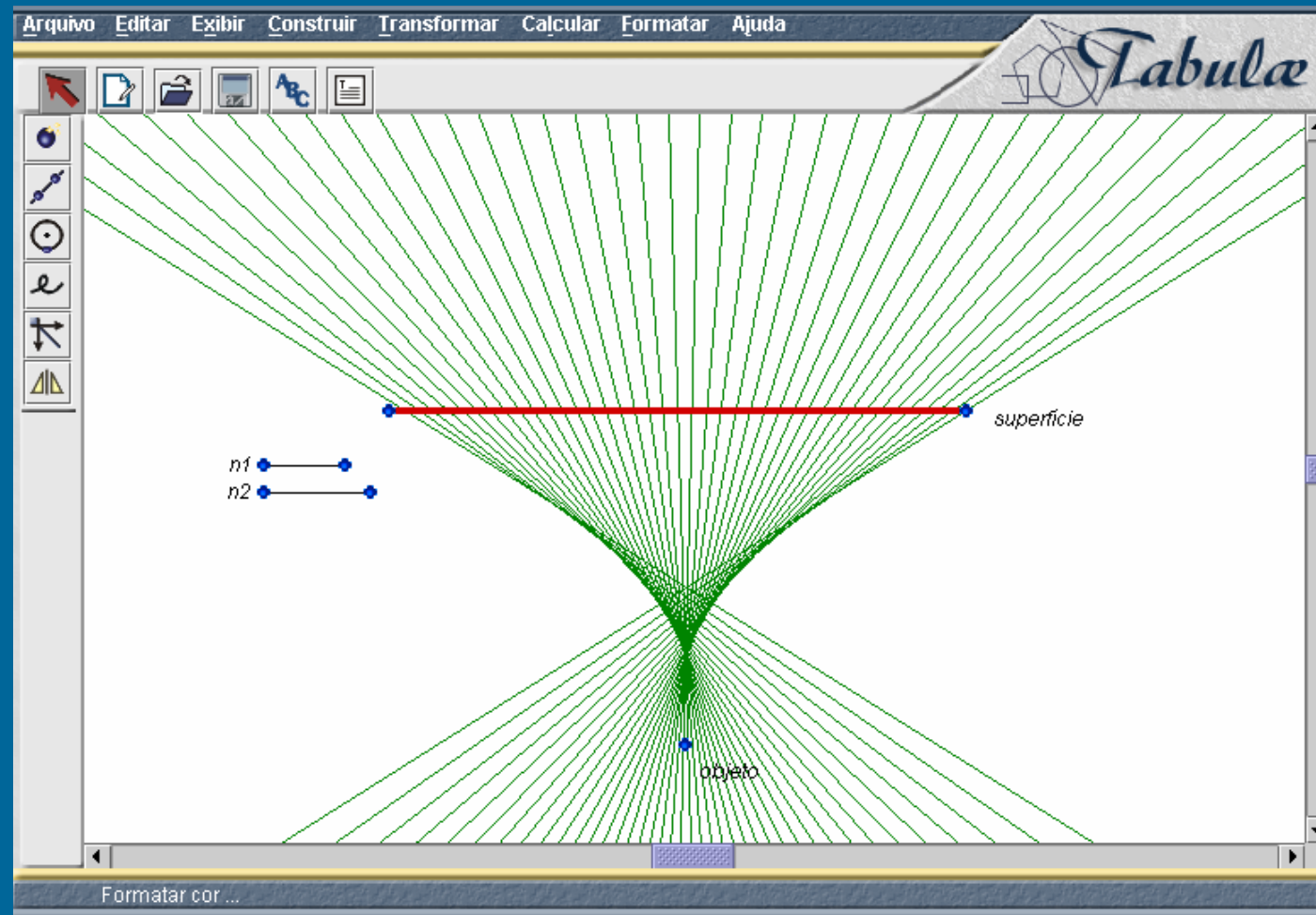
$$n_1 \operatorname{sen}\theta_1 = n_2 \operatorname{sen}\theta_2$$



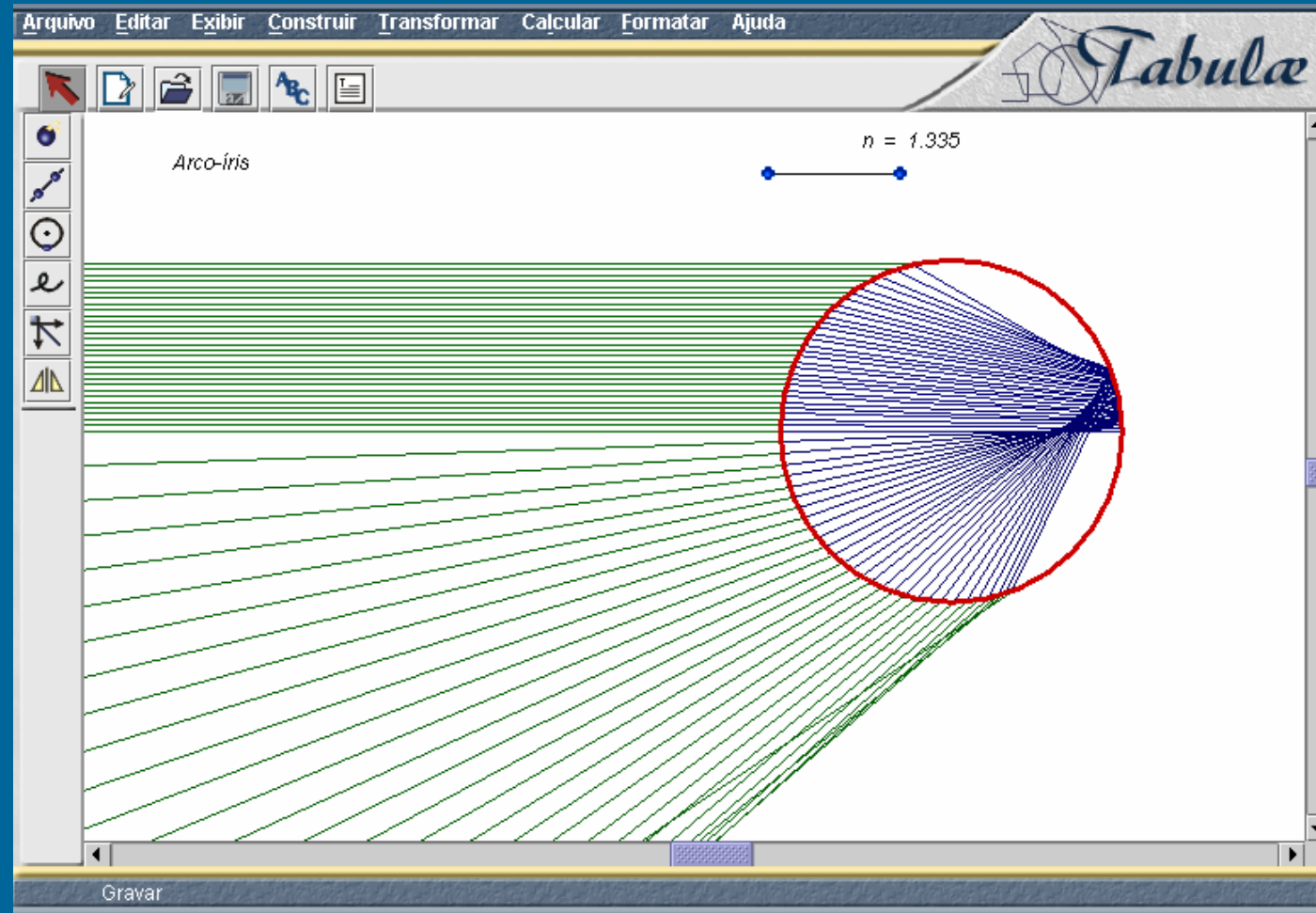
Refração por uma superfície plana



Profundidade aparente e cáustica de refração



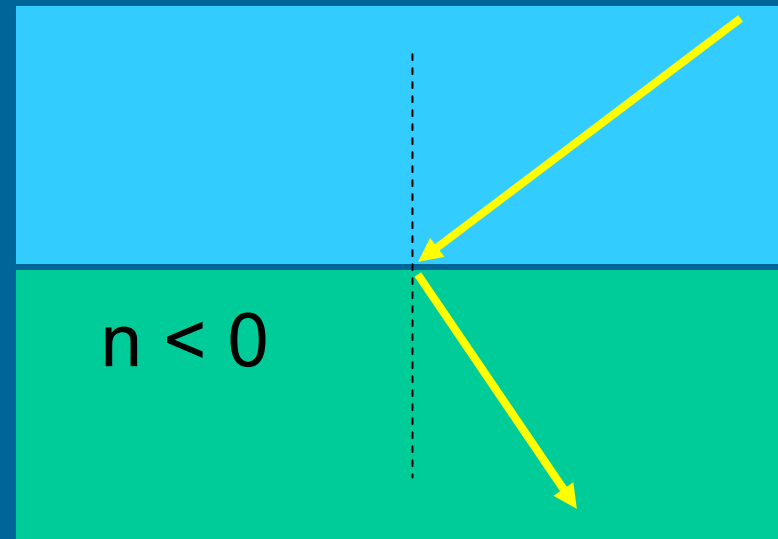
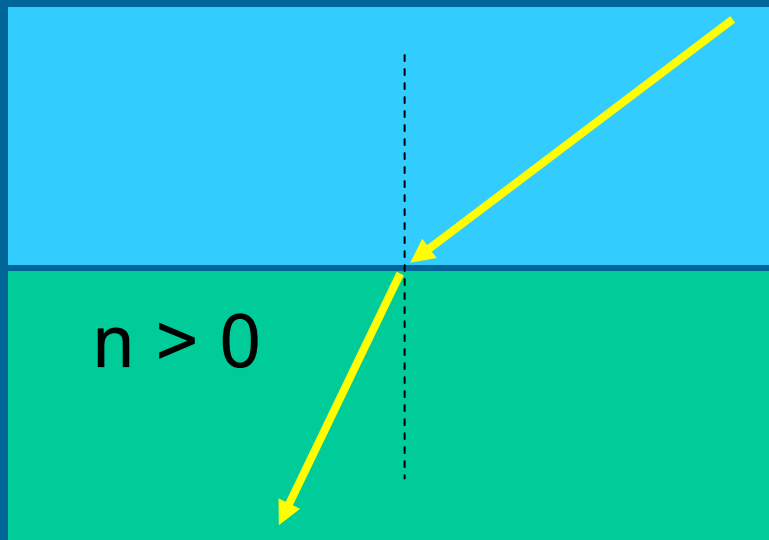
Reflexão e refração: o arcoíris



Índice de refração negativo

c/ Antonio Carlos F. Santos e Walter S. Santos

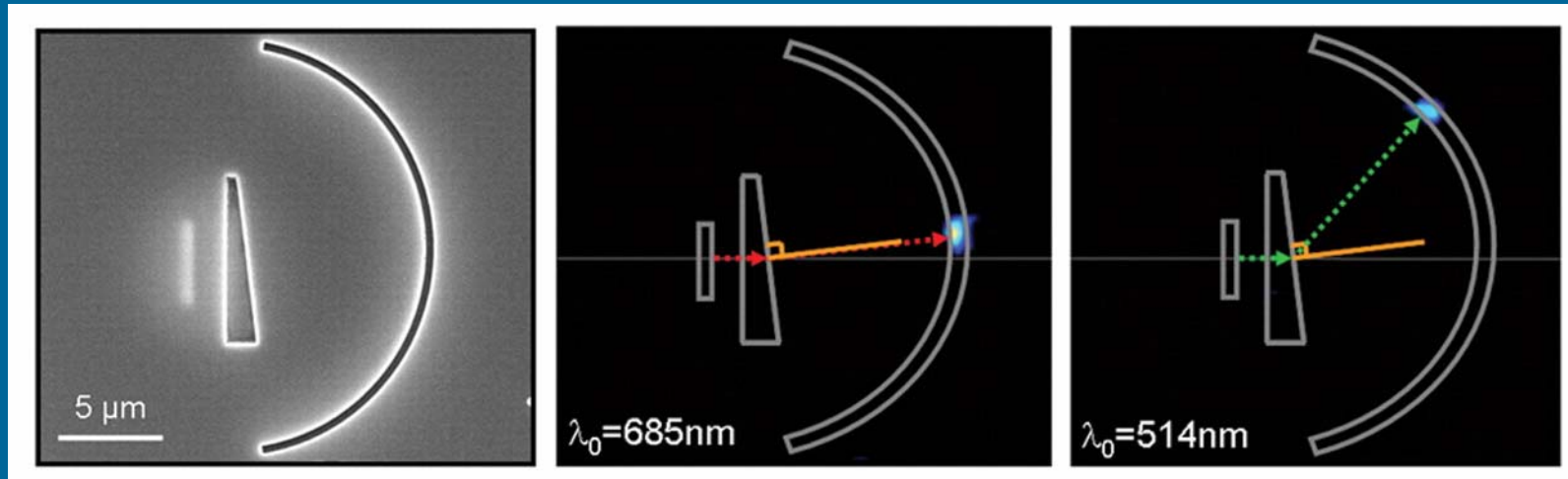
$$n_1 \text{ sen}\theta_1 = n_2 \text{ sen}\theta_2$$



Reversing light with negative refraction.

J. Pendry, D. Smith, Physics Today (jun 2004), 37

Índice de refração negativo



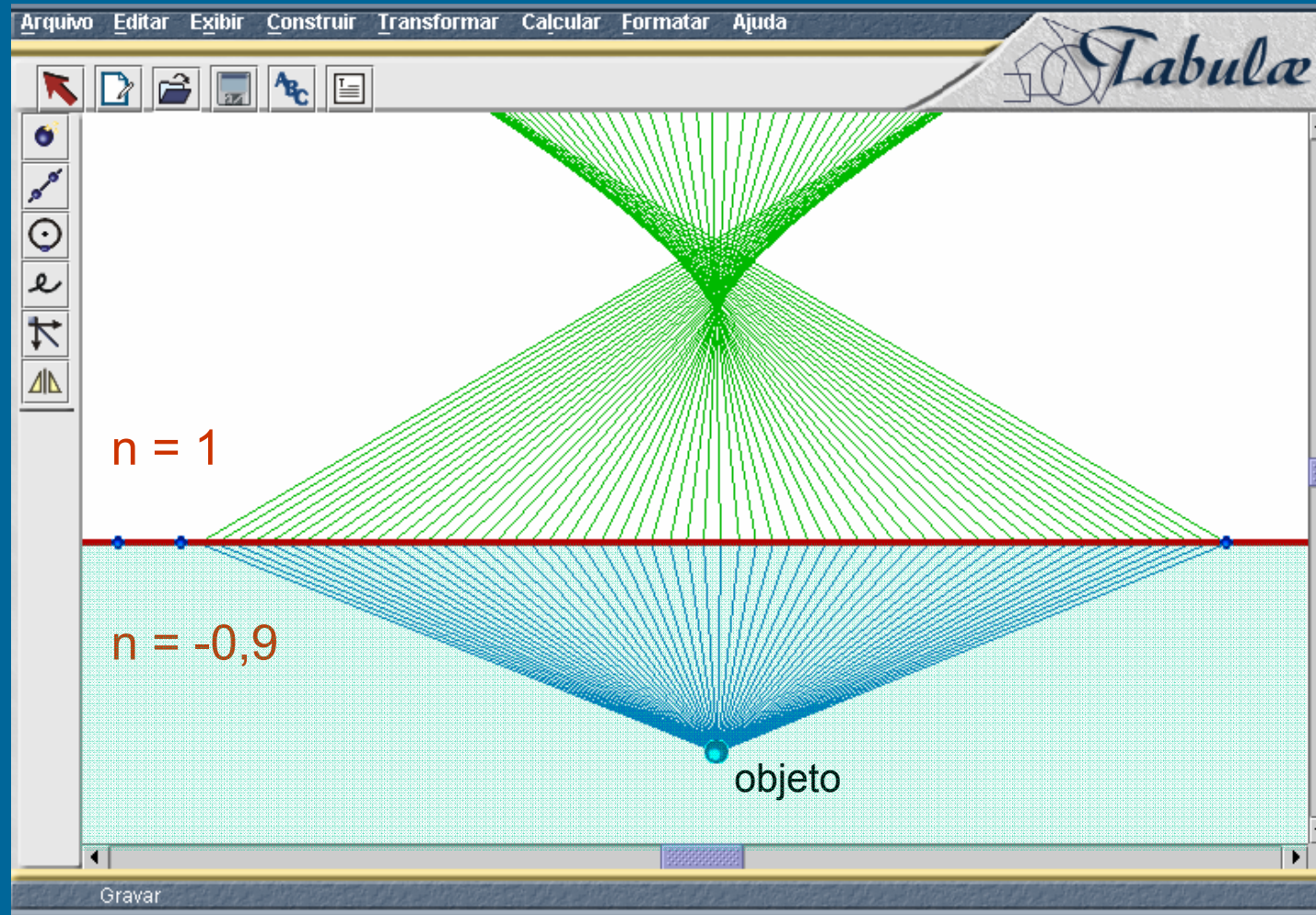
$n(\lambda) > 0$

$n(\lambda) < 0$

Negative refraction at visible frequencies. H. J. Lezec, J. A. Dionne, H. A. Atwater, *Science* 316, 430 (2007)

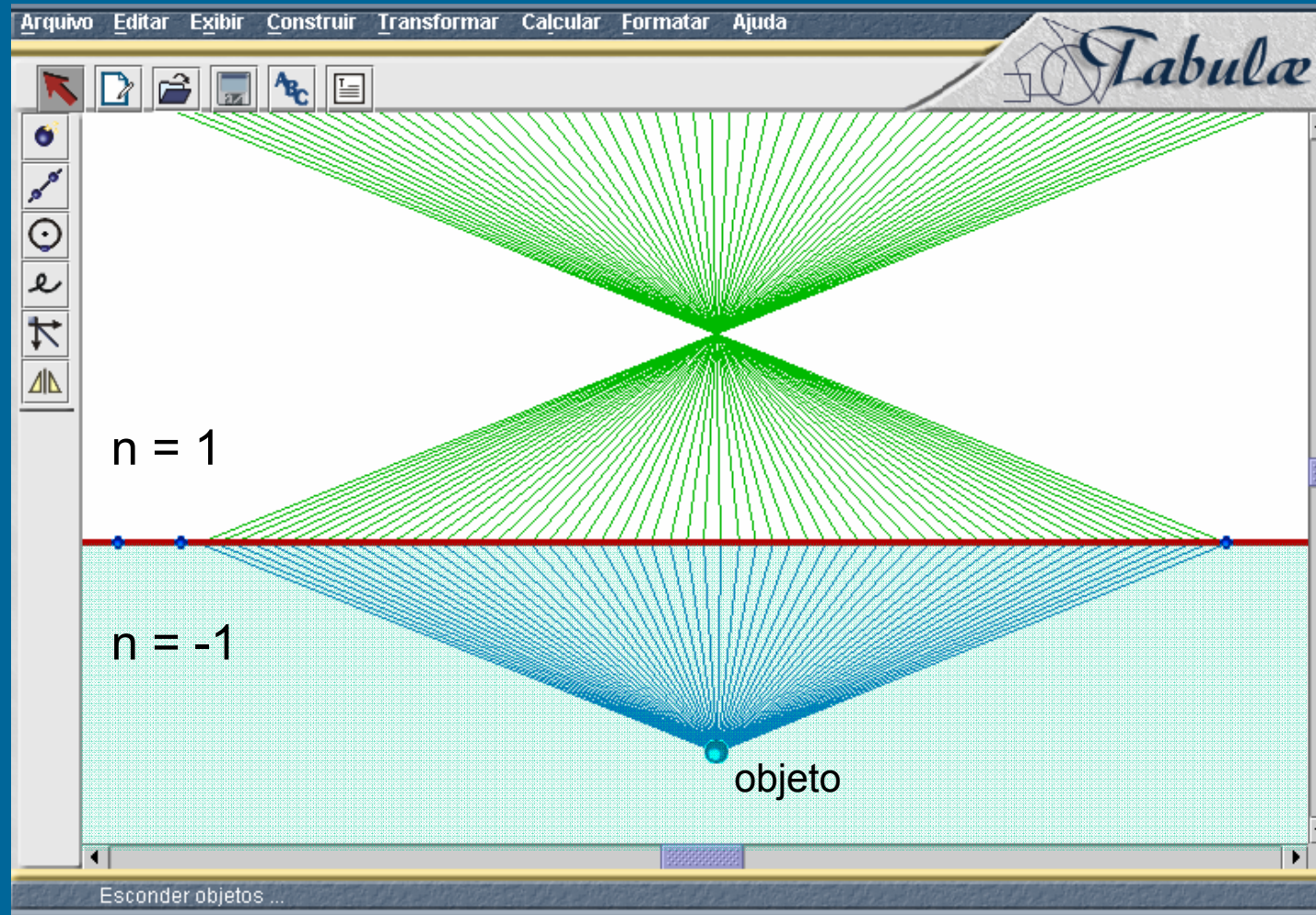
Índice de refração negativo

Refração por uma interface plana



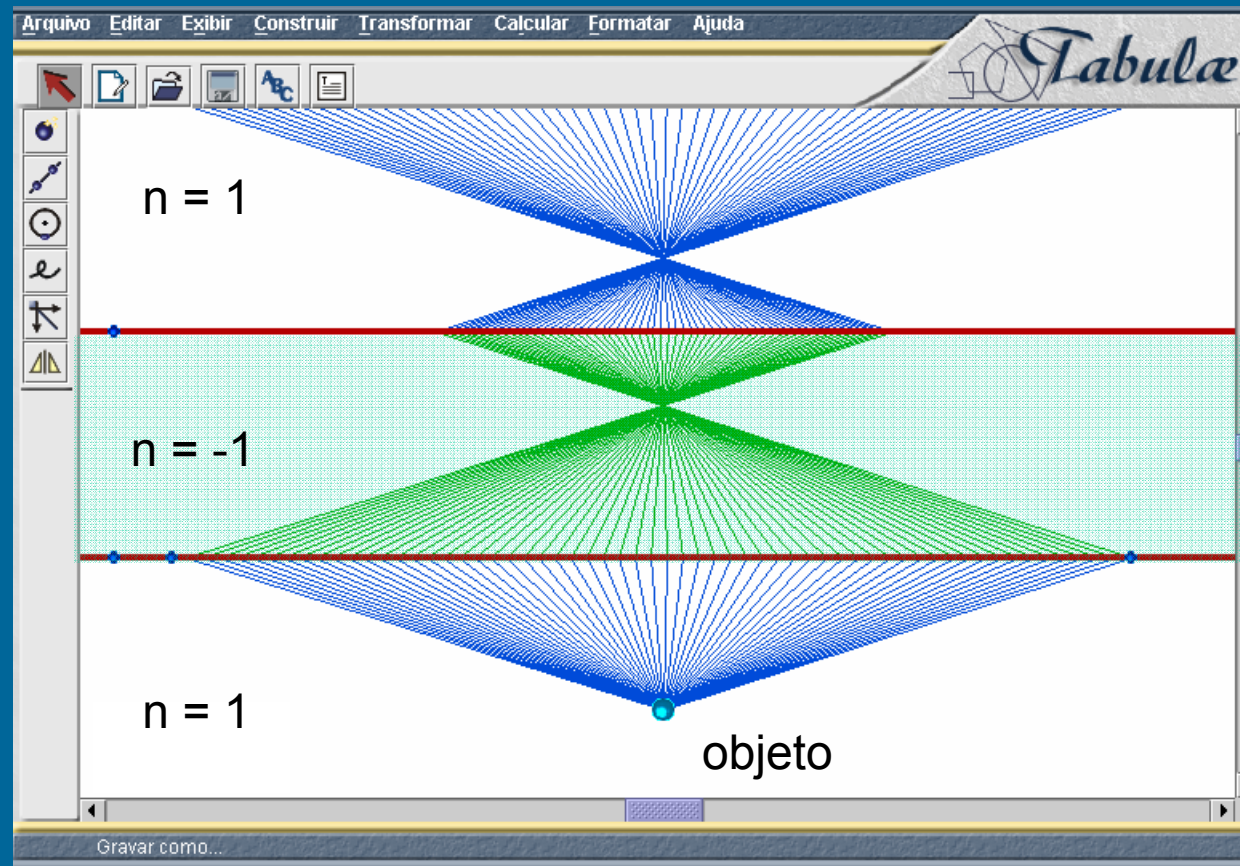
Índice de refração negativo

Refração por uma interface plana ($n = -1$)



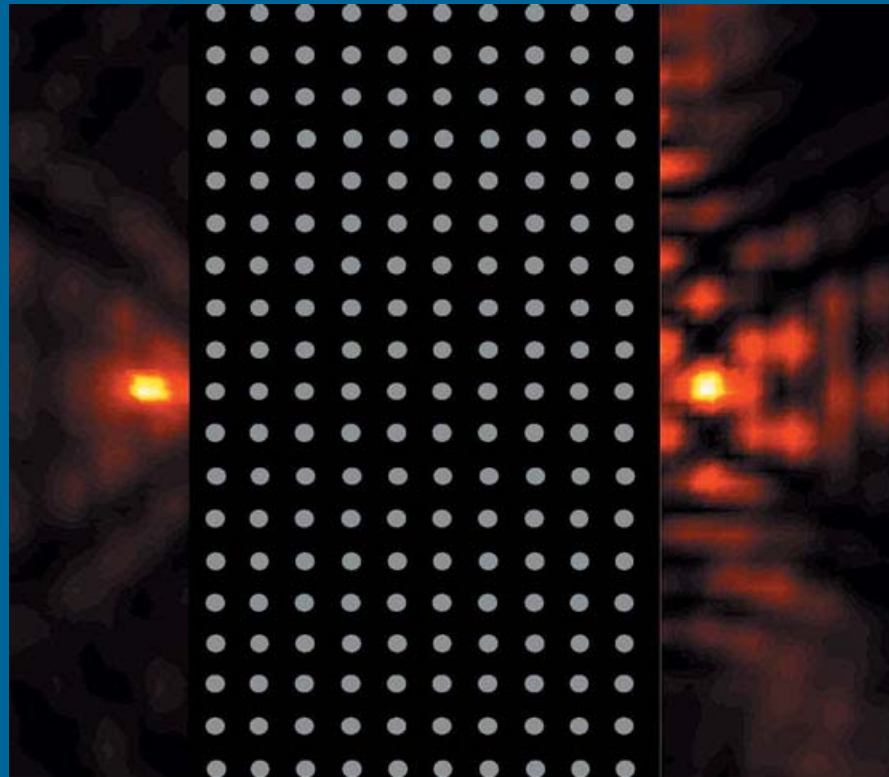
Índice de refração negativo

Lente plana (lente de Veselago-Pendry)



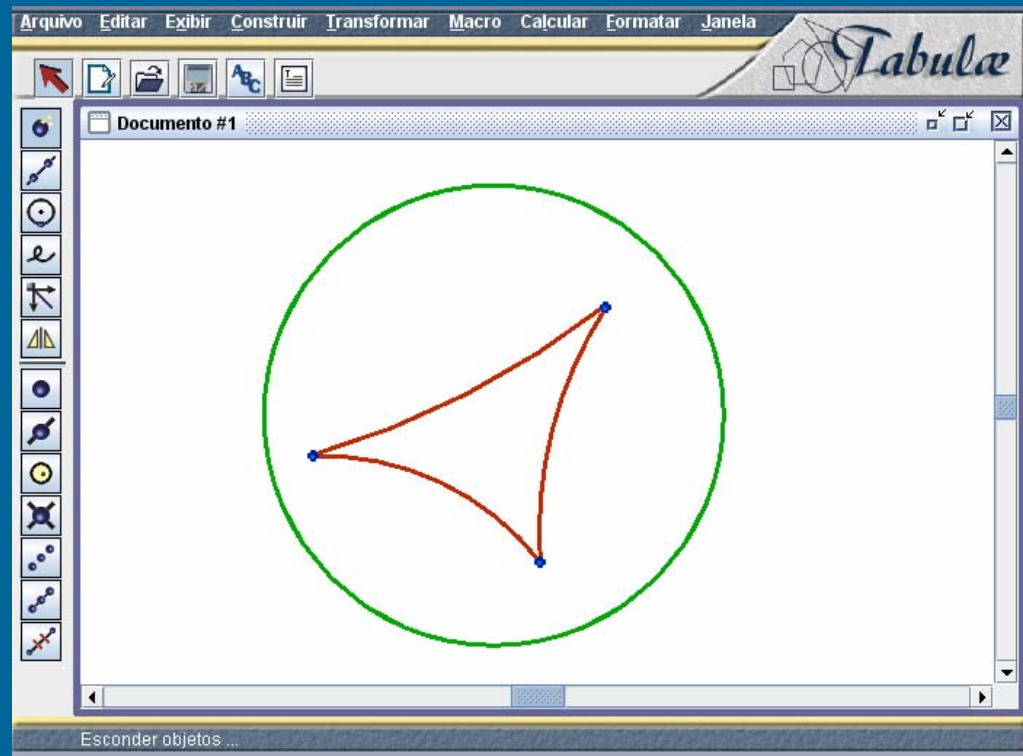
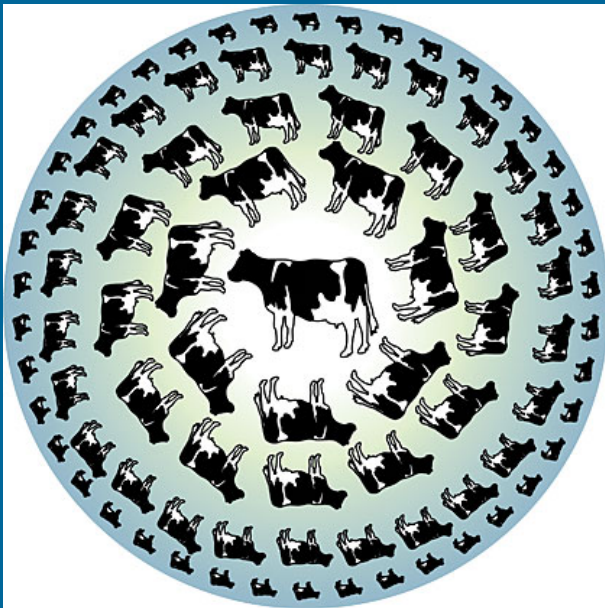
Índice de refração negativo

Lente plana (lente de Veselago-Pendry)



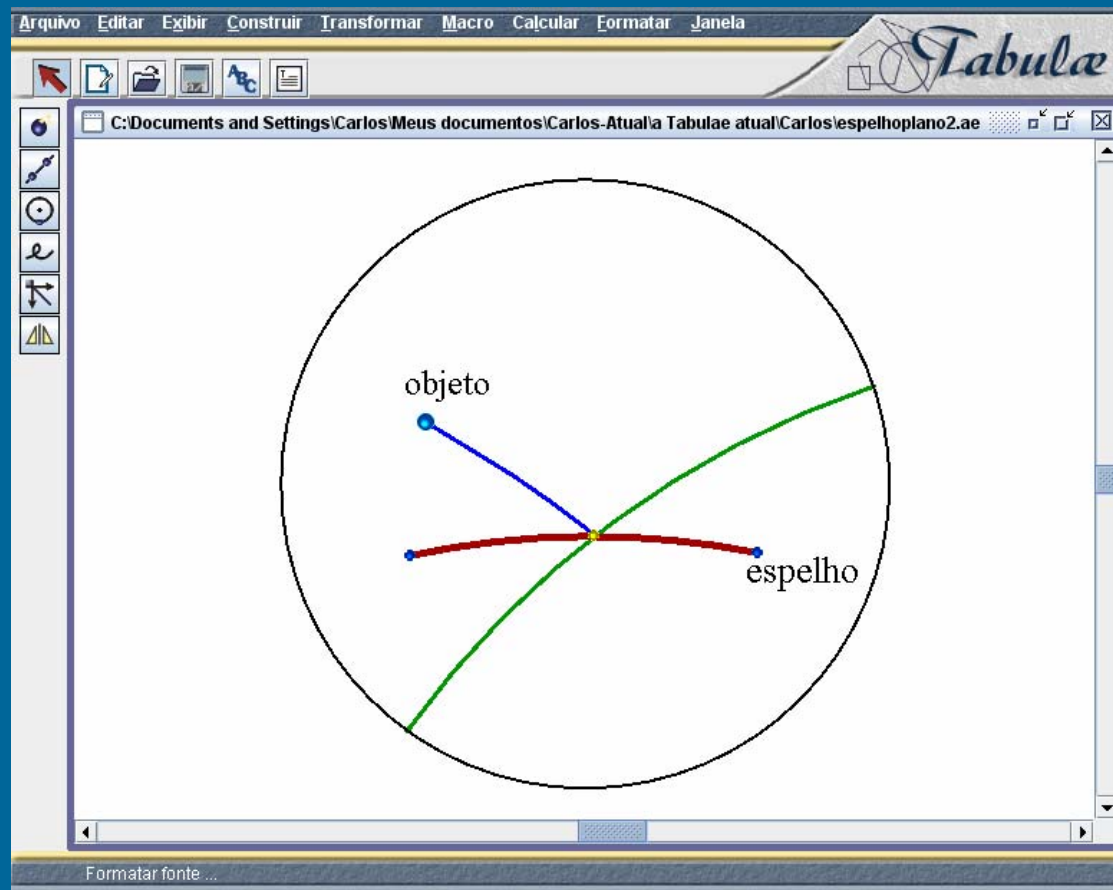
Imaging by flat lens using negative refraction.
P. V. Parimi et al, Nature 426, 404 (2003)

Geometria Dinâmica Não-Euclidiana



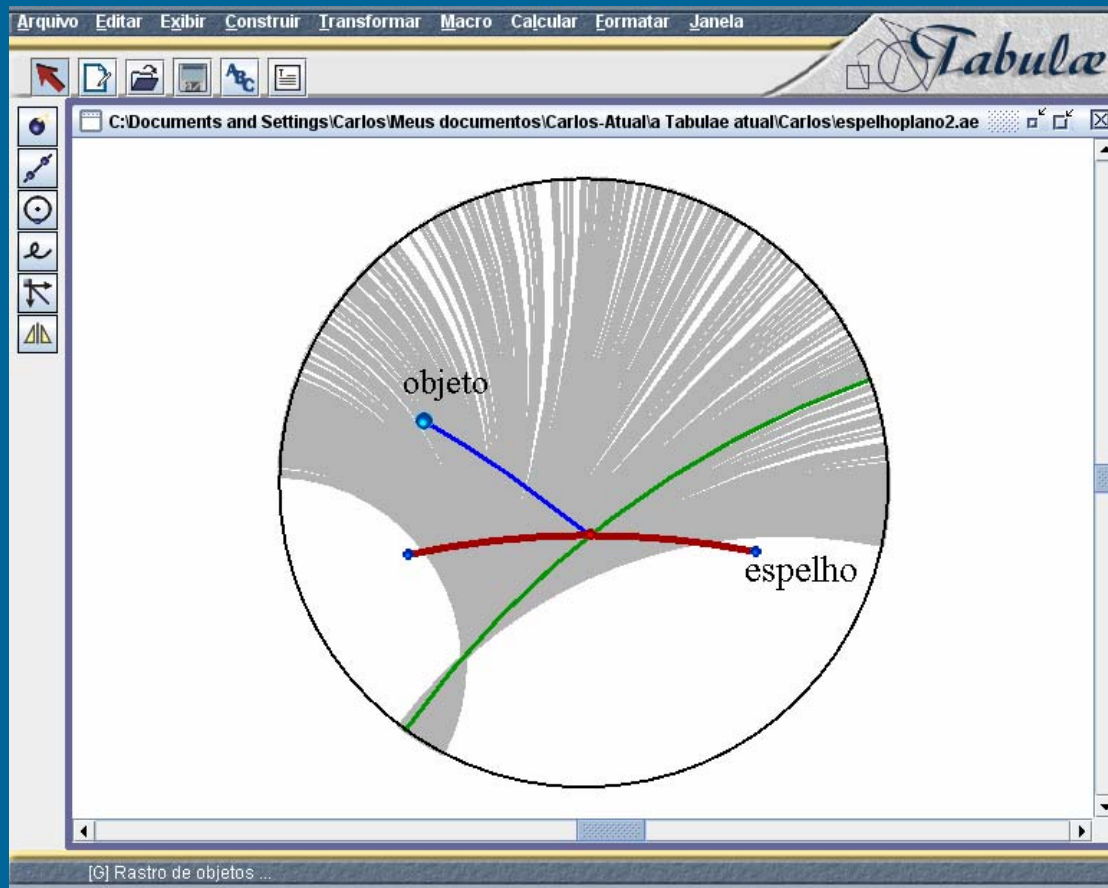
Ótica geométrica não-euclidiana

c/ Luiz Carlos Guimarães



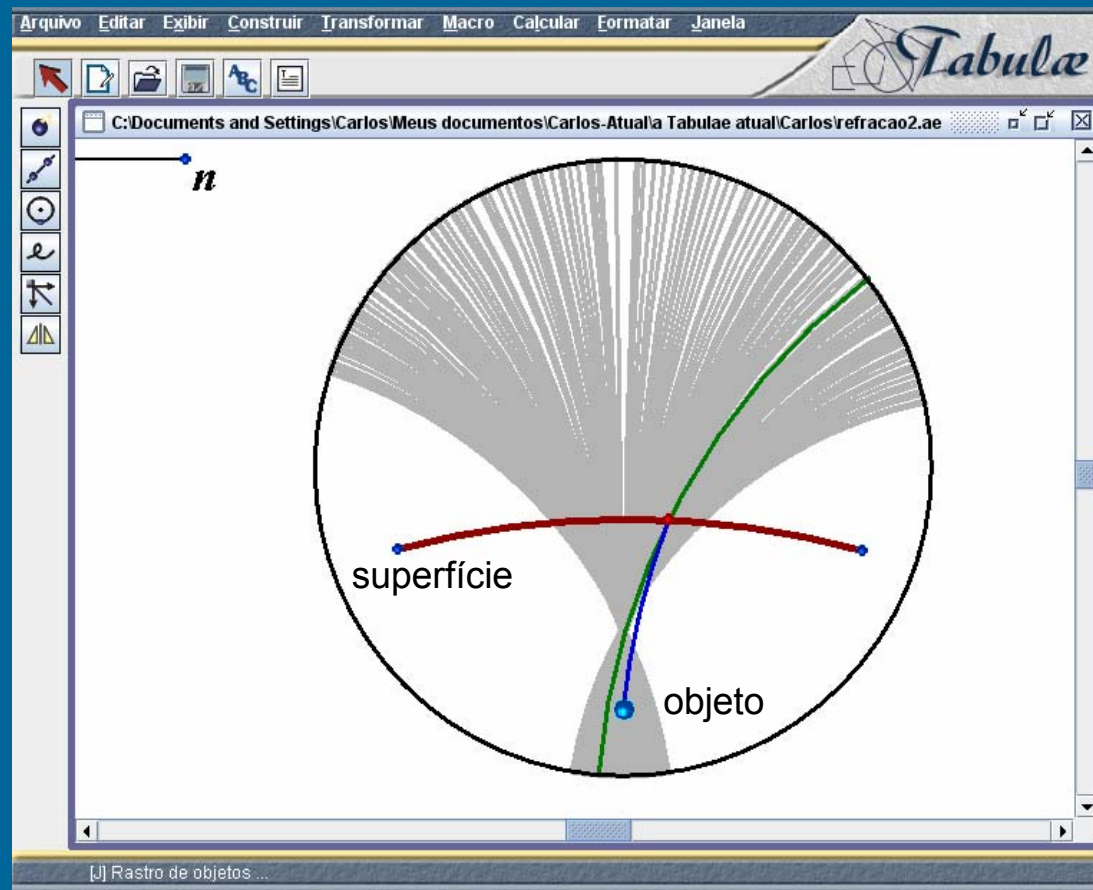
Ótica geométrica não-euclidiana

Reflexão por um espelho plano



Ótica geométrica não-euclidiana

Refração por uma interface plana



Resumindo:

- Ambientes de geometria dinâmica podem ser transformados em "micromundos" especialmente adequados ao ensino-aprendizagem de ótica.
- Abordagem pedagógica diferente da usual: modelagem e exploração como primeiro passo.
- Maior facilidade para superação de dificuldades bem conhecidas no ensino de ótica.
- Interatividade e impacto visual:
 - desenvolvimento da intuição,
 - menos erros de interpretação,
 - melhor chance de substituição do senso comum.
- Modelagem usando conceitos básicos: raios, reflexão, refração.
- Aplicações que vão além da ótica geométrica tradicional.

Mais detalhes:

- Ótica e Geometria Dinâmica.
C. E. Aguiar, Revista Brasileira de Ensino de Física, aceito para publicação (2009).
- Ótica Geométrica com o Tabulæ.
C. E. Aguiar, Nota Técnica LIMC 01/2008, UFRJ.