

Física Experimental IV

<https://edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=90535>

2º Semestre 2021

Exp. 1 - Ótica Geométrica
Atividade 3 – Lentes Espessas
Semana 3 - 2/Setembro

Prof. Henrique Barbosa

hbarbosa@if.usp.br

<http://www.fap.if.usp.br/~hbarbosa>

Avisos

- Apenas 1 envio por grupo!
 - Pode fazer até 5 envios
 - **Nome do arquivo: Hxx_EXPy_ATz.pdf**
- Incluir dados na síntese, se vocês “coletaram”
 - nem que seja num apêndice).
- Grupo de discussão no eDisciplinas: usem!
- A presença é para os que estão presentes na aula!
 - Registrar presença para um colega, ou divulgar o código para quem não está na aula é ilegal e antiético.

Exp. 1 - Óptica Geométrica

- Objetivos
 - Estudar algumas características da óptica geométrica e construir imagens utilizando lentes simples e sistemas de lentes.

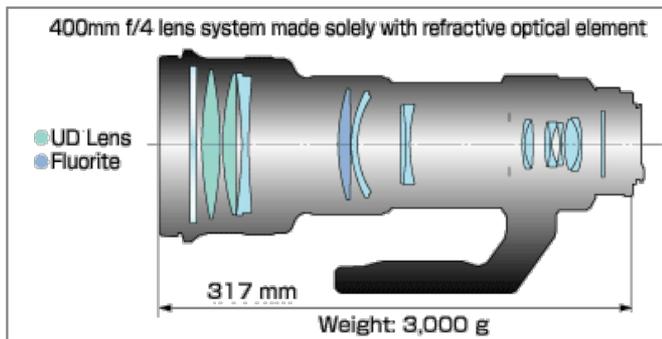
Cronograma

- 3 atividades:
 - **Atividade 1:** distância focal de uma lente
 - **Atividade 2:** associação de lentes
 - **Atividade 3:** aproximação da lente delgada

Tipos de Lentes: Complexidade

Lentes podem ser:

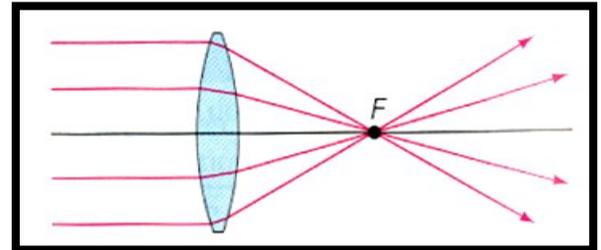
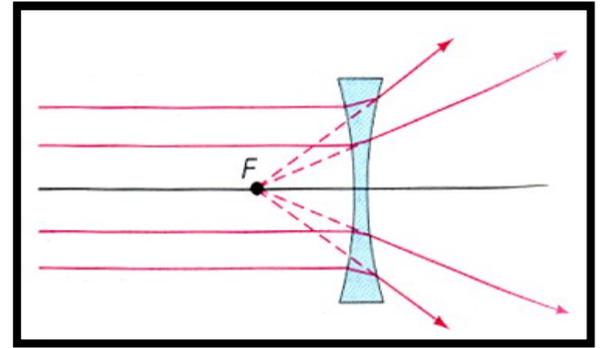
- simples: quando têm um único elemento óptico
- compostas: quando têm mais de um elemento óptico



Tipos de Lentes: Convergência

Quanto à reconfiguração da frente de onda as lentes podem ser convergentes ou divergentes.

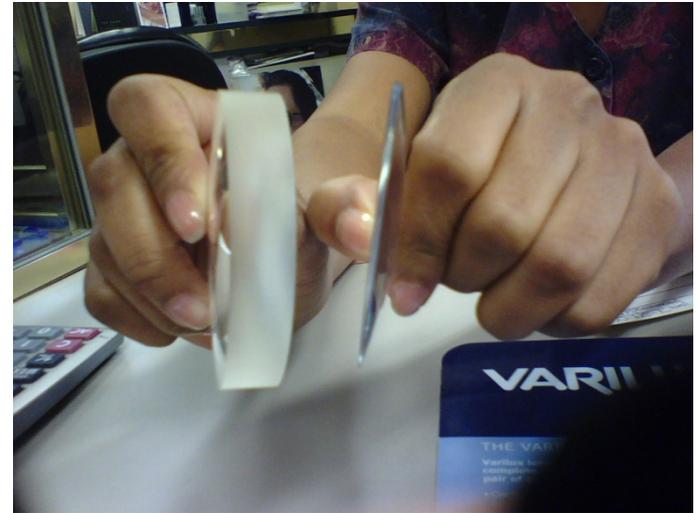
- **Lentes divergentes:** distância focal negativa → os raios se afastam (mais fina no centro que nas bordas)
- **Lentes convergentes:** distância focal positiva → os raios se aproximam (mais espessa no centro que nas bordas)



Tipos de Lentes: Dimensões

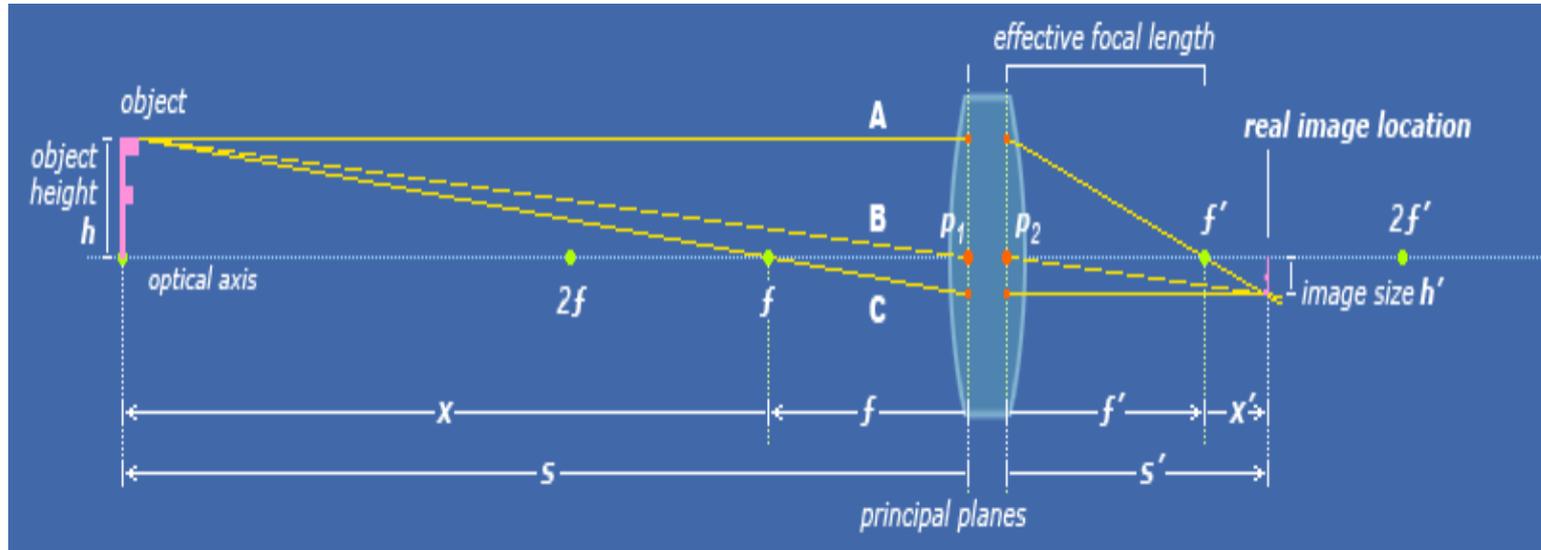
Lentes podem ser **delgadas** ou **espessas**

- Lentes delgadas são aquelas que as suas dimensões não importam, ou seja, não importa onde o raio de luz atinge a lente, o efeito será sempre o mesmo.
- Lentes espessas são aquelas que as dimensões e posição de incidência dos raios são importantes.



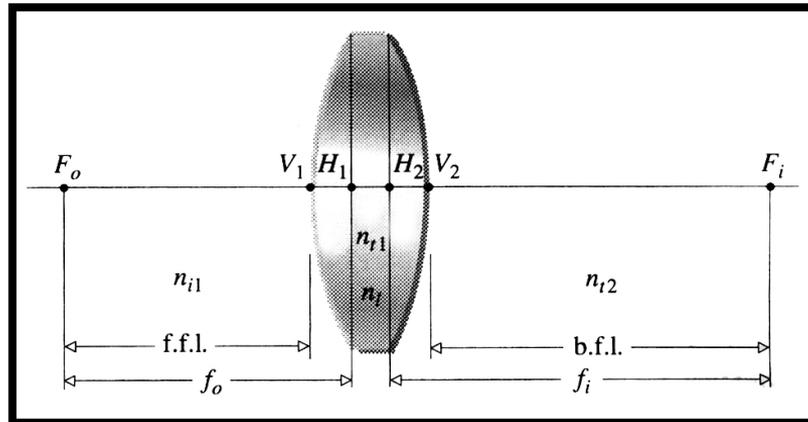
Lentes Espessas

- Tanto a espessura como a forma da superfície são importantes para estabelecer as relações entre objeto e imagem.
- Aproximações adotadas para lente delgada **não são válidas**



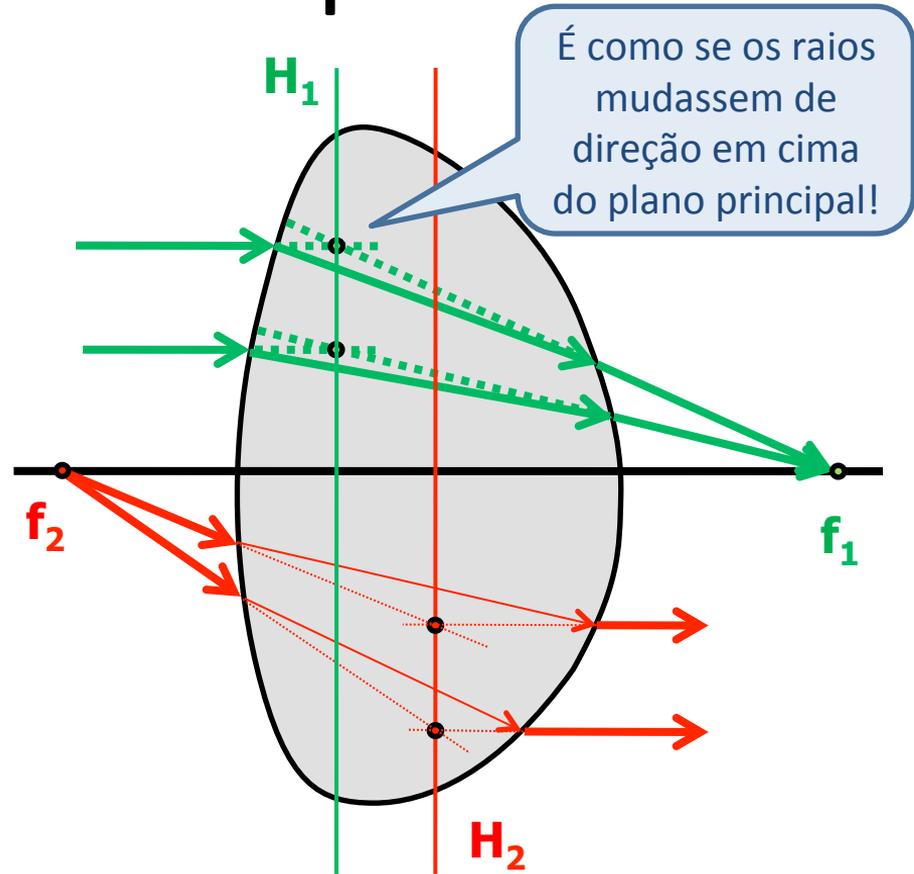
Lentes Espessas

- As distâncias focais dependem do lado da lente. Há duas distâncias focais, f_o , ou foco objeto; e f_i , ou foco imagem.
 - São medidas a partir dos planos principais da lente (H_1 e H_2)
 - Como a lente está imersa num meio isotrópico (o meio tem o mesmo índice de refração de cada lado da lente) $f_o = f_i$



Planos Principais

- Os planos principais estão no cruzamento dos raios paralelos que convergem para o foco da lente.
- Isso é feito para os dois focos da lente



Método Matricial

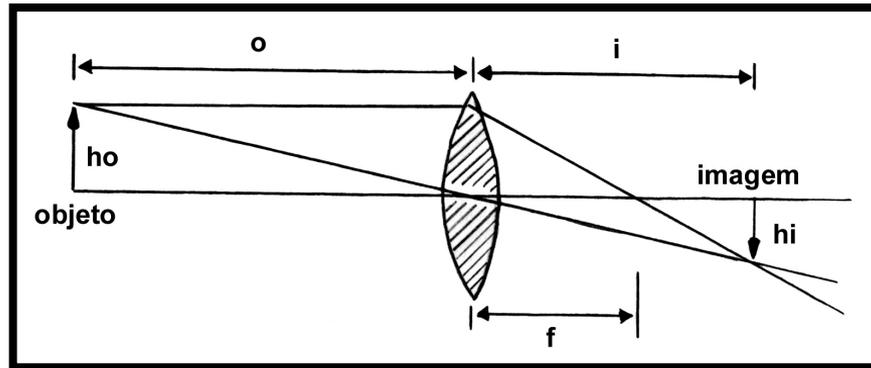
- O cálculo das trajetórias de raios luminosos é bastante complexo e trabalhoso, **ainda mais no caso de lentes espessas**.
 - Vamos utilizar o método matricial.
- A aproximação paraxial ainda é importante!
 - Longe do eixo óptico, o plano principal é de fato uma superfície curva.

Matriz para a lente simples

- Aula passada:

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f & 1 \end{pmatrix}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{i} + \frac{1}{o}$$



Matriz para lente espessa

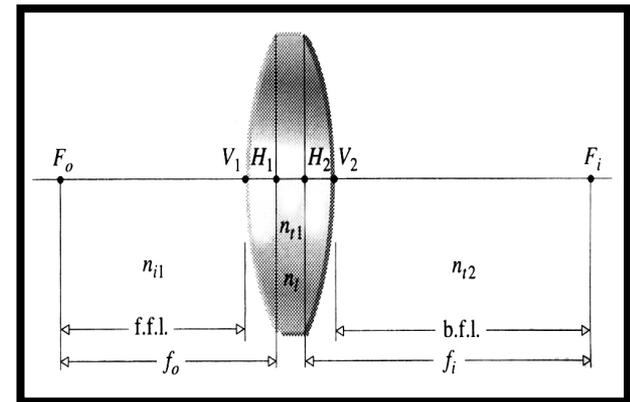
- A matriz de propagação é mais complicada, porém pode ser demonstrada (ver apostila) e vale:

- Onde:

- t é a espessura da lente
- n é o índice de refração
- R_i é o raio de curvatura da superfície
- Potências das superfícies:

$$P_1 = \frac{n-1}{R_1} \quad P_2 = \frac{1-n}{R_2}$$

$$M = \begin{pmatrix} 1 - \frac{tP_1}{n} & \frac{t}{n} \\ \frac{tP_1P_2}{n} - P_1 - P_2 & 1 - \frac{tP_2}{n} \end{pmatrix}$$



Lente espessa: foco

- Uma fórmula que se obtém a partir dessa matriz de transformação é a **equação do fabricante**:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right] + \frac{(n - 1)^2}{n} \left[\frac{t}{R_1 R_2} \right]$$

- Se a lente for delgada, a $t \rightarrow 0$ e temos a **equação do fabricante para lentes delgadas**.

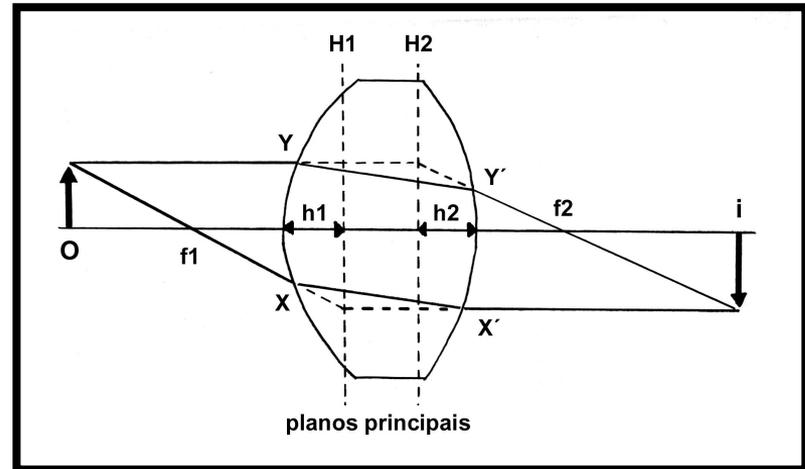
$$\frac{1}{f} \sim (n - 1) \left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right]$$

Lente espessa: planos principais

- A posição dos planos principais da lente espessa também sai da matriz de transformação (**atenção aos sinais de P_1 e P_2**):

$$h_1 = \frac{t}{n \left(1 + \frac{P_1}{P_2} - t \frac{P_1}{n} \right)}$$

$$h_2 = \frac{t}{n \left(1 + \frac{P_2}{P_1} - t \frac{P_2}{n} \right)}$$



h_1 é positivo para direita do vértice, e h_2 para a esquerda.

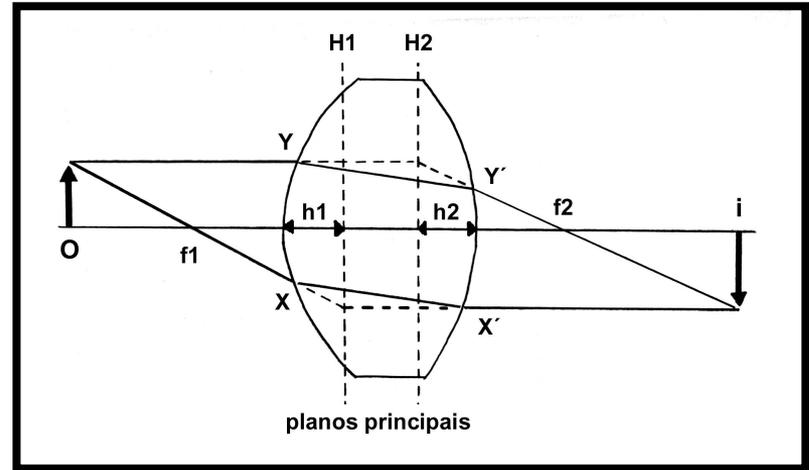
Lente espessa: planos principais

- Substituindo os valores de P1 e P2, e usando a equação para o foco, temos:

$$h_1 = -f \frac{(n-1)}{nR_2} t$$

$$h_2 = f \frac{(n-1)}{nR_1} t$$

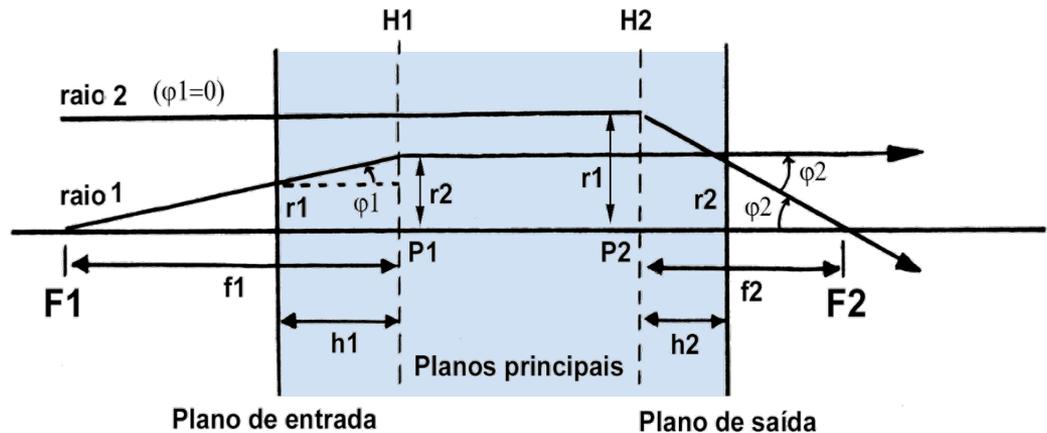
Atenção: Em alguns livros, o h_2 é definido positivo para a direita, e teria um sinal "-" a mais neste slide e no anterior.



Lei de Gauss

- É possível mostrar que a equação de Gauss é válida para lentes espessas desde que i e o sejam medidos a partir dos planos principais.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{i} + \frac{1}{o}$$



Atividade 3

- Calcular o índice de refração da lente
 - **DICA:** medir as dimensões da lente usando: medidor de raio de curvatura, micrômetro e paquímetro + equação do fabricante.
- Verificar se a aproximação de lente delgada é válida
 - **DICA:** calcular a posição dos planos principais e estimar o erro ao medir i e o em relação ao centro.

Como podemos fazer isso?

Medidas

- Vamos utilizar as medidas das aulas 1 e 2, de onde calculamos as distâncias focais.
- Lente divergente
 - Em módulo: $R_1=R_2=(111,0 \pm 1,1)$ mm (atenção aos sinais)
 - Espessura no centro = 4.7 mm
 - Espessura nas bordas = 14 mm
 - Diâmetro = 65 mm
- Lente convergente
 - Em módulo: $R_1=R_2=(192.3 \pm 1,9)$ mm (atenção aos sinais)
 - Espessura no centro = 19 mm
 - Espessura nas bordas = 0 mm
 - Diâmetro = 100 mm

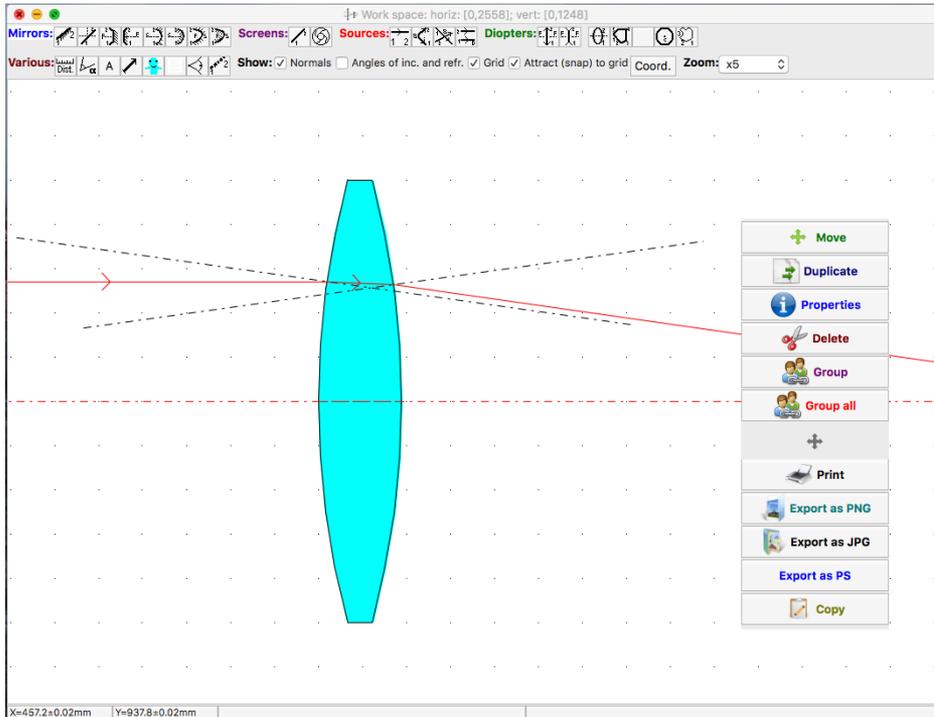
Análise

- Utilizando a equação do fabricante, as medidas das duas lentes e as distâncias focais determinadas nas aulas passada, calcule o índice de refração das lentes.
- Determinar as posições dos planos principais das duas lentes a partir das relações fornecidas para h_1 e h_2 .
- Utilizar o software **Optgeo** para desenhar as lentes, determinar a posição dos planos principais ($\lambda=633$ nm) e comparar com os valores anteriores.
- Corrigir os dados da atividade 1, refazer a análise e discutir.
- Corrigir os dados da atividade 2, refazer a análise e discutir.

Discussão

- Aproximação de lente delgada tem influência na determinação do valor do índice de refração?
- Qual tipo de erro cometemos ao medir i e o em relação ao centro?
- No experimento 1, dentro das incertezas, a aproximação de lente delgada é adequada?
- No experimento 2, a partir das incertezas nos valores de f_d e f_c sem e com correção, aproximação de lentes delgadas é adequada?

Optgeo



The screenshot shows the USP - DISCIPLINAS website interface. The header includes the USP logo and the text "DISCIPLINAS Apoio às Disciplinas". Below the header, there is a navigation bar with icons for home, mail, calendar, folder, grid, and lock. The main content area is divided into several sections: "Site de reservas" with a calendar icon, "Pesquisar nos fóruns", "Administração", and "Administração do ambiente". The "Administração do ambiente" section contains a list of links: "Editar configurações", "Conclusão de curso", "Usuários", "Filtros", "Relatórios", "Configuração das Notas", "Resultado da aprendizagem", and "Emblemas". On the right side, there is a text block titled "Objetivos do experimento" with a list of four objectives. Below the objectives, there is a link "Texto sobre Ótica Geométrica" and a video player titled "Óptico" with a play button icon. At the bottom, there is a link "Download Optgeo".

especial, utilizaremos o fenômeno de refração para descrever o comportamento de um conjunto de duas lentes, determinando as características dos elementos.

Em seguida será estudada a luz na sua forma mais fundamental, como eletromagnética. Para isto vamos definir que a luz é de fato uma onda (transversal). Vamos estudar os fenômenos ondulatórios básicos, como polarização.

Objetivos do experimento

1. Estudar algumas características da óptica geométrica e construir lentes simples e sistemas de lentes.
2. Verificar o alinhamento do arranjo experimental, a sua importância.
3. Medir a distância focal de lentes simples e de sistemas de lentes.
4. Avaliar quando a aproximação de lente delgada é válida

[Texto sobre Ótica Geométrica](#)

[Óptico](#)

Vídeo com informações básicas sobre o software Optgeo.

[Download Optgeo](#)