

<b>Título em Português:</b>	Obtenção da curva de dispersão a partir do espectro de transmissão em interfaces de meios transparentes
<b>Título em Inglês:</b>	The dispersion curve obtantion from transmission spectrum of transparent media interfaces
<b>Autor:</b>	Inara Yasmin Donda Acosta
<b>Instituição:</b>	Universidade de São Paulo
<b>Unidade:</b>	Instituto de Física de São Carlos
<b>Orientador:</b>	Lino Misoguti
<b>Área de Pesquisa / SubÁrea:</b>	Física da Matéria Condensada
<b>Agência Financiadora:</b>	CNPq - PIBIC

## Obtenção da curva de dispersão do índice de refração a partir do espectro de transmissão de interfaces de materiais transparentes

**Inara Yasmin Donda Acosta**

**Prof. Dr. Lino Misoguti**

Instituto de Física de São Carlos - USP

inarayasmin@usp.br

### Objetivos

Neste trabalho pretendemos estudar a viabilidade e precisão da determinação da magnitude do índice de refração e da dispersão de materiais transparentes, sólidos e líquidos, utilizando o espectro de transmissão em interfaces. Como o sinal de transmissão em uma interface, principalmente, em incidência normal, possui relação simples com o índice de refração, este fato pode ser explorado para sua determinação. Algumas medições preliminares em diferentes lâminas de vidro mostraram que é possível obter resultados satisfatórios tanto para magnitude quanto para dispersão do índice de refração na condição de absorção desprezível de forma rápida e simples.

### Materiais e métodos

Aqui, o ponto fundamental da determinação do índice de refração é a reflexão de Fresnel. Considerando uma placa de vidro no ar, na ausência de absorção, temos:

$$T(\lambda) = \frac{I_t(\lambda)}{I_0(\lambda)} \quad (1)$$

$$T(\lambda) = \frac{4n_i(\lambda)n_t(\lambda)}{(n_i(\lambda)+n_t(\lambda))^2} \quad (2)$$

$$T(\lambda) = \left[ \frac{4n(\lambda)}{n(\lambda)+1} \right]^2 \quad (3)$$

$$n(\lambda) = \frac{2 - \sqrt{T(\lambda)} \pm 2\sqrt{1 - \sqrt{T(\lambda)}}}{\sqrt{T(\lambda)}} \quad (4)$$

A retirada da absorção, como feito na pesquisa anterior, ajudou a obter melhores curvas de índice de refração, porém, devido ao artefato de espessura, ainda não havia sido possível obter as curvas de índice de refração corretas. Para resolver este problema, neste período propomos a utilização do método dos mínimos quadrados. Assim, obtemos o valor do coeficiente linear (b), que nos permite obter um melhor índice de refração. Além disso, a inclinação está relacionada a artefatos de absorção e espessura.

$$\text{Coeficiente Angular} = a = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) y_i}{\sum (x_i - \bar{x})^2}$$

(4)

$$\text{Coeficiente Linear} = b = \bar{y} - a\bar{x} \quad (5)$$

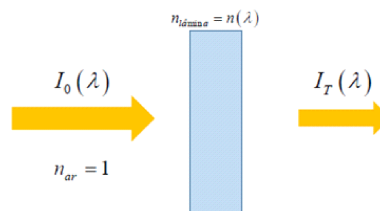


Figura 1: Aparato experimental representando o feixe de luz incidente e transmitido através de uma lâmina transparente com índice de refração igual a  $n$ .

## Resultados

Durante este período nos concentramos nas medições de lâminas de vidro óptico BK7 da CDGM. As curvas obtidas diretamente da transmitância sem correção de absorção fornecem uma ideia aproximada do índice de refração. Fizemos medições em amostras de 1 mm, 4 mm, 10 mm, 15 mm e 20 mm. Essas medidas foram utilizadas para calcular a absorção e, posteriormente, o índice de refração, utilizando o método dos mínimos quadrados.

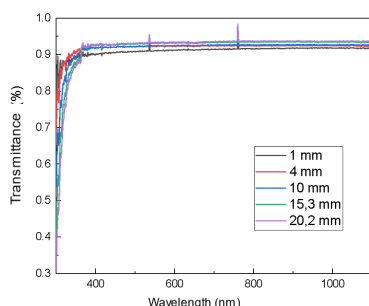


Figura 2: Comparação entre a transmitância em lâminas de diferentes espessuras..

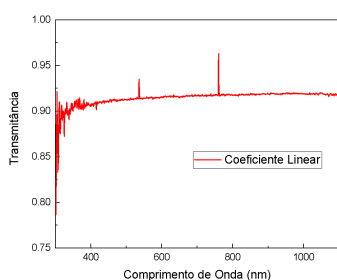


Figura 3: Curva de transmissão esperada para uma lâmina de espessura zero obtido do coeficiente linear, ou seja, somente com a contribuição de Fresnel.

Na figura 2 é possível observar o artefato da espessura na curva de transmitância. A partir da curva de transmitância obtida pelo coeficiente linear,  $b$  (Fig. 3), pela Eq. (4),

tomando a solução positiva, temos a curva de dispersão obtida na figura 4:

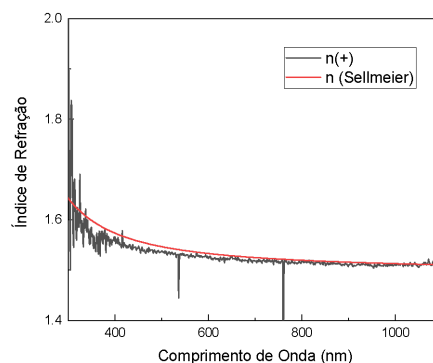


Figura 4: Obtenção do índice de refração utilizando o coeficiente linear.

A curva esperada pela equação de Sellmeier [1] ficou muito próxima daquela obtida experimentalmente. Este primeiro teste é muito promissor para estabelecer uma metodologia que leve à correção de curvas de dispersão baseadas em curvas de transmitância. O próximo passo será utilizar esta mesma metodologia em outros vidros ópticos e, eventualmente, para líquidos em cubetas de diferentes espessuras.

## Conclusões

Observamos que, devido à espessura da amostra, um espectrômetro comercial obtém curvas de transmitância erradas e, portanto, curvas de índice de refração erradas. Estudos realizados em lâminas de vidro CDGM BK7 com diferentes espessuras demonstram que o método de cálculo de mínimos quadrados proposto é promissor. Nesse sentido, o método citado foi importante porque permitiu definir uma transmissão de uma folha de espessura “zero”, anulando tanto o artefato de espessura no espectrômetro quanto eliminando a absorção. Acreditamos que este trabalho foi importante porque pudemos observar este efeito interessante e propor uma solução que melhore os resultados. Assim, conseguimos entender o problema da espessura e sua influência nas curvas de transmitância. Acreditamos que nosso método proposto pode ser usado para obter curvas de índice de refração robustas e confiáveis em interfaces transparentes em geral.

## Referências

[1] <https://refractiveindex.info/?shelf=glass&book=BK7&page=CDGM>.

## Obtention of the refractive index dispersion curve from the transmission spectrum of transparent materials interfaces

**Inara Yasmin Donda Acosta**

**Prof. Dr. Lino Misoguti**

Instituto de Física de São Carlos - USP

inarayasmin@usp.br

### Objectives

In this work we intend to study the viability and precision of the refractive index magnitude and dispersion determination of transparent materials, solids and liquids, using the transmission spectrum at interfaces. As the transmission signal at an interface, specially, in a normal incidence, has a simple relation with the refractive index, this fact can be explored for its determination. Some preliminary measurements in different glass slabs showed that it is possible to obtain satisfactory results for both magnitude and dispersion of the refractive index in the negligible absorption condition in a fast and simple way.

### Materials and Methods

Here, the fundamental point of the refractive index determination is the Fresnel reflection. Considering a glass slab in the air, in the absence of absorption, we have:

$$T(\lambda) = \frac{I_r(\lambda)}{I_0(\lambda)} \quad (1)$$

$$T(\lambda) = \frac{4n_i(\lambda)n_t(\lambda)}{(n_i(\lambda)+n_t(\lambda))^2} \quad (2)$$

$$T(\lambda) = \left[ \frac{4n(\lambda)}{n(\lambda)+1} \right]^2 \quad (3)$$

$$n(\lambda) = \frac{2 - \sqrt{T(\lambda)} \pm 2\sqrt{1 - \sqrt{T(\lambda)}}}{\sqrt{T(\lambda)}} \quad (4)$$

Removing the absorption, as in the previous research, helped to obtain better refractive index curves, however, due to the thickness artifact, it had not yet been possible to obtain the correct refractive index curves. To solve this thickness problem, in this period we propose to use the least squares method. Thus, we obtain the value of the linear coefficient (b), which allows us to obtain a better refractive index. Furthermore, the slope is related to absorption and thickness artifacts.

$$\text{Angular coefficient} = a = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})y_i}{\Sigma(x_i - \bar{x})^2}$$

(4)

$$\text{Linear coefficient} = b = \bar{y} - a\bar{x} \quad (5)$$

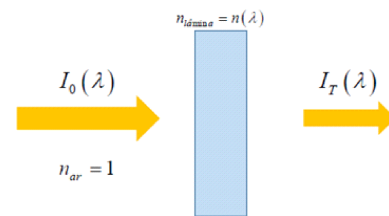


Figure 1: Schematic diagram showing the incident light at normal and the transmitted light in a transparent material slab with refractive index,  $n$ .

## Results

During this period we focused on measurements of BK7 optical glass slides from CDGM.

The curves obtained directly from the transmittance without absorption correction provide an approximate idea of the refractive index. We did measurements in 1 mm, 4 mm, 10 mm, 15 mm and 20 mm samples. These measurements were used to calculate absorption and, subsequently, the index refraction using the least squares method.

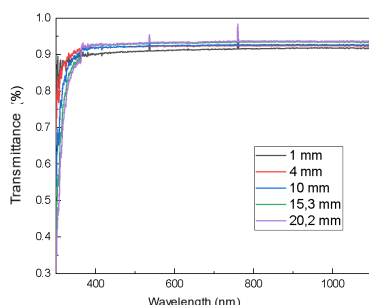


Figure 2: Comparison between transmission curves in sheets of different thicknesses.

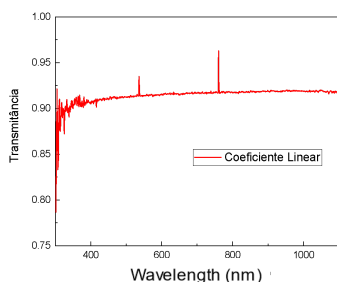


Figure 3: Expected transmission curve for a sheet of zero thickness obtained from the linear coefficient, that is, only with the Fresnel contribution.

In Fig. 2 it is possible to clearly observe the thickness artifact in the transmittance curve.

From the transmittance curve obtained by the linear coefficient,  $b$  (Fig 3), by Eq. (4), taking positive solution, the CDGM BK7 dispersion curve is obtained (Fig. 4):

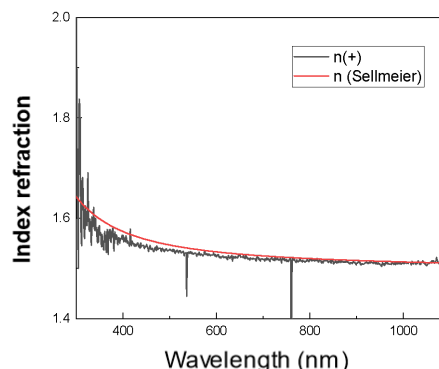


Figure 4: Refractive index curve obtained from the linear coefficient.

The curve expected by the Sellmeier equation [1] was very close to that obtained experimentally. This first test is very promising for establishing a methodology that leads to correct dispersion curves based on transmittance curves. The next step will be to use this same methodology on other optical glasses and, eventually, for liquids in cuvettes of different thicknesses.

## Conclusions

We observed that, due to the thickness of the sample, a commercial spectrometer obtains wrong transmittance curves and, therefore, wrong refractive index curves. Studies carried out on CDGM BK7 glass slides with different thicknesses demonstrate that the proposed least squares calculation method is promising. In this sense, the aforementioned method was important because it allowed us to define a transmission of a sheet of “zero” thickness, nullifying both the thickness artifact in the spectrometer and eliminating absorption. We believe that this work was important because we were able to observe this interesting effect and propose a solution that improves the results. Thus, we were able to understand the thickness problem and its influence on transmittance curves. We believe that our proposed method can be used to obtain robust and reliable refractive index curves in transparent interfaces in general.

## References

- [1] <https://refractiveindex.info/?shelf=glass&book=BK7&page=CDGM>.