

Prática 11 – Refratometria. Determinação do índice de refração de líquidos.

1) Objetivos da aula

Nesta experiência serão investigadas o índice de refração de diferentes líquidos (ex. água, etanol e soluções de sacarose). Determinação da concentração de açúcar (BRIX) em líquidos diversos. Determinação do teor de umidade no mel.

2) Introdução

Lei de Snell-Descartes, também conhecida como lei de Snell ou lei de Descartes ou ainda, simplesmente, lei de refração, se resume a uma expressão que dá o desvio angular sofrido por um raio de luz ao passar para um meio diferente do qual ele estava percorrendo. Cada meio apresenta um tipo "resistência" a passagem da radiação. Essa resistência também depende do comprimento de onda da radiação. Essa tal "resistência" é conhecida como **índice de refração** (n) uma grandeza adimensional definida pela expressão:

$$n = \frac{c}{v} \quad [1]$$

onde $c = 3 \times 10^8$ m/s é a velocidade da luz no vácuo e v é a velocidade da luz num certo meio.

De modo geral, a velocidade da luz nos meios materiais é menor que c ; e assim, em geral, teremos $n > 1$. Por extensão, definimos o índice de refração do vácuo, que obviamente é igual a 1.

$$n_{\text{vacuo}} = 1$$

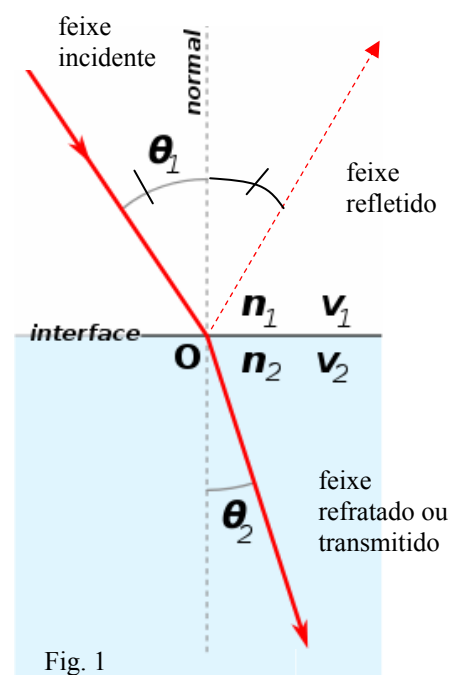
A velocidade da radiação (onda) é dada pela equação $v = \lambda \cdot f$, onde λ é o **comprimento da onda** e f a sua frequência. Experimentalmente observa-se que em cada meio material, a velocidade diminui com a frequência, isto é, quanto "maior" a frequência, "menor" a velocidade.

$$v_{\text{vermelho}} > v_{\text{laranja}} > v_{\text{amarelo}} > v_{\text{verde}} > v_{\text{azul}} > v_{\text{anil}} > v_{\text{violeta}}$$

Portanto, concluímos que o índice de refração aumenta com a frequência. Quanto "maior" a frequência, "maior" o índice de refração.

A velocidade de propagação da luz no ar depende da frequência da luz, já que o ar é um meio material. Porém essa velocidade é quase igual a $c = 3 \times 10^8$ m/s para todas as cores. Ex.: índice de refração da luz violeta no ar = 1,0002957 e índice de refração da luz vermelha no ar = 1,0002914. Portanto, nas aplicações, desde que não queiramos uma precisão muito grande, adotaremos o índice de refração do ar como aproximadamente igual ao do vácuo que é igual a 1:

$$n_{\text{ar}} \cong 1$$



Considerando um sistema estático (fonte, receptor e meio parados) a frequência da onda propagada é constante ou seja não muda durante a refração ou reflexão, isso nos leva a escrever a relação.

$$n = \frac{c}{\lambda \times f} \quad [2]$$

Índice de refração em diferentes meios

- Vácuo: 1,0000
- Ar: 1,004
- Água: 1,3300
- Gelo: 1,3100
- Álcool: 1,3600
- Glicerina: 1,47
- Vidro: 1,5000 a 1,9000
- Sal de cozinha: 1,54
- Quartzo: 1,54
- Bissulfeto de carbono: 1,63
- Zircônio: 1,92
- Diamante: 2,4200
- Rutilo: 2,80
- Acrílico: 1,49

O índice de refração (também conhecido pela variável nD) além de mudar com o comprimento de onda também muda com a temperatura. Na tabela abaixo temos um exemplo do índice de refração da água destilada em diferentes temperaturas.

T,°C	nD	T,°C	nD
10	1.3337	20	1.3330
11	1.3336	21	1.3329
12	1.3336	22	1.3328
13	1.3335	23	1.3327
14	1.3335	24	1.3326
15	1.3334	25	1.3325
16	1.3333	26	1.3324
17	1.3332	27	1.3323
18	1.3332	28	1.3322
19	1.3331	29	1.3321
20	1.3330	30	1.3320

3) Continuidade Óptica

Consideremos dois meios transparentes I e 2 e um feixe de luz dirigindo-se de I para 2 . Para que haja feixe refratado é necessário que $n_1 \neq n_2$.

Quando $n_1 = n_2$, não há luz refletida e também não há mudança na direção da luz ao mudar de meio; dizemos que há **continuidade óptica**.

Quando temos um bastão de vidro dentro de um recipiente contendo um líquido com o mesmo índice de refração do vidro, a parte do bastão que está submersa, não refletindo a luz, fica "invisível".

4) Leis da Refração

Consideremos dois meios transparentes I e 2 e um feixe estreito de luz monocromática, que se propaga inicialmente no meio I , dirigindo-se para o meio 2 . Suponhamos, ainda, que uma parte da luz consiga penetrar no meio 2 e que a luz tenha velocidades diferentes nos dois meios. Nesse caso, diremos que houve **Refração**.

O raio que apresenta o feixe incidente é o **raio incidente**, e o raio que apresenta o feixe refratado é o **raio refratado ou transmitido**.

A primeira lei da Refração

O raio incidente, o raio refratado e a normal, no ponto de incidência, estão contidos num mesmo plano.

A normal é uma reta perpendicular à superfície no ponto de incidência, θ_1 é denominado ângulo de incidência entre o raio e a normal e θ_2 , ângulo de refração entre o raio e a normal.

A segunda lei da Refração

Os senos dos ângulos de incidência e refração são diretamente proporcionais às velocidades da onda nos respectivos meios.

Matematicamente temos:

$$n_1 \times \sin \theta_1 = n_2 \times \sin \theta_2 \quad [3]$$

Da igualdade acima obtemos:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \xrightarrow{\text{no caso do } n_1 \text{ ser vácuo ou ar}} n_2 = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \quad [4]$$

A Segunda Lei da Refração foi descoberta experimentalmente pelo holandês Willebrord van Royen Snell (1591-1626) e mais tarde deduzida por René Descartes, a partir de sua teoria corpuscular da luz. Nos Estados Unidos, ela é chamada de **Lei de Snell** e na França, de **Lei de Descartes**; em Portugal e no Brasil é costume chamá-la de **Lei de Snell-Descartes**.

Observando a equação [3], concluímos que, onde o ângulo for **menor**, o índice de refração será **maior**. Explicando melhor: se $\theta_1 > \theta_2$, o mesmo ocorre com seus senos, $\sin \theta_1 > \sin \theta_2$; logo, para manter a igualdade da equação [3], $n_2 \neq n_1$. Ou seja, o menor ângulo θ_2 ocorre no meio mais refringente, n_2 . Quando a incidência for normal, não haverá desvio e teremos $\theta_1 = \theta_2 = 0$.

A lei de Snell é válida para qualquer ângulo de incidência. Assim sendo, considerando n_1 como sendo ar, para θ_1 igual a 90° ,

$$n_2 = \frac{\sin 90^\circ}{\sin \theta_2} = \frac{1}{\sin \theta_2} = \frac{1}{\sin \theta_R} \quad [5]$$

onde θ_R é denominado de ângulo limite de refração.

A partir das equações acima, podemos escrever ainda as igualdades abaixo:

$$\begin{aligned} n_1 v_1 &= n_2 v_2 \\ n_1 \sin \theta_1 &= n_2 \sin \theta_2 \\ n_1 \lambda_1 &= n_2 \lambda_2 \\ v_1 / \sin \theta_1 &= v_2 / \sin \theta_2 \\ v_1 / \lambda_1 &= v_2 / \lambda_2 \\ \sin \theta_1 / \lambda_1 &= \sin \theta_2 / \lambda_2 \end{aligned}$$

5) Escala BRIX

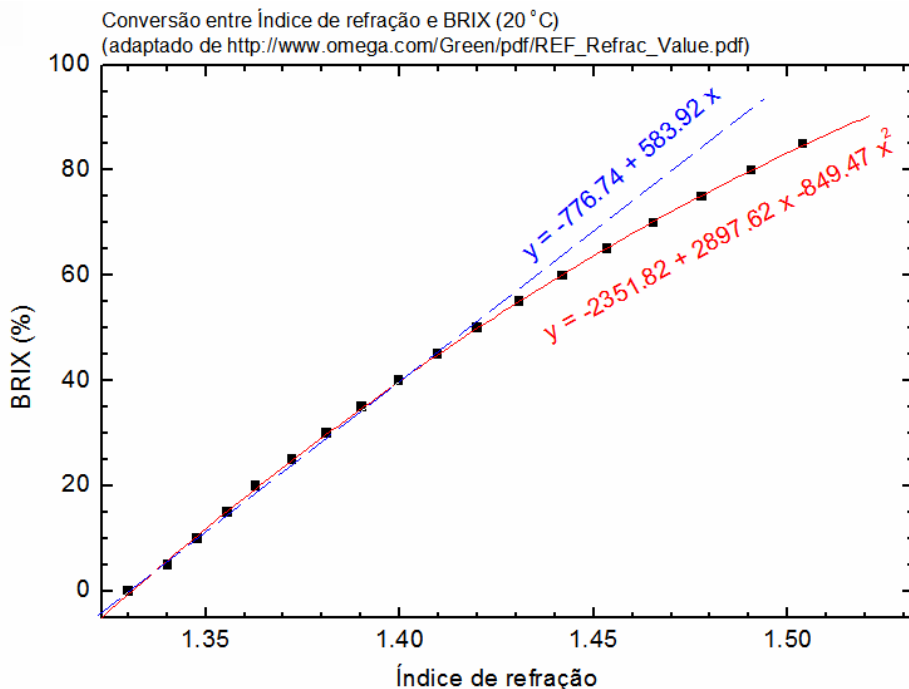
Brix (símbolo °Bx) é uma escala numérica que mede a quantidade de sólidos solúveis em uma solução de sacarose. A escala Brix é utilizada na indústria de alimentos para medir a quantidade aproximada de açúcares em sucos de fruta, vinhos e na indústria de açúcar. A escala de brix, criada por **Adolf F. Brix** (1798 - 1870), foi derivada originalmente da escala de Balling, recalculando a temperatura de referência de 15,5 °C.

A quantidade de sólido solúvel é o total de todos os sólidos dissolvidos em água, começando com açúcar, sal, proteínas, ácidos e etc e os valores de leitura medido é a soma de todos eles. Uma solução de 25 °Bx tem 25 gramas do açúcar da sacarose por 100 gramas de líquido. Ou, para colocar de outra maneira, é 25 gramas do açúcar da sacarose e 75 gramas da água nos 100 gramas da solução. O instrumento usado para medir a concentração de soluções aquosas é o refratômetro.

Obs. No arquivo em anexo é apresentado uma tabela de conversão do índice de refração do líquido para a escala BRIX.

Saiba mais em: <http://translate.google.com.br/translate?hl=pt-BR&langpair=en%7Cpt&u=http://en.wikipedia.org/wiki/Brix>

Conversão Índice de Refração e BRIX



Refractive Index—Brix—Density Conversion Chart

Density ² (20 °C)	Brix % (20 °C)	Refractive Index ¹ (20 °C)
1	0	1.33
1.00965	5	1.34026
1.03998	10	1.34782
1.06104	15	1.35568
1.08287	20	1.36384
1.10551	25	1.37233
1.11898	30	1.38115
1.15331	35	1.39032
1.17853	40	1.39986
1.20467	45	1.40987
1.23174	50	1.42009
1.25976	55	1.43080
1.28873	60	1.44193
1.31866	65	1.45348
1.34956	70	1.46546
1.38141	75	1.47787
1.41421	80	1.49071
1.44794	85	1.50398
1.48259	90	
1.51814	95	

6) Refratômetros

Refratômetros portáteis.



Refratômetros digitais



Refratômetros de bancada.



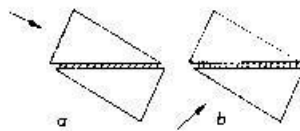
Fig 2 - Tipos de refratômetros

6.1) Medições no refratômetro do tipo ABBE.

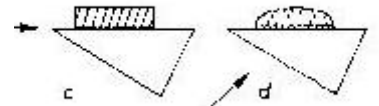
Nessa prática utilizaremos principalmente o refratômetro de ABBE (ver manual do aparelho em anexo). A leitura é feita em uma escala graduada, através de um sistema ótico. No caso do BRIX o valor medido é obtido mediante a comparação com uma tabela fornecida pelo fabricante do instrumento. Um outro refratômetro portátil estará a disposição dos alunos para experimentos em duplicata.



No refratômetro de Abbe se mede o ângulo limite da reflexão total, sendo que é possível se distinguir dois métodos de medição: um por transmissão onde a luz incide rasante, e outro por reflexão através da reflexão total (fig.3).



- a) Medida por transmissão com prisma de iluminação
b) Medida por luz refletida com prisma de iluminação



- c) Medida por transmissão
d) Medida com luz refletida

Fig 3 - Métodos de medição

Os principais componentes do refratômetro de Abbe são o prisma de medição, que trabalha em uma faixa de índice (para o equipamento do laboratório $1,300 < n_D < 1,700$), a objetiva de focalização, e o círculo graduado de cristal com microscópio de leitura. Com a ocular de focalização se observa a linha limite entre uma parte clara e outra escura. O botão compensador serve para eliminar a franja colorida da linha limite, e a escala serve para a medida da dispersão média $n_F - n_C$ respectiva ao número de Abbe. O anel graduado possui 2 escalas com divisões de 0 a 60.

6.2) Procedimento básico para utilização do refratômetro ABBE.

1) Coloque o líquido sob investigação no prisma do refratômetro;

2) Olhe pela ocular do refratômetro e observe a escala que aparece no campo visual. Faça as divisões e os números da escala ficarem nítidos, ajustando a distância focal com a ocular do instrumento;

3) Observe agora a fronteira claro-escuro. Se ela estiver colorida, acromatize-a girando o dispositivo que compensa a dispersão da luz no líquido. Este ajuste deve tornar a fronteira em uma linha de contornos bem definidos;

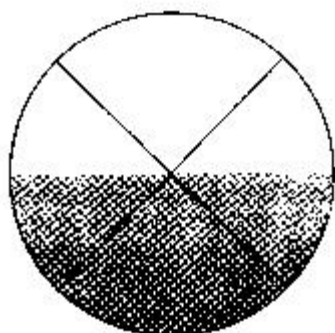


Fig. 4 Campo visual da ocular

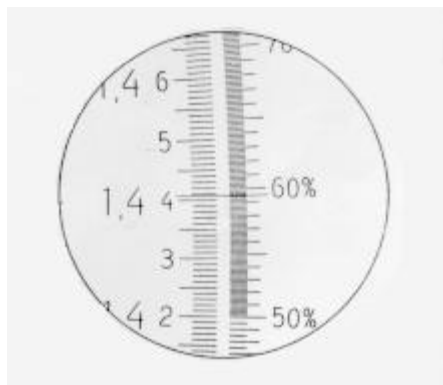


Fig. 5 Campo visual do microscópio de leitura

4) Anote a leitura da escala que corresponde à posição da fronteira. O décimo da escala deve ser lido no vernier;

5) Converta esta leitura da escala do instrumento em índice de refração mediante a tabela do instrumento. Interpole linearmente os valores da tabela para obter em índice de refração os décimos lidos no instrumento.

7) Procedimento experimental:

Material:

Refratômetro de bancada do tipo ABBE.

Reagentes: água destilada, etanol, glicerol, sacarose, mel.

Refrigerantes: coca-cola; coca-zero; guaraná.

Vidraria diversa.

EXPERIMENTO 1 - Índice de refração de líquidos.

a) Determine o índice de refração dos seguintes líquidos puros.

- água destilada
- etanol
- glicerol

b) Determine o índice de refração das seguintes misturas.

- mistura 1: água 50% + etanol 50%
- mistura 2: água 50% + glicerol 50%

c) Determine o índice de refração do etanol misturas em 3 temperaturas ($\sim 0^{\circ}\text{C}$, 40°C e 70°C). Tenha cuidado neste processo para evitar acidentes.

Metodologia: Colocar a amostras sobre o cristal do refratômetro. Preparar cerca de 1 litro de água na temperatura desejada ($\sim 0^{\circ}\text{C}$, 40°C e 70°C) em um béquer, em seguida despejar a água nos funis acima do refratômetro (ver fig abaixo). Verifique se a vazão de água na mangueira que liga os funis ao refratômetro não é

muito ou nem pouca. Espere a temperatura no refratômetro atingir o valor desejado e faça a medida. Discuta os resultados obtidos.



Fig. Montagem experimental acoplada ao dispositivo de variação de temperatura.

d) Compare e discuta os resultados obtidos no item b com os resultados do item a.

EXPERIMENTO 2 - Determinação da porcentagem de água no mel.

a) Meça o índice de refração do mel em sua bancada e, considerando a tabela abaixo, encontre a porcentagem de água contida.

Obs. Adicione 0,00023 ao índice de refração para cada grau acima de 20°C, antes de usar a tabela. Subtraia 0,00023 do índice de refração para cada grau abaixo de 20°C, antes de usar a tabela.

Tabela 3 – Relação entre o índice de refração e a porcentagem de água dos méis

Índice de refração a 20°C	Umidade %	Índice de refração a 20°C	Umidade %	Índice de refração a 20°C	Umidade %	Índice de refração a 20°C	Umidade %
1,5044	13,0	1,4961	16,2	1,4880	19,4	1,4800	22,6
1,5038	13,2	1,4956	16,4	1,4875	19,6	1,4795	22,8
1,5033	13,4	1,4951	16,6	1,4870	19,8	1,4790	23,0
1,5028	13,6	1,4946	16,8	1,4865	20,0	1,4785	23,2
1,5023	13,8	1,4940	17,0	1,4860	20,2	1,4780	23,4
1,5018	14,0	1,4935	17,2	1,4855	20,4	1,4775	23,6
1,5012	14,2	1,4930	17,4	1,4850	20,6	1,4770	23,8
1,5007	14,4	1,4925	17,6	1,4845	20,8	1,4765	24,0
1,5002	14,6	1,4920	17,8	1,4840	21,0	1,4760	24,2
1,4997	14,8	1,4915	18,0	1,4835	21,2	1,4755	24,4
1,4992	15,0	1,4910	18,2	1,4830	21,4	1,4750	24,6
1,4987	15,2	1,4905	18,4	1,4825	21,6	1,4745	24,8
1,4982	15,4	1,4900	18,6	1,4820	21,8	1,4740	25,0
1,4976	15,6	1,4895	18,8	1,4815	22,0	-	-
1,4971	15,8	1,4890	19,0	1,4810	22,2	-	-
1,4966	16,0	1,4885	19,2	1,4805	22,4	-	-

EXPERIMENTO 3 - Soluções de sacarose.

a) Pese em um béquer 40g de sacarose e junte água apenas o suficiente para a completa dissolução do açúcar. Transfira a solução obtida para um balão volumétrico de 200ml, complete o volume com água, agite bem e obtenha, assim, uma solução de 20% (massa/volume) ou a 0,20 g/ml de sacarose.

b) A partir dessa primeira solução, usando pipetas e balões volumétricos de 100ml, prepare as outras soluções da seguinte maneira:

- solução a 15% (ou a 0,15g/ml): tome 75ml da solução a 20% e complete 100ml com água;
- solução a 10% (ou a 0,10g/ml): tome 50ml da solução a 20% e complete 100ml com água;
- solução a 5% (ou a 0,05g/ml): tome 50ml da solução a 10% e complete 100ml com água;
- solução a 2,5% (ou a 0,025g/ml): tome 50ml da solução a 5% e complete 100ml com água.

Após preparar cada solução e antes de obter a seguinte, homogeneíze-a com boa agitação.

c) Determine o índice de refração de cada uma destas cinco soluções e também da água pura. Comece com a água e prossiga com as soluções mais diluídas.

d) Construa um gráfico do índice de refração em função do concentração (%). E estime o valor do índice de refração da solução de concentração igual a 7%.

EXPERIMENTO 4 - Determinando o teor de açúcar em refrigerantes.

a) Misture 10 mL de coca-cola em 90 mL de água destilada e em seguida determine o índice de refração desta solução. Com o auxílio da tabela de BRIX, determine a concentração (%) de açúcar deste refrigerante a partir do valor do índice de refração medido. Lembre-se que a medida foi feita com o refrigerante diluído.

b) Repita o mesmo procedimento do item anterior agora com coca-zero, com guaraná, fanta e água de coco.

c) Repita o mesmo procedimento do item a e b agora sem diluir com água destilada.

d) discuta os resultados encontrados.

8) Referências bibliográficas e literatura adicional

C. W. Garland, J. W. Nibler, D. P. Shoemaker "Experiments in Physical Chemistry" 7. ed. McGraw-Hill, 2003.

G. W. Ewing, *Instrumental Methods of Chemical Analysis*, cap. 10, Edgard Blücher, 1972.

Práticas de Físico-químico Experimental da UFRJ e da UNICAMP

<http://www.ifi.unicamp.br/~accosta/>

Adolfo Lutz. v. 1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos, 3. ed. Sao Paulo: IMESP, 1985. p. 160

Tabela BRIX: http://www.omega.com/Green/pdf/REF_Refrac_Value.pdf

Simulação on line: <http://www.fisica.ufs.br/egsantana/ondas/snell/snell.htm>

http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Physics/applet_2_8/applet_2_8.htm

Videos on-line: <http://www.youtube.com/watch?v=CUoYmMBTS4w>

<http://www.youtube.com/watch?v=yfawFJCRDSE&NR=1>