

Determinação do Teor Alcoólico de Vodcas: Uma Abordagem Multidisciplinar no Ensino da Física, Química e Matemática

Ednilson Luiz Silva Vaz, Marco Aurélio Alvarenga Monteiro, Isabel Cristina de Castro Monteiro, Heloisa Andréa Acciari e Eduardo Norberto Codaro

Neste trabalho, propõe-se uma atividade experimental para ser desenvolvida com alunos do ensino médio, abordando os conceitos de densidade e tensão superficial a partir de uma abordagem multidisciplinar entre a física, química e matemática. Nessa proposta, os alunos são desafiados a determinar o teor alcoólico de vodcas a partir das propriedades físicas intensivas dos líquidos. Foram obtidas duas curvas de calibração, uma de densidade e outra de tensão superficial, em função da concentração de etanol em água. Os teores alcoólicos obtidos a partir dessas propriedades foram muito próximos dos valores fornecidos pelos fabricantes, fato atribuído à semelhança dessas bebidas com as misturas binárias etanol-água.

► densidade, tensão superficial, vodca ◀

Recebido em 05/12/2012, aceito em 13/09/2013

292

Proposta de uma abordagem multidisciplinar

Neste trabalho, propõe-se uma situação concreta, própria do cotidiano dos adolescentes, que consiste na determinação do teor alcoólico de vodcas, utilizando conceitos fundamentais relacionados com as propriedades intensivas da matéria. O tema é abordado de uma maneira multidisciplinar (Menezes; Santos, 2002), integrando conteúdos da física, química e matemática do ensino médio. Em relação às duas primeiras disciplinas, conceitos como densidade e tensão superficial são apresentados de maneira didática, detalhando a origem dessas propriedades do ponto de vista das interações moleculares. A construção de curvas de calibração, como veículo para a determinação do teor alcoólico, permite uma introdução ao estudo de funções e à modelagem

matemática das propriedades envolvidas. O uso alternativo de programas de computação para a construção de gráficos oferece a possibilidade de exploração de novas tecnologias no ensino de ciências.

Generalidades sobre a vodca

As destilarias obtêm o álcool do mosto, um líquido de baixo teor alcoólico formado durante a fermentação da mistura de grãos (trigo, centeio, aveia, cevada) ou tubérculos (batata, beterraba) e água. Com a destilação fracionada dessa mistura, obtém-se o etanol em maior concentração. Esse processo é repetido por várias vezes para diminuir a quantidade de impurezas e obter um destilado com concentração alcoólica maior que 90%, a qual é posteriormente reduzida pela adição de água.

A vodca é uma bebida originária da Europa oriental, obtida a partir da destilação de cereais ou tubérculos fermentados ricos em açúcar e amido, com aspecto incolor, quase sem sabor e com um teor alcoólico que pode variar de 36% a 54% v/v a 20 °C. As destilarias obtêm o álcool do mosto, um líquido de baixo teor alcoólico formado durante a fermentação da mistura de grãos (trigo, centeio, aveia, cevada) ou tubérculos (batata, beterraba) e água. Com a destilação fracionada dessa mistura,

obtem-se o etanol em maior concentração. Esse processo é repetido por várias vezes para diminuir a quantidade de impurezas e obter um destilado com concentração alcoólica maior que 90%, a qual é posteriormente reduzida pela

A seção "Experimentação no ensino de Química" descreve experimentos cuja implementação e interpretação contribuem para a construção de conceitos científicos por parte dos alunos.

adição de água. A maioria das vodcas produzidas no Brasil são tridestiladas e se comercializam com uma graduação alcoólica entre 37% e 40% v/v e um conteúdo de açúcares de até 2,0 g/L. Dependendo da matéria-prima e do tipo de processamento, podem estar presentes traços de acetaldeído, acetato de etila e ácido acético, numa concentração inferior a 50 mg por 100 mL de etanol anidro. Como as vodcas são praticamente misturas de etanol-água, seus teores alcoólicos são determinados a partir das densidades (Brasil, 2013).

Conceitos relativos às propriedades intensivas da matéria

O estado líquido pode ser definido como um estado intermediário entre o gasoso e o sólido. No primeiro, as partículas (átomos, íons, moléculas) se encontram afastadas e desordenadas, enquanto que, no último, estão próximas, formando parte de uma estrutura ordenada. Se as partículas estarão ou não regularmente arranjadas, isso dependerá de um balanço entre as forças de atração, de repulsão e a desordem resultante de seus movimentos térmicos a uma dada temperatura. À medida que as forças de atração tornam-se preponderantes, a distância entre as partículas diminui e o material pode se apresentar ou como líquido ou como sólido. Em geral, quanto menor o tamanho e maior a simetria da partícula, mais fácil será acomodá-la em um arranjo mais ou menos regular ou encaixá-la em uma estrutura ordenada, mas a distância média e a dificuldade de movimento entre elas dependerão da natureza e intensidade das forças de atração (O'Connor, 1999). Quanto maior essa força, maior a sua concentração por unidade de volume e maior a dificuldade de movimento das partículas. A razão entre as massas dessas partículas e o volume que ocupam define uma propriedade intensiva denominada densidade (Rossi et al., 1999). Assim como esta, outra propriedade intensiva dos líquidos é a tensão superficial. Essa propriedade pode ser definida como

sendo a energia necessária para aumentar a área superficial do líquido em quantidade unitária, em outras palavras, uma medida da resistência que oferece um líquido ao aumento de sua superfície. A tensão superficial pode ser estimada medindo-se a altura que uma coluna líquida subirá num tubo capilar feito com um material que seja molhado pelo próprio líquido. Segundo a Lei de Jurin a altura alcançada pelo líquido é inversamente proporcional ao raio do tubo capilar. Esse fenômeno, chamado de elevação capilar, ocorre porque as forças adesivas entre o líquido e as paredes do tubo aumentam

A tensão superficial pode ser estimada medindo-se a altura que uma coluna líquida subirá num tubo capilar feito com um material que seja molhado pelo próprio líquido. Segundo a Lei de Jurin a altura alcançada pelo líquido é inversamente proporcional ao raio do tubo capilar. Esse fenômeno, chamado de elevação capilar, ocorre porque as forças adesivas entre o líquido e as paredes do tubo aumentam a área superficial do líquido, enquanto que as forças coesivas entre as próprias partículas tendem a reduzi-la, fazendo com que a superfície se comporte como se fosse um filme elástico, puxando o líquido para cima no tubo. A coluna do líquido sobe até que a resultante das forças adesivas e coesivas seja equilibrada pela força da gravidade no líquido.

$$h r = h' r'$$

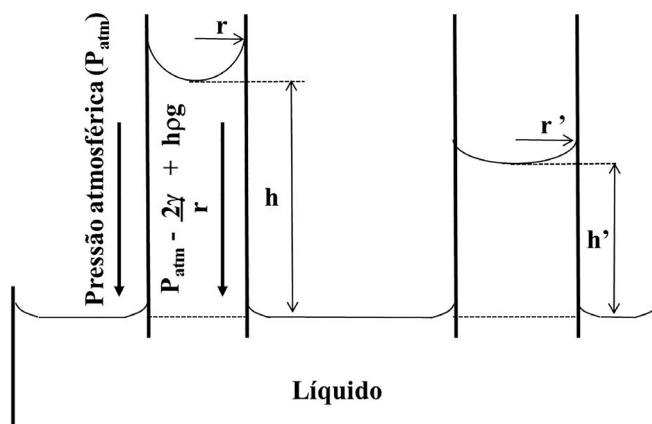


Figura 1: Ilustração da elevação capilar de um líquido em dois tubos de diferentes raios.

a área superficial do líquido, enquanto que as forças coesivas entre as próprias partículas tendem a reduzi-la, fazendo com que a superfície se comporte como se fosse um filme elástico, puxando o líquido para cima no tubo. A coluna do líquido sobe até que a resultante das forças adesivas e coesivas seja equilibrada pela força da gravidade no líquido. No equilíbrio, a pressão externa (atmosférica) e a interna (dentro do tubo) se igualam (Figura 1) (Tagliaro, 1966). No caso da água e de soluções aquosas de etanol, as forças coesivas que unem essas moléculas são principalmente as ligações hidrogênio, e as forças adesivas são todas aquelas que unem essas moléculas com o vidro do tubo capilar. Nesse sistema binário, a tensão superficial pode ser calculada a partir da equação de Young-Laplace (1), sendo γ a tensão superficial, h a elevação capilar, r o raio do tubo, ρ a densidade do líquido à temperatura de trabalho e g a aceleração da gravidade (O'Connor, 1977).

$$2 \frac{\gamma}{r} = h \rho g \quad (1)$$

Em geral, quando soluto e solvente tiverem forças de atração do mesmo tipo, formarão uma solução, cujas propriedades físicas dependem da proporção relativa dessas substâncias. Nesse contexto, medidas de densidade e de elevação capilar podem ser realizadas em diferentes soluções de etanol em água, a fim de utilizar essas duas propriedades de forma combinada para um objetivo comum: a determinação do teor alcoólico de vodcas.

Procedimento experimental

Planejamento das atividades do professor: preparação das soluções

O professor deve preparar com

antecedência 1 L de solução aquosa de etanol 5,0 mol/L (29,2 % v/v). Esse processo de dissolução é exotérmico e os volumes não são totalmente aditivos, portanto, recomenda-se medir 500 mL de água destilada com uma proveta e transferir esse conteúdo a um balão volumétrico, adicionando 380 mL de etanol 70% m/m, agitar e, em seguida, deixar esfriar. Após isso, deve-se completar o volume com água destilada. Por diluição dessa solução, devem ser preparados 100 mL das seguintes soluções: 4,5; 4,0; 3,5; 3,0; 2,5; 2,0; 1,5; 1,0 e 0,5 mol/L. Em seguida, preparar 50 mL de soluções vodca-água 1:1. Para esse propósito, medir 20 mL de água destilada com uma proveta e transferir o conteúdo a um balão volumétrico, adicionar 25 mL de vodca, agitar e completar o volume com água destilada. Essas soluções não são inflamáveis e podem ser guardadas à temperatura ambiente.

Pré-seleção dos tubos capilares

No uso diário de tubos capilares, pode-se perceber que alguns apresentam elevações capilares diferentes para um determinado líquido, apesar de terem o mesmo diâmetro nominal. Esse problema parece estar associado a fatores inerentes à sua própria fabricação. Por esse motivo, recomenda-se uma seleção dos capilares a partir de uma quantidade mínima de 15, posicionando-os verticalmente em um béquer contendo água destilada e selecionando os 10 que mostram a mesma elevação capilar. Caso não se consiga o resultado esperado, recomenda-se a lavagem dos capilares com éter etílico, seguida de secagem com ar quente.

Planejamento das atividades dos alunos

Para maior organização e aproveitamento da aula prática, recomenda-se a divisão dos alunos em 10 grupos, em consonância com 10 soluções de etanol de diferentes concentrações. Desse modo, cada grupo realizará medidas com um picnômetro, com um tubo capilar em água destilada e em uma das soluções de etanol. Os valores de densidade e de elevação capilar, obtidos pelos grupos, permitirão o estudo dessas propriedades em função da concentração de álcool e a determinação do teor alcoólico de uma ou mais marcas de vodcas.

Medidas relacionadas com a densidade

A aferição do picnômetro (Figura 2a) torna-se necessária uma vez que o volume nominal pode ter sido determinado a uma temperatura diferente da de trabalho. Assim, cada grupo deverá pesar um picnômetro limpo e seco, enchê-lo com água destilada, secá-lo por fora com papel toalha e pesá-lo novamente. Por diferença de massas, calcular a massa da água destilada. Consultar na literatura a densidade à temperatura de trabalho e calcular o volume do picnômetro. Transferir 50 mL de solução de etanol para uma proveta.

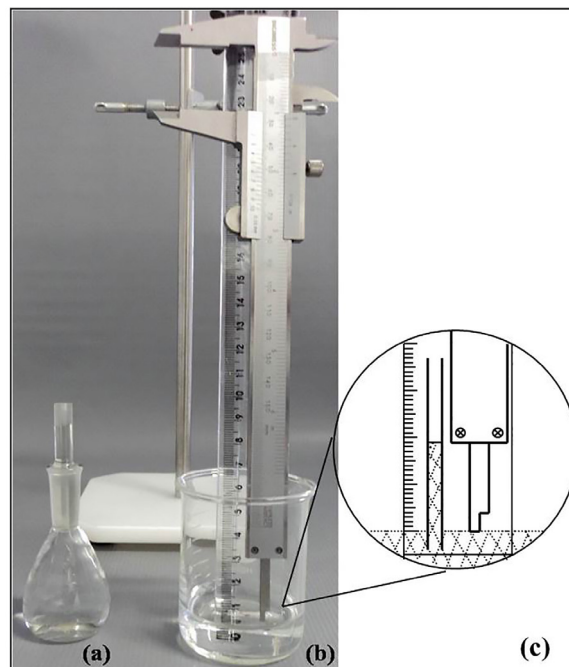


Figura 2: Instrumentos para medidas de densidade (a) e de elevação capilar (b) com detalhe (c).

Enxaguar o picnômetro com 10 mL dessa solução, enchê-lo, secá-lo com papel toalha e pesá-lo. Por diferença de massas, calcular a massa dessa solução e, a partir do volume aferido, a densidade.

Medidas relacionadas com a elevação capilar

Nessa experiência, o tubo capilar é um instrumento de medida, portanto, a aferição do raio interno também se faz necessária. Assim, cada grupo deve mergulhar completamente um tubo capilar num tubo de ensaio contendo água destilada durante 30 minutos. Assegurar que não fiquem bolhas de ar no capilar para garantir a molhabilidade do vidro. Após o período de imersão, despejar a água do tubo de ensaio e, com uma pinça, retirar o capilar. Posicionar verticalmente uma

régua sobre um béquer contendo 25 mL de água destilada e fixar o capilar sobre a régua com uma fita adesiva, de modo que a sua parte inferior fique abaixo do nível do líquido no mínimo 0,5 cm (Figura 2b). Encostar o paquímetro sobre a régua e, mediante sua haste de profundidade, realizar a medida da altura da água no tubo capilar (Figura 2c). Consultar na literatura a tensão superficial da água à temperatura de trabalho e, com auxílio da densidade, calcular o raio médio do tubo capilar (Equação 1). Em seguida, esvaziar o capilar com a ajuda de papel toalha e enxaguá-lo por imersão dentro de um tubo de ensaio contendo a solução de etanol. Transferir a solução contida no picnômetro para um béquer, fixar o capilar sobre a régua e realizar a medida da elevação capilar da solução.

Para maior organização e aproveitamento da aula prática, recomenda-se a divisão dos alunos em 10 grupos, em consonância com 10 soluções de etanol de diferentes concentrações. Desse modo, cada grupo realizará medidas com um picnômetro, com um tubo capilar em água destilada e em uma das soluções de etanol.

Determinação do teor alcoólico da vodca

A partir das soluções das duas bebidas alcoólicas preparadas pelo professor, recomenda-se que metade dos grupos de alunos trabalhe com uma solução de uma marca de vodca, e a outra metade, com outra marca para determinar a densidade e a elevação capilar a fim de calcular a tensão superficial como descrito anteriormente.

Resultados e discussão

Uma vez finalizadas as etapas de aquisição dos dados, nas quais se teve a possibilidade de se realizar a mediação semiótica de conceitos, símbolos, equações e gráficos, iniciou-se a etapa de análise e discussão. As densidades das soluções aquosas de etanol, obtidas mediante um picnômetro, foram organizadas em função da concentração (Figura 3a). Os resultados foram coerentes com dados de densidades provenientes da literatura (Handbook, 1971; 1972). A densidade diminui com o aumento de etanol ($\rho^{20^\circ\text{C}} = 0,7892 \text{ g/cm}^3$) por ser este menos denso que a água ($\rho^{20^\circ\text{C}} = 0,9982 \text{ g/cm}^3$). Os valores de tensão superficial das soluções foram calculados a partir das medidas de densidade e de elevação capilar (Equação 1) e colocados num gráfico em função da concentração de etanol (Figura 3b). Observa-se claramente

que a tensão superficial diminui com o aumento da concentração de etanol. A água tem elevada tensão superficial ($\gamma^{20^\circ\text{C}} = 72,8 \text{ mN/m}$) devido principalmente à presença de ligações de hidrogênio, de maior intensidade dentre todas as demais interações intermoleculares (Rocha, 2001). À medida que se aumenta a relação etanol/água, essas ligações vão diminuindo em número (de 4 para 3 por molécula) e também vão diminuindo em intensidade as interações dipolo-dipolo (de 1,85 para 1,69 Debyes por molécula). Em consequência, as forças coesivas diminuem. A boa concordância entre os resultados obtidos com aqueles em que se utiliza um tensiômetro (Vasquez et al., 1995) a uma mesma temperatura denota a validade da Equação 1 e a eficiência do método de elevação capilar utilizado neste trabalho.

Nas Figuras 4a e 4b, são apresentadas as curvas de densidade e de tensão superficial *versus* concentração (Figuras 3a e 3b, resultados deste trabalho), das quais foram determinados os teores alcoólicos de duas diferentes soluções de vodca-água 1:1. As vodcas utilizadas neste trabalho são de procedência nacional e com teores alcoólicos de 38% v/v a 20 °C. Pode ser observado que os teores determinados mediante medidas de densidade (A = 19,0 e B = 19,5% v/v) e de valores calculados de tensão superficial (A = 19,3 e B = 19,5% v/v) são muito próximos do teor considerado verdadeiro (19,5%

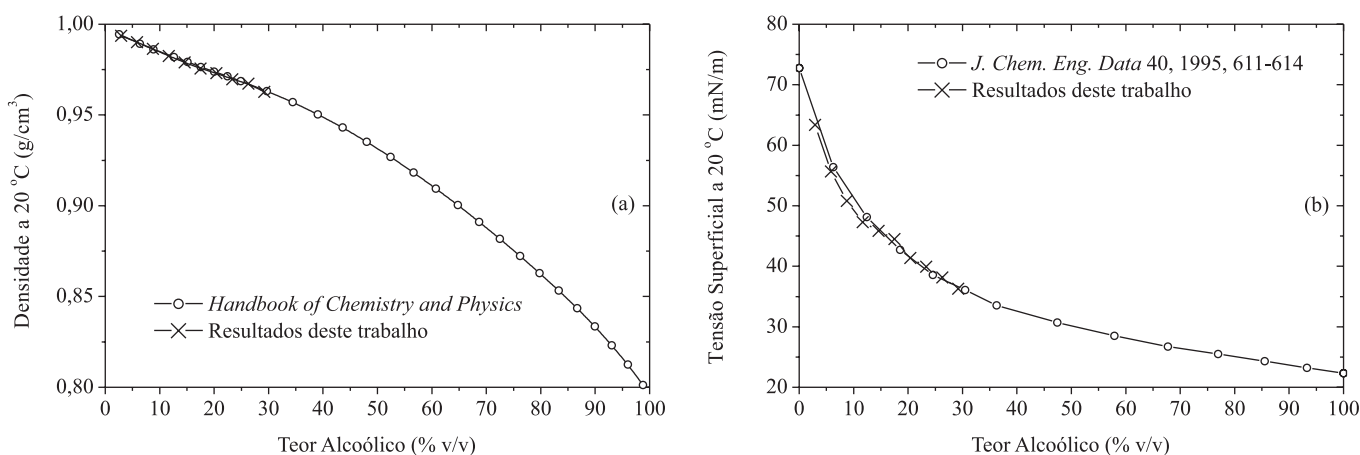


Figura 3: Comparação das densidades (a) e das tensões superficiais (b) obtidas neste trabalho com dados da literatura.

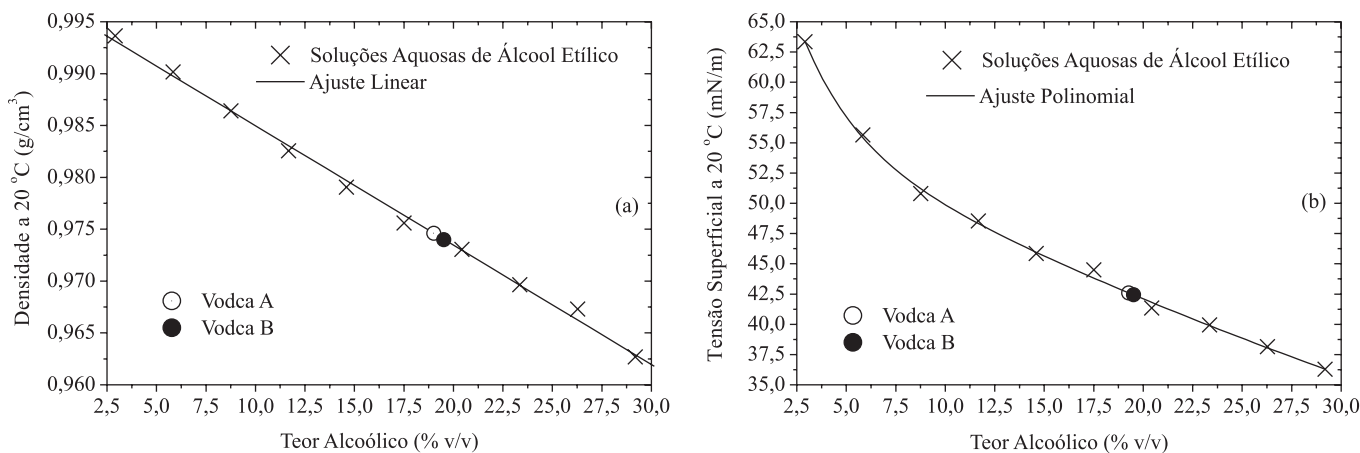


Figura 4: Densidades (a) e tensões superficiais (b) das soluções de etanol e das vodcas diluídas.

v/v). Isso sugere que os componentes minoritários presentes nessa bebida (acetaldeído, acetato de etila e ácido acético) não alteram significativamente nem distintamente essas propriedades. Infere-se que essa metodologia aplica-se com sucesso a diferentes vodcas pelo fato de essas bebidas serem constituídas basicamente de etanol e água.

Considerações finais

Nesta proposta, apresentou-se uma atividade experimental que pudesse oferecer oportunidades para a abordagem e articulação de conceitos básicos de forma multidisciplinar. O método adotado é simples e rápido. Os materiais são comuns num laboratório e os reagentes são baratos, de fácil aquisição e descarte. O tema ainda torna possível uma contextualização social pela própria problemática que representa o consumo de bebidas alcoólicas na adolescência.

Outros métodos para determinar a tensão superficial, como o da pressão máxima da bolha, o do peso da gota e o

do anel de duNoüy são discutidos nas obras da seção **Para saber mais**.

Agradecimentos

FAPESP e CNPq, pelo apoio financeiro.

Ednilson Luiz Silva Vaz (ednilson_vaz@hotmail.com) é licenciado em Física pela Universidade Estadual Paulista (FEG-UNESP). Guaratinguetá, SP - BR. **Marco Aurélio Alvarenga Monteiro** (marco.aurelio.feg@gmail.com), licenciado em Física pela FEG-UNESP, doutor em Educação para a Ciência pela UNESP, é docente da FEG-UNESP. Guaratinguetá, SP - BR. **Isabel Cristina de Castro Monteiro** (monteiro@feg.unesp.br), licenciada em Física pela FEG-UNESP, doutora em Educação para a Ciência pela UNESP, é docente da FEG-UNESP. Guaratinguetá, SP - BR. **Heloisa Andréa Acciari** (heloisa@feg.unesp.br), bacharel e licenciada em Química pela Universidade de São Paulo (FFCL-USP/RP), mestre e doutora em Química pelo Instituto de Química de Araraquara (IQ-UNESP), é docente da FEG-UNESP. Guaratinguetá, SP - BR. **Eduardo Norberto Codaro** (codaro@feg.unesp.br), licenciado em Ciências Químicas, doutor em Ciências Químicas pela Universidad Nacional de La Plata (UNLP), é docente da FEG-UNESP. Guaratinguetá, SP - BR.

Referências

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Regulamento técnico para a fixação dos padrões de identidade e qualidade para vodca*. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/barreirastecnicas/pontofocal/..%5Cpontofocal%5Ctextos%5Cregulamentos%5CBRA_278.pdf. Acesso em: jul. 2013.

HANDBOOK of Chemistry and Physics. 52nd ed. Cleveland: The Chemical Rubber, 1971-1972. p. D-188.

MENEZES, E. T.; SANTOS, T. H. *Multidisciplinaridade*. Disponível em: <http://www.educabrazil.com.br/eb/dic/dicionario.asp?id=90>. Acesso em: jul. 2013.

O'CONNOR, R. *Introdução à química*. São Paulo: Harper & Row, 1977.

ROCHA, W.R. Interações intermoleculares. *Cadernos Temáticos de Quím. nova esc. – São Paulo-SP, BR.*, n. 4, p. 31-36, 2001.

ROSSI, A. B.; MASSAROTTO, A. M.; GARCIA, F. B. T.; ANSELMO, G. R. T.; DE MARCO, I. L. G.; CURRALERO, I. C. B.; TERRA, J.; ZANINI, S. M. C. Reflexões sobre o que se ensina e o que se aprende sobre densidade a partir da escolarização. *Quím. nova esc. – São Paulo-SP, BR.*, v. 30, p. 55-60, 2008.

VÁZQUEZ, G.; ALVAREZ, E.; NAVAZA, J. M. Surface tension of alcohol + water from 20 to 50 °C, *Journal of Chemical and Engineering Data*, v. 40, p. 611-614, 1995.

TAGLIARO, A. *Física*. 13. ed. São Paulo: FTD; Irmãos Maristas, 1966.

Para saber mais

ADAMSON, A. W.; GAST, A.P. *Physical chemistry of surfaces*. 6th ed. New York: John Wiley & Sons, 1997.

MOORE, W. J. *Físico-química*. V. 2. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

Abstract: *Determination of Alcoholic Content in Vodkas: a Multidisciplinary Approach in Teaching of Physics, Chemistry and Mathematics.* In this paper, it is proposed an experimental activity to be developed with high school students, addressing the concepts of density and surface tension from a multidisciplinary approach among Physics, Chemistry and Mathematics. In this proposal, students are challenged to determine the alcohol content of vodkas from intensive physical properties of liquids. Two calibration curves were obtained, one for density and another for surface tension as a function of ethanol concentration in water. The alcohol levels obtained from these properties were very close to the values given by manufacturers, due the similarity of these beverages with ethanol-water binary mixtures.

Keywords: Density, Surface tension, Vodka.