

## Uma Atividade Experimental para o Entendimento do Conceito de Viscosidade

**Matheus M. Sampaio, Ednilson L. S. Vaz, Marco A. A. Monteiro, Heloisa A. Acciari e Eduardo N. Codaro**

A simples definição de viscosidade, normalmente apresentada como a resistência de um fluido ao escoamento, não permite ao estudante compreendê-la como uma propriedade intrínseca da matéria. Neste trabalho, é proposta uma atividade experimental com o objetivo de problematizar a origem dessa propriedade a partir do modelo atômico-molecular. Para tanto, foi medido o tempo de escoamento de soluções de sacarose de diferentes concentrações e, a partir da construção de uma curva de calibração, foi determinada a concentração de sacarose no caldo de cana. A análise detalhada dos resultados deixa clara a estreita relação que existe entre as forças intermoleculares e a resistência ao escoamento, possibilitando, dessa forma, uma associação entre o aumento das forças atrativas entre as moléculas e o aumento da viscosidade.

► viscosidade, sacarose, caldo de cana-de-açúcar ◀

Recebido em 11/03/2013, aceito em 24/08/2014

232

O modelo de ensino baseado na transmissão de conhecimento, a partir do qual o professor fala e o aluno escuta, não contribui para uma aprendizagem significativa da ciência. Sem resgatar os pressupostos empiristas, que evidenciam a primazia da experimentação na construção do conhecimento, esta pode contribuir significativamente para a melhoria da qualidade do ensino de ciências praticado em nossas escolas por permitir o desencadeamento de interações sociais úteis ao processo de ensino e de aprendizagem (Monteiro et al., 2013).

Mais importante do que a memorização de conceitos, princípios e leis, é a construção de argumentos que justificam os resultados obtidos, favorecendo assim um modelo de ensino de ciências mais coerente com a natureza da ciência e do fazer científico (Driver et al., 2000). O conhecimento científico é construído de forma social, ou seja, nenhum conjunto de dados experimentais transforma-se em enunciado científico sem que antes evidências experimentais sejam explicadas e

modelos sejam elaborados, discutidos e debatidos em congressos e artigos. Por isso, tão importante quanto a realização de experimentos para a tomada de dados, é a possibilidade de os alunos investigarem, discutirem, avaliarem e valorizarem o enunciado científico (Astolfi; Develay, 1994). Contudo, ainda existem dificuldades para o professor propor e desenvolver práticas de laboratório devido à precária infraestrutura existente nas escolas e ao despreparo docente para planejar e dirigir esse tipo de atividade didática (Carvalho et al., 2003; Laburú et al., 2007). Nesse contexto, é apresentada uma proposta simples que descreve com detalhes a maneira como a atividade experimental deve ser realizada e como a análise dos resultados pode ser orientada, de modo a desencadear discussões importantes com os alunos sobre o conceito de viscosidade. Esse conceito está relacionado com a ideia de escoamento e pode ser introduzido quando se comparam diferentes líquidos ao se questionar, por exemplo: por que a água escoar mais rapidamente que o mel? No entanto, como definir o escoamento a partir de um modelo explicativo? Como destaca Bachelard (1996): “para o espírito científico, todo conhecimento é uma resposta a uma pergunta”.

No estado sólido, as moléculas estão próximas e mais fortemente ligadas, formando parte de uma estrutura ordenada,

A seção “Experimentação no ensino de Química” descreve experimentos cuja implementação e interpretação contribuem para a construção de conceitos científicos por parte dos alunos. Os materiais e reagentes usados são facilmente encontráveis, permitindo a realização dos experimentos em qualquer escola.

enquanto que no estado líquido, estas se encontram mais afastadas. Isso torna possível que as moléculas nos líquidos deslizem umas sobre as outras, produzindo um movimento relativo entre elas. As forças de interação entre moléculas nos sólidos não permitem esse tipo de movimento. Portanto, pode-se deduzir que o escoamento depende da maneira como as moléculas interagem entre si. Os alunos podem ser convidados a imaginar e propor, mediante desenhos e esquemas, modelos de organização das moléculas que facilitam ou dificultam o escoamento: caracterizando desde o estado sólido, quando a dificuldade de escoamento é máxima, até o estado líquido, cuja dificuldade é mínima.

O professor pode apresentar os modelos de arranjo molecular, cientificamente aceitos, e discutir o fato de essas estruturas serem resultado do balanço entre as forças de atração (dipolo induzido, dipolo-dipolo e ligação de hidrogênio), de repulsão (oriundas da interação entre as nuvens eletrônicas e entre os núcleos atômicos) e a desordem resultante de seus movimentos térmicos a uma dada temperatura (Rocha, 2001). Dessa forma, será mais fácil para o aluno entender que a viscosidade é uma das propriedades dos líquidos que mede a resistência ao escoamento, ou seja, a dificuldade das moléculas em movimentarem-se umas com relação às outras. Assim, quanto mais intensas as forças de atração, mais lento o movimento das moléculas e maior a viscosidade (Slabaugh; Parsons, 1980).

Além de uma abordagem qualitativa, a atividade experimental permite também analisar e discutir como a viscosidade de uma solução pode variar com o aumento da concentração. Com esse objetivo, propõem-se medidas de tempo de escoamento de soluções de sacarose de diferentes concentrações em um dispositivo simples adaptado do viscosímetro de copo Ford (Figura 1[a, b]) (ABNT, 1986). Desse modo, determina-se o tempo que um volume fixo de líquido demora em escoar por meio de um orifício circular, de diâmetro predefinido existente no fundo de um recipiente. Assim, um tempo maior é atribuído a um líquido mais viscoso. Com os dados obtidos, constrói-se uma curva de calibração, que permite estimar a concentração de sacarose no caldo de cana (garapa). Essa bebida popular foi escolhida por apresentar uma elevada concentração de carboidratos

solúveis como sacarose, glicose e frutose, dos quais a sacarose encontra-se em uma proporção em massa muito maior (sacarose/glicose+frutose) > 8,7 (Oliveira et al., 2006; Prati et al., 2005).

## Parte experimental

### Materiais e reagentes

Os materiais e reagentes necessários para a realização da experiência são: 6 garrafas PET (Tereftalato de polietileno) de 600 mL; 6 provetas de 100 mL; 6 béqueres de 250 mL; 6 suportes universais; 6 garras metálicas; 6 argolas metálicas; 1 balança semianalítica; 6 cronômetros; 1 peneira; 1 furadeira com broca de 2,00 mm de diâmetro; 120 g de açúcar de cozinha ( $\geq 99,5\%$  de sacarose); 480 mL de água destilada; 480 mL de garapa.

### Planejamento das atividades do professor

O professor deve preparar com antecedência as soluções de sacarose descritas na Tabela 1, as quais serão utilizadas pelos alunos na construção da curva de calibração. Para definir o intervalo de concentrações dessa tabela, foram tomados como referência valores de sólidos solúveis encontrados frequentemente nas garapas: de 15 a 25 °Brix (Prati et al., 2005; Oliveira et al., 2006). Brix é uma medida de concentração similar a % em massa, que expressa a quantidade em gramas de sólidos solúveis em 100 gramas de solução. Essa medida é muito utilizada na indústria de alimentos para expressar a concentração de caldas, xaropes e sucos. Com o intuito de facilitar a preparação das soluções, evitando números decimais nas medidas de massas e de volumes e, conseqüentemente, o uso de um instrumento mais preciso, foi considerada a densidade da água igual a 1,0 g/cm<sup>3</sup> que, à temperatura comum dos laboratórios, significa um erro relativo na concentração Brix menor que 0,5%.

Tabela 1: Soluções de sacarose para a construção da curva de calibração.

| g de sacarose | mL de água | Concentração aproximada em °Brix |
|---------------|------------|----------------------------------|
| 0             | 100        | 0                                |
| 8             | 92         | 8                                |
| 16            | 84         | 16                               |
| 24            | 76         | 24                               |
| 32            | 68         | 32                               |
| 40            | 60         | 40                               |

### Planejamento das atividades dos alunos

Para maior organização e aproveitamento da aula prática, recomenda-se a divisão dos alunos em seis grupos, em consonância com seis soluções de sacarose de diferentes

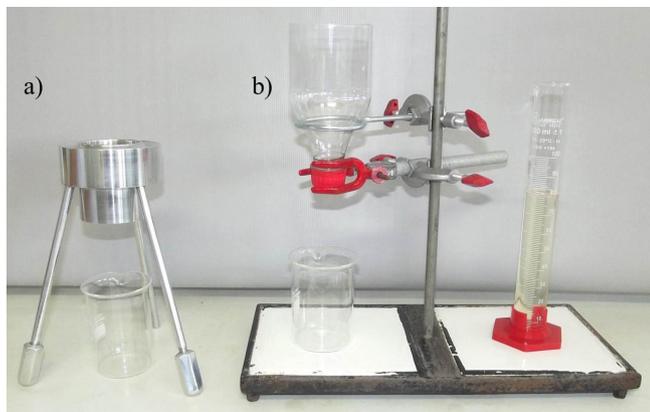


Figura 1: Viscosímetro copo Ford (a) e viscosímetro de orifício usado nessa experiência (b).

concentrações. Desse modo, cada grupo deverá realizar duas medidas em triplicata: a primeira com a solução de sacarose e a segunda com a garapa. Para tal fim, cortar a garrafa PET no meio e fixá-la em posição vertical no suporte universal; a seguir, colocar um béquer abaixo desta para coletar a solução (Figura 1b). Fechar o orifício com o dedo indicador de uma das mãos e adicionar lentamente 80 mL de solução na garrafa, evitando a formação de bolhas ou de espuma. Retirar o dedo do orifício, acionando simultaneamente um cronômetro com a outra mão. Medir o tempo transcorrido até a primeira interrupção do fluxo. Realizar no mínimo cinco replicatas e calcular o valor médio do tempo de escoamento. Lavar a garrafa e o béquer com água destilada e secá-los com papel toalha. Peneirar a garapa para separar os sólidos dispersos provenientes do bagaço, que podem dificultar o livre escoamento desse líquido pelo orifício. Repetir o mesmo procedimento de medida com um volume de garapa igual ao usado com a solução de sacarose. Os dados coletados pelos grupos devem ser colocados num único gráfico (concentração de sacarose vs. tempo de escoamento). Neste, traçar uma curva que melhor se aproxime desses pontos e, a partir desta, calcular a concentração de sacarose na garapa.

## Resultados e discussão

A Figura 2 mostra uma curva de calibração obtida com o copo Ford e outra com o dispositivo utilizado nessa experiência. As duas são semelhantes, quase paralelas, com um deslocamento da última curva para tempos maiores por ser o orifício do dispositivo levemente menor que aquele do copo Ford. O professor pode questionar as ideias dos alunos sobre o porquê dessa dependência da concentração com o tempo. Nesse ponto da aula, o professor pode propor que os alunos retomem as ideias discutidas sobre o modelo de arranjo das moléculas que facilitam ou dificultam o escoamento. A intenção é que os alunos possam estabelecer relação entre as características intrínsecas que conduzem à solubilidade do soluto no solvente e à viscosidade resultante da solução.

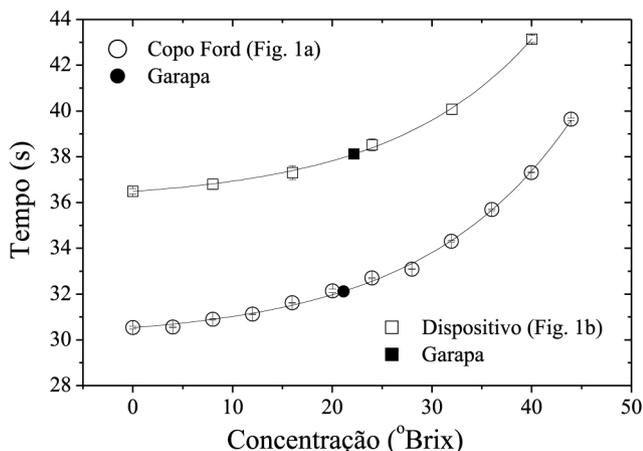


Figura 2: Curva de calibração e determinação da concentração de sacarose na garapa.

Uma atenção especial deve ser dada à natureza do soluto e do solvente. Quando esses dois componentes tiverem forças intermoleculares do mesmo tipo, formarão uma solução, cujas propriedades dependem da proporção relativa dessas substâncias. As forças intermoleculares preponderantes nesse caso correspondem às ligações de hidrogênio. Na molécula de água, o átomo de O apresenta dois pares de elétrons não compartilhados, que podem formar ligações de origem eletrostática com os átomos de H de duas moléculas vizinhas. Entretanto, os dois átomos de H ligados covalentemente a esse átomo de O também podem formar ligações com os átomos de oxigênio de outras duas moléculas, gerando assim uma estrutura com alto grau de associação (Figura 3a). Esse tipo de associação também está presente em outros compostos covalentes como os álcoois, ácidos carboxílicos, carboidratos e permite explicar suas elevadas solubilidades mediante as ligações de hidrogênio que se estabelecem entre os grupos hidroxilas (-OH), carbonilas (=CO) e as moléculas de água. Em particular, a sacarose ou 1-O-(β-D-Frutofuranosil)-α-D-glicopiranosose (Figura 3b), por ser um poliálcool, pode reagir ou se associar de maneira similar aos álcoois (Bettelheim et al., 2012; Boscolo, 2003).

Para explicar o efeito dessas ligações na viscosidade, pode-se imaginar a preparação de uma solução aquosa como sendo a substituição progressiva de moléculas de água por moléculas de sacarose até que se alcance a concentração desejada. À medida que aumenta a relação sacarose/água, o número de ligações de hidrogênio aumenta de quatro para oito por molécula substituída, de acordo com o número de grupos -OH ligados aos carbonos 1', 2, 3, 3', 4, 4', 6 e 6' da sacarose. Dessa maneira, as forças atrativas entre as moléculas aumentam e a solução torna-se mais viscosa que o solvente puro.

A falta de uma proporcionalidade direta na Figura 2 pode gerar alguma dificuldade na compreensão dos fatos, o que de certa forma é positivo por fomentar a discussão acerca dos referidos resultados. Fica evidente que a viscosidade não depende exclusivamente das forças intermoleculares, mas sim de uma combinação de fatores como o tamanho, a forma e a massa das moléculas. Assim, o comportamento observado pode estar vinculado ao maior tamanho das moléculas de sacarose em relação às de água. À medida que aumenta a concentração da solução, o movimento de moléculas de sacarose começa a ser dificultado pela presença das outras, aumentando significativamente o tempo de escoamento.

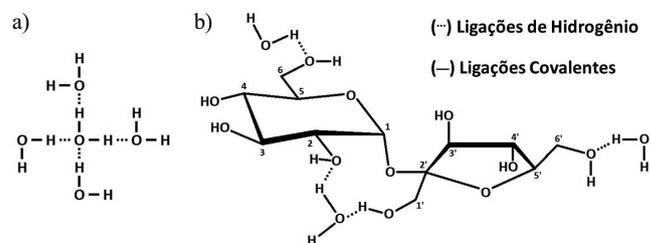


Figura 3: Representação simplificada das ligações na água (a) e na sacarose (b).

A partir da Figura 2, é possível determinar, de forma aproximada, a concentração de sacarose na garapa, sendo 21,1 °Brix com o copo Ford e de 22,1 °Brix com o dispositivo. Apesar da complexa composição da garapa, essas concentrações são muito próximas dos valores obtidos por densitometria (22,3 °Brix) e por refractometria (22,2 °Brix) à mesma temperatura (20 °C) (IAL, 2008).

### Considerações finais

O objetivo principal deste trabalho foi apresentar uma atividade experimental simples e de baixo custo, que possibilita ao professor explorar o conceito de viscosidade e sua relação com as forças atrativas que se estabelecem em nível molecular. Além de uma análise qualitativa do processo de escoamento e do conceito de viscosidade, é possível

uma abordagem quantitativa que envolve tomada de dados experimentais e sua representação em tabelas e gráficos. A atividade, portanto, apresenta características que podem contribuir para o desenvolvimento da capacidade argumentativa dos alunos, tendo em vista um enfoque que visa não apenas ilustrar um conceito, mas discutir um modelo que busca explicar o fenômeno observado.

**Matheus de Moura Sampaio** (matheus@feg.unesp.br) é técnico químico. Guaratinguetá, SP – BR. **Ednilson Luiz Silva Vaz** (ednilson\_vaz@hotmail.com) é licenciado em Física. Guaratinguetá, SP – BR. **Marco Aurélio Alvarenga Monteiro** (marco.aurelio@feg.unesp.br) é professor doutor em Física. Guaratinguetá, SP – BR. **Heloisa Andréa Acciari** (heloisa@feg.unesp.br) é professora doutora em Química. Guaratinguetá, SP – BR. **Eduardo Norberto Codaro** (codaro@feg.unesp.br) é professor doutor em Química. Guaratinguetá, SP – BR. Departamento de Física e Química, Faculdade de Engenharia da UNESP.

### Referências

ASTOLFI, J.P.; DEVELAY, M.A. *A didática das ciências*. Trad. Magda S.S. Fonseca. São Paulo: Papirus, 1994.

ABNT. *NBR 5849: Tintas – Determinação de viscosidade pelo Copo Ford*. Mar. 1986.

BACHELARD, G. *A formação do espírito científico*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BOSCOLO, M. Sucroquímica: síntese e potencialidades de aplicações de alguns derivados químicos da sacarose. *Química Nova*, v. 26, p. 906-912, 2003.

CARVALHO, W.L.P.; CORDEIRO, M. A. M.; CHICARINO, A.G.P.; SIQUEIRA, A.F.; SOUZA, A.U.; CURSINATO, R.; TAYAMA, T. O laboratório didático e o desenvolvimento do conhecimento pedagógico do conteúdo de professores de química. In: GARCIA, W. G.; GUEDES, A. M. (Org.). *Núcleos de ensino*. São Paulo: Unesp, Pró-Reitoria de Graduação, p. 306-317, 2003.

DRIVER, R.; NEWTON, P.; OSBORNE, J. Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, v. 8, n. 4, p. 287-312, 2000.

LABURÚ, C.E.; BARROS, M.A.; KANBACH, B.G. A relação com o saber profissional do professor de física e o fracasso da implementação de atividades experimentais no ensino médio. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p. 305-320, 2007.

MONTEIRO, M.A.A.; DE CASTRO MONTEIRO, I.C.;

GERMANO, E.; SILVÉRIO J.; SIEVERS, F. Protótipo de uma atividade experimental para o estudo da cinemática realizada remotamente. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 30, n. 1, p. 191-208, 2013.

IAL. Instituto Adolfo Lutz. Normas analíticas. In: *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. 4ª ed. São Paulo: IAL, 2008.

OLIVEIRA, A.C.G.; NOGUEIRA, F.A.G.; ZANÃO, C.F.P.; SOUZA, C.W.O.; SPOTO, M.H.F. Análise das condições do caldo de cana em vias públicas de municípios paulistas. *Segurança Alimentar e Nutricional*, v. 13, p. 6-18, 2006.

PRATI, P.; MORETTI, R.H.; CARDELLO, H.M.A.B. Elaboração de bebida composta por mistura de garapa parcialmente clarificada-estabilizada e sucos de frutas ácidas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 25, p. 147-152, 2005.

ROCHA, W.R. Interações intermoleculares. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, n. 4, p. 31-36, 2001.

SLABAUGH, W.H.; PARSONS, T.D. *Química geral*. Rio de Janeiro: LTC, 1980.

### Para saber mais

BROWN, T.L.; LEMAY, H.E.; BURSTEN, B.E.; BURDGE, J.R. *Química: a ciência central*. 9. ed. São Paulo: Pearson Education, 2005.

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

**Abstract:** An experimental activity for understanding of the viscosity concept. The own definition of viscosity, usually presented as a fluid resistance to flow, does not permit that the student understands it as an intrinsic property of matter. In this work, it was proposed an experimental activity aiming to problematize and better discuss this origin property from the atomic-molecular model. Thus, the flow time of the different sucrose solutions was measured and a calibration curve was constructed. From this curve, sucrose concentration in sugarcane juice was determined. Detailed analysis of the results clearly shows the close relationship between the intermolecular forces and the flow resistance, thus allowing a correlation between an increase of attractive forces between the molecules and increase of viscosity.

**Keywords:** viscosity; sucrose; sugar cane juice.