

# Desfazendo o Mito

## da Combustão da Vela para Medir o Teor de Oxigênio no Ar

Per Christian Braathen

Este artigo procura desfazer o entendimento bastante difundido entre professores de ciências e química de que o teor aproximado do oxigênio no ar pode ser satisfatoriamente determinado por meio da combustão de uma vela dentro de um cilindro invertido num recipiente com água. Em seguida, resgata, com importantes adaptações, um método fácil, rápido e econômico para esta determinação.

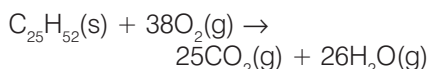
► ar, oxigênio, teor de oxigênio ◀

### Introdução

Durante décadas, professores de ciências e de química, incluindo o autor deste trabalho, acreditaram que se poderia determinar o teor de oxigênio no ar através da combustão de uma vela, afixada no fundo de uma bacia com água, e sobre a qual se invertia um cilindro graduado, como indicado na Figura 1.

A explicação desta metodologia é que a combustão da vela consome **todo** o oxigênio contido no ar.

Supondo que a vela seja constituída apenas por pentacosano (na verdade, a vela é uma mistura de vários hidrocarbonetos sólidos), a reação de combustão poderia ser representado pela equação:



Como podemos ver pela equação sugerida, os produtos da combustão são gás carbônico e vapor d'água. A pressuposição fundamental do método é que o vapor d'água se condensa e o gás carbônico, por ser muito solúvel em água, dissolve-se rapidamente.

Como consequência da remoção do gás oxigênio, a pressão dentro do cilindro diminui e a água da bacia sobe pelo cilindro até uma altura que corresponde

ao volume ocupado pelo gás oxigênio. Comparando-se este volume com o volume total do cilindro, calcula-se o teor de oxigênio no ar em porcentagem v/v.

Este assunto foi debatido repetidamente no *Journal of Chemical Education* nos últimos anos, inclusive com um suposto refinamento do método de combustão descrito por Fang (1998), em janeiro de 1998. O editorial de John Moore (1999), editor chefe daquele periódico, e o artigo de Birk e Lawson (1999), no número de julho de 1999, finalmente colocam uma "pá de cal" nesse método.

Como a composição do ar que respiramos e, principalmente o teor de oxigênio, é de interesse evidente no ensino de ciências e de química, faremos neste trabalho algumas considerações sobre as falácias desse método e resgataremos, com uma importante modificação, um método simples e reproduzível descrito por Birk, McGrath e Gunter em 1981 (Birk *et al.*, 1981).

### As falácias do método

Muitas são as falácias deste decantado método de determinação do teor de oxigênio no ar. Entre estas, as principais são: (a) que o gás carbônico formado se dissolve rapidamente, devido à sua "grande" solubilidade em água

e (b) que a combustão é completa. Na verdade o processo de dissolução é bem lento (Birk e Lawson, 1999) e a combustão não é completa.

A prova mais contundente de que o oxigênio não é totalmente (nem aproximadamente) removido do ar contido no cilindro pela combustão da vela é uma experiência, realizada por Birk & Lawson (1999), em que se queima uma vela sob uma campânula na presença de um rato, conforme ilustrado pela Figura 2.

Nesta simples experiência verifica-se que o rato continua bastante ativo, e sem sinal de falta de oxigênio, muito depois de a vela se apagar. Ou seja, a vela se apaga bem antes de consumir todo o oxigênio contido na campânula. Além disto, é notório que, na

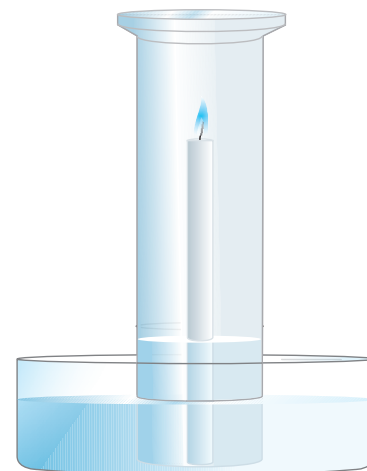


Figura 1.

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.



Figura 2.

presença de “pouco” oxigênio (no final da combustão da vela), a combustão será incompleta, com formação de monóxido de carbono, que é muito pouco solúvel em água.

Uma pergunta importante: por que o método da combustão da vela continuou sendo usado por tanto tempo? A resposta é simples: os resultados obtidos freqüentemente são bastante coerentes com o percentual de 21% v/v de  $O_2$  no ar. Como diz John Moore no editorial do *Journal of Chemical Education* de julho de 1999: “Mais importante do que obter a resposta certa é obter certo a resposta”. O método da combustão da vela é um excelente exemplo de como se pode obter a resposta “certa” pelas razões erradas. Em outras palavras, o mito da combustão da vela para a determinação do teor de oxigênio no ar sobreviveu durante décadas porque uma série de fatores aparentemente “conspiraram” para a obtenção de resultados coerentes com o teor esperado. Durante a combustão ocorre aumento de temperatura, que ocasiona expansão e possível escape de gases. Depois, ocorre resfriamento e contração do volume. Uma parte do oxigênio é de fato consumida. Uma parte do  $CO_2$  de fato dissolve-se e, assim, o resultado obtido regularmente parece revelar a “verdade”.

### Resgatando e adaptando um método simples de se determinar o teor de oxigênio no ar

Determinar o teor de oxigênio é importante no ensino de ciências e de química (tendo em vista a importância desta substância para a vida na terra) e para caracterizar que o ar é uma mistura em que o oxigênio é apenas um dos

componentes. Muitos métodos existem para esta determinação descritos na literatura (método do pirogalol, método do fósforo branco, método do cobre em meio amoniacal etc.<sup>1</sup>), mas a maioria não atende aos critérios fundamentais para o ensino experimental de ciências e química em nível fundamental e médio, ou seja, segurança, rapidez, exatidão, reprodutibilidade e, principalmente, equipamentos e reagentes simples, acessíveis, de fácil e segura manipulação.

Maldaner em seu livro *Construção de Conceitos Fundamentais* (Maldaner, 1992) descreve um método muito simples, recomendado também pelo GEPEQ do Instituto de Química da USP em livro de laboratório (GEPEQ, 1999), que consiste na oxidação de palha de aço no fundo de uma proveta emborcada num recipiente com água, que atende a todos os quesitos citados acima, exceto rapidez. Os autores sugerem de dois a três dias.

Entretanto, Birk *et al.* (1981) descreveram um método, baseado na mesma reação, reprodutível e razoavelmente exato para a determinação do teor de oxigênio no ar, mas que leva apenas de 20 min a 30 min. Consiste na oxidação rápida de ferro contido em palha de aço, previamente tratado com ácido acético em variadas concentrações, desde o glacial (17,5 mol/L) até soluções diluídas como, por exemplo, 0,25 mol/L.

Como o ácido acético não é um reagente de fácil acesso aos professores do ensino fundamental e médio, o autor deste trabalho testou e modificou o procedimento descrito pelos autores acima substituindo-o por vinagre (aproximadamente 0,8 mol/L em ácido acético) e por vinagre diluído com água na proporção 1:1, obtendo os melhores resultados com o vinagre diluído. Além disso sugere-se o uso de uma proveta de 100 mL, em vez de 25 mL, e aproximadamente 4 g de palha de aço, ao invés de aproximadamente 1 g, para tornar o experimento mais visível e convincente.

O experimento é executado como segue. A metade de uma bucha de palha de aço (aproximadamente 4 g) é embebida em vinagre (puro ou diluído com água) num copo e revolvida rapidamente neste vinagre por aproximadamente 1 min. Em seguida, a bucha é

sacudida vigorosamente numa pia para eliminar a maior parte do vinagre e rapidamente introduzida no fundo de uma proveta de 100 mL, que, logo em seguida, é emborcada em um béquer de 500 mL contendo água. Nessas condições, todo o oxigênio contido na proveta é consumido na oxidação da palha de aço em aproximadamente 20 min, e a água sobe para dentro da proveta até um nível correspondente ao volume de oxigênio removido. Na hora de medir este volume, deve-se tomar o cuidado de ajustar a proveta (elevá-la) de modo que os níveis de água dentro da proveta e dentro do béquer coincidam (para igualar a pressão interna e externa). O teor de oxigênio é então calculado, comparando-se o volume ocupado pela água dentro da proveta com o volume total da mesma. Todo o procedimento é ilustrado pela Figura 3.

À primeira vista, poder-se-ia ter a impressão de que o volume ocupado pela bucha de palha de aço levaria a um grande erro. Este não é o caso. A densidade do ferro é de aproximadamente 8 g/cm<sup>3</sup> e, assim, 4 g de palha de aço ocupariam aproximadamente 0,5 cm<sup>3</sup> ou 0,5 mL, o que levaria então a um erro de aproximadamente 0,5%. Obviamente, há outras fontes de erro, tais como a umidade do ar (vapor d'água), precisão nas medidas de volumes e assim por diante. Entretanto, o autor e equipes de estudantes encontraram, consistentemente, resultados entre 20% e 21%, que são perfeitamente aceitáveis à finalidade que se destina o experimento.

Na falta de uma proveta, esta pode ser substituída por um recipiente cilíndrico de plástico, preparado a partir de um frasco de xampu ou similar.

### Considerações sobre o papel do ácido acético

Vale a pena fazer algumas considerações sobre o papel do ácido acético neste experimento. Não temos dúvida que o principal papel do ácido acético é o de “limpar” a superfície da palha de ácido (removendo óxido etc.). Sem a limpeza com ácido acético, o experimento é muito lento (muitas horas e até dias, dependendo do tamanho da amostra de ar). Birk *et al.* (1981) relatam que ao usar ácido acético glacial

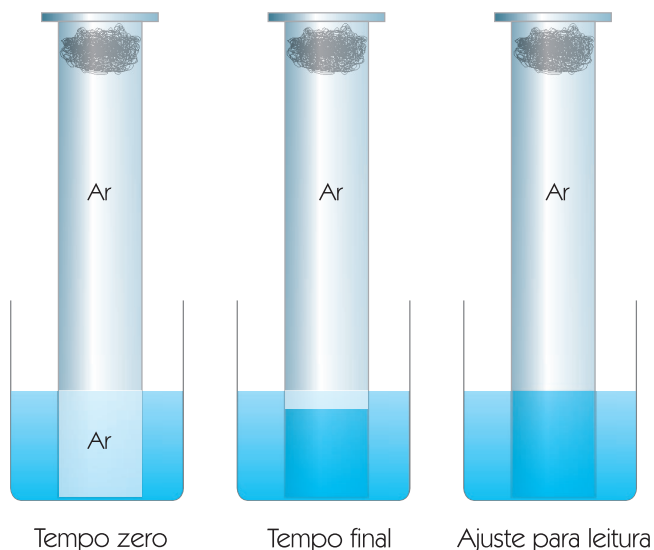


Figura 3.

é necessário lavar a palha de aço em água destilada antes de introduzi-la na proveta, para evitar a formação de hidrogênio gasoso. Entretanto, enfatizam que a remoção completa do ácido é prejudicial à velocidade do experimento, o que sugere que o ácido acético desempenha um possível papel catalisador. Esta noção é reforçada pelo fato que Birk *et al.* (1981) relatam que ao substituírem ácido acético por HCl 6 mol/L, o experimento leva duas vezes mais tempo (40 min) e com  $H_3PO_4$  6 mol/L leva mais de 2 h, não esclarecendo se neste caso a palha de aço é lavada com água após o tratamento. Em seu trabalho, originalmente apresentado no 179º Encontro Nacional da Sociedade Americana de Química, em 1980, os autores não oferecem nenhuma especulação sobre porque o ácido acético acelera a reação mais que os outros ácidos experimentados pelos autores. O fato de que todos estes ácidos liberam íons  $H^+(aq)$  e que a concentração destes íons não parece ser muito crítica, já que vinagre diluído dá resultados praticamente tão bons quanto o ácido acético glacial, sugere que os íons acetato desempenham um papel na aceleração do processo de oxidação da palha de aço. É um assunto que, sem dúvida, vale a pena ser mais explorado, em termos de possíveis mecanismos da reação. O autor pretende examinar mais a fundo este aspecto do método e conta com sugestões de colegas na elucidação deste aparente “mistério”.

## Considerações finais

Embora não tenha havido neste artigo a intenção de abordar a intenção de abordar a combustão *per se*, é pertinente ressaltar que experimentos relacionados à combustão (não apenas o da combustão da vela, mas também aquele do ovo que entra na garrafa, geralmente explicado de forma equivocada) devem ser tratados com muita cautela e reflexão, principalmente no ensino fundamental, no qual

são introduzidos pela primeira vez. Pesquisas realizadas, por exemplo por Johnson (1997), mostram que o fenômeno da combustão é de difícil compreensão por parte de alunos de diferentes níveis de escolaridade. Essas dificuldades estão relacionadas a diversos aspectos, dos quais destacamos:

- os alunos não parecem ter noção real do que seja um gás (uma amostra de gás não é vista como uma amostra de substância ou substâncias);
- a idéia de combustão requer longo tempo para ser desenvolvida;

- a idéia de interação entre os reagentes, formando novas substâncias, parece estar longe dos alunos;
- os alunos sabem que o oxigênio é necessário para a queima, mas não conseguem estabelecer qual é o seu real papel;

• alunos, de várias etapas de escolaridade, submetidos a um problema sobre queima de combustíveis em um automóvel, em sua grande maioria **não** admitem que a massa de gases produzidos na combustão de gasolina em um veículo é maior do que a massa de gasolina utilizada (esquecem o oxigênio).

Dificuldades desse tipo também têm sido observadas em alunos de graduação e professores. Talvez por isso, interpretações errôneas de experimentos sobre combustão sejam aceitas com naturalidade por todos e difundidas por décadas.

## NOTA

1. Veja, por exemplo, DAVENPORT e SABA, *J. Chem. Ed.*, v. 39, p. 617, 1962 e LINCOLN e KLUG, *J. Chem. Ed.*, v. 12, p. 375, 1935.

**Per Christian Braathen** (braathen@mail.ufr.br), licenciado em química (UERJ), mestre em química analítica (PUC/RJ) e doutor em educação científica (Univ de Wisconsin, EUA), é docente do Departamento de Química da Univ. Federal de Viçosa, em Viçosa - MG.

## Referências bibliográficas

- BIRK, J.P. e LAWSON, E. The persistence of the candle-and-cylinder misconception. *Journal of Chemical Education*, v. 76, n. 7, p. 914-916, 1999.
- BIRK, J.P.; MCGRATH, L e GUNTER, S.K. A general chemistry experiment for the determination of the oxygen content of air. *Journal of Chemical Education*, v. 58, n. 10, p. 804-805, 1981.
- FANG, C.-H. A simplified determination of percent oxygen in air. *Journal of Chemical Education*, v. 75, n. 1, p. 50-52, 1998.
- GEPEQ - GRUPO DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO QUÍMICA. *Livro de laboratório – Módulos III e IV – Interações e transformações I*. 5ª ed. São Paulo: Editora da USP, 1999.
- JOHNSON, P. Why combustion is one of the last things we should expect children to understand. ECRICE, York, 1997.
- MALDANER, O. A. *Construção de conceitos fundamentais*. Ijuí: Livraria UNIJUÍ, Editora, 1992.
- MOORE, J. Getting an answer right.

*Journal of Chemical Education*, v. 76, n. 7, p. 877, 1999.

## Para saber mais

Embora em inglês, recomendamos enfaticamente a leitura do artigo de Birk e Lawson (1999), que, ao nosso ver, acaba de vez com o mito da combustão da vela como método para a determinação do teor de oxigênio no ar.

Os livros de ensino médio dedicam muito pouco espaço ao ar e seus componentes. Livros de ciências do ensino fundamental apresentam um pouco mais, razão pela qual incluímos dois na relação de fontes para saber mais.

BARROS, C. e PAULINO, W.R. *Ciências – O meio ambiente, 5ª série*. São Paulo, Editora Ática, 1999.

FELTRE, R. *Fundamentos da química, volume único*. 2ª ed. São Paulo, Editora Moderna, 1998. Cap. 10.

GOWDAK, D. & MARTINS, E. *Ciências – Natureza e vida, 5ª série*. São Paulo, Editora FTD, 1998.