

Funções da química inorgânica ...funcionam?

Reinaldo Calixto de Campos
Reinaldo Carvalho Silva

A seção “Conceitos Científicos em Destaque” aborda de maneira crítica conceitos da ciência química ou de interesse dos químicos. Neste artigo, os autores focalizam o conceito de funções inorgânicas. Os autores analisam o conteúdo dos capítulos que abordam o conceito de funções da química inorgânica em 12 livros de química destinados ao nível médio. A partir da escolha de um dos livros como representante do grupo, o artigo apresenta uma crítica baseada na falta de coerência interna desses capítulos, sob a ótica da visão atual dos conceitos ácido-base, e na impropriedade didática de saturar os iniciantes de classificações e nomenclaturas.

► funções inorgânicas, conceitos ácido-base, livros didáticos ◀

18

Tendo ficado em sono profundo durante décadas, um homem acorda e percorre, espantado, o novo mundo que o cerca: as pessoas movem-se em máquinas que ele nunca vira antes. As casas são outras, de materiais que ele também desconhecia. Intrigado, encontra caixas de onde saem imagens e sons. As pessoas vestem-se de modo estranho. Assustado, refugia-se em um prédio onde, ao entrar em uma sala, depara com jovens sonolentos, fingindo prestar atenção em uma pessoa mais velha que lhes fala sobre algo que só a ela parece interessar. Uma suave sensação de alívio o envolve, aquela sensação de quem, numa terra estranha, encontra algo que conhece de longa data.

Essa parábola sobre o conservadorismo da escola nos remete, num primeiro momento, à questão da forma. Mas não é só na forma que a escola é conservadora, mas também — e talvez até mais — no conteúdo. Muda o mundo, avança o conhecimento, e o que se define como básico para ensinar continua o mesmo. Quando alguma

inovação se impõe, o método da adição é aplicado, ou seja, juntam-se tópicos e mais tópicos relativos a assuntos mais ou menos recentes, ‘modernizando-se’ o livro texto. Defendem-se alguns, dizendo que a ciência, sendo algo muito complexo para ser ensinado, necessita de facilitações, muitas vezes apenas “inocentemente” mnemônicas. O resultado de tais facilitações tem sido a criação de um mundo à parte, que só existe na sala de aula e na cabeça do professor, cabendo aos alunos serem descodificadores desse jogo muito mais subjetivo do que objetivo. No que concerne ao ensino de química no nível médio, isso tem sido especialmente verdadeiro. Na criação desse mundo próprio, subjetivo, que praticamente só existe na sala de aula, o livro didático tem um papel fundamental. Naquele ambiente, ele dá legitimação ao que (e como) se ensina: é sabido o juízo de valor que se faz da

palavra escrita. E, além de legitimar tal prática, ele contribui para sua expansão e perpetuação através dos tempos. Nesse mundo mágico-subjetivo, que se baseia na autoridade e não na experimentação e na reflexão (não diferente de qualquer ritual místico), certos tópicos são especialmente representativos e sua análise crítica pode auxiliar os docentes, para que venham a mudar o foco de suas aulas, saindo do *ritual* para os *princípios*. Dentre tais tópicos destacam-se, sem dúvida, as chamadas ‘funções da química inorgânica’.

A quase totalidade dos livros de química mais amplamente comercializados, dedicados ao ensino médio, e com eles provavelmente a maior parte dos professores atuantes nesse nível, consideram muito importante o estudo das assim chamadas funções da química inorgânica, assunto que ocupa, por exemplo, dezenas de páginas dos livros didáticos acima citados. Paralelamente, a química tem se revelado

A quase totalidade dos livros de química mais amplamente comercializados, dedicados ao ensino médio, considera muito importante o estudo das funções da química inorgânica

assunto de aprendizagem muito difícil entre os alunos, levando-nos a especular que talvez haja uma relação de causa e efeito entre a citada valorização e o inelutável insucesso, uma vez que esse assunto fantasmagórico, como se

pretende demonstrar, não passa de um indigesto coquetel de conceitos descosidos e contraditórios. Analisando os livros mais adotados, percebe-se que, numa aparente preocupação de não-omissão, os autores ali ensacam todos os conceitos, novos ou velhos, obsoletos ou não, sem qualquer compromisso com a *tessitura de uma conexão*

harmoniosa. O resultado é um conjunto de regras desarticuladas que, não fazendo sentido global, levam os 'bem-sucedidos' para longe da verdadeira química. Quanto aos 'malsucedidos', cabe perguntar se não estariam nessa situação exatamente por rejeitarem aquilo que para eles não tem sentido. O esforço de reelaboração dos fatos mediante novas categorias teóricas, típico do progresso científico moderno, parece não encontrar paralelo na pedagogia química praticada por esses textos. O que se percebe é um amontoado de conceitos cuja finalidade esgota-se em si mesma, no dia da avaliação dos conteúdos, sem contribuição significativa para a compreensão do mundo físico que se descortina diante do adolescente.

Analisemos o livro de Ricardo Feltre (tomado arbitrariamente como exemplo, mas que apresenta a mesma visão e estrutura de outros livros didáticos citados na bibliografia) e analisemos o aludido capítulo, que começa com a definição: "Função química é um conjunto de substâncias com propriedades químicas semelhantes". "As funções que iremos estudar são: ácidos, bases, sais e óxidos." Já isto constitui um mau começo, pelo menos por dois motivos: primeiro, porque essa forma de exposição pressupõe que tais categorias sejam excludentes, o que não é verdade. Há sais que são ácidos, há óxidos que são bases, há óxidos que são sais ou mesmo ácidos que são bases. Isso ocorre porque o comportamento das espécies químicas é sempre relativo (à outra espécie com que a interação é estabelecida) ou porque o próprio conceito inclui mais de uma das citadas categorias. Se sal é uma espécie de elevado caráter iônico e óxido um composto binário de oxigênio, é claro que há óxidos que são sais e vice-versa. Por exemplo, CaO, usando critérios encontrados no próprio livro, tem caráter iônico de 79%. Logo, CaO é um sal. Mas CaO é também um composto binário de oxigênio. Logo, CaO é um óxido.

Em segundo lugar, instaura-se uma

...a rigor ácidos e bases, concebidos como "conjunto de substâncias com propriedades químicas semelhantes", não existem

desgastante confusão, porque misturam-se critérios comportamentais, os únicos aceitáveis partindo do conceito estabelecido de função, com critérios constitucionais que são, por isso mesmo, completamente descabidos dentro da idéia apresentada para função.

De fato, logo adiante Feltre define que "sais são compostos iônicos que possuem pelo menos um cátion diferente do H⁺ e um ânion diferente do OH⁻" e "óxidos são compostos binários do oxigênio". Como esses critérios são

puramente constitucionais, a conclusão inevitável é: sais e óxidos não são funções. Contraditoriamente, isso é reconhecido pelo próprio autor: "...os sais, logicamente, não terão propriedades funcionais..." e "...é fácil concluir que não é possível atribuir propriedades funcionais a todas essas famílias de óxidos". Realmente, é forçoso considerar que a maior prova de sanidade mental que um aluno pode fornecer diante de tais confusões é a revolta e a nota baixa. Esqueçamos, pois, os sais e os óxidos e vamos nos concentrar nos ácidos e bases.

Em primeiro lugar, é preciso considerar que, devido à noção de relatividade no comportamento das espécies químicas, a rigor ácidos e bases, concebidos como "conjunto de substâncias com propriedades químicas semelhantes", *não existem*. O que há é um modo de se comportar quimicamente: comportamento ácido e comportamento básico. Assim, diante do sódio metálico, a amônia comporta-se como ácido, formando íon amideto. Porém, diante da água, a amônia comporta-se como base, formando íon amônio. Apenas aquelas espécies que apresentam esses comportamentos em grau muito acentuado se *aproximariam* do conceito estabelecido para função.

Em segundo lugar, gostaríamos de mostrar aqui que os conceitos ácido-base de Arrhenius, Bronsted, Usanovich e Lewis, diferentes em abrangência e significado, guardam entre si certa articulação. Portanto, não se pode escolher um desses, esperando

assim descrever de modo racional todas as reações químicas e em qualquer solvente, nem deixar de chamar a atenção para os pontos em que os conceitos se tocam. Faremos isso partindo do conceito de Arrhenius, tal como apresentado por Ricardo Feltre:

"Ácidos são compostos que, em solução aquosa, ionizam-se, produzindo como íon positivo apenas o H⁺."

Modifiquemos, apenas ligeiramente, esse conceito, a fim de alcançar máxima generalização. Ionização, *no caso*, é um processo químico com a água, que origina íons. O próprio Feltre discute a idéia de ionização: "...a água irá quebrar as moléculas de HCl..." Por outro lado, precisamos considerar que, em água, não há prótons H⁺ livres. Uma vez gerados, esses minúsculos íons coordenam-se a um dos orbitais saturados da água, gerando íons hidroxônio, H₃O⁺. Introduzindo esses pequenos retoques à definição apresentada e eliminando o termo 'composto' (não há por que restringir o conceito de Arrhenius aos compostos), chegamos ao conceito de Arrhenius com outras palavras.

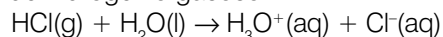
"Ácidos são espécies que, ao reagirem com a água, produzem como íon positivo apenas H₃O⁺. (1)

Aqui vale a pena fazer uma pequena pausa de enaltecimento ao trabalho de Arrhenius. Ao contrário de muitas das concepções de então — "ácidos têm sabor azedo"; "ácidos têm oxigênio"; "ácidos têm hidrogênio" (de novo os aspectos constitucionais assumindo o lugar dos comportamentais) —, ele definiu ácido, em 1887, considerando sua interação com algo. Ácido é aquele que, *diante da água*, comporta-se da maneira descrita. Modernamente, esse mesmo ponto de vista é generalizado por alguns autores como *conceito ácido-base relativo ao solvente*. Segundo esse critério, ácido é aquela espécie que, adicionada ao solvente, provoca aumento na concentração de seu ácido conjugado e base é aquela espécie que, adicionada ao solvente, provoca aumento na concentração de sua base conjugada. Co-

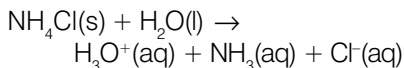
mo a maior parte das reações químicas se passa em solução, esse conceito é muito importante para os solventes profílicos ou protogênicos, ativos do ponto de vista ácido-base (água, amônia, dióxido de enxofre, acetato de hidrogênio etc.).

Vamos partir do enunciado moderno do conceito de Arrhenius (1, acima) e relacioná-lo com os conceitos de Bronsted, Lewis e Usanovich. Para tanto é preciso considerar, como exemplo, as seguintes reações, que ocorrem com diferentes graus de espontaneidade:

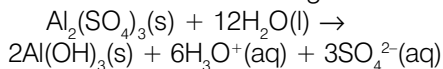
a) dissolução em água do cloreto de hidrogênio gasoso:



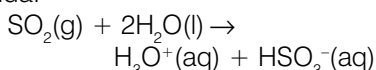
b) dissolução em água de cloreto de amônio sólido:



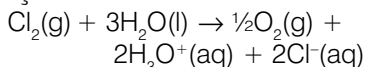
c) hidrólise dos sais de alumínio, usada no tratamento de água bruta:



d) reação da chuva com gases da queima do enxofre, gerando chuva ácida:



e) geração de oxigênio, ao qual se atribui o enfraquecimento das roupas deixadas em contato prolongado com soluções de cloro:



Examinando essas reações, vemos claramente que todas são "reações com a água que produzem como íon positivo apenas hidroxônio". Portanto, são ácidos de Arrhenius: o cloreto de hidrogênio; o cloreto de amônio; o sulfato de alumínio; o dióxido de enxofre e o cloro. Agora consideremos os seguintes conceitos de ácido:

Bronsted: doadores de prótons.

Lewis: receptores de pares de elétrons para formar uma ligação coordenada.

Usanovich: receptores de elétrons (oxidante).

Reexaminando agora as equações de 'a' a 'e', chegaremos a interessantes inter cruzamentos conceituais. Assim, o cloreto de hidrogênio em 'a' é ácido de Bronsted. Além disto, o pró-

prio íon H^+ , embora sem existência estável, é ácido de Lewis. O sulfato de alumínio em 'c' é ácido de Lewis e o cloro em 'e' é ácido de Usanovich.

Dessa maneira, fica evidente que os ácidos de Arrhenius não estão restritos às espécies protonadas, tal como Feltre apresenta, e que é perfeitamente possível discutir os conceitos ácido-base de modo articulado, evitando que o aluno venha a julgar que na química se cria uma regra para cada reação estudada. Não estamos aqui argumentando que seja interessante apresentar aos iniciantes todos os conceitos simultaneamente, mas que, à medida que forem sendo apresentados, sejam articulados entre si de modo a favorecer o estabelecimento de uma firme teia conceitual.

De modo análogo aos ácidos, poderíamos estabelecer a seguinte teia conceitual para as bases:

Arrhenius: reage com água produzindo OH^- .

Bronsted: receptor de prótons.

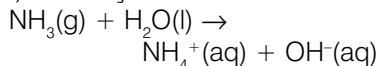
Lewis: doador de pares de elétrons para estabelecimento de ligação coordenada.

Usanovich: doador de elétrons (reductor).

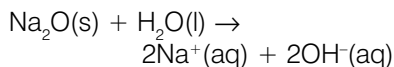
Sistema referenciado ao solvente: aumenta a concentração da base conjugada do solvente.

Considerando, agora, algumas reações com água, ocorrendo em diferentes graus de extensão, mas de qualquer modo possíveis, teremos as bases de Arrhenius.

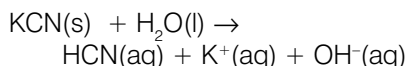
f) dissolução da amônia:



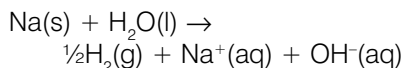
g) reação do óxido de sódio com água:



h) dissolução do cianeto de potássio:



i) a vigorosa reação do sódio em água:



São, portanto, bases de Arrhenius: a amônia, o óxido de sódio, o cianeto de potássio e o sódio. São também ba-

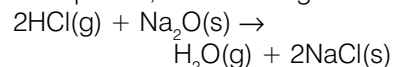
ses de Bronsted: a amônia, o óxido de sódio, o cianeto de potássio. São também bases de Lewis: a amônia, o íon O^{2-} do óxido de sódio e o íon CN^- do cianeto de potássio. É também base de Usanovich, o sódio metálico. Novamente, vemos que não é possível restringir as bases aos hidróxidos iônicos, e que há uma intensa interpenetração dos conceitos de base.

Como interagem ácidos e bases? Passemos a considerar uma das regras mais famosas nos textos que tratam das funções da química inorgânica.

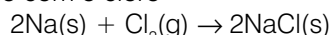
ácido + base \rightarrow sal + água

Tomemos alguns dos ácidos e bases apresentados acima e vejamos se há concordância com essa regra. Antes de tudo, é preciso considerar dois casos: se a reação ocorre em meio aquoso ou anidro (os autores não levam em conta essa distinção vital). Inicialmente, consideremos o meio anidro.

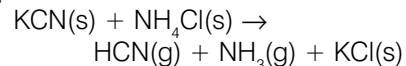
Façamos reagir cloreto de hidrogênio com óxido de sódio. O íon óxido aceita o próton, formando água.



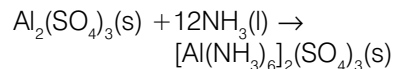
Seguindo, portanto, a regra apresentada. Vejamos outros casos, como por exemplo a explosiva reação do sódio com o cloro



Há formação de sal mas não há água, contrariando a regra. Consideremos, agora, a reação entre dois sólidos iônicos, um do grupo dos ácidos, o cloreto de amônio, e o outro do grupo das bases, o cianeto de potássio. Pelo menos em algum grau, o cianeto aceita o próton do íon amônio.



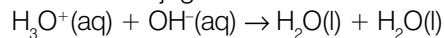
Portanto, nesse caso tivemos ácido + base \rightarrow ácido + base + sal, contrariando a regra. Consideremos mais um caso: façamos reagir (sempre em meio anidro) a amônia líquida com sulfato de alumínio sólido. Pelo menos em algum grau, o íon Al^{3+} é complexado pela amônia.



Novamente um sal, mas nada de água.

Agora vamos considerar o meio aquoso. Ora, nesse meio, o ácido já

reagiu com o solvente e originou íons hidroxônio e a base da outra solução também não existe mais, tendo sido substituída por quantidade equivalente de íons hidroxila, de tal modo que, ao serem misturadas as duas soluções, a reação que se passa é entre o ácido e a base conjugada do solvente:



E, além do próprio solvente, nada mais é produto da reação! Mesmo para o caso de ácidos e bases fracos, que se poderiam admitir presentes em solução, a reação deve ser considerada com a intermediação do solvente através de deslocamentos na posição do equilíbrio.

Diante de tantas exceções, é inescapável considerar que a regra deve estar errada. Ela só funciona para os ácidos protonados reagindo com óxidos ou hidróxidos iônicos em meio *anidro*. Em meio aquoso ela

não funciona. O que os autores deveriam esclarecer é que se desejarmos uma solução aquosa de cloreto de sódio podemos, realmente, juntar uma solução aquosa de cloreto de hidrogênio com quantidade equivalente de uma solução aquosa de hidróxido de sódio. Exatamente aquilo que *não reage* resta em solução: íons cloreto e íons sódio. A evaporação do solvente levaria a um sólido branco de elevado caráter iônico, o pai de todos os temperos.

Em total incoerência com a regra ácido + base \rightarrow sal + água, os autores apresentam e discutem o conceito de *ion espectador* (aquele que, estando presente na solução, não participa dela!). Como pode o leitor iniciante compreender conceitos que, em lugar de formarem uma teia por complementos e reforços, se agridem a cada página? O próprio Feltre, finalmente, reconheceu o absurdo da regra ácido + base \rightarrow sal + água, pois na última edição de seu livro não há mais qualquer alusão a ela. Infelizmente, muitos outros autores ainda insistem nesse equívoco, assim como Feltre insiste na caduca categoria de *funções*.

Cremos já estar claro que o tópico

funções da química inorgânica, tal como aparece nos livros textos destinados ao ensino médio, não é apenas confuso, mas totalmente inútil. Todavia, gostaríamos de enfeixar nossos argumentos em favor de um ensino alternativo.

1º) *As idéias são contraditórias*. Não é possível o convívio pacífico da regra ácido + base \rightarrow sal + água com o conceito de íon espectador. Também não é aceitável que o SO_3 em água venha a gerar H_2SO_4 , quando já se disse que o H_2SO_4 é ácido forte e que, portanto, converte-se integralmente em íons sulfato e hidroxônio.

2º) *Os princípios estabelecidos têm abrangência mínima*. Quase tudo o que é dito parece ser válido apenas para os ácidos minerais protonados e hidróxidos iônicos. Estamos convencidos de que Feltre (e outros) erraria menos se dissesse: "os ácidos são o clorídrico, o sulfúrico e o nítrico; e as bases são os hidróxidos de sódio, de potássio e de cálcio". O próprio conceito de Arrhenius é discutido com um 'engessamento' que, modernamente, não se justifica.

3º) *Há muitas afirmações sem nenhuma conexão com os fatos que fazem parte do cotidiano do aluno*. O texto chama bicarbonato de sódio de *sal ácido*, quando todos o usam para combater a acidez estomacal. Um aluno do meio rural não compreenderia por que Feltre chama o carbonato de cálcio de *sal neutro*, pois ele sabe que o calcário combate a acidez dos solos! Dessa maneira, o estudo torna-se apenas um jogo de regras que, arbitrárias e alienadas do universo do estudante, não contribuem para que ele possa, ultrapassando o senso comum, alcançar uma visão racional do mundo físico.

4º) *Não se busca atender à economia de conceitos, nem à interconexão conceitual*. Há uma série de conceitos que, seja por sua obsolescência, seja pelo inoportuno de sua apresentação para os iniciantes, poderiam ser lucrativamente deixados de lado. *Sal ácido*, *básico* ou *neutro*, assim como *óxido*

ácido ou *básico* e ainda *anfoterismo* estão no primeiro caso e *eflorescência*, *higroscopicidade* e *superóxidos*, no segundo. A teia conceitual de Arrhenius poderia ser a única apresentada e discutida numa primeira abordagem. Em vez disso, os conceitos de Bronsted e Lewis são atirados e prontamente deixados de lado, sem qualquer uso na sistematização das reações e sem conexão com o de Arrhenius, desenvolvendo no aprendiz a nociva conclusão de que a química é um amontoado de noções desarticuladas.

5º) *O solvente ora é considerado, ora ignorado*. As discussões baseiam-se na teia conceitual de Arrhenius, portanto em um sistema referenciado ao solvente; no entanto, ao lançar a regra ácido + base \rightarrow sal + água, não se mostra que ela só tem alguma validade para o meio anidro.

6º) *Entufizam-se de modo completamente exagerado os nomes, fórmulas e classificações*. Classificam-se os ácidos pelo conteúdo de oxigênio, pela quantidade de hidrogênio, pela volatilidade etc. etc. Existe uma verdadeira barreira de ortofosfato dipotássico monossódico e dihidroxi-cloreto de alumínio, além de monohidrogeno ortofosfato de sódio, impedindo que o aluno possa enxergar os genuínos princípios da química.

Conclusão

Cremos ter deixado convincentemente claro que esse capítulo ("Funções da química inorgânica"), dirigido justamente aos iniciantes, contribui como poucos para que os estudantes venham considerar a química matéria enfadonha, incompreensível e cujo estudo requer exaustivos exercícios de memorização. E, se assim perceberam, possam os professores, com ganho, dispensar as funções da química inorgânica e concentrar seus esforços naqueles princípios que hão de permanecer com seus alunos, quando eles houverem esquecido que o H_3PO_4 é um ácido "triprótico, oxigenado, fixo e moderadamente forte".

Reinaldo Calixto de Campos, doutor em química analítica, é professor de química geral e analítica da PUC - RJ. **Reinaldo Carvalho Silva**, doutorando em química analítica, é professor da Escola Técnica Federal de Santa Catarina.

Livros analisados

CARVALHO, G.C. *Química moderna*. São Paulo: Editora Scipione, 1997.

FELTRE, R. e YOSHINAGA, S. *Química geral*. São Paulo, v. 1.

FELTRE, R. *Química geral*. São Paulo: Editora Moderna, 1982, v. 1.

FELTRE, R. *Química segundo grau*. São Paulo: Editora Moderna, 1977.

FELTRE, R. *Química*. 4. ed. São Paulo: Editora Moderna, 1994, v. 1.

FONSECA, M.R.M. *Química Geral*. São Paulo: Editora FTD, 1992.

NABUCO, J.R.P. e BARROS, R.V. *Química geral e inorgânica*. Rio de Janeiro: Editora Ao Livro Técnico, 1978.

NHEMI, V. *Química*. 4. ed. São Paulo: Editora Ática, 1995, v. 1.

NOVAIS, V. *Química geral e inorgânica*. São Paulo: Editora Atual, 1993, v. 1.

POLITI, E. *Química curso completo*. 2. ed. São Paulo: Editora Moderna, 1992.

SARDELLA, A. *Curso de química*

geral. 22. ed. São Paulo: Editora Ática, 1997, V. 1.

FREITAS, R.G. e COSTA, C.A.C. *Química geral e inorgânica*. Rio de Janeiro: Editora Ao Livro Técnico, 1971, v. 1.

Para saber mais

Há textos especialmente valiosos para o desenvolvimento de idéias claras sobre os conceitos ácido-base. Os dois últimos textos citados abaixo estão, infelizmente, esgotados, mas podem estar acessíveis em bibliotecas:

HUHEEY, J.E. *Inorganic chemistry. Principles of structure and reactivity*. 2. ed. Nova Iorque: Harper & Row Publishers, 1978. cap. 7 e 8.

SISLER, H.H. *Química dos solventes não-aquosos*. São Paulo: Editora Polígono, 1969.

VANDERWERF, A.C. *Ácidos, bases e a química da ligação covalente*. São Paulo: Editora Polígono, 1970.

Para conhecer dois textos de química para o nível médio que enfocam princípios em lugar de rituais, sem fazer

nenhuma alusão às 'funções', sugerimos a leitura de:

AMBROGI, A.; VERSOLATO, E.F. e LISBÔA, J.C.F. *Unidades modulares de química*. São Paulo: Editora Hamburg, 1987.

CHEM STUDY. *Química, uma ciência experimental*. São Paulo: Editora Edart, 1963.

No artigo abaixo, os autores, comentando a regra do octeto, citam a dualidade ritual-princípio:

MORTIMER, E.F.; MOL, G. e DUARTE, L.P. Regra do octeto e teoria da ligação química no ensino médio: dogma ou ciência? *Química Nova* v. 17, n. 3, p. 243-252, 1994.

Sugerimos ainda a leitura dos seguintes artigos:

FERREIRA, V. Aprendendo sobre o conceito ácido e base. *Química Nova na Escola*, n. 4, p. 35-36.

LOPES, A.R.C. Reações químicas. *Química Nova na Escola*, n. 2, p. 7-9.

OLIVEIRA, R.J. de. O mito da substância. *Química Nova na Escola*, n. 1, p. 8-11.