



# Construção de um espectroscópio alternativo para o ensino do modelo atômico de Bohr e linhas espectrais de elementos

**André V. L. Marques e Higo L. B. Cavalcanti**

O presente trabalho consiste na confecção de um modelo de espectroscópio utilizando materiais de baixo custo. Utilizando materiais como canos de PVC, lentes de aumento, resina epóxi e uma rede de difração, construiu-se um espectroscópio que se assemelha ao modelo de equipamento proposto e utilizado por Bunsen e Kirchhoff. Com o espectroscópio de baixo custo foi possível identificar a linha D do sódio bem como diferenciar os elementos cálcio e estrôncio a partir de suas linhas espectrais geradas pela exposição destes elementos à chama do bico de Bunsen. A confecção e aplicação do espectroscópio possibilitam uma discussão mais aprofundada sobre os espectros de emissão dos elementos e sua relação com o modelo atômico proposto por Niels Bohr.

► espectroscopia, Bohr, materiais alternativos ◀

Recebido em 08/02/2021, aceito em 06/05/2021

4

**A** disciplina de Química costuma ser tida como de difícil compreensão pelos estudantes em parte pelas dificuldades que os docentes encontram para apresentar os conteúdos de maneira atrativa e envolvente para os discentes. Quando isso não ocorre, o professor pode ater-se à prática tradicional de aula, por vezes fazendo com que os discentes tenham dificuldades na aprendizagem. Segundo Miranda e Costa (2007), essa prática tem influenciado negativamente na aprendizagem dos alunos, uma vez que não conseguem perceber a relação entre aquilo que estudam na sala de aula, a Natureza e sua própria vida.

Uma das razões para essa dificuldade presente na construção do conhecimento se dá pelas complicações com as quais os professores se deparam ao tentar conciliar teoria e prática, uma vez que a maioria das escolas não possui laboratórios específicos de Química. As aulas experimentais se tornam primordiais para a aprendizagem de uma área do conhecimento sabidamente experimental, facilitando a compreensão dos

temas trabalhados em sala, além de permitir a construção do conhecimento de forma sistemática. A metodologia de ensino, com a utilização de aulas práticas bem planejadas facilita muito a compreensão e a produção do conhecimento em Química. Incluem-se também demonstrações feitas pelo professor e experimentos realizados pelo próprio aluno buscando a confirmação de informações já adquiridas em aulas teóricas, propiciando aos alunos oportunidades de confirmar suas ideias ou então reestruturá-las (Santos *et al.*, 2018).

Para a realização de uma aula prática, entretanto, diversos fatores precisam ser considerados. Entre os principais, destacam-se: instalações da escola, materiais e reagentes requeridos e as escolhas das experiências. Na rede pública de ensino os laboratórios para a realização dessas aulas são, em muitos casos, deficitários, não possuindo os materiais necessários para os experimentos. Cabe

ao professor buscar opções, como, por exemplo, a realização de experimentos com materiais alternativos, podendo ser de fácil obtenção, até mesmo domésticos, pois o objetivo da experimentação é possibilitar ao aluno a criação de modelos que tenham sentido para ele a partir de suas próprias observações (Hess, 1997).

**As aulas experimentais se tornam primordiais para a aprendizagem de uma área do conhecimento sabidamente experimental, facilitando a compreensão dos temas trabalhados em sala, além de permitir a construção do conhecimento de forma sistemática.**

A seção "Espaço Aberto" visa abordar questões sobre Educação, de um modo geral, que sejam de interesse dos professores de Química.



Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons

No presente trabalho buscou-se desenvolver um material capaz de auxiliar a compreensão de um dos conteúdos em Química que envolvem alto grau de abstração: os modelos atômicos, especialmente aqueles que utilizam conceitos da mecânica quântica, como o modelo atômico de Bohr. Uma das características desse modelo é explicar a emissão de luz pelo átomo de hidrogênio e o seu característico espectro de linhas. Tais espectros são obtidos utilizando um aparelho conhecido como espectroscópio. Apresenta-se aqui a construção de um espectroscópio utilizando materiais alternativos e de baixo custo para a identificação, em sala de aula, dos espectros de linhas de alguns elementos.

## O Modelo Atômico de Bohr

O modelo atômico de Bohr foi proposto pelo físico dinamarquês Niels Bohr (1885-1962), e sua principal característica foi explicar o comportamento do espectro de emissão do átomo do hidrogênio, que outros modelos da época não eram capazes de explicar (Atkins e Jones, 2012; Brown *et al.*, 2013).

No modelo atômico de Bohr, cada elétron descreveria uma órbita bem definida, que não é necessariamente fixa, pois se o elétron absorve energia, ele pode passar a ocupar uma órbita mais afastada do núcleo (salto quântico). Quando o elétron libera essa energia absorvida previamente, retorna para uma órbita mais próxima ao núcleo, e a diferença de energia ( $\Delta E$ ) entre as órbitas corresponde à energia da radiação emitida pelo átomo no processo (fóton com frequência dada por  $\nu$ , onde  $h$  é a constante de Planck), conforme ilustrado na Figura 1. A frequência da radiação, e por conseguinte seu comprimento de onda, determinam a cor da radiação (considerando a região visível do espectro, na qual faz sentido utilizar o termo “cor”). O modelo atômico de Bohr destaca-se por incluir, através de postulados, a contribuição da então recente mecânica quântica.

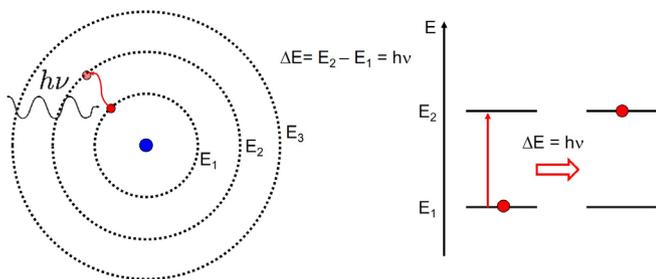


Figura 1: Modelo atômico de Bohr. Radiação incidente de frequência excita o elétron da órbita E1 para E2. O retorno para o nível mais baixo resulta em liberação de fóton de energia.

Quando um gás (ou vapor a baixa pressão) é excitado por algum meio (chama, diferença de potencial elevada, entre outros), a radiação emitida possui um espectro que contém apenas alguns comprimentos de onda discretos, e cada elemento químico exibe um único espectro de linhas quando uma amostra do mesmo é excitada. Convém perceber que as diferenças energéticas entre as órbitas e as emissões

observadas são características únicas de cada elemento da tabela periódica, sendo, portanto, uma espécie de impressão digital, algo que não pode ser adulterado ou confundido, o que torna a Espectroscopia uma ferramenta poderosa para a identificação de espécies químicas.

O modelo de Bohr obteve sucesso ao prever corretamente a posição das linhas espectrais para o átomo de hidrogênio (que podem ser vistas na Figura 2), falhando, porém, para os demais elementos da tabela periódica. Por vezes tratado como um modelo planetário para o átomo, em que o núcleo seria análogo ao Sol e os elétrons análogos aos planetas em órbitas, o modelo de Bohr permanece até hoje como uma imagem duradoura da forma do próprio átomo no imaginário popular.

Apesar das limitações do modelo, o mesmo continua presente de forma assídua nos livros didáticos de Química nos diversos níveis

de ensino (Fonseca, 2014; Peruzzo e Canto, 2006; Santos e Mol, 2010), não apenas por sua relevância histórica, mas também pelo sucesso em explicar o espectro experimental do hidrogênio e fornecer uma interpretação correta para o processo de absorção e emissão de energia pelos elétrons nos átomos (a mecânica quântica viria posteriormente a elucidar a questão de maneira mais satisfatória).



Figura 2: Espectro de emissão do átomo de hidrogênio, evidenciando apenas as linhas na região do visível.

## O Espectroscópio de Bunsen e Kirchhoff

Em meados do século XIX, Robert Bunsen e Gustav Kirchhoff criaram o primeiro espectroscópio, com o qual descobriram dois novos elementos que hoje estão presentes na tabela periódica: o céσιο e o rubídio. Eles observaram que, quando se insere o sal de determinado elemento na chama (provida por um bico de Bunsen), a mesma apresenta uma mudança em sua coloração, retornando para a cor inicial após algum tempo. Segundo Chagas e Encarnação (2011), em uma das visitas de Kirchhoff ao laboratório de Bunsen, ele sugeriu que se a luz emitida durante a queima do sal passasse por um prisma, poderiam ter resultados interessantes. Ainda segundo Chagas e Encarnação (2011): “Valendo-se da espectroscopia, Bunsen e Kirchhoff viram que cada elemento apresentava um espectro definido, ou seja, as cores que compunham a sua luz podiam ser vistas, anotadas e medidas”.

O equipamento consistia em um colimador com uma fenda que permitia a entrada de luz (proveniente da chama) e outra fenda paralela para que a radiação emitida fosse direcionada para o prisma, responsável pela refração da luz. A radiação, agora decomposta, era então captada por uma luneta por meio da qual o experimentador poderia

observar as linhas espectrais dos elementos submetidos ao teste (Figura 3).

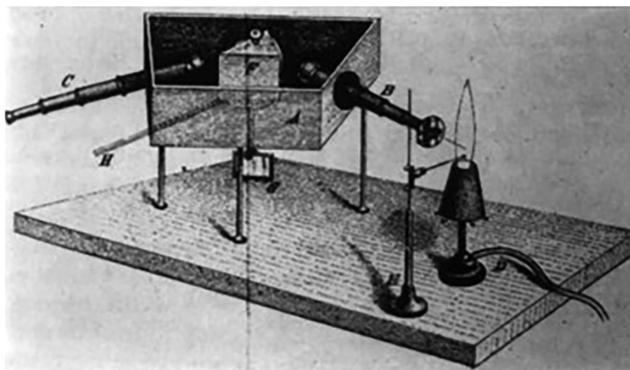


Figura 3: Representação do espectroscópio de Bunsen e Kirchhoff.

Considerando o exposto, este trabalho visa à produção de um espectroscópio de baixo custo, utilizando materiais alternativos. Uma vez que o chamado “teste da chama” (no qual se observa a cor adquirida por uma chama ao excitar amostras de alguns elementos) é uma prática comum de laboratório tanto em nível médio quanto nas disciplinas introdutórias dos cursos de graduação, buscou-se aqui ampliar o alcance destas práticas, com a adição da observação direta das linhas espectrais de alguns elementos. Além disso, alguns elementos podem apresentar coloração próxima quando submetidos a chama (lítio, cálcio e estrôncio, por exemplo, tornam a chama avermelhada), e o espectroscópio pode ser decisivo na correta identificação da amostra em questão.

Uma vez que o chamado “teste da chama” (no qual se observa a cor adquirida por uma chama ao excitar amostras de alguns elementos) é uma prática comum de laboratório tanto em nível médio quanto nas disciplinas introdutórias dos cursos de graduação, buscou-se aqui ampliar o alcance destas práticas, com a adição da observação direta das linhas espectrais de alguns elementos.

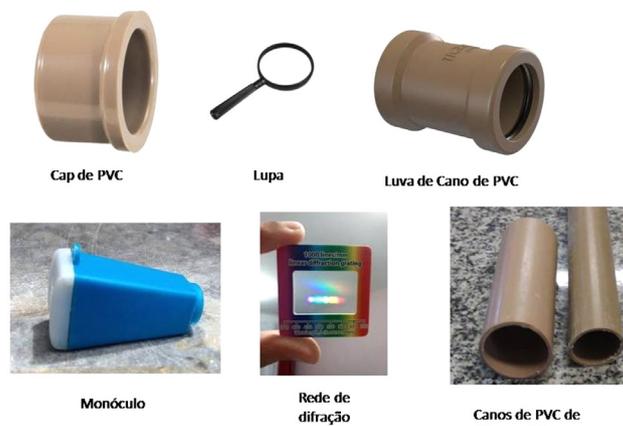


Figura 4: Materiais utilizados na confecção do espectroscópio alternativo.

(porém adicionando algumas etapas de trabalho manual). A montagem do espectroscópio alternativo tentou simular o modelo conforme delineado por Bunsen e Kirchhoff, seguindo o esquema indicado na Figura 3. A montagem do espectroscópio alternativo está ilustrada na Figura 5.

Para a construção da luneta foram utilizados pedaços de cano de PVC de diâmetros internos de 40 mm e 50 mm, uma lente de lupa escolar de 50 mm, e uma lente ocular retirada de um monóculo (caso não se encontre um monóculo conforme descrito, uma lente de relojoeiro pode ser utilizada). Os canos foram cortados de modo a manter um comprimento de aproximadamente 10 cm, porém diferentes lentes apresentarão distâncias focais diferentes, sendo necessário, inicialmente, determinar essa quantidade. Sugere-se

## Materiais e Construção

Para a confecção do espectroscópio foram utilizados, em sua maioria, materiais encontrados em lojas, papelarias ou casas de materiais de construção, a saber: canos de PVC de 50 mm e 40 mm, luvas de cano de PVC, Cap de PVC, lupas (lentes de aumento) de 50 mm, lente de monóculo (que atua como lente ocular), rede de difração (1000 linhas/mm), resina epóxi, fita adesiva dupla face do tipo “bananinha” e tinta de cor preto fosco (Figura 4).

Dentre os materiais utilizados, destaca-se a rede de difração. Esta substitui o prisma na tarefa de separar a luz incidente em seus comprimentos de onda característicos de cada elemento. A substituição deu-se após uma pesquisa de preços, indicando valores próximos a R\$ 50,00 para a rede de difração e R\$ 80,00 para os prismas triangulares. Pode-se ainda considerar a utilização de um fragmento de CD ou DVD como ferramenta responsável pela difração, o que reduziria ainda mais o custo de produção do equipamento

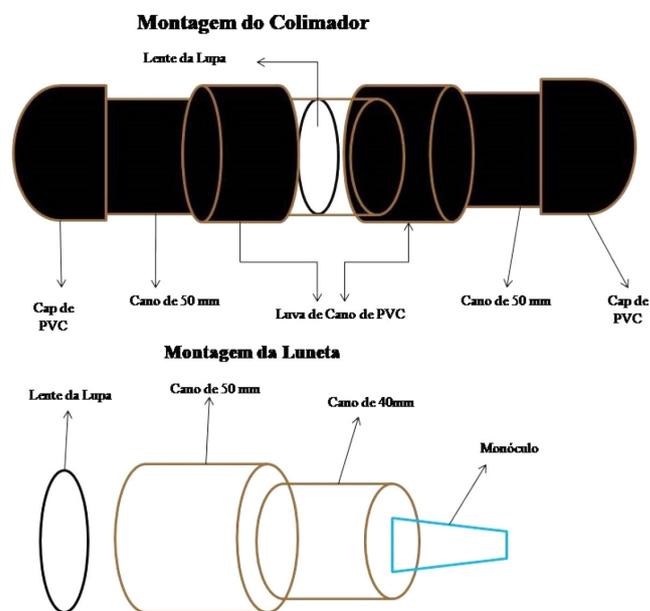


Figura 5: Esquema de montagem do espectroscópio alternativo.

a pintura dos canos na cor preta, para que no momento da utilização do equipamento possíveis interferências sejam evitadas. Após esse procedimento, foi executada a adição da lente do monóculo em uma extremidade do cano de 40 mm (fixada com a resina epóxi); em uma extremidade do cano de 50 mm foi inserida a lente retirada da lupa (lente objetiva, de formato bicôncavo). Na outra extremidade do cano de 50 mm, sugere-se a utilização de fita adesiva “bananinha”, aplicada na circunferência interna, a fim de reduzir o diâmetro. Esse procedimento é necessário para melhor sustentação, uma vez que o cano de 40 mm deve ser inserido no interior do cano de 50 mm, permitindo que o primeiro possa mover-se relativamente ao segundo, garantindo o ajuste de foco entre as lentes. Seguindo os passos descritos, tem-se uma luneta construída com materiais de baixo custo (de fato, este equipamento simples representa uma luneta completamente funcional, podendo ser utilizada em aulas de física óptica, por exemplo).

Para a construção do colimador, primeiramente foram abertas fendas verticais nos caps de PVC, cujo objetivo é limitar a entrada e a saída de luz. Quanto mais estreita a fenda, mais estreitas serão as linhas espectrais observadas. Na porção central do colimador, uma luva de PVC é utilizada para dois fins: fornecer suporte aos caps de PVC e ser o local onde a segunda lupa escolar é posicionada. O objetivo é que o foco da lente coincida com a abertura da fenda; dessa maneira, a luz que incide sobre a lente será direcionada perpendicularmente à fenda de saída. O equipamento construído pode ser observado na Figura 6, em que foram adicionados suportes de madeira para melhor manuseio. Na Figura 6 o colimador aparece com apenas 1 dos caps de

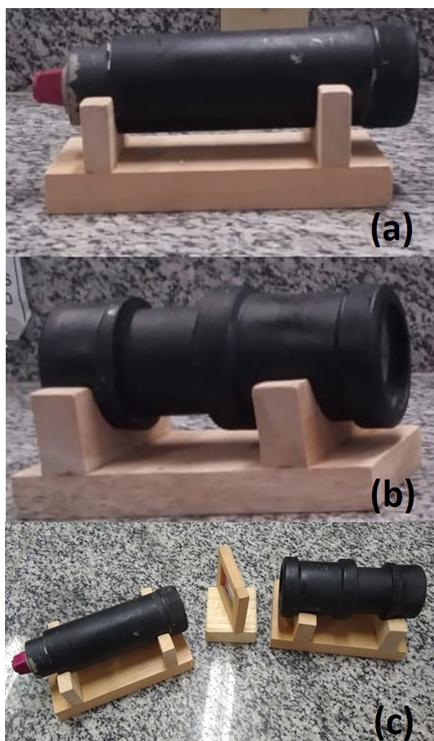


Figura 6: Espectroscópio alternativo. (a) luneta, (b) colimador e (c) montagem completa.

PVC; tal alteração não influenciou o resultado final e tornou o equipamento um pouco menor e mais fácil de manusear.

Para a análise das linhas do espectro foram escolhidos os elementos: sódio (Na), que atribui uma intensa coloração amarela à chama do bico de Bunsen e apresenta a característica linha amarela, a linha D do sódio; cálcio, que atribui uma coloração vermelha à chama do bico de Bunsen e também o estrôncio, capaz de tornar a chama também avermelhada. O objetivo dessa escolha foi demonstrar capacidade de identificação do espectroscópio alternativo, visto que, apenas com a observação visual torna-se difícil identificar se a coloração avermelhada da chama é ocasionada pelo cálcio ou pelo estrôncio. No entanto, as linhas espectrais são únicas para cada elemento, tornando sua identificação imediata. Em todos os casos foram utilizados sais dos elementos ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$  e  $\text{SrCl}_2$ ) levemente umedecidos em água e postos sobre a alça de platina, por sua vez levada à chama.

## Os Espectros

A Figura 7 apresenta os espectros observados utilizando o espectroscópio alternativo. Na sequência: 7(a) cálcio, 7(b) estrôncio e 7(c) sódio.

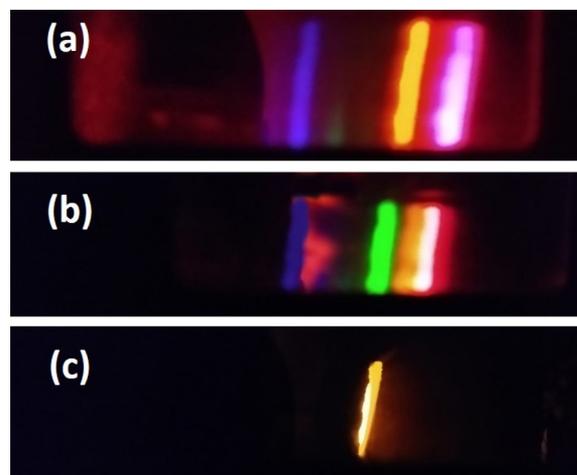


Figura 7: Espectros registrados conforme produzidos pelo espectroscópio alternativo. (a) cálcio, (b) estrôncio e (c) sódio.

Inicialmente o cloreto de cálcio foi analisado. Ao utilizarmos o espectroscópio alternativo, foi possível visualizar um espectro de linhas de emissão, conforme a Figura 7(a). No referido espectro foi possível detectar de maneira inequívoca três faixas de luz, respectivamente na região do azul, laranja e vermelho (embora o registro fotográfico da Figura 7(a) sugira uma coloração rosada, a referida faixa apresenta-se aos olhos como vermelha). Considerando a simplicidade do equipamento construído, não foram realizadas medidas quantitativas para o comprimento de onda de cada linha, e focalizamos nossa atenção aos aspectos qualitativos.

Na sequência foi analisado o estrôncio, que apresenta também uma característica cor vermelha quando excitado pela chama do bico de Bunsen. Com a utilização do espectroscópio alternativo foi possível a visualização do espectro

de linhas do elemento conforme pode ser observado na Figura 7(b). Foi possível detectar quatro faixas de luz: no azul, verde, laranja e vermelho. Comparando-se com o espectro obtido para o cálcio, vê-se uma linha bastante intensa no verde para o estrôncio, algo marcadamente distinto do caso anterior, além da separação relativa entre as linhas, que tornam a tarefa de distinguir esses dois elementos – algo muitas vezes não trivial se contarmos apenas com a inspeção ocular do experimentador – em algo relativamente simples.

Por fim, incluiu-se o sódio, que empresta à chama uma característica cor amarela. O espectro de emissão do sódio, tal qual observado no espectroscópio alternativo, é mostrado na Figura 7(c). Na visualização do espectro foi possível observar apenas uma faixa de luz, de cor muito semelhante à da própria chama, ou seja, amarelo bastante intenso (conhecida como linha D do sódio). Uma explicação para esse fato pode residir na chama intensa da cor amarela no bico de Bunsen, o que pode ter mascarado as outras faixas quando registradas em fotografia.

## Conclusões

Trabalhar de forma prática em sala de aula sempre é uma excelente alternativa quando o tópico abordado propicia a realização de experimentos relativamente simples. Entretanto, realizar aulas experimentais em escolas sem laboratórios específicos costuma ser um desafio, dada a ausência de reagentes e materiais apropriados. Tal situação pode ser contornada, em alguns casos, a partir da utilização de materiais alternativos.

O experimento e o equipamento produzido com materiais de baixo custo apresentados aqui possibilitaram um aprofundamento do conteúdo “modelos atômicos”, mais

especificamente o modelo de Niels Bohr e sua relação com o teste de chama e os espectros de linhas dos elementos, que são reflexo de sua natureza quântica. Nessa proposta, os alunos não apenas podem visualizar a cor da chama quando o elemento é excitado através da energia térmica como também podem visualizar espectros de emissão (simplificados, sem dúvida, considerando a rusticidade do material utilizado) e compará-los com dados na literatura. Foi possível também diferenciar os espectros de elementos como o cálcio e o estrôncio, ambos apresentando coloração vermelha na chama, mas com espectros de linhas marcadamente diferentes.

Com a necessidade premente de inovação em metodologias de ensino, a experimentação no ensino de Química ganha cada vez mais relevância, no sentido de aproximar o ato de ensinar essa disciplina às próprias raízes da Química enquanto ciência experimental. Para cumprir tal tarefa, exige-se do docente cada vez mais habilidade, capacidade de inovação e criatividade. A produção de equipamentos e o desenvolvimento de experimentos utilizando materiais alternativos adapta-se bastante bem à nossa realidade, em especial às escolas públicas do país. O presente trabalho pode ser útil para apoiar futuros pesquisadores no que se refere a metodologias que se afastam do sistema tradicional de ensino e fornecer uma estratégia adequada para otimizar o processo de ensino-aprendizagem.

**André Vinícius Lopes Marques** (andre.vinicius@academico.ifpb.edu.br), licenciado em Química pelo IFPB – Campus Sousa. Sousa, PB – BR. **Higo de Lima Bezerra Cavalcanti** (higo.cavalcanti@ifpb.edu.br), licenciado em Química pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), mestre em Química pela UFPB e Doutor em Química pela UFPB. Docente do curso de Licenciatura em Química, Ensino Básico Técnico e Tecnológico do Instituto Federal da Paraíba (IFPB) – Campus Sousa. Sousa, PB – BR.

## Referências

ATKINS, P. e JONES, L. *Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente*. 5a. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

BROWN, T. E.; LEMAY, H. E. e BURSTEN, B. E. *Química: A ciência central*. 9a. ed. São Paulo: Pearson, 2013.

CHAGAS, C. e ENCARNAÇÃO, B. Robert Bunsen, Gustav Kirchhoff e o uso do espectroscópio na Química. 2011. Disponível em: <http://redeglobo.globo.com/globociencia/noticia/2011/07/robert-bunsen-gustav-kirchhoff-e-o-uso-do-espectroscopio-na-quimica.html>, acesso em set. 2019.

FONSECA, M. R. M. *Química: meio ambiente, cidadania, tecnologia*, vol. 1. São Paulo: Ática, 2014.

HESS, S. *Experimentos de Química com materiais domésticos: Ensino Médio*. São Paulo: Moderna, 1997.

MIRANDA, D. G. P e COSTA, N. S. *Professor de Química: Formação, competências/habilidades e posturas*. Disponível em: <http://www.ufpa.br/eduquim/formdoc.html>, acesso em ago. 2019.

PERUZZO, F. M. e CANTO, E. L. *Química na abordagem do cotidiano*, vol. 1. 4ª ed. São Paulo: Moderna, 2006.

SANTOS, É.; SILVA, C. R. P. e LUZ, J. A. P. A experimentação como ferramenta facilitadora no ensino de química. In: 5º. CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 2018, Campina Grande. Anais eletrônicos... Campina Grande: Realize Editora, 2018. Disponível em: <http://www.editorarealize.com.br/artigo/visualizar/45758>, acesso em jan. 2021.

SANTOS, W. L. e MOL, G. *Química cidadã*, vol. 3. São Paulo: Nova Geração, 2010.

**Abstract:** *Building an alternative spectroscope for teaching Bohr's atomic model and spectral lines of elements.* This paper presents the building of an spectroscope using low-cost materials. By using materials such as PVC pipes, magnifying lenses, epoxi resin and a diffraction grating, a spectroscope similar to the model used by Bunsen and Kirchhoff was built. With our low-cost spectroscope it was possible to identify the D line of sodium and also differentiate elements such as calcium and strontium by their spectral lines generated by exposing them to the flame of the Bunsen burner. The building and use of our spectroscope allow a deeper discussion about emission spectra of elements and their relation to the atomic model proposed by Niels Bohr.

**Keywords:** spectroscoy, Bohr, low-cost materials