

## **A abordagem histórica acerca da produção e da recepção da Tabela Periódica em livros didáticos brasileiros para o ensino médio**

**Clarissa de Mattos Mehlecke<sup>1</sup>, Marcelo Leandro Eichler<sup>2</sup>, Tania Denise Miskinis Salgado<sup>1</sup> e José Claudio Del Pino<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil; <sup>2</sup>Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil. E-mails: [clarissamehlecke@yahoo.com.br](mailto:clarissamehlecke@yahoo.com.br), [exlerbr@yahoo.com.br](mailto:exlerbr@yahoo.com.br), [tania.salgado@ufrgs.br](mailto:tania.salgado@ufrgs.br), [aeq@iq.ufrgs.br](mailto:aeq@iq.ufrgs.br)

**Resumo:** Este artigo apresenta uma análise de livros didáticos brasileiros de química de ensino médio em relação ao conteúdo curricular tabela periódica. Foram analisados os sete livros distribuídos pelo Programa Nacional do Livro Didático de Ensino Médio (PNLEM). Os critérios utilizados na análise foram recolhidos de literatura de reconstrução histórica sobre o tema tabela periódica. Em geral se encontrou uma abordagem histórica insuficiente no material analisado. Os livros didáticos trazem informações sobre a história da tabela periódica, porém, essas informações são apresentadas de forma dissociada do conteúdo específico.

**Palavras-chave:** livros didáticos, tabela periódica, história da ciência.

**Title:** The historic approach on the production and reception of the Periodic Table in Brazilian didactic books for intermediate education.

**Abstract:** This article presents an analysis of Brazilian chemistry didactic books for intermediate education relative to the curricular periodic table contents. The books analyzed were the same distributed by the Programa Nacional do Livro Didático de Ensino Médio (PNLEM) - National Program for Intermediate Education Didactic Book. The criteria used in the analysis were collected from historical reconstruction literature on the periodic table theme. In general, insufficient historic approach was found in the analyzed books. The didactic books carry information about the history of the periodic table, however, such information is presented separately from the specific contents.

**Keywords:** didactic books, periodic table, history of science.

### **Introdução**

No âmbito da didática das ciências, a utilização da História e Filosofia da Ciência (HFC) é recorrente e indica que uma abordagem centrada na evolução dos conceitos científicos e dos métodos de pesquisa pode ser bastante frutífera para a aprendizagem significativa e para a elaboração conceitual. Em um aspecto mais geral, Matthews (1994) sugere que "a história da ciência pode humanizar os conteúdos científicos e relacioná-los aos interesses éticos, culturais e políticos da sociedade" (p. 165).

Conforme Loguercio e Del Pino (2006), a HFC pode servir para facilitar a compreensão de ciência dos alunos no ensino médio, uma vez que "se um

conceito serviu historicamente para superar um obstáculo epistemológico, pode servir também para superar os obstáculos epistemológicos dos alunos atuais” (p. 70)

Além disso, através da abordagem da HFC é possível discutir e debater com os alunos a forma como o conhecimento é produzido e desmitificar as ideias de conhecimentos prontos. Nesse sentido, a apresentação do desenvolvimento de conceitos científicos pode envolver ao mesmo tempo uma discussão sobre o que é conhecer e como se conhece. Então, “ao mostrar que cada conhecimento atual é o resultado de um longo processo, que não bastam algumas experiências para mudar uma teoria, que os fatores sociais têm muito peso, pode-se começar a desmitificar a imagem da ciência” (Loguercio e Del Pino, 2006, p. 71).

Em relação ao ensino de química na abordagem da HFC, as obras de Niaz (2008 e 2009) são exemplares e muito implicativas. Em um livro mais específico ao ensino de química (Niaz, 2008), o autor apresenta através de reconstrução histórica os seguintes temas: mol e estequiometria; estrutura atômica; gases; calor, energia e temperatura; e equilíbrio químico. Em outro livro em que discute aspectos epistemológicos do progresso científico (Niaz, 2009), apresenta alguns casos de reconstrução histórica de conceitos químicos, tais como: o sistema periódico dos elementos químicos (de Mendeleev a Moseley), os modelos atômicos (de Thomson, Rutherford e Bohr) e modelo de ligação covalente de Lewis (da transferência ao compartilhamento de elétrons).

Especificamente, a apresentação do conteúdo curricular escolar Tabela Periódica através de uma abordagem em HFC é discutido em uma série de artigos (Niaz, 2005a, 2005b e 2005c). Nesses artigos, Niaz propõe que a reconstrução histórica da explicação da periodicidade subjacente à Tabela Periódica provê uma oportunidade para facilitar a elaboração conceitual, uma vez que se enfatize a periodicidade como função da teoria atômica. Porém, nesses artigos o autor sugere algumas proposições mais amplas em relação à didática das ciências.

Inicialmente, ele sugere que as estratégias de ensino através da mudança conceitual podem promover o interesse, a curiosidade e a compreensão dos estudantes a partir que se mostre que a ciência é um empreendimento humano. Nesse sentido, o autor recomenda que os professores e os livros didáticos procurem facilitar a compreensão que o progresso científico necessita e que se vá além da descrição de detalhes experimentais. Assim, quando a HFC está prevista para estar dentro da química, pode-se partilhar com os estudantes experiências que refletem a própria natureza da ciência, através de asserções como:

- a) O progresso científico é caracterizado por controvérsias, conflitos e competição entre teorias rivais;
- b) As observações estão contaminadas pela teoria do observador;
- c) Muitos dados experimentais podem ser interpretados por mais de uma teoria ou modelo científico;
- d) As teorias científicas são tentativas;

e) As teorias científicas podem estar baseadas em fundamentos inconsistentes e ainda assim continuarem a progredir;

f) Os dados empíricos não são o último "árbitro" na aceitação ou refutação das teorias científicas.

Niaz (2005c) indica que essas suas ideias devem ser creditadas à Joseph Schwab (1909 – 1988), que sugeriu a incorporação de muitos dos aspectos da natureza das ciências em sala de aula e nos livros textos, estabelecendo uma distinção importante entre os aspectos metodológicos (os dados empíricos, por exemplo) e interpretativos (os princípios heurísticos) do conhecimento científico. Conforme indicam outros autores (Munford e Lima, 2007; Rodrigues e Borges, 2008), os aspectos metodológicos (que nos termos de Schwab são chamados de conhecimento científico semântico) referem-se aos significados compartilhados em grupo (como os conceitos, as teorias e os modelos, por exemplo) que visam explicar os fenômenos naturais, enquanto os aspectos interpretativos (chamados por Schwab de conhecimento científico sintático) são referentes às regras para se saber algo dentro das ciências naturais, isto é, aos procedimentos e práticas socialmente aceitas como válidas para a construção de modelos.

A proposição curricular proposta por Schwab, que ele denominou de "ensino de ciências por investigação", apresenta ênfase nos aspectos do conhecimento sintático (heurístico ou interpretativo), isto é, dos processos e procedimentos para se chegar aos conhecimentos científicos (Munford e Lima, 2007). O objetivo principal não é que os estudantes sejam capazes de conduzir investigações científicas, mas sim que entendam a natureza da investigação científica como uma atividade dinâmica e contínua (Rodrigues e Borges, 2008).

Embora seja comum interpretar, erroneamente, que o ensino de ciências por investigação envolve necessariamente atividades práticas ou experimentais, outras abordagens que não são práticas podem ser até mais investigativas do que aquelas experimentais (Munford e Lima, 2007). Niaz (2005c) propõe, justamente, que a abordagem em HFC possibilita a ênfase no conhecimento heurístico (sintático ou interpretativo).

A importância da HFC para a aprendizagem e compreensão conceitual dos alunos do ensino médio, também, pode ser depreendida, por estar implícita, dos documentos atuais que apresentam políticas curriculares. Por exemplo, os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (Menezes, 2000) apontam que o ensino de ciências tem por objetivo, entre outros, desenvolver no aluno as competências e as habilidades que o permitam "compreender as ciências como construções humanas, entendendo como elas se desenvolvem por acumulação, continuidade ou ruptura de paradigmas, relacionando o desenvolvimento científico com a transformação da sociedade" (p. 13). Também se pode encontrar, nas orientações complementares aos parâmetros curriculares, a indicação que os estudantes devem "compreender o conhecimento científico e o tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social" (MEC-SEMTEC, 2002, p. 31).

As políticas curriculares, como é sabido, muitas vezes são implementadas através das diversas formas de utilização dos livros didáticos em realidade

escolar. Em relação ao ensino de ciências, por exemplo, observa-se que “apesar dos avanços tecnológicos e da enorme variedade de materiais curriculares, atualmente disponíveis no mercado, o livro didático continua sendo o recurso mais utilizado no ensino de ciências” (Carneiro, Santos e Mól, 2005).

De acordo com Samrsl, Loguercio e Del Pino (1998), a presença dos livros didáticos como orientadores dos trabalhos em sala de aula é uma realidade, podendo mesmo acontecer uma inversão, onde os próprios livros influenciam a construção dos currículos, fazendo com que os conteúdos desses fiquem semelhantes à organização e aos capítulos daqueles. Mesmo para os professores que não utilizam os livros didáticos em suas salas de aula, “é nesse material que eles procuram a orientação sobre o que ensinar e como ensinar” (Lopes, 1993). Isso reforça a ideia de que mesmo não estando presentes em tempo integral na vivência de sala de aula os livros didáticos fazem-se refletir na escolha de como e quais conteúdos serão trabalhados pelo professor.

Em relação ao tema em tela, uma pesquisa realizada com livros de química geral do ensino superior (Brito, Rodríguez e Niaz, 2005) apontou que os livros textos, em geral, forneciam aos estudantes a ideia da tabela periódica como um produto que já surgiu pronto, acabado, podendo ser explicada somente após o entendimento da teoria atômica moderna e não utilizando o desenvolvimento da tabela periódica como argumento para explicá-la. Nos casos em que se incluía uma abordagem histórica, observou-se que os textos de química apresentavam a elaboração da tabela periódica como uma generalização indutiva e que Dimitrii Mendeleev (1834 – 1907) careceria de um marco teórico e, portanto, o desenvolvimento da tabela periódica teria sido um feito fortuito (Niaz, 2005c).

Por outro lado, uma análise prévia em livros de ensino médio (Flôr, 2008) sugere que o conteúdo tabela periódica é trabalhado de forma historicamente descontextualizada. Dessa forma, os livros didáticos poderiam induzir a uma compreensão equivocada da história da tabela periódica, ao sugerir que aquela tabela que está no livro foi elaborada por Mendeleev.

Portanto, neste artigo, apresenta-se o resultado de uma pesquisa em que se procurou verificar como um dado episódio da HFC, qual seja, a elaboração e difusão da tabela periódica, é apresentado nos livros didáticos brasileiros de química de ensino médio.

### **Metodologia**

A escolha do universo de pesquisa recaiu sobre os livros didáticos sugeridos pelo Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM). Implantado a partir de 2004, esse programa tem o objetivo de universalizar a distribuição de livros didáticos para estudantes das escolas públicas brasileiras do ensino médio (El-Hani, Roque e Rocha, 2005). Os livros de química distribuídos às escolas públicas, a partir de 2008, conforme as escolhas dos professores, podem ser vistos na tabela 1.

No decorrer do texto, os livros didáticos serão identificados pelas letras correspondentes indicadas na tabela 1. O livro F não traz um capítulo em

especial para o t3pico de tabela peri3dica, o que inviabilizou a an3lise desse livro nesta pesquisa.

<b>T3tulo</b>	<b>Autores</b>	<b>Editora</b>
A- Qu3mica Vol. 3nico	Eduardo Mortimer e Andr3a Machado	Scipione
B- Qu3mica	Ricardo Feltre	Moderna
C-Qu3mica na Abordagem do Cotidiano	Eduardo Canto e Francisco Peruzzo	Moderna
D- Qu3mica Vol. 3nico	Ol3mpio N3brega, Eduardo Silva e Ruth Silva	3tica
E- Qu3mica e Sociedade	Wildson Santos e Gerson M3l	Nova Gera33o
F- Universo da Qu3mica Ensino M3dio Vol. 3nico	Jos3 buja Bianchi, Carlos Abrecht e Justino Daltamir	FTD

Tabela 1.- Livros indicados pelo Programa Nacional do Livro Did3tico para o Ensino M3dio.

Entre os temas de HFC, apresentados em reconstru33o hist3rica (Niaz, 2008 e 2009), o assunto escolhido para a an3lise foi a classifica33o das subst3ncias elementares, ou em outras palavras, a produ33o e a recep33o da tabela peri3dica. Segundo Niaz (2005c), o estudo da tabela peri3dica 3, talvez, o melhor exemplo de como a hist3ria da qu3mica tem um papel crucial no ensino dessa disciplina.

Portanto, esta pesquisa analisou os livros did3ticos de qu3mica de ensino m3dio, no cap3tulo sobre tabela peri3dica, distribu3dos pelo PNLEM, utilizando os crit3rios propostos por Brito, Rodr3guez, Niaz (2005), baseados em uma anterior narrativa de reconstru33o hist3rica (Niaz, Rodr3guez e Brito, 2004). Ap3s a leitura dos cap3tulos sobre tabela peri3dica, os livros foram classifica3dos de tr3s formas de acordo com cada crit3rio: Satisfat3rio (S), Men33o (M) ou Sem Men33o (S). Os crit3rios a seguir foram utilizados para analisar os livros did3ticos.

*Crit3rio 1: A import3ncia da acomod33o dos elementos na tabela peri3dica.*

A acomod33o, ou a disposi33o, dos diversos elementos previamente conhecidos na tabela peri3dica, de acordo com suas propriedades f3sicas e qu3micas, 3 considerada um importante fator no sucesso e na aceita33o da tabela peri3dica. A acomod33o diz respeito ao acordo dos fatos observados com a teoria. As seguintes classifica33es foram elaboradas:

Satisfat3rio (S): se o livro explica e enfatiza que um importante aspecto da Tabela Peri3dica 3 a acomod33o dos diferentes elementos qu3micos em rela33o ao n3mero at3mico (ou 3 massa at3mica, ou ao peso at3mico, como era chamado ent3o) e 3s v3rias propriedades, tais como densidade, volume at3mico, raio at3mico/i3nico, energia de ioniza33o, eletronegatividade, afinidade eletr3nica, forma33o de 3xidos e cloretos, etc.

Men33o (M): uma simples men33o de que a acomod33o foi importante.

Sem men33o (N): Sem men33o do papel da acomod33o.

*Critério 2: A importância da previsão como evidência para apoiar a lei periódica.*

Após a descoberta do gálio em 1875, por Paul Émile de Boisbaudran (1838–1912), cuja existência havia sido prevista por Mendeleev (ele chamara o elemento químico previsto de *Eka-aluminium*), os químicos dedicaram mais atenção para a lei periódica e a tabela periódica foi cada vez mais reconhecida como uma importante ferramenta tanto para a educação quanto para a pesquisa. As seguintes classificações foram elaboradas:

Satisfatório (S): se o livro enfatiza a importância das previsões no desenvolvimento da tabela periódica ao dar como exemplo pelo menos um dos três elementos previstos por Mendeleev e depois descobertos (gálio, escândio ou germânio) e uma comparação entre as propriedades previstas e experimentais.

Menção (M): uma simples menção de que Mendeleev fez previsões de novos elementos e dá como exemplo um ou mais dos três elementos.

Sem menção (N): se o texto afirma que Mendeleev fez predições sem exemplos.

*Critério 3: A importância relativa da acomodação e da previsão no desenvolvimento da tabela periódica.*

Há considerável controvérsia entre historiadores e filósofos da ciência com respeito à relativa importância da acomodação e das previsões na aceitação da tabela periódica pelos cientistas contemporâneos de Mendeleev. Para a educação em ciências é importante notar que o sucesso da tabela periódica poderia ser atribuído às acomodações, às previsões, ou a ambas. Isso facilita o entendimento de que os mesmos dados experimentais podem ser explicados por interpretações alternativas. Essas interpretações alternativas estão ilustradas nos critérios 1 e 2. As seguintes classificações foram elaboradas:

Satisfatório (S): se o livro refere explicitamente às interpretações rivais e conflitantes com respeito ao sucesso da tabela periódica; isto é, devido às acomodações ou às previsões.

Menção (M): uma simples menção e comparação de maneiras alternativas de explicação do sucesso da tabela periódica sem menção à rivalidade e/ou à controvérsia.

Sem menção (N): se o livro menciona o papel da acomodação e previsão sem tentar comparar ou mencionar o papel controverso das duas ações.

*Critério 4: O modelo teórico de Mendeleev facilitou a correção das massas atômicas.*

Em acréscimo ao descobrimento dos elementos previstos por Mendeleev (gálio, escândio e germânio), considera-se a correção, por dedução teórica, das massas atômicas (ou pesos atômicos, conforme a denominação da época) como novas previsões. Por exemplo, no caso de berílio, em 1871, Mendeleev indicou um peso atômico de 9,4 ao invés de 14,6, como era atribuído então. Somente em 1885, através de novas medidas obteve-se a

massa atômica de 9,0 para o berílio. As seguintes classificações foram elaboradas:

Satisfatório (S): se o livro reconhece o papel dessas previsões e fornece pelo menos um exemplo de como Mendeleev corrigiu os pesos atômicos dos elementos.

Menção (M): uma simples menção, com pelo menos um exemplo, de como Mendeleev inverteu a ordem dos elementos, e sem menção da correção dos pesos atômicos.

Sem menção (N): sem menção das novas previsões.

*Critério 5: A explicação da periodicidade na tabela periódica é devida à teoria atômica.*

Uma reconstrução histórica (Niaz, Rodríguez e Brito, 2004), baseada nos artigos e livros de Mendeleev, Niels Bohr (1885 – 1962), Gilbert Lewis (1875 – 1946), Henry Moseley (1887 – 1915), Joseph John Thomson (1856 – 1940), entre outros, mostra que este foi um assunto controverso e geralmente duas alternativas são apresentadas: (a) generalização indutiva, ou seja, uma conclusão geral a partir de casos particulares; e (b) periodicidade como uma função da teoria atômica, isto é, antes que as configurações eletrônicas tivessem sido definitivamente elaboradas. As seguintes classificações foram elaboradas:

Satisfatório (S): se o livro apresenta as duas interpretações alternativas, ou seja, a controvérsia, e então aceita e adere a uma delas, fornecendo razões para sua seleção. É possível que o livro possa não aceitar alguma interpretação e deixar isto como uma questão aberta.

Menção (M): uma simples menção de uma ou ambas alternativas sem detalhes com respeito aos méritos de cada interpretação.

Sem menção (N): sem tentar explicar a periodicidade na tabela.

*Critério 6: Discussão acerca da natureza da contribuição de Mendeleev: ele propôs uma teoria ou uma lei empírica?*

Este critério tenta analisar a natureza da contribuição de Mendeleev e, conseqüentemente, facilita o entendimento do progresso científico. Dada a controvérsia entre filósofos da ciência, uma reconstrução histórica (Niaz, Rodríguez e Brito, 2004) fornece três alternativas: (a) um domínio ordenado ou esquema de codificação; (b) uma lei empírica; e (c) uma teoria com poder de explicação limitado, ou uma teoria interpretativa. As seguintes classificações foram elaboradas:

Satisfatório (S): se o livro enfatiza a natureza problemática da compreensão do progresso científico e fornece razões para aceitar qualquer uma das três alternativas. É possível que o livro possa não aceitar nenhuma das alternativas e deixar isto como uma questão aberta.

Menção (M): se o livro aceita qualquer uma das três alternativas e não faz referência à controvérsia com respeito ao progresso científico.

Sem menção (N): sem tentar entender a natureza da contribuição de Mendeleev na proposição da tabela periódica.

*Critério 7: Desenvolvimento da tabela periódica como uma seqüência progressiva de princípios heurísticos.*

O progresso científico é caracterizado por uma série de teorias ou modelos (explicações plausíveis) que variam no grau em que podem prever, interpretar ou explicar os achados experimentais. Uma reconstrução histórica da tabela periódica mostra que ela pode ser entendida como uma seqüência progressiva de princípios heurísticos baseando-se nas seguintes contribuições:

(a) as ideias sobre teoria atômica de John Dalton (1766–1844) e a acumulação de dados sobre os pesos atômicos dos elementos e suas propriedades;

(b) as tentativas para classificar os elementos por Johann Wolfgang Döbereiner (1780–1849), em seu trabalho com as tríades em um artigo de 1817, e mais tarde por Alexandre-Émile de Chancourtois (1820–1886; em artigo de 1862), Julius Lothar Meyer (1830–1895; em 1864), John Alexander Newlands (1837–1898; em 1864), William Odling (1828–1921; em 1864) e Gustavus Hinrichs (1836–1923; em 1866), em outras tentativas antes de Mendeleev. Seria suficiente se o livro fizesse referência a qualquer uma destas contribuições.

(c) a primeira tabela periódica de Mendeleev, publicada em 1869, baseada nos pesos atômicos e contribuições subseqüentes;

(d) a descoberta de argônio em 1895 e sua localização na tabela periódica; e

(e) a contribuição de Moseley (a partir de 1913) e a tabela periódica moderna baseada nos números atômicos.

As seguintes classificações foram elaboradas:

Satisfatório (S): se o livro enfatiza a importância dos cinco princípios heurísticos e fornece algo semelhante a uma seqüência (como para “costurar” o texto) que aumenta o poder explicativo/heurístico da tabela periódica.

Menção (M): embora o livro possa não estabelecer explicitamente uma seqüência, ele deveria mencionar pelo menos quatro dos cinco princípios heurísticos.

Sem menção (N): uma simples inclusão de três dos princípios heurísticos sem tentar estabelecer uma seqüência (a maioria dos livros inclui Moseley e Mendeleev ou que a moderna tabela periódica é baseada em números atômicos).

Os sete critérios foram utilizados como base para a análise dos livros didáticos distribuídos pelo PNLEM. O capítulo sobre tabela periódica foi lido e cada critério foi avaliado separadamente. Na próxima seção, são apresentados os resultados sintéticos, na forma de tabelas, e são transcritos alguns trechos dos livros para exemplificar e justificar as análises e classificações realizadas.

## Resultados e discussões

Os livros didáticos, segundo os critérios utilizados na análise, não apresentam de forma satisfatória o conteúdo tabela periódica em uma abordagem histórica. A tabela 2 resume a análise realizada. Pode-se notar que somente os *critérios 1, 2 e 6* foram satisfatoriamente abordados ou mencionados em todos os livros analisados. O *critério 5* foi mencionado somente no livro A e não teve menção nos outros livros. O *critério 7* foi mencionado somente no livro E. O *critério 3* não foi mencionado em nenhum dos livros analisados.

Livros	Critérios						
	1	2	3	4	5	6	7
A	S	S	N	N	M	M	N
B	S	S	N	M	N	M	N
C	S	S	N	M	N	M	N
D	M	S	N	N	N	M	N
E	S	M	N	N	N	M	M

Tabela 2.- Análise de livros didáticos de Química do Ensino Médio, avaliados de acordo com os critérios expostos anteriormente [Legenda: (S), satisfatório; (M), menção; (N), sem menção].

A seguir, apresenta-se uma análise mais detalhada sobre cada critério, onde estão inseridas partes dos textos dos livros que justificam a classificação recebida. As tabelas presentes nos textos analisados foram refeitas com o objetivo de melhorar a qualidade visual do seu conteúdo.

*Critério 1: A importância da acomodação no desenvolvimento da tabela periódica.*

Conforme indicado pela reconstrução histórica (Brito, Rodríguez e Niaz, 2005), na ocasião em que Mendeleev começou a trabalhar com a classificação e organização das substâncias elementares, naquilo que viria a se chamar tabela periódica, estavam disponíveis as massas atômicas (na época eram chamadas de peso atômico) de cerca de 60 elementos, permitindo que Mendeleev os acomodasse em uma tabela de acordo com várias propriedades físico-químicas (densidade, calor específico, massa atômica, volume atômico, ponto de fusão, valência e características dos óxidos, cloretos e sulfetos formados). Apenas um dos livros analisados não abordou satisfatoriamente o aspecto da acomodação dos elementos químicos, através de suas propriedades físico-químicas, no enquadramento proposto pela tabela periódica.

Vejamos, por exemplo, excertos dos livros em que se faz uma menção adequada à acomodação dos elementos no quadro geral proposto pela tabela periódica:

“Em 1869, trabalhando independentemente, dois cientistas – Julius L. Meyer, na Alemanha (baseando-se principalmente em propriedades físicas), e Dimitri I. Mendeleev, na Rússia (baseando-se principalmente em propriedades químicas) – propuseram tabelas semelhantes para a classificação dos elementos químicos.

O trabalho de Mendeleev foi porém mais metucioso: ele anotava as propriedades dos elementos químicos em cartões; pregava esses cartões na parede de seu laboratório; mudava as posições dos cartões até obter uma seqüência de elementos em que se destacasse a semelhança das propriedades. Foi com esse quebra-cabeça que Mendeleev chegou à primeira tabela periódica, verificando então que havia uma periodicidade das propriedades quando os elementos químicos eram colocados em ordem crescente de suas massas atômicas. Em uma de suas primeiras tabelas, Mendeleev colocou os elementos químicos conhecidos (cerca de 60, na época) em 12 linhas horizontais, em ordem crescente de massas atômicas, tomando o cuidado de colocar na mesma vertical os elementos de propriedades químicas semelhantes." (grifos nossos; livro B, página 112).

"(...) na época havia evidências científicas de que os átomos de cada elemento têm massas diferentes. Mendeleev organizou as fichas de acordo com a ordem crescente da massa dos átomos de cada elemento. Notou que nessa seqüência apareciam, a intervalos regulares, elementos com propriedades semelhantes, de modo similar ao que Newlands fizera.

Havia uma periodicidade, ou seja, uma repetição nas propriedades dos elementos. Entre os muitos exemplos de elementos com propriedades semelhantes, podemos citar:

- sódio (Na), potássio (K) e rubídio (Rb) – reagem explosivamente com a água; combinam-se com o cloro e o oxigênio, formando, respectivamente, compostos de fórmulas  $ECl$  e  $E_2O$  (E representa o elemento).

Em 1869, Mendeleev pôde organizar os elementos em uma tabela, na qual aqueles com propriedades semelhantes apareciam numa mesma coluna. Antes de Mendeleev, outros cientistas – como Döbereiner, Chancourtois e Newlands – já haviam percebido que alguns elementos têm propriedades semelhantes, mas o mérito do químico russo foi o de fazer uma extensiva organização dos elementos com base em suas propriedades, realizar pequenos ajustes necessários e deixar locais para elementos que poderiam existir, mas que ainda não haviam sido descobertos." (grifos nossos; livro C, página 90).

Como se pode depreender, nesses livros o *critério 1* foi satisfatoriamente mencionado. Como se pode observar através do que está grifado nesses excertos, explica-se que a tabela periódica foi organizada de acordo com a ordem crescente da massa atômica e ainda faz uma relação com alguns elementos e as suas propriedades, mostrando exemplos, enfatizando a importância da acomodação no desenvolvimento da tabela periódica.

Os livros que foram classificados como satisfatórios em relação a esse critério colocam muito bem a ideia de que Mendeleev percebeu que os elementos poderiam ser organizados levando em consideração a massa atômica de forma crescente e agrupados de acordo com suas propriedades. Não se pode classificar esses livros como uma simples menção, pois eles trazem e enfatizam tanto a importância das propriedades das substâncias elementares para a acomodação (organização, disposição ou alocação, etc.)

dos elementos químicos na tabela periódica quanto a relevância da massa atômica como princípio organizativo.

Em relação a esse critério houve apenas um livro classificado como "menção". No livro D não existe nenhum comentário a respeito da dependência das propriedades físico-químicas como função da massa atômica. Sem abordar as referências históricas ao trabalho de Mendeleev ou de seus predecessores, o livro apresenta a periodicidade como uma dependência do número atômico. Por outro lado, para ser classificado como menção o livro mostra a questão da importância das propriedades periódicas na acomodação dos elementos, ainda que de forma implícita, como se pode verificar nos seguintes excertos.

"Na tabela periódica, os elementos químicos estão dispostos em ordem crescente do número atômico. O hidrogênio, que tem o menor número atômico, é o primeiro elemento da família 1A e está situado no 1º período. O elemento de número atômico 2 – hélio – é o primeiro elemento da família dos gases nobre e também está localizado no 1º período. A seguir, vem o lítio, de número atômico 3, que pertence à família dos metais alcalinos e está situado no 2º período.

Pela análise das fórmulas de substâncias formadas na reação entre hidrogênio e alguns elementos representativos, procuraremos identificar regularidades que permitirão desvendar esses critérios.

(...)

Podemos concluir, portanto, que na tabela periódica os elementos que apresentam propriedades semelhantes estão localizados em uma mesma família. Assim, conhecendo o comportamento de um elemento de uma família, podemos prever o comportamento dos outros elementos dessa família. A variação da propriedade apresentada pelos elementos de um período repete-se nos demais" (grifos nossos; livro D, páginas 171 e 173).

Em relação a esse primeiro critério, pudemos perceber que, em geral, os livros colocam adequadamente a questão da importância da acomodação na proposição inicial e no desenvolvimento subsequente da tabela periódica.

*Critério 2: A importância da previsão como evidência para apoiar a lei periódica.*

Baseado no referencial lakatosiano, Niaz, Rodríguez e Brito (2004) argumentam que as previsões de fatos novos representam um importante papel no desenvolvimento e na sustentação das teorias científicas. Nesse contexto, supõe-se que as previsões de Mendeleev possuíram um papel crucial no desenvolvimento e na aceitação da tabela periódica.

Na maioria dos livros (4 de 5), as previsões feitas por Mendeleev são satisfatoriamente mencionadas. Algumas vezes são relatadas as previsões em uma parte do texto, outras vezes essas informações são apresentadas em quadros ou tabelas, onde aparecem as propriedades previstas por Mendeleev e as propriedades verificadas experimentalmente depois de sua descoberta das substâncias elementares. Vejamos, a seguir, a partir dos excertos dos livros exemplos da importância dada às previsões possibilitadas pelo trabalho de Mendeleev.

“O número de elementos conhecidos não era suficiente para que Mendeleev preenchesse todos os espaços da tabela, obrigando-o a deixar alguns deles em branco. Da forma como estava organizado, o quadro de Mendeleev permitiu prever as propriedades dos elementos ainda não conhecidos e forneceu um verdadeiro “mapa da mina” para suas descobertas” (grifos nossos; livro A, página 98).

“Outro grande tento de Mendeleev foi deixar certas “casas” vazias na tabela.

(...)

A justificativa de Mendeleev foi de que no futuro seriam descobertos novos elementos que preencheriam esses lugares vazios. De fato, a História provou que ele estava certo: em 1875 foi descoberto o gálio (68); em 1879, o escândio (44); e em 1886, o germânio (72).

Mendeleev foi além: conseguiu prever com grande precisão as propriedades do escândio e do germânio alguns anos antes de esses elementos serem descobertos. Assim, por exemplo, temos para o germânio (Ge)” (grifos nossos; livro B, páginas 112 e 113).

	<b>Previsões de Mendeleev</b>	<b>Dados atuais (obtidos na prática)</b>
Massa atômica	72	72,6
Cor	Cinza	Cinza
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	5,5	5,32
Fórmula do óxido	GeO <sub>2</sub>	GeO <sub>2</sub>
Densidade do óxido (g/cm <sup>3</sup> )	4,7	4,23

Tabela 3.– Transcrita da página 113 do livro B.

Os livros A e D, também, trazem tabelas onde são feitas as comparações entre as propriedades previstas por Mendeleev para os elementos químicos ainda não descobertos e as propriedades observadas nas substâncias elementares após o isolamento dos novos elementos químicos. No Livro A, há uma tabela em são comparadas as propriedades do germânio (isolado a primeira vez em 1886) com as previsões de Mendeleev para o hipotético eka-silício, segundo o livro elas foram feitas em 1871 (elas foram ampliadas em 1875 após a descoberta do gálio, que seria o hipotético eka-alumínio). As propriedades apresentadas na tabela são: massa atômica, densidade, volume molar, calor específico, fórmula do óxido, densidade do óxido, volume molar do óxido, fórmula do cloreto, ponto de ebulição do cloreto, densidade do cloreto e volume molar do cloreto.

Embora o livro D, também, seja classificado como satisfatório é preciso indicar que a história da tabela periódica não está inserida no texto principal do livro. A história é colocada em quadros nas laterais do livro. Num desses mostra-se a tabela fazendo a mesma comparação, mas apenas para oito das propriedades listadas anteriormente. A caixa de texto na lateral do livro organiza as ideias sobre o desenvolvimento da tabela periódica da seguinte forma:

“Diversamente de Newlands, porém, [Mendeleev] convenceu a comunidade científica da época da importância de sua classificação graças à sua ousadia na interpretação e análise das relações apresentadas. Mendeleev foi capaz, ainda, de prever a existência de elementos até então desconhecidos, suas propriedades e em que minérios e regiões da Terra seriam encontrados” (grifos nossos; livro D, página 178).

De forma diferente, o livro E foi classificado como “menção”, pois o texto apresenta a importância da previsão e dá exemplos de elementos que foram descobertos depois, porém não realiza as comparações entre as propriedades previstas e as verificadas experimentalmente após serem descobertos os elementos químicos previstos por Mendeleev. O extrato seguinte atesta essa lacuna.

“Ao organizar os elementos, considerando a ordem crescente de peso atômico e as propriedades químicas de suas substâncias, Mendeleev observou que em sua tabela existiam espaços vazios. Deduziu, então, que eles deveriam pertencer a elementos químicos ainda não descobertos. E, pela análise das informações sobre os elementos já conhecidos, pôde até prever as propriedades de três ainda não descobertos, aos quais deu os seguintes nomes: ecalumínio (gálio, descoberto em 1875), ecaboro (escândio, descoberto em 1879) e ecassilício (germânio, descoberto em 1886).

Seguindo a previsão das propriedades dos átomos e das substâncias desses elementos, os químicos puderam depois identificá-los e obter dados próximos dos previstos por Mendeleev.” (grifos nossos; livro E, página 178).

Entretanto, o livro E exagera no alcance das previsões de Mendeleev, uma vez que esses elementos químicos não foram descobertos (ou isolados pela primeira vez) ao se seguir as previsões das propriedades das substâncias elementares. O gálio e o escândio foram descobertos em função de pesquisas com análise espectral, em que se verificaram “ruídos” na análise de materiais minerais que continham pequenas quantidades desses elementos químicos. No caso do gálio, Mendeleev escreveu para seu descobridor, de Boisbaudran, indicando se tratar de seu eka-alumínio. Quando o escândio foi descoberto um químico sueco verificou tratar-se do eka-boro e escreveu para Mendeleev para comunicar o fato. A relação indicada pelo livro E somente poderia ser feita em relação ao germânio, pois seu descobridor, Winkler, soube se tratar do eka-silício previsto por Mendeleev (Scerri, 2007).

Portanto, em relação ao segundo critério, que aborda a importância das previsões feitas a partir da produção da tabela periódica, também encontramos bons resultados nos livros analisados. Os livros mostram os elementos previstos por Mendeleev em quadros que relacionam as propriedades previstas dos elementos comparadas com as propriedades encontradas experimentalmente depois de sua descoberta. Entretanto, as tabelas aparecem nos livros como simples ilustrações e não são aproveitadas como oportunidades para contextualizar ou debater os significados epistemológicos e o fazer científico. A apresentação histórica da tabela periódica poderia proporcionar a oportunidade de tratar da

elaboração conceitual de algumas propriedades fundamentais das substâncias elementares, propiciando uma melhor compreensão dos alunos. Isso poderia ocorrer se existisse, por exemplo, explicações que indicassem como o elemento previsto se parece com os outros elementos do seu grupo, abordando uma parte dos assuntos de propriedades físicas (densidade e pontos de ebulição, por exemplo) e químicas (valência e reatividade, por exemplo) das substâncias elementares.

*Critério 3: Importância relativa da acomodação e da previsão no desenvolvimento da tabela periódica.*

Conforme Brito, Rodríguez e Niaz (2005), historiadores e filósofos da ciência continuam a debater o que foi crucial para a aceitação da lei periódica pela comunidade científica, se foi a acomodação dos elementos existentes ou se foram as previsões dos novos elementos químicos. As acomodações ocorreram a partir de 1869, ocasião em que Mendeleev escrevia o livro em que publicaria pela primeira vez uma tabela periódica. De acordo com Scerri (2007), o desenvolvimento e a aceitação da tabela periódica permitem provar com uma poderosa ilustração a importância da acomodação, isto é, a habilidade de uma nova teoria científica para explicar fatos já conhecidos.

A importância das previsões para a aceitação da tabela periódica surge somente em 1875, com a descoberta do gálio. Niaz, Rodríguez e Brito (2004) sugerem, seguindo Imre Lakatos, que tanto a acomodação quanto as previsões são igualmente importantes no progresso de teorias científicas. Porém, ao julgar o grau de importância de cada um desses aspectos seria preciso verificar como os contemporâneos de Mendeleev se pronunciaram em relação à proposição da tabela periódica.

Segundo Gordin (2003), o sucesso da lei periódica proposta por Mendeleev foi amparado pela escassez de críticas. A análise histórica desse autor revela que raramente houve um desenvolvimento científico fundamental que tenha sido introduzido com tão pouco debate, porém isso não quer dizer que o sistema tenha sido imediatamente aceito ou mesmo avaliado pela comunidade dos químicos.

Em outra análise histórica sobre o desenvolvimento da tabela periódica (Scerri, 2007), indica-se que se muitos dos contemporâneos de Mendeleev ficaram impressionados com a acomodação que o seu sistema alcançou, outros, como o eminente químico francês Marcellin Bertholet (autor de importantes livros sobre a história da alquimia e da química, por exemplo), não se impressionaram nem com as previsões nem com as acomodações subjacentes à tabela periódica. Ele indicava que havia muitos sobressaltos na organização, indicando que haveria erros no sistema periódico.

Se por um lado, a incorporação bem sucedida das terras raras e dos gases nobres foram a prova da validade do sistema periódico (Scerri, 2007), onde o próprio Mendeleev considerou a acomodação do argônio (e dos outros gases nobres) como a confirmação gloriosa da validade e aplicabilidade geral da lei periódica (Brito, Rodríguez e Niaz, 2005); por outro lado, Mendeleev produzir uma série de previsões de Mendeleev que não foram bem sucedidas (Scerri, 2007). Mendeleev, por exemplo, previu a existência de dois elementos mais leves que o hidrogênio, baseados nas

relações numéricas entre razões de peso atômico de pares de elementos na tabela periódica, chamando-os de newtonium (que seria o éter que serviria de meio para a propagação da luz, por exemplo) e de coronium. Obviamente esses hipotéticos elementos jamais foram isolados ou identificados.

Conforme se pode verificar na tabela 2, todos os livros foram classificados como "sem menção". A maioria dos livros coloca as questões da acomodação e da previsão no desenvolvimento da tabela periódica como fatos isolados, como foram mostrados nos critérios 1 e 2. Ou seja, nos livros didáticos analisados não se questiona nem se dá importância à forma como ocorreu o desenvolvimento da tabela periódica. Nos livros não há uma reflexão nem uma comparação se existe ou não um papel controverso nessas duas questões. Também não é apresentada alguma análise das previsões, frutíferas ou incorretas, e das acomodações que mostrem um contexto histórico um pouco mais detalhado.

Scerri (2007) indica que a confirmação da previsão dos novos elementos não serviu como um fato preponderante para a eventual aceitação da tabela periódica, mas deveria se perceber que a descoberta do gálio, do escândio e do germânio serviu simplesmente para chamar a atenção da comunidade científica para o sistema periódico.

Na apreciação desse critério trouxemos observações de duas análises históricas (Gordin, 2003; Scerri, 2007) e isso deve ser levado em conta na própria análise dos livros. Então, pode-se argumentar pela possível dificuldade dos autores dos livros didáticos em utilizar em sua obra, talvez por não conhecerem, os dados existentes na história da tabela periódica, ou por não considerarem isso como relevante durante a escrita de seu texto didático.

*Critério 4: O modelo teórico de Mendeleev facilitou a correção das massas atômicas.*

Novamente, iniciamos os comentários em relação a esse critério descrevendo um pouco mais o contexto histórico que antecedeu a produção da tabela periódica por Mendeleev. Scerri (2007) interpreta que, através de sua história, o desenvolvimento da tabela periódica foi envolvido por uma delicada interação entre duas abordagens contrastantes: a mensuração de dados físicos quantitativos, de um lado, e a observação qualitativa das semelhanças entre os elementos como uma forma de ciência natural, de outro lado.

Porém, os problemas teóricos com os quais um químico do século XIX se deparava eram significativos. Conforme Oki (2007), havia dúvidas sobre a diferença entre os conceitos de átomo e molécula, divergências sobre a nomenclatura química mais adequada para ser usada por essa comunidade, a utilização dos conceitos de peso atômico (atualmente massa atômica relativa) ou equivalente químico, entre outros. Essa última questão foi consequência da dificuldade enfrentada pela teoria atômica daltoniana para se fazer aceita naquele século. Na ocasião, para muitos químicos, a hipótese atômica de Dalton era incongruente com os dados experimentais indicados por Louis Joseph Gay-Lussac (1778–1850), através da lei das proporções definidas, por volume.

Embora Amedeo Avogadro (1776–1856), em 1811, tenha apresentado uma resolução para esse aparente problema, sua teoria foi compreendida por muitos poucos cientistas à época e teve que esperar cerca de 50 anos para ser firmemente estabelecida através da apresentação de seu colega italiano Stanislao Cannizzaro (1826–1910), no Congresso de Karlsruhe (Scerri, 2007).

De acordo com Gordin (2004), o Congresso de Karlsruhe, realizado na primeira semana de setembro de 1860, representa a primeira vez que químicos de diversas partes da Europa se reúnem em um mesmo local para resolver questões centrais da ciência e isso foi estágio importante na profissionalização da química como ciência internacional. Um dos propósitos dessa conferência foi clarear a noção de “átomo” e “molécula” e seus aspectos relacionados de peso atômico e de peso equivalente.

Em Karlsruhe, Cannizzaro faz uma apresentação acerca da hipótese de Avogadro, qual seja, que volumes iguais de todos os gases, a mesma temperatura e pressão, contém o mesmo número de partículas. Dessa forma, Cannizzaro argumenta que a densidade relativa de um gás proveria a medida de seu peso relativo (massa relativa). Essa ideia permitiu que ele publicasse, entre 1858 e 1869, um conjunto consistente de pesos atômicos das substâncias elementares (Scerri, 2007).

Segundo Gordin (2003), Mendeleev tinha 26 anos na ocasião e para o resto de sua vida lembraria as inovações de Cannizzaro como centrais para a formação do seu sistema periódico dos elementos químicos. Na época em que começou a trabalhar conscientemente com a classificação dos elementos, ele havia assimilado completamente o uso dos pesos atômicos modernos, uma abordagem que foi essencial para a sua descoberta (Scerri, 2007).

As relações numéricas, estabelecidas por Mendeleev, envolvendo as massas atômicas dos elementos eram tributárias de uma forma de organização que começou com Döbereiner. Esse químico alemão encontrou, em 1817, uma relação numérica entre pesos equivalentes de compostos binários oxigenados. Nesse caso, o elemento médio de uma tríade apresentaria o peso médio dos elementos extremos da tríade. Dessa forma, Döbereiner propôs que as tríades poderiam revelar as relações químicas entre os elementos através de relações numéricas (Scerri, 2007). Mendeleev expandiu o uso dessa relação numérica para corrigir valores de massas atômicas e para modificar a posição de certas substâncias elementares em sua tabela periódica.

Os livros didáticos utilizados não fazem menção à previsão das massas atômicas indicadas por Mendeleev. Em nenhum deles a correção dos “pesos atômicos” foi citada. Em relação às modificações no ordenamento das substâncias na tabela periódica apenas dois livros fizeram menção ao fato.

No livro B, por exemplo, indica-se uma inversão na ordem de elementos na tabela periódica, dispostos em função dos pesos atômicos. Essa inversão teria sido realizada em decorrência da prioridade dada às propriedades químicas (valência e reatividade, por exemplo) no agrupamento dos elementos químicos. Vejamos o trecho em que isso é abordado:

“Duas grandes ousadias de Mendeleev provaram sua grande intuição científica:

Na sequência das massas atômicas, o I (127) deveria vir antes do Te (128). No entanto, Mendeleev, desrespeitando seu próprio critério de ordenação, inverteu as posições de ambos, de modo que o I (127) viesse a ficar embaixo (na mesma coluna) dos elementos com propriedades semelhantes a ele – o Cl (35,5) e o Br (80). Para se justificar, Mendeleev alegou que as medições das massas atômicas, na época, estavam erradas. Hoje sabemos que a ordem Te – I é a correta, como veremos adiante.” (grifos nossos; Livro B, página 112).

Como no critério anterior, a análise dos livros revela que a correção dos pesos atômicos feita por Mendeleev não é apresentada. Infelizmente, encontram-se nos livros, apenas, eventuais comentários sobre a inversão da ordem de alguns. Entende-se que esse fato histórico deveria estar presente em todos os livros didáticos, pois permitiria estabelecer uma ampla relação com conteúdos curriculares (e com conceitos científicos) que costumam ser apresentados antes da classificação das substâncias elementares, tais como: estequiometria, estudo dos gases e modelos atômicos. Além disso, a correção dos pesos atômicos, bem como a abordagem dos números fracionários da maior parte dos elementos químicos, poderia ser utilizada para posteriormente explicar a proposta e o desenvolvimento da tabela periódica atual, partindo da necessidade de novos estudos sobre os átomos é que se deu esse desenvolvimento e a correção das massas atômicas.

*Critério 5: A explicação da periodicidade na tabela periódica é devida à teoria atômica.*

Na reconstrução histórica apresentada por Niaz, Rodríguez e Brito (2004), observa-se que, apesar da própria ambigüidade de Mendeleev, a periodicidade das propriedades dos elementos químicos na tabela periódica pode ser atribuída à teoria atômica. Verifica-se que a maior parte do trabalho pioneiro de Mendeleev foi realizada entre 1869 e 1889, o que poderia caracterizar seu trabalho como uma generalização indutiva, uma vez que foi realizado antes que se tomasse corpo as ideias sobre modelo atômico e partículas atômicas, a partir dos trabalhos de Thomson, Rutherford, Bohr e Moseley. Porém, é importante notar que Mendeleev possuía, à época, as seguintes importantes fontes de informação: a teoria atômica de Dalton, a lei das proporções múltiplas, a apresentação de Cannizzaro acerca da hipótese de Avogadro no Congresso de Karlsruhe, massas atômicas razoavelmente confiáveis, atomicidade (valência) e várias propriedades físicas e químicas dos elementos.

No critério anterior vimos que os livros não abordam os aspectos quantitativos, envolvendo a correção das massas atômicas, propostas por Mendeleev. De forma semelhante, os livros analisados não apresentam a concepção atômica subjacente à proposição inicial do sistema periódico. Apenas um livro fez alguma menção ao assunto.

O livro A foi o único classificado, por esse critério, como “menção”, pois faz relação com uma das alternativas que explica a periodicidade na tabela

periódica, através de generalização empírica, como se pode ver no seguinte excerto:

“Apesar de toda essa precisão, esse foi um trabalho baseado apenas no conhecimento empírico, disponível na época, sobre as propriedades das substâncias. Na época de Mendeleev, não era possível explicar a razão da periodicidade das propriedades físicas e químicas dos elementos. Os primeiros modelos propostos para a estrutura dos átomos – o modelo de Thomson e o modelo de Rutherford – também não preencheram essa lacuna.

Ao mostrar a existência de níveis de energia discretos para os elétrons, e que os átomos dos elementos de um mesmo período da tabela periódica possuem seus elétrons mais energéticos ocupando o mesmo nível de energia, o modelo de Bohr possibilitou explicar a periodicidade de várias propriedades atômicas, associando o comportamento físico e químico das substâncias à distribuição dos seus elétrons por níveis ou camadas.” (grifos nossos; Livro A, página 111).

Os demais livros foram classificados como “sem menção”, pois eles não tentam explicar a periodicidade da tabela periódica de acordo com o *Critério 5*. Alguns livros apresentam o desenvolvimento posterior, justificando a lei periódica através de modelos atômicos, como também pode ser visto no extrato anterior.

Nesse sentido, o livro C, por exemplo, apresenta a última fase do desenvolvimento da tabela periódica, mostrando como a mesma foi reorganizada levando-se em conta os conhecimentos sobre modelos atômicos da época, mas não se pode dizer que ele apresenta alguma das interpretações para a periodicidade da tabela periódica, como podemos verificar nesse trecho do livro:

“Em 1913 e 1914, o inglês Henry Moseley fez importantes descobertas trabalhando com uma complexa técnica envolvendo raios X. Ele descobriu uma característica numérica dos átomos de cada elemento que ficou conhecida como número atômico e que posteriormente foi associada ao número de prótons. Lembre-se, do capítulo anterior, que cada elemento químico apresenta o seu número atômico.

Os elementos não estão dispostos na tabela periódica atual por ordem crescente de massa atômica, mas sim por ordem crescente de número atômico. Hoje se sabe que quando os elementos químicos são organizados em ordem crescente de número atômico, ocorre uma periodicidade nas suas propriedades, ou seja, repetem-se regularmente elementos com propriedades semelhantes. Essa regularidade da natureza é conhecida como Lei Periódica dos Elementos.” (grifos nossos; livro C, página 91).

A partir da análise com esse o *critério 5*, pode-se verificar os textos didático não apresentam uma posição ou preocupação em explicar a periodicidade na tabela periódica como função do modelo atômico, apesar do capítulo dedicado à classificação das substâncias elementares vir depois do capítulo dedicado aos modelos atômicos. Nos livros, o conteúdo de um

capítulo não é usado para justificar ou explicar o que é apresentado no capítulo anterior ou seguinte, ou seja, não ocorre a remissão ou a reiteração dos conceitos.

Os livros poderiam ser criticados mesmo em abordagens mais simples sobre o uso da HFC no ensino e na aprendizagem de química. Por exemplo, na maioria dos livros analisados fica apenas implícito que os dois assuntos (modelos atômicos e tabela periódica) aconteceram em épocas diferentes, o que pode dificultar a compreensão de como foi trabalhosa a elaboração da tabela periódica, quando pouco se conhecia sobre os átomos. Houve a necessidade de redefinir, inclusive, o que se entendia por elemento químico (Scerri, 2007).

*Critério 6: Discussão acerca da natureza da contribuição de Mendeleev: ele propôs uma teoria ou uma lei empírica?*

A elaboração da tabela periódica, ou a proposição da lei periódica, por Mendeleev é uma temática exemplar para uma análise epistemológica acerca do conhecimento em química. De acordo com Brito, Rodríguez e Niaz (2005), a premissa mais importante de historiadores que seguem o indutivismo baconiano é que as teorias e leis científicas são determinadas principalmente por observações experimentais. Nesse sentido, tais interpretações empiricistas consideram que o progresso científico ocorre em um caminho que conduz das observações experimentais às leis científicas, que então facilitam a elaboração de teorias explicativas. Desde outro ponto de vista, lakatosiano, eles compreendem que o progresso científico é caracterizado por uma série de teorias ou modelos (explicações plausíveis), que variam no grau em que são previstos, interpretados ou explicados os achados experimentais.

Portanto, a análise histórica do trabalho de Mendeleev pode levar a diversas interpretações epistemológicas. Scerri (2007) sugere que a tabela periódica não é nem uma teoria, nem um modelo, mas mais um tipo de "princípio de organização", um sistema periódico. Por sua vez, Niaz, Rodríguez e Brito (2004) sugerem que "a contribuição de Mendeleev pode ser considerada como uma teoria *interpretativa* que se tornou *explicativa* depois que a tabela periódica foi baseada nos números atômicos" (grifos dos autores; p. 281).

Embora mencionem o assunto, nenhum dos livros analisados faz uma apresentação satisfatória das questões epistemológicas subjacentes à elaboração da tabela periódica ou à proposição da lei periódica. Como vimos apresentando, os livros didáticos costumam colocar as questões sobre o desenvolvimento da tabela periódica de forma superficial, então em nenhum dos livros é enfatizada a natureza problemática da compreensão do progresso científico, ou seja, não é indicado de forma clara se as contribuições de Mendeleev podem ser classificadas como generalizações experimentais, leis empíricas ou teoria interpretativa. Vejamos nos excertos seguintes que o assunto é apenas mencionado:

"Apesar de toda essa precisão, esse foi um trabalho baseado apenas no conhecimento empírico, disponível na época, sobre as propriedades das substâncias. Na época de Mendeleev, não era possível explicar a razão da periodicidade das propriedades físicas e químicas dos

elementos. Os primeiros modelos propostos para a estrutura dos átomos – o modelo de Thomson e o modelo de Rutherford também não preencheram essa lacuna” (grifos nossos; Livro A, página 111).

“Estudos semelhantes foram desenvolvidos independente e simultaneamente pelo alemão Lothar Meyer. Em 1869, ele publicou o livro intitulado *Modernas teorias de Química*, no qual apresentava relações entre as massas das substâncias simples dos elementos químicos e suas propriedades físicas, propondo uma classificação parecida com a de Mendeleev.

Em 1870, Meyer publicou um trabalho no qual reconhece a proposta de Mendeleev e propõe algumas correções. Meyer baseou-se principalmente em propriedades físicas, enquanto Mendeleev, em propriedades químicas de óxidos e de substâncias simples. Apesar de algumas divergências, os dois cientistas reconheciam e respeitavam o trabalho um do outro. Embora Mendeleev tenha alcançado maior prestígio, ambos foram reconhecidos pela comunidade científica. Assim a lei periódica é considerada de Mendeleev-Meyer” (grifos nossos; livro E, página 178).

O resultado da análise do *critério 6* é semelhante ao do critério anterior, uma vez que ambos os critérios são de natureza reflexiva. No caso deste critério, os livros foram classificados como “menção” por que para tal critério uma explicação simples, mesmo superficial já seria assim classificada. Pôde-se observar que para a maioria dos livros a contribuição de Mendeleev é um domínio ordenado ou esquema de codificação, muitos livros também colocam como uma teoria com poder de explicação limitado, ou uma teoria interpretativa, por vezes classificam como mais de uma teoria. A explicação menos encontrada é que se tratou de uma lei empírica.

*Critério 7: Desenvolvimento da tabela periódica como uma seqüência progressiva de princípios heurísticos.*

De acordo com Scerri (2007), a história do sistema periódico pode ser considerada como um excelente contra-exemplo para a tese de Thomas Kuhn (1922 – 1996), que o desenvolvimento científico ocorre de forma súbita e revolucionária. Nesse sentido, quanto mais se examina o desenvolvimento do sistema periódico, mais se observa continuidade entre as compreensões parciais. Durante um período de cerca de dez anos, ocorreram cerca de seis descobertas e proposições de sistema periódico. No final dessa série de eventos se encontra Mendeleev, que trabalhou fortemente nesse assunto, mais que qualquer um dos seus predecessores, estabelecendo a validade de um sistema integral e maduro.

A reconstrução histórica proposta por Niaz, Rodríguez e Brito (2004) permite identificar sete princípios heurísticos, no sentido de revelar as etapas percorridas no caminho da solução da proposição e aceitação do sistema periódico. De acordo com os critérios estabelecidos por Brito, Rodríguez e Niaz (2005), seriam considerados satisfatórios os livros que abordassem todos os cinco princípios heurísticos e os apresentasse em uma seqüência que favorecesse a compreensão do aluno e evidenciasse o poder explicativo subjacente ao sistema periódico. Nenhum dos livros foi classificado como satisfatório e apenas um livro foi classificado como

“menção” por fazer alusão a quatro dos cinco princípios heurísticos. Em cada livro foi possível encontrar algum dos princípios heurísticos, ou mais que um. Ressalta-se que mesmo nos livros em que eles foram encontrados, não foi observada uma forma organizada de apresentar os princípios heurísticos de maneira que se possa entender melhor a produção da tabela periódica.

Vejamos exemplos de como esses princípios heurísticos são abordados nos livros didáticos. O princípio heurístico *b)* do *critério 7*, que está relacionado aos trabalhos anteriores ao de Mendeleev sobre a organização das substâncias elementares, é abordado da seguinte forma:

*As tríades de Döbereiner*

No início do século XIX valores aproximados para a massa dos átomos de alguns elementos (denominada massa atômica) haviam sido estabelecidos.

Em 1829, o químico alemão Johann Döbereiner, analisando três elementos quimicamente semelhantes – o cálcio (Ca), o estrôncio (Sr) e o bário (Ba) – percebeu uma relação simples entre suas massas atômicas: a massa do átomo de estrôncio apresenta um valor bastante próximo da média das massas atômicas do cálcio e do bário.

Ele também observou o mesmo efeito para outras tríades (trios) de elementos químicos, por exemplo, cloro/bromo/iodo e enxofre/selênio/telúrio.”

*O parafuso telúrico de Chancourtois*

Em 1862, o geólogo francês Alexandre de Chancourtois (1819-1886) dispôs os elementos químicos conhecidos em ordem crescente de suas massas atômicas numa linha espiral em volta de um cilindro. Tal disposição ficou conhecida como parafuso telúrico de Chancourtois (telúrico significa relativo à terra)

*As oitavas de Newlands*

Em 1864, o inglês John Newlands, um amante de música, organizou os elementos em ordem crescente de suas massas atômicas em linhas horizontais, contendo sete elementos cada. O oitavo elemento apresentava as propriedades semelhantes ao primeiro e assim por diante, numa relação periódica que lembra a periodicidade das notas musicais” (livro C, páginas 88 e 89).

Por sua vez, o seguinte excerto é exemplo do princípio heurístico *e)* do *critério 7*:

“Além de ser mais completa que a tabela de Mendeleev, a Classificação Periódica moderna apresenta os elementos químicos dispostos em ordem crescente de números atômicos. De fato, em 1913, Henry G. J. Moseley estabeleceu o conceito de número atômico, verificando que esse valor caracterizava melhor um elemento químico do que sua massa atômica (assim desapareceram, inclusive, as “inversões” da tabela de Mendeleev, como no caso do iodo e do telúrio)” (livro B, página 113).

Livro	Princípios Teóricos				
	a)	b)	c)	d)	e)
<b>A</b>	<b>Não</b> O livro traz as primeiras idéias sobre teoria atômica, mas não mostra acumulação de dados.	<b>Sim</b> Mostra as classificações Döbereiner, Chancourtois e Newlands.	<b>Não</b> Apenas fala sobre a primeira tabela de Mendeleev, mas não a mostra.	<b>Sim</b> O livro não comenta nada sobre a descoberta do argônio.	<b>Sim</b> O livro mostra que a tabela periódica atual é baseada nos números atômicos.
<b>B</b>	<b>Não</b> Não menciona as primeiras teorias atômicas e não faz referências ao peso atômico	<b>Sim</b> Mostra as classificações Döbereiner, Chancourtois e Newlands.	<b>Sim</b> Menciona a primeira tabela de Mendeleev.	<b>Não</b> Não menciona nada sobre a descoberta do argônio.	<b>Sim</b> O livro mostra que a tabela periódica atual é baseada nos números atômicos e menciona as contribuições de Moseley.
<b>C</b>	<b>Não</b> Não menciona as primeiras teorias atômicas e não faz referências ao peso atômico.	<b>Sim</b> Mostra as classificações Döbereiner, Chancourtois e Newlands.	<b>Não</b> Não mostra a tabela de Mendeleev, mas fala sobre as suas contribuições.	<b>Não</b> Não menciona a descoberta do argônio neste capítulo.	<b>Sim</b> Fala sobre as contribuições de Moseley e apresenta a relação da tabela periódica com os números atômicos
<b>D</b>	<b>Não</b> Não menciona as primeiras teorias atômicas e não faz referências ao peso atômico.	<b>Sim</b> Mostra as classificações Döbereiner e Newlands.	<b>Não</b> Não mostra a tabela de Mendeleev, mas fala sobre as suas contribuições.	<b>Não</b> Não menciona nada sobre a descoberta do argônio.	<b>Não</b> O livro indica que a tabela periódica atual está baseada nos números atômicos, mas não sugere que isso foi indicado por Moseley.
<b>E</b>	<b>Não</b> Não menciona as primeiras teorias atômicas e não faz referências ao peso atômico.	<b>Sim</b> Mostra as classificações Dobereiner, Chancourtois, Newlands e Odling.	<b>Sim</b> O livro mostra ilustrações da tabela periódica de Mendeleev.	<b>Sim</b> Cita a descoberta do argônio e do outros gases nobres.	<b>Sim</b> O livro mostra contribuições de Moseley e mostra a tabela periódica atual.

Tabela 4.- As contribuições que podem melhorar a compreensão histórica da tabela periódica.

Apenas um livro foi classificado como "menção", o livro E, que traz quatro dos princípios heurísticos listados no *critério 7*. Além de não serem mencionadas as primeiras teorias atômicas e não fazer referência à massa atômica no capítulo dedicado à tabela periódica, o livro não apresenta os princípios heurísticos na forma de uma seqüência que seria necessária para classificar este livro como satisfatório.

Nesse critério, analisou-se uma seqüência definida de fundamentos heurísticos, originada de uma reconstrução histórica da tabela periódica. Por necessitar da presença da maioria desses princípios heurísticos interligados no texto, esse critério acaba sendo caracterizado como complexo e extenso. Talvez por esse motivo nenhum dos livros analisados tenha contemplado de maneira satisfatória esse critério.

Como existia uma seqüência de princípios heurísticos para ser avaliada neste item, podemos perceber que nenhum dos livros apresenta informações sobre as primeiras ideias sobre teoria atômica e acumulação de dados com respeito aos pesos atômicos dos elementos e suas propriedades no capítulo do livro em que se encontra o conteúdo de tabela periódica. Todos os livros trazem no mínimo a primeira tentativa para classificar os elementos de Döbereiner, e ainda outros também trazem as tentativas feitas por De Chancourtois, Odling, Meyer, Newlands e Hinrichs.

Através desses dados podemos identificar mais claramente a abordagem dos livros didáticos sobre a abordagem de história e filosofia da ciência no ensino de química. Os livros pontuam fatos históricos básicos, ilustrativos sobre o assunto abordado, fechados em si mesmo, sem nenhum tipo de desenvolvimento, reflexão ou interação desses fatos com outros conteúdos da química. Isso poderia ser feito, por exemplo, se os livros colocassem o desenvolvimento dos modelos atômicos durante a construção da tabela periódica. Dessa forma, poderia haver uma interação entre os fatos históricos, possibilitando uma construção conjunta desses dois conceitos, o que poderia favorecer a sua compreensão e a elaboração conceitual dos alunos.

### **Conclusão**

A análise empreendida na pesquisa e relatada neste artigo teve por objetivo replicar o trabalho realizado por Brito, Rodríguez e Niaz (2005). Esses autores analisaram a apresentação do tema tabela periódica em livros textos de química geral em língua inglesa, baseados nos critérios estabelecidos por reconstrução histórica descritos e comentados em Niaz, Rodríguez e Brito (2004). Assim, nosso objetivo foi apresentar essa análise em língua portuguesa, envolvendo uma amostra de livros didáticos brasileiros de ensino médio, visando a comunicar essa abordagem em HFC no ensino da classificação das propriedades periódicas (ou seja, do conteúdo curricular tabela periódica) para um público mais amplo, como os professores de química de ensino médio que não lêem outros idiomas.

Através dessa análise dos livros didáticos de química distribuídos pelo PNLEM, pode-se verificar o conteúdo tabela periódica é parcialmente apresentado em uma perspectiva histórica. O contexto histórico aparece, geralmente, como recortes e figuras anexas. Ademais, há pouca relação entre esses anexos e os textos que explicam a própria tabela periódica. Dessa forma, não se apresenta de forma clara uma relação para os leitores e estudantes sobre como o conhecimento químico e físico sobre a tabela periódica evolui. Isso corrobora com a constatação de Oki (2007), que a abordagem da história da ciência na educação científica tradicional tem ocorrido geralmente de modo dogmático, existindo pouco espaço para que controvérsias científicas sejam apresentadas ou discutidas.

Entre os livros foram obtidos resultados semelhantes, com algumas variações nas classificações, mas que não são suficientes para reconhecê-los como melhores ou piores. Verificou-se que quando os critérios tratavam de fatos pontuais, como os critérios 1 e 2, que tratavam da acomodação e das previsões subjacentes à organização da tabela periódica, os livros puderam ser classificados como satisfatórios. Porém, quando os critérios indicavam algum nível de reflexão, ou alguma contraposição de ideias, os livros não satisfizeram os critérios de análise. Assim, pode-se concluir que os livros didáticos analisados não abordam historicamente de forma satisfatória o tema tabela periódica.

Entende-se que se os estudantes puderem acompanhar a elaboração da tabela periódica, em um adequado contexto histórico, o estudo deste assunto pode ser mais agradável e significativo para o aprendizado de ciências. Dessa forma, os alunos poderão entender a importância dos fatos e das controvérsias científicas para o desenvolvimento da ciência e não estarão apenas decorando os elementos químicos e suas propriedades periódicas.

Com a história da ciência mais bem inserida nos livros didáticos, o professor teria uma alternativa de abordagem que poderia ser utilizada em suas aulas. Os alunos poderiam ter uma visão mais completa de que a ciência é uma construção humana e, ainda, poderiam visualizar como ocorre essa construção. Nesse sentido, pode-se identificar que há aspectos que podem ser melhorados nos livros didáticos, por exemplo, pode-se apresentar nos livros uma linha do tempo como ferramenta para melhorar a compreensão dos alunos acerca do assunto e indicar como os fatos ali apresentados estão interligados. Especificamente, seria interessante que os livros colocassem informações sobre como a tabela periódica evoluiu, de uma forma cronológica, problematizando o assunto desde o início.

### **Referências bibliográficas**

- Bianchi, J.C.A.; Albrecht, C.H. e D.J. Maia (2005). *Universo da Química*. São Paulo: FTD.
- Brito, A.; Rodríguez, M.A. e M. Niaz (2005). A Reconstruction of Development of the Periodic Table Based on History and Philosophy of Science Its Implications for General Chemistry Textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 42, 1, 84-111.
- Carneiro, M.H.S.; Santos, W.L.P. e G.S. Mól (2005). Livro Didático Inovador e Progessores: Uma Tensão a Ser Vencida. *Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências*, 7, 2, 119-130.
- El-Hani, C.N., Roque, N. e P.L.B. Rocha (2005). *Programa Nacional do Livro Didático do Ensino Médio (PNLEM)*. Brasília: MEC.
- Feltre, R. (2004). *Química*. São Paulo: Moderna.
- Flôr, C.C. (2008). História da Ciência na Educação Química: Síntese de elementos transurânicos e extensão da Tabela Periódica. In: *XIV Encontro Nacional de Ensino de Química*. UFPR: 21 a 24 de julho de 2008, p. 1-11.
- Gordin, M.D. (2004). *A well-ordered thing: Dimitrii Mendeleev and the shadow of the periodic table*. Nova Iorque: Basic Books.

Loguercio, R.Q. e J.C. Del Pino (2006). Contribuições da História e da Filosofia da Ciência para a construção do conhecimento científico em contextos de formação profissional da química. *Acta Scientiae*, 8, 1, 67-77

Lopes, A.R.C. (1993). Livros Didáticos: Obstáculos Verbais e Substancialistas ao Aprendizado da Ciência Química. *Revista brasileira de Estudos pedagógicos*, 74, 177, 309-334.

Matthews, M.R. (1994). História, Filosofia e Ensino de Ciências: A Tendência atual de Reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino Física*, 12, 3, 164-214.

MEC-SEMTEC (2002). *PCN+ ensino médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Vol. Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias*. Brasília: MEC.

Menezes, L.C. (2000). *Parâmetros Curriculares Nacionais - Ensino Médio - Parte III - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília: MEC.

Mortimer, E. F. e A.H. Machado (2005). *Química*. São Paulo: Scipione.

Munford, D. e M.E.C.C. Lima (2007). Ensinar ciências por investigação: em que estamos de acordo? *Ensaio. Pesquisa em Educação em Ciências*, 9, 1, 72-89.

Niaz, M. (2005a). Do general chemistry textbooks facilitate conceptual understanding? *Química Nova*, 28, 2, 335-336.

Niaz, M. (2005b). How to facilitate students' conceptual understanding of chemistry? - A history and philosophy of science perspective. *Chemical Education International*, 6, 1, 1-5.

Niaz, M. (2005c). ¿Por qué los textos de química general no cambian y siguen una 'retórica de conclusiones'? *Educación Química*, 16, 3, 410-415.

Niaz, M. (2008). *Teaching general chemistry: a history and philosophy of science approach*. Nova Iorque: Nova Science Publishers.

Niaz, M. (2009). *Critical appraisal of physical science as a human enterprise: dynamics of scientific progress*. Nova Iorque: Springer-Verlag.

Niaz, M.; Rodríguez, M.A. e A. Brito (2004). An appraisal of Mendeleev's contribution to the development of periodic table. *Studies in History and Philosophy of Science*, 35, 271-282.

Oki, M.C.M. (2007). O congresso de Karlsruhe e a busca de consenso sobre a realidade atômica no Século XIX. *Química Nova na Escola*, 26, 24-28.

Nóbrega, O.S.; Silva, E.R. e R.H. Silva (2005). *Química*. São Paulo: Ática.

Peruzzo, F.M. e E.L. Canto (2003). *Química na abordagem do cotidiano*. São Paulo: Moderna.

Rodrigues, B.A. e A.T. Borges (2008). O ensino de ciências por investigação: reconstrução histórica. Em: *XIV Encontro Nacional de Ensino de Química*. UFPR: 21 a 24 de julho de 2008, p. 1-12.

Samrsla, V.E.E.; Loguercio, R.Q. e J.C. Del Pino (1998). Livros Textos de Química: Análise da Realidade dos Docentes. *Tecno-lógica*, 2, 2, 55-64.

Santos W.L.P. Dos; e G. de S. Mól (2006). *Química e Sociedade*. São Paulo: Nova Geração.

Scerri, E.R. (2007). *The Periodic Table: its story and its significance*. Nova Iorque: Oxford University Press.