

UMA ESTRATÉGIA DE JOGO NA EDUCAÇÃO BÁSICA: O USO DA HISTÓRIA DOS ELEMENTOS QUÍMICOS E DA TABELA PERIÓDICA DE MENDELEEV PARA DISCUTIR CONCEITOS CONTEMPORÂNEOS

A game strategy in basic education: the use of the history of the chemical elements and Mendeleev's periodic table to discuss contemporary concepts

Alan Alves-Brito [alan.brito@ufrgs.br]

Neusa T. Massoni [neusa.massoni@if.ufrgs.br]

*Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Física*

Recebido em: 22/09/2018

Aceito em: 20/03/2019

Resumo

O objetivo deste texto é descrever uma experiência e uma estratégia didática voltada para a sala de aula da educação básica que utiliza a dinâmica de um jogo com cartões para reconstruir didaticamente a Tabela Periódica (TP) de Mendeleev. O jogo tem potencial para abordar conceitos contemporâneos de Física, Química e Astrofísica, em uma interface multidisciplinar do conhecimento; discutir criticamente elementos de História e Filosofia da Ciência através da problematização da história da TP de Mendeleev; tornar o ensino mais atrativo e significativo colocando os estudantes em ação através de elementos de jogo, com cartões.

Palavras-chaves: Mendeleev; origem dos elementos químicos; jogos; educação básica.

Abstract

The aim of this text is to describe an experience and a didactic strategy focused on the basic education classroom that uses the dynamics of a game with cards to reconstruct Mendeleev's Periodic Table (PT). The game has the potential to approach contemporary concepts of Physics, Chemistry and Astrophysics, in a multidisciplinary interface of knowledge; to critically discuss elements of History and Philosophy of Science through the problematization of Mendeleev's PT history; make teaching more attractive and meaningful by putting students in action through playing cards.

Key-words: Mendeleev; origin of the chemical elements; games; basic education.

1. Introdução

A Tabela Periódica (TP) dos Elementos Químicos (Favalli *et al.*, 2009) é, talvez, uma das mais instigantes ferramentas para trabalhar temas da Física, Química, Astrofísica Moderna e Contemporânea (FQAMC) e História e Filosofia da Ciência (HFC) em sala de aula, particularmente na Educação Básica, de maneira articulada e permitindo transpor os limites de uma única disciplina. A TP sumariza as propriedades físicas e químicas dos elementos na natureza (~5% do Universo), mas, com frequência, ela é tratada superficial e mecanicamente nas aulas de Ciências (Ensino Fundamental) e Química (Ensino Médio). Ao invés de memorizar nomes e propriedades, sem uma adequada compreensão do contexto histórico de descoberta dos elementos, das propriedades físico-químicas e da própria gênese dos elementos químicos da TP, propomos aqui uma estratégia lúdica, por meio de um jogo de cartões, que permite discutir aspectos relevantes do processo de construção histórica da TP pelo químico russo Dimitri Mendeleev, contrastando-a com a versão atual da TP.

A reconstrução histórica é útil para discutir como a origem de fatos científicos tem relações históricas com outros tipos de conhecimentos (Fleck, 2010); que a ciência não é um processo linear, ateuico, ahistórico e individualista. É um erro apresentar uma visão individualista e heróica, como se, por pura genialidade o cientista pudesse, sozinho, fazer descobertas de leis, e teorias, sem levar em conta múltiplos aspectos de contribuição da comunidade científica e as influências socioculturais (Damasio, Peduzzi, 2017). Esta visão, além de inverídica, afasta o estudante da ciência, que a percebem como inalcançável para agentes com habilidades comuns.

Não há um padrão único de racionalidade ou um método científico universal capaz de propor e julgar a validade das leis e teorias científicas (Chalmers 1993); elas não são inquestionáveis nem verdades absolutas; são, sim, construções humanas sujeitas a aperfeiçoamentos. Assim, ensinar ciências deixou de ser transmissão de certezas. Para Damasio (2017, p. 400), hoje o papel da escola é o de *ensinar conteúdos de tal maneira que gerem atitudes perante a própria sociedade*. A ciência é parte da cultura, é influenciada, financiada e legitimada pela sociedade e a literatura da área sugere evitar tomá-la como algo intrinsecamente superior.

Martins (2000, p. 116) adverte que a discussão de temas relativos ao passado deve basear-se em documentos, objetos e testemunhos, mas propõe que *questões envolvendo a História da Ciência estão sujeitas a uma análise que leva em conta o próprio conhecimento científico atual, uma vez que uma análise anacrônica (embora criticável sob outros aspectos) é válida para tentar-se determinar se um fenômeno é possível ou plausível*. É o que buscamos fazer nesta proposta, que foi aplicada inúmeras vezes, especialmente na formação continuada de professores da educação básica, e também com estudantes, como aqui se descreve. A história pessoal de Mendeleev revela anos de árduo trabalho, pesquisas e estudo detalhado dos elementos químicos conhecidos à época. Parece pouco provável que ele tenha sonhado com cartões que se encaixariam para compor a TP com todos os elementos químicos, como conta a lenda e muitos materiais encontrados na internet. Desmistificar essa ideia errônea de que a ciência resulta de sonhos, *insights* e muita genialidade é um de nossos objetivos. Para Feyerabend (1977), é indiscutível que intuição, imaginação criadora, experiência, plasticidade, elegância, senso de humor são ingredientes do fazer científico. Contudo, tentativas frustradas, erros, persistência, estudo e dedicação de um contingente de cientistas anônimos é uma realidade pouco discutida na educação científica. O cientista e personagem histórico Mendeleev pode ser entendido nessa perspectiva: o estudo árduo das características químicas e físicas dos elementos químicos, conhecimento já obtido pela comunidade de químicos e físicos da época, permitiu-lhe perceber padrões e, assim, organizá-los em uma tabela que hoje leva seu nome.

Na linha do que fez Mendeleev, esta proposta visa colocar os estudantes em ação, trabalhando dinamicamente em grupos (Silva & Martins 2009) para organizar os cartões dos elementos químicos (Apêndice I), mas sugere também comparar a TP de Mendeleev com a TP atual (Martins, 2000) para que os jovens reflitam sobre a contribuição de nosso personagem histórico e sobre o processo evolutivo que caracteriza a ciência.

A HFC favorece o entendimento de conteúdos científicos e amplia a cultura geral dos estudantes (Forato *et al.*, 2012), além de ser um dispositivo didático-pedagógico, tanto nos espaços educativos quanto nos currículos, para refletir a ciência (Matthews, 1994) como um processo essencialmente humano e históriico-sociocultural. Defendemos o uso de episódios históricos para desenvolver a criticidade, para compreender o processo de construção da ciência e as transformações sócio-históricas que ela tem gerado em nossa sociedade. Freire (1967, p.36) argumenta que a verdadeira educação, fundamental entre nós, deve ser *desvestida da roupagem alienante* e ser uma força de mudança e libertação. Mas isto só é possível se a educação gera agentes autorreflexivos, com postura de reflexão do seu tempo e espaço. Só a tomada de consciência pode inseri-los na História como agentes. Tal postura é o que buscamos nesta dinâmica.

2. Jogos didáticos como estratégia na educação em ciências

O processo de ensino-aprendizagem, que é cada vez mais complexo na contemporaneidade, exige estratégias metodológicas diferenciadas e o jogo, ainda que concorra com a era tecnológica (Lara *et al.* 2017), consegue reforçar conteúdos científicos abordados em aulas de ciências e articular ações colaborativas e discussões críticas. Soares (2008) faz uma análise profunda das teorias construtivistas e das que articulam jogos e atividades lúdicas em seus aspectos pedagógicos, filosóficos e sociais no Ensino de Química e conclui que os jogos são excelentes alternativas para despertar o interesse dos estudantes, fomentar o desenvolvimento cognitivo, o envolvimento e a sociabilidade entre os participantes, bem como a disciplina nas atividades propostas.

Na mesma linha, Cunha (2012) faz um apanhado histórico do uso de jogos na vida social e na educação e adverte que embora os jogos tenham ganhado espaço nos últimos anos, sua utilização deve integrar uma proposta pedagógica consistente. O papel do jogo didático precisa ser bem entendido pelo professor para ser utilizado de forma adequada, orientado à aprendizagem de conceitos, com regras e atividades que equilibrem funções lúdicas, cognitivas e de interação social. Massi e Queiroz (2011) veem a apropriação da linguagem científica (interação aluno-professor) como um jogo discursivo que fomenta o senso crítico. Propostas para estudar a TP já estão presentes na literatura e citamos aqui algumas. Alexander *et. al* (2008) usam a TP como um alvo para introduzir significados biológicos da periodicidade dos elementos químicos. Outro trabalho focaliza o ensino da TP na escola secundária através do uso de palavras-cruzadas (Joag, 2014). Romano *et. al* (2017) descrevem uma proposta muito similar a que aqui apresentamos para abordar o ensino da TP como tabuleiro e cartas, baseado no Perfil® da companhia de brinquedos Grow® em que a ideia é que cada carta apresente dicas sobre personagens, anos, lugares e coisas para que se deduza um perfil (no caso, o perfil químico). O diferencial parece estar no foco que o artigo dá à participação das mulheres na história da descoberta dos elementos químicos, na construção do perfil químico utilizando como tabuleiro a TP impressa e ao fato de a dinâmica ser usada após a apresentação convencional da TP em aulas de Química, para verificar se houve aprendizado dos conceitos.

O jogo de cartões que aqui apresentamos tem outro viés, como se descreve no Item 3. Cartões recortados de diferentes cores (por razões distintas como se explica) contendo o símbolo e informações sobre os elementos químicos são manuseados e organizados livremente pelos estudantes com o intuito de reconstruírem a TP historicamente proposta por Mendeleev, segundo o que se conhecia à sua época. Não há tabuleiro para sugerir os “lugares” de cada elemento, senão a sugestão de que os estudantes pensem como Mendeleev supostamente fez, levando-os a discutirem e a refletirem sobre possíveis critérios que possam conduzir à ordenação dos elementos químicos, ao formato da TP, ao significado das lacunas, etc. Como atividade complementar propomos a leitura do texto do Apêndice II, que oferece um panorama da origem dos elementos químicos no universo e conceitos de Física, Química e Astrofísica contemporânea, levando os educandos a compararem a tabela por eles organizada (a de Mendeleev) com a TP atual.

A atividade está mais associada, na verdade, à noção de “gamificação”, que é a ação de pensar “como em um jogo”, isto é, compreender a aplicação de elementos de jogos em atividades não jogos; o jogo, propriamente, caracteriza-se por regras fixas e pelo cumprimento dessas regras. Busarello *et al.* (2014) propõem que a gamificação na educação é eficaz para estimular o pensamento sistemático (resolver problemas, melhorar processos, produtos, ambientes); gerar motivação positiva, desafio, engajamento, envolvimento emocional, conectando pessoas e ambientes.

Atividades de jogos são úteis também no ensino de Física (Yamazaki & Yamazaki, 2014) como estratégia para superar o ensino tradicional (transmissão/recepção de conteúdos). Pereira, Fusinato e Neves (2009) utilizaram um jogo de tabuleiro para ensinar Física e lembram que, além de dominar o conteúdo implícito no jogo, os estudantes devem relacioná-lo a situações concretas e atuais.

De maneira geral, a literatura aponta para aspectos positivos do uso de gamificação, jogos didáticos e ludicidade, particularmente para auxiliar, engajar e tornar mais prazerosa a aprendizagem de conteúdos; para desenvolver habilidades intelectuais; raciocínio lógico; melhorar a socialização e a troca de saberes. Mas é preciso ter, como dito, uma permanente preocupação para integrar atividades de jogos a uma consistente proposta pedagógica, uma vez que jogos, por si só, não levam à aprendizagem nem à reflexão crítica dos significados dos conceitos e contextos trabalhados, nem oferecem oportunidades de comparar historicamente os avanços alcançados pela ciência ao longo do tempo. Nesta perspectiva insere-se a dinâmica apresentada neste texto.

3. Experiência de Aprendizagem

3.1 Aporte teórico e objetivos principais

Segundo a teoria da *Transposição Didática* (Chevallard, 1991) ocorrem transposições sucessivas a partir do *saber sábio* (saber produzido pelos cientistas) para o *saber a ensinar* (saber descontextualizado da sua origem científica para constar nos livros e outros materiais instrucionais) e deste ao *saber ensinado* (saber que passa por reconstruções e narrativas do professor para ser apresentado ao aluno). Entre essas instâncias de transposição ocorrem atalhos cognitivos e o professor precisa ser vigilante na apresentação e fidelidade dos conteúdos, pois cabe a ele o protagonismo na terceira instância (*saber ensinado*). Astolfi e Develay (2008) lembram que desde o momento de sua introdução no *saber sábio* até chegar aos programas escolares, um conceito passa por “círculos de pensamento intermediários” que podem modificar

sua natureza, deslocando-o da rede relacional com outros conceitos. Argumentam (ibid., p. 51) que há uma “epistemologia escolar” distinta daquela em vigor nos saberes de origem; que é preciso que o professor tenha em mente que a escola não ensina saberes (em “estado puro”), mas sim conteúdos de ensino que resultam de complexos cruzamentos entre uma lógica conceitual, um projeto (político, por que não?) de formação e exigências didáticas. Esse é um desafio que cabe ao professor, pois mesmo modificado, o saber deve permanecer pertinente.

Do ponto de vista dos professores, os principais objetivos desta estratégia didática são:

- Introduzir conceitos fundamentais de FQAMC em aula por meio dos cartões de Mendeleev.
- Debater elementos de HFC, problematizando questões relativas ao trabalho do cientista e do “método científico”.
- Contrastar a TP de Mendeleev com a TP contemporânea, ressaltando conceitos chaves como quarks, prótons, nêutrons, elétrons, isótopos, massa atômica, número atômico, distribuição eletrônica e outras propriedades físicas e químicas dos diferentes elementos.
- Abordar o papel da TP como representação do que se poderia chamar de “tijolo fundamental” para discutir tudo o que se conhece do Universo visível (~5%).
- Oferecer um panorama de como diferentes elementos químicos são formados no Universo.

Do ponto de vista dos estudantes, os principais objetivos da estratégia didática são:

- Compreender conceitos fundamentais de FQAMC em aula por meio de uma estratégia de jogo, fomentando a contextualização científica e uma abordagem crítica e discursiva da ciência.
- Ressignificar a TP dos elementos químicos em sala de aula, apresentando tópicos avançados de Astrofísica numa abordagem acessível.

3.2 Contexto de aprendizagem

A dinâmica aqui apresentada tem sido, desde 2014, executada e discutida em diferentes contextos de aprendizagem: PIBID (Programa Interinstitucional de Bolsas de Iniciação à Docência); minicursos em reuniões científicas voltados a professores, estudantes e público geral; cursos de formação inicial e continuada de professores; oficinas de Astronomia tendo como público alvo estudantes dos Ensino Fundamental e Médio de escolas públicas e privadas do Brasil.

Aqui descrevemos as estratégias e os principais resultados de uma experiência didática aplicada durante a realização de um minicurso no âmbito das atividades de um programa de extensão voltado à formação de professores e estudantes de uma escola pública estadual no interior do Rio Grande do Sul. O curso contou com quatro professores da educação básica (Química, Matemática, Pedagogia e História) e 40 estudantes do Primeiro, Segundo e Terceiro anos do Ensino Médio. A oficina foi realizada em 2 encontros, em 2018, das 19h às 21h, contando com seis grupos.

3.3 Procedimento metodológico: a dinâmica do jogo

Antes de tudo, é importante dizer que o jogo Cartões de Dimitri Mendeleev (1834-1907) que usamos em nossa estratégia didática trata-se de uma reconstrução didática da história de elaboração da TP por Mendeleev. Pede-se que os professores construam três conjuntos de cartões como os que são apresentados no Apêndice I deste artigo. Em cada cartão estão escritos os símbolos e nomes dos elementos, além das massas atômicas e algumas das propriedades físico-químicas. As informações foram retiradas do sítio “TP Interativa Web 2.0” (2017). No primeiro conjunto de cartões estão os 60 elementos conhecidos por Mendeleev no século XIX. No segundo conjunto, estão os três elementos que o cientista não conhecia, mas que previu existir, com base na organização e distribuição dos elementos conhecidos até então em sua tabela. No terceiro conjunto estão os elementos ditos “nobres” que foram descobertos em 1894 e que não se encaixavam no esquema original de Mendeleev. Eram “nobres” porque não reagiam com nenhum outro elemento químico conhecido. O primeiro gás nobre descoberto foi o Argônio, seguido do Hélio. Este último era conhecido dos astrônomos por ter sido identificado no Sol mas, até então, não havia sido isolado na Terra. Outro aspecto interessante envolvendo a história dos elementos químicos que não se encaixavam ao esquema de Mendeleev foi a descoberta, por Marie Sklodowska Curie (1867-1934) e Pierre Curie (1859-1906), do elemento químico radioativo rádio. Mendeleev morreu sem aceitar que o rádio, por suas propriedades físico-químicas (por exemplo, brilhar no escuro) fosse, verdadeiramente, um elemento químico. A estratégia acontece em etapas ou momentos didáticos para facilitar a transposição didática dos conceitos e envolvem, pelo menos, dois encontros de duas horas-aulas. Entendemos que é útil e possível incluí-los mesmo em ambientes formais da educação científica básica.

3.3.1 Primeiro encontro

O primeiro encontro tem sido destinado, em nossas aplicações, à apresentação e discussão da TP de Dimitri Mendeleev. É feita uma apresentação inicial e é explicado o contexto da oficina. Por meio de projeção PowerPoint, destacam-se as motivações para se entender a origem dos elementos químicos, argumentando, basicamente, que os elementos químicos são os constituintes fundamentais da matéria, presentes em tudo o que existe, além de serem usados em aplicações tecnológicas interessantes (por exemplo, o telefone celular, completamente indispensável em nossos dias). É também lembrado que sem os elementos químicos da TP não há vida como a conhecemos. Além disso, ressalta-se que os elementos químicos compõem apenas 5 % de tudo o que conseguimos observar no Universo. Há, nesse momento, uma grande inquietação no ambiente. Alguns estudantes querem saber de que seria feito o restante do Universo. O moderador (professor, nos contextos de educação formal) pede calma, dizendo que retomará, oportunamente, todas as perguntas fundamentais.

Sem dar muitos detalhes, o moderador repassa conceitos básicos de Física e Química como massa, matéria, massa atômica, próton, nêutron, elétron e isótopo. O moderador também pergunta quem, entre os presentes, já ouviu falar em Mendeleev. Em geral, cem por cento dos presentes levantam a mão para confirmar que, sim, já ouviram falar do cientista. O moderador então comenta que Dimitri Mendeleev é um personagem muito conhecido da história da Química e responsável por uma das mais interessantes organizações da TP dos elementos químicos, a qual será trabalhada na sequência.

Feito isso, explica aos participantes que lhes seriam entregue, em três fases, diferentes elementos químicos da TP de Dimitri Mendeleev. Sem dar mais detalhes, organiza os

participantes em seis grupos (de até oito pessoas); entrega a cada grupo o conjunto de Cartões 01 (Apêndice I). Pede-se aos estudantes que, tal qual fez Mendeleev, pensem em uma maneira de organizar os elementos químicos com base unicamente nas informações dispostas nos cartões. É pedido aos participantes que, num exercício mental, tentem esquecer todo e qualquer conceito e/ou esquema moderno e contemporâneo relativo à classificação dos elementos químicos. Em outras palavras, eles desafiados a imaginar que estão no papel de Dimitri Mendeleev, à sua época, e tinham apenas aquelas informações dispostas nos cartões. Os grupos são orientados a discutir internamente sobre os critérios e a metodologia adotados para executar a tarefa. O moderador permanece atento às discussões intragrupo. Espera-se que, nesta fase, os participantes percebam as lacunas (buracos) presentes na TP de Mendeleev, que foi um dos seus principais resultados científicos.

Após os grupos montarem as tabelas, nesta segunda etapa da dinâmica, os Cartões 02 (Apêndice I) são entregues. Nesta fase, os participantes têm a incumbência de incluir os três novos elementos dentro da classificação anterior. Como na primeira fase, devem discutir nos grupos a metodologia para incluir os três novos elementos na classificação anterior. Em seguida, repete-se os mesmos procedimentos das fases (etapas) 1 e 2 para o terceiro conjunto de cartões (terceira fase e última da dinâmica). Os participantes devem agora incluir, na TP, o que atualmente é conhecido como *gases nobres*. Uma vez finalizada a última tarefa, o facilitador encaminha os grupos à discussão e ao debate de grande grupo. Para evitar tumulto, recomenda-se que cada grupo escolha um/a representante para liderar as discussões, embora os outros integrantes dos grupos possam, organizadamente, complementar a fala do/da líder.

Para promover o debate crítico acerca da construção da TP de Dimitri Mendeleev e, assim, trazer questões fundamentais a respeito da natureza da ciência e o contexto da descoberta de ideias científicas em sala de aula, para reforçar e esclarecer conceitos, as perguntas de 1 a 4 têm sido feitas aos grupos e a participação tem se mostrado excelente. Dependendo do contexto de aplicação da presente proposta didática, o facilitador/professor pode acrescentar à lista (perguntas de 5 a 8), segundo seu contexto e objetivos.

- **Pergunta 1 (P1):** *quais foram os critérios usados pelo grupo para organizar a sua TP nas três diferentes fases da dinâmica? O que motivou essa escolha?*
- - **Pergunta 2 (P2):** *qual é a forma final da TP do seu grupo? Há “buracos” (elementos faltantes) em sua tabela? Se sim, como interpretá-los?*
- **Pergunta 3 (P3):** *como pode ser interpretado o que comumente se conhece como “método científico”? Ele é único em ciência? Pode haver outros tipos de metodologias científicas? Se sim, comente alguns.*
- **Pergunta 4 (P4):** *qual a importância do método ou metodologia científica para a ciência?*
- **Pergunta 5 (P5):** *as descobertas em ciência são permanentes? Ciência se faz a partir de descobertas?*
- **Pergunta 6 (P6):** *é possível fazer ciência sem levar em conta o conhecimento teórico que a comunidade científica já conhece e aceita? Qual a importância da observação e experimentação?*
- **Pergunta 7 (P7):** *a ciência é neutra, isto é, não é influenciada por fatores sociais, econômicos, políticos, etc.?*

-- **Pergunta 8 (P8):** *quais fatores influenciam o processo de investigação dos pesquisadores e pesquisadoras?*

Em se tratando da P1, temos percebido que os diferentes grupos usam critérios variados. Alguns usam apenas a informação de massa, outros apenas o critério de aparência e, outros, critérios mistos. Alguns grupos tentam agrupar os elementos sendo influenciados pela ideia contemporânea da tabela periódica. Nenhum dos grupos usou diretamente o critério de oxidação, embora alguns grupos tenham tentado relacioná-lo às outras características apresentadas. Todos os grupos relatam que a principal motivação para a escolha dos critérios de classificação foi baseada na busca de padrões entre os elementos de acordo com as informações dispostas nos cartões.

Em relação à P2, com exceção de alguns poucos grupos, todos os outros são, em geral, completamente influenciados pela disposição contemporânea da TP, uma vez que os formatos finais lembram a morfologia contemporânea altamente difundida em livros didáticos. Todos os grupos relatam encontrar buracos, mas nenhum deles sabem explicar a razão física (ou química) dos mesmos. Vale salientar que os professores envolvidos em nossas aplicações preferiram, gentilmente, se calar em algumas etapas do processo para não atrapalhar o processo de aprendizagem dos estudantes, já que os professores sabiam as respostas.

Nenhum dos grupos respondeu satisfatoriamente à P3. A ciência, para eles, principalmente Física e Química, segue no geral um método único, como se fosse uma receita de bolo. Não sabiam definir outras metodologias científicas. Além disso, todos apresentavam uma visão bastante ingênua da ciência, no sentido de que, respondendo à P4, consideraram apenas efeitos positivos da ciência. Em um segundo momento, quando lembrados dos efeitos da bomba atômica, mudaram de ideia e reconheceram que, nem sempre a ciência pode apenas oferecer coisas boas. O facilitador conversa sobre a importância de se discutir ética na ciência.

Depois de ouvir cada resposta, mostra-se, em PowerPoint (ou outro meio), a imagem da TP de Mendeleev com o objetivo de proceder a um resgate histórico da construção da mesma. É lembrado aos participantes que o grande mérito de Dimitri Mendeleev foi organizar os elementos químicos por suas massas atômicas, que era uma das principais medidas da época, além de outras propriedades físicas e químicas. É dito que ao organizar esses elementos, Mendeleev percebeu padrões universais entre eles, sendo enfático em afirmar que algumas massas atômicas estavam incorretas e que havia lacunas destinadas a elementos a serem descobertos. Por este feito, Mendeleev recebeu, em 1906, o Prêmio Nobel de Química.

No entanto, é também ressaltado nesse relato histórico, que antes de Mendeleev outros cientistas tentaram classificar os elementos químicos com base em suas propriedades, como é o caso de John Dalton (1766-1844), séc. XIX, que foi pioneiro em ordenar os elementos por massas atômicas e é considerado o precursor da teoria atômica moderna; Johann Wolfgang Döbereiner (1782-1849), em 1829, tentou agrupar propriedades comuns dos elementos buscando padrões entre grupos de “três”, conhecido como as Tríades de Döbereiner; Alexandre Chancourtois (1820-1886), que propôs em 1862 o modelo Parafuso Telúrico, onde os elementos estariam ordenados, com massa atômica crescente, em uma espiral desenhada na superfície cilíndrica; John Alexander Newlands (1837-1898), que inspirado na música, propôs em 1864 a Lei das Oitavas: elementos enfileirados, suas propriedades deveriam repetir-se a cada oito elementos. É dito aos participantes que essas tentativas contribuíram para o progresso da Química (Strathern, 2000), mas foi Mendeleev quem desafiou as ideias vigentes à época propondo que cálculos de massa atômica para alguns dos elementos químicos poderiam estar

errados, que “buracos” corresponderiam na sua TP a elementos da natureza ainda não descobertos. E, principalmente, que alguns destes buracos foram identificados anos mais tarde como sendo Escândio (1879), Gálio (1875) e Germânio (1886). Mendeleev também percebeu inconsistências entre a ordem crescente de massa atômica e as propriedades físico-químicas de alguns elementos (por exemplo, Cobalto, Níquel, Telúrio e Iodo). Ele notou que as propriedades do Iodo eram muito mais próximas às propriedades de elementos como Flúor, Cloro e Bromo em detrimento a elementos como Oxigênio, Enxofre e Selênio.

3.3.2 Segundo encontro

No segundo encontro contrastamos a TP de Mendeleev à TP contemporânea. Para fazer isso, apresentamos uma imagem das duas numa lâmina de PowerPoint (pode-se usar outros meios, por exemplo, impresso) seguida por mais um conjunto de perguntas.

- **Pergunta 9 (P9):** onde e como são formados os prótons, nêutrons e elétrons?

- **Pergunta 10 (P10):** o que é número atômico e massa atômica de um certo elemento? O que são isótopos?

1. **Pergunta 11 (P11):** qual é a principal diferença entre a TP de Mendeleev e a TP atual? Há “buracos” na tabela periódica atual? O que isso implica?

2.- **Pergunta 12 (P12):** como Cobalto, Níquel, Telúrio e Iodo aparecem na TP de Mendeleev e na TP atual? O que se pode concluir desta comparação?

- **Pergunta 13 (P13):** há alguma relação horizontal, vertical e ortogonal entre os diferentes elementos da TP atual? Qual(is)?

- **Pergunta 14 (P14):** qual é a origem dos elementos químicos da TP?

Embora os grupos saibam definir prótons, nêutrons e elétrons (P10), nota-se que nenhum deles consegue explicar, satisfatoriamente, onde e como estas partículas são formadas e muito menos qual é a idade delas (P9). Apenas um dos grupos, em nossas aplicações, conseguiu perceber que a principal diferença entre a TP atual e a TP de Mendeleev é como os elementos químicos estão dispostos na mesma. Nas imagens mostradas, enquanto na primeira a organização é baseada sobretudo na massa atômica, na segunda a ordenação se dá pelo número atômico (número de prótons). Uma vez mostradas as duas tabelas, todos os grupos conseguem entender que não há buracos na tabela contemporânea (P11). Essa observação é sempre acompanhada de muita discussão sobre se há ou não novos elementos químicos a ser descobertos. Neste momento da dinâmica, discute-se a diferença entre um elemento químico estável encontrado na natureza e um elemento químico construído (sintético) em laboratório. Neste momento também se comenta sobre o caráter universal da TP, pelo menos até o estágio atual do nosso conhecimento científico.

Em relação à P12, vários grupos conseguem perceber que na TP de Mendeleev, baseada posição da massa atômica, alguns conjuntos de elementos aparecem invertidos em sua ordenação já que, na TP contemporânea, o que está em jogo é o número atômico.

Enquanto a P13 é facilmente respondida por todos os grupos, a P14 é unanimemente uma incógnita.

Uma vez detectado que os grupos não têm qualquer ideia sobre como e onde os diferentes elementos químicos da TP dispostos em sua versão contemporânea são formados no Universo, os próximos passos da dinâmica consistem em contar essa história. São usados para isso lâminas de PowerPoint, textos, imagens e diagramas bem como apresentação de filmes curtos. Aos grupos é dada a chance de se fazer perguntas concomitantemente às apresentações.

Em particular, é dito aos grupos que a matéria, tal qual a conhecemos, é composta por átomos que, juntos, formam moléculas. Os átomos são constituídos por partículas: prótons (carga positiva), nêutrons (carga neutra) e elétrons (carga negativa). Prótons e nêutrons são formados por partículas ainda menores denominadas quarks (Moreira, 2004; 2009; Abdalla, 2016). Os átomos da TP constituem assim a denominada matéria luminosa ou matéria bariônica (de bárions = prótons e nêutrons), que pode ser estudada a partir de sua interação com a luz (radiação eletromagnética, cuja partícula associada é o fóton). Matematicamente, a massa atômica é representada pela letra A , enquanto o número de prótons e nêutrons é representado, respectivamente, por Z e $A-Z$ ($A = \text{prótons} + \text{nêutrons}$). Como o átomo é eletricamente neutro, o número de prótons (Z) se iguala ao número de elétrons orbitando o núcleo, garantindo a variada gama de propriedades elétricas e químicas dos diferentes elementos. Os isótopos são os variantes de um certo elemento químico, o que implica na existência de átomos com o mesmo Z , mas com diferentes valores de A . A massa atômica de qualquer elemento químico é medida com base a um doze avos ($1/12$) da massa atômica do isótopo de Carbono-12, que é o mais abundante dos isótopos estáveis de carbono. A existência de diferentes isótopos de um mesmo elemento explica por que certos elementos químicos como Cobalto e Níquel ou Telúrio e Iodo apresentam massas inversas às propriedades químicas onde estes se localizam na TP.

O conhecimento acerca da estrutura do átomo é relativamente recente na história da ciência. Nomes de alguns cientistas ficaram associados a “descobertas”¹ importantes ao longo da história da ciência. Citamos aqui alguns. O elétron foi “descoberto” em 1897 por Joseph John Thomson (1856-1940). Em 1905, Albert Einstein (1879-1955) propôs a existência do fóton. Em 1913, o físico inglês Henry Moseley (1887-1915) definiu que o número de prótons, e não a massa atômica, é que determinaria a ordem dos elementos na TP, dando forma a atual TP. Já o núcleo foi “descoberto” em 1919 por Ernest Rutherford (1871-1937). Nos anos 1930, Wolfgang Pauli (1900-1958) previu a existência do neutrino do elétron, enquanto um ano depois Carl David Anderson (1905-1991) propôs o pósitron, a antipartícula do elétron (a antipartícula tem as mesmas características da partícula, mas com carga oposta a esta). Em 1932 James Chadwick (1891-1974) “descobriu” o nêutron e, pouco mais de 40 anos atrás, em 1964, os quarks que são as partículas constituintes dos prótons e nêutrons. Este breve histórico mostra que nem sempre as “partículas elementares” resultaram de trabalho empírico, muitas foram sugeridas pela robustez da teoria e matemática envolvida, e só anos depois houve confirmação empírica. Esta pluralidade metodológica coloca abaixo a crença (ingênua) na existência de um “método científico” universal para se fazer ciência.

Prótons, nêutrons e elétrons são os “tijolos fundamentais” dos átomos da TP. Mas como explicar a existência destas e outras partículas elementares que vão ajudar a entender a gênese dos variados elementos químicos da TP?

¹ A expressão “descoberta” é grafada entre aspas para destacar que não se trata de “descobrir” no sentido de desvelar objetos, fenômenos, leis e teorias como se a natureza se revelasse ao cientista que, sem pré-conceitos (ou seja, de mente vazia) meticulosamente faria uso do método científico experimental; mas sim para indicar avanços que, muitas vezes nasceram no bojo de propostas/modelos teóricos e foram sendo corroborados empiricamente e aceitos pela comunidade científica.

De acordo com a Teoria do Big Bang (Oliveira Filho & Saraiva, 2014), o Universo começa em uma singularidade e, desde então, expande-se. À medida que se expande, sua temperatura baixa com o tempo. Desta forma, há 13,8 bilhões de anos o Universo era muito denso ($d \sim 10^{93} \text{ g/cm}^3$) e quente ($T \sim 10^{32} \text{ K}$, onde 1 Kelvin “K” = temperatura “Celsius” + 273), povoado por uma “sopa de radiação” (fótons = luz) de altas energias (raios gama) e por partículas elementares. A temperatura atual do Universo, cerca de 3 K, é a mesma em qualquer direção (a isto chamamos isotropia) que é medida e é conhecida como temperatura da radiação cósmica de fundo; é uma relíquia de processos físicos do passado, quando o Universo, ainda “bebê”, contava com 380 mil anos. Não é exagero afirmar, portanto, que é a temperatura que regula as condições para a formação dos elementos químicos da TP.

Nos primeiros instantes da existência do Universo, por conta das altas densidades e temperaturas envolvidas, acredita-se que as quatro interações fundamentais (forças gravitacional, fraca, forte e eletromagnética), que são as que comandam a formação de estruturas (estrelas, galáxias, planetas, etc.) e da matéria observável como um todo, estavam acopladas, ligadas a uma força única. O que a Física e a Cosmologia conseguem descrever da História Térmica do Universo começa numa fração de tempo muito pequena depois que o Universo se formou; a história térmica do Universo compreende, neste momento, aos períodos de tempo entre $t = 10^{-43} \text{ s}$ e $t = 13,8$ bilhões de anos. Do instante $t = 0 \text{ s}$ até o instante $t = 10^{-43} \text{ s}$, as nossas leis da Física são ainda incapazes de descrever as condições do Universo; 10^{-43} s é uma fração muito pequena de tempo. Para efeitos de comparação, levamos cerca de 10^{-7} s para piscar os olhos, o que é muitas vezes maior que 10^{-43} s . Para que os cientistas da contemporaneidade possam entender ou descrever as condições extremas da história inicial do Universo é preciso acoplar (buscar a conexão) a Relatividade Geral (gravidade: mundo do muito grande) e a Mecânica Quântica (partículas atômicas: mundo do muito pequeno).

Para fins didáticos, pode-se separar a História Térmica do Universo em dois grandes momentos, tendo o tempo $t = 380$ mil anos como a linha de borda. Tudo o que acontece até 380 mil anos de formação do Universo é conhecido como “domínio da radiação”, o que acontece após este instante é cosmologicamente conhecido como “domínio da matéria”. O tempo $t = 380$ mil anos é escolhido porque é nesse momento que a radiação cósmica de fundo, prevista teoricamente na Teoria do Big Bang, é gerada, ou seja, este é o momento da evolução do Universo em que os fótons da “sopa cósmica” podem finalmente viajar livremente no espaço sem ser espalhados pela “sopa” de partículas (sobretudo elétrons) ali presentes. No domínio da radiação, as pressões e temperaturas são tão altas que acabam por impedir que a gravidade faça o seu trabalho principal, que é de aglutinar matéria. É no “domínio da radiação” que partículas elementares se formam. O processo de formação destas partículas é gerido pela famosa equação generalizada de Einstein — $E = m \cdot c^2$ — e acontece quando dois fótons (luz) de altas energias (ex.: raios gama) se encontram. Partículas elementares e suas antipartículas que, como já explicado, apresentam as mesmas propriedades, mas com cargas opostas, são geradas a partir deste encontro “fóton-fóton”. Toda vez que uma partícula é criada a sua antipartícula é também gerada. Vale dizer que estes encontros eram frequentes nos primeiros instantes da formação do Universo por conta da alta densidade (baixo volume) do ambiente. Nessa mesma “sopa” quente, partículas e antipartículas eram destruídas ao se encontrarem; o processo gerava novos fótons de altíssimas energias. Produção e aniquilação eram eventos frequentes nas condições iniciais do Universo, ambiente onde radiação e matéria (partículas) coexistem em equilíbrio térmico.

Entre $t = 10^{-36} \text{ s}$ e $t = 10^{-32} \text{ s}$ o Universo experimenta uma fase de inflação, passando do tamanho de uma semente de uva ao tamanho aproximado de uma bola de futebol, liberando uma grande quantidade de energia que é responsável, especula-se, pela homogeneidade (independência na translação) e isotropia (independência na rotação) do Universo. Acredita-se

que se não fosse pela inflação o número de antipartículas não poderia ter sido superado pelo número de partículas, fato que favoreceu a vida como conhecemos. Não se sabe ainda o que favoreceu a sobreabundante criação de partículas em relação às antipartículas. O papel da inflação na História Térmica do Universo é ainda pouco conhecido na Teoria do Big Bang. **Isto mostra que em ciência não há perguntas finais, nem respostas a ser tomadas como verdades absolutas. A ciência é um processo aberto, evolutivo, coletivo, colaborativo e, hoje, globalizado de construção da melhor descrição possível do Universo.**

O elétron e sua antipartícula, o pósitron, são formados entre $t = 10^{-36}$ s e $t = 10^{-32}$ s. Por intermédio da força fraca, o ambiente quente dos primeiros segundos de existência do Universo favorece a transmutação livre de prótons em nêutrons e vice-versa, produzindo pósitrons e neutrinos. Prótons e nêutrons são formados em $t \sim 10^{-6}$ s, lembrando que estas partículas são formadas por partículas ainda menores, denominadas quarks. Cerca de 3 minutos após o Big Bang, a temperatura do Universo baixa o suficiente e prótons e nêutrons juntam-se formando o núcleo.

O próton é ligeiramente mais leve que o nêutron e, se não fosse assim, o Sol não brilharia e nós não estaríamos aqui. Hidrogênio (1 próton e 1 elétron) e o seu isótopo Deutério (1 próton, 1 nêutron e 1 elétron) são os primeiros gases a se formar no Universo, são os átomos mais simples. Como dito, prótons, nêutrons e elétrons são os tijolos dos átomos para formar todos os elementos químicos da TP. Dois átomos de Deutério se juntam e formam o átomo de Hélio. Este processo é chamado de fusão nuclear (elementos mais leves juntam-se e formam elementos mais pesados). Fusão é o contrário do que acontece em reatores nucleares, onde prevalece a fissão nuclear (elementos mais pesados são bombardeados para gerar através da fissão (divisão), elementos menores, mais leves). Nos 5 primeiros minutos após o Big Bang o Universo consegue formar, por conta das temperaturas e energias envolvidas, todos os elementos mais leves da TP: Hidrogênio, Hélio e um pouco de Lítio. Cerca de 35 minutos após o Big Bang a densidade do Universo é baixa (~ 10 vezes a da água) de forma que as temperaturas baixas cessam as reações nucleares. Nenhum elemento mais pesado do que Lítio é formado. Somente quando o Universo “envelhece” (~ 1 a 2 bilhões de anos após o Big Bang) é que surgem as primeiras estrelas e galáxias. Estrelas formam-se por efeito da gravidade, a partir de nuvens moleculares gigantes (massas típicas da ordem de 100 mil vezes a massa da nossa estrela, o Sol, onde 1 massa do Sol é $\sim 2 \times 10^{30}$ kg e tamanhos da ordem de 50 parsec, onde 1 parsec é $\sim 3 \times 10^{13}$ km) e frias ($T \sim 10$ -30 K) formadas basicamente do material primordial — Hidrogênio e Hélio. Nuvens moleculares eventualmente em rotação e contração acabam por se fragmentar; o núcleo quente e denso dos fragmentos favorece a formação (“nascimento”) de estrelas, como, por exemplo, altas temperaturas (~ 15 milhões de graus Celsius) necessárias para manter reações nucleares (ex.: conversão de Hidrogênio em Hélio). É no interior das estrelas que os elementos químicos podem ser forjados.

Por exemplo, o Sol (tem cerca de 4,5 bilhões de anos e vai “viver” por pelo menos outros 5 bilhões de anos), transforma agora, no seu interior, Hidrogênio em Hélio. A estrutura de uma estrela em equilíbrio hidrostático (força de pressão para fora controlada pela força de gravidade para dentro do núcleo) e térmico com toda a energia gerada no seu interior por reações nucleares é determinada pela massa e pela composição química inicial. A massa da estrela é determinante para descrever como esta irá evoluir e morrer. Objetos fragmentados da nuvem molecular com massa inicial abaixo de 0,08 vezes a massa do Sol não serão estrelas; estes objetos não alcançarão temperaturas suficientes no seu núcleo para que as reações nucleares mais simples (conversão de Hidrogênio em Hélio) aconteçam. Objetos com massas entre 0,08 e 8 vezes a massa do Sol, as assim denominadas estrelas de baixa/intermediária massa, vão conseguir produzir, no núcleo, elementos tão pesados quanto carbono/nitrogênio/oxigênio (H, He, C, O);

a conversão de um elemento em outro apresenta uma estrutura do tipo “casca de cebola”, cada elemento químico do mais pesado ao mais leve vai se depositando sucessivamente em camadas, do núcleo à superfície da estrela. A taxa de conversão de um elemento mais leve em outro mais pesado é que determina o tempo de evolução e a maneira como a estrela morrerá. Quanto maior a massa inicial da estrela, menos tempo ela viverá. Estrelas entre 0,08 e 8 vezes a massa do Sol poderão viver bilhões de anos, enquanto as estrelas mais massivas (> 8 vezes a massa do Sol) viverão na escala de tempo de milhões de anos. Diferente das estrelas de baixa/intermediária massa, estrelas com massas acima de 8 vezes a massa do Sol vão processar, no núcleo, elementos tão pesados quanto o Ferro. A estrutura estelar resultante é também do tipo casca de cebola (H, He, C, O, Ne, Mg, Si, Fe). Nenhum elemento mais pesado que o Ferro poderá ser produzido no interior destas estrelas por violação de um princípio fundamental da Física Nuclear, de que não se pode formar na Natureza elementos mais pesados que o Ferro liberando energia.

É importante dizer que desde a formação das estrelas, quando Hidrogênio começa a ser convertido em Hélio no seu núcleo até à morte delas (quando não há mais massa (combustível) para favorecer reações nucleares), a “vida” e a evolução das estrelas é marcada pela “briga de braço” (condição de equilíbrio ou desequilíbrio hidrostático) entre a gravidade (que é atrativa) e a pressão do gás (que é repulsiva). O fluxo de temperatura é essencial. De maneira geral, pode-se dizer que Hidrogênio, Hélio e parte do Lítio que medimos atualmente são formados nos 3 primeiros minutos após o Big Bang e, portanto, estes elementos são primordiais; todos os outros elementos estáveis da TP, do Lítio ao Urânio, foram formados em processos de nucleossíntese estelar ou interestelar (meio entre as estrelas).

Estrelas de baixa massa (< 8 vezes a massa do Sol) isoladas (que não estão ligadas gravitacionalmente a nenhuma outra), como o Sol, não têm um final “trágico” ou explosivo; terminam a vida como se fossem “diamantes” (Carbono é a composição principal) no céu, que são denominadas “anãs brancas”. Estrelas de baixa massa formando sistemas duplos, ou seja, ligadas gravitacionalmente, terão um final trágico, pois explodem em eventos denominados de Supernova do Tipo Ia, sendo que desta explosão resulta grande quantidade de Ferro, além de outros elementos. Estima-se, de modelos de evolução química, que uma grande parcela de Ferro no Universo foi gerada nestes processos.

Já as estrelas de alta massa (> 8 vezes a massa do Sol) acabam por explodir como Supernovas do Tipo II. Estes eventos são altamente energéticos e o que sobra da explosão poderá vir a ser uma estrela de nêutron (massa inicial da estrela entre 8 e 25 vezes a massa do Sol) ou um buraco negro (massa inicial > 25 vezes a massa do Sol). O resultado da explosão Supernovas do Tipo II é a formação, principalmente, de elementos como Oxigênio, Magnésio, Cálcio, Silício e Titânio. Como as estrelas de alta massa vivem pouco, tem-se que estes elementos são produzidos numa escala de tempo de milhões de anos. Mas a grande história do Universo não para por aí. Após a explosão da Supernova Tipo II, muitos elementos do pico do Ferro (Ferro, Manganês, Cobalto, Zinco) são lançados no meio interestelar; muitos prótons e elétrons são também acrescentados ao meio interestelar. Prótons e elétrons se juntam formando nêutrons e neutrinos. Quando os nêutrons livres são capturados pelos elementos “sementes do pico do Ferro”, estes ficam instáveis e acabam decaindo em elementos ainda mais pesados. Assim, este é um dos mecanismos mais eficientes para a produção de elementos mais pesados que o Ferro na TP. Há outros mecanismos, em Astrofísica, de formar elementos mais pesados que o Ferro mas, por simplicidade, não serão tratados aqui (Oliveira Filho & Saraiva, 2014 oferece mais detalhes).

O cenário acima descrito é um resumo de como diferentes elementos da TP formam-se no Universo. Elementos sintéticos (acima do Urânio), ou seja, construídos artificialmente em laboratório, não se enquadram no cenário aqui descrito. Além disso, vídeos didáticos que acompanham este texto ilustram o cenário de formação dos elementos químicos no Universo (Apêndice I, para referências).

Em nossas aplicações desta proposta objetivamos fazer a transposição didática do modelo cosmológico e da origem dos elementos químicos no Universo através de uma linguagem menos técnica e mais acessível ao público participante, como se buscou apresentar na narrativa do Encontro 2. Ao final, ou em encontro subsequente, promovemos rodas de conversa em que solicitamos que estudantes e professores avaliassem o impacto da dinâmica (em várias das aplicações que realizamos, por se tratar de formação de professores, ela ocorreu em formato de oficina). Muitos revelaram nunca ter imaginado que os os diferentes elementos químicos da TP estariam conectados com a vida na Terra e, muito menos, com aspectos de áreas diferentes da Física e da Astronomia. Questionam a razão de a TP não ser tratada dessa forma em sala de aula, nos diferentes níveis de educação.

O depoimento de uma professora de química (Prof. 1): ... *em toda a minha formação básica, e na Licenciatura em Química, nunca me foi dito a forma como os elementos químicos se formam no Universo. (...) a oficina foi, assim, um ambiente de muita aprendizagem.*

Outro aspecto destacado por inúmeros participantes, e que apareceu de forma positiva nas suas falas, foi o aspecto histórico da abordagem. A História da Ciência é envolvente e engaja estudantes e professores, em nossa avaliação, ao estudo tanto de conceitos científicos contemporâneos da Física e Astronomia, quanto do processo de construção da ciência, ou seja, o contexto da descoberta aparece quase que embricado no contexto da justificação. .

Considerações Finais

Para concluir, ressaltamos que a TP dos elementos químicos é pensada para ser universal, válida em qualquer lugar do Universo, embora se precise ter consciência de que leis e teorias científicas são construções dos seres humanos, portanto, sujeitas a falhas e incompletudes.

A TP está completa (de acordo com o conhecimento que temos hoje), mas contempla apenas cerca de 5% do Universo que conseguimos descrever. Além disso, após Hidrogênio e Hélio, que são os dois elementos químicos mais abundantes do Universo, Oxigênio é o terceiro elemento mais encontrado no nosso Universo. Trata-se de um elemento indispensável à vida. Além disso, o solvente universal, a água (H₂O), que compõe majoritariamente o corpo humano, é formado por Hidrogênio e Oxigênio, dois dos elementos mais abundantes no Universo. A vida, como conhecemos, seria impensável se não fosse pela síntese estelar de Carbono.

Neste contexto, o estudo da origem dos elementos químicos da TP é marcante, pois conecta a origem da vida às estrelas, algo que inúmeros, senão a maioria, dos participantes de nossas aplicações – oficinas e formações (tanto com professores como estudantes de ensino básica) revelaram sistematicamente não ter refletido em seu percurso formativo. Como dito, a dinâmica aqui apresentada já foi por nós utilizada várias vezes nos anos de 2014 a 2018, com excelente aceitação por parte de professores e também estudantes, em situações de formação continuada, em cursos de extensão e também no ensino formal (escola).

No final de cada aplicação que enfocava a formação continuada de professores da educação básica em que dinâmica de jogo com cartões aqui apresentada era executada pelo grupos, os professores manifestam encantamento, pois como eles mesmos mencionavam (a exemplo da Prof. 1) “nunca se perguntaram de onde vêm os elementos químicos” e conhecer sua origem agrega sentido à organização dos mesmos na TP. Assim, assumimos que a dinâmica, que envolve no máximo três encontros de duas horas aula, pode ser adaptada à sala de aula da educação formal, assim como os textos e apêndices que compõem este artigo podem constituir uma contribuição à melhoria da formação científica básica crítica, e uma oportunidade para professores e estudantes da educação básica trabalharem e refletirem conceitos voltados à FQAMC, ainda tão distantes desse nível de ensino. Consideramos que a estratégia pode engajar os estudantes a alcançarem uma aprendizagem com significado e muito mais interessante do que a simples memorização de nomes, propriedades e características dos elementos químicos.

Para que se alcancem esses objetivos, é muito importante que os professores incitem os estudantes a fazerem comparações da TP construída através da dinâmica de uso dos cartões, que equivale à TP de Mendeleev, com a TP atual, incentivando à reflexão e à percepção de que por trás de cada “descoberta”, de cada modelo ou conceito científico, há pessoas que têm uma história fascinante e que a ciência se apresenta como parte de nossa cultura, em permanente construção e reconstrução. Esta ideia é corroborada por David Bodanis em seu livro intitulado “ $E=mc^2$ ”, que faz uma biografia buscando esclarecer o significado da equação “que mudou o mundo” (Bodanis, 2001, capa) e é reforçada por Paul Hewitt na introdução da 11ª edição do seu famoso livro “Física conceitual” (Hewitt, 2011). **Nesse sentido, reconstruir a TP através do jogo de cartões envolve fazer discussões sobre o trabalho dos cientistas (neste caso do personagem central – Dimitri Mendeleev) com o objetivo de perceber que ciência não se faz através do “encaixe de peças” obtidas da observação empírica neutra, nem é fruto de insights de cientistas geniais.** Ciência é um empreendimento histórico, fruto da complexa combinação de resultados de experimentos, do aprimoramento constante de técnicas experimentais para obter dados mais precisos, da imaginação criadora, de intuição e de obstinado trabalho de gerações sucessivas de cientistas, nem sempre tornados famosos/as ou premiados/as. Nesse sentido, a ciência nasce na sociedade, fruto de suas relações, necessidades, investimentos, recursos e pressupõe paixão, trabalho árduo e persistência. Legitimada pela sociedade, a ciência precisa se voltar a ela. A respeito da ciência devem poder os cidadãos compreender as principais ideias e opinar de forma consciente e participativa, mas isso se será possível através de uma educação científica que, de fato, faça sentido.

Referências

- Abdalla, M. C. B. (2016). *O discreto charme das partículas elementares*. São Paulo: Livraria Editora da Física.
- Alexander, S. V. et al. (2008). *Periodic Table Target: A Game That Introduces the Biological Significance of Chemical Element Periodicity*. Journal of Chemical Education, vol. 85, n.4.
- Astolfi, J. P.; Develay, M. (2008). *A Didática das Ciências*. Campinas: Papirus Editora, 12ª ed..
- Bodanis, D. (2001). *E=mc2: uma biografia da equação mais famosa do mundo e o que ela significa*. Rio de Janeiro: Ediouro.

Busarello, R. I; Ulbricht, V. R.; Fadel, L. M. (2014). A gamificação e a sistemática de jogo: conceitos sobre a gamificação como recurso motivacional. In: *Gamificação na educação*, FADEL, L. M. et al. (orgs.). São Paulo: Pimenta Cultural. 300 p.

Chalmers, A. F. (1993). *O que é ciência afinal?* Brasília: Editora Brasiliense.

Chevallard, Y. (1991). *La transposición didáctica: del saber sabio ao saber enseñado*, Argentina: La Pensée Sauvage.

Cunha, M. B. (2012). Jogos no Ensino de Química: considerações teóricas para sua utilização em sala de aula. *Química Nova na Escola*, vol. 34, n. 2, p. 92-98.

Damasio, F. (2017). *História da Ciência na educação científica: uma abordagem epistemológica de Paul Feyerabend procurando promover a aprendizagem significativa crítica*. Tese (doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. Florianópolis.

Damasio, F.; Peduzzi, L. O. Q. (2017). Historia e Filosofia da Ciência na Educação Científica para que? *Revista Ensaio*, Belo Horizonte, v.19, e2583.

Feyerabend, P. (1977). *Contra o Método*. Rio de Janeiro: Francisco Alves Editora.

Fleck, L. (2010). *Gênese e desenvolvimento de um fato científico*. Belo Horizonte: Fabrefactum Editora, 1ª ed.

Forato, T. C. M; Martins, R.A.; Pietrocola, M. (2012). Enfrentando obstáculos na transposição didática da história da ciência para a sala de aula. In Peduzzi, L.O.Q; Martins, A.F.; Ferreira, J. M. H. (orgs.). *Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino*. Natal: Editora da UFRN.

Hewitt, P. G. (2011). *Física Conceitual*. Porto Alegre: Bookman, 11ª ed., 2011.

Joag, S. D. (2014). An Effective Method of Introducing the Periodic Table as a Crossword Puzzle at the High School Level. *Journal of Chemical Education*, vol. 91, n. 6.

Martins, R. A. (2000). Arquimedes e a coroa do rei: problemas históricos. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, vol. 17, n. 2, p. 115-121.

Lara et al. (2017). Desenvolvimento e aplicação de um jogo sobre interações ecológicas no ensino de Biologia. *Experiências em Ensino de Ciências*, vol. 12, n. 8.

Freire, P. (1967). *Educação como prática da liberdade*. Rio de Janeiro: Paz e Terra (Distribuição exclusiva: Editora Civilização Brasileira).

Massi, L; Queiroz, S. L. (2011). Jogo discursivo na apropriação da linguagem científica por alunos de iniciação científica em Química. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 16, n. 1, pp. 35-57.

Matthews, M. R. (1994). Historia, Filosofia y enseñanza de las ciencias: La aproximación actual. *Enseñanza de Las Ciencias*, v. 2, n. 12, p. 256-259.

Moreira, M. A. (2004). Partículas e Interações. *Física na Escola*, v. 5, n. 2, p. 10.

Moreira, M. A. (2009). O Modelo Padrão de Física de Partículas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 31, n. 1, p. 1306.

Oliveira Filho, K.; Saraiva, M. F. (2014). *Astronomia e Astrofísica*. São Paulo. Editora da Física.

Pereira, R. F.; Fusinato, P. A.; Neves, M. C. D. (2009). Desenvolvimento de um jogo de tabuleiro para o ensino de Física. In Encontro Nacional de Pesquisa em Educação e Ciências, *Anais VII ENPEC*, p. 1-12.

Romano, C. G. *et al.* (2017). Perfil Químico: Um Jogo para o Ensino da Tabela Periódica. *Revista Virtual de Química*, vol. 9 (3).

Silva, B. V. C.; Martins, A. F. P. (2009). Juri Simulado: um uso da história e filosofia da ciência no ensino de óptica. *Física na Escola*, vol. 10, n. 1.

Soares, M. H. F. B. (2004). *O lúdico em Química: jogos e atividades aplicados ao ensino de Química*. Universidade Federal de São Carlos. Tese de Doutorado.

Strathern, P. (2002). *O sonho de Mendeleev*. Editora Zahar.

Waga, I. (2005). Cem anos de descobertas em cosmologia e novos desafios para o Século XXI. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 27, n. 1, p. 157.

Yamazaki, S. C.; Yamazaki, R. M. O. (2014). Jogos para o ensino de Física, Química e Biologia: elaboração e utilização espontânea ou método teoricamente fundamentado? *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, v. 7, n.1.

Apêndice I

Cartões de Mendeleev, Vídeos e Links Didáticos

Sites consultados:

<http://www.ptable.com/?lang=pt>, acessada em Ago/2017.

<https://iupac.org>, acessada em Ago/2017.

<http://www.tabelaperiodicacompleta.com/historia-da-tabela-periodica/>, acesso em Ago/2017.

<http://www.mysteryofmatter.net/Mendeleev.html>, acesso em Ago/2017.

A legenda para as cores dos conjuntos de cartões:

Cartões 01 (branco): Elementos conhecidos por Mendeleev, em 1869.

Cartões 02 (azul): Escândio, Gálio e Germânio, elementos previstos por Mendeleev.

Cartões 03 (vermelho): Gases Nobres, elementos que não se enquadravam e que foram rearranjados como sendo uma nova classe de elementos químicos.

Sugestões de vídeos complementares aos professores e estudantes:

<https://www.youtube.com/watch?v=wIEhSIt1oEI> (Rock Star e a Origem do Metal).

<https://www.youtube.com/watch?v=f4WR73u0Dyc> (Rock Star e o Mistério da Água).

https://www.youtube.com/watch?v=YH8nYQ_BIRc (A origem dos elementos químicos no Universo)

As seguintes informações estão descritas nos cartões: i) Símbolo do elemento; ii) Elemento químico; iii) Característica físico/química; iv) Massa atômica; v) Oxidação, que define a carga elétrica que o elemento químico recebe quando faz uma ligação iônica.

H Hidrogênio Aparência: gás incolor com brilho roxo no estado de plasma Massa Atômica: 1,008 Oxidação: 1	Li Lítio Aparência: sólido branco-prateado Massa Atômica: 6,941 Oxidação: +1, -1	Be Berílio Aparência: sólido cinza metálico Massa Atômica: 9,012 Oxidação: +2, +1	B Boro Aparência: sólido marrom, preto Massa Atômica: 10,811 Oxidação: 4, 3, 2, 1	C Carbono Aparência: sólido incolor (diamante) e preto (grafite) Massa Atômica: 12,010 Oxidação: 4
N Nitrogênio Aparência: gás, líquido, ou sólido incolor Massa Atômica: 14,006 Oxidação: +3, 5, 4, 2	O Oxigênio Aparência: gás incolor, líquido azul-pálido Massa Atômica: 15,999 Oxidação: -2, -1	F Flúor Aparência: gás amarelo-esverdeado Massa Atômica: 19,00 Oxidação: -1	Na Sódio Aparência: sólido branco-prateado, metálico Massa Atômica: 22,989 Oxidação: +1	Cu Cobre Aparência: sólido metálico vermelho, laranja Massa Atômica: 63,546 Oxidação: +1, +2, +3, +4
Zn Zinco Aparência: sólido azul pálido grisáceo Massa Atômica: 65,382 Oxidação: +2, +1, 0	Co Cobalto Aparência: sólido cinza-metálico Massa Atômica: 58,933 Oxidação: 2, 3	Fe Ferro Aparência: sólido metálico-brilhante com tons acinzentados Massa Atômica: 55,845 Oxidação: 2, 3, 4, 6	Ni Níquel Aparência: sólido metálico-brilhante, prateado, dourado Massa Atômica: 58,693 Oxidação: 4, 3, 2, 1, -1	Si Silício Aparência: sólido cinza-azulado escuro Massa Atômica: 28,085 Oxidação: +3, 1
Al Alumínio Aparência: sólido cinza-prateado Massa Atômica: 26,981 Oxidação: +3, 1	Ag Prata Aparência: sólido branco-prateado Massa Atômica: 107,86 Oxidação: 1, 2, 3	K Potássio Aparência: sólido branco-prateado Massa Atômica: 39,098 Oxidação: 1	Ba Bário Aparência: sólido cinza prateado Massa Atômica: 137,327 Oxidação: 2	Ta Tântalo Aparência: sólido azul cinza Massa Atômica: 180,947 Oxidação: 5, 4, 3, 2, -1
Cs Césio Aparência: sólido ouro prateado Massa Atômica: 132,905 Oxidação: 1	Mg Magnésio Aparência: sólido branco-prateado Massa Atômica: 24,035 Oxidação: +2, 1	Mo Molibdênio Aparência: sólido cinza metálico Massa Atômica: 95,96 Oxidação: 6, 5, 4, 3, 2, 1, -1, -2	Rh Ródio Aparência: sólido branco prateado metálico Massa Atômica: 102,90 Oxidação: 6, 5, 4, 3, 2, 1, -1	P Fósforo Aparência: sólido incolor Massa Atômica: 30,973 Oxidação: -5, +4, +3, +2, +1, -1, -2, -3
S Enxofre Aparência: sólido amarelo limão Massa Atômica: 32,065 Oxidação:	Cl Cloro Aparência: gás verde-amarelado Massa Atômica: 35,453 Oxidação:	Sn Estanho Aparência: sólido cinza prateado brilhante Massa Atômica: 118,71 Oxidação: 4, 2, -4	Ur Urânio Aparência: sólido cinza prateado metálico Massa Atômica: 238,028 Oxidação: 3, 4, 5, 6	Rb Rubídio Aparência: sólido branco cinza Massa Atômica: 85,467 Oxidação: 1
Ca Cálcio Aparência: sólido branco-prateado Massa Atômica: 40,078 Oxidação: 2	Ti Titânio Aparência: sólido prateado Massa Atômica: 47,867 Oxidação: 4	V Vanádio Aparência: sólido cinza-azulado-prateado Massa Atômica: 50,941 Oxidação: 5, 4, 3, 2, 1, -1	Cr Crômio Aparência: sólido prateado metálico Massa Atômica: 51,996 Oxidação: 6, 5, 4, 3, 2, 1, -1, -2	La Lantânio Aparência: sólido branco prateado Massa Atômica: 138,90 Oxidação: 3, 2
Mn Manganês Aparência: sólido prateado metálico Massa Atômica: 54,938 Oxidação: 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, -1, -2, -3	Sr Estrôncio Aparência: sólido branco prateado metálico Massa Atômica: 87,621 Oxidação: 2	Ce Cério Aparência: sólido branco prateado Massa Atômica: 140,11 Oxidação: 4, 3, 2	W Tungstênio Aparência: sólido branco acinzentado brilhante Massa Atômica: 183,84 Oxidação: 6, 5, 4, 3, 2	Se Selênio Aparência: sólido preto, cinza, vermelho Massa Atômica: 78,96 Oxidação: 6, 4, 2, 1, -2

<p>Br Bromo</p> <p>Aparência: gás, líquido marrom; sólido metálico Massa Atômica: 79,904 Oxidação: 7, 5, 4, 3, 1, -1</p>	<p>As Arsênio</p> <p>Aparência: sólido cinza metálico Massa Atômica: 74,921 Oxidação: 5, 3, 2, 1, -3</p>	<p>I Iodo</p> <p>Aparência: sólido cinza metálico lustroso; gás violeta Massa Atômica: 126,904 Oxidação: 7, 5, 3, 1, -1</p>	<p>Dy Disprósio</p> <p>Aparência: sólido branco prateado Massa Atômica: 162,5 Oxidação: 2, 3</p>	<p>Te Telúrio</p> <p>Aparência: sólido cinza prateado lustroso Massa Atômica: 127,60 Oxidação: 6, 5, 4, 2, -2</p>
<p>Pt Platina</p> <p>Aparência: sólido branco acizentado Massa Atômica: 195,084 Oxidação: 6, 5, 4, 3, 2, 1, -1, -2</p>	<p>Ir Iridio</p> <p>Aparência: sólido branco prateado Massa Atômica: 192,217 Oxidação: -3, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6</p>	<p>Os Ósmio</p> <p>Aparência: sólido prateado, tons azulados Massa Atômica: 190,23 Oxidação: 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0, -1, -2</p>	<p>Cd Cádmio</p> <p>Aparência: sólido cinza prateado metálico Massa Atômica: 112,411 Oxidação: 2, 1</p>	<p>Sb Antimônio</p> <p>Aparência: sólido cinza prateado lustroso Massa Atômica: 121,760 Oxidação: 5, 3, -3</p>
<p>Pd Paládio</p> <p>Aparência: sólido branco prateado metálico Massa Atômica: 106,42 Oxidação: 0, +1, +2, +4, +6</p>	<p>Hg Mercúrio</p> <p>Aparência: líquido prateado Massa Atômica: 200,59 Oxidação: 2, 1</p>	<p>Au Ouro</p> <p>Aparência: sólido amarelo metálico Massa Atômica: 196,96 Oxidação: 3, 1</p>	<p>Bi Bismuto</p> <p>Aparência: sólido cinza lustrosos Massa Atômica: 208,98 Oxidação: 3, 5</p>	<p>Tl Tálio</p> <p>Aparência: sólido branco prateado Massa Atômica: 204,38 Oxidação: 3, 1</p>
<p>Pb Chumbo</p> <p>Aparência: sólido cinza metálico Massa Atômica: 207,21 Oxidação: 4, 2</p>	<p>Th Tório</p> <p>Aparência: sólido branco prateado Massa Atômica: 232,03 Oxidação: 4, 3, 2</p>	<p>Zr Zircônio</p> <p>Aparência: sólido branco grisáceo Massa Atômica: 91,224 Oxidação: 4, 3, 2, 1</p>	<p>Nb Nióbio</p> <p>Aparência: sólido cinza metálico; azul quando oxigenado Massa Atômica: 92,906 Oxidação: 5, 4, 3, 2, 1, -1</p>	<p>Sc Escândio</p> <p>Aparência: metal mole muito leve Massa Atômica: 44,956 Oxidação: 3</p>
<p>Ga Gálio</p> <p>Aparência: sólido branco prateado Massa Atômica: 69,723 Oxidação: 3, 2, 1</p>	<p>Ge Germânio</p> <p>Aparência: sólido branco acizentado Massa Atômica: 72,64 Oxidação: 4, 3, 2, 1, 0, -1, -2, -3, -4</p>	<p>He Hélio</p> <p>Aparência: gás incolor Massa Atômica: 4,000 Oxidação: -</p>	<p>Ne Neônio</p> <p>Aparência: gás incolor Massa Atômica: 20,179 Oxidação: -</p>	<p>Ar Argônio</p> <p>Aparência: gás incolor Massa Atômica: 39,948 Oxidação: 0</p>
<p>Kr Criptônio</p> <p>Aparência: gás incolor Massa Atômica: 83,798 Oxidação: 2</p>	<p>Xe Xenônio</p> <p>Aparência: gás incolor Massa Atômica: 131,29 Oxidação: 0</p>	<p>Rn Radônio</p> <p>Aparência: gás incolor Massa Atômica: 20,179 Oxidação: 2</p>		