

O período de pós-doutorado de Bohr: aspectos literalmente humanos no desenvolvimento de seu modelo atômico em uma UEPS

Anabel Cardoso Raicik¹

anabelraicik@gmail.com

¹Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário Trindade, CEP 88040-900, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil

Resumo

As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) são sequências didáticas voltadas para a aprendizagem significativa e não mecânica, fundamentadas teoricamente, sobretudo, na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. Visando contextualizar o período de pós-doutorado de Niels Bohr, a partir de uma perspectiva histórico-epistemológica e conceitual da gênese de seu modelo atômico, explorando algumas relações pessoais e afetivas que ele estabeleceu nesse período com seus orientadores, J.J. Thomson quanto com Ernest Rutherford, este artigo apresenta uma proposta teórica voltada ao nível universitário. A unidade didática desenvolvida e apresentada neste artigo está ancorada nos referenciais epistemológico (moderna filosofia da ciência), educacional (princípios da TAS) e metodológico (UEPS) à luz de uma historiografia contemporânea.

Palavras-chave: Niels Bohr; modelo atômico; UEPS; história e filosofia da ciência; visão humana de ciência.

El período postdoctoral de Bohr: aspectos literalmente humanos en el desarrollo de su modelo atómico en un UEPS

Resumen

Las Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas (UEPS) son secuencias didácticas orientadas al aprendizaje significativo, en lugar del mecánico, fundamentadas teóricamente, sobre todo, en la Teoría del Aprendizaje Significativo (TAS) de David Ausubel. Con el objetivo de contextualizar el período postdoctoral de Niels Bohr, desde una perspectiva histórico-epistemológica y conceptual de la génesis de su modelo atómico, explorando algunas relaciones personales y afectivas que estableció durante este período con sus tutores, J.J. Thomson y Ernest Rutherford, este artículo presenta una propuesta teórica dirigida al ámbito universitario. La unidad didáctica desarrollada y presentada en este artículo se fundamenta en las referencias epistemológicas (filosofía moderna de la ciencia), educativas (principios de la TAS) y metodológicas (UEPS) a la luz de la historiografía contemporánea.

Palabras clave: Niels Bohr; modelo atómico; UEPS; historia y filosofía de la ciencia; visión humana de la ciencia.

Bohr's postdoctoral period: literally human aspects in the development of his atomic model in a PMTU

Abstract

Potentially Meaningful Teaching Unit (PMTUs) are didactic sequences aimed at meaningful rather than mechanical learning, theoretically grounded, above all, in David Ausubel's Theory of Meaningful Learning (TML). Aiming to contextualize Niels Bohr's postdoctoral period, from a historical-epistemological and conceptual perspective of the genesis of his atomic model, exploring some personal and affective relationships that he established during this period with his advisors, J.J. Thomson and Ernest Rutherford, this article presents a theoretical proposal aimed at the university level. The didactic unit developed and presented in this article is anchored in the epistemological (modern philosophy of science), educational (TML principles) and methodological (PMTU) references in the light of contemporary historiography.

Keywords: Niels Bohr; atomic model; PMTU; history and philosophy of science; human vision of science.

La période postdoctorale de Bohr: aspects littéralement humains dans le développement de son modèle atomique dans un LIF

Résumé

Les unités d'enseignement potentiellement significatives (UETS) sont des séquences didactiques visant un apprentissage significatif et non mécanique, fondées théoriquement, notamment, sur la théorie de l'apprentissage significatif de David Ausubel. Visant à contextualiser la période postdoctorale de Niels Bohr, d'un point de vue historico-épistémologique et conceptuel de la genèse de son modèle atomique, et explorant certaines relations personnelles et affectives qu'il a nouées durant cette période avec ses directeurs de thèse, J.J. Thomson et Ernest Rutherford, cet article présente une proposition théorique destinée au niveau universitaire. L'unité didactique développée et présentée dans cet article s'appuie sur des références épistémologiques (philosophie moderne des sciences), pédagogiques (principes TAS) et méthodologiques (UETS), à la lumière d'une historiographie contemporaine.

Mots clés : Niels Bohr; modèle atomique; UETS; histoire et philosophie des sciences; vision humaine de la science.

1. INTRODUÇÃO

Ciência...Pensas ser um corpo árido de conhecimento. Te glorificas por teres eruditos, livres de meras falhas sentimentais; que pensam, executam, vencem lutas sem lutar. Crias para ti uma redoma; concebida, ruminas tu, em um deserto que te afasta e afasta de ti o meio habitado, povoado de seres ordinários que esbravejam pela liberdade de sonhar, devanear, deslumbrar, que tu tanto afugentas. Suspiras pelo teu belo; esquivando-se de esboços desarmoniosos... te refugias nas fórmulas, no método, no olhar isento que nada pode enxergar. Agonizando ser o que não és, tu invejas (ser) a máquina criadora, programada ironicamente por ti, a não sentir, a não errar, a ser sublime àquele (ou àquilo) capaz de te entreolhar. Ciência... quimera ciência, que és tu senão uma ilusão, uma alucinação, um desatino à nossa razão?

Claramente crítica a uma visão de ciência eminentemente positivista, que distingue por completo contexto da descoberta e contexto da justificativa, que glorifica uma reconstrução lógica, livre de elementos subjetivos e psicológicos, que afasta a ciência de sua inerente humanização, a prosa acima visa trazer à tona ponderações que colocam em contrariedade visões consolidadas e limitadas da ciência, ainda muito presentes no imaginário social, no ensino e em materiais didáticos e paradidáticos.

“Na ciência, como em outras atividades, a razão é exercida com emoção, em estados de espírito incontáveis, por temperamentos inumeráveis e em ambientes sociais em permanente mudança” (Kneller, 1980, p. 155). Conquanto, torna-se cada vez mais necessário levar ao ensino de ciências, e à sociedade em geral, uma visibilidade do (da) cientista na qualidade de humano que o é; enquanto um ser tangível com características semelhantes àsquelas de qualquer um.

A história da ciência, nesse sentido, ao permitir que se contextualize o efetivo papel de um ou de uma cientista, a sua profissão, carreira, vida social e particular, pode contribuir para iluminar e democratizar o fazer científico (Peduzzi, 2011; Matthews, 1995; Queiroz & Hidalgo, 2020); a busca pela carreira científica; a noção de que a ciência é para todos e não, como comum e equivocadamente se propaga, “para poucos possuidores de uma inteligência anormal ou de hábitos adversos a todos” (Tomazi et al., 2009, p. 346).

O afastamento de estudantes da ciência pode ser amplificado tanto pela noção estereotipada da prática científica que possuem, quanto àsquelas que eles têm dos próprios cientistas. Há tempos a literatura vem indicando que

alunos imaginam e/ou idealizam cientistas como homens, brancos, de meia-idade, sobremaneira inteligentes, dotados de uma mente extremamente brilhante e especial. O estereótipo de “um pesquisador louco, atormentado, perverso” ou aquele relativo a um “cientista solitário que trabalha e interage somente com seu mundo” (Tomazi et al., 2009, p. 347), da mesma forma, tem lugar no âmbito escolar. Na pesquisa realizada por Massarani et al. (2021), algumas conclusões acerca da visão de jovens sobre como é um cientista vão ao encontro de uma simplificação bastante comum: “acreditam que os cientistas sejam isolados, evitem as festas, tenham poucos amigos, sejam esquisitos e pouco atraentes” (p. 104).

O resgate de recortes biográficos, extratos de fontes primárias – sejam elas autobiografias, cartas, diários, registros de laboratórios, manuscritos, livros, artigos, fotografias, entrevistas – (Kragh, 2001) de figuras conhecidas, ou daquelas que ainda precisam ser mais valorizadas história, filosófica e educacionalmente, podem propiciar essa tão imprescindível aproximação de alunos, e cidadãos distintos, à ciência; ao fazer científico, ao próprio ser cientista (Queiroz & Hidalgo, 2020; Raicik, 2023a).

O físico Niels Henrik David Bohr (1885-1962), a título de exemplo, é amplamente conhecido por seu modelo atômico, pelo prêmio Nobel que recebeu em 1922, pelo seu envolvimento fulcral para a mecânica quântica, pelo Instituto de Física que criou. Não obstante, para além disso, ele também deu atenção à poesia, literatura, filosofia. Como coloca Abdalla (2002): “mais como filósofo do que como físico, elucidou os mistérios do átomo e do núcleo (...) criou uma forma própria de trabalhar com os alunos, mantendo um humor formidável alimentado pela crença de que só um diálogo franco e genuíno propicia o clima para o progresso”, ele era, por assim dizer, “generoso, tocou mentes e corações com sua serenidade, tenacidade e franqueza ao lidar com novas ideias (...)” (p. 169).

Mas isso é devidamente considerado no ensino de ciências? Isso é de conhecimento de alunos que almejam se aventurar pelos caminhos da ciência, mas se consideram ‘humanos’ demais para isso? É de conhecimento de um público mais amplo, e mesmo de estudantes universitários, que Bohr não gostava de escrever e, ainda assim, apenas no período de seu pós-doutorado, que durou aproximadamente um ano, ele escreveu para a noiva e familiares mais de uma centena de cartas que envolveram os mais variados assuntos, além dos considerados, em princípio, ‘puramente’

científicos? É de conhecimento que Bohr, ‘este grande cientista’, interessava-se por filosofia, literatura e questionou-se sobre assuntos religiosos na sua juventude?

Em artigo recente, Raicik (2023a) explora alguns aspectos da relação profissional, acadêmica e, inclusive, afetiva que Bohr estabeleceu tanto com J.J. Thomson quanto com Ernest Rutherford, respectivamente seus professores na primeira e segunda parte de seu pós-doutorado, entre os anos de 1911 e 1912. A partir de um resgate histórico-epistemológico, a autora defende que aspectos dessa relação, e mesmo uma breve descrição do apoio familiar que Bohr recebeu, neste período particular, podem contribuir para que a ciência passe, cada vez mais, a ser vista como uma atividade humana.

Não obstante a isso, surge o seguinte problema de pesquisa: como propiciar que discussões dessa natureza sejam incorporadas ao ensino de ciências, sem negligenciar aspectos conceituais da produção de conhecimentos científicos, sobretudo e inclusive em nível superior? Isso, certamente, passa pelo delineamento de estratégias que visem propiciar ao aluno em formação, licenciando ou bacharelado, uma melhor compreensão da dinâmica científica, incluindo do próprio cientista e uma visão de ciência que poderá levar para a sala de aula futuramente ou para sua profissão enquanto físico. Nesse sentido, este artigo tem por objetivo apresentar uma proposta teórica, voltada ao nível universitário, que visa contextualizar o período de pós-doutorado de Bohr, a partir de uma perspectiva histórico-epistemológica e conceitual da gênese de seu modelo atômico, explorando algumas relações pessoais e afetivas que ele estabeleceu nesse período com seus orientadores. Essa proposta fundamenta-se nas sequências didáticas propostas por Moreira (2011); as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS).

Tratando-se de um artigo teórico, defende-se que a estruturação e divulgação de uma UEPS, e a descrição detalhada e ampla de seus procedimentos e materiais, é uma etapa importante e imprescindível que antecede sua avaliação em situação concreta de sala de aula (Raicik, 2020; 2025; Pires & Peduzzi, 2022).

2. UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS (UEPS)

AS Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) são sequências didáticas fundamentadas teoricamente, voltadas para a aprendizagem significativa e não mecânica (Moreira, 2011). Assim, elas podem ser vistas como um instrumento didático e um fomentador de materiais potencialmente significativos e visam possibilitar aos estudantes “relacionarem seu conhecimento prévio ao conhecimento a ser ensinado; estabelecerem relações conceituais entre os conteúdos apresentados; socializarem ideias ou mesmo construir modelos mentais para abordar situações novas” (Pantoja & Moreira, 2019, p. 5).

As UEPS se fundamentam em distintas teorias de educação, mas, sobretudo, na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de David Ausubel (Moreira, 2011). A TAS argumenta que no decurso de uma aprendizagem significativa há um processo ativo, integrador e interativo entre um novo conhecimento (e seu material instrucional) e conhecimentos prévios relevantes da estrutura cognitiva do aprendiz (Ausubel et al., 1980; Moreira, 2013; Raicik, 2020). De acordo com Ausubel (2003), a pré-disposição em

aprender e o material potencialmente significativo são condições necessárias para que a aprendizagem ocorra de forma significativa.

Os princípios de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa, que aqui se destaca em particular, dentre outros da teoria ausubeliana, que fundamentam as unidades, são concomitantes e permitem uma organização hierárquica na estrutura cognitiva de quem aprende. A diferenciação progressiva reconhece que há uma hierarquização, em termos de abstração, generalidade e inclusão, no processo de aprendizagem (Ausubel, 2003; Ausubel et al., 1980). Assim, preconiza que conceitos, ideias, proposições, mais gerais e inclusivas, sejam apresentadas primeiro aos sujeitos, para que possam progressivamente ficar mais específicas, diferenciadas, ao passo que adquirem novos significados (Moreira, 2011).

Conforme a TAS:

É menos difícil para os seres humanos compreenderem os aspectos diferenciados de um todo previamente aprendido, mais inclusivo [...]. Num indivíduo, a organização do conteúdo de uma disciplina particular consiste em uma estrutura hierárquica na sua própria mente. As ideias mais inclusivas ocupam uma posição no topo desta estrutura e abrangem proposições, conceitos e dados factuais progressivamente menos inclusivos e mais diferenciados (Ausubel; Novak & Hanesian, 1980, p. 159).

Concomitante a isso, está o princípio da reconciliação integrativa, que assinala que as ideias, os conceitos, as proposições apresentadas sejam revisitados explicitamente ao se explorar, por exemplo, suas relações de similaridade e diferença com aqueles conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva do sujeito (Ausubel, 2003; Ausubel et al., 1980). É, literalmente, um processo de “vai e vem” entre ideias mais gerais e inclusivas às mais específicas (Raicik, 2020).

O processo instrutivo, segundo uma abordagem ausubeliana, não é, como pode parecer à primeira vista, exclusivamente unidirecional, ‘de cima para baixo’, ou ‘do geral para o particular’. É verdade que se propõe começar com o ‘geral’ e, progressivamente, chegar ao ‘particular’, mas é verdade também que se deve fazer constantes referências ao ‘geral’ para não perder a visão do todo e para elaborar cada vez mais o ‘geral’. Ao fazer isso, está-se simultaneamente a promover a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa (Moreira, 1999, p. 52).

As UEPS, em síntese, levam em consideração os principais pressupostos ausubelianos – além dos princípios de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa, aponta-se o conhecimento prévio do aluno, a organização sequencial, a consolidação, e os organizadores prévios. Ademais, situações-problema, negociação e captação de significados, busca de evidências de aprendizagem em uma perspectiva de progressividade e complexidade são também norteadores dessas unidades (Moreira, 2011; 2013).

Nos últimos anos, aliás, distintas pesquisas têm proposto o uso de UEPS no ensino de ciências, seja de forma teórica, sejam em situações práticas (Raicik, 2020; 2025; Culzoni et al., 2015; Ochoa, 2013). Como uma metodologia

didática (Macedo, Pantoja & Moreira, 2020), elas podem ser utilizadas como aspecto metodológico da própria TAS (Damasio, 2017). É nessa perspectiva que a unidade descrita a seguir se encontra estruturada.

Cabe destacar que cada professor pode adaptar a UEPS ao seu contexto de ensino, sem menosprezar, é claro, as concepções primordiais que as orientam.

3. A UEPS: “A GÊNESE HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICA E CONCEITUAL DO MODELO ATÔMICO DE BOHR E UMA VISÃO MAIS HUMANA DE CIÊNCIA”

A unidade didática desenvolvida e apresentada neste artigo está ancorada nos referenciais epistemológico (moderna filosofia da ciência), educacional (princípios da TAS) e metodológico (UEPS) à luz de uma historiografia contemporânea. Visa-se possibilitar, além da intervenção

didática, uma visão mais humanizada de ciência ao ensino de física a partir de uma perspectiva histórico-epistemológica e conceitual da gênese do átomo de Bohr. Ressalta-se que a unidade e seus materiais se encontram disponíveis no site www.evolucaodosconceitosdafisica.ufsc.br como uma forma de permitir que professores e pesquisadores interessados possam ter acesso a ela; e de, possivelmente, as utilizarem e adaptarem aos seus contextos de ensino.

Título: A gênese histórico-epistemológica e conceitual do modelo atômico de Bohr e uma visão mais humana de ciência

Objetivo geral: Contextualizar o período de pós-doutorado de Bohr, a partir de uma perspectiva histórico-epistemológica e conceitual da gênese de seu modelo atômico e explorar algumas relações pessoais que ele estabeleceu nesse período com seus orientadores, J.J. Thomson e Ernest Rutherford.

Conceitos centrais: Modelo atômico de Bohr; aspectos humanos na ciência.

Público-alvo: Licenciandos e bacharelados em física.

Disciplina: Uma disciplina sobre a história da física, preferencialmente nas últimas fases da graduação em física.

Duração: 7 aulas de 50min

Pré-requisitos: O estudo de outros modelos atômicos, como o de Ernest Rutherford, J. J. Thomson, Hantaro Nagaoka; espectros; a radiação do corpo negro; o efeito fotoelétrico.

Constituintes da UEPS: A unidade “A gênese histórico-epistemológica e conceitual do modelo atômico de Bohr e uma visão mais humana de ciência” é constituída por uma animação, um texto, uma carta escrita por Bohr; trechos de uma entrevista cedida por Bohr, dois artigos, slides, atividade avaliativa;

A animação “Do átomo grego ao átomo de Bohr” (Peduzzi, Cordeiro & Nicoladelli, 2012), com duração de 3min49s, problematiza brevemente a evolução da concepção de átomo em termos históricos. Essa animação, em sua originalidade, foi concebida para envolver o aluno em um processo de ‘interação’ com um livro-texto igualmente denominado “Do átomo grego ao átomo de Bohr” (Peduzzi, 2015). Nessa unidade didática, explora-se o capítulo introdutório deste texto que visa evidenciar que, desde os seus primórdios, o átomo tem desempenhado um papel essencial na estruturação de inúmeras hipóteses, conceitos e teorias na física. A animação e a Introdução servem como um organizador prévio na sequência didática.

A “Carta de Niels para Harald (23 Oct. 11)” (Bohr, 1911) é um escrito original que Bohr encaminha ao seu irmão, o matemático Harald Bohr, em que contextualiza, de forma desanimadora, seus primeiros contatos com J. J. Thomson. A primeira de suas quatro páginas constituía um momento da unidade didática.

O trecho da entrevista “Interview of Niels Bohr by Thomas S. Kuhn, Leon Rosenfeld, Erik Rudinger, and Aage Petersen” (Bohr, 1962), é um recorte de uma longa entrevista realizada com Bohr em seu escritório particular em Copenhague, na Dinamarca, nos dias 31 de outubro e 1, 7, 14 e 17 de novembro de 1962. No trecho em particular aqui selecionado e traduzido, Bohr relembra sua impressão inicial, e positiva, de Rutherford.

O artigo de Raíck (2023b), que traça um resgate histórico-epistemológico e conceitual dos caminhos trilhados por Niels Bohr para o desenvolvimento de seu modelo atômico, detém-se na primeira parte da trilogia bohriana – Sobre a constituição de átomos e moléculas – apresentada em 1913, visando contribuir para discussões de e sobre a ciência no ensino de ciências

O artigo de Raíck (2023a) explora alguns aspectos da relação que Niels Bohr estabeleceu durante o período de seu pós-doutorado tanto com J.J. Thomson quanto com Rutherford entre os anos de 1911 e 1912.

Aula 1

Situação-inicial

Visando estabelecer uma situação-inicial com intuito de realizar um levantamento sobre os conhecimentos prévios que os alunos possuem, fomenta-se questões como: (a) Vocês sabiam que Bohr desenvolveu sua tese sobre a teoria eletrônica dos metais? O que o levou dessa temática para a quantização do átomo de Rutherford? Já ouviram a frase memorável e famosa “logo que vi a fórmula de Johann Balmer, tudo se tornou inteiramente claro para mim”, supostamente dita por Bohr muitos anos depois do desenvolvimento de seu modelo atômico? Como vocês imaginam ser a vida social, pessoal e afetiva de um cientista, em geral? Vocês acham que Bohr estabeleceu um bom relacionamento com J.J. Thomson e Rutherford, que foram seus orientadores no seu pós-doutorado?

Situação-problema

Em seguida, projeta-se a animação “Do átomo grego ao átomo de Bohr” (Peduzzi, Cordeiro & Nicoladelli, 2012) que apresenta uma breve problematização da evolução da concepção de átomo, desde as ideias de Demócrito e Leucipo, passando por seu adormecimento de vários séculos, até o período revolucionário do início de século XX, em nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade. Em seguida, o professor entrega em cópia física aos alunos o texto “Introdução” (Peduzzi, 2015), que vinculado à animação apresenta a temática de forma introdutória e pode ser lido e discutido em grande grupo com a mediação docente. Promove-se, nesse momento, uma breve discussão expositiva-dialogada sobre a evolução da ideia de átomo à luz das ideias já prévias dos estudantes; externalizadas anteriormente, junto àquelas esperadas a partir dos pré-requisitos da unidade didática. A animação e o texto a ela associado, atuando como organizadores prévios, servem de ponte ao que se quer discutir em seguida.



Figura 1 – Uma das cenas da animação; da direita para a esquerda: Demócrito, Bohr, Erwin Schrödinger e Werner Heisenberg.

Ao final dessa aula, o professor disponibiliza de forma eletrônica ou física o texto que será objeto de discussão das próximas duas aulas: Raicik (2023b), que deve ser lido previamente pelos discentes.

Aulas 2 e 3

Aprofundamento do tema

A fim de apresentar o conhecimento a ser aprendido, levando em consideração o princípio de diferenciação progressiva, promove-se uma discussão expositivo-dialogada sobre a gênese do átomo de Bohr a partir do artigo de Raicik (2023b). Para tanto, faz-se um prelúdio bohriano à quantização do átomo perpassando tanto por sua formação no mestrado e doutorado quanto pelas suas pesquisas no pós-doutorado, partindo de sua interação, curta e inicial, com Thomson. Aqui, essa interação será tratada em nível mais alto de inclusão e generalidade, sem entrar em especificidades.

Em seguida, na continuação de apresentação do conteúdo, aborda-se a segunda parte do pós-doutorado de Bohr e seu envolvimento com Rutherford. Junto a uma discussão de aspectos sobre a ciência, perpassa-se, de forma conceitual e matemática, pela primeira parte da Trilogia bohriana, publicada em 1913. Em seguida, reflete-se a importância da fórmula de Balmer para o modelo de Bohr a fim de contrapor uma visão empírico-indutivista, comumente associada ao tema.

Levando em conta o processo de reconciliação integrativa, junto ao de diferenciação progressiva, nesse momento o professor resgata, agora em nível mais alto de complexidade, algumas questões levantadas anteriormente, quanto, por exemplo: i) o envolvimento de Bohr com Rutherford; ii) os pressupostos que ele tinha que permitem combater uma visão empírico-indutivista quando de sua dedução e uso da fórmula Balmer. Ademais, novas questões são colocadas como as possíveis influências que John W. Nicholson causou em Bohr, entre outras, que o professor pode suscitar, em termos mais detalhados e específicos, levando em conta a diferenciação progressiva. Além do texto base, o professor pode utilizar slides na dinâmica da aula e fomentar que os alunos interajam nas discussões; refletindo, debatendo e trazendo, também, questionamentos.

Ao final, solicita-se que os estudantes leiam previamente o artigo de Raicik (2023a), disponibilizado de forma eletrônica ou em cópia física, objeto das próximas duas aulas.

Aulas 4 e 5

Nova situação-problema

Anteriormente, visou-se apresentar e contextualizar a gênese do átomo de Bohr em termos conceituais e histórico-epistemológicos. Para tanto, fomentou-se discussões que evidenciam que as teorias não são sínteses indutivas, pura e simplesmente, dos dados observacionais; mas construções contextuais. O problema de Bohr era, desde o seu envolvimento com o átomo de Rutherford, entender a estabilidade da matéria. Tanto que ele desenvolve boa parte de sua investigação sem

se preocupar com os espectros. Além disso, ele se envolveu com estudos nicholsonianos, ainda que com objeções, sobretudo relativas à quantização do momento angular. Ademais, ele previu novas séries espectrais para o hidrogênio. Visou-se, até então, salientar que a construção de conhecimento é um processo. Não basta analisar, em retrospectiva, o seu produto; os resultados que se mostraram mais fecundos. Faz-se necessário contemplá-los e analisá-los à luz de sua história; uma história refletida epistemologicamente, priorizando indistintamente sua gênese, justificação, aceitação.

Nesse sentido, tendo em vista uma nova situação-problema, busca-se trazer à tona uma visão mais humana de ciência, evidenciando como aspectos subjetivos, afetivos, sociais, relacionados à biografia e à personalidade individual de um estudioso influenciam na construção de conhecimentos científicos. Isso é feito a partir de alguns aspectos da relação que Bohr estabeleceu durante o período de seu pós-doutorado, tanto com Thomson quanto com Rutherford, entre os anos de 1911 e 1912. Questões dessa natureza já perpassaram as aulas anteriores, mas de forma geral e introdutória. Agora, em particular, almeja-se especificar e complexificar esses aspectos.

Fomenta-se, dessa forma, discussões em torno de problemáticas como: i) a relação de Bohr com Thomson foi crucial para ele se dirigir ao grupo de pesquisa de Rutherford? ii) o envolvimento positivo dele com Rutherford influenciou a construção de conhecimentos? iii) em relação a outras relações afetivas, como por exemplo o apoio familiar, vocês consideram que em alguns casos pode ser importante para um cientista? iv) no caso de Bohr em particular, será que esse apoio (ou a inexistência dele) fez diferença ou os cientistas em geral, inclusive ele, são alheios a isso?

Aprofundamento do tema: continuação

Resgata-se, agora em nível mais alto de complexidade e especificidade, algumas interações pessoais que Bohr estabeleceu com Thomson e Rutherford no período de seu pós-doutorado e a influência que isso pode ter causado para o desenvolvimento do seu modelo atômico.

Visando, sobretudo, trazer uma visão mais humana da ciência, não dissociada da construção de conhecimentos, faz-se uma breve descrição do jovem Bohr, seu contexto familiar e uma sucinta contextualização de sua imersão na ciência. Em seguida, fomenta-se uma contextualização dos primeiros contatos de Bohr com Thomson. Nesse sentido, entrega-se em cópia física (e traduzida) uma carta que Bohr (1911) encaminha a seu irmão, Harald, datada de outubro de 1911, em que explicita não estar sendo como imaginava sua relação com Thomson.

LETTER FROM NIELS TO HARALD (23 Oct. 11)

[Letter]

23-10-11 Eltisley Avenue 10 Cambridge.

Dear Harald:

You must not be distressed that you haven't heard from me for so long. I am getting along very well, but I have been reluctant to write; for, my work is still not progressing very rapidly, and I have hoped from day to day that it should go a little better. In fact, Thomson has so far not been as easy to deal with as I thought the first day. He is an excellent man, incredibly clever and full of imagination (you should hear one of his elementary lectures) and extremely friendly, but he is so immensely busy with so many things, and he is so absorbed in his work, that it is very difficult to get to talk to him. He has not yet had time to read my paper, and I do not know if he will accept my criticism. He has only talked to me about it a few times for a couple of minutes, and only about a single point, namely about my criticism of his calculation of the absorption of heat rays. You may remember that I pointed out that, in his calculation of the absorption (contrary to the emission), he does not take into account the time taken by the collisions and, therefore, finds a value for the ratio between emission and absorption that is of the wrong order of magnitude for small periods of vibration. Thomson first said that he couldn't see that the duration of the collisions could have such a large influence upon the absorption. I tried to explain it to him and gave him the next day a calculation of a

²⁰ [Emma Trier, sister of Bohr's mother.]

²¹ [Hanne Adler, sister of Bohr's mother; founder and principal of a private school.]

Figura 2 - Trecho da carta de Bohr à Harald em 1911.

A leitura coletiva desse material primário é uma forma, inclusive, de aproximar os estudantes de um documento do próprio Bohr, escrito de maneira afetiva e informal a um familiar. Algumas dessas interações já foram, em nível mais inclusivo e abrangente, como frisado, comentadas em momentos anteriores da unidade. Agora, explorando essas relações no âmbito de uma discussão direcionada e específica, reconcilia-se integrativamente essas interações à luz de um novo processo de diferenciação progressiva.

A partir do artigo de Raicik (2023a), contextualiza-se o feliz e produtivo encontro de Bohr com Rutherford e a influência disso para o desenvolvimento de seu modelo atômico. Nesse momento, o professor entrega em cópia física (e traduzido) um pequeno trecho de uma entrevista de Bohr (1962) datada de 1962, em que relembra positivamente sua impressão inicial de Rutherford.

Ao ser questionado por Rosenfeld se havia algum tipo de vida social, sobretudo à noite, naquela época, Bohr (1962, tradução nossa) recorda: "[...] às vezes eu ia à casa de Rutherford [...] Ele era um homem muito interessante. Quando alguém entrava em contato com ele, tinha uma experiência inesquecível [...] Rutherford foi exatamente como descrevi, extraordinário".

Figura 3 – Trecho, em itálico, da entrevista cedida por Bohr em 1962.

Busca-se evidenciar que uma relação afetiva profícua entre estudiosos e até mesmo uma breve descrição de seu apoio familiar, como no caso de Bohr, pode contribuir para que a ciência passe, cada vez mais, a ser vista como uma atividade realmente humana.

Aula 6

Momento integrador final

Retoma-se o conteúdo geral da UEPS, destacando-se a importância de um resgate-histórico epistemológico e conceitual para uma melhor compreensão da gênese do modelo de Bohr. Enfatiza-se que a falta de uma contextualização histórica, muitas vezes, leva a negligências e a mitos. Na figura de Bohr, busca-se descaracterizar os cientistas como gênios isolados e alheios às adversidades e sub e intersubjetividades do corpo social e, consequentemente, da coletividade. No final desta aula o professor já informa e contextualiza a atividade avaliativa da próxima aula.

Aula 7

Avaliação somativa individual

Como atividade avaliação somativa, propõe-se que os estudantes desenvolvam um plano de aula que envolva discussões trabalhadas na UEPS para o nível médio. Como essa avaliação somativa foi informada anteriormente, os alunos já podem trazer ideias em torno desse plano de aula para discussão e modificação em sala de aula a partir da interação com o docente e demais colegas. Busca-se evidências de aprendizagem significativa com essa avaliação. Não obstante, frisa-se que a avaliação é feita ao longo de todo processo da UEPS, registrando o que pode ser considerado evidências de aprendizagem significativa dos tópicos trabalhados, nas discussões, reflexões e ponderações dos sujeitos ao longo das aulas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O átomo de Bohr é um episódio histórico amplamente discutido no ensino de ciências, sobretudo em nível médio. Aliás, muitas perspectivas preconizam e enaltecem resgates histórico-epistemológicos. Não obstante a isso, ainda são poucas as pesquisas que visam uma discussão histórica-epistemológica e conceitual em nível superior. Mais escasso ainda, são aquelas que contextualizam o lado humano da atividade científica com esse episódio histórico, particularmente o desenvolvimento do pós-doutorado de Bohr, gênese de seu modelo atômico, e as interações afetivas que estabeleceu com Thomson e Rutherford.

Por certo, o ensino do modelo atômico de Bohr, sobretudo sua gênese, “pode servir de viés para a introdução de tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física e de Química” (Marques; Caluzi, 2005, p. 3). Mas como fazer isso? É preciso pensar em estratégias didáticas, sequências fundamentadas, que reflitam não apenas o ‘por que’ e ‘com o que fazer’, mas, o ‘como fazer’ (Martins, 2012), especialmente quando da inserção da História e Filosofia da Ciência (HFC) no ensino.

A importância de se trabalhar com Bohr pode ganhar, ainda, uma conotação especial, inclusive tendo em vista que o ano de 2025 foi declarado pela Organização das Nações Unidas (ONU) como o Ano Internacional da Ciência e Tecnologia Quânticas – International Year of Quantum Science & Technology (IYQ) –, celebrando os 100 anos da mecânica quântica a partir da publicação de trabalhos do físico alemão Werner Heisenberg (1901-1976). Apesar de o átomo de Bohr estar localizado conceitual e temporalmente no que se costuma chamar de “velha mecânica quântica” (Peduzzi, 2024), ele pode ser um caminho para inserção da temática.

Afinal, de acordo com a página oficial¹ do IYQ, reconhecendo a importância da ciência quântica e a necessidade de maior conscientização sobre seu impacto passado e futuro, a missão central do centenário comemorativo é a de conscientizar o público sobre a

importância e o impacto da ciência quântica e suas aplicações em todos os aspectos da vida (IYQ, s.d.).

Em síntese, a UEPS aqui apresentada oferece uma perspectiva de ‘como’ humanizar o fazer científico, sem negligenciar seus aspectos conceituais, ao contextualizar o período de pós-doutorado de Bohr, a partir de uma perspectiva histórico-epistemológica e conceitual da gênese de seu modelo atômico, explorando algumas relações pessoais que ele estabeleceu nesse período, especialmente, com Thomson e Rutherford, que são normalmente desconhecidas no ensino. Além disso, é um meio de levar, discussões direcionadas de física moderna à luz da história, também ao ensino superior.

A proposta, de cunho teórico, tem como um de seus primeiros desdobramentos a sua implementação e avaliação em contexto prático. Importa destacar, e reconhecer, a relevância da UEPS ser efetivamente levada à sala de aula para que suas potencialidades sejam exploradas, verificadas e, em que medidas são corroboradas. Assim, as eventuais dificuldades práticas de implementação, a receptividade esperada dos alunos e as limitações didáticas de incorporar aspectos afetivos ou biográficos nas aulas de física universitária, poderá ser atestada.

Levando em conta que a problematização sobre qualquer assunto, em sala de aula, é sempre um grande desafio pedagógico, a aplicação da UEPS, certamente, irá evidenciar desafios e apontar adaptações que se fizerem necessárias. Afinal a forma didática de sua dinâmica efetiva fica condicionada ao contexto dos alunos em particular e a própria experiência do professor; que deve ter sua autonomia preservada, mantendo a essência da proposta.

Torna-se reconhecida a pertinência de, posteriormente, se refletir sobre o potencial das estratégias de ensino sugeridas e das discussões propostas na UEPS. Os caminhos para a incorporação da HFC no ensino são variados e desafiadores, mas necessários para uma visão mais humana e integral não apenas de ciência, mas sobre ela. A elaboração de propostas teóricas bem fundamentadas é imprescindível nesse processo.

¹ <https://quantum2025.org/>

5. AGRADECIMENTO

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – Brasil; CNPq/MCTI Nº 10/2023 – Universal.

6. REFERÊNCIAS

Abdalla, M. C. B. (2002). *Bohr – o arquiteto do átomo*. São Paulo: Odysseus Editora.

Ausubel, D. P. (2003). *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. Porto: Paralelo Editora.

Ausubel, D. P., Novak, J. D., & Hanesin, H. (1980). *Psicologia educacional*. Rio de Janeiro: Interamericana.

Bohr, N. (1911). Letter from Niels to Harald. In L. Rosenfeld & J.R. Nielsen (Orgs.), *Niels Bohr Collected Works* (volume 1 - Early Work 1905-1911, pp. 527-533). North-Holland Physics Publishing.

Bohr, N. (1962). *Interviewed* (American Institute of Physics, Copenhagen, 1962), <https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oralhistories/4517-1>

Culzoni, C., Alegre, L., & Fornari, J. (2015). Unidad educativa potencialmente significativa para la enseñanza de sonido incorporando TICS. *Revista De Enseñanza De La Física*, 27(2), 709-715. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/12726>

Damasio, F. (2017). *História da Ciência na Educação Científica: uma abordagem epistemológica de Paul Feyerabend procurando promover uma aprendizagem significativa crítica*. [Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina]. Repositório Institucional da UFSC. <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/182729>

Kneller, G. F. (1980). *A ciência como atividade humana*. Rio de Janeiro: Zahar.

Kragh, H. (2001). *Introdução à Historiografia da Ciência*. Porto: Porto.

Macedo, M. S., Pantoja, G. C. F., & Moreira, M. A. (2020). Modelos atômicos no ensino médio: uma unidade de ensino potencialmente significativa com ênfase em uma descrição epistemológica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 25(2), 235–258. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2020v25n2p235>

Marques, d. M., & Caluzi, J. J. (2005). Contribuições da História da Ciência no Ensino de Ciências: Alternativa de Inserção de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio Enseñanza de Las Ciencias, número extra. VII Congreso Internacional sobre investigación en la Didáctica de las Ciencias. https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2005nEXTRA/edlc_a2005nEXTRA71conhis.pdf

Martins, A. F. (2012). História, filosofia, ensino de ciências e formação de professores: desafios, obstáculos e

possibilidades. *Educação: Teoria e Prática*, 22(40), 5-25. <http://educa.fcc.org.br/pdf/eduteo/v22n40/v22n40a02.pdf>

Massarani, L., et al. (2021). *O que os jovens brasileiros pensam da ciência e da tecnologia?* Rio de Janeiro: Fiocruz/COC; INCT-CPCT. https://inct-cpct.fiocruz.br/wp-content/uploads/2024/05/FINAL_ebook_O-QUE-OS-JOVENS-BRASILEIROS-PENSAM.pdf

Matthews, M. R. (1995). História, filosofia, e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 12(3), 164-214. <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7084>

Moreira, M. A. (1999). *Aprendizagem Significativa*. Brasília: Editora Universidade de Brasília.

Moreira, M. A. (2011). Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas – UEPS. *Aprendizagem Significativa em Revista*, 1(2), 43-63. https://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID10/v1_n2_a2011.pdf

Moreira, M. A. (2013). *Aprendizagem significativa, organizadores prévios, mapas conceituais, diagramas e unidades de ensino potencialmente significativas*. Material de Apoio. Instituto de Física: UFRGS.

Ochoa, A. Z. (2013). *Enseñanza y aprendizaje del concepto de energía a través del desarrollo de una unidad de enseñanza potencialmente significativa*, UEPS. [Dissertação de mestrado,. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín Facultad de Ciencias]. Repositório da Unal. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11905>

Pantoja, G. C., & Moreira, M. A. (2019). Investigando a implementação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre o conceito de Campo Magnético em disciplinas de Física Geral. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 14(2), 1-16. <https://reiec.unicen.edu.ar/reiec/article/view/258/299>

Peduzzi, L. O. Q. (2011). *Evolução dos Conceitos da Física*. 1. ed. Florianópolis: UFSC/EAD/CED/CFM. Disponível em <https://evolucaodosconceitosdafisica.ufsc.br>

Peduzzi, L. O. Q. (2015). *Do átomo grego ao átomo de Bohr* (Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis). Disponível em: <https://evolucaodosconceitosdafisica.ufsc.br>

Peduzzi, L. O. Q. (2024). *Problemas conceituais e filosóficos de uma nova mecânica: Bohr, Heisenberg e Einstein*. Publicação interna. Florianópolis: Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina. Versão preliminar, novembro/2024. Disponível em: www.evolucaodosconceitosdafisica.ufsc.br

Peduzzi, L. Q., Tenfen, D. N., & Cordeiro, M. D. (2012). Aspectos da natureza da ciência em animações potencialmente significativas sobre a história da física. *Cad. Bras. Ens. Fís.*, 29(2), 758-786. <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2012v29nesp2p758/23064>

Pires, L. N., & Peduzzi, L. O. Q. (2022). Os faróis astronômicos na sala de aula: proposição de uma unidade de

ensino sobre os pulsares para a formação docente em física e astronomia. *Experiências em Ensino de Ciências*, 17(3), 1-17.

<https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/1109/933>

Queiroz, D. M., & Hidalgo, J. M. (2020). Biografias científicas com vistas à inserção didática: aportes da História e da História da Ciência. *História da Ciência e Ensino*, 21, 65-86. <https://revistas.pucsp.br/index.php/hcensino/article/view/47067/32387>

Raíck, A. C. (2020). Nos embalos da HFC: discussões sobre a experimentação e aspectos relativos à NdC em UEPS. *Experiências em Ensino de Ciências*, 15(2), 164-197. <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/719>

Raíck, A. C. (2023a). Algumas interações pessoais de Niels Bohr com J. J. Thomson e Ernest Rutherford no período de seu pós-doutorado: para uma visão mais humana da ciência. *A Física na Escola*, 21, 1-14. DOI: <https://doi.org/10.59727/fne.v21i1.54>

Raíck, A. C. (2023b). Um resgate histórico-epistemológico do átomo de Bohr: uma gênese nem sempre contada e suas implicações ao ensino de ciências. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 45(e20230039), 1-17. DOI: <https://doi.org/mvdf>

Raíck, A. C. (2025). Natureza da ciência à luz de concepções kuhnianas na formação continuada de professores: uma unidade didática. *Revista Española de Educación Comparada*, 47, 602-622. <https://revistas.uned.es/index.php/REEC/article/view/43480/33072>

Tomazi, A. L., et al. (2009). O que é e quem faz ciência? Imagens sobre a atividade científica divulgadas em filmes de animação infantil. *Rev. Ensaio*, 11(2), 335-353. <https://www.scielo.br/j/epec/a/t9bPFkjkFYMgB7TV9V/MJQg/?format=pdf>