

FÍSICA MODERNA NO ENSINO DE CIÊNCIAS: PROPOSTA E APLICAÇÃO DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA ENVOLVENDO OS MODELOS ATÔMICOS

MODERN PHYSICS IN SCIENCE TEACHING: PROPOSAL AND APPLICATION OF A TEACHING SEQUENCE INVOLVING ATOMIC MODELS

Isadora Tonscheis da Fonseca [isadoratf@estudante.ufscar.br]

Adriana de Oliveira Delgado Silva [adelgado@ufscar.br]

*Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR) – Campus Sorocaba
Rodovia João Leme dos Santos, km 110, Sorocaba-SP, 18052-780*

Recebido: 30/12/25

Aceito: 30/03/2026

Resumo

A Física Moderna, apesar de sua relevância para a compreensão do mundo contemporâneo, ainda é pouco explorada na Educação Básica. Este trabalho discute a aplicação de uma sequência didática que apresenta a evolução dos modelos atômicos, culminando no modelo moderno do átomo, em turmas do 9º ano do Ensino Fundamental. A proposta fundamenta-se na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e utiliza a História da Ciência como estratégia para contextualizar a construção do conhecimento científico. A sequência didática foi aplicada a aproximadamente 60 estudantes de uma escola da rede privada do município de Sorocaba, ao longo de dez aulas, envolvendo aulas expositivas, atividade diagnóstica, construção de modelo físico e atividade avaliativa. A análise das produções dos alunos antes e após a aplicação da sequência evidenciou avanços conceituais, especialmente na superação de concepções estritamente clássicas e na incorporação de conceitos associados ao modelo atômico moderno, tais como: níveis de energia, subníveis e probabilidade. Os resultados revelam fortes indícios de aprendizagem significativa e demonstram a viabilidade da inserção de conteúdos de Física Moderna nos Anos Finais do Ensino Fundamental.

Palavras-chave: Física Moderna; Modelos Atômicos; Ensino Fundamental Anos Finais; Aprendizagem Significativa; História da Ciência.

Abstract

Modern Physics, despite its relevance to understanding the contemporary world, is still scarcely addressed in Basic Education. This paper discusses the implementation of a teaching sequence that presents the evolution of atomic models, culminating in the modern atomic model, in 9th-grade middle school classes. The proposal is grounded in Ausubel's Theory of Meaningful Learning and uses the History of Science as a strategy to contextualize the construction of scientific knowledge. The teaching sequence was applied to approximately 60 students from a private school in the municipality of Sorocaba over the course of ten lessons, including expository classes, a diagnostic activity, the construction of a physical model, and an evaluative activity. The analysis of students' work before and after the implementation of the sequence revealed conceptual advances, especially in overcoming strictly classical conceptions and in incorporating concepts associated with the modern

atomic model, such as energy levels, sublevels, and probability. The results indicate strong evidence of meaningful learning and demonstrate the feasibility of introducing Modern Physics content in the final years of middle school.

Keywords: Modern Physics; Atomic Models; Middle School; Meaningful Learning; History of Science.

Introdução

O ensino de Física em geral e, principalmente, nos Anos Finais do ensino fundamental, restringe-se aos conceitos da Física Clássica. A Física Moderna, desenvolvida a partir do século XX, é deixada de lado (Silva; Ernesto, Aringhieri; Silva, 2017), assim como a Física Contemporânea. Embora existam diversos trabalhos discutindo a inserção da FM no ensino médio, os trabalhos discutindo FM dentro do contexto do ensino de Ciências no ensino fundamental são escassos. Diversos motivos contribuem para isso. Em todo o país, o currículo de ensino de Ciências foi considerado defasado, sem levar em consideração as novas tecnologias criadas a partir da FM. (Oliveira; Viana; Gerbassi, 2007).

Atualmente, o ensino básico é estruturado segundo as orientações da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (Brasil, 2018). Este documento prevê a aquisição de competências e habilidades pelos estudantes, a partir dos objetos do conhecimento trabalhados em sala de aula. Desta forma, mais do que prezar pelo bom aprendizado de conceitos, a Base pretende que os alunos possam formar conexões e tornarem-se cidadãos críticos e capazes de resolver problemas a partir do seu aprendizado escolar. No ensino de Ciências para os Anos Finais, destacamos algumas habilidades previstas na unidade temática Matéria e Energia para o 9º ano, que permitem a introdução de conceitos de Física Moderna:

(EF09CI03) Identificar modelos que descrevem a estrutura da matéria (constituição do átomo e composição de moléculas simples) e reconhecer sua evolução histórica.

(EF09CI04) Planejar e executar experimentos que evidenciem que todas as cores de luz podem ser formadas pela composição das três cores primárias da luz e que a cor de um objeto está relacionada também à cor da luz que o ilumina.

(EF09CI06) Classificar as radiações eletromagnéticas por suas frequências, fontes e aplicações, discutindo e avaliando as implicações de seu uso em controle remoto, telefone celular, raio X, forno de micro-ondas, fotocélulas etc.

(EF09CI07) Discutir o papel do avanço tecnológico na aplicação das radiações na medicina diagnóstica (raio X, ultrassom, ressonância nuclear magnética) e no tratamento de doenças (radioterapia, cirurgia ótica a *laser*, infravermelho, ultravioleta etc.).

Embora o texto não faça referência a abordagem a ser adotada em sala de aula, essas habilidades estão associadas tanto a conceitos de Física Clássica quanto a conceitos de Física Moderna, remetendo aos desenvolvimentos e descobertas do final do século XIX e primeira metade do século XX. Infelizmente, a maioria dos materiais didáticos atuais não explora a abordagem moderna, mantendo uma estrutura de organização do conteúdo baseada numa tradição histórica que separa a Física Clássica da Física Moderna, relegando esta última a educação em nível superior (Ostermann; Moreira, 2000). Além disso, boa parte dos professores de Ciências do Ensino Fundamental, não teve formação adequada para o ensino da Física Moderna (Melo; Campos; Almeida, 2015), optando por manter-se no escopo dos conceitos clássicos, mais difundidos e mais intuitivos aos estudantes.

Outra abordagem importante, e normalmente negligenciada em sala de aula, é a discussão da construção científica como fruto de uma época histórica. Os conceitos de átomo, cor e radiação avançaram com o desenvolvimento tecnológico, mas também a partir das crenças e visão de mundo

que os cientistas de uma determinada época possuíam. Assim, ao explorar essa evolução, o professor tem oportunidade de apresentar a Ciência como uma construção humana, influenciada pelo contexto social, histórico e cultural, e passível de erros, que são inerentes ao processo científico, o qual não está limitado aos grandes gênios. (Matthews, 1994)

O estudo da evolução dos modelos atômicos, por exemplo, permite observar de forma muito clara e concisa esse processo. Quando J.J. Thomson decidiu estudar a estrutura atômica, não o fez desprezando o trabalho de Dalton, mesmo tendo descoberto o elétron. Apenas desenvolveu uma explicação que fosse capaz de abranger certos fenômenos que o modelo anterior não era capaz. Por outro lado, a descrição do átomo ondulatório, derivado da solução da equação de Schrodinger, mostrou que a tentativa de Bohr de acomodar a ideia da energia quantizada utilizando princípios clássicos não funcionava para uma descrição completa das propriedades atômicas. Nesse caso, foi necessária uma ruptura de mentalidade, visto que a aceitação dos conceitos quânticos implicava romper com a ideia do determinismo newtoniano (Kuhn, 2013).

Considerando o contexto apresentado, o objetivo deste trabalho é relatar e discutir parte dos resultados decorrentes da aplicação de uma sequência didática (SD) utilizada para apresentar a evolução dos modelos atômicos, culminando no modelo ondulatório do átomo, a alunos do 9º ano de uma escola particular de Sorocaba.

Os modelos atômicos

Os questionamentos acerca da estrutura da matéria acompanham a humanidade desde a Antiguidade. Houve uma linha de filósofos, chamados de atomistas, que concluíram que a matéria era formada por pequenas e indivisíveis partes. (Silva; Silva, 2021) Dessa forma, o maior representante dessa linha, Demócrito, nomeou estas pequenas partes como “átomos” – onde o prefixo *a* significa “não” e *tomos* significa “divisível”.

No entanto, essa teoria só foi cientificamente construída muito tempo depois. O primeiro modelo atômico formalizado compete à John Dalton, que descreve o átomo como um corpo esférico de tamanho variável envolto no calórico, responsável pela atração e repulsão entre átomos. (Melzer; Aires, 2015). No seu livro, publicado em 1810, Dalton postulou as propriedades do átomo: indivisível e imutável. Segundo sua teoria, os átomos de um dado elemento seriam todos iguais em tamanho, forma e peso.

Em 1897, o químico britânico Joseph John Thomson conseguiu determinar experimentalmente, utilizando um tubo de Crookes, a existência do elétron, partícula subatômica de carga negativa, o que lhe rendeu um Nobel de Física. Essa descoberta complementou diversas teorias acerca da eletricidade e possibilitou que, em 1904, J.J. Thomson apresentasse sua proposta de modelo atômico, que consistia em uma esfera maciça de carga positiva, incrustada de elétrons.

Posteriormente, o jovem cientista neozelandês Ernest Rutherford, que investigava as radiações do Urânio, organizou diversos experimentos com seus alunos Hans Geiger e Ernest Marsden, nos quais eram disparadas partículas alfa em diferentes folhas metálicas. Após observações e medidas do espalhamento das partículas alfa em folhas de ouro, nasceu, em 1911, o modelo atômico de Rutherford, que afirmava que o átomo possuía um núcleo, de carga positiva – o que justificava a grande deflexão inesperada de algumas partículas alfa – e uma região onde estariam espalhadas as cargas negativas – chamada de eletrosfera.

Com o constante avanço da tecnologia no início do século XX, novos fenômenos eram observados com cada vez mais frequência, e alguns deles careciam de uma explicação que a física clássica não era capaz de fornecer. Soma-se a este contexto a iminente eclosão da Primeira Guerra,

causando uma explosão tecnológica em pouco tempo. É nesse cenário que surgem os estudos da chamada Física Quântica, área onde haviam muitas perguntas e pouquíssimas respostas.

Em 1911, Niels Bohr, cientista dinamarquês, trabalhou com Rutherford por um breve período. Bohr direcionou seus estudos na intenção de explicar a estabilidade do átomo, o que não era possível de acordo com o modelo vigente de Rutherford, e seus estudos se concentraram em descrever a eletrosfera do átomo. Além da existência do núcleo, ele considerou as observações dos espectros atômicos¹ e a quantização da energia proposta por Max Planck² e corroborada por Albert Einstein³, elaborando quatro postulados:

1. Um elétron em um átomo se move em uma órbita circular em torno do núcleo sob influência da atração coulombiana entre o elétron e o núcleo, obedecendo às leis da mecânica clássica.
2. Em vez da infinidade de órbitas que seriam possíveis segundo a mecânica clássica, um elétron pode se mover em uma órbita na qual seu momento angular orbital L é um múltiplo inteiro de $\hbar$ (a constante de Planck dividida por 2π).
3. Apesar de estar constantemente acelerado, um elétron que se move em uma dessas órbitas possíveis não emite radiação eletromagnética. Portanto sua energia total E permanece constante.
4. É emitida radiação eletromagnética se um elétron, que se move inicialmente sobre uma órbita de energia total E_i , muda seu movimento descontinuamente de forma a se mover em uma órbita de energia total E_f . A frequência da radiação emitida ν é igual à quantidade $(E_f - E_i)$ dividida pelo constante de Planck h . (Eisberg; Resnick, 1979, p. 138)

Partindo desses postulados, Bohr elaborou, em 1913, seu modelo atômico, que consistia num núcleo com partículas positivas, e uma eletrosfera com órbitas específicas, quantizadas. Este modelo foi amplamente aceito na época, pois muitas experiências mostravam resultados concordantes com o modelo. No entanto, nota-se a mistura entre a Física Clássica e Física Quântica nos postulados de Bohr. Além disso, ao estudar átomos com mais elétrons, o sucesso do modelo caía por terra.

Com a aceitação das ideias quânticas, muitos físicos passaram a se dedicar ao tema, em busca da formalização da teoria. Em 1926, Erwin Schroedinger publicou um trabalho, no qual apresentou uma equação de onda⁴ para descrever o comportamento quântico de um sistema. As soluções da equação de Schroedinger, considerando o potencial atômico, resultaram diretamente na quantização das órbitas eletrônicas, descritas pelas funções de onda⁵, as quais não podem ser diretamente medidas ou observadas. O físico Max Born contribuiu com a interpretação do resultado obtido, mostrando que o quadrado da média da função de onda corresponde a probabilidade de encontrar uma partícula em uma determinada posição ou fração de volume num determinado instante, o que constitui a densidade de probabilidade.

Essa interpretação permite determinar as regiões mais prováveis de se encontrar um elétron no átomo. As funções de onda que descrevem essas regiões são matematicamente complicadas e dependentes das coordenadas radiais e angulares em relação ao núcleo atômico, porém quando

¹ Medidas espectroscópicas da época mostravam que diferentes elementos químicos emitiam radiação (energia) em diferentes comprimentos de onda e que essas emissões correspondiam a linhas com frequência bem determinada (Atkins; Jones, 2012, p. 6)

² Em 1900, Max Planck havia proposto a quantização da energia emitida por osciladores na parede de uma cavidade ressonante, para resolver o problema da emissão da radiação por um corpo negro (Eisberg; Resnick, 1979).

³ Em 1905, Einstein, inspirado pela ideia da quantização da energia de Planck, publicou seu trabalho sobre Efeito Fotoelétrico, onde ampliou a ideia de quantização da energia para qualquer tipo de radiação eletromagnética (Eisberg; Resnick, 1979).

⁴ Equação diferencial parcial, dependente da posição e do tempo.

⁵ Funções matemáticas da posição e do tempo, que descrevem a evolução quântica de um sistema.

apresentadas na forma gráfica traduzem de forma tridimensional a densidade de probabilidade. Essas representações (Figura 1) são chamadas de orbitais ou nuvens eletrônicas.

Existem diversos orbitais, com formatos e energias diferentes, as quais são quantizadas, logo, apenas alguns valores de energia são possíveis. Esses valores dependem do estado quântico em que se encontra o elétron e existem quatro parâmetros para definir esse estado, os chamados de números quânticos. Segundo o princípio de exclusão de Pauli, somente um elétron pode ocupar um determinado estado quântico, portanto cada elétron em um átomo terá, necessariamente, um conjunto distinto de números quânticos.

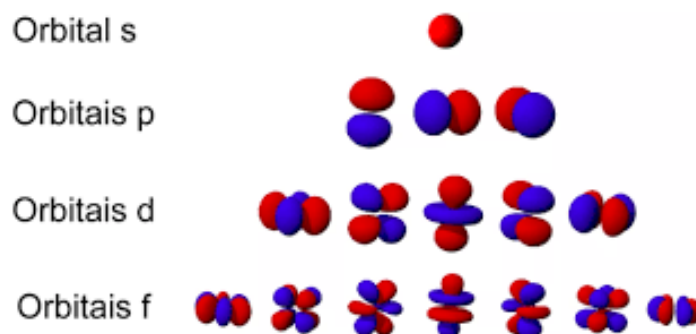


Figura 1: Orientações dos orbitais s , p , d e f . Fonte: Brondani, 2019

O número quântico principal (n), diz respeito à camada ou nível de energia eletrônico⁶ e está associado à distância média do elétron ao núcleo do átomo, assumindo valores inteiros a partir de $n=1$. O número quântico azimutal ou orbital (l) está associado ao momento angular orbital do elétron e corresponde a diferentes formatos espaciais da nuvem eletrônica, podendo assumir valores inteiros positivos⁷, estritamente menores que n . O terceiro número quântico corresponde a projeção do momento angular orbital e é chamado de número quântico magnético (m_l), pois está associado a efeito Zeeman na presença de campo magnético. Pode assumir valores inteiros entre $-l$ e $+l$. Por fim, tem-se o número quântico de spin (m_s), que corresponde à projeção do spin do elétron e pode assumir valores⁸ iguais a $+\frac{1}{2}$ ou $-\frac{1}{2}$. A determinação dos quatro números quânticos permite conhecer a localização provável e o comportamento de um elétron dentro da eletrosfera de um átomo.

O modelo do átomo ondulatório (átomo moderno) foi uma grande evolução no entendimento da estrutura atômica, pois permitiu a compreensão de certos fenômenos que o modelo anterior não era capaz de explicar. Além disso, transpôs uma enorme limitação do modelo de Bohr, pois permite a determinação de soluções para átomos polieletrônicos. É com base nesse modelo que a tabela periódica está organizada atualmente, e é por meio do estudo dos orbitais eletrônicos que se compreendem inúmeras propriedades dos elementos químicos.

Referencial teórico de Ensino-Aprendizagem

A Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), criada por David Ausubel e continuada por Joseph Novak, entende o aprendizado como um processo em que um material novo se organiza e se integra na estrutura cognitiva já existente em um indivíduo. (Moreira, 2022). De acordo com essa

⁶ Também conhecidos como níveis K, L, M, N, O, P, Q na etapa da educação básica.

⁷ Também conhecidos como subníveis s , p , d , f na etapa da educação básica.

⁸ Outras partículas podem possuir valores diferentes de spin. Essa propriedade não tem análogo clássico e o valor de spin de uma partícula depende das suas características quânticas.

teoria, pode-se dividir a aprendizagem cognitiva em dois tipos: mecânica e significativa. Enquanto a aprendizagem mecânica não passa de mero processo de memorização (Moreira, 2012) a aprendizagem significativa recebe esse nome por, de fato, alterar a estrutura cognitiva do aprendiz. Para Ausubel e Novak, a aprendizagem significativa ocorre quando novos conceitos se associam a conceitos já existentes e consolidados. A esses conceitos prévios, foi dado o nome de *subsumer*, portuguêsado para subsunçor. (Moreira, 2022)

Os subsunçores são, portanto, parte da estrutura cognitiva. É importante compreender de que maneira essa estrutura foi idealizada. De acordo com Moreira (2022): “[para Ausubel] estrutura cognitiva significa, portanto, uma estrutura hierárquica de conceitos que são representações de experiências sensoriais do indivíduo”. Todo e qualquer conceito preexistente pode ser um subsunçor para novos conceitos, servindo a eles como âncora: são as bases que ajudam a fixar as novas ideias. Essa ideia, no entanto, não significa que os subsunçores são inalteráveis – eles mudam conforme ligam-se a outros conceitos, expandindo a estrutura cognitiva. Todo esse processo é dinâmico. (Moreira, 2012)

No entanto, em diversos cenários em sala de aula, os alunos podem não ter os subsunçores necessários para a aprendizagem significativa de determinado conteúdo. Uma solução, proposta por Ausubel, consiste no uso de organizadores prévios. Moreira (2010) define os organizadores prévios como recursos mais generalistas e abrangentes do que o material de aprendizagem (aquele que, de fato, apresenta os conteúdos que se quer ensinar). Portanto, um organizador prévio pode ser uma pergunta, uma demonstração, um filme, uma leitura introdutória ou até mesmo uma aula que precede outras. A função primordial de um organizador prévio é criar uma relação entre aquilo que o aluno já sabe e o que deveria saber para conseguir compreender um determinado material, ou seja, para tornar este material potencialmente significativo. Um material só pode ser considerado assim se for capaz de fornecer ao aluno a conexão de novos conceitos com subsunçores relevantes que este aluno já possua. (Moreira, 2012; 2022)

Um professor que busca proporcionar aprendizagem significativa para seus alunos deve, inicialmente, determinar, para o conteúdo que será ensinado, quais seriam os subsunçores necessários para ancoragem e elaborar uma abordagem hierárquica, começando com conceitos mais gerais até atingir os específicos. (Moreira, 2022) Em seguida, o professor precisa identificar o conhecimento prévio dos alunos, para verificar se eles possuem os subsunçores ou há necessidade do uso de organizadores prévios. Se necessário, ele deve elaborar estratégias capazes de fornecer os subsunçores necessários e utilizar materiais que consigam proporcionar ao aluno a possibilidade de fazer novas conexões. (Moreira, 2012; 2022)

Outro ponto interessante da Teoria da Aprendizagem Significativa diz respeito a dicotomia da aprendizagem por recepção e aprendizagem pela descoberta. A aprendizagem por recepção, ou receptiva, é aquela em que se recebe a informação – pode ser através de uma leitura, aula, experiência, simulação, entre outras formas – sem ter que descobrir nada. Em oposição, existe a aprendizagem pela descoberta, na qual o aprendiz precisa primeiro descobrir o conhecimento para, em seguida, aprendê-lo. (Moreira, 2012) Embora a aprendizagem por descoberta pareça a melhor opção para uma aprendizagem significativa, Ausubel defende a aprendizagem por recepção. (Ausubel, 2003) De acordo com o pensamento ausubeliano, aprender por recepção não significa ser passivo – pelo contrário, ainda se faz necessário interagir com o conhecimento a ser aprendido e conectá-lo a conceitos já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Ademais, seria impossível aprender tudo pela descoberta. A aprendizagem receptiva é tempo-eficiente e pode contribuir muito para um processo significativo.

Neste contexto, é imprescindível pensar em uma avaliação que esteja alinhada a TAS. Avaliações direcionadas apenas ao reconhecimento de fatos específicos ou a reprodução de ideias muito próximas àquelas vistas nos livros e nas aulas não são capazes de verificar qualquer

aprendizagem significativa, funcionando de maneira oposta, ao incentivar a memorização. (Ausubel, 2003) De acordo com o pensamento ausubeliano, a avaliação precisa buscar por evidências de aprendizagem significativa. Uma situação em que os alunos são capazes de explicar um fenômeno com suas próprias palavras, demonstrando a aquisição de conceitos fornecidos durante a aprendizagem, é uma evidência de aprendizagem significativa. (Belmont, 2016)

Dentro desta lógica, tanto a avaliação formativa como somativa podem ser utilizadas. O grande contraponto a avaliação somativa, para Ausubel, é a forma como ela é feita e, principalmente, a intenção por trás dela. Avaliar não deveria ser um processo focado em números e em desempenho, mas sim em diagnósticos e níveis de compreensão, para que o professor consiga balizar seu trabalho e o aluno seja capaz de entender seus pontos fortes e pontos de melhoria. (Belmont, 2016) É importante que, durante o processo de ensino-aprendizagem, a avaliação esteja presente como forma de verificar a integração de novos conceitos a estrutura cognitiva dos alunos, ajudando tanto a eles quanto ao professor a entender os próximos passos para a promoção da aprendizagem significativa.

Metodologia

A sequência didática (SD) foi aplicada a duas turmas de 9º ano, totalizando cerca de 60 alunos, em uma escola da rede privada do município de Sorocaba. A duração das atividades foi de 10 aulas, conforme detalhado no Quadro 1.

Quadro 1 – Etapas de aplicação da sequência didática.

Etapa	Duração	Tópicos	Estratégia / Recursos
Aula expositiva	2 aulas (1h40)	Modelos atômicos: Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr	HC / material apostilado
Atividade prévia	10 minutos	Questões abertas: 1) <i>Desenhe, de acordo com seus conhecimentos, a estrutura da eletrosfera de um átomo;</i> 2) <i>Descreva, com suas palavras, o comportamento dos elétrons na eletrosfera</i>	Atividade impressa para resposta individual / papel e lápis
Aula expositiva	2 aulas (1h40)	Níveis de energia, orbitais, spin, estados quânticos e distribuição eletrônica	Organizador prévio e aula dialogada / slides
Construção de um modelo de distribuição eletrônica	4 aulas (3h20)	Níveis de energia, orbitais, spin, estados quânticos e distribuição eletrônica	Trabalho em equipe / papel, madeira, materiais recicláveis, recursos digitais
Apresentação do modelo de distribuição	2 aulas (1h40)	Níveis, subníveis, spins e distribuição eletrônica	Apresentação em grupo / trabalhos dos alunos
Atividade final	10 minutos	Questões abertas: 1) <i>Desenhe, de acordo com seus conhecimentos, a estrutura da eletrosfera de um átomo;</i> 2) <i>Descreva, com suas palavras, o comportamento dos elétrons na eletrosfera</i>	Atividade impressa para resposta individual / papel e lápis

A primeira etapa da SD consistiu em duas aulas expositivas sobre a evolução dos modelos atômicos, passando por Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr. Nessas aulas utilizou-se o material apostilado como apoio, e recursos de História da Ciência na exposição da professora. Em seguida, aplicou-se a atividade prévia, que pedia aos alunos que representassem o átomo com um desenho e explicassem, em um breve texto, o funcionamento da eletrosfera de um átomo.

O modelo ondulatório do átomo foi introduzido também por meio de aula expositiva. O foco inicial da aula foi identificar os conhecimentos prévios dos alunos e criar os subsunçores necessários para a ancoragem de novos conceitos. Dentro da teoria ausubeliana, a aula funcionou como um organizador prévio, fornecendo aos alunos novos conceitos e conexões para que pudessem compreender o átomo moderno e a distribuição eletrônica em subníveis. Na aula foram abordados

conceitos como spin e números quânticos, culminando com a distribuição dos elétrons dentro da eletrosfera.

Após a aula, foi proposta uma atividade prática, consistindo em desenvolver modelos físicos para executar a distribuição eletrônica, considerando o átomo moderno e suas características, como por exemplo, a diferenciação de spins. Os alunos foram organizados em grupos de 4 integrantes, que deveriam apresentar um modelo em que pudessem distribuir no mínimo 82 elétrons, utilizando materiais móveis. Ao longo dessa etapa, os conceitos vistos na aula expositiva foram revisados com auxílio da professora para elucidar dúvidas e dificuldades encontradas na elaboração dos modelos. Esse processo de retomada e reflexão é fundamental para construção da estrutura hierárquica de conceitos na busca da aprendizagem significativa.

Após a apresentação dos modelos para os colegas, os alunos realizaram uma nova atividade, com mesmo conteúdo da atividade prévia, buscando verificar o que compreenderam após a sequência didática. No mesmo dia, os estudantes responderam a uma avaliação em escala Lickert, com afirmações variadas sobre as etapas da sequência.

Após a finalização da SD, as atividades coletadas foram classificadas de acordo com os desenhos feitos para responder ao item 1. Os desenhos foram agrupados conforme semelhança com as figuras de referência, ilustradas na Figura 2. As figuras foram selecionadas diretamente do buscador Google e são as representações mais comuns para cada um dos modelos citados, independentemente de serem consideradas as representações mais fiéis ou corretas em relação a cada modelo.

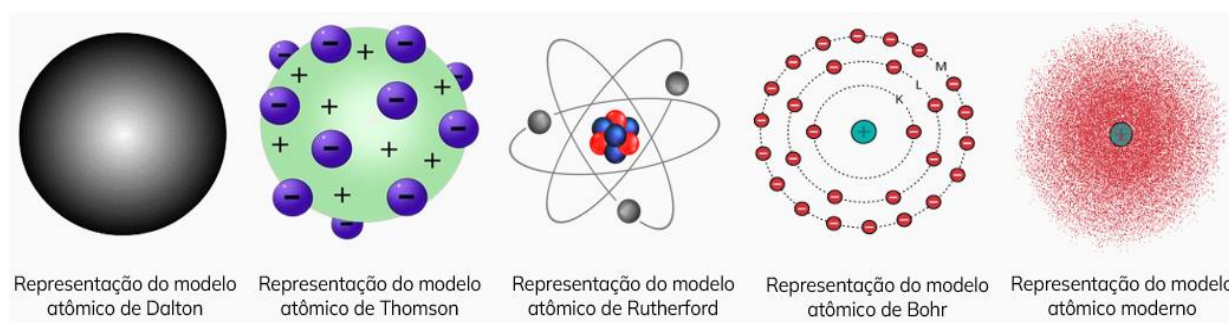


Figura 2: Figuras de referência (encontradas na internet) para classificação dos desenhos coletados nas respostas das atividades prévia e final da SD. Fonte: Adaptado de Wikimedia, Educa Mais Brasil, Blog do Stoodi, Univesp.⁹

Após a classificação dos desenhos, as respostas escritas foram analisadas, buscando extrair os conceitos chave utilizados pelos alunos na explicação. Para cada grupo de desenhos foi contabilizado o número de respostas associadas a cada conceito chave encontrado.

Resultados

⁹ As imagens, na respectiva ordem, estão disponíveis em:

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Atomo_de_Dalton.jpg>,

<<https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/quimica/modelo-atomico-de-thomson>>,

<<https://blog.stoodi.com.br/blog/dicas-de-estudo/materias/quimica/modelo-atomico-de-bohr/>> e

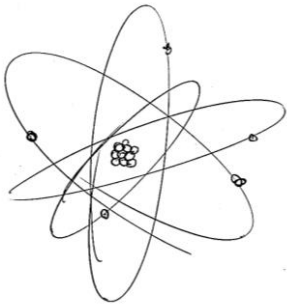
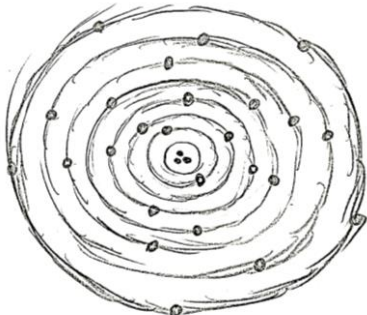
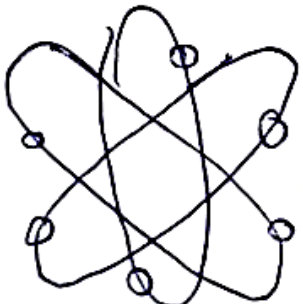
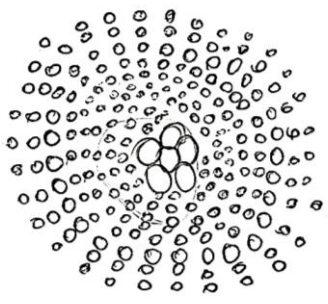
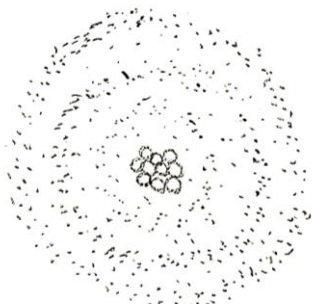
<<https://apps.univesp.br/evolucao-do-modelo-atomico/>> Acesso em 19 de dezembro de 2025.

Neste trabalho serão analisados os resultados da atividade prévia e atividade final, em busca de indícios de aprendizagem significativa pelos estudantes.

Para isto, os desenhos foram divididos em categorias, por similaridade visual com os modelos atômicos (Rutherford, Bohr, moderno ou contendo erros conceituais), conforme as representações mais comuns (Figura 2). Os desenhos representativos de cada categoria, assim como o número menções a cada conceito estão apresentados nos Quadros 2 e 3, respectivamente.

Na atividade prévia houve uma predominância de desenhos remetendo aos modelos de Rutherford e Bohr. O conceito mais citado pelos alunos na atividade prévia foi “elétrons girando em torno do núcleo”, ideia que condiz perfeitamente tanto com o modelo de Rutherford quanto com o de Bohr. Alguns mencionaram a ideia de carga, associada principalmente a carga negativa do elétron. Já o conceito de “movimento” referia-se à menção de movimentações de partículas, sem especificar como isso estaria ocorrendo. Todos esses conceitos adequam-se bem às representações imagéticas desenhadas e representam o conjunto de conhecimento prévio dos estudantes, bem como os subsunçores existentes em suas estruturas cognitivas.

Quadro 2 – Desenhos representativos, por categoria, elaborados pelos alunos em resposta à atividade: *Desenhe, de acordo com seus conhecimentos, a estrutura da eletrosfera de um átomo*. N representa o número de desenhos classificados na categoria para as atividades prévias e atividades finais.

Rutherford	Bohr	Erros conceituais
		
N prévio = 38 N final = 5	N prévio = 14 N final = 22	N prévio = 7 N final = 8
Moderno sem regiões de probabilidade		Moderno com regiões de probabilidade
		
N final = 6		N final = 12

Quadro 3 – Conceitos mencionados pelos alunos em resposta à atividade: *Descreva, com suas palavras, o comportamento dos elétrons na eletrosfera*. Os números representam a quantidade de estudantes que mencionou o conceito de acordo com a categoria do desenho elaborado para as atividades prévias e atividades finais.

Conceitos	Atividade Prévia		Atividade final		
	Rutherford	Bohr	Rutherford	Bohr	Moderno

Elétrons girando em torno do núcleo	30	7	4	13	1
Carga	3	2	-	6	-
Movimento	6	2	1	2	9
Níveis de energia	2	4	-	11	9
Energia	2	3	-	-	-
Probabilidade	-	-	-	1	4
Nuvem eletrônica	-	-	-	1	2
Elétrons delocalizados	-	-	-	-	3
Subníveis	-	-	-	8	3
Camada de valência	-	-	1	1	3

No entanto, ao analisarmos o conceito “níveis de energia” é possível notar uma inconsistência. O modelo de Bohr é o primeiro modelo a propor uma estrutura eletrônica em camadas correspondendo a diferentes valores de energia. Verifica-se, porém, dos Quadros 2 e 3, que de 14 estudantes que desenharam um átomo classificado como átomo de Bohr, apenas 4 mencionaram explicitamente esse conceito, o que sugere a inexistência desse subsunção para a maioria dos estudantes. Além disso, 2 alunos que desenharam o modelo de Rutherford, mencionaram o conceito, o que sugere a falta de conexões necessárias entre os conceitos existentes na estrutura cognitiva dos aprendizes.

A falta de alguns conceitos e conexões também pode ser evidenciada na análise dos desenhos classificados como erros conceituais. Nessa categoria, foram agrupados desenhos da atividade prévia consistindo em átomos sem órbitas, átomos sem núcleo e mistura de modelos. Alguns destes estudantes conseguiram demonstrar seu conhecimento sobre os elétrons na resposta escrita, como por exemplo: “*Eles rodeiam o núcleo e podem ser passados do átomo para átomo gerando energia a partir disso*”, enquanto outras respostas evidenciaram o desconhecimento do tema, tal como: “*Eles se reproduzem e se espalham*”, sugerindo um paralelo equivocado da estrutura atômica com a estrutura celular.

Na atividade final, a quantidade de desenhos classificados como modelo atômico de Rutherford diminuiu drasticamente. Embora o modelo de Bohr tenha sido mais desenhado nesta atividade, as respostas que acompanharam essa representação foram bem elaboradas e repletas de conceitos associados ao modelo ondulatório moderno. Surge, também, uma nova categoria de desenhos, classificada como “modelo moderno”. Dezoito estudantes (30% do total) desenharam essa representação, em alguns casos sem especificar as regiões de probabilidade, e em outros com a especificação, conforme se observa no Quadro 2. Esse resultado é muito relevante, pois é uma forte evidência de aprendizagem significativa. Mesmo os alunos que não foram capazes de construir uma representação imagética coerente à representação do átomo ondulatório moderno demonstraram ter adquirido alguns conceitos relacionados a este modelo. O grupo daqueles que desenharam a representação adequada demonstrou ter avançado ainda mais na compreensão do modelo atômico vigente.

Alguns conceitos persistiram na atividade final. É o caso, por exemplo, da ideia de “elétrons girando em torno do núcleo”. A grande maioria dos estudantes que citou esse conceito, o fez após desenhar o átomo de Rutherford ou Bohr, mostrando conexão entre desenho e explicação conceitual. É importante destacar que dos 18 alunos que desenharam um átomo moderno apenas 1 citou a ideia de “elétrons girando em torno do núcleo”, o que sugere que esses alunos conseguiram desvincular a ideia da posição dos elétrons na eletrosfera da ideia de movimento com trajetória definida, associada aos modelos de Rutherford e Bohr. Os conceitos “níveis de energia” e o “movimento” também foram novamente citados na atividade final. O primeiro aumentou de 6 para 20 citações, sugerindo maior apropriação do conceito pelos estudantes. O segundo também aumentou e foi citado por 9 estudantes que representaram o átomo moderno. Embora a ideia de “movimento” do elétron no modelo

ondulatório seja distinta na ideia clássica, pode-se supor que ela está associada a compreensão de que um elétron pode ser encontrado em posições distintas e com velocidades distintas na eletrosfera.

Essa compreensão fica evidente na menção do conceito de “elétrons delocalizados” que aparece nas representações do átomo moderno. Além deste, surgiram os conceitos: probabilidade, subníveis, nuvem eletrônica e camada de valência nas respostas da atividade final. Esses tópicos foram trabalhados na aula expositiva e reforçados durante a construção e apresentação dos modelos de distribuição eletrônica (trabalhos em grupo) e concentraram-se nas respostas dos alunos que desenharam o átomo de Bohr e o átomo moderno. Este resultado também sugere aprendizagem significativa, pois os alunos avançaram na descrição de um átomo moderno. Contudo, a falta de associação dos conceitos aprendidos com a correspondente representação imagética pode estar associada ao nível de conexões dos aprendizes. Segundo Ausubel, cada aprendiz tem um papel ativo na construção do seu conhecimento. A estrutura das conexões conceituais estará associada ao ponto de partida de cada um e ao seu processo individual de ancoragem dos novos conceitos aos subsunçores existentes. Um aluno, por exemplo, respondeu da seguinte maneira:

“Os elétrons se comportam por um sistema de camadas e subníveis, não alterando entre eles e buscando pela estabilidade (8 elétrons). Os elétrons não seguem um padrão regular de comportamento, não possuindo um trajeto específico, com cada ponto acima representando a sua possível posição no modelo de Schroedinger.”

Essa resposta demonstra uma construção complexa de pensamento e uma interligação interessante de conceitos. O aluno menciona os níveis e subníveis, relaciona isso com a estabilidade do átomo, descreve a ideia de posição não determinística e, por fim, tudo culmina no modelo moderno do átomo. Outras respostas também foram detalhadas dessa forma, possibilitando aos pesquisadores identificar várias situações em que houve aprendizagem significativa sobre o comportamento dos elétrons e da eletrosfera.

Na atividade final, alguns alunos persistiram com representações e ideias dos modelos clássicos e outros manifestaram novos erros conceituais, como por exemplo: *“Os elétrons se movimentam entre a eletrosfera e o núcleo. Prótons e nêutrons ficam se movimentando. Positivo dentro, negativo fora”*. Por um lado, a dificuldade em assimilar o modelo do átomo moderno é esperada e compreensível, devido à complexidade do tema. Por outro, acessar respostas contendo esse tipo de erro é fundamental para aprendizagem. Essa identificação permite ao professor intervir e retomar os conceitos que o aluno não compreendeu, buscando criar as conexões necessárias na estrutura cognitiva, para avanço no processo de aprendizagem significativa. Não basta que o estudante compreenda que prótons tem carga positiva e elétrons tem carga negativa, é importante que ele consiga se apropriar das propriedades de cada uma dessas partículas para, em um estágio superior, compreender como elas se comportam no interior do átomo.

Por fim, os estudantes responderam a uma avaliação em escala Likert sobre a SD, onde 47% dos respondentes afirmaram ter aprendido conceitos novos, 48% manifestaram que gostou do formato das aulas e 20% se disseram motivados a pesquisar mais sobre o tema.

Os resultados mostraram que é possível trabalhar conteúdos de Física Moderna no nível do Ensino Fundamental, utilizando estratégias e conceitos adequados ao nível dos estudantes. Para isto, é fundamental identificar os conceitos prévios dos alunos para planejar a aula a ser ministrada. Além disso, o uso da História da Ciência é uma estratégia muito interessante para motivar o estudo do tema. Essa inserção nos anos finais do Ensino Fundamental, contribui para que possa haver uma aprendizagem ainda mais significativa na etapa do Ensino Médio, pois os conceitos vistos anteriormente podem ser utilizados como pontos de ancoragem de conceitos mais avançados em um estudo mais aprofundado. Ademais, a Física Moderna é parte de diversos objetos e tecnologias que estão presentes no dia a dia dos jovens, portanto, compreender conceitos modernos envolve entender o funcionamento destes dispositivos e do mundo contemporâneo.

Conclusão

Os resultados obtidos a partir da aplicação da SD confirmam que é possível abordar conteúdos de Física Moderna - tradicionalmente associados a níveis mais avançados de ensino - nos Anos Finais do Ensino Fundamental, desde que sejam utilizadas estratégias didáticas adequadas ao nível cognitivo dos estudantes e fundamentadas em teorias de aprendizagem consistentes.

A comparação entre as atividades prévia e final revelou avanços na compreensão dos alunos acerca da estrutura atômica, especialmente na superação de concepções estritamente clássicas e na apropriação de conceitos relacionados ao modelo moderno do átomo. O surgimento de explicações e representações que incorporam ideias como probabilidade, nuvem eletrônica e subníveis eletrônicos constitui indício de aprendizagem significativa. As dificuldades e erros conceituais observados, por sua vez, estão dentro do esperado diante da complexidade do tema e são relevantes para orientar intervenções pedagógicas mais eficazes.

Além disso, o uso da História da Ciência mostrou-se uma estratégia potente para contextualizar o desenvolvimento dos modelos atômicos, contribuindo para uma compreensão menos linear e mais humana da construção do conhecimento científico. Dessa forma, conclui-se que a inserção da Física Moderna no Ensino Fundamental é viável e desejável, pois amplia o repertório conceitual dos estudantes e favorece a construção de subsunçores importantes para o aprofundamento do tema em outros níveis de ensino.

Referências

- AUSUBEL, D. P. *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. 2003. Lisboa: Plátano.
- ATKINS, P.; JONES, L.; *Princípios de Química, questionando a vida moderna e o meio ambiente*; 5ª Ed, Bookman Companhia Ed., 2012
- BELMONT, R. Contributions of Meaningful Learning Theory to the Educational Evaluation [In Portuguese]. *Aprendizagem Significativa em Revista*, volume 6, páginas 79-88. 2016.
- BRASIL. Base Nacional Comum Curricular. 2018.
- BRONDANI, P. B. *De orbitais atômicos a orbitais moleculares: explicando ligações químicas e polaridade*. Notas de aula. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2019.
- EISBERG, R., RESNICK, R. *Física Quântica. Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas*. Rio de Janeiro: Campus Ltda, 1979. 928 p.
- KUHN, T. S. *A estrutura das revoluções científicas*. 12. ed. São Paulo: Perspectiva, 2013.
- MATTHEWS, M. R. *Science teaching: the role of history and philosophy of science*. New York: Routledge, 1994.
- MELO, M. G. de A.; CAMPOS, J. S.; ALMEIDA, W. dos S. Dificuldades enfrentadas por professores de Ciências para ensinar Física no Ensino Fundamental. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, v. 8, n. 4, 2015.

MELZER, E. E. M.; AIRES, J. A. A história do desenvolvimento da teoria atômica: um percurso de Dalton a Bohr. *Revista Amazônia*, 2015.

MOREIRA, M. A. O que é afinal aprendizagem significativa? Aula inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT, 23 abr. 2010. Aceito para publicação em *Curriculum*, La Laguna, Espanha, 2012.

MOREIRA, M. A. *A teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. Teorias da aprendizagem*. 2022. 3ª edição, editora abdr, Rio de Janeiro.

OLIVEIRA F. F., VIANA D.M., GERBASSI R.S. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. 2007 v. 29, n. 3, p. 447-454.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 17, n. 3, p. 267–286, 2000.

SILVA, H. C.; ERNESTO, J. S.; ARINGHIERI, L. F.; ROLEMBERG SILVA, F. A. Amostra de ciências em escolas de ensino fundamental: uma abordagem voltada para física moderna. *Scientia Plena*, [S. l.], v. 13, n. 1, 2017. DOI: 10.14808/10.14808/sci.plena.2017.012702.

SILVA, K. M. de O.; SILVA, O. *Dos atomistas ao átomo moderno: Um resgate da história da evolução dos modelos atômicos*. IFPE, Curso de Licenciatura em Física, 2021.