


# Semiótica de Peirce: uso dos gestos como um potencial recurso semiótico para o ensino do modelo de átomo de Bohr

Savana dos Anjos Freitas Donadello <sup>a</sup>

Agostinho Serrano de Andrade Neto <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidade Luterana do Brasil (ULBRA), Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática – PPGECIM, Canoas, RS, Brasil

*Recebido para publicação 20 jul. 2022. Aceito após revisão 23 set. 2022*

*Editor designado: Renato P. dos Santos*

## RESUMO

**Contexto:** os gestos, vistos por meio da semiótica de Peirce como recursos semióticos, têm o potencial de se revelarem fundamentais para o ensino de Física e, em especial, para o ensino do modelo atômico de Bohr. **Objetivo:** investigar a contribuição dos gestos como um potencial recurso semiótico no ensino do modelo do átomo de Bohr. **Design:** observou-se os princípios de um estudo qualitativo. **Cenário e participantes:** vídeos de um curso preparatório para o ENEM, da disciplina de Física, realizados pela Secretaria de Educação do Estado do RS, gratuitamente, via Internet. **Coleta e análise de dados:** analisa-se, então, um total de 7 horas de aulas, oferecidas de forma *on-line*, de um curso de preparação para o ENEM. Para a microanálise gestual, foram escolhidos os episódios sobre o átomo de Bohr, sendo dois episódios distintos: o primeiro, sobre o fóton, e, o segundo, sobre níveis de energia. **Resultados:** a partir da pesquisa realizada sobre os signos dentro da perspectiva Peirceana, é possível inferir que os gestos têm, de fato, o potencial de serem utilizados como um recurso semiótico na sala de aula. **Conclusão:** verificou-se que os gestos podem ser um potencial recurso semiótico no ensino do modelo do átomo de Bohr, pois podem possibilitar uma articulação entre distintos recursos semióticos.

**Palavras-chave:** semiótica; gestos; átomo de Bohr; ensino de ciências.

## Peirce's Semiotics: Use of gestures as a potential semiotic resource for teaching Bohr's atom model

## ABSTRACT

**Context:** gestures, seen through Peirce's semiotics as semiotic resources, have the potential to be revealed as cornerstones for the teaching of Physics and, in particular,

---

Autor correspondente: Savana dos A. Freitas Donadello. Email: [savanafreitas@rede.ulbra.br](mailto:savanafreitas@rede.ulbra.br)

for the teaching of Bohr's atomic model. Initially, the semiotic perspective in the teaching process will be addressed and, subsequently, the role of gestures and non-verbal communication as a semiotic resource. **Objective:** to investigate the contribution of gestures as a potential semiotic resource in teaching Bohr's atom model. **Design:** the principles of a qualitative study were observed. **Scenario and participants:** videos of a preparatory course for ENEM, in the discipline of Physics, made by the secretary of education of the state of RS, free of charge via the Internet. **Data collection and analysis:** a total of 7 hours of classes offered online, of a preparatory course for ENEM, are analyzed. For the gestural microanalysis, episodes on the Bohr atom were chosen, with two distinct episodes: the first on the photon and the second on energy levels. **Results:** from the research analysis carried out on signs within the Peircean framework, it is possible to infer that gestures have the potential to be used as a semiotic resource in the classroom. **Conclusion:** it was found that gestures can be a potential semiotic resource in the teaching of Bohr's atom model, as they can enable an articulation between different semiotic resources.

**Keywords:** semiotics; gestures; Bohr's atom; science teaching.

## INTRODUÇÃO

Os gestos, de professores e alunos na área de Educação em Ciências, podem ser um potencial recurso semiótico. Portanto, na presente investigação, buscou-se compreender, analisar e explorar os gestos dentro de um curso preparatório para o ENEM, na modalidade *on-line*, sobre o modelo do átomo de Bohr, conceito este visto no último ano do Ensino Fundamental (Ciências) e do Ensino Médio (Física Moderna e Contemporânea).

A partir disso, buscou-se, nesta pesquisa, responder o seguinte problema: qual a contribuição dos gestos, como um potencial recurso semiótico, no ensino do modelo do átomo de Bohr? A fim de responder essa pergunta e explorar os gestos como um recurso semiótico, nesta investigação, primeiramente, será discutido sobre a semiótica de Charles Peirce, expondo o conceito e a historicidade. Posteriormente, discute-se sobre a comunicação não verbal – os gestos – como um recurso semiótico na Educação em Ciências. Para analisar e discutir os resultados, apresentam-se episódios de aulas *on-line* sobre o átomo de Bohr, tendo os gestos como recurso semiótico no ensino de Física. Serão dois episódios distintos: o primeiro, sobre o fóton, e, o segundo, sobre os níveis de energia.

A análise dos vídeos aconteceu por meio de uma microanálise – ato de ver, de forma detalhada, os vídeos, em parcela de níveis de segundos de tempo – com maior riqueza de detalhes – e pela leitura, conforme o pacote semiótico de Arzarello (2006), buscando compreender de que forma os gestos podem ser

utilizados como um recurso semiótico no processo de ensino-aprendizagem dos estudantes.

## REFERENCIAL TEÓRICO

As linguagens estão presentes no mundo e as pessoas estão na linguagem, logo, é natural o uso da semiótica como referencial de análise em sala de aula, visto ser a ciência que investiga todas as linguagens possíveis, ou seja, que tem por objetivo o exame dos modos de constituição de todo e qualquer fato como fenômeno de produção de significação e de sentido (Santaella, 2012).

O fato é que, após a Revolução Industrial, ocorreu uma propagação das linguagens, códigos e mensagens dos meios de reprodução e à difusão de informações e mensagens sucedeu-se, progressivamente, um tempo no qual se emergiu uma “consciência semiótica”. Dessa forma, seguidamente à Revolução Industrial, ocorre o surgimento dessas três fontes de estudo da semiótica (Santaella, 2012).

Ao final do século XX, houve um crescimento representativo do conhecimento sobre a linguística, juntamente com a análise do discurso. Diversas teorias, métodos e análises discursivas foram nascendo, dentre elas, a semiótica. De origem do vocábulo grego *semêion*, que significa sema ou sinal, representando, assim, o estudo dos signos (Batista, 2003).

Um signo, ou *representâmen*, como assim também é chamado, é algo que, sob determinado aspecto ou forma, acaba representando algo para alguém (Peirce, 2015), ou seja, cria na mente de uma pessoa um signo que seja equivalente, ou, talvez, um signo mais desenvolvido. Isto posto, sabe-se que o signo representa algo para determinada coisa, sendo, agora, denominado de objeto. O signo representa esse objeto, não exatamente em todos os seus aspectos, mas como determinada referência a um tipo de ideia que, para Peirce, seria um fundamento do *representâmen* (Peirce, 2015).

Entre os manuscritos de Peirce, diversas definições de signos são apresentadas, algumas mais extensas e elaboradas e outras mais resumidas e breves. Uma das melhores definições do conceito de signo, conforme o próprio Peirce, é a que evidencia que o signo é uma coisa que representa o seu objeto.

Um signo intenta representar, em parte, pelo menos, um objeto que é, portanto, em um certo sentido, a causa ou o determinante do signo, mesmo se o signo representar seu objeto falsamente. Mas dizer que ele representa seu

objeto implica que ele afete uma mente, de tal modo que, de certa maneira, determine naquela mente algo que é imediatamente devido ao objeto. Essa determinação da qual a causa imediata ou determinante é o signo, e da qual a causa mediata é o objeto, pode ser chamada de Interpretante (Santaella, 2012, p. 90).

Se o signo tiver o poder de representar, de substituir outra coisa que seja distinta dele, aí, sim, ele funcionará como signo. O signo não é objeto, mas está no lugar dele, sendo assim, ele apenas representará esse objeto de certo modo e de determinada capacidade (Santaella, 2012). Se for pensar em uma pintura de um carro, a fotografia de um carro, o esboço de um carro, um brinquedo em formato de carro, ou, até mesmo, o olhar para certo carro, todos estes serão signos do objeto carro, jamais o próprio carro. Igualmente, representações visuais de modelos físicos têm o intuito de serem signos destes modelos, em geral, matematicamente definidos.

O signo somente poderá ser alusivo ao seu objeto para um intérprete e pelo fato que representa seu objeto quando termina proporcionando na mente desse intérprete alguma coisa (certo signo ou quase signo) que também está correlacionada ao objeto, não diretamente, porém, pela mediação do signo (Santaella, 2012). Então, signos utilizados para representar um modelo físico pelo professor, por exemplo, podem não ter o mesmo significado para ele que teria para seus alunos, pois são intérpretes diferentes.

O conceito de interpretante não é atribuído ao fato do intérprete do signo, porém, há certo processo relacional que é concebido na mente do intérprete (Peirce, 2015). No instante em que existe uma relação de representação que o signo perpetua com o seu devido objeto, acaba sendo gerado na mente interpretadora outro signo que traduz o significado do primeiro, ou seja, o interpretante do primeiro. Alguns modelos físicos, tal como o modelo do Átomo de Bohr, são articuláveis, dinâmicos, e, portanto, manipuláveis. Dessa forma, é possível que professores, ao manipularem esses modelos durante uma aula explanatória, gesticulem, adicionando mais signos concebidos em sua mente como intérpretes e que devem ser interpretados pelos alunos.

Conseqüentemente, o significado de um signo (seja ele um modelo físico ou gestos utilizados pelo professor ao explicar um modelo) é outro signo (podendo ser uma imagem mental, perceptível, certa ação ou reação gestual, ou até mesmo uma ideia), pois, em outras palavras, o que é elaborado na mente pelo signo resulta em outro signo (uma versão do primeiro). Para melhor

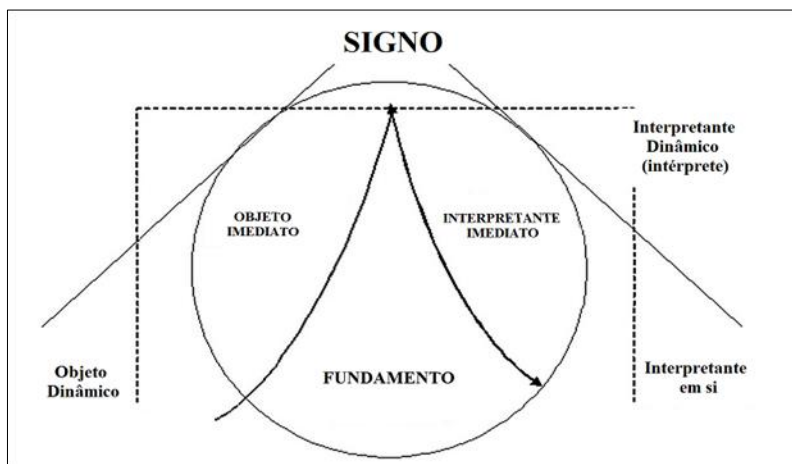
determinar e compreender a definição de signo, compete deixar claro que o signo tem dois objetos e três interpretantes (Figura 1).

Na figura a seguir, é possível observar como o signo é composto pelos seus objetos e interpretantes. O primeiro deles, o objeto imediato (que está dentro do círculo, isto é, dentro do signo) corresponde ao modo como o objeto dinâmico (que consta à esquerda da figura dentro do círculo e que nada mais é que aquilo que o signo substitui) está sendo representado no signo. Por mais que essa imagem seja emblemática, o objeto imediato é a aparência do desenho, na qual ele se esforça em retratar da melhor maneira a forma do objeto (um carro, como já utilizado como exemplo anteriormente).

O interpretante imediato (que está dentro do círculo e defronte ao objeto imediato) é composto por aquilo que o signo executará na mente interpretadora. Não se trata daquilo que o signo efetivamente produz na minha ou na sua mente, mas daquilo que, dependendo da natureza, ele pode produzir (Santaella, 2012). Isso em razão de que existem certos signos que podem ser interpretáveis mediante alguma experiência realizada pela pessoa, de forma concreta ou ação, os que são interpretáveis pela qualidade de sentimentos e, talvez, outros ainda são suscetíveis a interpretações mediante uma sucessão imensurável de pensamentos.

### Figura 1

*Imagem representando o conceito de signo (Autores, 2022).*



Essa produção será conforme a natureza do signo e do seu determinado potencial como signo. Isto posto, por exemplo, ao ouvir certa música, caso a pessoa não seja um conhecedor e entusiasta dessa forma de arte constituída de sons e ritmos, não produzirá no indivíduo uma sequência de características de impressão, ou seja, percepções auditivas, viscerais e, talvez, visuais (Santaella, 2012).

### **Os gestos como potencial recurso semiótico no ensino do modelo do átomo de Bohr**

Atualmente, a maneira como se vive e se expressa no meio social está fortemente relacionada com os signos. É, inclusive, um dos fatores que impulsionou, nos últimos anos, o crescimento, surpreendentemente rápido, dos estudos relacionados à semiótica. Essa busca pela semiótica ocasiona uma crescente consciência de que se vive em uma sociedade de sinais e artefatos (Radford, Schubring, & Seeger, 2008).

Todavia, o que exatamente a semiótica tem a contribuir para a educação e, no processo de ensino, em especial para o campo da Física? Para Radford, Schubring e Seeger (2008), a resposta é simples e complexa. É simples à proporção que a matemática, seu tema central de pesquisa, é uma atividade simbólica intrínseca, isto é, a matemática é algo que acontece mediante o uso de sinais escritos, orais, corporais, entre outros.

Portanto, a semiótica, com seu conjunto de conceitos e tricotomias de conceitos, aparenta ser conveniente para entender e acompanhar os processos de pensamento, simbolização e comunicação da matemática, assim como a Física, a Química e a Biologia. Entretanto, a semiótica pode ser complexa pelo fato de que, para processos de pensamento, a simbolização e a comunicação são subsumidos em sistemas simbólicos mais abrangentes.

A maneira como se pensa e se comunica não torna esses sistemas simbólicos meramente assuntos pessoais, mas algo que já está entrelaçado com a sociedade e a sua cultura. Logo, a semiótica é também considerada (Radford, Schubring, & Seeger, 2008) como algo vantajoso, sendo uma fissura do simbólico, uma perturbação do familiar, um agrupamento do cotidiano – de onde é possível investigar, resistir e transformar os signos e sistemas de signos pelos quais se respira e se vive.

Ao se ministrar as aulas e, em especial, aulas de Física, os professores se deparam com alunos apreensivos, tendo como fator o medo e a complexidade

de como, muitas vezes, essas disciplinas são desenvolvidas. Aprender e ensinar conceitos dentro dessa área requer encontrar novos e variados recursos didáticos que estejam de acordo com a realidade do contexto no qual os estudantes estão inseridos.

Todavia, há pouco tempo, por meio de distintas pesquisas, foi direcionado um olhar e considerado que os meios corporais de expressão podem ser utilizados como forma de recursos semióticos no processo de ensino-aprendizagem, e, na presente pesquisa, dá-se ênfase aos gestos como modo de recurso semiótico.

O motivo que faz com que se dê atenção aos gestos como recurso semiótico é por saber que quando as pessoas falam, elas gesticulam espontaneamente. Gesticular nada mais é que uma ação do corpo natural e universal. Independentemente da cultura e da nação, as pessoas gesticulam ao falar e utilizam determinados gestos para se expressar, mesmo que sejam significados diferentes, ou opostos, ainda assim, os gestos se fazem presentes na comunicação universal das pessoas.

Uma boa revisão das publicações que indicam a universalidade e a espontaneidade da produção gestual, publicado na *Physical Review Physics Education Research* (Stephens & Clement, 2010), lembra que já é conhecido que sujeitos cegos de nascença produzem gestos espontâneos mesmo quando conversam com outros sujeitos cegos de nascença, ainda que ambos saibam que são cegos, fato que foi documentado e publicado na Revista *Nature* (Iverson & Goldin-Meadow, 1998). O fator mais importante quanto a que se os sujeitos são cegos ou videntes parece ser a natureza da representação interna subjacente à comunicação, portanto, alguns gestos refletem mais a maneira na qual se pensa sobre o mundo, do que a necessidade de comunicação (Iverson & Goldin-Meadow, 1998).

Os gestos acompanham a fala e vários tipos de ações que têm uma função simbólica ou semiótica, ou ainda, como sistemas de gestos, linguagens de sinais alternativos ou idiomas. Não obstante, é possível identificar e distingui-los de outros movimentos corporais por meio de determinadas características. Os gestos, geralmente, são caracterizados tendo como início certa posição de repouso, afastando-se da posição inicial e, posteriormente, retornando ao repouso, porém, dependendo da cultura e da idade, pode ocorrer uma diferença (McNeill, 2000).

O ato de gesticular não revela apenas o que está se passando em sua mente, sua imagem mental, mas um ponto de vista que o indivíduo tenha

tomado em relação ao gesto, dando noção que o sentido do gesto é, normalmente, global e sintético, jamais hierárquico. Sendo assim, mediante a tipologia dos gestos, categorizada por McNeill, existe a possibilidade de afirmar se é um gesto relevante e qual a sua relação no momento do discurso, e compreender, talvez, o que sucede em sua mente. À vista disso, vale ressaltar o quanto isso pode ser fundamental no ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio.

Alguns estudos já foram realizados (Oliveira, Vianna, & Gerbassi, 2007; Monteiro, Nardi, & Bastos Filho, 2009; Magalhães Júnior & Pietrocola, 2011; Melo, Campos, & Almeida, 2015; Massoni Barp & Dantas, 2018) com o intuito de compreender as dificuldades encontradas na inserção e na realização do ensino de FMC no Ensino Médio. Para Silva, Reis e Rego (2019), um dos principais empecilhos está relacionado com os fenômenos físicos, que não são facilmente perceptíveis, presentes no cotidiano dos alunos. Ademais, suas representações são abstratas e, muitas vezes, se faz necessária a utilização de formalismo matemático, entre outros recursos adicionais.

Logo, tendo em vista a dificuldade encontrada em desenvolver os conceitos relacionados à FMC, seja por meio da formação dos professores, em que poucos materiais estão disponíveis aos docentes, ou, ainda, na complexidade em que se tem em explicar conceitos, como fóton, níveis de energia, relatividade, efeito fotoelétrico, corpo negro, entre tantas outras concepções que fazem parte da física após o século XX, é importante que além de apontar as dificuldades, sejam encontradas soluções para essa problemática no ensino de Física. Segundo Santos, Nascimento e Souza (2016), a inserção da FMC no Ensino Médio pode despertar nos alunos certa curiosidade e interesse pela Física a partir de sua relação com os objetos que estão presentes na sua vida, como, por exemplo, os *smartphones*, *notebooks*, *tablets*, dentre outros.

Conforme Karam e Pietrocola (2008), por mais que obstáculos e adversidades sejam encontrados no caminho do ensino de Física no Ensino Médio e, em especial, dos fenômenos físicos de escalas minúsculas, como escalas atômicas e subatômicas, é possível encontrar mecanismos para transpor temas modernos para este nível de ensino.

O uso de sequências didáticas, abordagens de dimensão conceitual da física moderna (sem renunciar ao uso da matemática), representações por meio de distintos materiais, simulações computacionais, criação de modelos, ilustrações, entre outros, tem sido empregado com excelentes resultados desde



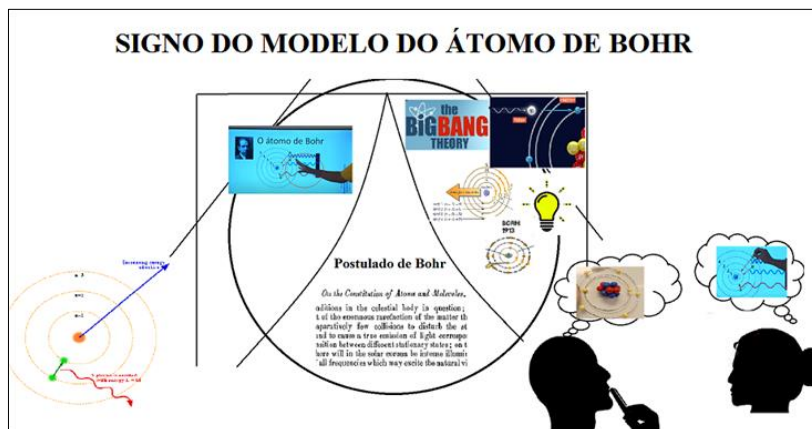
o Ensino Fundamental (Freitas, 2019). Finalmente, por que não utilizar como recurso o uso consciente dos gestos produzidos pelos docentes?

Para analisar adequadamente a função dos gestos como recurso semiótico dentro da sala de aula, ele deve ser introduzido em uma abordagem semiótica que possibilite uma melhor definição de “signos”, logo, a teoria de Peirce, que foi abordada anteriormente neste artigo, contempla o objetivo da presente pesquisa e a articula de uma melhor forma (Sabena, 2008). Assumindo uma semiótica peirciana, tudo que entra em um processo semiótico é um signo e, assim, uma maior variedade de fenômenos, contendo movimentos corporais e gestos, pode ser encarada como recursos semióticos na sala de aula.

Aplicando-se a classificação semiótica de Peirce para o caso em questão, do átomo de Bohr, o fundamento (Figura 2) seria os postulados criados pelo mesmo no artigo de 1913 (Bohr, 1913). O objeto dinâmico seria o modelo, em geral, utilizado do átomo de Bohr em diversas publicações, como livros didáticos, muito bem ilustrado na simulação, onde um núcleo central é circundado por pequenas esferas representando os elétrons, que podem “saltar” de uma camada para outra e, assim, emitir ou absorver luz (representada de forma corpuscular ou como uma onda).

## Figura 2

*Imagem representando o signo do modelo do átomo de Bohr (Autores, 2022).*



O objeto imediato, do ponto de vista de um aluno que assiste à aula *on-line*, o observador, consiste no triplo conceitual da representação estática do objeto dinâmico, o discurso do professor e os gestos realizados pelo docente. O interpretante dinâmico seriam todas as possíveis representações que o objeto imediato evoca na mente do intérprete, e isso inclui várias representações visuais, tácteis, auditivas, etc., que remetem ao fenômeno de emissão de um sinal luminoso. Já o interpretante em si depende de como, individualmente, cada estudante relaciona o objeto imediato com sua experiência prévia.

Os alunos aprendem modelos simples de átomos no Ensino Fundamental e, gradualmente, integram ideias mais complexas a esses modelos simples ao longo de sua trajetória acadêmica. O estudo dos átomos é uma área de conteúdo rico, concedendo uma base sólida para a compreensão de tudo, desde os blocos de construção fundamentais da natureza até a base da tecnologia moderna (Mckagan, Perkins, & Wieman, 2008). No Brasil, o primeiro contato com a Física e com a Química ocorre na disciplina de Ciências, no último ano do Ensino Fundamental, tornando-se um desafio para professores e alunos, diante da sua complexidade e diferentes obstáculos que são encontrados.

Os conteúdos de Física são vistos pelos alunos com certa resistência e, até mesmo, repulsa, e isso, muitas vezes, é advindo da forma como foram apresentados desde o Ensino Fundamental ou durante o primeiro ano do Ensino Médio, sem serem conteúdos atraentes e, dessa maneira, tornaram-se enfadonhos para os alunos (Leal & Oliveira, 2019). Então, por que não buscar realizar pesquisas que contribuam com essas áreas e que mostrem a beleza e a relevância do ensino de Física? (Cipolla & Ferrari, 2016).

Corroborando com essa ideia, o modelo de Bohr pode ser uma porta de entrada para o mundo da estrutura interna da matéria. Um motivo exímio para o estudo dos modelos atômicos é a aventura na qual os alunos podem ser levados a uma rede complexa de raciocínio sobre como os novos modelos são construídos e os modelos antigos descartados com base em observações experimentais.

O estudo do átomo de Bohr é essencial e de grande valia em nível médio, portanto, deve ocorrer de forma construtivista (historicamente), tendo determinadas estratégias para o ensino. A historicidade dos conceitos é uma das estratégias mais importantes, pois a partir da explanação sobre todo o processo, evolução e construção dos modelos atômicos, será possível oportunizar ao estudante compreender e refletir sobre o processo de construção do conhecimento com o transpassar do tempo (Peduzzi & Basso, 2005).

Logo, o átomo de Bohr propicia aos alunos assimilar implicações importantes para a compreensão a respeito do progresso e da prática científica, por meio da reconstrução de eventos que levaram Bohr a postular seu modelo do átomo. Sendo assim, o ensino do modelo de Bohr e demais modelos atômicos provoca em discentes e docentes um momento de compreensão e de reflexão na busca de assimilar, articular, sentir e perceber todo o processo histórico que ocorreu, desde o primeiro modelo atômico até o de Bohr (Rodríguez & Niaz, 2004).

Também se pode argumentar que, ao estudar sobre os modelos atômicos e, em especial, o do átomo de Bohr, os alunos podem ser conduzidos por uma complexa teia de raciocínio sobre como novos modelos científicos são construídos e velhos modelos científicos são descartados, tendo como base algumas observações simples. Isso oportuniza um contexto para o ensino de habilidades de raciocínio científico, como construção de modelos, e fazer deduções a partir das observações, sendo, assim, um estudo belo e útil (Mckagan, Perkins, & Wieman, 2008).

## **METODOLOGIA**

Com a chegada da pandemia ao Brasil, houve a necessidade de professores e alunos se adaptarem apressadamente para a nova forma de ensino, empregando novas técnicas, plataformas digitais e metodologias de ensino. Conforme essa realidade, muitos projetos foram desenvolvidos para corroborar com o ensino dos estudantes e, particularmente, aulas em preparação para o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM). Sendo assim, foi escolhido um curso que contemplava aulas de todas as disciplinas do Ensino Médio, que ocorria por meio de um canal público da plataforma YouTube.

A disciplina de Física, foco desta pesquisa por abordar o tema sobre o átomo de Bohr, teve em média 40 vídeos abordando todos os conteúdos propostos para o Ensino Médio. Para a presente pesquisa, optou-se por analisar as aulas sobre o modelo do átomo de Bohr. Portanto, essas aulas *on-line* constituem o objeto desta investigação.

A metodologia inclui a seleção de episódios significativos, os quais passam por uma análise detalhada, parcelada em níveis de segundos de tempo (microanálise). Após a visualização dos vídeos, foi realizada essa microanálise observando a fala e os gestos do docente.

Nas aulas ministradas pelo professor de Física, no curso de preparação para o ENEM, em formato *on-line*, ele traz, desde o início da elaboração da Física Moderna, seu impacto na sociedade com o passar dos anos, bem como seus principais conceitos. As aulas eram ministradas com diversos recursos, como o uso do quadro branco, *slides*, simulações computacionais e, principalmente, o foco desta pesquisa, a comunicação verbal e não verbal (gestual).

Posto isso, seguem alguns fragmentos que foram retirados das aulas 7 (Física Moderna 07 – FM07) e 8 (Física Moderna 08 – FM08) do curso preparatório para o ENEM, nas quais o assunto central era o modelo atômico de Bohr. Para melhor compreensão e explanação dos trechos selecionados, serão expostos dois distintos momentos: o Episódio I (que abordará o conceito de fóton) e o Episódio II (que exprime o conceito de níveis de energia).

O número pequeno de casos analisados justifica-se, porque a análise gestual e verbal – tanto de estudantes quanto de professores – requer uma análise em um nível mais profundo, examinando poucos casos de forma minuciosa em vez de uma análise mais superficial de um grande número de casos (Monaghan & Clement, 1999).

Assim, procedeu-se a uma análise de um total de, aproximadamente, 7 horas de aulas gravadas (somente das aulas de Física Moderna) e disponibilizadas *on-line*, a fim de encontrar episódios que foram utilizados como foco da microanálise de discurso gestual. Usando a moldura do pacote semiótico (Arzarello, 2006), foram analisadas duas aulas (Física Moderna 07 e Física Moderna 08) das oito relacionadas à temática de Física Moderna desse curso *on-line* de preparação para o ENEM. Um conjunto semiótico é caracterizado por três recursos distintos, apresentados a seguir (Arzarello, 2006):

- a) um conjunto de signos, que podem ser produzidos por meio de diferentes ações, como proferir, falar, escrever, desenhar, gesticular e manusear um artefato;
- b) um conjunto de modos de produção e transformação desses signos. Tais modos podem possivelmente ser regras ou algoritmos, mas, também, ações ou modos mais flexíveis usados pelo sujeito;
- c) um conjunto de relações entre os signos e sua estrutura de significado subjacente.

A ideia do pacote semiótico é formada pelos signos que são realizados pelos alunos (ou por uma turma) no instante em que resolvem um problema, situação ou uma questão no decorrer de alguma atividade de ensino. Para Arzarello et al. (2009), o docente acaba também participando dessa produção, logo, o pacote semiótico pode abranger, além disso, os signos realizados pelo docente.

Para Paiva (2019, p. 39), os pacotes semióticos

[...] são recursos semióticos de maneira unificada no processo de aprendizagem, dentro do labor conjunto. Esses recursos ou meios semióticos são orquestrados durante a atividade, estabelecendo significados entre os processos de objetivação e de subjetivação, apontando que os significados que aparecem nesse processo são de natureza multimodal, considerando os diversos meios semióticos envolvidos (gesto, fala, expressões, desenhos, ritmo) e que não podem ser analisados de forma separada.

Portanto, um pacote semiótico corresponde ao conjunto de meios semióticos que são mobilizados por professores e estudantes durante a atividade e que atuam de forma coordenada e unificada.

Professores das áreas de ciências naturais, tecnologia e matemática utilizam-se de diversos recursos em sala de aula, como projeções na tela, modelos físicos, simulações computacionais, desenhos no quadro, etc., além da fala e de seus gestos (Moro et al., 2015).

Assim, esses recursos acabam influenciando a maneira como os professores gesticulam e articulam sua fala, juntamente com o gesto. E, por consequência, sabe-se que, do mesmo modo que os demais recursos auxiliam na aprendizagem, os gestos também são recursos semióticos que dão suporte e instigam o processo de ensino-aprendizagem.

É fundamental que se considere a maneira de cada recurso semiótico, por meio das pequenas diferenças, expressar um mesmo significado, logo, os gestos são capazes de contribuir na obtenção de uma compreensão adicional, complementar, mais ampla do que é proposta aos alunos (Silva & Gobara, 2020).

## RESULTADOS E ANÁLISES

### Episódio I – Fóton

O professor, antes de ensinar o modelo do átomo de Bohr, relata a evolução e o histórico dos modelos atômicos, discutindo e mostrando as diferenças entre cada um deles e, conseqüentemente, sua evolução. Ao chegar no modelo de Bohr, o professor começa explanando que Bohr, utilizando a teoria da física quântica, formulou a teoria do átomo de hidrogênio<sup>1</sup>.

*Professor [40'17" – FM07]: Niels Bohr utilizando a teoria quântica, utilizando os conceitos de Max Planck, formulou a teoria do átomo de hidrogênio, ou teoria atômica de Bohr, em que: os elétrons que estavam realmente circundando o núcleo, eram negativos, estavam circundando o núcleo positivo, mas só podiam estar em alguns locais determinados, alguns níveis de energia.*

Em seguida, ao discorrer sobre a maneira com que os elétrons podem se mover de uma órbita para outra, explica que é necessário que o elétron receba ou emita fótons. Para explicar sobre o fóton, no mesmo instante em que o docente vai explanando, ele vai articulando sobre esse conceito abstrato. Portanto, ao mencionar o conceito de fótons, o professor gesticula para evidenciar aos alunos o conceito e o movimento do fóton, podendo-se observar nos trechos a seguir.

No primeiro trecho, o professor relata que o elétron pode estar em qualquer uma das “camadas de energias”, porém, para que ele possa sair da primeira camada e ir para a segunda, por exemplo, o docente relata que o elétron deve receber energia e isso seria receber fótons (3).

*Professor: [42'50" – FM07] Então, ele recebe fótons, ele consegue pular para outra camada*

O docente, para melhor explicar a questão de “pular para outra camada”, acaba utilizando a imagem que consta nos *slides* (Figura 3) e, ao mesmo tempo, usa sua mão direita para apontar e mostrar como seria esse movimento do elétron em “pular de uma camada para outra”.

---

<sup>1</sup> Naturalmente, não cabe aqui a análise da precisão do discurso e das aulas do professor, cabendo a nós, apenas, a análise semiótica dos gestos proposta.

### Figura 3

*Gesto realizado pelo professor indicando a transição de uma camada para outra, após receber os fótons. A seta vermelha indica a direção da mão.*



De acordo com Almeida e Goulart (2020), os pacotes semióticos (Arzarello, 2006) permitem realizar essa articulação dos recursos semióticos, nesse caso, dos gestos, da comunicação verbal e dos *slides*. Por meio desses recursos, é possível incrementar as ações do professor no decorrer de sua atividade. Logo, os gestos serviram como uma maneira de articular a fala do professor com a imagem.

No segundo fragmento desse episódio, o professor explica que no instante em que o elétron volta para o nível de menor energia, ele tem de liberar esse fóton, dessa forma, o professor realiza um gesto com a mão direita, abrindo e fechando, representando a liberação de um fóton, como segue no fragmento (4).

*Professor: [43'35" – FM07] Ele tem que liberar esse fóton, essa luz.*

### Figura 4

*Gesto realizado pelo professor em relação ao fóton.*



Esse gesto é semelhante ao que alunos do Ensino Fundamental realizaram ao explicar sobre o conceito de fóton em outra pesquisa recente (Figure 5).

### Figura 5

*Sequência de imagens do gesto sobre fóton realizado pelo estudante A1, em 2018. (Freitas, 2019).*



Ao realizar esse gesto (Figura 5), a menina explica da seguinte maneira: “E quando ele se aproxima do núcleo, ele emite um fóton. [...] Eu o vejo saltando e... [01’56”], e emitindo um fóton [01’59”].” Mesmo que essa aluna não tenha observado esse gesto sendo produzido pelo professor em análise, o gesto é o mesmo, sendo, possivelmente, um gesto universalmente trocado entre educadores e educandos. Assim, observa-se que o interpretante em si da estudante A1 muito provavelmente é composto – conscientemente ou não – de elementos gestuais de professores de física semelhantes ao objeto imediato mostrado na Figura 4 do gesto do professor.

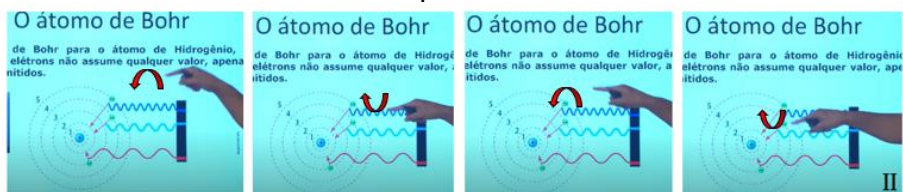
Conforme Arzarello (2006), os recursos semióticos remetem-se na identificação de distintos recursos que são escolhidos pelos sujeitos – neste contexto, pela aluna – voluntária ou involuntariamente. O gesto do fóton ocorreu de maneira semelhante entre pessoas e em situações diferentes.

De acordo com Radford (2003), os gestos, por exemplo, no processo social, acabam tendo como papel facilitar a exposição das intenções e o pensamento do indivíduo, portanto, os gestos – e todas as ações corporais e verbais do ser humano – são tentativas de possibilitar tornar palpável o significado de conceitos abstratos. Logo, por mais que o gesto do fóton tenha sido realizado por pessoas e em momentos diferentes, o gesto realizado busca proporcionar ao espectador uma maneira mais próxima do que está se passando na mente do sujeito.



Já no terceiro excerto do presente episódio (Física Moderna – 08), o docente argumenta que para mudar de camada, o elétron deve “entregar alguma coisa”, isto é, ele tem de receber ou emitir um fóton.

Logo, o docente aponta na tela que constam os *slides* e, utilizando a mão, realiza um gesto que exhibe a movimentação que deve ocorrer do elétron ir do nível fundamental para o nível mais excitado (



6) e, ao mencionar sobre “receber uma luz”, o docente realiza um gesto de “onda”, no qual representa exatamente a ilustração que consta nos *slides* utilizados pelo mesmo professor.

**Professor:** [10'29 – FM08] Para esse nível sair do fundamental e ir para um nível excitado (I), tem que receber uma luz (II), um fóton.

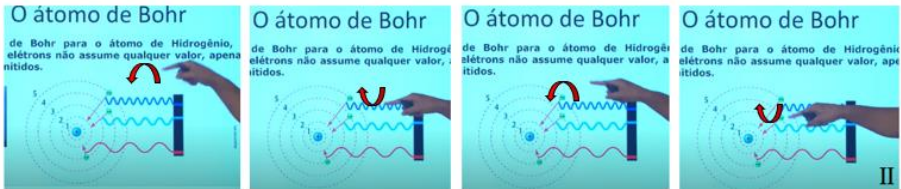
**Figura 6**

*Seqüências de imagens em relação ao gesto realizado pelo professor (I).*



## Figura 7

Sequências de imagens em relação ao gesto realizado pelo professor (II).

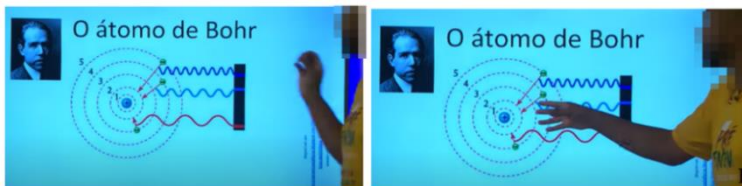


No quarto fragmento (Figuras 8, 9, 10 e 11), o professor retorna às suas explicações, dando mais ênfase e com maiores detalhes e expõe que é necessário “jogar” um fóton para que o elétron possa se movimentar de um nível de energia para outro.

*Professor: [43'57"] Eu joga um fóton (I) nele, ele ganha esse fóton e vai para lá (II), mas ele fica instável (III) e, em dado momento, ele perde, ele libera esse fóton (IV) e volta para a camada.*

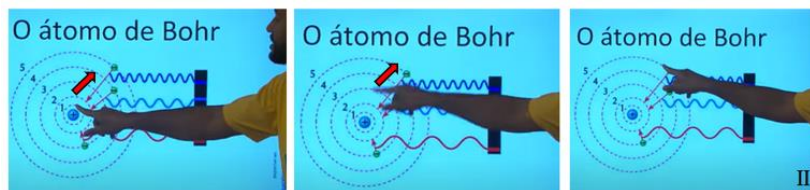
## Figura 8

Gesto relacionado com o conceito de fóton (I).



## Figura 9

*Gesto relacionado sobre o momento em que ele ganha um fóton (II)..*



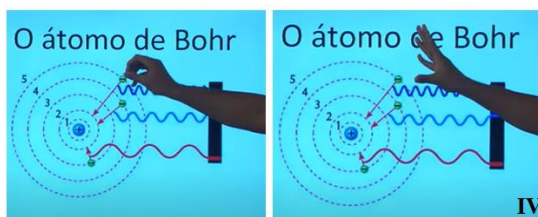
## Figura 10

*Gesto relacionado ao instante em que ele, o elétron, fica instável (III).*



## Figura 11

*Gesto novamente relacionado ao conceito de fóton (IV).*



Como é possível observar nas imagens das Figuras 8, 9, 10 e 11, ao mencionar sobre o fóton, o docente realiza o mesmo gesto feito anteriormente, que, como já discutido, é o mesmo gesto também realizado por outros alunos em pesquisas recentes (Freitas, 2019). No segundo momento desse fragmento, o professor expõe, com o dedo indicador, a ação que o elétron realizaria ao ganhar um fóton. Com o dedo indicador e no movimento de “vai e vem”, rapidamente, o docente dá ênfase sobre o nível instável.

Por fim, esse fragmento se encerra novamente com a fala do professor sobre fóton e, no mesmo instante, o gesto de fóton, já realizado anteriormente. Pode-se observar que o objeto dinâmico para fóton contém gestos de abrir e fechar as mãos, bem como o gesto de onda (Figura 7).

Em harmonia com Arzarello (2006), este primeiro episódio trouxe alguns recursos semióticos que acabam compondo o que ele denomina de pacote semiótico, como a fala, os gestos, a utilização de *slides* com imagens e representações ilustrativas.

Por meio desses recursos e, em especial, dos gestos, o professor articulou recursos com o intuito de promover uma aprendizagem em seus estudantes, incrementando, assim, as ações e o desenvolvimento no processo de ensino-aprendizagem, tal como mencionado por ele (Almeida & Goulart, 2020).

Sendo assim, o primeiro episódio, sobre o conceito de fóton, evidencia que, no mesmo instante em que se explica sobre o conceito, o professor realiza o gesto de “abrir e fechar” a sua mão, rapidamente, possibilitando ao aluno não apenas ouvir sobre o conceito, mas, por meio da comunicação não verbal, buscar compreender qual seria a ação dessa partícula.

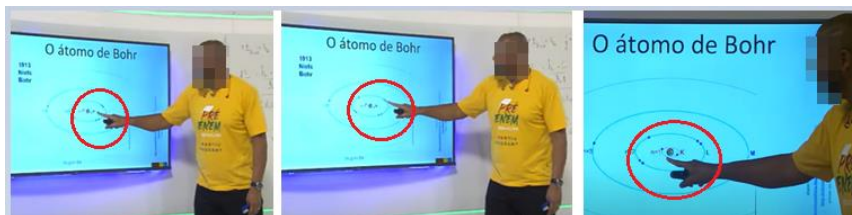
## **Episódio II – Níveis de camada e transições**

No segundo episódio que se separou, o conceito norteador é são os níveis de energia. No primeiro fragmento analisado, o professor gesticula com o seu dedo indicador em um movimento em que circula ao redor do núcleo positivo, no sentido anti-horário, mostrando a trajetória do elétron (Figura 12).

*Professor: [40'35" – FM07] Os elétrons, eles estavam, realmente, circundando o núcleo, eles eram negativos e estavam circulando o núcleo positivo, mas só podiam estar em alguns locais.*

## Figura 12

*Gesto sobre os slides quando o professor explica sobre os elétrons circundando o núcleo (Autores, 2022).*



No segundo fragmento, o professor gesticula sobre os *slides* e, exatamente, sobre cada um dos níveis de energia representado na ilustração, a posição de cada um dos níveis de energia de Bohr. Isto é, no instante em que fala sobre a composição do modelo atômico de Bohr por sete camadas, ou órbitas, como ele mesmo menciona, ele gesticula sobre a tela, expondo cada um dos níveis de energia (Figura 13).

**Professor:** [40'57" – FM07] *As sete camadas são os níveis de energia de Bohr.*

## Figura 13

*Gesto que demonstra a localização dos níveis de energia de Bohr (Autores, 2022).*



Já no terceiro fragmento, o professor destaca que o elétron pode estar em cada um dos níveis de energia e, ao mencioná-lo novamente, gesticula sobre a ilustração que consta nos *slides*, no mesmo momento em que explica a respeito dos níveis de energia, como visto a seguir (Figura 14).

**Professor:** [42'36" – FM07] *Só que esse elétron, ele pode estar em qualquer uma dessas camadas de energia.*

### Figura 14

*Gesto no qual o professor demonstra sobre as camadas de energia.*

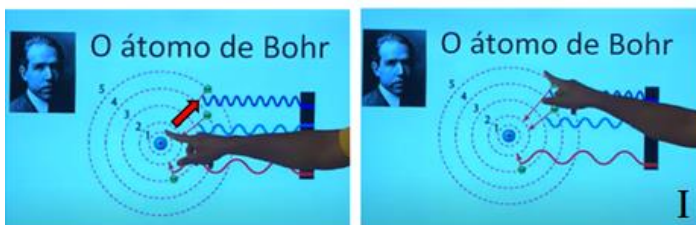


Separado em duas sequências, o quarto fragmento expõe sobre quando se tem um elétron saindo de uma camada (Figura 14), um nível de energia e, assim, indo para outra camada (Figura 15). O professor, como já visto nos demais fragmentos, no momento em que utiliza a comunicação verbal, utiliza-se, também, da comunicação não verbal, ou seja, com seu dedo indicador aponta e mostra sobre os *slides* o movimento que ocorre na transição de um elétron para outra camada.

**Professor:** [43'40" – FM07] *Quando eu tenho o elétron saindo de uma camada e indo para outra (I) ele está absorvendo, está recebendo luz, tão dando luz para ele (II).*

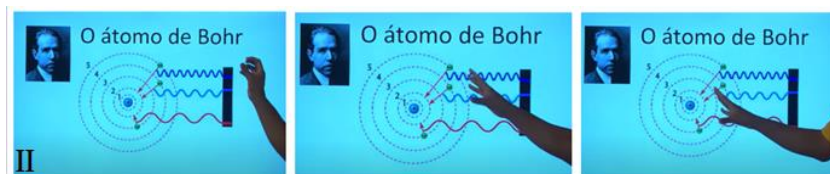
### Figura 15

*Gesto que demonstra o elétron indo de uma camada para outra.*



### Figura 16

*Gesto relacionado ao momento em que o elétron recebe luz. Mais uma vez o gesto para o fóton é produzido (Autores, 2022).*

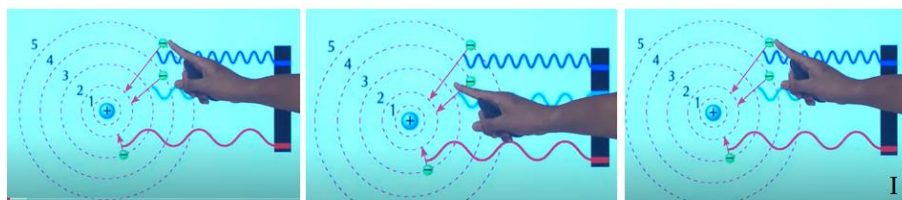


No penúltimo fragmento desse episódio, o professor aborda as cores que surgem, que têm relação com a quantidade de energia (Figura 16). A seguir, é possível ver que o professor explica e gesticula no mesmo instante, explanando, e, assim, buscando dar mais detalhes e mais clareza para os alunos, que a quantidade de energia tem relação com a mudança de cor que os alunos podem visualizar na tela (Figura 17).

*Professor: [9'44" – FM08] Então, aqui, dependendo da energia, da quantidade de energia (I), vai mudar a cor (II).*

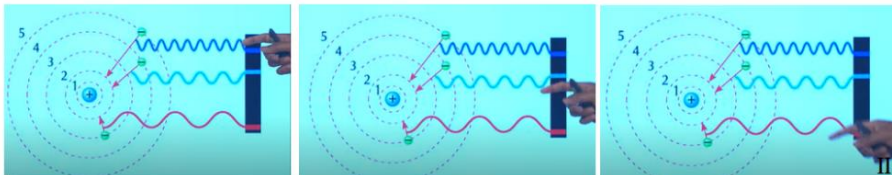
### **Figura 17**

*Gesto que indica as mudanças de níveis de energia.*



## Figura 18

Gesto que aponta a mudança de cores no espectro, conforme os níveis de energia.

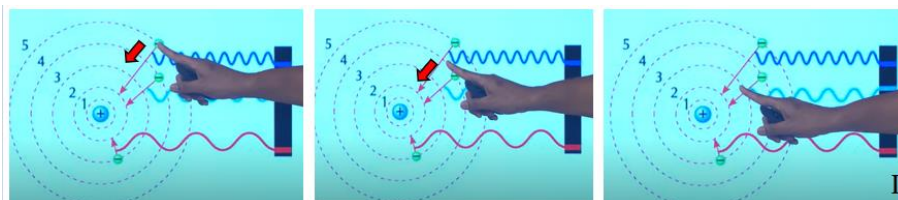


No último fragmento, o professor revisa o conteúdo, para iniciar sua última aula e, nesse momento, relembra que quando aumenta a frequência, aumenta a energia, e quanto maior a frequência, a cor vai ficando “mais para o violeta” (Figura 18), conforme o professor menciona em sua aula, e quanto menor a frequência, a cor fica “mais para o vermelho” (Figura 19).

*Professor: [9’50” – FM08] Então, quando ele salta aqui (I), dependendo do nível em que ele se encontra, o nível fundamental, que é o primeiro, e os níveis excitados, quanto mais longe do núcleo, mais energia, maior energia vai ter, esse elétron circundando o seu átomo (II).*

## Figura 19

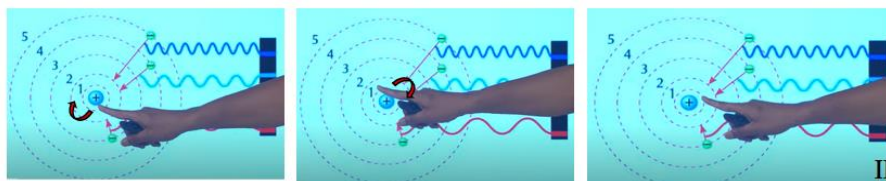
Gesto que demonstra o momento em que o elétron salta de uma camada para outra.





## Figura 20

*Gesto em relação ao elétron circundando o seu núcleo (Autores, 2022).*



Esse segundo episódio trouxe fragmento das aulas de Física Moderna 07 e 08, mostrando o conceito dos níveis de energia e quais ações e mudanças ocorrem quando um elétron muda de nível de energia. Ao observar todos os fragmentos, é possível observar que, além da comunicação verbal e do auxílio de simulações computacionais e das ilustrações na tela, o professor necessita e realiza a comunicação não verbal, por meio dos gestos, para detalhar e auxiliar sua explicação sobre o átomo de Bohr.

Em harmonia com Arzarello (2006, p. 292),

Novos recursos semióticos entram em cena em diferentes conjuntos semióticos que vão se integrando, cada vez mais, não por justaposição ou tradução, mas por integração de seus elementos: todos eles continuam ativos dentro do feixe semiótico (p. 292, tradução nossa).

Como mencionado por Arzarello acima, os diversos recursos semióticos utilizados pelo professor não entram na cena para traduzir ou para uma justaposição, mas para integrar todos os elementos e, mais especificamente, o gesto entra para essa integração com os demais recursos do pacote semiótico do episódio.

Ademais, parece que essa profícua gesticulação indica a representação de uma sequência de imagens internas, ou “simulações mentais” (Stephens & Clement, 2010), que devem ocorrer na mente do professor, possivelmente, seu objeto dinâmico particular do átomo de Bohr. Estes gestos contribuem para a apreensão do caráter dinâmico do modelo por parte dos alunos. Gestos estes que foram providencialmente capturados pelo posicionamento da câmera, nesse caso.

No decorrer das aulas *on-line* do projeto de preparação para o ENEM, mais especificamente as duas últimas aulas de Física Moderna (07 e 08), os

gestos, foco desta análise, surgem como fornecedor de maneiras específicas de realizar o processo semiótico. A análise também evidenciou que essas formas diferem daquelas fornecidas por sistemas semióticos, como linguagens, sistemas simbólicos, imagens, etc.

Conforme Sabena (2008), o gesto, como recurso semiótico inerentemente ligado ao corpo, permite a exibição de tais características de uma forma bastante direta. Os gestos fornecem uma forma peculiar de fundamentar o processo de conhecimento, a maneira como o docente está imaginando e explicando, tal como o modo como o aluno está imaginando na sua mente e, que, por meio dos gestos, pode exibir.

A partir dos gestos expostos pelo professor, pode-se afirmar que, conforme a obra de Peirce, essa comunicação não verbal (gestual) é considerada como um conjunto de signos para quem observa, mesmo sendo uma produção espontânea do sujeito sem, necessariamente, representar um vínculo com a necessidade de comunicação (Stephens & Clement, 2010; Iverson & Goldin-Meadow, 1998). Esses signos conseguem ser dotados de estruturas de significados subjacentes, sendo, dessa forma, vinculados ao contexto, ou seja, as aulas *on-line* do átomo de Bohr, reproduzidos por representações corporais.

Portanto, os gestos realizados pelo docente são *representâmen* do movimento com o possível intuito de representar o objeto (interpretante imediato) do modelo dinâmico, já que os *slides* são estáticos (também são signos do modelo) e se compreendem para fornecer um signo dinâmico do modelo do átomo de Bohr.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta presente investigação buscou-se apresentar e discutir de que maneira os gestos, de professores e alunos na área de Educação em Ciências, podem ser um potencial recurso semiótico. Portanto, nesta pesquisa, obteve-se o propósito de compreender, analisar e explorar os gestos, a partir de um curso preparatório para o ENEM (em formato *on-line*), sobre o modelo do átomo de Bohr. Por meio da exposição sobre a semiótica – como uma linguagem da humanidade – e sobre os gestos como um potencial recurso semiótico, pode-se melhor compreender e discutir os episódios que foram selecionados para análise.

A partir de todo o exposto, verificou-se que os gestos – assim como demais recursos semióticos – podem ser potenciais ferramentas no ensino do

modelo do átomo de Bohr, pois assim como outros mecanismos (a fala, as imagens, os desenhos, os sons, etc.), os gestos podem possibilitar uma articulação entre esses distintos recursos semióticos e melhor desenvolver as atividades dos professores e alunos.

Por isso, os gestos, a partir desta investigação, trazem como contribuição ser um potencial método no ensino do modelo do átomo de Bohr, a partir do momento que ele é utilizado não para apenas “traduzir” ou ser uma “aposição” em algum momento da aula ou da atividade educacional, mas como um articulador de ideias e integrador de recursos semióticos, podendo potencializar a comunicação ou organizar o pensamento no instante da exposição. Assim, acredita-se que a análise da semiótica dos gestos pode ser essencial na compreensão dessa ação corporal do homem (os gestos), no processo de ensino.

Desse modo, pode ser uma nova e adequada fonte de referência com o objetivo de entender, refletir, debater e auxiliar professores e alunos em sua comunicação e, conseqüentemente, a compreender melhor o seu processo de ensino-aprendizagem, trazendo contribuições relevantes e inéditas à área, ao iluminar a análise de gestos docentes e discentes. Entretanto, sabe-se que mais pesquisas futuras devem ser realizadas para maior clareza e maiores experiências no ambiente educacional, para que seja possível aferir sua contribuição efetiva para o ensino de Ciências.

## **DECLARAÇÕES DE CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES**

Todos os autores contribuíram com a pesquisa e escrita do artigo. S.A.F.D foi responsável pela elaboração dos aportes teóricos, tal como, a metodologia e análise dos dados. A.S.A.N orientou e supervisionou a pesquisa, bem como revisão final do artigo.

## **DECLARAÇÃO DE DISPONIBILIDADE DE DADOS**

Os dados que suportam os resultados deste estudo estão disponíveis abertamente. Esses dados foram derivados dos seguintes recursos disponíveis em domínio público: <https://www.youtube.com/c/TVSeducRS/playlists>

## REFERÊNCIAS

- Arzarello, F. (2006). Semiosis as a multimodal process. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa RELIME*, 9 (Extraordinario 1), 267-299.
- Arzarello, F., Paola, D., Robutti, O., & Sabena, C. (2009). Gestures as semiotic resources in the mathematics classroom. *Educational Studies in Mathematics*, 70(2), 97-109.
- Almeida, L. M. W., & Goulart, T. C. K. (2020). Recursos Semióticos em Atividades de Modelagem Matemática. *Jornal Internacional de Estudos em Educação Matemática*, 13(3), 286-297.
- Batista, M. D. F. B. D. M. (2003). A semiótica: caminhar histórico e perspectivas atuais. *Revista de Letras*, 1(25), 90-93.
- Bohr, N. (1913). I. On the constitution of atoms and molecules. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 26(151), 1-25.
- Cipolla, L. & Ferrari, L. A. (2016). Big atoms for small children: building atomic models from common materials to better visualize and conceptualize atomic structure. *Journal of Chemical Education*, 93(6), 1068-1072.
- Freitas, S.A. Um estudo da utilização didática de ferramentas de cognição extracerebrais por estudantes do ensino fundamental do modelo do átomo de Bohr. 2019. 162 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2019.
- Iverson, J. M. & Goldin-Meadow, S. (1998). Why people gesture when they speak? *Nature*, 396(67 08), 228-228.
- Karam, R. & Pietrocola, M. (2008). Formalização matemática x física moderna no ensino médio: é possível solucionar esse impasse?. *Anais do Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*, XI., Curitiba.
- Leal, T. C. D. S. & Oliveira, A. A. D. (2019). Utilização de plataformas interativas e novas tecnologias no ensino de física das radiações para cursos da área de saúde. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 41.

- Magalhães Júnior, C. A. D. O., & Pietrocola, M. (2011). Atuação de professores formados em licenciatura plena em Ciências. *Alexandria: revista de educação em ciência e tecnologia*, 4(1), 175-198.
- Massoni, N. T., Barp, J., & Dantas, C. R. da S. (2018). O ensino de Física na disciplina de ciências no nível fundamental: reflexões e viabilidade de uma experiência de ensino por projetos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 35(1), 235-261.
- McKagan, S. B., Perkins, K. K., & Wieman, C. E. (2008). Why we should teach the Bohr model and how to teach it effectively. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 4(1), 010103.
- Mcneill, D. (2000). *Language and gesture: Window into thought and action*. Cambridge University Press.
- Melo, M. G., Campos, J. S., & Almeida, W. (2015). Dificuldades enfrentadas por professores de Ciências para ensinar Física no Ensino Fundamental. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, 8(4).
- Monaghan, J. M. & Clement, J. (1999). Use of a computer simulation to develop mental simulations for understanding relative motion concepts. *International Journal of Science Education*, 21(9), 921-944.
- Monteiro, M. A., Nardi, R., & Bastos Filho, J. B. (2009). Dificuldades dos professores em introduzir a física moderna no ensino médio: a necessidade de superação da racionalidade técnica nos processos formativos. *Ensino de ciências e matemática, I: temas sobre a formação de professores*. Editora UNESP.
- Moro, L., Mortimer, E. F., Quadros, A. L., Coutinho, F. Â., Silva, P. S., Pereira, R. R., & dos Santos, V. C. (2015). Influência de um terceiro modo semiótico na gesticulação de uma professora de Química. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 15(1), 009-032.
- Oliveira, F. F. D., Vianna, D. M., & Gerbassi, R. S. (2007). Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29, 447-454.
- Paiva, J. P. A. A. (2019). A Teoria da Objetivação e o desenvolvimento da Orientação Espacial no Ensino-aprendizagem de Geometria. (Tese de

doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, RN).

<https://repositorio.ufm.br/handle/123456789/29055> .

- Peirce, C. S. (2015). *Semiótica*. Perspectiva.
- Peduzzi, L. O., & Basso, A. C. (2005). Para o ensino do átomo de Bohr no nível médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 27, 545-557.
- Radford, L. (2003). Gestures, speech, and the sprouting of signs: A semiotic-cultural approach to students' types of generalization. *Mathematical thinking and learning*, 5(1), 37-70.
- Radford, L., Schubring, G., & Seeger, F. (2008). *Semiotics in mathematics education*. Sense.
- Rodríguez, M. A., & Niaz, M. (2004). A reconstruction of structure of the atom and its implications for general physics textbooks: A history and philosophy of science perspective. *Journal of Science Education and Technology*, 13(3), 409-424.
- Sabena, C. (2008). On the semiotics of gestures. In *Semiotics in mathematics education* (pp. 19-38). Brill Sense.
- Santaella, L. (2012). *O que é Semiótica*. São Paulo: Brasiliense.
- Santos, A. C., Nascimento, S. D. D., & Souza, D. D. N. (2016). *Ensino de física moderna perspectivas e desafios sob o olhar de alguns professores de física do ensino médio*.
- Silva, A., Reis, J. C., & Rego, S. C. R. (2019). Publicações sobre o ensino de Física Moderna: relações construídas entre Artes e Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 36(2), 366-382.
- Silva R. & Gobara, S.T. (2020). Atualização de saberes de Física por meio de uma ferramenta cultural: a dança. In S. T. & L. R. Gobara (Orgs.). *Teoria da objetivação: fundamentos e aplicações para o ensino e aprendizagem de ciências e matemática* (pp. 265-285). Livraria da Física.
- Stephens, A. L. & Clement, J. J. (2010). Documenting the use of expert scientific reasoning processes by high school physics students. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 6(2), 020122.