

ENSINO & MULTIDISCIPLINARIDADE

Jan. | Jun. 2017 – Volume 3, Número 1, p. 17-37.

A produção de significados no modelo quântico por meio de ferramentas socioculturais: uma proposta analítica da aprendizagem¹

The production of meaning in the quantum model through sociocultural tools: an analytical proposal of learning

Hawbertt Rocha Costa¹ - <http://orcid.org/0000-0001-8460-9793>
Aguinaldo Robinson de Souza² - <http://orcid.org/0000-0003-2373-267X>

¹Doutor em Educação para Ciência na Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho (UNESP-Bauru). Professor Assistente na Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Campus III, Bacabal, Maranhão, Brasil. E-mail: hawbertt.costa@ufma.br.

²Doutor em Química na Universidade de São Paulo (USP). Professor Adjunto na Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho (UNESP-Bauru), Bauru, São Paulo, Brasil. E-mail: arobinso@fc.unesp.br.

Resumo

Os conceitos referentes à mecânica quântica são de suma importância para o estudo da estrutura do átomo. A investigação desses conceitos e de como eles são estruturados pelo estudante de Química têm adquirido relevância nas pesquisas de ensino da disciplina, sobretudo pelas dificuldades de aprendizagem dos entes submicroscópicos em relação aos macroscópicos. Nessa perspectiva, a presente pesquisa tem por foco apresentar uma proposta analítica da aprendizagem dos estudantes de Química no estudo dos conceitos do modelo atômico atual, em especial os números quânticos, formas dos orbitais e transições eletrônicas, com base na Teoria da Ação Mediada. A investigação foi realizada na disciplina de Química Geral II do curso de Química da Universidade Federal do Maranhão-UFMA, e constituiu-se como parte dos resultados de uma pesquisa de doutorado. A proposta analítica da aprendizagem foi dividida em três momentos: mapa de aulas, mapa de categorias e microanálise. Esta analisou a interação dos alunos agindo com as ferramentas socioculturais, como os Objetos de Aprendizagem, e o modo como produziram os significados dos conceitos, permitindo ter uma visão detalhada do processo de aprendizagem e que a inserção de ferramentas socioculturais favorecem o rol apreciativo dos alunos na significação dos conceitos e influenciam o discurso de autoridade durante as interações comunicativas.

¹ O primeiro autor agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pelo apoio ao desenvolvimento da pesquisa (Bolsa de doutorado BD-01770/12).

Como citar: COSTA, H. R.; SOUZA, A. R. A produção de significados no modelo quântico por meio de ferramentas socioculturais: uma proposta analítica da aprendizagem. *Ensino e Multidisciplinaridade*, São Luís, v. 3, n. 1, p. 17-37, 2017.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a licença *Creative Commons Attribution*, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Palavras-chave: Teoria da Ação Mediada. Modelo Atômico Quântico. Produção de Significados. Objetos de Aprendizagem.

Abstract

The concepts related to quantum mechanics are of utmost importance for the study of the atom structure. The investigation of these concepts and how they are structured by the Chemistry student has acquired relevance in the research of the subject's teaching, especially by the learning difficulties of submicroscopic entities in relation to macroscopic ones. From this perspective, this research focuses on presenting an analytical proposal of the learning of Chemistry students in the study of the concepts of the current atomic model, especially quantum numbers, orbital forms and electronic transitions based on the Theory of Mediated Action. The research was carried out during General Chemistry II classes of the Chemistry course of the Federal University of Maranhão-UFMA, and is part of the results of a doctoral research. The analytical proposal of learning was divided into three moments: class map, category map and microanalysis. It analyzed the interaction of the students acting with sociocultural tools, such as the Learning Objects and the way they produced the meanings of the concepts, allowing a detailed view of the learning process and that of the insertion of socio-cultural tools favors the appreciative role of the students in the meaning of the concepts and influences the authority word during the communicative interactions.

Keywords: Mediated Action Theory. Quantum Atomic Model. Production of Meanings. Learning Objects.

Introdução

Para entender a estrutura do átomo, suas relações com as propriedades químicas dos elementos e a formação das ligações químicas, é necessário compreender como os elétrons se comportam diante do núcleo. Nesse sentido, o estudo dos modelos atômicos é de fundamental importância para a construção de uma estrutura lógica conceitual bem definida, uma vez que os conflitos cognitivos referentes ao átomo, que transitam entre a mecânica clássica (perceptíveis aos sentidos) e a mecânica quântica (submicroscópico imperceptíveis à visão), ainda perduram.

A maneira como o mundo nos é apresentado direciona nossas descobertas iniciais ao fenomenológico e, quando nos deparamos com questões submicroscópicas ensinadas na escola, como o estudo do átomo, entramos em conflito diante de uma natureza que aprendemos a sentir e outra que se desvia desses sentidos. Embora a teoria quântica explique em detalhes o nível submicroscópico, o estudante sempre estará transitando em um ciclo contínuo entre o fenomenológico, simbólico e representacional, pois culturalmente o conhecimento anterior não é abandonado pelo novo, e sim ressignificado para situações adequadas (MORTIMER, 2000).

Ao se iniciar o estudo do átomo (submicroscópico) o aluno se depara com características relacionadas a objetos concretos, através de analogias, para explicar sua estrutura. Esse fato pode ser relacionado com as tentativas dos cientistas, no século XX, de propor a mecânica clássica para descrever a estrutura dos átomos devido ao enorme sucesso na descrição do movimento de objetos macroscópicos, como bolas e planetas (MARTINS; ROSA, 2014), mas logo ficou evidenciado que não descrevia corretamente a estrutura dos elétrons nos átomos.

Desse modo, por ser um tema de certa complexidade matemática, a mecânica quântica é tratada de forma superficial nos Livros Didáticos de Química do ensino médio, de modo que são abordados apenas alguns conceitos básicos e fatos históricos. A profundidade desse tema é vista, especialmente, nos cursos de graduação em Física e Química. No curso de licenciatura em Química, a teoria quântica é iniciada na disciplina de Química Geral, em que alguns dos livros abordam o assunto nos primeiros capítulos (RUSSEL, 1994; ATKINS, 2012). Porém, os conceitos de estrutura eletrônica do átomo dos alunos dos primeiros períodos do curso de Química ainda estão baseados na mecânica clássica, principalmente através de analogias.

Percebe-se, assim, que os conceitos de mecânica quântica que explicam de maneira mais adequada o comportamento eletrônico do átomo, além de explanar sobre a existência dos números quânticos e dos orbitais, só serão melhor detalhados em disciplinas dos últimos anos do curso, como: Introdução à Química Quântica e, às vezes, em Físico-Química. Consequentemente, muitos alunos podem continuar com uma visão clássica do assunto, e até mesmo concluir o curso com a mesma, dada a complexidade do tema.

No entanto, os esforços não devem estar concentrados em descaracterizar as abordagens clássicas, há muito tempo utilizadas pelos químicos, em detrimento de abordagens referentes à mecânica quântica para explicar todo e qualquer fenômeno a nível submicroscópico, pois ela facilita a compressão de alguns fenômenos desse nível, como é o caso das forças de ligação, energia de ionização, variação do raio atômico etc. O que deve ficar claro para os estudantes é que a Química se utiliza de diversos conceitos para explicar o mesmo fenômeno, cabendo essa escolha aos objetivos pretendidos, para que não sejam usados de formas equivocadas. Certamente, não é uma tarefa trivial, pois após o advento da mecânica quântica pelos cientistas teóricos (Físicos e Químicos), as explicações dos fenômenos naturais passaram a considerar mais as abordagens racionalistas e probabilísticas do que as realistas e deterministas.

Em meio às discussões, surgiram críticas de que a Química seria um ramo da Física que se encarregava das explicações realistas e deterministas dos fenômenos. Todavia, a Química não pode ser reduzida à Física por essa justificativa por elas se interligarem em uma interface entre áreas distintas e complementares. O pensamento químico é constituído culturalmente e diferentemente do pensamento físico. Tais discussões refletem negativamente no discernimento dos alunos em relação aos objetivos pretendidos pela Química no uso de determinados conceitos.

A presente pesquisa faz o levantamento dessa problemática por meio de uma revisão da literatura, tentando mostrar que a Química possui o seu próprio processo de construção histórico-cultural e que é diferente da Física, sendo possível trabalhar a teoria quântica sem descaracterizar o seu modo de pensar e construir os conceitos. A partir disso, objetivamos apresentar uma proposta analítica da aprendizagem, aplicada com quatro discentes (e os únicos matriculados no referente semestre letivo) da disciplina de Química Geral II do curso de Química na Universidade Federal do Maranhão - UFMA, por meio de uma Sequência Didática (SD) com o uso de Objetos de Aprendizagem (OA) como ferramentas socioculturais.

A proposta analítica foi dividida em três momentos (*mapa de aulas, mapa de categorias e microanálise*), e investigou a produção de significado dos estudantes sobre os números quânticos, formas dos orbitais e transições eletrônicas. A SD foi elaborada com base nos trabalhos de Giordan (2008), Mortimer et al (2005a; 2005b), Silva (2008), Mortimer e Scott (2002), e sustentada pela Teoria da Ação Mediada de Wertsch (1991b, 1998). O presente trabalho constitui-se como parte de uma pesquisa de doutorado e centra-se no desenvolvimento e ação da proposta analítica da aprendizagem, explorando o essencial dos dados na sua validação, não competindo ao seu escopo tratar em totalidade a produção de significados dos estudantes. Classificamos como uma proposta por acreditar na possibilidade de subsidiar outras pesquisas que busquem analisar, em detalhes, a aprendizagem com a inserção de ferramentas mediacionais (ou socioculturais), em especial as digitais ou aquelas com metodologias ativas.

Principais dificuldades sobre o estudo da mecânica quântica na Química

De acordo com revisões na literatura, realizadas por Pantoja, Moreira e Herscovitz (2011), as pesquisas em ensino de Mecânica Quântica têm crescido nos últimos anos (1999-2009), principalmente na área de concepções alternativas. No entanto, boa parte desses trabalhos, segundo os autores, mostram ser bem introdutórios por focarem na construção de

instrumentos de avaliação e na detecção de concepções já existentes, deixando em segundo plano as concepções adquiridas acerca do conteúdo de Mecânica Quântica nos quais deveriam ser analisadas as representações mentais construídas pelos estudantes. Em relação às concepções dos estudantes, Taber (2001, 2004) ressalta que no ensino secundário a aprendizagem de conceitos do átomo pode prejudicar o entendimento dos conceitos atômicos no ensino superior, pois esses são vistos principalmente como analogias (modelo de Bohr), dificultando a aprendizagem dos conceitos de orbital. Assim, os estudantes devem explorar o estudo dos orbitais devido à existência de transições eletrônicas entre níveis de energia, que não são previstos por modelos simplistas para átomos não hidrogenóides.

Ogilvie (1990) aborda que o ensino de transições eletrônicas dos elementos é baseado nas soluções da equação de Schrödinger, ou seja, são abordagens matemáticas sem considerar os aspectos pictóricos. No entanto, é possível gerar imagens aproximadas de densidades de probabilidades para os orbitais por meio das equações. Segundo Niaz e Fernandes (2008), a revisão da literatura no ensino de Química mostra que, possivelmente, esses aspectos pictóricos geram certa falta de entendimento em relação à mecânica quântica e leva professores e autores de livros a considerar orbitais como observáveis físicos em vez de construções matemáticas.

A representação da Natureza pela Ciência como essencialmente observável pelos sentidos é uma construção histórica nos termos das tradições mecanicistas e dinamicistas do século XIX. Assim, as teorias e modelos em Química evoluíram por essas tradições, pois, na previsão das características e propriedades de diferentes entes, fez-se necessário o desenvolvimento de signos e processos de comunicação imagéticos. No entanto, não se pode afirmar que a Química é essencialmente mecanicista, pois se baseia, também, nas fundamentações matemáticas para o desenvolvimento das teorias e modelos que se apoiam nas abordagens pictóricas, e está pautada em uma tensão que prevê o equilíbrio dessas duas dimensões. No entanto, deve se tomar cuidado em abraçar modelos realistas ingênuos, uma vez que representações químicas que fogem ao equilíbrio citado podem prejudicar as formas de modelação que se pretende que os estudantes aprendam (GRECA; SANTOS, 2005).

A pesquisa de Stefani e Tsaparlis (2009) mostra que os modelos estão onipresentes na ciência e na mente dos alunos, e que os estudantes de Química, basicamente em todos os níveis, preferem modelos concretos (pictóricos). Tsaparlis e Papaphotis (2002), ao analisarem se os estudantes de um curso de Química possuem uma compreensão profunda e precisa dos conceitos modernos de orbital atômico, orbital molecular e relacionados, concluem que eles chegam ao curso com concepções anteriores, oriundas do ensino médio, com uma série de equívocos e conhecimentos incompletos, provenientes de um ensino elementar, impreciso e principalmente pictórico dos conceitos relevantes.

Stefani e Tsaparlis (2009), com base em diferentes autores, abordam equívocos como: tratar os conceitos de orbitais e órbitas alternadamente (TABER, 2002); confundir camada eletrônica e nuvens de elétrons (HARRISON; TREAGUST, 1999); representar orbitais como um espaço fixo e delimitado (TSAPARLIS; PAPAPHOTIS, 2002). Essas abordagens são retratos da mecânica quântica antiga, ou seja, dos modelos de Rutherford, Bohr e Sommerfeld, que ainda são utilizadas em diversas situações de ensino elementar. Por exemplo, no modelo de Bohr, os elétrons seguem órbitas definidas e energias fixas.

Acreditamos que alguns desses equívocos são cometidos não pelo uso pictórico de conceitos relevantes, mas pela não clareza dos objetivos pretendidos em tal uso, gerando conflitos nos alunos quanto à existência ou emprego de teorias e conceitos mal elaborados para explicar fenômenos estudados. Tsaparlis e Papaphotis (2009) apontam que tais abordagens não são consideradas equívocos, mas representam os modelos anteriores e que, em muitos aspectos, ainda são úteis na prática científica real, sendo necessários apenas como base de uma construção histórica conceitual e não para retratar a estrutura atômica como determinista. Os estudantes

formam construções teóricas profundas que são difíceis de mudar, o que dificulta a interpretação da formação de uma nova ciência.

Abordagens de orbitais atômicos e moleculares sem o caráter matemático intrínseco a esses temas, em nível universitário, podem trazer conflitos cognitivos aos alunos, pois eles tendem a imaginar os orbitais atômicos como espaços e não como funções matemáticas (TSAPARLIS; PAPAPHOTIS 2009). Já o estudo dos números quânticos (n , l , m_l e m_s) e das transições eletrônicas parecem servir apenas para o conhecimento da distribuição eletrônica dos elétrons pelo diagrama de Linus Pauling, aprendidos no ensino médio, e é dada pouca atenção às interpretações matemáticas que nos oferecem informações das energias, formas dos orbitais, orientações, momento magnético e de spin (NIAZ; FERNANDES, 2008).

Scerri (2000, 2001) aborda que a teoria quântica sugere que os orbitais atômicos já não podem mais ser ditos como observáveis físicos, principalmente em átomos de muitos elétrons. O autor afirma que os químicos usam, confortavelmente, órbitas em todos os lugares, e que os livros didáticos de Química fazem uso extensivo das configurações eletrônicas do átomo, reforçando a impressão sobre a natureza fundamental de orbitais e configurações, assim como apontam o trabalho de Niaz e Fernandes (2008). Porém, Scerri (2000) destaca que a forma como os químicos usam a mecânica quântica é essencialmente diferente dos físicos, de modo que há a necessidade de uma Filosofia da Química para não desconsiderar todo o processo histórico de construção da Química e esta não ser reduzida a todo o processo de construção da Física. Dessa maneira, o processo de modelação em Química deve ser entendido de forma diferente da Física, e os obstáculos epistemológicos causados por uso excessivo de conceitos pictóricos em Química devem ser superados e entendidos no uso de cada situação sem desconsiderar o caráter matemático. Tomar totalmente o racionalismo matemático que a Física propõe para o estudo do átomo seria negligenciar a existência de todos os aspectos pictóricos construídos na história da Química para explicar diversos fenômenos (SCERRI, 2000). Neste sentido, Hoffman (2007) salienta que a ciência não pode ser observada de modo reducionista e que devemos nos ater aos perigos que tal redução ideológica pode trazer perante a sociedade.

Diante dessas ideias, defendemos que a Química não pode ser reduzida à Física, posto que ela é uma ciência com características próprias na sua construção, e não podemos negligenciar tais fundamentos e nem nos satisfazer com o modo que se ensina mecânica quântica na perspectiva de que a Química é realista e determinista, e a Física, racionalista e probabilística. É necessário ressaltar que a matemática é essencial para uma compreensão profunda da Química Quântica, e que as imagens físicas subjacentes apresentam uma conexão importante com ela, mas deve ficar claro que suas concepções (das imagens) são meramente aspectos do melhor modelo atualmente disponível e não são reais no mesmo sentido que as observações experimentais são. Dessa maneira, é imprescindível destacar que os números quânticos, a forma dos orbitais e as transições eletrônicas são derivados da mecânica quântica ondulatória de Schrödinger (TSAPARLIS; PAPAPHOTIS, 2002).

Assim, a melhor forma de representação para a construção de uma estrutura lógica conceitual seria o uso das representações matemáticas atreladas às representações pictóricas, porque os elétrons não são partículas clássicas; não possuem dimensões; não têm posições definidas; são indistinguíveis; e obedecem ao princípio da incerteza de Heisenberg e às funções de onda de Schrödinger. Para que os alunos possam relacionar as representações matemáticas com as pictóricas, almejando uma melhor compreensão dos conceitos e levando em consideração o processo histórico-cultural do pensamento químico, seria necessário que os cursos de formação inicial da Química (licenciatura ou bacharelado) trouxessem mais relações diretas das disciplinas de cálculo com a mecânica quântica a um nível conceitual, e que disciplinas de Física fossem atreladas ao currículo, como a disciplina Física Moderna. Porém, como isso não é tão simples de resolver, outra medida seria a adoção de Objetos de Aprendizagem (OA), tais

como os simuladores, que tragam em seu algoritmo a fidedignidade com as teorias matemáticas, estando o professor ciente conceitualmente dessa relação.

Objetos de Aprendizagem (OA) e a Teoria da Ação Mediada

Diante da problemática levantada, a proposta analítica da aprendizagem dos referidos conceitos foi traçada a partir do uso de OA no ensino de Química, vinculados à Teoria da Ação Mediada de James Wertsch (1991b, 1998), referencial teórico de análise. Com isso, não queremos dizer que seja o único caminho teórico para a análise da aprendizagem desse tema ou de outros, e sim que nos atendia melhor dentro dos propósitos com o uso de OA, pois o referencial visa compreender as relações entre a subjetividade do agente, as ferramentas e as convenções culturais, a internalização, a apropriação e a criatividade. A proposta é adaptável, e o interesse é apenas mostrar um caminho metodológico consistente para análise da aprendizagem de conceitos. Já as definições de OA são diversas e tratadas por Carneiro e Silveira (2014). Aqui adotamos a exposta por Wiley (2002), que os classifica como qualquer entidade digital que possa ser reutilizada para dar suporte ao aprendizado.

Vinculado à tradição sociocultural, Wertsch apoia-se em estudiosos como Vygotsky, Bakhtin e Kenneth Burke, em que o foco das abordagens socioculturais à mente que Wertsch aborda concentra-se na ação humana, ou seja, o ambiente tem o papel de um dispositivo para acionar o desenvolvimento do processo. Adotamos a perspectiva de Wertsch (1991a, 1991b, 1998) para tratarmos sobre o significado dos conceitos. Para isso, criamos um ambiente favorável para melhor dispor as ações realizadas pelos estudantes ao utilizarem meios mediacionais (ferramentas socioculturais). Tais ferramentas podem ser físicas (imagens, textos, animações, vídeos e simulação por OA) e não físicas (fala, enunciados, expressões e conceitos).

Adotamos também as ideias de Giordan (2008) sobre a Teoria da Ação Mediada para abordagens de ensino em sala de aula com o uso do computador. Segundo o autor, para se trabalhar com os OA em um espaço desterritorializado e virtual, é necessário reelaborar a noção de ferramenta sociocultural, pois estas alteram radicalmente a natureza das ações, que são decorrentes de uma combinação inusitada de propriedades e funções das ferramentas.

A influência de Vygotsky nos trabalhos de Wertsch é marcante, abordando questões da mediação e interação, e apontando que a semiótica era um dos principais interesses nos estudos do primeiro. Desse modo, busca apoio em Bakhtin para tratar sobre os sistemas sógnicos na regulação da atividade humana (GIORDAN, 2008) por meio da dialogia e dos gêneros discursivos. A intenção é trazer as contribuições de Wertsch para estudarmos as formas de domínio e a apropriação dos conceitos químicos mediados por ferramentas culturais no ambiente de ensino. Assim, é lançada a proposta analítica da aprendizagem como metodologia de pesquisa que permite a visualização do todo para os pontos de interesse na análise, tendo em vista a expansão das pesquisas socioculturais que permitam estudar a sala de aula, principalmente com a inserção do computador.

A Teoria da Ação Mediada considera os sistemas semióticos, dentre eles a linguagem, determinantes no processo de elaboração de significados, pois é por meio da fala que ocorrem as principais e mais significativas ações humanas. O significado é um conceito central para a aproximação sociocultural à ação mediada, e como o significado só existe na interação social, a elaboração de significados é um processo ativo e dialógico por natureza. Deste modo, a ação mediada se refere à ação humana, e essa, normalmente, está vinculada a instrumentos de mediação, como as ferramentas materiais e a linguagem. Tais instrumentos moldam a ação de forma essencial, o que é justificável e útil para fazer uma distinção analítica entre ação e os instrumentos, tornando-se mais adequado falar de agentes agindo com ferramentas socioculturais em vez de falar de indivíduos isoladamente (WERTSCH, 1991b).

É importante salientar que a ferramenta por si só não possui e nem executa nenhuma ação. É necessária uma pessoa habilidosa que, ao usar tais meios mediacionais, consiga produzir significados com sua aprendizagem (WERTSCH, 1998). Além disso, Martins e Moser (2012 p.12) alertam que o "significado está na utilização da palavra realizada pelas pessoas. Os meios são opacos por si sós: dependem do contexto, da cultura e da utilização que se faz deles". Esses meios mediacionais ou ferramentas culturais alteram a ação humana e as estruturas psicológicas, trazendo grandes implicações na maneira como são utilizadas. Para analisar tais ações é preciso considerar a voz e seus enunciados como partes integrantes do processo.

Os enunciados podem ser analisados diante das situações em que estão sendo proferidos e como podem ser orientados por tal situação para a formação do sentido. É a indexação da voz, isto é, o valor apreciativo que cada enunciado carrega consigo, que confere a produção do sentido, orientada, segundo Wertsch, pela entonação ou pela utilização de signos não pertencentes à mesma voz (GIORDAN, 2008). A análise dos sujeitos dessa pesquisa foi realizada no contexto da sala de aula e os enunciados estavam inseridos em situações com o uso de ferramentas mediacionais (como os OA). Portanto, existem duas propriedades da Teoria da Ação Mediada (WERTSCH, 1998, p.23-71), das dez existentes, que merecem destaque quando se trabalha com OA em sala de aula: o domínio e a apropriação.

A propriedade "domínio" se refere a saber como utilizar uma ferramenta cultural habilmente, pautando-se em "saber como" em vez de "saber o que". O domínio pode ocorrer externamente, sem necessariamente passar para o plano interno. O agente pode usar uma ferramenta cultural, mas admitir uma sensação de conflito ou resistência. A apropriação (termo emprestado de Bakhtin) é o processo de tomar para si algo pertencente ao outro (WERTSCH, 1998)

Na prática, um exemplo da noção de domínio pode ser pensada a partir do uso de um simulador computacional para explicar os estados físicos da água. Neste caso, aprender a manusear corretamente a ferramenta para explicar sobre as mudanças de estado caracteriza-se como domínio, pois essa ferramenta foi perfeitamente utilizada no propósito para o qual foi designada. Caso a ferramenta seja utilizada em outro contexto, como, por exemplo, explicar fenômenos geográficos que envolvam as mudanças de estado da matéria, o processo é característico da apropriação. Nesse caso, foi tomado para si o que pertencia ao outro, ou seja, a ferramenta foi utilizada a partir do propósito para o qual ela havia sido designada para outro de interesse exclusivo do agente.

Neste estudo, nosso interesse centra-se em analisar como os sujeitos produzem significados a partir dos instrumentos mediacionais.

Sequência Didática no estudo da mecânica quântica na Química

Para realizarmos a pesquisa com o uso dos OA em uma perspectiva sociocultural, foi desenvolvido uma Sequência Didática (SD) com o propósito de proporcionar aos alunos uma forte interação que os permitissem dialogar, expondo seus enunciados. A SD foi elaborada de acordo com a entrevista realizada com o professor responsável pela disciplina de Química Geral II e orientada pelo referencial teórico de análise. A seguir, apresentamos os caminhos de desenvolvimento da SD e, na próxima seção, a proposta analítica da aprendizagem.

Vale ressaltar que, diante de alguns contratemplos institucionais, o professor titular da disciplina não pôde aplicar a SD, sendo aplicada pelo primeiro autor deste trabalho, a pedido do Departamento de Química. A SD foi aplicada com quatro alunos, os únicos matriculados na disciplina ofertada semestralmente. Toda a ementa da disciplina (60h) foi contemplada, no entanto, devido ao grande volume de dados gerados para a produção dos significados. Analisamos apenas o estudo da estrutura do átomo que tratava com mais afinco o assunto de

interesse. Deste modo, a proposta analítica foi aplicada somente neste tópico, tendo os alunos concordado com a pesquisa, assinando um termo esclarecido de livre consentimento. A SD foi constituída por cinco etapas representadas na Figura 1.

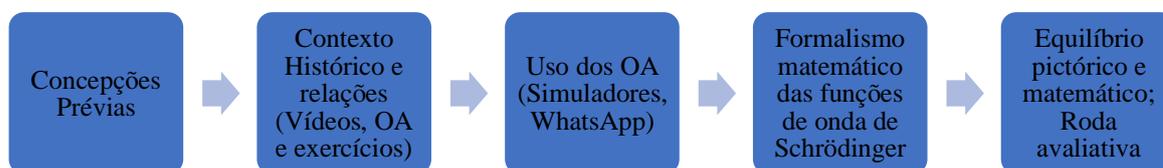


Figura 1 - Esquema sintético da SD

Fonte: Elaborado pelos autores

Cada uma das etapas contemplou um quantitativo de aulas: primeira, a aula 1; segunda, aulas de 2 a 6; terceira, aulas 7 e 8; quarta, aulas 9 e 10; quinta, aulas 11 e 12. Cada aula teve a duração de uma hora e 40 minutos.

Como instrumentos de coleta de dados utilizamos: um questionário de concepções prévias, para uma avaliação diagnóstica preliminar; listas de exercícios; gravador de voz; notas de campo; e notebooks com webcams, que fizeram uma captura sincronizada dos alunos e as telas dos computadores no momento de uso dos OA, por meio do software Camtasia®. Os OA utilizados foram seis vídeos curtos² que explicam a dualidade onda-partícula, dois simuladores (Figura 2) e o WhatsApp para a discussão do conteúdo extra classe e comunicação.

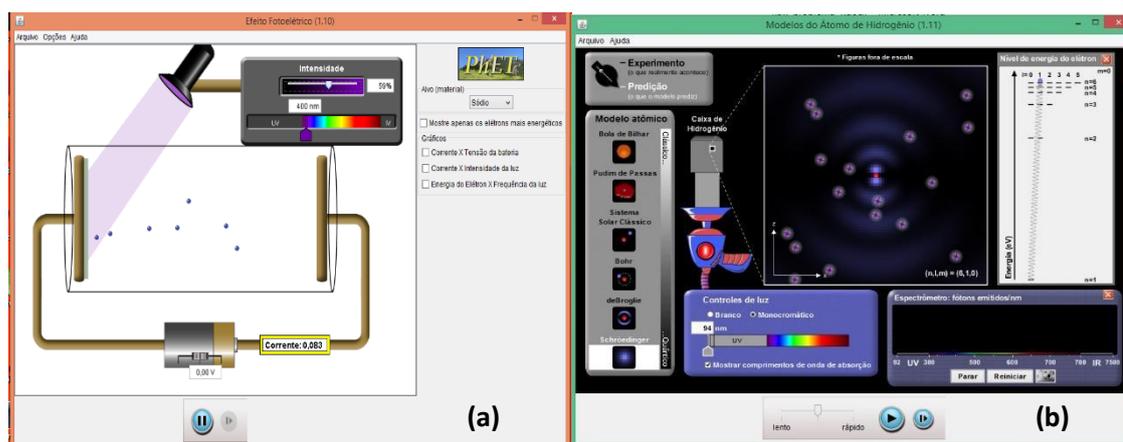


Figura 1 – (a) OA que simula o Efeito Fotoelétrico; (b) OA que simula os modelos atômicos para o átomo de hidrogênio

Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/

Proposta analítica da aprendizagem

Durante a análise da produção de significado dos discentes, ou seja, na análise da aprendizagem em termos de domínio e apropriação das ferramentas socioculturais e conceitos científicos, os dados foram processados em três etapas: *mapa de aulas*, que corresponde à síntese geral do que ocorreu em cada aula; *mapa de categorias*, onde é realizada uma categorização em detalhes a partir da linha do tempo de cada gravação-aula, cobrindo cada

² Esses vídeos pertencem a uma série didática produzida para a TV educativa pública da província de Ontário, no Canadá, a TVO, em 1984. Sua escolha está relacionada à simplicidade e ao caráter didático na transmissão dos conceitos. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=rqwKPJ3wluI>

minuto transcorrido; *microanálise*, condizente à análise dos pontos específicos de maior interesse, que foram identificados graças ao mapa de categorias em que é extraído os enunciados dos alunos que são transcritos na íntegra.

A proposta analítica foi guiada por alguns referenciais e desenvolvida a partir dos interesses da pesquisa, que envolvia principalmente o uso de OA como ferramentas socioculturais. O *mapa de aulas* foi organizado de acordo com o modelo topológico de ensino de Giordan (2008); o *mapa de categorias*, assim como algumas de suas categorias, a partir de Mortimer et al (2005a; 2005b), Silva (2008) e Mortimer e Scott (2002); a *microanálise* foi realizada por meio da Teoria da Ação Mediada com mais profundidade, pois as outras etapas também se pautaram nela. Todas as transcrições foram realizadas na íntegra por uma tabela de conversão adaptada de Marcuschi (1986), tratando os marcadores verbais e não-verbais. Ressalta-se que os alunos foram classificados como A1, A2, B1 e B2, individualmente, e como duplas A e B quando trabalhavam em pares, a fim de preservar suas identidades.

Mapeamento das aulas

Nesta etapa, seguindo o modelo topológico de ensino, demarcamos a *Sequência de aulas*, o *Tema*, os *Conceitos* estudados no referido dia e as *Atividades*, que se subdividem em: 1 - *Tempo*: transcorrido em aula, demarcando as horas, minutos e segundos, a partir do software Camtasia® utilizado para a captura sincronizada; 2 - *Propósito*: a descrição dos objetivos da aula e de ensino; 3 - *Formas de interação*: tipos de interação que o professor realizou na atividade; 4 - *Materiais utilizados*: os meios mediacionais utilizados para promover a atividade; 5 - *Situacionalidade*: em qual contexto e de qual forma a atividade foi inserida; 6 - *Descrição da atividade*: resumo da atividade versando sobre alguns detalhes da aula.

As 12 aulas foram editadas no Camtasia® (podendo ser utilizado qualquer outro editor de vídeos) a fim de ajustar o áudio, na linha do tempo, do gravador de voz com o captado pelos notebooks na captura sincronizada, podendo alternar para ouvir o mais fluído em um determinado trecho. Posteriormente, as aulas foram assistidas na íntegra para demarcar, de maneira panorâmica, as categorias supracitadas. Com isso, tivemos o objetivo de analisar, mas não detalhadamente, as interações ocorridas em sala de aula com o uso das ferramentas socioculturais, tendo em vista o contexto histórico, cultural e institucional em que os alunos estavam inseridos, além de observar o valor apreciativo que era dado às tais ferramentas, de modo a sintetizar as informações para que se tenha clareza dos dados. O Quadro 1 mostra a *Sequência de Aulas*, o *Tema* e o *Conceito* trabalhado em aula.

Quadro 1 – Mapeamento das aulas

SEQ. de AULA	TEMA	CONCEITO
Aula 1 15/09/2014	Apresentação da disciplina e objetivos da pesquisa	Conhecimentos prévios dos alunos
Aula 2 17/09/2014	O que é modelo? Propriedades clássicas da luz (A luz é onda ou partícula?)	Modelo; Propriedades da luz: refração, reflexão, difração, campos eletromagnéticos, efeito fotoelétrico, efeito Compton, dualidade...
Aula 3 24/09/2014	Contexto histórico dos modelos atômicos; Exercício dos conceitos da aula anterior.	O surgimento do Átomo em alguns modelos; As Leis Ponderais; Modelo de Dalton e Thompson;
Aula 4 29/09/2014	Feedback do exercício; Continuação sobre o contexto histórico e Apresentação do OA sobre modelos atômicos.	Contexto histórico, propriedades da luz; propriedades dos elétrons; dualidade onda-partícula; proporções de massa.
Aula 5 06/10/2014	As Relação do contexto histórico (vídeos) com a teoria do efeito fotoelétrico.	Absorção e emissão de luz; contexto histórico-cultural; Efeito fotoelétrico.
Aula 6 08/10/2014	Retomada do exercício 1 após a introdução dos conceitos visto na aula 5; Modelo de	Propriedades da luz, absorção e emissão de fótons; dualidade; quantização de energia;

	Bohr; Modelo de De Broglie e Introdução ao modelo de Schroedinger.	transição eletrônica (Bohr); interf. de ondas; Modelo de De Broglie; forma dos orbitais.
Aula 7 09/10/2014	Manipulação do Objeto de Aprendizagem sobre modelos atômicos para resolução da terceira lista de exercício.	Modelos atômicos: propriedades elétricas, vantagem e desvantagem de cada modelo, transição de energia no modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio; espectro eletromagnético, abordagens sobre o modelo de Schroedinger.
Aula 8 13/10/2014	Correção do exercício 2; Correção das questões respondidas do exercício 3 e continuação das demais com o OA.	Comprimento de onda; radiação eletromagnética; equação de Bohr e transição eletrônica; conceitos aplicados no cotidiano;
Aula 9 15/10/2014	Aula 1: Fundamentos da Equação de Schrödinger	Partícula na caixa; energia cinética e potencial; barreira de potencial, condições de contorno, função de onda, autofunção, autovalor.
Aula 10 16/10/2014	Aula 2: Continuação dos Fundamentos da Equação de Schrödinger	Normalização da função; Tamanho, formato e orientação espacial dos orbitais.
Aula 11 20/10/2014	Contrastando as transições eletrônicas no átomo de Bohr e De Broglie com o modelo de Schrödinger e as formas dos orbitais.	Transições eletrônicas (nos três modelos), números quânticos, formas dos orbitais; níveis de energia; Relação com a tecnologia atual.
Aula 12 22/10/2014	Resolução do exercício utilizando o Objeto de Aprendizagem.	Nº quânticos, formas dos orbitais, transições eletrônicas, superposição de ondas e introdução da distribuição eletrônica (Princípio de Aufbau, diagrama de Linus Pauling, regra de Hund).

Fonte: Elaborado pelos autores

Por meio do mapa de aulas e da organização prévia da SD (Figura 1), foi possível classificarmos as sequências de aulas em cinco categorias: 1 - *Ambientação do contexto de ensino em uma perspectiva sociocultural: as concepções prévias dos alunos* (Aula 1); 2 - *A ciência como atividade humana e falível com as relações e contrastes das teorias e modelos* (Aulas 2, 3, 4, 5 e 6); 3 - *Os modelos atômicos por meio dos OA: investigando os objetivos pretendidos pela Química* (Aulas 7 e 8); 4 - *Fundamentos matemáticos do modelo atômico quântico* (Aulas 9 e 10) e 5 - *A extensão visual de um modelo matemático por meio de um OA* (Aulas 11 e 12).

A categoria 1 foi analisada a partir das respostas ao questionário de concepções prévias, que tratou sobre conceitos básicos, tais como: o que é modelo atômico; representações atômicas por analogias; possíveis formatos dos elétrons; posição e momento dos elétrons; emissão e absorção de energia; finalidade das configurações eletrônicas; quais as contribuições da mecânica quântica; o que é orbital atômico; e quais informações os números quânticos nos fornecem.

A partir de duas concepções sobre modelo: (1) como um padrão já existente, concreto e inquestionável, capaz de sustentar as explicações, ou (2) como atividade humana, questionável e que foi criado para tentar sustentar as explicações. Apenas o aluno B1 compartilhou dessa última ideia e conceituou o modelo como atividade humana construída historicamente:

É o modo como o homem busca explicar e demonstrar as estruturas que constituem os átomos; cada modelo atômico na história buscou melhorar o anterior através das lacunas deixadas por eles, e solucionando os problemas que apareciam durante os experimentos. (B1)

O mapeamento e a análise das respostas nos direcionaram no planejamento de aulas com o propósito de construirmos os significados dos conceitos científicos tomando por base o contexto sociocultural de cada época, explanando o caráter histórico da ciência e desmistificando esta como pronta, acabada e inquestionável. Em outro momento, todos os alunos reconhecerem que o modelo de Bohr não era capaz de explicar a estrutura do átomo,

embora tenham recorrido a esse modelo quando foram questionados sobre o que seria um átomo excitado.

Em relação à natureza do elétron, o aluno B1 aproveitou-se do gênero discursivo da ciência com uma explicação mais detalhada que os demais alunos: “Os elétrons possuem caráter dual, pois os mesmos possuem massa (partícula) e, de acordo com energia fornecida, o mesmo pode emitir calor e luz, tendo assim um comportamento de onda”. No primeiro caso, acreditamos que buscou apoio na mecânica clássica, que afirma que toda partícula possui massa, mesmo que seja infinitesimal. Já no segundo, pode estar fazendo referência ao espectro eletromagnético da luz, característico de comprimentos de ondas. Isso nos auxiliou na observação da produção de significados em termos do domínio e apropriação ou apenas reprodução.

Em resumo, sobre a produção de significados dos números quânticos, formas dos orbitais e as transições eletrônicas, o aluno A1 foi o único que confundiu orbital com órbita e fez relação dos números quânticos com a geometria das moléculas, provavelmente pelo modelo de Bohr estar presente em suas concepções com mais representatividade. Os demais alunos indicaram suas respostas à localização dos elementos na tabela periódica, tendo em vista que a distribuição de Linus Pauling utiliza os números quânticos para essa finalidade. Entretanto, o aluno B1 se aproximou daquilo que os números quânticos pretendem informar. Assim, pudemos observar que os objetivos pretendidos pela Química no uso dos conceitos não estavam claros para os alunos. Por mais que tivessem conhecimento da existência de um modelo atômico quântico e de que seus antecessores não eram capazes de sustentar a explicação de determinados fenômenos, os alunos ainda recorriam aos modelos anteriores, pois era o mais representativo, e os conceitos do modelo atual não faziam parte do “kit de ferramentas” deles.

Na categoria 2 (Aulas 2, 3, 4, 5 e 6) discutimos os principais pressupostos para a criação dos modelos atômicos e das teorias científicas, bem como as questões socioculturais vigentes na época que trouxeram graves implicações para a aceitação de novas ideias. Pautados em Wertsch (1991b), buscamos não reduzir as diferenças culturais em diferenças históricas, pois a Teoria da Ação Mediada atenta-se às ações mentais situadas no contexto cultural, histórico e institucional. Nossa pretensão foi transformar o modo de pensamento sobre como se desenvolve a ciência, para que estas ideias pudessem fazer parte da própria história da sala de aula e auxiliassem, com ferramentas culturais, a produção dos significados dos conceitos.

Devido aos alunos terem algumas dificuldades de dialogarem em sala de aula, inserimos uma ferramenta digital comum ao contexto cotidiano deles, o WhatsApp, e os organizamos em pares para trabalharem a interação social. Isso permitiu aproximá-los e motivá-los a interagirem e dialogarem a respeito dos conceitos estudados, produzindo significados sobre os mesmos. De formas distintas, os conhecimentos prévios, as ferramentas mediacionais e conceitos outrora estudados, certamente influenciaram significativamente a ação dos alunos. Desse modo, não podemos falar em produção de significados dos conceitos apenas considerando as ideias deles no momento presente e em um contexto isolado, sendo mais adequado nos referirmos aos *estudantes agindo com ferramentas socioculturais* (WERTSCH, 1991a, 1991b, 1998).

A categoria 3 (Aulas 7 e 8) refere-se à manipulação dos OA sobre os modelos atômicos (Figura 1b). A análise dos dados (vídeos e respostas do exercício) mostraram que a ferramenta auxiliou na organização conceitual dos conteúdos, principalmente quando eram proferidas pelo discurso, tendo em vista que apresentavam certa dificuldade em expô-las pela escrita. Nessa vertente, podemos frisar que os conceitos começavam a ser significados a partir do contexto sociocultural da ciência. Os alunos também conseguiram identificar as diferenças da luz branca para a luz monocromática no OA, produzindo significados sobre a quantização de energia com comprimentos de ondas ou frequências definidas. Nesse assunto, a dupla A utilizou-se do

gênero discursivo da ciência para significar os conceitos, recorrendo não somente ao OA dos modelos, mas ao do efeito fotoelétrico, às aulas anteriores e às discussões via WhatsApp.

A dupla B também se utilizou desse gênero, tendo dificuldades em apresentar as ideias pela escrita e logo organizando-a pelo discurso. Isso demonstra que existe uma tensão irreduzível entre os agentes e as ferramentas culturais (Teoria da Ação Mediada), tendo em vista que os alunos recorrem àquela mais adequada dentro do seu “kit de ferramentas” para produzirem os significados. Os estudantes mostraram que conseguiram fazer uma distinção entre os modelos e construir ideias lógicas e estruturais em direção aos objetivos pretendidos pela Química.

A categoria 4 (aulas 9 e 10) versou sobre duas aulas expositivas referentes aos fundamentos conceituais da equação de Schrödinger, com o propósito de abordamos o formalismo matemático, a nível qualitativo, e as condições de contorno para gerar a equação e visualizar as possíveis imagens dos orbitais no OA.

Já a categoria 5 (aulas 11 e 12) será apresentada no tópico de microanálise, tendo em vista serem aulas representativas desse momento.

Mapeamento das Categorias

Este mapeamento apresenta as categorias e como foram empregadas, gerando oito categorias e suas subcategorias. As categorias *Locutor*, *Tipo de Discurso* e *Abordagem Comunicativa* foram adaptadas e tiveram por base os trabalhos de Mortimer et al (2005a; 2005b) e Silva (2008). As outras categorias são apresentadas na Figura 2, sendo que o software Camtasia® foi utilizado para a edição dos vídeos e estes foram categorizados no MaxQDA® da VERBI GmbH, um *software* profissional para análises qualitativas e para métodos mistos de pesquisa, possibilitando categorizar nos próprios vídeos e áudios em tempo real.



Figura 2 - Sistema de códigos com as categorias e suas subcategorias

Fonte: MaxQDA®

No *Tipo de Discurso*, selecionamos três subcategorias e inserimos mais duas (as últimas): *Discurso de conteúdo* - relacionado ao conteúdo científico das aulas; *Discurso de organização e manejo de classe* - relacionado às intervenções do professor que visam apenas manter o desenvolvimento adequado das atividades propostas, sem intenção de desenvolver conteúdo científico. *Discurso de agenda* - relacionado às ações do professor para ordenar o fluxo das ideias a serem discutidas ao longo da aula (SILVIA, 2008, p.67). *Discurso de Descontração* - momentos em que alunos e/ou professor descontraíam com alguma brincadeira, relacionada ao conteúdo ou não. *Outros*: relacionado a outros tipos de discurso que não se encaixavam nos citados anteriormente.

A categoria *Abordagem Comunicativa* é proposta por Mortimer e Scott (2002), tendo quatro classes: *interativa e dialógica*, quando professor e estudantes falam, levando em

consideração todos os pontos de vista, mesmo que sejam completamente diferentes; *interativa e de autoridade*, quando professor e estudantes interagem, mas apenas os pontos de vista em conformidade com os conteúdos científicos são valorizados; *não-interativa e dialógica*, quando o professor repete e retoma as ideias que foram expressas pelos estudantes e que representam pontos de vista diferentes daqueles da ciência; e *não-interativa e de autoridade*, quando só o professor fala e expressa apenas os pontos de vista da ciência. No Quadro 2 são apresentadas as demais categorias e subcategorias da pesquisa:

Quadro 2: Categorias e Subcategorias

Categorias	Subcategorias
Resolução do Exercício	<i>Leitura ou Escrita da dupla A</i> e <i>da dupla B</i> , representando o momento em que os alunos escreviam ou liam o exercício.
Uso do Computador	<i>Uso do Computador Dupla A</i> e <i>Uso do Computador Dupla B</i> . Essas subcategorias foram codificadas nas aulas em que os alunos exploravam o computador.
Interações	<i>aluno-aluno</i> , quando os alunos interagiam entre si numa mesma dupla; <i>dupla-dupla</i> , interação entre as duplas; <i>aluno-professor</i> , interação com o professor; e <i>aluno-OA</i> , interação com o OA sem que tenham iniciado um discurso aberto para toda a turma.
Conceitos do Contexto	<i>Cotidiano</i> , quando os conceitos eram oriundos de um contexto do cotidiano do aluno; <i>Científico</i> , conceitos de um discurso próprio da ciência; e <i>Resposta Rápida</i> , quando produziam respostas retóricas às perguntas do professor ou na interação entre eles.
Questionamentos ou Ideias formadas do uso dos OA	Indicam o momento em que os alunos respondiam a questionamentos ou levantavam ideias a partir do uso dos OA. <i>Reportagens</i> , quando essas ideias provinham de revistas ou matérias da internet ou TV; <i>WhatsApp</i> , as ideias discutidas no grupo; <i>simuladores</i> , as ideias vindas dos simuladores; <i>Vídeos</i> , ideias a partir dos vídeos vistos nas primeiras aulas.

Fonte: Elaborado pelos autores

Com todas as categorias e subcategorias, iniciamos o processo de demarcação das aulas, caracterizando cada momento pelo MaxQDA® na linha do tempo, aula a aula (Figura 3).

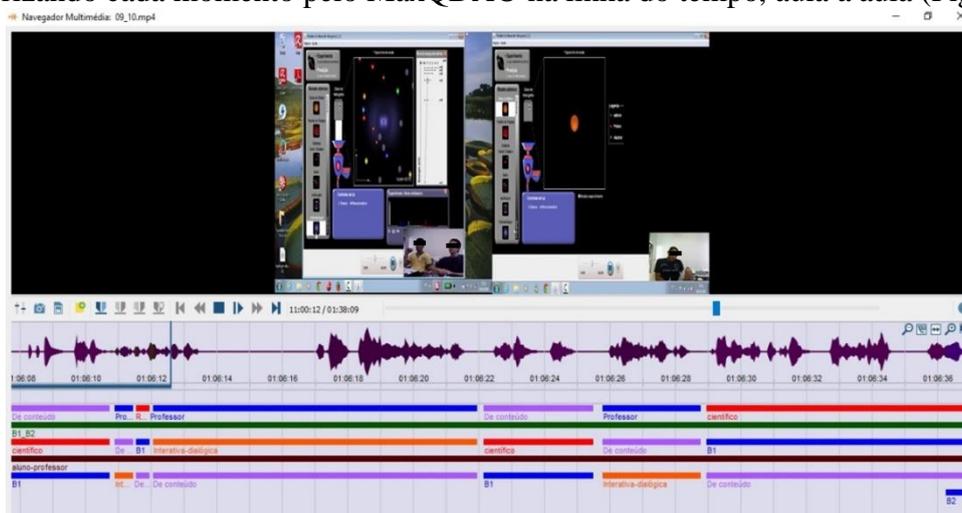


Figura 3 - Linha do tempo codificada com algumas categorias

Fonte: MaxQDA®

As aulas 1 e 2 não foram codificadas, pois não possuíam gravações, sendo analisadas por questionários e notas de campo no mapeamento de aulas. As porcentagens geradas para os gráficos tiveram por base o tempo de gravação de cada aula (Aulas: 3 - 1h36min50; 4 - 1h39min23; 5 - 1h43min; 6 - 1h49min36; 7 - 1h38min09; 8 - 1h40min49; 9 - 1h09min10; 10 - 1h35min26 ; 11 - 1h15min18; 12 - 1h47min13). Foram elaborados 76 gráficos das 10 aulas codificadas, isso permitiu ter uma visão analítica de todos os momentos na produção de significado dos alunos. A codificação foi realizada em duas etapas: demarcação dos *Locutores* e *Tipo de Discurso*; e demais categorias no *Tipo de Discurso de Conteúdo*, pois o interesse

estava centrado na produção de significado desses, com uma observação minuciosa e considerando o processo como sociocultural, como aponta a Teoria da Ação Mediada.

A proposta analítica permitiu observar que o professor manteve as maiores porcentagens para o *Locutor no Tipo de Discurso de Conteúdo*, sendo as aulas 6, 9 e 10 as mais expressivas com 56.49% (Gráfico 1), 49.06% e 62.46%, respectivamente. Isso é um fato em comum, considerando a cultura escolar em que o professor é o orientador daquele conteúdo, porém, abordagens comunicativas de interação e dialogicidade são extremamente raras em contextos tradicionais de ensino. Nesse caso, a aula 6 foi a mais expressiva com a abordagem “interativa-dialógica”, 6,22%, comparada com todas as aulas (Gráficos 2).

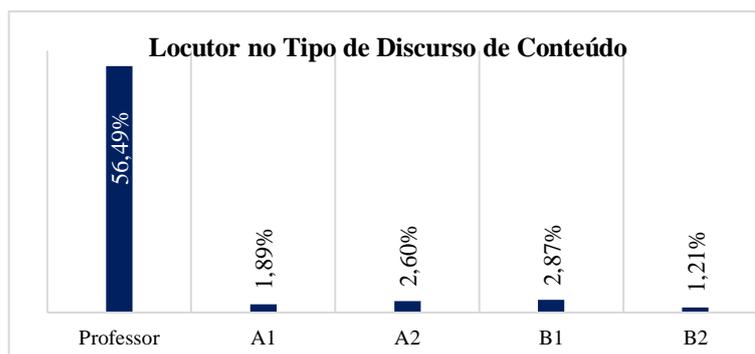


Gráfico 1 - Subcategorias do Locutor no Tipo de discurso de Conteúdo

Fonte: Elaborado pelos autores

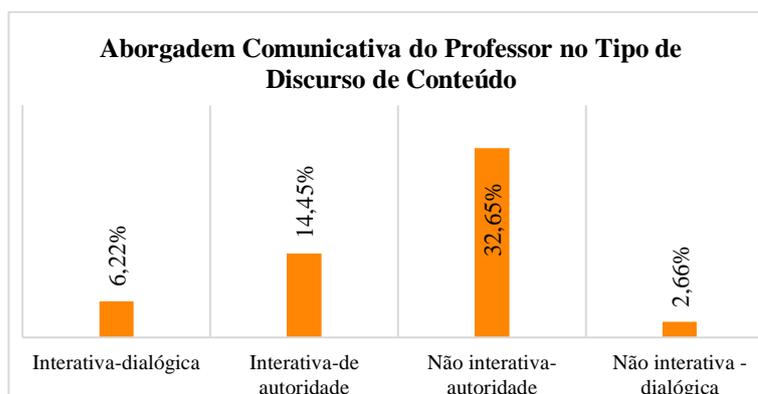


Gráfico 2 - Abordagem comunicativa no discurso de Conteúdo durante toda a Aula

Fonte: Elaborado pelos autores

Vale ressaltar que o referido valor é relevante se considerarmos alguns fatores: a história e a cultura institucional baseada em aulas expositivas de conteúdo e sem muitas interações dialógicas, sendo conduzidas por uma abordagem “Não interativa-de autoridade” pela maioria dos professores; a timidez ou a insegurança, talvez por falta de espaço e/ou atividades interativas, dos alunos em participarem das aulas expondo suas ideias; e a insegurança do Professor-Pesquisador para proporcionar e prolongar os momentos dialógicos, pois se preocupava com o conteúdo e com o tempo a serem cumpridos na instituição, tendo em vista que tais conteúdos eram exigidos como pré-requisitos para as próximas disciplinas. Em pleno acordo com a Teoria da Ação Mediada, os processos de significação vão sendo construídos gradativamente, e não é uma tarefa tão simples adentrar a cultura institucional com abordagens de ensino socioculturais que favoreçam a interação e o diálogo.

A respeito da locução dos alunos no *Discurso de conteúdo*, as aulas com as maiores participações foram a 5 (A1: ausente; A2: 4.64%; B1: 7.12%; B2:0.93%) e 8 (A1: 3.68%; A2: 6.61%; B1: 6.98%; B2: 1.78%). Destaca-se que o aluno A2 era o mais tímido e geralmente se

expressava por meio do aluno A1, ao qual fazia dupla, sendo possível observar esse comportamento com maior clareza nessas aulas, pois foram auxiliadas pelos OA e os alunos interagiam mais entre si e as abordagens Interativas (dialógica e de autoridade) foram mais expressivas. A Teoria da Ação Mediada nos auxiliou a observar e analisar os sistemas semiótico, como a linguagem, visto que o processo de elaboração de significados estava ocorrendo pela interação, discurso verbal e não-verbal (externalizado pelo outro) e com a mediação dos OA, estando a ação vinculada a esses instrumentos e caracterizando um grau maior de domínio destas e dos conceitos em direção à apropriação.

Em síntese, foram observados analiticamente os momentos e codificadas cada categoria e subcategoria nas 10 aulas. As aulas 4, 5, 6, 8 e 11 foram as que houve maiores *Interação Professor-aluno*, destaque para a aula 11 na qual o *Uso do Computador* correspondeu a mais da metade da aula (59.04%) e as porcentagens de interação nesse intervalo foram mais expressivas. A *interação aluno-aluno* e *dupla-dupla* no *Discurso de conteúdo* teve mais expressividade nas aulas que possuíam exercícios a serem resolvidos com o auxílio dos OA (aulas 3,7 e 12), demonstrando a tensão irreduzível entre agente e ferramenta sociocultural, não sendo adequado tratá-los isoladamente. Já nas aulas que tiveram maiores abordagens dialógicas (aulas 5, 6, 8 e 11) o *Discurso de conteúdo* no *Contexto científico* foi mais expressivo, apontando que quanto mais trocas dialógicas existiam, maior era a externalização dos conceitos e o desenvolvimento da estória científica — o *Discurso de conteúdo* no *Contexto cotidiano* foi tornando-se menos expressivo no decorrer do processo. *Questionamentos ou ideias a partir do uso dos OA* também foram levantados pelos alunos nas aulas, usando os conceitos dos simuladores (destaque A1 e B2), conversas do WhatsApp (B1) e Reportagens (A1 e B1), principalmente nas discussões que envolviam questões históricas, culturais e tecnológicas. Em seguida, selecionamos trechos representativos das aulas 7, 8, 11 e 12 para a *microanálise*.

Microanálise

Nesta etapa é possível selecionar qualquer trecho para a análise sem descaracterizar o todo e focar exclusivamente os pontos de interesse, considerando a visão detalhada que foi proporcionada. Aqui, o interesse estava centrado na produção de significado dos estudantes sobre os números quânticos, formas dos orbitais e transições eletrônicas. A microanálise permitiu realizar uma avaliação evolutiva do processo em termos de domínio e apropriação dos conceitos científicos e como estes estavam sendo significados, constituindo assim quatro categorias de análise: *O caso da quantização de energia; A dualidade onda-partícula; O modelo atômico quântico: abordagens gerais; O modelo atômico quântico: resolução do exercício*. Portanto, trataremos, a seguir, da validade da proposta analítica nesta etapa, a partir de uma síntese de toda a análise e alguns trechos transcritos³.

Os conceitos de interesse começaram a ser significados quando estávamos tratando sobre a *quantização de energia*, em que os alunos reconheciam o modelo de Bohr como capaz de sustentar essa ideia, explicando que a quantização era a energia necessária para manter o elétron em órbitas predefinidas e que este só poderia saltar de um nível a outro caso recebesse um pacote de energia específico chamado quantum. Esses significados, das duplas A e B, seguiam uma lógica estrutural coerente em relação aos exercícios, mas a dupla B manteve um acentuado envolvimento com o OA, o que pode ter proporcionado mais posicionamentos dialógicos. Já a dupla A não construiu o significado desses conceitos de forma independente, pois a resposta do exercício indicou uma forte influência das ideias do OA. Essas manifestações

³ A partir de: https://drive.google.com/file/d/10c-qEBz9ODdetaNmCGaXk3SUjLoMr_YN/view?usp=sharing

começavam a revelar o nível de domínio e que já não seria mais necessária a manipulação física do OA para executar alguma atividade, pois os processos se tornaram mentais.

O movimento em direção ao domínio das ferramentas socioculturais e dos conceitos ali inseridos não é individual, tendo uma forte ligação de interação social e com a própria ferramenta. É importante ficar claro que as representações mentais desenvolvidas a partir dos OA não caracterizam a transferência dessa atividade externa para um plano interno já existente, mas é um processo que está em formação no plano interno. Por isso existirão sempre divergências e reconstruções de ideias. Para que os conceitos de quantização e as transições de energia ficassem mais claros aos alunos, foram convidados a calcular os comprimentos de onda de absorção do átomo de hidrogênio por meio da equação de Bohr e testar no OA. Deste modo, puderam observar que o átomo de hidrogênio possui estabilidade e nada acontecia no diagrama de energia quando os valores calculados para intervalos acima de n_1 (primeiro nível de energia) eram aplicados, tendo limitações e que tal modelo contribuiu para o desenvolvimento de outros. Um debate realizado no WhatsApp revelou algumas das concepções dos alunos, na própria linguagem desse meio:

B1: Porque o modelo atômico de Bohr foi feito baseado no átomo de hidrogênio, logo, como o elétron do hidrogênio está localizado no primeiro nível de energia, ele só irá mostrar os comprimentos de ondas que variam de n_1 a n_6 ...

A1: Ele tentou, só que não conseguiu definir em relação a eles por conta da repulsão elétron/elétron, que não existia no átomo de hidrogênio, pois ele só tem 1 elétron.

B1: Os números quânticos e os orbitais ainda não eram conhecidos e logo, pelo modelo de Bohr, não saberíamos qual elétron seria influenciado pelo fóton... logo, o modelo de Bohr, para átomos com mais de 1 elétron na última camada, apresenta muitas falhas que hoje são explicadas mais corretamente pelo modelo quântico.

A resposta do aluno B1 caracteriza o seu domínio pelo conteúdo a partir do uso do OA que, consequentemente, reflete o domínio da ferramenta, expressando sua ideia de acordo com o contexto e gênero discursivo da ciência e que também estão empregados na simulação. O aluno A1 demonstrou ter o domínio do conteúdo ao recorrer às discussões de aulas anteriores para produzir o significado do conceito em pauta. O emprego da expressão “repulsão elétron-elétron” nos informa que o gênero discursivo da ciência é predominante, estendendo suas ideias além do uso do OA. Durante a aula seguinte, também ocorreu um debate e observou-se o posicionamento do aluno B2, mas ele estava influenciado pelo discurso de autoridade do aluno A1, demonstrando que sua compressão estava em fase de construção. Podemos relacionar esta questão com uma das propriedades da Teoria da Ação Mediada de Wertsch (1998), ao afirmar que os modos de mediação se associam ao poder e à autoridade.

Outro ponto em discussão foi a *dualidade onda-partícula*, debatida a partir das diferenças do modelo de Bohr, De Broglie e de Schrödinger, focando nos conceitos de interesse supracitados. As respostas do exercício (aula 7) demonstraram que os alunos reconhecem as diferenças dos três modelos atômicos e o caráter matemático do modelo atômico quântico. A dupla B ainda apontou o orbital como uma nuvem eletrônica com maior probabilidade de se encontrar o elétron e comentam que os números quânticos fornecem informações sobre o orbital, dando indicativos da importância das abordagens matemáticas ali inseridas. O Quadro 3 mostra um debate, onde “T” representa o turno de fala.

Quadro 3 - Debate sobre dualidade onda-partícula na aula 8

T	Locutor e Transcrição
1	P: O modelo de Bohr previa a dualidade onda-partícula?
27	A1: comportamento de onda quando ele/ mesmo ele emitindo luz não-não falava que tinha um comportamento de onda, quem apresentou foi só De Broglie ((fala gesticulando com as mãos)) (+)
28	P: todos concordam? (+)

29	B1: eu não ((fala baixo e balança a cabeça))
30	A2: o elétron:: receber energia em forma de quantum é preciso ser onda ((fala tranquilamente)).
31	B1: é! ((confirmando a fala de A2))
32	A1: mas quem colocou isso mesmo daí foi De Broglie.
35	B1: eu também li que, acho que afirmaram que-que o Bohr (+) ele já-já introduzia o estudo da quântica ele acreditava já que [[ele
36	A2: ele acreditava, mas ele não provava. aí quem provou foi de Broglie ((inaudível))
41	A1: pelo que eu li quem colocou, quem introduziu mesmo/ ele é:: (+) ele introdu, Bohr introduziu a quântica justamente para explicar o porquê que o elétron não se chocava com o núcleo, ele conseguiu, mas quem colocou mesmo o modelo ondulatório de quantum que mostrava as ondas ((faz ondas com as mãos)) mesmo foi só De Broglie, ele ((Bohr)) ainda não tinha conseguido ainda não mostrava esse dualidade ainda não ((fala gesticulando com as mãos))
43	B1: Bora B2 ((pede a opinião de B2))
45	B2: eu concordo com o A1.
51	B1: pelo fato de ele utilizar uma constante que todo mundo utilizou pra estudar luz e ele utilizou no modelo dele, ele não ia fazer isso de graça ((fala gesticulando com as mãos e cruza os braços inconformado))
54	B1: não, mas no modelo de Bohr toda vez a luz ele/ o elétron quando ele assume, quando ele recebe, interage com o fóton naquele momento ele tem, ele assume o papel de onda porque ele absorve energia e sobe ((se referindo a mudança de nível)), quando ele retorna ele emite luz. como é que ele ia explicar isso aí se ele não, se ele não aceitava o comportamento de onda? (+)
68	A1: pra tu ver que, pra tu até ver que o primeiro modelo que apresenta onda mesmo é de De Broglie, quando tu ver até mesmo no programa ela vai ver quando s-se choca tu vê aquele movimento das ondas lá, quer ver então presta atenção ((A1 e A2 ligam o programa)) pode prestar atenção. ó aí ó o de Bohr tu não encontra só ver o elétron pulando de camada em camada, agora bota um de De Broglie aí [...]

Fonte: Elaborado pelos autores

Nesse sentido, indica-se que o aluno B1 produz o significado dos conceitos em defesa da sua ideia sobre o modelo de Bohr prever a dualidade onda-partícula a partir das concepções formadas em aulas anteriores. O mapa de categorias (aula 5) mostrou uma intensa participação dele (7.12%) no *discurso de Conteúdo*, que pode ter influenciado no seu discurso. Acrescentamos, a partir das ideias de Wertsch, que os processos anteriores não são compreendidos pelos estudantes da maneira como o Professor os aborda no ambiente de ensino, sendo alterados durante a internalização e podendo ocorrer a elaboração do conceito, a transferência do conceito elaborado para novos objetos, o uso do conceito em situações de livre associação e o emprego do conceito na formação das definições de conceitos que já foram elaborados. A compreensão só se torna ativa a partir das interações e uso das ferramentas socioculturais presentes em seus kits.

De acordo com a fala do aluno B1, podemos inferir que há a imposição de um valor apreciativo ao OA, pois o enunciado indica o modelo visual atribuído à simulação. Assim, por meio do valor apreciativo, o aluno confere sentido ao meio mediacional e se apoia nele em um discurso de autoridade a fim de persuadir aos demais alunos sobre suas ideias. Já o aluno A1 contrapõe o aluno B1 e tenta negociar o significado dessas ideias, recorrendo principalmente ao que foi exposto durante as aulas anteriores, nas quais tratamos de alguns fundamentos matemáticos para discutir a dualidade onda-partícula a partir de De Broglie. A enunciação do aluno A1 também é conferida pelos marcadores não-verbais, ou seja, os gestos físicos que realiza a fim de esclarecer sua posição em negociar o significado do tema. Esse aluno também identificou a fonte de autoridade do B1 e a partir dela defendeu seu posicionamento — é o que Wertsch (1998) classifica como tensão irredutível entre o agente e os modos de mediação. Em detrimento da mudança de opinião do aluno B2, podemos salientar que essas atividades que mantêm o diálogo como orientador do processo de ensino e aprendizagem são muito importantes, principalmente no ensino formal, pois é uma maneira que os alunos têm de comprovar a interpretação de suas ideias e de controlar o progresso destas por meio da comparação com a compreensão dos outros estudantes.

A terceira categoria tem forte influência da aula 11, sobre a revisão dos fundamentos matemáticos da equação de Schroedinger, principalmente no que se refere aos *autovalores*, às *autofunções*, à *importância dos nós das funções de onda* e à *normalização da função*. Essa abordagem teve o intuito de relacionar as ideias anteriores com o que seria visualizado por meio do OA. Também foi explicado sobre a existência de um termo radial e angular na equação da função de onda, os quais davam informações sobre o tamanho do orbital e sua energia específica; e a projeção do elétron no plano (ângulo “teta”) e no espaço (ângulo “fi”).

O discurso do Professor seguiu com as explicações sobre a probabilidade de se encontrar o elétron e as possíveis imagens dos orbitais geradas pelas funções de onda. Desse modo, foi frisado que se os orbitais tivessem bordas delimitadas seria mais fácil encontrar o elétron porque as paredes teriam limites. Porém isso não era possível devido à dualidade onda-partícula, sendo mais adequado falar-se em probabilidades. Os momentos analisados seguiram as mesmas características do Quadro 3, e os alunos não conseguiram relacionar as diferenças do diagrama de energia presentes no OA do modelo de Bohr com o de Schrödinger, e novos materiais foram inseridos para aumentar o rol apreciativo dos alunos. Nesse movimento, foram significando os conceitos em um caráter de domínio e se aproximando da apropriação, e trouxeram exemplos da computação quântica para relacionar um tema totalmente abstrato, a nível submicroscópico, com as tecnologias que prometiam surgir em um futuro próximo.

Na quarta categoria, por meio da resposta do exercício, identificamos como os alunos estavam significando os conceitos do formato dos orbitais. Apesar de conseguirem fazer relações com as equações matemáticas, ainda era perceptível que os conceitos não estavam totalmente claros quando manipulavam o OA e observavam as imagens na tentativa de realizar uma comparação. O uso de analogias também se fez presente para explicar a superposição de ondas e as possíveis imagens dos orbitais e da região mais provável de localizar o elétron, com uma posterior abordagem “Interativa-de-autoridade” para manter o discurso científico. Dessa maneira, explanou-se sobre o fato de existirem diversas possibilidades de o elétron estar em diferentes regiões devido às flutuações quânticas, e o observador alteraria o sistema, pois conseguiria supor apenas uma única função de onda que representaria o elétron.

Em vista disso, podemos recorrer a uma das propriedades da Teoria da Ação Mediada, que diz que os modos de mediação limitam e, ao mesmo tempo, possibilitam a ação, pois a simulação limitou o uso do gênero discursivo da ciência na atribuição de algumas palavras e, ao mesmo tempo, possibilitou uma explicação que estava direcionada ao contexto científico.

Outro ponto interessante na resposta da dupla A é que, ao definirem orbital, indicaram que esse era gerado pelo movimento dos elétrons. Subentende-se que a ideia do orbital como um espaço fechado estava se esvaindo ou os objetivos no uso de cada representação estavam ficando mais claros. Além disso, os alunos indicaram o comportamento ondulatório do modelo atômico quântico, provavelmente na tentativa de explicar que se tratava de um modelo dual.

Dupla A: Órbita é uma trajetória definida que um corpo se movimenta, onde podemos encontrar seu raio e assim a localização do corpo. Já orbital é produzido pelo movimento que o elétron produzia ao redor do núcleo, formando um campo eletromagnético que se comporta como uma onda.

Para finalizar, a categoria seguiu com a análise das respostas do exercício frente à Teoria da Ação Mediada, sempre buscando as relações da produção dos significados com os discursos proferidos em aulas anteriores e verificando os movimentos gerados a partir do mapa de categorias. A análise também revelou que os alunos já conseguiam compreender os verdadeiros objetivos dos livros de Química na utilização das imagens dos orbitais e qual o sentido das equações das funções de onda à essas imagens e no OA. Considerando todo o processo, o aluno

A1 era o mais ativo nas participações e o que mais se aproximou da apropriação dos conceitos, contribuindo interativamente com os demais que saíam do domínio em direção a apropriação.

Conclusão

Os resultados apresentados demonstram que a proposta analítica da aprendizagem foi ancorada à Teoria da Ação Mediada de James Wertsch, pois ela se preocupa com os modos de ação com o uso das ferramentas socioculturais. Deste modo, temos em vista a expansão das pesquisas socioculturais que permitem estudar a sala de aula, principalmente com a inserção do meio digital. Porém, a proposta é adaptável e certamente outros referenciais poderão subsidiar os dados. Nosso interesse estava voltado para a produção de significados dos conceitos em sala de aula, e a metodologia de pesquisa apresentada garantiu a análise detalhada da totalidade para a extração dos pontos-chaves de interesse. Além disso, permitiu atentar para os movimentos dialógicos e os níveis de domínio e apropriação dos estudantes à medida que novas ferramentas socioculturais iam sendo inseridas.

Ademais, foi possível refletir sobre a própria prática em sala de aula, pois as abordagens interativas-dialógicas proporcionavam maiores interações e, conseqüentemente, facilitavam identificar os modos de compressão dos alunos. Nesta perspectiva, também se reflete sobre a rigidez curricular em cobrir todos os conteúdos dentro da carga horária da disciplina, mesmo os alunos ainda estando em processos anteriores de construção dos significados. O processo avaliativo é outro ponto em questão, pois nem todos os alunos participam como o professor ou os métodos tradicionais de ensino idealizam, como foi o caso do aluno B2, que se manifestava por meio do discurso do aluno B1. Por fim, os alunos produzem significados de formas distintas, sendo mais visíveis à medida que as trocas dialógicas forem ocorrendo, e maiores forem os seus róis apreciativos expostos pelas ferramentas inseridas em seus kits.

Referências

- ATKINS, P. **Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. Tradução técnica: Ricardo de Alencastro, 5^a. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.
- CARNEIRO, M. L. F.; SILVEIRA, M. S. Objetos de Aprendizagem como elementos facilitadores na Educação a Distância. **Educar em Revista**, n. 4, p. 235-260, 2014.
- GIORDAN, M. **Computadores e linguagens nas aulas de ciências**. Ijuí: Unijuí, 2008.
- GRECA, I. M.; SANTOS, F. M. T. Dificuldades da generalização das estratégias de modelação em ciências: o caso da física e da química. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 1, p. 31-46, 2005.
- HARRISON, A. G; TREAGUST, D. F. Secondary students mental models of atoms and molecules: Implications for teaching science. **Science Education**, v. 80, p. 509–534, 1996.
- HOFFMANN, R. **O Mesmo e o Não-Mesmo**. São Paulo: UNESP, 2007.
- MARCUSCHI, L. A. **Análise da conversação**. São Paulo: Ática, 1986.
- MARTINS, O. B.; MOSER, A. Conceito de mediação em Vygotsky, Leontiev e Wertsch. **Intersaberes (Facinter)**, v. 7, p. 8-28, 2012.

MARTINS, R. A.; ROSA, P. S. **História da teoria quântica: a dualidade onda-partícula, de Einstein a De Broglie**. 1ª. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

MORTIMER, E. F. et. al. Uma metodologia de análise e comparação entre as dinâmicas discursivas de salas de aulas de ciências utilizando software e sistema de categorização de dados em vídeo: Parte 1, dados quantitativos. **Anais do V ENPEC**, 2005a.

MORTIMER, E. F. et. al. Uma metodologia de análise e comparação entre as dinâmicas discursivas de salas de aulas de ciências utilizando software e sistema de categorização de dados em vídeo: Parte 2, dados qualitativos. **Anais do V ENPEC**, 2005b.

MORTIMER, E. F. **Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2000.

MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. H. Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 283-306, 2002.

NIAZ, M.; FERNÁNDEZ, R. Understanding quantum numbers in general chemistry textbooks. **International Journal of Science Education**, v. 30(7), p. 869-901, 2008.

OGILVIE, J. F. The nature of the chemical bond: There are no such things as orbitals! **Journal of Chemical Education**, v. 67, p. 280–289, 1990.

PANTOJA, G. C. F.; MOREIRA, M. A.; HERSCOVITZ, V. E. Uma revisão da literatura sobre a pesquisa em ensino de Mecânica Quântica no período de 1999 a 2009. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 4, p. 1-34, 2011.

RUSSEL, JOHN B. **Química Geral**. 2ª. ed. Ed. Makron Books, São Paulo, 1994.

SCERRI, E. R. Philosophy of chemistry - A new interdisciplinary field? **Journal of Chemical Education**, v. 77, p. 522-525, 2000.

SCERRI, E. R. The new philosophy of chemistry and its relevance to chemical education. **Chemistry Education: Research and Practice in Europe**, v. 2, p. 165-170, 2001.

SILVA, A. C. T. **Estratégias enunciativas em sala de aula: contrastando professores de estilos diferentes**. 2008. 476f. Tese (Doutorado em Educação. Área de Concentração: Educação e Ciência), Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Educação, Belo Horizonte, 2008.

STEFANI, C.; TSARPALIS, G. Student's levels of explanations, models and misconceptions in Basic Quantum Chemistry: a phenomenographic study. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 46(5), p. 520-536, 2009.

TABER, K. S. Conceptualizing quanta - Illuminating the groundstate of student understanding of atomic orbitals. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 3, p. 145–158, 2002.

TABER, K. S. Learning quanta: Barriers to stimulating transitions in student understanding of orbital ideas. **Science Education**, v. 89, p. 94–116, 2004.

TABER, K. S. When the analogy breaks down: Modelling the atom on the solar system. **Physics Education**, v. 36(3), p. 222–226, 2001.

TSAPARLIS, G.; PAPAPHOTIS, G. Quantum-chemical concepts: Are they suitable for secondary students? **Chemistry Education: Research and Practice in Europe**, v. 3(2), p. 129–144, 2002.

TSARPALIS, G.; PAPAPHOTIS, G. High-school students' conceptual difficulties and attempts at a conceptual change. **International Journal of Science Education**, v. 31(7), p. 895-930, 2009.

WERTSCH, J. V. **Mind as action**. New York: Oxford University Press, 1998.

WERTSCH, J. V. **Voices of the mind: a sociocultural approach to mediated action**. Cambridge: Harvard University Press, 1991b.

WERTSCH, J. V. A sociocultural approach to socially shared cognition. In: RESNICK, L. B.; LEVINE, J. M.; TEASLEY, S. D. (Orgs.). **Perspectives on socially shared cognition**. Washington: American Psychological Association, p. 85-100, 1991a.

WILEY, D. A. (Org.). The Instructional Use of Learning Objects. Bloomington. In: **Association for Educational Communications and Technology**. 2002. Disponível em: <<http://www.reusability.org/read/>>. Acesso em: 20 jan. 2014.