

A Teoria da Aprendizagem Significativa e o ensino de Orbitais Atômicos: Uma revisão sistemática da literatura

The Theory of Significant Learning and the teaching of Atomic Orbitals: A systematic review of the literature

La Teoría del Aprendizaje Significativo y la enseñanza de los Orbitales Atómicos: Una revisión sistemática de la literatura

Recebido: 23/07/2022 | Revisado: 30/07/2022 | Aceito: 02/08/2022 | Publicado: 11/08/2022

Glaylton Batista de Almeida

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6110-3164>
Universidade Federal do Ceará, Brasil
E-mail: glaylton.almeida@gmail.com

Luciana de Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5838-8736>
Universidade Federal do Ceará, Brasil
E-mail: luciana@virtual.ufc.br

Priscila Barros David

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3509-1355>
Universidade Federal do Ceará, Brasil
E-mail: priscila@virtual.ufc.br

Resumo

Vários teóricos têm relatado dificuldades apresentadas pelos discentes no que concerne o estudo dos Orbitais Atômicos, desde uma compreensão conceitual equivocada a uma dificuldade de visualização espacial. O estudo desse tópico a partir dos princípios da aprendizagem significativa pode potencializar a construção conceitual por parte do aluno, visto que, facilita a retenção de informações em sua estrutura cognitiva. O presente trabalho trata-se de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) em diversas bases de dados que englobam o escopo da Química, com recorte temporal entre os anos de 2016 a 2022, com o objetivo de encontrar abordagens da temática Orbitais Atômicos a partir da teoria da aprendizagem ausubeliana. Os trabalhos selecionados foram categorizados a partir de uma análise de conteúdo, e os resultados mostraram que essa é uma linha de pesquisa que carece de estudos, visto que, a temática dos Orbitais é essencial para que o aluno desenvolva uma compreensão da estrutura da matéria, das ligações químicas e das propriedades das substâncias.

Palavras-chave: Orbitais atômicos; Ensino; Química; Aprendizagem significativa; Revisão.

Abstract

Several theorists have reported difficulties presented by students regarding the study of Atomic Orbitals, from a mistaken conceptual understanding to a difficulty in spatial visualization. The study of this topic from the principles of significant learning can enhance the conceptual construction by the student, since it facilitates the retention of information in their cognitive structure. The present work is a Systematic Review of Literature (SRL) in several databases that encompass the scope of Chemistry, with a time frame between the years 2016 to 2022, with the objective of finding approaches to the theme Atomic Orbitals from the theory of ausubelian learning. The selected works were categorized based on a content analysis, and the results showed that this is a line of research that lacks studies, since the theme of Orbitals is essential for the student to develop an understanding of the structure of the subject, chemical bonds and the properties of substances.

Keywords: Atomic orbitals; Teaching; Chemistry; Meaningful learning; Review.

Resumen

Varios teóricos han reportado dificultades que presentan los estudiantes en el estudio de los Orbitales Atómicos, desde una comprensión conceptual equivocada hasta una dificultad en la visualización espacial. El estudio de este tema desde los principios del aprendizaje significativo puede potenciar la construcción conceptual por parte del estudiante, ya que facilita la retención de información en su estructura cognitiva. El presente trabajo es una Revisión Sistemática de Literatura (RSL) en varias bases de datos que abarcan el ámbito de la Química, con un marco temporal entre los años 2016 a 2022, con el objetivo de encontrar aproximaciones al tema Orbitales Atómicos desde la teoría del

aprendizaje Ausubeliano. Los trabajos seleccionados fueron categorizados a partir de un análisis de contenido, y los resultados mostraron que esta es una línea de investigación que carece de estudios, ya que el tema de los Orbitales es fundamental para que el estudiante desarrolle la comprensión de la estructura del tema, enlaces químicos y las propiedades de las sustancias.

Palabras clave: Orbitales atómicos; Enseñanza; Química; Aprendizaje significativa; Revisión.

1. Introdução

A Química é uma ciência que envolve conceitos abstratos e de difícil assimilação por parte dos alunos. Um desses assuntos que vários teóricos destacam como problemático é o de orbitais atômicos (Taber, 2004; Tsarparlis & Papaphots, 2009; Autschbach, 2012; Lima, 2018). Segundo os autores, possui diversos entraves que envolvem o seu entendimento, como uma compreensão fragmentada de seu conceito, ora compreendendo orbital como região espacial com probabilidade de densidade eletrônica, ora como função de onda (Lima, 2018).

De acordo com Pereira et al. (2017), a definição de orbital é fundamentada no princípio da incerteza de *Heisenberg* e na resolução da equação de *Schrödinger*, que pode ser simplificada em uma função de onda (ψ), que elevada ao quadrado descreve uma densidade de probabilidade eletrônica em torno do núcleo atômico, com formatos e energias específicos.

Para Taber (2004), outro entrave para que se compreenda esse tópico de forma significativa, diz respeito à forma como este é abordado nas escolas e universidades. De acordo com o autor, o mundo submicroscópico parece estar totalmente dissociado do mundo macroscópico. Dessa forma, o aluno não associa os conhecimentos prévios necessários para articular relações com esse assunto, dificultando a aprendizagem.

De acordo com Ausubel (2003), para haver uma aprendizagem significativa, o novo assunto que se quer compreender deve interagir de maneira não-arbitrária e substantiva com o que o aluno já possui “ancorado” em sua estrutura cognitiva. Isso significa que esses novos conhecimentos devem estar relacionados com algum conceito relevante que o aluno já possui, e que este não deve assimilá-los literalmente da forma como foram repassados.

Em contrapartida Pazicni e Flynn (2019) destacam que existem três fatores necessários para que se desenvolva uma aprendizagem significativa: os conhecimentos prévios do aprendente, a sua intenção em fazer relações desses conhecimentos com os que deseja compreender, e a maneira pela qual essas novas informações são repassadas ou construídas. Assim, a última variável é de responsabilidade maior do professor, que dependendo da abordagem e da metodologia utilizada, pode, além de cumprir com o papel de facilitador desse processo, entusiasmar o aluno a fazer as relações necessárias para o desenvolvimento de uma aprendizagem significativa.

Diante do que foi exposto, o presente trabalho tem por objetivo realizar uma RSL sobre o ensino do tópico Orbitais Atômicos, tendo como princípio basilar a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS). Dessa forma, pretende-se compreender como esse tópico da Química vem sendo abordado na literatura e em sala de aula de forma significativa, bem como identificar as estratégias utilizadas pelos autores e os possíveis benefícios/problemas dessa relação.

O restante do artigo está organizado em cinco seções. Na seção seguinte é realizada uma breve discussão da Teoria da Aprendizagem Significativa e o Ensino de Química. Em seguida é apresentada a metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho de revisão, na quarta seção são expostos os principais resultados obtidos; na quinta seção são discutidas as principais contribuições do trabalho e na última, são apresentadas as conclusões e limitações do trabalho, além de sugestões para possíveis trabalhos futuros.

2. Aprendizagem Significativa e o Ensino de Química

Como mencionado anteriormente, aprender de forma significativa exige que o aluno possua bagagem prévia relevante para que os novos conceitos se ancorem nos conhecimentos que este já possui em sua estrutura cognitiva. Vale salientar, como

afirmam Ausubel, Novak e Hanesian (1980), que essa interação de conceitos ocorre de forma tão intensa que acabam modificando seus significados e os tornando mais gerais e abrangentes, tanto da ideia preexistente quanto do conceito adquirido.

De acordo com Moreira (2012), existem duas condições para que a aprendizagem ocorra de forma significativa, é necessário que o discente tenha uma predisposição a tecer relações entre os novos conceitos com o que ele já possui de bagagem prévia, e o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo. Dessa forma, se o aluno tiver predisposição para aprender significativamente, mas o material não for potencialmente significativo não haverá aprendizagem significativa, o mesmo ocorre se o material for potencialmente significativo e o discente não se predispor a relacionar os conceitos.

Nesse interim, o professor de Química tem como desafio descobrir os conceitos relevantes que o aluno possui e que podem ajudá-lo na construção dos novos conceitos, e trabalhar para que sua abordagem seja potencialmente significativa, pois acredita-se que esse tipo de material pode configurar-se como potencial motivador e engajador do aluno nesse processo. Por exemplo, é possível utilizar o conhecimento de figuras geométricas oriundos da disciplina de matemática para uma explanação do tópico Geometria Molecular, ou o conhecimento que o aluno traz de casa sobre pilhas e baterias para uma aula de Eletroquímica.

Na literatura são encontradas abordagens que vão além dessas relações. Silveira, Vasconcelos e Sampaio (2019), por exemplo, destacam a ludicidade presente nos jogos como material potencial para o desenvolvimento de aprendizagem significativa, já Galdino (2021) utiliza a dança como um organizador prévio para o ensino dos estados da matéria; Moura e Neves (2021) recorrem à temática alimentação para o ensino de Funções Orgânicas.

Os autores Giffoni, Barroso e Sampaio (2020), por outro prisma, propõem a utilização de materiais presentes do cotidiano do aluno, tais como, combustíveis, metais e plásticos para uma abordagem de assuntos voltados ao meio ambiente para promover o movimento Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA).

Guimarães (2009) destaca que uma forma de identificar vestígios dos conhecimentos que os alunos possuem em sua estrutura cognitiva é a partir de aplicações de questões de problemas reais, visto que, são situações que exigem a modificação do conceito aprendido.

Ainda de acordo com Guimarães (2009), a experimentação pode ser uma aliada do professor ao tentar trabalhar determinado conceito de forma significativa, já que essa metodologia pode abranger situações de problemas reais, que estimulam a investigação e geram questionamentos por parte dos alunos. No entanto, ressalta-se que essa prática não deve funcionar como receitas prontas, na qual o aluno apenas reproduz o que está programado em um roteiro de aula prática.

A partir das leituras realizadas dos artigos citados, foi possível verificar que mesmo com toda a abstração que envolve essa ciência, é possível encontrar vestígios do desenvolvimento de aprendizagem significativa quando a Química é trabalhada de forma lúdica, experimental e conectada com a realidade do aluno.

3. Metodologia

O percurso metodológico do presente trabalho é baseado nos pressupostos de Kitcheman e Charters (2007) para revisões sistemáticas. Portanto, como primeira etapa foi realizado um planejamento inicial, no qual foram elaboradas as questões norteadoras da pesquisa e identificada a relevância do trabalho. Na segunda etapa, definida como condução, é feita a busca e seleção dos artigos a serem analisados, e, por último, é desenvolvido o relatório e a escrita do artigo.

Além do aporte teórico metodológico de Kitcheman e Charters, esta RSL fundamenta-se na análise de conteúdo proposta por Bardin (2011), que possui como critérios a pré-análise, exploração do material e tratamento dos resultados. Na

primeira etapa, o material a ser analisado é organizado de acordo com as regras de exaustividade, representatividade, homogeneidade, pertinência e exclusividade. Na fase de exploração é realizada a codificação e a categorização do material, e por fim, é utilizado a inferência para o tratamento dos resultados.

Para a fase de condução da pesquisa, será realizada uma *pré-análise* a partir de uma “leitura flutuante” dos artigos retornados nas bases de dados, aplicando-se alguns critérios de inclusão e exclusão com a finalidade de direcionar os resultados para que abranjam o escopo da pesquisa.

Logo em seguida, realiza-se uma *exploração do material* aprofundada dos textos selecionados para categorizá-los de acordo com suas abordagens em relação à temática. Após a categorização, será realizada a *análise e interpretação* dos resultados, de acordo com o aporte teórico da Teoria da Aprendizagem Significativa.

Esta RSL considerou apenas a busca automática, dessa forma, as questões de pesquisa procuram fornecer uma compreensão geral da relação do tópico de química orbitais atômicos com a TAS, indicando possíveis benefícios e problemas dessas abordagens. As questões de pesquisa, bem como suas motivações são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1. Questões de pesquisa.

Codificador	Questão de pesquisa	Motivação
QP1	O assunto Orbitais Atômicos tem sido abordado utilizando a Teoria da Aprendizagem Significativa?	Verificar se a literatura aborda o tópico orbitais atômicos com fundamentação na TAS.
QP2	De que forma esses temas são relacionados?	Compreender como a TAS pode se relacionar com os Orbitais Atômicos.
QP3	Quais são as vantagens em se ensinar sobre orbitais atômicos fundamentado na Teoria da Aprendizagem Significativa?	Identificar possíveis benefícios ao se ensinar o tópico dos orbitais atômicos fundamentado na TAS.
QP4	Quais são as dificuldades dessa abordagem?	Detectar possíveis entraves no que diz respeito a essas abordagens.

Fonte: Autores (2022).

Inicialmente, testaram-se várias *strings* de busca a fim de encontrar uma que abrangesse melhor o escopo da pesquisa. A *string* final (Quadro 2) é formada pelos termos “Química”, “Orbital” e “Teoria da Aprendizagem Significativa” (optou-se pelo termo completo pois geralmente “aprendizagem significativa” é mencionada não fazendo nenhuma alusão à teoria desenvolvida por David Ausubel), que serão utilizadas na base de dados do *Google Scholar*. Essas *strings* foram adaptadas ao inglês para que fossem buscadas nas bibliotecas internacionais que indexam trabalhos relacionados ao Ensino de Química: *ACS Publications*, *Royal Society of Chemistry* e *SpringerLink*, além do próprio *Google Scholar*.

Quadro 2. Strings de busca.

<i>String</i> de busca nacional	<i>String</i> de busca internacional
“Química” AND “Teoria da Aprendizagem Significativa” AND “Orbital”	“Chemistry” AND “Theory of Meaningful Learning” AND “Orbital”

Fonte: Autores (2022).

Após uma busca inicial foram retornados 3.150 trabalhos. Para uma delimitação mais precisa, estipulou-se alguns critérios de inclusão (Quadro 3) para que os trabalhos encontrados fossem inseridos na pesquisa: artigos científicos/trabalhos revisados por pares, publicados entre os anos 2016 a 2022.

Quadro 3. Critérios de inclusão e exclusão.

Critérios de Inclusão	Critérios de Exclusão
Artigo científico/trabalhos de conclusão de curso	Artigos de revisão/duplicados
Período 2016 – 2022	Trabalhos sem cunho pedagógico
Revisado por pares	Trabalhos fora do contexto da pesquisa

Fonte: Autores (2022).

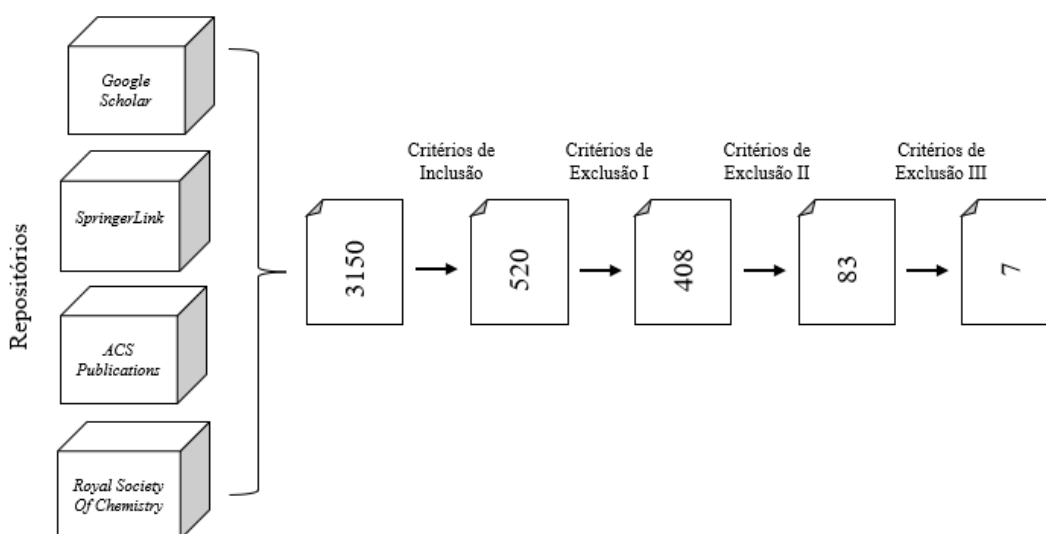
Ao serem aplicados os critérios de inclusão, foram retornados um total de 520 trabalhos, sendo 114 pelo *Google Scholar* a partir da *string* em português e 15 com a *string* em inglês, 2 pela *ACS Publications*, 214 pela *Royal Society of Chemistry* e 175 pela *SpringerLink*. Em seguida, esses trabalhos foram submetidos aos critérios de exclusão, a fim de restringir ainda mais os resultados e direcioná-los para o escopo da pesquisa.

Ao fim da triagem, aplicando os critérios de exclusão, restaram apenas 7 artigos que serão apresentados e analisados (etapas de exploração do material e tratamento dos resultados) nas seções subsequentes.

4. Resultados e Discussão

A esquematização do processo de filtragem dos trabalhos retornados pelas bases de dados aplicando-se os critérios de inclusão e exclusão é apresentada na Figura 1, e os artigos selecionados com seus respectivos autores e códigos identificadores no Quadro 4.

Figura 1. Processo de extração e seleção dos trabalhos.



Fonte: Autores (2022).

Quadro 4. Artigos selecionados para análise.

Identificador	Título do trabalho	Autoria
T01	Modelos mentais e aprendizagem significativa: átomos e moléculas para estudo de caso com licenciandos de física em curso de física moderna	Junior, S. J. B.
T02	Teoria do Orbital Molecular, uma proposta de aplicação no ensino médio de Química	Silva, M. A. S.
T03	Mapas conceituais como material instrucional de Química: estratégias que minimizam a desorientação do aluno e potencializam a aprendizagem de conceitos científicos	Aguiar, J. G.
T04	Neurociências e teorias da educação: estratégias que buscam a eficiência na aprendizagem	Lima, G. C.
T05	Investigating students' understandings about the electronic structure of the atom with regards to energy quantization and probability	Allred, Z. D. R.
T06	Knowledge of atomic structure, bonding and bonding energy: research results from interviews and questionnaire with chemistry and life science students	Ndoile, M. M.
T07	Noções de Física Quântica a partir do estudo do funcionamento de dispositivos semicondutores – uma unidade de ensino potencialmente significativa para a 3ª série do Ensino Médio	Campos, G. C.

Fonte: Autores (2022).

Como resultados da pesquisa, esperava-se encontrar trabalhos que relacionassem os conceitos de Orbitais Atômicos com a TAS. No entanto, apesar dos 7 trabalhos listados acima, não foi possível responder questões levantadas previamente, como possíveis vantagens e desvantagens dessas abordagens, dessa forma, realizaremos uma categorização dos resultados encontrados, buscando evidenciar as possíveis discussões sobre essa temática que permeiam a literatura nos últimos anos.

No gráfico abaixo é possível visualizar a distribuição dos arquivos restantes, tendo os trabalhos de conclusão de mestrado como maior destaque dentre os selecionados para esse artigo.

Gráfico 1. Tipos de trabalhos



Fonte: Autores (2022).

A partir da análise dos trabalhos selecionados, verifica-se que a temática Orbitais Atômicas não tem sido trabalhada com base na TAS ao longo dos últimos sete anos, visto que, diante dos 7 textos finais, que derivaram de uma busca inicial com 3150 trabalhos, nenhum se propôs a trabalhar especificamente essa relação. Porém, foi verificado tópicos que se conectam a temática Orbitais, como por exemplo, Modelos Atômicos, Propriedades dos Metais, Semicondutores e Teoria do Orbital Molecular, além disso, apesar de o termo “Química”, fazer parte da *string* de busca, foram retornados 2 trabalhos que abordam a temática na disciplina de Física.

Em relação a abordagem da TAS, foi possível criar duas categorias, a primeira, englobou trabalhos que utilizavam a teoria de Ausubel a partir dos modelos mentais dos discentes sobre a estrutura do átomo, e na segunda, entraram trabalhos que discutiam recursos ou sequências didáticas com potencial para o desenvolvimento de uma aprendizagem significativa, Quadro 5.

Quadro 5. Abordagem de conceitos relacionados a Orbitais Atômicos com uso da TAS.

Categoria	Frequência	Recorte do texto
Modelos mentais apresentados pelos discentes da estrutura do átomo relacionados aos conhecimentos prévios da TAS.	42,85% (T01, T05 e T06)	<p>T01 – “Fazendo menção a principal função dos conhecimentos prévios apontados pela teoria da aprendizagem significativa, indicando que, quanto mais completo e elaborado o subunçor, melhor e mais elaborado o modelo mental que será construído individualmente pelo sujeito” (p.37).</p> <p>T05 – “A teoria da aprendizagem significativa foi usada para orientar o desenho e a análise da primeira fase das entrevistas, à medida que o conhecimento prévio dos alunos foi levantado, pedindo-lhes para descrever o átomo e se as ideias de probabilidade e quantização estavam relacionadas à sua compreensão do átomo” (p. 2, tradução nossa)</p> <p>T06 – “O conhecimento prévio desempenha um papel vital na tomada de decisões sobre o comportamento dos átomos” (p. 139 – tradução nossa)</p>
Testagem de sequência didática / recurso para o desenvolvimento de uma aprendizagem significativa	57,15% (T02, T03, T04 e T07)	<p>T02 – “[...] desenvolver potencialmente uma aprendizagem significativa em aulas de química no ensino médio utilizando como recurso um software [...]” (p. 38).</p> <p>T03 – “Esquemas automatizados (mapas conceituais) implicam em maiores chances de aprendizagem significativa uma vez que há mais recursos disponíveis para codificar novas informações a partir do acionamento de conhecimentos prévios” (p.46).</p> <p>T04 – “[...] sua integração com a história e com conteúdos da disciplina de Química permitiu a elaboração estratégias para o ensino significativo da disciplina em instituições escolares de Nível Médio” (p. 50).</p> <p>T07 – “[...] buscamos implementar uma Sequência Didática inédita e diferenciada no Ensino Médio com o intuito de proporcionar a Aprendizagem Significativa de conceitos de Física Quântica” (p.81).</p>

Fonte: Autores (2022).

A partir da interpretação dos resultados por meio da categorização, percebe-se que os estudos que envolvem o entendimento dos Modelos Atômicos embasados na TAS são os que mais se aproximam do escopo prévio da pesquisa, isso por que, como mencionado por Lima (2018), o estudo dos Orbitais Atômicos favorece a compreensão da estrutura atômica, das ligações química e das propriedades das substâncias.

Além disso, foi possível verificar uma forte valorização dos conhecimentos prévios dos alunos, o que corrobora com a teoria de Ausubel, assim como destaca Moreira (2012), quando explica que os novos conceitos devem interagir com os “subsunoçores” do discente, de forma substantiva e não-arbitrária, isto é, quando o aluno consegue extrair a essência daquele novo conceito, e não apenas memoriza tal qual o autor/professor mencionou.

Porém, além dos conhecimentos prévios, a TAS menciona uma série de princípios cognitivos para o processo de ensino, conhecidos como Princípios Programáticos, a diferenciação progressiva, a reconciliação integradora, a organização sequencial e a consolidação. De acordo com Moreira (2012), os dois primeiros princípios, são processos que resultam da capacidade de diferenciar conceitos mais gerais a ideias mais específicas e vice-versa. Já a organização sequencial, traz a ideia de se trabalhar os conceitos de forma hierárquica, dessa forma, um assunto anterior deve ser pré-requisito para a compreensão de um novo tópico. Por fim, na consolidação, o aluno deve conseguir aplicar os conceitos construídos na resolução de uma questão de contexto real.

Dos 7 trabalhos, apenas 1 apresentou ideias que vão além dos conhecimentos prévios dos alunos, utilizando-se dos Princípios Programáticos. No texto T07, o autor discute a elaboração de uma sequência didática como uma “Unidade de Ensino Potencialmente Significativa” baseando-se na TAS, para o ensino de semicondutores. O autor conclui que o produto desenvolvido permitiu a aquisição de novos subsunoçores que serviram como indícios para uma aprendizagem significativa.

5. Conclusão

Esse trabalho de revisão sistemática se propôs a buscar na literatura especializada possíveis abordagens da temática Orbitais Atômicos aliadas aos princípios da teoria ausubeliana. Como resultados de pesquisa, verificou-se uma escassez de trabalhos voltados para essa discussão. Outro achado desta pesquisa foi o de que essa temática de química tem se relacionado na literatura, majoritariamente, com o estudo dos modelos atômicos, isso porque, os orbitais fazem parte do estudo na mecânica quântica que explica o modelo atômico atual.

Outro achado desse artigo foi o de que, apesar de haver uma disseminação das ideias de Ausubel na comunidade acadêmica, os trabalhos que dizem se basear em seus pressupostos mencionam quase sempre, apenas um dos pontos levantados pela TAS, os conhecimentos prévios dos alunos, deixando de integrar os princípios programáticos que são mencionados nessa teoria.

Portanto, como trabalhos futuros recomenda-se que sejam testadas novas *strings* de busca, além de uma ampliação das bases de dados e do recorte temporal para uma verificação mais ampla desse estudo. Também se preconiza que sejam desenvolvidos estudos que trabalhem o ensino dos Orbitais Atômicos a partir das ideias propostas por Ausubel em sua teoria para que se ampliem as possibilidades de aprendizagem significativa nessa temática, essencial para a compreensão da estrutura da matéria.

Referências

- Aguiar, J. G. (2018). *Mapas conceituais como material instrucional em Química: estratégias que minimizam a desorientação do aluno e potencializam a aprendizagem de conceitos científicos* (Tese de Doutorado). Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, SP, Brasil. doi: 10.11606/T.81.2018.tde-16072018-135008
- Allred, Z. D. R. (2019). *Investigating students' understandings about the electronic structure of the atom with regards to energy quantization and probability* (Tese de Doutorado). Department of Chemistry and Biochemistry, Miami University, Ohio, United States. Recuperado de http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=miami155532358971407
- Ausubel, D. P. (2003). *Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva*. Plátano-Edições Técnicas.
- Ausubel, D. P., Novak, J. D. & Hanesian, H. (1998). *Psicologia Educacional*. (2. Ed.) Interamericana.
- Autschbach, J. (2012). Orbitals: some fiction and some facts. *Journal of Chemical Education*, 89 (8), 1032-1040. doi: 10.1021/ed200673w

Bardin, Laurence. (2011). *Análise de Conteúdo*. Almedina.

Campos, G. C. (2016). *Noções de física quântica a partir do estudo do funcionamento de dispositivos semicondutores – uma unidade de ensino potencialmente significativa para 3ª Série do Ensino Médio* (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, BA, Brasil. Recuperado de <http://tede2.uefs.br:8080/handle/tede/926>

Galdino, N. M. (2021). *O que a dança tem a ver com a Química? Uma estratégia baseada na aprendizagem significativa para o ensino de estados de agregação da matéria*. 48f. Trabalho de conclusão de curso (graduação em Licenciatura em Química) - Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Giffoni, J. S., Barroso, M. C. S. & Sampaio, C. G. (2020). Aprendizagem significativa no ensino de Química: uma abordagem ciência, tecnologia e sociedade. *Research, Society and Development*, 9 (6), 1-14. doi: 10.33448/rsd-v9i6.3416

Guimarães, C. C. (2009). Experimentação no Ensino de Química: Caminhos e Descaminhos Rumo à Aprendizagem Significativa. *Química Nova na Escola*, 31 (3), 198-202. http://qnesc.sbg.org.br/online/qnesc31_3/.

Junior, S. J. B. (2021). *Modelos mentais e aprendizagem significativa: átomos e moléculas para estudo de caso com licenciandos de física em curso de física moderna* (Dissertação de Mestrado). Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, PE, Brasil. Recuperado de <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/44523>

Kitchenham, B. & Charters, S. (2007). Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. *Technical Report EBSE*, Keele University and Durham University Joint Report.

Lima, G. C. (2018). *Neurociências e teorias da educação: estratégia que buscam a eficiência na aprendizagem* (Trabalho de Conclusão de Curso). Instituto de Química, Universidade Federal de Fluminense, Niterói, RJ, Brasil.

Lima, M. M. (2018). *Orbital atômico: aprendizagem e desenvolvimento do conceito por estudantes de química* (Dissertação de Mestrado). Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, Brasil. Recuperado de <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/28868>

Moreira, M. A. (2012). O que é afinal aprendizagem significativa? *Curriculum*, Espanha, 25, 29-56. <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf>.

Moura, L. P. & Neves, N. N. (2021). Aprendizagem significativa no ensino de química: uso da temática alimentação como organizador prévio. *Conexão na Amazônia*, 2, 53-66. <https://periodicos.ifac.edu.br/index.php/revistarca/article/download/77/64>.

Ndoile, M. M. (2021). Knowledge of atomic structure, bonding and bonding energy: research results from interviews and questionnaire with chemistry and life science students. *African Journal of Chemical Education*, 11 (1), 138-161. <https://www.ajol.info/index.php/ajce/article/view/205325>.

Pereira, C. F. C., Rocha, A. B., Martinhon, P. T., Rocha, A. S. & Sousa, C. (2017). Contextualização Histórico-Filosófica de Orbitais Atômicos e Moleculares. *História da Ciência e Ensino Construindo Interfaces*, 16, 18-35.

Silva, M. A. S. (2020). *Teoria do orbital molecular, um proposta de aplicação no Ensino Médio de Química* (Dissertação de Mestrado). Programa de Mestrado Profissional em Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.

Silveira, F. A., Vasconcelos, A. K. P. & Sampaio, C. G. (2019). Análise do jogo MixQuímico no ensino de química segundo o contexto da teoria da aprendizagem significativa. *R. bras. Ens. Ci. Tecnol.*, Ponta Grossa, 12 (2), 248-269. doi: 10.3895/rbect.v12n2.8153.

Taber, K. S. (2004). Learning quanta: barriers to stimulating transitions in student understanding of orbital ideas. *Science Education*, 89 (1), 94-116.

Tsarpalis, G. & Papaphotis, G. (2009). High school students' conceptual difficulties and attempts at conceptual change: the case of basic quantum chemical concepts. *International Journal of Science Education*, 31 (7), 895-930. doi: 10.1080/09500690801891908.