

Representações Esquemáticas das Ligações Químicas: Um Estudo com Alunos do Nível Secundário Apoiado por Recursos Digitais

Schematic Representations of Chemical Bonds: A Study with High School Students Supported by Digital Resources

Filipe J. P. Costa,^a  Carla Morais^{b,*} 

^a Escola Básica 2, 3 Damião de Góis – Agrupamento de Escolas D. Dinis.

Sede: Rua Manuel Teixeira Gomes s/n, 1950 – 186, Lisboa, Portugal

^b CIQUP, IMS, Universidade do Porto, Faculdade de Ciências, Unidade de Ensino das Ciências, Rua do Campo Alegre s/n, 4169-007, Porto, Portugal

*E-mail: cmorais@fc.up.pt

Submissão: 22 de Agosto de 2024

Aceite: 16 de Dezembro de 2024

Publicado online: 7 de Janeiro de 2025

The subject of chemical bonding is formal in nature and prone to the development of errors among students. This research was carried out at the beginning of the instruction on this subject in secondary education. It employed representations of the three types of chemical bonds to help students define and differentiate them. The participants were 27 students, from a 10th grade class in a school in Portugal, who faced conceptual and representational difficulties related to this topic. A pedagogical intervention, incorporating digital resources, was implemented to help them overcome these difficulties. Data collection instruments included a questionnaire (administered as both a pre-test and post-test), a post-class question, and an interview to gather students' opinions on the digital resources used, as well as the difficulties they experienced before and after learning this topic. The results show significant improvements in the second questionnaire compared to the first, although not all difficulties were overcome. Overall, students found the digital resources beneficial to their learning and offered suggestions for further improvement. This study underscores the importance of these resources in enhancing the teaching and learning of chemical bond representations and presents student feedback through interviews, providing firsthand insights into the effectiveness of these tools.

Keywords: Digital representations; learning difficulties; chemical bonds; secondary education; pedagogical intervention; qualitative research.

1. Introdução

No passado ensinava-se sem refletir muito acerca do modo como os jovens aprendem. Atualmente sabe-se que é preciso ter em consideração três aspetos: a maneira como se transmite a mensagem, os receptores da mensagem e a natureza da própria mensagem.¹ A linguagem adotada para tal deve ser cautelosamente trabalhada em interação com os estudantes buscando o seu *feedback* sobre a percepção que estes têm dos termos utilizados ao ensinar um dado conceito.² Estas reflexões, que começaram a ser destacadas na década de 1990, marcaram um ponto de partida importante. No entanto, os estudos mais recentes trouxeram novos entendimentos sobre o ensino e a aprendizagem das ciências, especialmente com a integração de tecnologias digitais.³ Hoje, sabe-se que explorar conceitos complexos de forma interativa e imersiva, torna-os mais acessíveis e compreensíveis.⁴ Torna-se, portanto, difícil ensinar e aprender ciência se não se tiver isso em consideração, pois nesse caso não se identificam nem se vencem os obstáculos. Torna-se ainda mais difícil se os conceitos forem abstratos, ou seja, se estes estiverem carregados de elementos que não se conseguem concretizar através de exemplos sensoriais como os do quotidiano.⁵ Ora os adolescentes e jovens adultos não estão habituados, nem têm experiência em construir conceitos sem recurso aos sentidos.¹ Para além disso, de modo particular nos conceitos relacionados com o tema das ligações químicas, existe um pensamento multinível, muito frequente e que envolve os níveis, macro, micro (ou submicro) e representacional (ou simbólico).¹ O nível macroscópico, envolve fenómenos observáveis; o nível microscópico (ou submicroscópico), explica esses fenómenos por meio do comportamento de átomos, iões e moléculas; e o nível representacional (ou simbólico), que utiliza símbolos, fórmulas e equações para representar conceitos e reações químicas. A compreensão completa da química envolve conectar o que é observado no nível macroscópico com o comportamento molecular subjacente no nível microscópico e expressar esses conceitos usando a linguagem simbólica da química.

As dificuldades conceptuais que os alunos encontram quando tentam compreender

as ligações químicas levam muitos deles a recorrer à aprendizagem mecânica e à formação de numerosos conceitos errados.⁶ Isto deve-se muito à prevalência do ensino tradicional nas escolas, mas também à simplificação excessiva dos modelos usados nos seus livros didáticos.⁶ Aliás muitos mal entendidos podem surgir na apresentação de uma representação muito limitada e por vezes incorreta das características relacionadas com a ligação química.⁶ Contrariamente ao desejado,⁷⁻⁸ é comum os manuais didáticos não mencionarem o contínuo de ligação covalente e iónica apresentando, ambas de forma separada, independente e intercalada pela ligação metálica, a qual por sua vez, os alunos tendencialmente não admitem como ligação química.⁸ Isto posteriormente impede os alunos de reconhecerem a polaridade das ligações como consequência desse contínuo.⁸⁻⁹ Estes manuais tendem a ter representações e modelos demasiado simplificados que conduzem posteriormente a generalizações excessivas. Os alunos tendem por isso a ficar com uma compreensão muito superficial da ligação química.¹⁰

No ensino do tema da ligação química também ocorrem falhas relacionadas com a definição de qualquer tipo de ligação química apenas em função do sucedido aos eletrões de valência,¹¹ como por exemplo: referir a ligação iónica como uma transferência de eletrões entre átomos separados a fim de estes completarem as suas camadas de valência; a ligação covalente apenas como um par de eletrões compartilhado entre dois átomos de não-metais e a regra do octeto carregada de linguagem antropomórfica em que os átomos desejam adquirir configurações eletrónicas de gases nobres e, por isso, partilham eletrões entre si até o conseguirem,¹¹ como se estes fossem sencientes,¹² e realizassem um projeto de sustentabilidade de recursos e não um fenómeno físico.⁸ Outro aspeto decisivo é que os alunos têm muitas dificuldades em entender a natureza do fenómeno físico que origina as ligações químicas confundindo, interações com forças e estas com ligações e ligações químicas e isso também se deve a claras lacunas no ensino que por muitas vezes não explica o processo físico, ou quando o faz, usa essas terminologias mal empregues.⁸ Isto torna-se muito evidente, quando um aluno tenta explicar por palavras suas uma ligação iónica, composto que os alunos tendem a identificar como molecular tal como tendencialmente também fazem para a ligação metálica, pois replicam para estes compostos o modelo mental que têm para a ligação covalente (geralmente o de Lewis) e desse modo imaginam essas ligações como sendo estabelecidas entre um par de iões e não entendem que estes formam estruturas em rede.⁸ Uma forma com potencial de prevenir erroneidades e auxiliar o ensino é o recurso aos mais variados modelos/representações/diagramas de sistemas químicos. Estas ferramentas podem ajudar a compreender, do ponto de vista fenomenológico, os diferentes e abstratos aspetos inerentes a cada tipo de ligação química como, por exemplo, a sobreposição de orbitais atómicas,⁸ as “partilhas” de eletrões como

não paradas no espaço, as interações e os movimentos associados às cargas elétricas, as estruturas em rede que se possam formar, a polaridade entre outros.

É defensável, portanto, um ensino com recurso ao nível representacional que torne macro e facilite a abstração no mundo submicro.⁸ Um forte aliado das representações são os recursos digitais com animações. Nas animações as imagens são mostradas e estas ao executarem os movimentos pretendidos esclarecem de forma intuitiva e concreta o conceito abstrato. Deste modo torna-se mais tangível aquilo que seria muito difícil de transmitir por palavras, auxiliando assim o ensino e simultaneamente facilita a aprendizagem. Fornecer frases contendo definições só por si podem tornar mais difícil o entendimento de um conceito, pois os alunos terão dificuldades em dar-lhe sentido e contexto, sobrecarregando-os. Sendo os conceitos químicos muito abstratos, os alunos têm dificuldade em explicar os fenómenos químicos utilizando esses conceitos. Os conteúdos teóricos da química são, portanto, mais facilmente entendidos se forem vistos como um conjunto de modelos.¹⁰ Deste modo os modelos e as suas representações possuem um papel central no ensino/aprendizagem da Química.

De acordo com as “Aprendizagens Essenciais”,¹³ que se constituem como normativos curriculares portugueses, o tema da ligação química é introduzido no 9.º ano e revisitado com aprofundamento no 10.º ano.¹⁴

No que a este tema diz respeito, no 10.º ano pretende-se aprofundar o entendimento de que as ligações químicas são estabelecidas quando os átomos se encontram suficientemente próximos uns dos outros ao ponto de começarem a exercer atrações e repulsões eletrostáticas com significado até que estas atinjam um equilíbrio dinâmico. Estas ligações poderão ser classificadas em três tipos consoante o grau de partilha de eletrões: covalente em que ocorre a partilha localizada de pares de eletrões de valência, metálica quando a partilha de eletrões de valência é deslocalizada e iónica quando em vez de partilha ocorre cedência de eletrões de valência.¹⁵ Os eletrões de valência são simbolizados por um sistema de pontos denominado de notação de Lewis. Esta notação é a mais vulgarmente usada para representar as ligações covalentes embora em certos manuais também apareça associada à ligação iónica. Por isso é tão frequente os manuais didáticos não apresentarem representações distintas para os diferentes tipos de ligações químicas restringindo-se à notação de Lewis. Deste modo, os alunos utilizam-na para representarem não apenas as ligações covalentes, mas todas as restantes devido à sua simplicidade.¹⁶ É notório nesses manuais, que os três tipos de ligação química são negligenciados quanto a representações que vincadamente os distingam e que sejam de fácil interpretação e reprodução por parte dos alunos em qualquer ciclo de estudos em que este tema aparece nos seus currículos. Convém, porém, salientar que no 10.º ano é dado maior ênfase às ligações químicas de carácter covalente e às notações de Lewis.¹⁴

Torna-se mais acessível o ensino e aprendizagem se os conceitos forem relacionados com aquilo que os alunos já aprenderam em anos anteriores.¹⁷ Como este tema foi abordado pela primeira vez no 9.º ano,¹³ então torna-se pertinente, quando ele é reintroduzido no 10.º ano,¹⁴ fazer um levantamento prévio das dificuldades que os alunos possam ter. Para esse efeito foi elaborada uma ficha designada de pré-teste.

É, neste tema, igualmente pertinente que o docente tenha os conhecimentos acerca das representações adequadas, tais como modelos, animações, simulações, ilustrações, etc, que tornem explícitos os conceitos e ajudem os alunos a estabelecer relações entre os níveis macro e micro e representacional dos conceitos.¹⁷ São os recursos digitais que tornam possível o entendimento deste tema com base no modelo mental adequado, ou seja, com base nas forças eletrostáticas e não no preenchimento de camadas de valência.¹⁸

Atendendo ao previamente exposto, foi preparada uma intervenção pedagógica com recursos digitais para os diferentes tipos de ligações químicas e conduzida uma investigação que se regeu pelos seguintes objetivos:

1. Diagnosticar dificuldades relacionadas com o entendimento dos conceitos de ligação química covalente, metálica e iónica, em particular, no que respeita ao uso de representações esquemáticas das referidas ligações químicas.
2. Averiguar a superação de dificuldades relacionadas com o entendimento das ligações químicas e suas representações.
3. Conhecer e analisar, na opinião de alunos, o contributo dos recursos digitais utilizados para a sua aprendizagem acerca de ligação química.

Nas próximas secções do artigo, descreve-se com pormenor a amostra, os recursos digitais e as representações esquemáticas das ligações químicas, bem como os principais resultados obtidos e sua significância no campo da educação em química.

2. Experimental

2.1. Amostra

Este estudo utilizou uma metodologia qualitativa, centrada na compreensão dos fenómenos no contexto em que ocorrem, e com ênfase na descrição das experiências, percepções e significados.¹⁹ Os seus participantes foram 27 alunos da disciplina de Física e Química A de uma turma do 10.º ano de uma escola do distrito do Porto, em Portugal. A média de idades dos alunos era de 14,7 anos e a amostra era composta por 6 rapazes e 21 raparigas. Estes alunos frequentam o ensino secundário num curso de Ciências e Tecnologias, o qual por sua vez contém um domínio sobre ligação química,¹⁴ sendo que no ano anterior já terão sido lecionados conteúdos acerca desse tema.¹³

2.2. Recursos digitais e representações esquemáticas das ligações químicas

Para trabalhar as dificuldades, não só conceptuais, mas também representacionais dos alunos relacionadas com o tema da ligação química, foram pesquisados na internet recursos em formato vídeo, simulações computacionais, animações e imagens contendo representações 2D e 3D. Essa pesquisa foi muito ampla e satisfatória na medida em que se encontraram recursos digitais adequados para os diferentes tipos de ligações químicas. Algumas dessas representações tiveram de sofrer adaptações como recortes e reposicionamentos, a fim de tornar ainda mais claro o pretendido. Outras adaptações envolveram transformar em animações os vídeos encontrados, o que implicou para além das referidas adaptações, a conversão em formato de imagem. Os recursos encontrados foram, portanto, selecionados, adaptados e posteriormente integrados no *software* de projecção Microsoft Powerpoint® para serem oportunamente exibidos em aula. Foi dado muito ênfase às diferentes representações que podem ser feitas para os diferentes tipos de ligações químicas para assim os alunos terem um modelo mental distinto, descritivo e de fácil representação autónoma. As Figuras 1 a 3 são exemplos dos recursos digitais utilizados para essas representações. A versão completa dos recursos pode ser consultada em: <https://tinyurl.com/2pkf9waz>

As ligações químicas devem ser introduzidas partindo do fenómeno de natureza eletrostática que lhes dá origem.¹⁷ A contextualização e exemplos da vida real contribuem para melhorar o ambiente de aprendizagem, a compreensão e cativa os alunos para a Química.¹⁷ Nesse sentido, a intervenção pedagógica elaborada também não foi alheia a esse tipo de abordagem contextualizada e debruçou-se em materiais vulgarmente conhecidos - como por exemplo a dureza do diamante, a maleabilidade de um fio de cobre e o elevado ponto de fusão do sal de cozinha para explicar as propriedades desses materiais com base nos diferentes tipos de ligações químicas - como contextos de partida e de chegada para a leção deste tema. Desta forma a intervenção pedagógica foi, portanto, feita com base em representações adequadas a uma abordagem “macro-micro-macro”,¹ para a leção de cada tipo de ligação química: iniciava-se a leção partindo de materiais do quotidiano, seguido do tipo de ligação química que lhe diz respeito e, por fim, com base nesse tipo de ligação química, explicar a que se devem as suas propriedades.

As representações devem ser de diferentes graus de complexidade e distintas para evitar confusões: estas ideias também foram levadas em consideração para a seleção e compilação dessas representações que integraram a intervenção pedagógica.¹⁶⁻¹⁷ Esta intervenção consistiu em três aulas, totalizando 350 minutos de trabalho com os alunos. Para avaliar a estratégia de intervenção apresentamos, em seguida, os instrumentos de recolha e as técnicas de análise de dados utilizadas.

Ligação Covalente

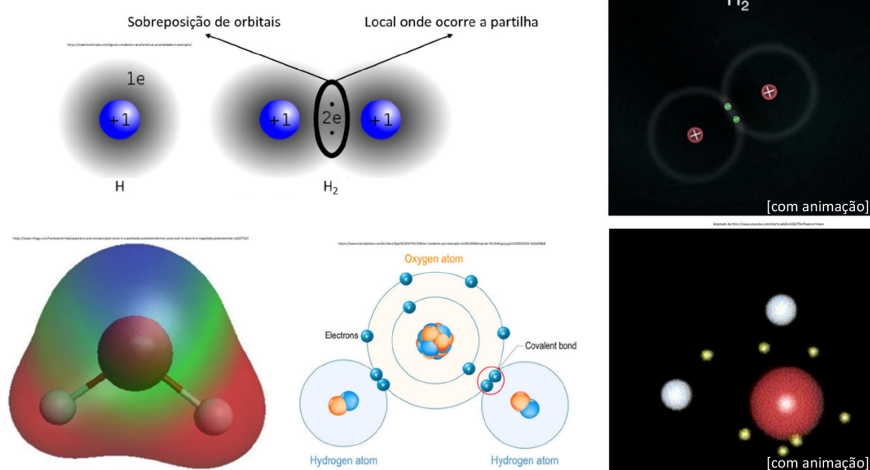


Figura 1. Exemplos de recursos digitais para representar as ligações químicas de caráter covalente existentes nas moléculas de di-hidrogénio (adaptado das referências 20 e 21) e da água (adaptado das referências 22, 23 e 24)

Ligação Metálica

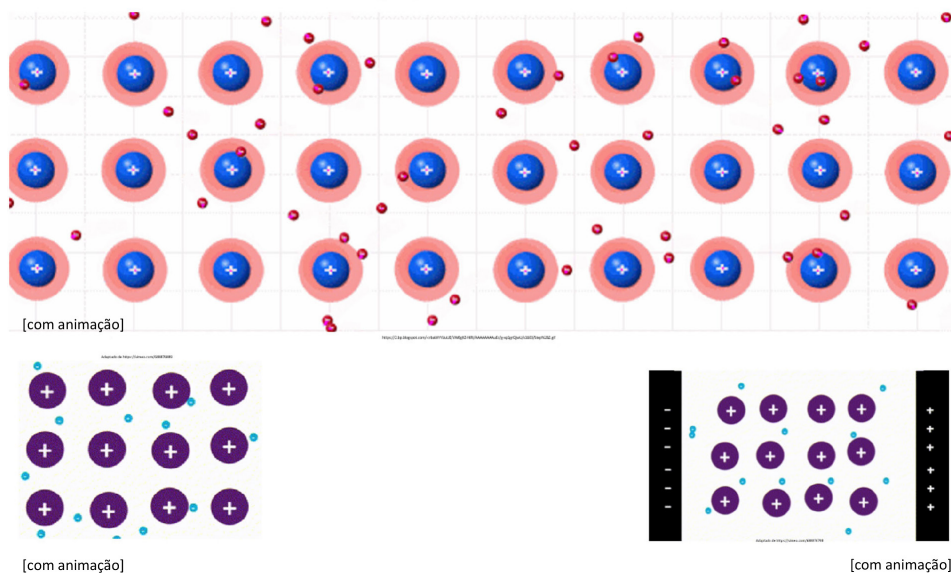


Figura 2. Exemplo de recursos digitais para representar as ligações químicas de caráter metálico (adaptado das referências 25, 26 e 27)

Ligação Iônica

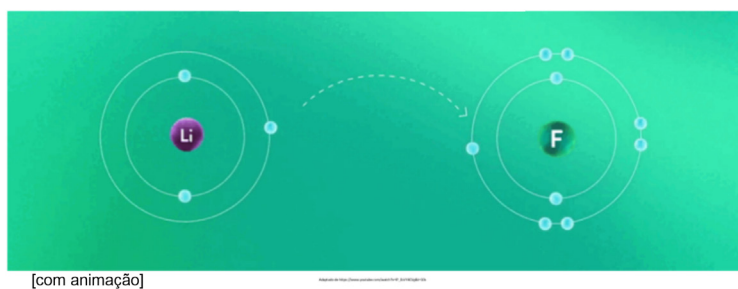


Figura 3. Exemplo de recursos digitais para representar a ligação química de caráter iônico (adaptado da referência 28)

2.3. Instrumentos de recolha e técnicas de análise de dados

Foi desenvolvido um questionário, que os alunos realizaram antes da lecionação do tema, doravante designado de pré-teste. O pré-teste era constituído por nove perguntas acerca dos conceitos relacionados com as ligações químicas, sendo que duas das perguntas eram de escolha múltipla e sete de resposta aberta.

Após a intervenção, foi realizada uma questão pós-aula na qual se solicitava aos alunos que realizassem as representações de três espécies químicas, cada uma correspondente a um tipo de ligação química distinto e foi realizado, novamente, o mesmo questionário inicial, doravante designado de pós-teste. Considerando que há poucos estudos que abordaram as impressões e *feedback* que os alunos possam ter acerca dos modelos e representações das ligações químicas,¹⁶ foram também realizadas entrevistas aos alunos no fim da intervenção para conhecer as dificuldades que estes tenham sentido, tanto em responder às questões que lhes foram formuladas no questionário, como também a opinião acerca das representações esquemáticas digitais utilizadas na intervenção.

Para o tratamento dos dados obtidos no pré-teste, pós-teste e na questão pós-aula recorreu-se a análise estatística descritiva. Todas as respostas dadas pelos alunos foram classificadas como certas ou erradas e a sua análise foi estruturada numa folha de cálculo a fim de perceber as diferenças de resultados entre o pré e pós-teste e a capacidade de representar os três tipos de ligações químicas. De modo particular do pré para o pós-teste, foi calculado o ganho de desempenho a fim de perceber se ocorreram ou não melhorias, mas também para qualificá-las e quantificá-las. Este ganho de desempenho, *g*, em cada questão foi calculado com recurso às classificações expressas em percentagem fazendo o quociente entre o ganho médio real, *gmr*, que é o resultado que se obtém através da diferença de classificações obtidas no pós-teste, *%pós*, e no pré-teste, *%pré*, e o ganho médio possível, *gmp*, que é o resultado que se obtém através da diferença entre 100 e a classificação obtida no pré-teste,²⁶ como mostram as seguintes igualdades:

$$g = \frac{\text{ganho médio real}}{\text{ganho médio possível}} = \frac{gmr}{gmp} = \frac{\%pós - \%pré}{100 - \%pré}$$

O ganho de desempenho pode ser considerado elevado, quando este é superior ou igual a 0,7, razoável quando este é superior ou igual a 0,3 e inferior a 0,7 e baixo quando este é inferior a 0,3.²⁹

Para tratamento dos dados obtidos na entrevista, recorreu-se à análise de conteúdo.³⁰ No processo de análise de conteúdo, as unidades de contexto foram identificadas através da leitura inicial dos dados da entrevista, selecionando trechos relevantes para o estudo. A partir destes trechos, foram extraídas as unidades de análise, que corresponderam a palavras ou frases que refletiam conceitos chave. Estas unidades de análise foram agrupadas em categorias, conforme indicado no Quadro 1, com base em semelhanças temáticas, após uma leitura cuidadosa e repetida dos dados. O processo de leitura e categorização foi fundamental para assegurar a consistência e clareza na interpretação dos dados.

3. Resultados e Discussão

Nesta secção irão ser apresentados e discutidos os resultados do pré-teste, pós-teste, questão pós-aula e das entrevistas realizadas aos alunos. O número total de alunos que fizeram tanto o pré como o pós-teste é 17. Sendo por isso comparáveis os resultados dos testes deste conjunto de alunos. No entanto, o número total de alunos que fez simultaneamente o pré-teste, o pós-teste e a questão pós-aula é 16.

3.1. Pré-teste

Os resultados dos 17 alunos que também fizeram o pós-teste são apresentados na Figura 4.

É notória a prevalência de respostas erradas: ocorreu um número bastante mais acentuado de respostas erradas (assinaladas a vermelho) do que de respostas certas (assinaladas a verde). Percebe-se que a questão 2, relacionada com as representações das ligações químicas, e a questão 9, relacionada com a condutividade elétrica de substâncias iónicas no estado líquido, não tiveram qualquer resposta certa.

Apenas a questão 4, relacionada com o tipo de substâncias originadas pelas ligações iónicas, e a questão 5, que solicitava exemplos de compostos iónicos, tiveram mais respostas certas do que respostas erradas.

Quadro 1. Estrutura de categorização da entrevista aos alunos

Categorias	Subcategorias	Descrição
A. Dificuldades prévias	A1. Conceitos A2. Representações	Lecionação em termos conceituais e representacionais do tema da ligação química no ano curricular anterior.
B. Dificuldades pós	B1. Conceitos B2. Representações	Dificuldades que ainda estão presentes após a intervenção: conceituais, representacionais, outras.
C. Representações dos tipos de ligação química		Contributo das representações digitais utilizadas.

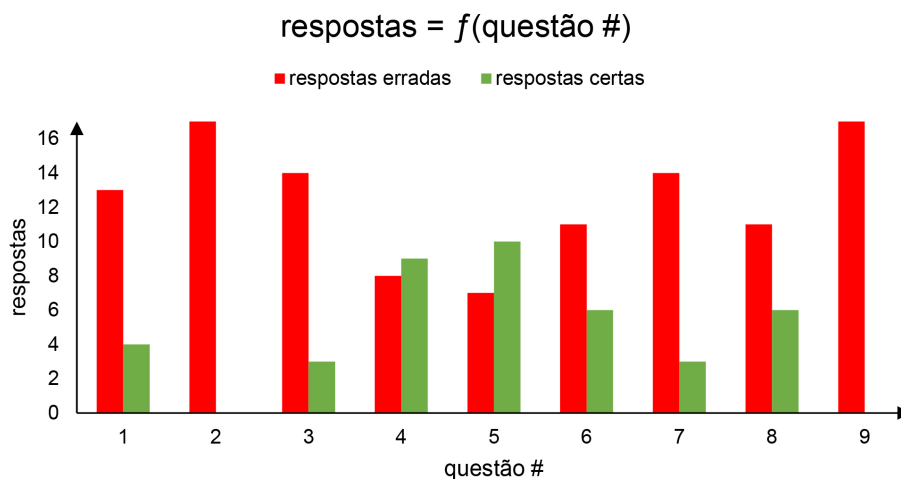


Figura 4. Resultados das respostas dadas ao pré-teste

A questão 1, que solicitava a definição de ligação iônica, e a questão 3 relacionada, com a representação das etapas de formação desse tipo de ligação, tiveram um número de respostas erradas muito significativo. O mesmo sucedeu com as questões 6, 7 e 8 em que a questão 6 era referente à classificação das substâncias referidas na questão 5, a questão 7 está relacionada com fórmulas químicas de compostos iônicos, cuja nomenclatura havia sido apresentada na questão 5, e a questão 8 referia-se à representação tridimensional de um composto iônico.

É perceptível neste pré-teste a existência de muitas dificuldades a nível conceptual devido às respostas erradas dadas pelos alunos às questões 1, 6, 7 e 9. Também se percebe neste pré-teste a existência de muitas dificuldades a nível representacional através das repostas erradas dadas pelos alunos às questões desse cariz sendo elas as questões 2, 3 e 8. Estes resultados e dificuldades sugerem a pertinência e a necessidade da intervenção nos moldes em que esta foi feita, pois os alunos evidenciaram não terem estabelecidas relações entre os níveis macro, micro e representacionais.¹ Estes resultados, também, sugerem que o ensino e aprendizagem deste tema não será fácil para esta turma, uma vez que os alunos têm pouco presentes os conceitos

com ele relacionados. Tudo isto dá suporte à conveniência da realização deste pré-teste, que se revelou decisivo para melhor se estruturar a intervenção.¹⁷

3.2. Pós-teste

Os resultados dos 17 alunos que responderam estão demonstrados na Figura 5.

À primeira vista é evidente uma melhoria geral: o pós-teste tem um número de respostas certas maior do que o número de respostas certas obtidas no pré-teste. Mais adiante irá ser analisada e discutida criticamente a extensão dessa melhoria. Para além das questões 4 e 5 que por sua vez tiveram um aumento de respostas certas face ao pré-teste, também as questões 3 e 8 tiveram mais respostas certas do que respostas erradas sendo por isso sinal de melhoria. Também é evidente para as questões 2 e 9, que houve uma melhoria significativa: do pré para o pós-teste passou a haver respostas certas. Para a questão 7 e para a questão 6 o número de respostas certas face às erradas também apresenta uma melhoria em relação ao pré-teste. Apenas o resultado da questão 1 se manteve quase igual face ao pré-teste.

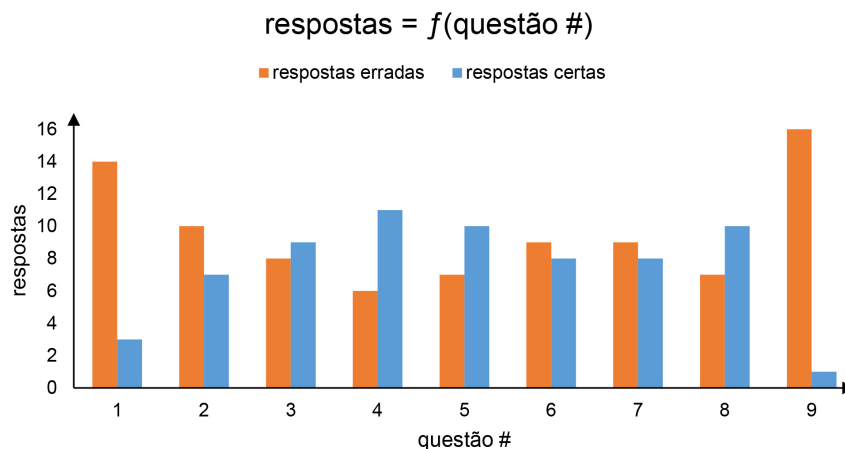


Figura 5. Resultados das respostas dadas ao pós-teste

No entanto, a existência e prevalência de respostas erradas dadas pelos alunos às questões 1, 6, 7 e 9 revelam que as dificuldades a nível conceptual não foram superadas, embora se encontrem desta vez menos longe de o serem. Também se percebe neste pós-teste a não superação de todas as dificuldades a nível representacional através da existência de repostas erradas dadas pelos alunos às questões dessa tipologia sendo elas a 2, 3 e 8. A Figura 6 apresenta de forma integrada os resultados de ambos os testes e a Figura 7 e sua discussão descrevem os desempenhos dos alunos em cada questão.

O gráfico da Figura 6 torna explícito que do pré para o pós-teste houve, de um modo geral, um decréscimo das respostas erradas e um aumento das respostas certas. No entanto, as questões em que no pós-teste o número de respostas erradas continua a superar o número de respostas certas são: 1, 2, 6, 7 e 9. Por isso estas foram retomadas com os estudantes para análise em entrevista.

Apresenta-se também a Figura 7 para se perceber quantitativamente para todas as questões, quais foram os ganhos de desempenho,²⁹ dos alunos no pós-teste face ao pré-teste:

No gráfico da Figura 7 ficou legendado com cor azul as questões em que o ganho de desempenho foi razoável, a

laranja as questões em que o ganho de desempenho foi baixo e a vermelho o caso em que houve perda de desempenho. Nas questões 2, 3, 7 e 8, o ganho de desempenho face ao pré-teste pode ser considerado como razoável (quando este é superior ou igual a 0,3 e inferior a 0,7),²⁹ ou seja, foram as questões de natureza representacional 2, 3 e 8 que tiveram maior ganho de desempenho, uma vez que a intervenção incidiu mais insistentemente nas representações. Já as questões 4, 6 e 9 tiveram um ganho de desempenho baixo (quando este é inferior a 0,3),²⁹ sendo essas questões de natureza conceptual. Por outro lado, a questão 1 de natureza conceptual, devido à perda de uma resposta certa do pré para o pós-teste, teve perda de desempenho. Nenhum ganho ou perda de desempenho ocorreu na questão 5 de natureza conceptual. Também não ocorreu do pré para o pós-teste nenhum ganho de desempenho que possa ser considerado elevado (superior ou igual, a 0,7).²⁹

3.3. Questão pós-aula

A questão pós-aula da ficha de trabalho consistia em representar as ligações químicas existentes no dióxigénio, no alumínio e no fluoreto de cálcio. Pretendia-se com esta questão avaliar a capacidade de os alunos representarem



Figura 6. Resultados das respostas dadas ao pré-teste e ao pós-teste

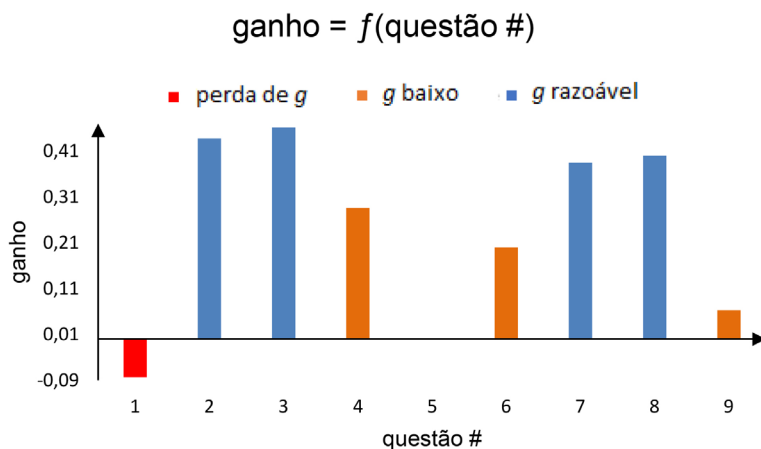


Figura 7. Ganho de desempenho dos alunos no pós-teste face ao pré-teste

ligações químicas após a intervenção, pois esta é uma maneira de se avaliar a estratégia adotada na mesma.¹⁷ Apenas se consideraram como certas as respostas em que os alunos conseguiram representar simultaneamente os três tipos de ligações químicas. Dos alunos que responderam, 16 realizaram o pré e pós-teste, pelo que só serão considerados esse conjunto de alunos. O total das respostas certas e erradas é apresentado no gráfico da Figura 8.

Existe um número de respostas certas superior ao número de respostas erradas pelo que a maioria destes 16 alunos souberam representar simultaneamente os três tipos de ligações químicas. O facto de haver mais respostas certas do que erradas nesta pergunta sugere,¹⁶ que as representações adotadas na intervenção foram de um modo geral adequadas para estes 16 alunos. No entanto, salienta-se ainda um número bastante significativo de alunos, cerca de metade da amostra, que não conseguiu representar simultaneamente os três tipos de ligações químicas. Isto é evidência de que as representações adotadas e o modo como foram apresentadas devem ser alvo de adaptações e melhorias.

Apresentam-se dois exemplos de respostas certas (Figura 9) e outros dois de respostas erradas (Figura 10).

Existem, portanto, algumas evidências de que a estratégia de intervenção apoiada pelos recursos digitais tenham contribuído para o aproveitamento evidenciado pelos alunos, em linha com o sucedido no estudo sobre o mesmo tema que também recorreu ao uso de recursos digitais, para elucidar os alunos acerca das forças e energias envolvidas numa ligação química.¹⁸ É no entanto, também evidente que o aproveitamento alcançado ainda se encontra longe do pretendido. A estratégia adotada mostrou ter

potencial para a aprendizagem dos alunos neste tema, mas para que os resultados sejam mais satisfatórios, os recursos digitais devem ser aperfeiçoados e alvo de mais incidente exploração.

3.4. Entrevistas realizadas aos alunos

Foi solicitado aos alunos que participaram nas três recolhas de dados (pré-teste, pós-teste e questão pós-aula) a sua participação na entrevista. Cinco encarregados de educação consentiram a participação dos seus educandos na mesma entrevista. Para cada uma das categorias e subcategorias consideradas apresentam-se os resultados obtidos dos cinco alunos entrevistados. As respostas e opiniões dos alunos serão demonstradas através de citações. Enquanto as entrevistas eram realizadas, cada entrevistado tinha à sua frente no ecrã de um computador o guião da mesma, bem como a ficha pré/pós-teste, a questão pós-aula e os recursos digitais da intervenção pedagógica que foram oportunamente exibidos, quando as questões que lhes eram feitas assim o exigiam.

3.5. Dificuldades prévias

Esta categoria pretendia apurar se as dificuldades que os alunos tiveram em responder ao pré-teste se deveu ou não ao facto de o tema da ligação química não ter sido lecionado no ano curricular anterior. No caso de este tema ter sido lecionado, pretendeu-se também apurar quais foram as dificuldades que os alunos possam ter tido.



Figura 8. Resultados das respostas dadas à questão pós-aula

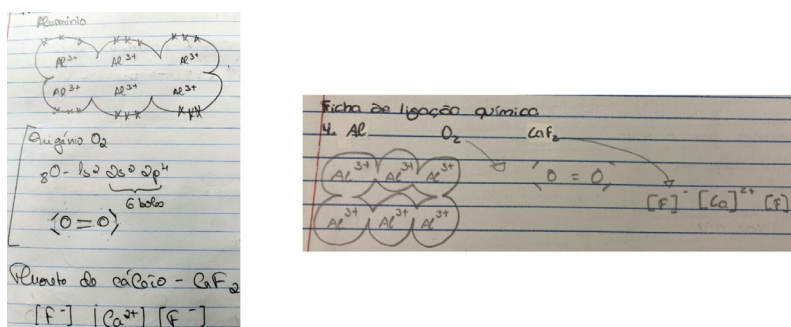


Figura 9. Exemplos de respostas certas na questão pós-aula

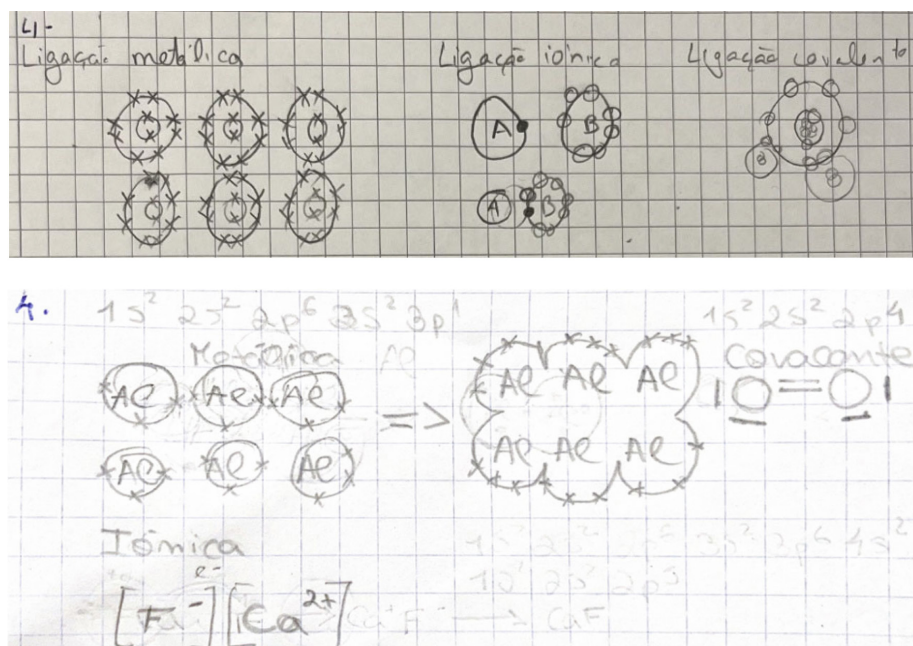


Figura 10. Exemplos de respostas erradas na questão pós-aula

3.5.1. Conceitos

Efetivamente algumas lacunas conceptuais foram evidenciadas no pré-teste. Dois dos cinco alunos entrevistados revelaram que as suas dificuldades se deveram ao facto de no ano curricular anterior o tema da ligação química não ter sido lecionado:

“– Eu não dei isso, no 9.º ano não dei isso.” (Aluno, A1)

“– A maior dificuldade foi, de facto, [...] não ter sido lecionado [...] isso no ano anterior.” (Aluno, A2)

Também outras dificuldades foram evidenciadas por outros dois alunos tais como de memória:

“– Eu não me lembrava.” (Aluno, A3)

Outra dificuldade revelada por um aluno disse respeito a colocar em palavras suas as definições solicitadas:

“– eu acho que [...] é explicar por palavras minhas.” (Aluno, A4)

3.5.2. Representações

As lacunas representacionais foram mais evidentes no pré-teste. Dois dos cinco alunos entrevistados revelaram que as dificuldades se deveram ao facto de no ano curricular anterior não terem sido dadas representações das ligações químicas:

Um dos alunos revelou, embora sem ter a certeza, que tinha visto a representação de uma ligação química de carácter covalente existente na molécula de di-hidrogénio.

“– Só tinha visto... esta aqui.” (Aluno, A2)

“– A maior dificuldade que eu vi presente, para resolver o exercício, foi novamente de não ter sido lecionado isso no ano anterior.” (Aluno, A2)

Outros dois alunos dos cinco entrevistados, embora já lhes tivessem sido fornecidas representações das ligações químicas no 9.º ano, estas não foram as mais adequadas:

Um dos alunos revelou não fazer distinção entre as diferentes representações apresentadas.

“– Eu achava que queriam dizer quase todas a mesma coisa, só que eram com desenhos diferentes. Então não sabia qual era qual.” (Aluno, A3)

Outro dos alunos entrevistados revelou não saber quais das representações se poderiam referir a uma ligação iónica.

“– Eu antes não sabia quais eram as iónicas, não tinha a certeza...” (Aluno, A5)

Ficou evidente que a maioria das dificuldades, quer conceptuais, quer representacionais, esteve relacionada com a não leção deste tema no ano curricular anterior. Também é possível perceber que nos casos em que o tema foi lecionado, não foram usadas representações adequadas contrariamente ao que é sugerido que se faça para a leção do tema criando assim dificuldades.¹⁷ Uma possível explicação para as dificuldades conceptuais evidenciadas pelos alunos entrevistados poderá estar relacionada com a possibilidade de este tema não lhes ter sido lecionado no ano anterior com base no seu fenómeno físico.¹⁶⁻¹⁸ Outra possível explicação tem que ver com o facto de que as estratégias de ensino adotadas podem não ter alcançado todos os alunos, resultando num espectro de alunos mais elucidados sobre o tema, mas outros menos o que impele a uma diversificação dessas estratégias a fim incluir todos em função das suas características.

3.6. Dificuldades pós

Nesta categoria pretende-se apurar quais as dificuldades que ainda subsistiram após a intervenção sobre este tema. Serão analisadas as respostas que os alunos deram à

entrevista, relacionadas com as questões do pós-teste e com a questão pós-aula.

3.6.1. Conceitos

Após a intervenção existiram algumas dificuldades conceptuais remanescentes evidenciadas por três dos cinco alunos entrevistados.

Um dos alunos entrevistados revelou não saber para a questão 9 do pós-teste, que influência teria na condutividade elétrica de uma substância iónica os seus diferentes estados físicos.

“– Não sabia a diferença de estar no estado líquido ou nos outros estados.” (Aluno, A3)

Outro aluno revelou não conseguir ainda definir ligação iónica (questão 1 do pós-teste).

“– Eu acho que não consigo dar uma definição.” (Aluno, A2)

O mesmo entrevistado revelou a propósito da questão 7 do pós-teste que a sua maior dificuldade em indicar fórmulas químicas dos compostos iónicos se relacionava com as cargas dos iões.

“– [...] mas para escrever a fórmula química se eu tiver alguma dúvida, é mais quanto às cargas e não quanto a não saber identificar qual é o elemento.” (Aluno, A2)

A propósito da questão 9 do pós-teste outro aluno entrevistado explicou que a sua maior dificuldade foi entender o como seria a condutividade elétrica de um composto iónico no estado líquido dado que para ele apenas os metais conduzem corrente elétrica.

“– É eu fiquei meio na dúvida, porque supostamente uma ligação iónica é entre um metal e um não metal. Os metais conduzem a eletricidade e os não metais não. Então a mistura, não sabia bem o que é que ia dar.” (Aluno, A1)

3.6.2. Representações

Após a intervenção existiram algumas dificuldades relativamente às representações das ligações químicas presentes em quatro dos cinco alunos entrevistados e manifestadas tanto na questão pós-aula como no pós-teste.

Um dos alunos entrevistados revelou que as suas dificuldades se deviam a ter contactado com as representações das ligações químicas pela primeira vez durante a intervenção e, por isso, não tinha ainda o hábito de as representar.

“– Sim, eu nunca tinha feito antes.” (Aluno, A5)

Outros dois alunos revelaram que as suas dificuldades foram mais acentuadas nos tipos de ligação iónica e metálica e menos na covalente.

“– A do O_2 foi a que eu tive mais facilidade em realizar. Quanto às outras, foi as que eu apresentei mais dificuldades.

Porque também não me recordava. E ainda não tinha realizado um estudo.” (Aluno, A2)

“– Depende, o O_2 eu sabia representar... os outros dois, nem por isso.” (Aluno, A1)

O mesmo aluno revelou, no entanto, que na data da entrevista ainda tinha alguma dificuldade, mas desta vez somente quanto ao tipo de ligação iónica.

“– As metálicas e covalentes eu consigo fazer normalmente. As iónicas ainda tenho poucas dificuldades, mas melhor do que antes.” (Aluno, A1)

Outro aluno revelou, que ainda tinha dificuldades em representar os três tipos de ligações químicas e que por isso se baseou nos apontamentos que tinha tirado da intervenção para o caderno para responder à questão pós-aula.

“– Sim, eu fui ao caderno para os 3 para ver como é que se representava.” (Aluno, A3)

3.7. Representações dos tipos de ligação química

Nesta categoria pretende-se reunir as opiniões dos alunos acerca das representações digitais utilizadas na intervenção. Essas representações foram-lhes mostradas novamente durante a entrevista. Todos os alunos entrevistados consideraram que, em geral, foi benéfico para as suas aprendizagens o uso dessas representações. Tentou-se também apurar quais foram os benefícios que essas representações lhes trouxeram e sugestões de melhoria, as quais se apresentam de seguida.

Dois alunos revelaram que as representações digitais tornaram mais perceptíveis os conteúdos associados ao tema, tal como evidenciado pela literatura de investigação.¹⁷⁻¹⁸

“– Acho que ajudaram a perceber melhor o que é que acontecia.” (Aluno, A5)

“– Na parte das ligações iónicas, eu acho que as representações e simulações ajudaram-nos melhor a entender [...]” (Aluno, A2)

Outro aluno revelou que apesar de não gostar de ilustrar, as representações digitais ativaram o mecanismo de aprendizagem, memória visual, que na sua opinião o auxiliou no estudo tanto representacional como conceptual.

“– Sim, isso ajudou imenso. Só não gostei de uma partezinha: não gosto de desenhar é só essa parte que é difícil para mim. Desenhar as coisas. Mas sim as representações ajudaram imenso... memória visual eu tenho memória visual e, por exemplo, a estudar, lembrava-me dessas imagens e conseguia perceber melhor.” (Aluno, A1)

Outro aluno entrevistado, quando lhe foram novamente mostradas as representações digitais revelou quais foram especificamente as que o auxiliaram (covalente e metálica) e quais as que teve mais dificuldade em perceber inicialmente

(iônica). Este considera, que embora as representações utilizadas o tenham ajudado, estas se deviam fazer acompanhar de suporte textual para os restantes alunos conseguirem perceber na aula qual a ideia/mensagem conceptual que essas representações queriam transmitir e assim lhes facilitar posteriormente o estudo.

“– Essa ajudou mais ou menos, sim, a da ligação metálica ajudou. A da ligação iônica já... ao início fez um bocado de confusão, mas depois já percebi mais ou menos. Acho que sim, mas se além de imagens podia ter, por exemplo, sei lá, frases a dizer mais ou menos resumidamente, o que é que se vai falar. Para ajudar a reter a matéria... sim textos, frases, mesmo curtinhas... exato porque senão normalmente os alunos só ficam com a noção da imagem e depois se tivesse alguma coisa escrita, talvez eles ainda fiquem com isso retido, isso ajude, depois no estudo.” (Aluno, A4)

O mesmo aluno entrevistado explicou a que se deveu essa dificuldade em perceber inicialmente as representações digitais utilizadas para as ligações iônicas, pois as considerou de certo modo próximas das que foram utilizadas para representar as ligações covalentes. Também fez questão de frisar, que os modelos de representações adotados para introduzir e explicar as ligações metálicas lhe foram úteis, mas para as ligações covalentes achou serem complexos ao início, embora os tivesse entendido após a intervenção.

“– Faz lembrar mais ligações covalentes do que ligações iônicas. É esse tipo faz lembrar ligações metálicas. Esses dos eletrões deslocalizados sim, ajudou. Esse para as ligações covalentes no início parecia um bocado mais confuso. Mas depois já deu para entender melhor.” (Aluno, A4)

Estas respostas do aluno A4, ajudam a perceber, tal como refere a literatura de investigação,¹⁷ que as representações não são apenas vantajosas, pois podem possuir limitações.

4. Conclusões

Foi possível concluir que os alunos têm dificuldades no que diz respeito à aprendizagem do tema das ligações químicas, essas dificuldades poderão decorrer da forma de ensino deste tema, tanto no ano corrente como no precedente. A implementação de representações digitais foi apenas uma das muitas abordagens possíveis de melhoria no ensino deste tema e, a que foi de facto implementada na intervenção, também necessita de aperfeiçoamentos, alguns dos quais os alunos não deixaram de evidenciar em entrevista. Não é possível concluir se as melhorias tanto conceptuais como representacionais ocorridas do pré para o pós-teste se deveram exclusivamente à intervenção pedagógica, mas há indicadores muito favoráveis nesse sentido. Para além disso, existem outros fatores a ter em consideração como, por exemplo, nem todos os alunos aprendem à mesma velocidade, nem têm essas aprendizagens facilitadas da mesma forma. Há evidências

de que as representações digitais ativaram mecanismos de aprendizagem nos alunos, mas tal não significa que todos possuam a mesma receptividade. As observações feitas pelos alunos nas entrevistas foram construtivas e esclarecedoras. A opinião de que a intervenção ganharia tendo suporte textual e de que os modelos representacionais devem ser ainda mais distintos deixam margem para melhorias. Através das respostas recolhidas tanto nas entrevistas como à questão pós-aula, consegue-se perceber que alguns alunos ainda deram preferência às notações de Lewis para representar as ligações de carácter covalente devido à sua maior simplicidade, mas para representar os outros tipos de ligação química recorreram espontaneamente às representações que foram sugeridas na intervenção, embora com as nuances de que para a ligação de carácter iónico houve preferência, em alguns casos, de representá-la diretamente através da fórmula química dos iões deixando de parte as suas nuvens eletrónicas, o que também pode ser sinal de que essa poderá talvez ser uma melhoria para o próprio modelo representacional proposto na intervenção.

Agradecimentos

Este trabalho é financiado por fundos nacionais, através da FCT (Fundação para a Ciência e Tecnologia), no âmbito do financiamento plurianual da UID Centro de Investigação em Química da Universidade do Porto (CIQUP), com referência UIDB/00081/2020.

Referências Bibliográficas

1. Johnstone, A. H.; Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning* **1991**, 7, 75-83. [Crossref]
2. Machado, A., & Moura, A.; Concepções sobre o papel da linguagem no processo de elaboração conceitual em química. *Química Nova na Escola* **1995**, 2. [Link]
3. Morais, C.; Em *Recursos educativos digitais para o ensino de química: o caso das simulações computacionais e das atividades laboratoriais usando a plataforma comercial “arduino”*; I. N. Derossi, & L. C. Barboza, (Orgs.) Diálogos da educação científica e o ensino de química. Pedro & João Editores, São Carlos, Brasil **2023**, 87-104. [Crossref]
4. Spitha, N., Zhang, Y., Pazicni, S., Fullington, S. A., Morais, C., Rae Buchberger, A., & Doolittle, P. S.; Supporting submicroscopic reasoning in students' explanations of absorption phenomena using a simulation-based activity. *Chemistry Education Research and Practice* **2024**, 25, 133-150. [Crossref]
5. Morais, C., Araújo, J. L., & Saúde, I.; Awakening to chemistry through storytelling and practical activities: middle school students interacting with pre-school children. *Chemistry Education Research and Practice* **2019**, 20, 302-315. [Crossref]
6. Tsapalis, G., Pappa, E. T., & Byers, B.; Teaching and learning chemical bonding: research-based evidence for misconceptions

- and conceptual difficulties experienced by students in upper secondary schools and the effect of an enriched text [10.1039/C8RP00035B]. *Chemistry Education Research and Practice* **2018**, 19, 1253-1269. [Crossref]
7. Tsapalis, G., & Pappa, E.; Types of intra-and intermolecular bonding: the case of general chemistry textbooks, 8th ESERA Conference Lyon, France, **2011**. [Crossref]
 8. Taber, K.; Chemical Misconceptions: Prevention, diagnosis and cure: Theoretical background, Volume 1. *Royal Society of Chemistry* **2002**.
 9. Ballester, J., Pérez, M., Calatayud, M., Garcia-Lopera, R., Montesinos, J., & Gil, E.; Student's Misconceptions on Chemical Bonding: A Comparative Study between High School and First Year University Students. *Asian Journal of Education and e-Learning* **2017**, 5, 1. [Crossref]
 10. Nahum, T., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., & Taber, K.; Teaching and learning the concept of chemical bonding. *Studies in Science Education* **2010**, 46, 179-207. [Crossref]
 11. Taber, K. S.; An alternative conceptual framework from chemistry education. *International Journal of Science Education* **1998**, 20, 597-608. [Crossref]
 12. Taber, K. S.; Em *A common core to chemical conceptions: learners' conceptions of chemical stability, change and bonding*; Concepts of matter in science education, G. Tsapalis & H. Sevan (Eds.), **2013**, 391-418.
 13. Direção-Geral da Educação; *Aprendizagens essenciais*. Articulação com o perfil dos alunos. 9.º ano. Ensino básico. Físico-Química. Direção-Geral da Educação **2018**. [Link]
 14. Direção-Geral da Educação; *Aprendizagens essenciais*. Articulação com o perfil dos alunos. 10.º ano. Ensino secundário. Física e Química A. Direção-Geral da Educação **2018**. [Link]
 15. Chang R., & Overby J.; Em *Chemical Bonding I*; Chemistry (13 ed.). McGraw Hill, **2017**, cap 9.
 16. Becker, N. M., Hunter K. H., & Rodriguez J.-M. G.; A Review of Research on the Teaching and Learning of Chemical Bonding. *Journal of Chemical Education* **2022**, 99, 2451-2464. [Crossref]
 17. Coenders F. G. M., McKenney S., Pepin B., van Dulmen T. H. H. & Visser T. C.; Learning to teach chemical bonding: a framework for preservice teacher educators. *Chemistry Education Research and Practice* **2022**, 18. [Crossref]
 18. Levy S. T., & R. Zohar A. R.; Attraction vs. repulsion – learning about forces and energy in chemical bonding with the ELI-Chem simulation. *Chemistry Education Research and Practice* **2019**, 20, 667-684. [Crossref]
 19. Creswell, J. W.; *Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing Among Five Approaches*. SAGE Publications **2013**. [Link]
 20. Maestrovirtuale; *Ligação Covalente: Características, Propriedades e Exemplos* **2024**. [Link]
 21. Ygggra; Ygggra GIF. GIFER **2024**. [Link]
 22. tisz; *Ligação covalente por exemplo molécula de água (H₂O) - Ilustração em Alta Resolução*. iStockphoto LP **2024**. [Link]
 23. Chegg; *Question: part A Which atom, H or O, is positively polarized (electron-poor)? Part B Which atom, H or O, is negatively polarized (electron-rich)? Part C Is this*. Chegg Inc **2024**. [Link]
 24. @saniatalib3324; *Covalent bond/ How to make covalent bond?/ H₂O bond* **2024**. [Link]
 25. Esquembre, F., & Cano, M. J.; EJSS drift velocity model. Open Educational Resources / Open Source Physics @ Singapore **2024**. [Link]
 26. LEIFI_Vimeo; Animation Elektronengasmodell. Vimeo.com, Inc **2024**. [Link]
 27. LEIFI_Vimeo; Animation Elektrische Leitfähigkeit. Vimeo.com, Inc **2024**. [Link]
 28. Ysci; Chemical Bonds: Ionic and Covalent. Youtube **2024**. [Link]
 29. Hake, R. R.; Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics* **1998**, 66, 64-74. [Crossref]
 30. Bardin, L.; *Análise de Conteúdo*, Edições 70, **2002**.