

### **Joana Guilaes de Aguiar**

*Instituto de Química e  
Programa de Pós-  
Graduação em Ensino de  
Ciências da Natureza  
Universidade Federal  
Fluminense*  
joana\_aguiar@id.uff.br

### **Matheus Castro de Oliveira**

*Instituto de Química  
Universidade Federal  
Fluminense*  
matheus\_castro@id.uff.br

### **Andrews Yuri T. Nunes Neto**

*Instituto de Química  
Universidade Federal  
Fluminense*  
andrewsyuri@id.uff.br

### **Natalia Yasmin G. de Castro Belchior**

*Instituto de Química e  
Programa de Pós-  
Graduação em Ensino de  
Ciências da Natureza  
Universidade Federal  
Fluminense*  
nataliacastro@id.uff.br

#### **RESUMO**

A literatura aponta que hipertextos com conteúdo organizado na forma de mapas conceituais (MCs) podem potencializar o processo de ensino e aprendizagem. Entretanto, considerando pressupostos teóricos cognitivistas, a possibilidade de desorientação deve ser investigada para garantir a mais alta eficiência instrucional. Com metodologia quantitativa e *design* do tipo pré-pós-testes, alunos universitários ( $n = 22$ ) estudaram o tema “espontaneidade das transformações químicas” em um hipertexto linear/textual ou na forma de MCs. O objetivo foi avaliar o efeito do formato do hipertexto na aquisição de conhecimento, esforço mental, desorientação e usabilidade do sistema. Os resultados indicam que o hipertexto na forma de MCs favorece o ganho de conhecimento (processamento generativo) sem um aumento significativo do esforço mental (carga intrínseca) ou percepção de desorientação (carga extrínseca) pelos alunos. Isso implica maior eficiência instrucional deste hipertexto quando comparado aquele na forma de texto linear. Limitações da pesquisa e implicações educacionais são brevemente discutidas.

**Palavras-chave:** ensino de química, ensino superior, mapas conceituais, hipertexto, desorientação.

#### **ABSTRACT**

Literature suggests that hypertext content-organized as Concept Maps (CMs) can foster the process of teaching and learning. However, considering theoretical cognitive assumptions, the possibility of disorientation must be investigated to guarantee the highest instructional efficiency. Adopting a quantitative methodology and pre-test-post-test design, university students ( $n = 22$ ) studied the topic “spontaneity of chemical transformations” in a linear/textual hypertext or CMs format. The objective was to evaluate the effect of the hypertext format in the acquisition of knowledge, mental effort, disorientation and system usability. The results indicated that hypertext in the form of CMs helped knowledge gain (generative process) with no significant increase in students’ mental effort (intrinsic load) or perception of disorientation (extraneous load). This implies greater instructional efficiency of the CM hypertext over to the linear text one. Limitations of research and educational implications are briefly discussed.

**Keywords:** chemical education, higher education, concept maps, hypertext, disorientation.

#### **RESUMEN**

La literatura señala que los hipertextos con contenido organizado en forma de Mapas Conceptuales (MCs) pueden mejorar la enseñanza y aprendizaje. Sin embargo, considerando los supuestos teóricos cognitivos, se debe investigar la posibilidad de desorientación para asegurar la mayor eficiencia instrucional. Con metodología cuantitativa y diseño pre-post-test, los estudiantes universitarios ( $n = 22$ ) estudiaron el tema “espontaneidad de las transformaciones químicas” en un hipertexto textual o en forma de MCs. El objetivo fue evaluar el efecto del formato de hipertexto en la adquisición de conocimientos, esfuerzo mental, desorientación y usabilidad del sistema. Los resultados indican que el hipertexto en forma de MCs favorece la ganancia de conocimiento (procesamiento generativo) sin un aumento significativo del esfuerzo mental (carga intrínseca) o percepción de desorientación (carga extrínseca). Esto implica una mayor eficiencia instrucional de este hipertexto en comparación con la forma lineal. Se discuten brevemente las limitaciones de la investigación y las implicaciones educativas.

**Palabras clave:** enseñanza de la química, educación superior, mapas conceptuales, hipertexto, desorientación.

## 1. INTRODUÇÃO

Mapas Conceituais (MCs) são organizadores gráficos úteis para tornar explícita a relação entre conceitos por meio de proposições. Os conceitos são imersos em uma rede proposicional que permite processar informações usando texto, isto é, conteúdo semântico, em uma organização visuoespacial (Novak, 2010). Normalmente, os conceitos são hierarquicamente organizados e a rede de proposições responde a uma pergunta focal (Cañas & Novak, 2006).

Na década de 70 e, pautado na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (Ausubel 2000, Moreira, 2011), Novak e colaboradores desenvolveram os MCs como uma ferramenta capaz de tornar visível o conhecimento dos alunos sobre Biologia e, principalmente, identificar a ocorrência da aprendizagem pela modificação das estruturas de conhecimento desses alunos ao longo do tempo (Novak, 1977; Novak & Musonda, 1991). A partir desse momento, surgiram diversas pesquisas voltadas ao uso dos MCs com os mais diversos propósitos.

Ao longo das três últimas décadas, algumas revisões da literatura e meta-análises já foram conduzidas sobre o uso de MCs na educação. A meta-análise, publicada por Horton et al. (1993), reuniu 18 artigos e dissertações de mestrado, publicados entre 1980 e 1993, de estudos experimentais ou quase-experimentais que apresentavam o efeito do uso dos MCs como material instrucional nos resultados de aprendizagem e atitude dos alunos. A meta-análise, publicada por Nesbit e Adesope (2006), reuniu 122 artigos, dissertações e trabalhos em eventos, publicados entre 1975 e 2005, de estudos experimentais que comparavam o uso de MCs e mapas de conhecimento com outras ferramentas de ensino nas mais diversas situações educacionais. A revisão da literatura, publicada por Stevenson, Hartmeyer e Bentsen (2017), reuniu 17 artigos publicados entre 2006 e 2017, para analisar a potencialidade de tecnologias baseadas em MCs para promover a autorregulação da aprendizagem, limitada ao ensino de ciências em nível básico (fundamental e médio). Nestas revisões e em estudos mais recentes, os MCs são relatados como ferramentas metodológicas capazes de:

- Auxiliar os alunos a aprenderem a aprender (Novak, 1984).
- Ajudar os alunos a se engajarem em uma aprendizagem ativa (Blunt & Karpicke, 2014).
- Promover a aprendizagem colaborativa ou cooperativa (Torres & Marriott, 2010; Correia, Cicuto & Aguiar, 2014).
- Promover maior capacidade de processamento de informação na memória de trabalho (Hauser, Nückles & Renkl 2006; Huang, Milne, Frank & Witten, 2012).
- Avaliar o conhecimento conceitual dos alunos (Novak, 2002; Shavelson, Ruiz-Primo & Wiley, 2005; Burrows & Mooring 2015; Correia & Nardi, 2019).

- Promover a metacognição e autorregulação da aprendizagem (Lim, Lee & Grabowski, 2009).
- Elucidar a estrutura de um texto, melhorando a capacidade de compreensão de leitura (Redford, Thiede, Wiley & Griffin, 2012).

Considerando as revisões mencionadas, pode-se constatar que a maioria dos estudos descritos envolve o uso dos MCs como ferramenta de ensino por meio de atividades em que os alunos constroem ou elaboram MCs, sendo a maioria desses estudos voltados ao Ensino de Ciências (predominantemente Biologia). Além disso, estes mostram que o uso dos MCs usualmente leva a um aumento do ganho de conhecimento quando comparado a outras formas de instrução e/ou estudo. Apesar da potencialidade didática, menor atenção vem sendo despendida para compreender a utilidade dos MCs elaborados pelo professor como material de ensino ainda que alguns estudos confirmam que os resultados de aprendizagem podem ser potencializados quando os estudantes leem MCs feitos pelo professor em vez de quando os elaboram (e.g., Hwang, Kuo, Chen & Ho, 2004; Stull & Mayer, 2007; Hagemans, van der Meij & de Jong, 2013).

### 1.1 Mapas conceituais como hipertextos e o problema da desorientação

Assumindo a utilidade dos MCs como material de ensino, eles vêm sendo explorados como uma ferramenta capaz de auxiliar na organização e representação de conhecimento na forma de hipertextos, isto é, camadas de conteúdo (na forma de texto ou não) que podem ser acessadas sem uma ordem predefinida a partir de hiperlinks contidos no próprio material. No trabalho de Lacerda (2013), por exemplo, os MCs são elaborados por um grupo de alunos em torno de ideias centrais de cada investigação, onde ao final são publicadas como figuras em páginas da internet. Já o trabalho de Sakaguti (2004) apresenta a possibilidade do uso do aplicativo digital *CmapTools*® (IHMC, Florida) para elaboração dos MCs, gerando arquivos em formato .GIF e .HTML, assim como a integração com outras hipermídias, tornando cada MC criado em um hiperdocumento.

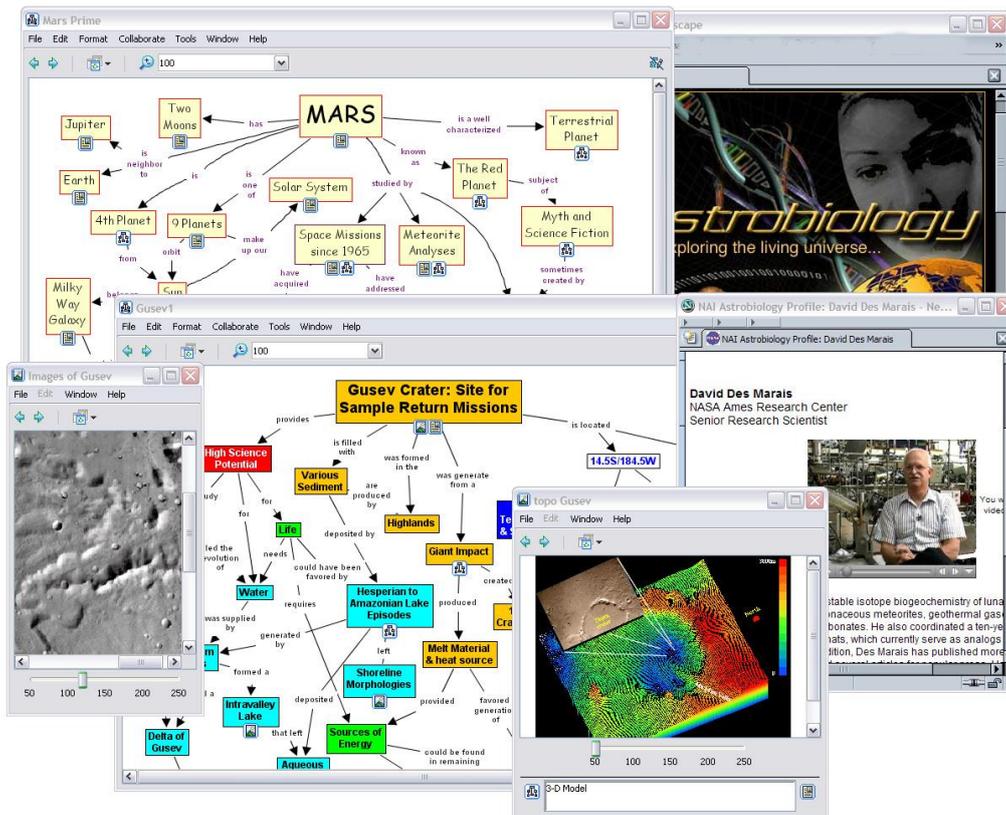
Em termos estruturais, uma página do *Wikipedia* na internet pode ser entendida como um hipertexto (Figura 1). Conceitos importantes, marcados em azul em um texto linear, indicam que há um hiperlink associado a eles, ao serem clicados levam a outros textos ou vídeos ou imagens. Um exemplo de hipertexto utilizando os MCs são os chamados modelos de conhecimento (Cañas, Ford & Coffey, 1994). A Figura 2 mostra várias janelas abertas como o resultado da navegação através de um modelo de conhecimento sobre Marte utilizado pela NASA em seu programa educacional (publicado em Cañas et al., 2004). O MC inicial (mapa “Marte”) é o ponto de entrada para esse hipertexto. Alguns conceitos nesse mapa têm pequenos ícones clicáveis embaixo deles (i.e., um hiperlink). Cada ícone representa um recurso que ao serem clicados, podem levar a outros MCs, imagens, esquemas, vídeos, textos e páginas da web. Briggs e colaboradores (2004) fazem uma descrição detalhada do modelo de conhecimento sobre “Marte” que inclui mais de 100 MCs e mais

de 600Mb de recursos digitais, disponíveis no servidor da NASA para navegação e compartilhamento.



**Figura 1** – Exemplo de uma página do Wikipedia sobre Educação que é um hipertexto, i.e., um texto com hiperlinks, que levam a outros recursos (texto, vídeos, imagens) ao serem clicados no próprio material.

Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Educação> [Acesso em fev. 21].



**Figura 2** – Exemplo de um modelo de conhecimento sobre Marte, ou seja, um hipertexto na qual um MC agrupa hyperlinks atrelados aos conceitos que, quando clicados, podem levar a outros MCs, imagens, vídeos, textos, sites da web etc.

Fonte: Cañas et al. (2004) – descrita em detalhes em Briggs, Shamma, Cañas, Carff, Scargle & Novak (2004).

Ao utilizar um hipertexto como um material de ensino (e.g., Dillon & Gabard, 1998; Unz & Hesse, 1999; Shapiro & Niederhauser, 2004) há um pressuposto de que o aluno saberá definir uma ordem de navegação que seja a mais adequada para o seu nível de conhecimento prévio e que, essa ordem, permitirá que ele recorde informações e construa novos esquemas mentais, levando a um ganho de conhecimento. Amparados na psicologia cognitiva, pesquisadores explicam que, durante o processamento de informação relevante contida no hipertexto, o aluno pode ser levado à desorientação, ou seja, na dificuldade em estabelecer a construção de uma representação mental do espaço físico e conceitual do hipertexto (Cress & Knabel, 2003). Segundo Schneider (2005) a desorientação pode ser definida como a “incapacidade de estabelecer rapidamente um modelo mental satisfatório, fornecendo uma espécie de estrutura ou esqueleto de conhecimento a ser desenvolvida a partir de mais informações” (p. 200-201; [tradução nossa]). De modo geral, a desorientação gera uma demanda cognitiva adicional à tarefa, devido a um formato de instrução inadequado (isto é, há um aumento da carga cognitiva extrínseca). A principal consequência da desorientação é a redução dos recursos cognitivos disponíveis na memória de trabalho do aluno que seriam necessários para lidar com o conteúdo (isto é, carga cognitiva intrínseca) e, conseqüentemente, aprender.

Uma maneira de minimizar a desorientação seria oferecer o conteúdo desse hipertexto organizado na forma de um MC, o qual apresentaria um certo grau de estruturação e guia para a navegação (e.g., Mueller-Kalthoff & Moeller, 2003; Sunawan & Xiong, 2017). Entretanto, os MCs, conforme concebidos por Novak (Cañas & Novak, 2006; Correia & Aguiar, 2013), também não possuem uma estrutura linear. A necessidade de se estabelecer uma ordem de leitura das proposições, a grande quantidade de informação, a disposição visual dos conceitos em uma rede integrada e sem uma hierarquia definida também podem causar uma sensação de desorientação. Conforme salienta Dias e Sousa (1997) “talvez não seja sensato assumir que um mapa que ajude no desempenho em um contexto espacial também sirva de auxílio em um meio hipermídia sob um modelo não hierárquico” (p. 184; [tradução nossa]).

Diante do exposto, é possível perceber uma evidente potencialidade do uso dos MCs como material instrucional, seja isolado ou na forma de um hipertexto. Entretanto, a possibilidade de ocorrência de desorientação durante a leitura e/ou navegação do MC pode comprometer os resultados de aprendizagem e, merece pesquisas mais aprofundadas.

## 1.2 Objetivo

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito de um hipertexto com conteúdo organizado na forma de MCs, quando comparados a um hipertexto linear, na aquisição de conhecimento, esforço mental, desorientação, usabilidade do sistema e eficiência instrucional.

O tema dos hipertextos versa sobre um conceito complexo e abstrato, a espontaneidade das transformações químicas. Este tema foi escolhido por representar um papel central na compreensão de todos os fenômenos estudados pela Química, além de ser, no âmbito universitário, um potencial obstáculo de aprendizagem (Teichert & Stacy, 2002; Oliveira, Fachine, Romero & Soares, 2019).

A pergunta de pesquisa que norteia o estudo é: *Até que ponto o uso dos MCs como um organizador gráfico do conhecimento em um hipertexto afeta a desorientação, o esforço mental, a percepção de usabilidade do sistema e a assimilação de conceitos científicos sobre a espontaneidade das transformações químicas?* A hipótese de trabalho é que os alunos que estudarem com o hipertexto organizado na forma de MC apresentarão relativamente um maior desempenho (hipótese A) e percepção de usabilidade (hipótese B) com menor esforço mental (hipótese C) e desorientação (hipótese D) quando comparados aos alunos que estudarem com o hipertexto linear, ainda que este último seja mais familiar aos alunos. Em suma, espera-se maior eficiência instrucional do hipertexto na forma de MCs (hipótese E).

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica que orienta a base lógica por trás do estudo conduzido e subsidia a discussão dos resultados tem como ponto central a Teoria da Carga Cognitiva (TCC). A TCC, proposta por Sweller no final da década de 1980 (Sweller, Ayres & Kalyuga, 2011) considera que a arquitetura cognitiva humana é formada por três sistemas de memória que atuam em conjunto durante o processamento, aquisição e recuperação de informação:

- Memória Sensorial (MS): processa os principais estímulos provenientes do ambiente, capturados pela visão, audição, tato, olfato e gustação, os quais são transferidos à memória de trabalho.
- Memória de Trabalho (MT): local onde ocorre o processo cognitivo consciente, ou seja, a memória de curto prazo. Ela é limitada, pois sozinha permite apenas o processamento de informações triviais e mais importantes durante a aquisição de informação.
- Memória de Longo Prazo (MLP): local que armazena incontáveis esquemas transferidos da MT. Ela é ilimitada em tamanho, espaço e tempo, ou seja, armazena múltiplos esquemas quase permanentemente, criando uma espécie de rede que os interconecta. Essa rede, que é altamente organizada e hierárquica, é também conhecida como o conhecimento prévio que um sujeito possui sobre determinado assunto.

Segundo o modelo de processamento de informação proposto por Baddeley (1998), quando os múltiplos elementos de uma nova informação se combinam formando um único elemento cognitivo (i.e., a codificação), dizemos que houve a construção de um esquema, o qual é transferido à MLP.

Diante de uma nova tarefa, o sujeito recupera da MLP para a MT os esquemas necessários para solucionar o problema ou lidar com a própria tarefa. Em um primeiro momento, há um custo cognitivo imposto tanto para a recuperação desses esquemas como para promover a interação e integração do conhecimento prévio com a nova informação na MT. Após múltiplas repetições (i.e., treino), é possível dizer que houve uma automação dos esquemas, ou seja, os recursos cognitivos da MT não são mais utilizados para recuperar tais esquemas da MLP.

Esquemas automatizados 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. Segundo Paas (1992), o processamento de informações que leva à construção e automação de esquemas na MT pode ser entendido como o próprio processo de aprendizagem, o qual leva à retenção e/ou à transferência. A retenção da informação ocorre quando o sujeito é capaz de manipular os esquemas recuperados da MLP na MT para lidar com uma tarefa semelhante àquela em que ocorreu a aprendizagem, indicando que houve uma efetiva integração dos novos esquemas sobre o assunto em questão à rede de conhecimento prévio. Já a transferência ocorre quando o sujeito é capaz de recuperar e manipular um esquema específico para lidar com uma tarefa diferente daquela em que ocorreu a aprendizagem, indicado por maior habilidade e desempenho na tarefa, mesmo que após longos períodos de tempo.

A TCC (Sweller, Ayres & Kalyuga, 2011) distingue dois tipos de cargas cognitivas (CGs) capazes de interferir no processamento de informações pela MT durante a aprendizagem:

- CG intrínseca: se refere à natureza, complexidade e dificuldade do conteúdo ao qual o aluno precisa lidar durante a tarefa de aprendizagem. Ela é definida em função da quantidade de elementos (poucos ou muitos) a serem processados na MT e a interatividade entre eles (baixa ou alta). Quanto maior a quantidade de elementos e maior a interatividade entre eles, mais complexo e difícil é considerado o conteúdo.
- CG extrínseca: se refere ao formato da instrução. Quanto mais inadequado for o formato da instrução maior a carga extrínseca. De acordo com a TCC, essa carga prejudica o processo de aprendizagem, devendo ser manipulada de modo a torná-la mais baixa possível.

Ambas as CGs são aditivas e, ao se somarem, não podem ultrapassar a capacidade limitada da MT. Quando isso ocorre, afirma-se que o sujeito entrou em sobrecarga cognitiva, ou seja, não sobram recursos cognitivos disponíveis na MT para ocorrência dos processamentos generativos (i.e., construir esquemas ou aprender). O maior indício da ocorrência da sobrecarga são os baixos desempenhos na tarefa e os altos índices de carga cognitiva percebida.

### 3. METODOLOGIA

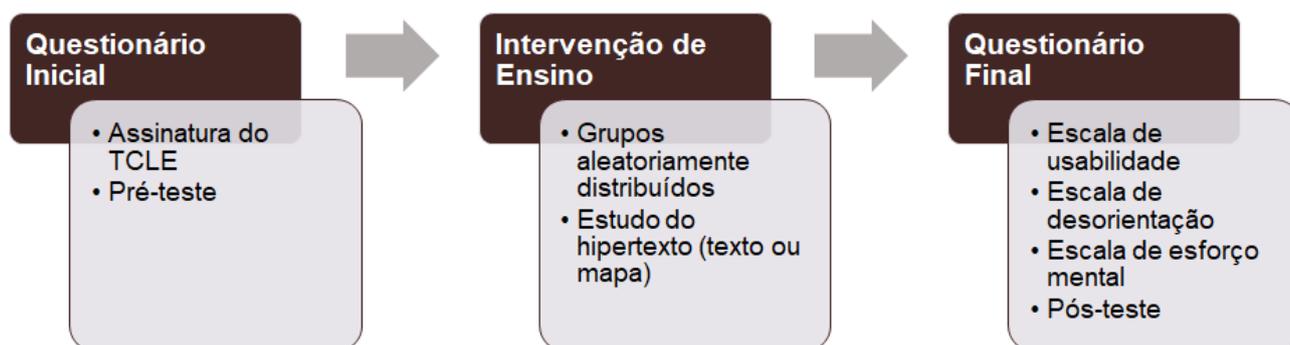
A metodologia de pesquisa é quantitativa (Creswell, 2013), uma vez que se utiliza de um pensamento de causa e consequência onde fatores interferem em resultados, da redução a poucas variáveis a serem testadas, do estabelecimento a priori de perguntas de pesquisas e hipóteses de trabalhos, da adoção de estratégias de pesquisa baseadas em experimentos reais e do uso da análise estatística de dados.

#### 3.1 Contexto, participantes e questões éticas

Um delineamento experimental foi definido para organizar a condução do estudo, o qual seguiu as recomendações da Resolução n. 510 de 2016 do Conselho Nacional de Saúde de pesquisas com seres humanos, tendo sido submetida e aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa Institucional. A pesquisa foi conduzida em condições restritas a este estudo, não estando atrelada a nenhuma disciplina específica. Participaram deste estudo 22 alunos em diferentes fases do curso de graduação em Química, de diferentes semestres, de uma universidade federal brasileira, com idade média de 22,8 anos (desvio padrão 2,0 anos). Estes foram aleatoriamente distribuídos em dois grupos: Grupo Texto ( $n = 11$ ), que estudou o hipertexto em sua forma tradicional, em um texto linear ou Grupo Mapa ( $n = 11$ ), que estudou o hipertexto com conteúdo representado na forma de MCs. Os alunos aceitaram participar do estudo assinando eletronicamente o Termo de Consentimento Livre Esclarecido (TCLE), sendo de caráter voluntário, anônimo e sem remuneração.

#### 3.2 Instrumentos e procedimento de coleta de dados

O procedimento de coleta de dados (Figura 3) envolveu três etapas, sem restrição de tempo e controlada pelo usuário: (1) Aplicação do Questionário Inicial, (2) Intervenção de Ensino e (3) Aplicação do Questionário Final. Os instrumentos de coleta de dados utilizados em cada uma das etapas serão descritos a seguir, tendo seus conteúdos desenvolvidos com base na leitura de referências de base na Química em âmbito universitário, tal como Brown e colaboradores (2016), Atkins e Jones (2011) e Kotz e outros (2015). Os materiais foram validados durante entrevistas individualizadas com especialistas no tema (professores universitários e pesquisadores na área).



**Figura 3** – Procedimento de coleta de dados.

Fonte: Os autores (2021).

O questionário inicial, desenvolvido e aplicado por meio do Google Formulários, foi composto pelo TCLE e pelo pré-teste, contendo 10 afirmações sobre “espontaneidade das transformações químicas” para serem julgadas em Verdadeiro ou Falso (Tabela 1). A opção “não sei” foi adicionada para evitar escolhas aleatórias.

Tabela 1

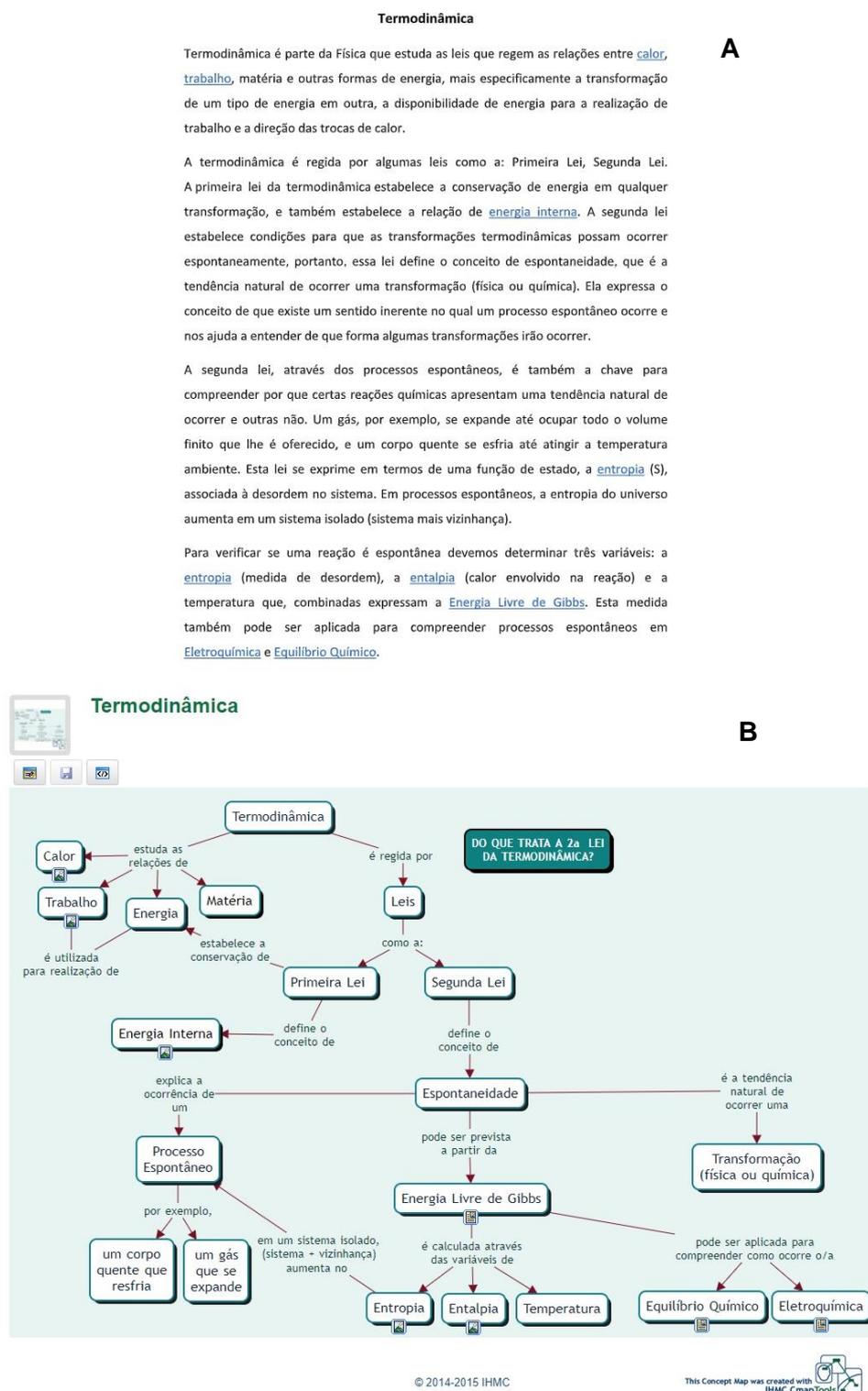
**Afirmações que compõem o pré-teste e o pós-teste e o julgamento esperado.**

Pré-teste	Pós-teste
PR1. A espontaneidade das transformações químicas pode ser prevista pela energia livre de Gibbs. <b>(V)</b>	PO1. A Energia livre de Gibbs é calculada através de três variáveis: a entalpia, entropia e temperatura. <b>(V)</b>
PR2. A Energia livre de Gibbs é calculada através de três variáveis: a entalpia, o trabalho e a temperatura. <b>(F)</b>	PO2. equilíbrio químico é atingido através de um processo espontâneo. <b>(V)</b>
PR3. O equilíbrio químico é atingido através de um processo espontâneo. <b>(V)</b>	PO3. Pelo cálculo da Energia Livre de Gibbs, quando $\Delta G > 0$ a reação é espontânea. <b>(F)</b>
PR4. O equilíbrio químico ocorre quando a velocidade da reação direta é maior que a inversa. <b>(F)</b>	PO4. O equilíbrio químico só pode ser estabelecido com reações reversíveis. <b>(V)</b>
PR5. Pelo cálculo da Energia Livre de Gibbs, quando $\Delta G < 0$ a reação é espontânea. <b>(V)</b>	PO5. O conceito de espontaneidade é definido pela Primeira Lei da Termodinâmica. <b>(F)</b>
PR6. O equilíbrio químico só ocorre com reações irreversíveis. <b>(F)</b>	PO6. Um sistema isolado sempre contém a mesma quantidade de matéria, ou seja, não há nenhum tipo de transferência de matéria entre o sistema e sua fronteira. <b>(V)</b>
PR7. A pilha é um processo eletroquímico espontâneo que resulta na geração de energia elétrica. <b>(V)</b>	PO7. Processos endotérmicos são aqueles em que o fluxo de energia ocorre da vizinhança para o sistema. <b>(V)</b>
PR8. Na eletroquímica o cálculo da Energia Livre de Gibbs depende da diferença de potencial. <b>(V)</b>	PO8. A Primeira Lei da Termodinâmica define o conceito de trabalho. <b>(F)</b>
PR9. Quando o sistema realiza trabalho a reação é considerada não-espontânea no sistema isolado. <b>(F)</b>	PO9. Quando a constante de equilíbrio (K) for maior que o quociente de reação (Q), isso indica uma reação em equilíbrio químico. <b>(F)</b>
PR10. A Segunda Lei da Termodinâmica define o conceito de espontaneidade. <b>(V)</b>	PO10. O cálculo do $\Delta G$ para processos eletroquímicos envolve as variáveis: número de mols, constante de Faraday e a diferença de potencial. <b>(V)</b>

Nota. (V) afirmação verdadeira, (F) afirmação falsa. PR: pré-teste, PO: pós-teste. Fonte: Os autores (2021)

A intervenção de ensino diz respeito ao estudo do conteúdo químico representado no material didático (hipertexto) pelos alunos, separados aleatoriamente nos Grupos Mapa ou Texto. O hipertexto linear foi composto por um texto introdutório (página de abertura do material) e três hiperlinks, ou seja, três conceitos clicáveis que remetem a textos mais específicos sobre: Energia Livre de Gibbs, Equilíbrio Químico e Eletroquímica. Nestes textos ainda havia seis hiperlinks que direcionam a *pop-ups* com definições sobre conceitos-chave da termodinâmica: calor, entropia, entalpia, trabalho, diferença de potencial e energia interna. Esse material foi hospedado no GoogleDrive® do grupo de pesquisa e pode ser acessado no link: <https://bit.ly/39ACOmY>. Para elaboração do hipertexto na forma de MCs, foram selecionados, para cada texto, os conceitos mais importantes, que após uma organização hierárquica, foram unidos por meio de termos de ligação

com verbos formando proposições. As redes proposicionais respondem a uma pergunta focal específica sobre os temas em estudo e os mesmos hiperlinks e recursos definidos para o hipertexto linear foram adicionados aos quatro MCs elaborados. Esse material foi elaborado com auxílio do CmapTools© (IHMC, Florida) e encontra-se hospedado no servidor compartilhado do CmapCloud©, com acesso livre pelo link: <https://cutt.ly/ij8ULf9>. A Figura 4 ilustra a comparação entre a página inicial de ambos os hipertextos utilizados na intervenção de ensino.



**Figura 4** – Página inicial dos hipertextos (A) linear/textual e (B) na forma de MC.  
 Fonte: Os autores (2021).

O questionário final, desenvolvido e aplicado por meio do Google Formulários, foi composto por quatro seções, a saber:

- **Seção 1 - Usabilidade do sistema:** capacidade de uma interface gráfica digital ser usada por usuários específicos para atingir objetivos com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto específico de uso. A percepção de usabilidade, traduzida do inglês de Brooke (1996), foi inferida com 15 afirmações (Tabela 2) julgadas em escala Likert-5 níveis, de 1 (Discordo Totalmente) a 5 (Concordo Totalmente). Quanto maior a pontuação, maior é a usabilidade.
- **Seção 2 - Desorientação:** medida subjetiva de percepção de confusão mental e espacial durante a navegação de um material instrucional. A sensação de desorientação, traduzida do inglês de Ahuja & Webster (2001) foi inferida com 4 afirmações (Tabela 2) julgadas em escala Likert-7 níveis de 1, (Discordo Totalmente) a 7 (Concordo Totalmente). Quanto maior a pontuação, maior é a desorientação.

Tabela 2  
**Afirmções que compõem a escala de usabilidade e desorientação.**

Usabilidade		Desorientação	
US1. Eu gostaria de estudar usando materiais hipermídias com mais frequência	US6. Achei o material muito inconsistente (I)	US11. Me senti confortável com o material	DH1. Eu experimentei dificuldade para entender a relação entre as diferentes páginas do material
US2. Achei o hipertexto desnecessariamente complexo (I)	US7. Imagino que a maioria das pessoas aprenderia a usar este material rapidamente	US12. Foi fácil encontrar a informação que eu precisava	DH2. Eu experimentei dificuldade para saber qual página consultar em seguida
US3. Achei o hipertexto fácil de usar	US8. Achei o material muito complicado de navegar (I)	US13. Gostei de usar a interface do material	DH3. Eu experimentei dificuldade para saber onde eu estava exatamente
US4. Achei que seria necessário o apoio técnico para navegar pelo material (I)	US9. Me senti confiante usando o material	US14. A interface do material é agradável	DH4. Eu não explorei em profundidade nenhum aspecto específico do hipertexto
US5. As funções do hipertexto estavam bem integradas	US10. Preciso aprender muitas outras coisas antes de continuar usando este material (I)	US15. A organização de informações na tela é clara	

Nota. (I) escala invertida. US: usabilidade, DH: desorientação. Fonte: Desorientação: traduzidas de Ahuja & Webster (2001); Usabilidade: traduzidas de Brooke (1996).

- **Seção 3 - Esforço mental:** medida psicométrica subjetiva de percepção ao esforço cognitivo realizado durante uma tarefa. Adaptada de Paas (1992), a pergunta “Qual foi o seu nível de esforço mental para compreender o conteúdo no material hipermídia?” foi respondida pelos alunos utilizando escala Likert-

7 níveis, de 1 (Muito, muito baixo) a 7 (Muito, muito alto). Quanto maior o valor da escala, maior o esforço mental para compreensão do tema em estudo.

- Seção 4 - Pós-teste, composto por 10 afirmações a serem julgadas em Verdadeiro/Falso ou “não sei” sobre o tema em estudo (Tabela 1).

### 3.3 Procedimento de análise dos dados

Para cada afirmação julgada corretamente nos testes (pré e pós), o aluno recebeu +1 ponto e para julgamentos incorretos ou declarações do tipo “não sei”, nenhum ponto foi atribuído. As notas finais, variando na escala de 0 a 10, representam o nível de conhecimento prévio dos alunos (pré-teste) e o conhecimento factual e conceitual adquirido durante a intervenção de ensino (pós-teste). O ganho de conhecimento (GC) foi dado pela diferença entre os dois testes. As três medidas subjetivas consideradas neste estudo foram: o esforço mental (EM), em escala variando de 1 a 7; a desorientação causada pelo hipertexto (DH), em escala variando de 7 a 28 pontos; e, a usabilidade do sistema (US), em escala variando de 0 a 60 pontos<sup>1</sup>.

Para comparar os grupos Mapa e Texto, foram determinados as médias e os desvios-padrão de todas as variáveis descritas acima, seguido da condução do teste-t para amostras independentes. Análises adicionais foram feitas para explorar quão correlacionadas são as variáveis de desempenho e percepção subjetivas, utilizando, para isso, o teste-t pareado e correlação de Pearson. Por fim, a Eficiência Instrucional (E) de cada material hipermídia: Texto e Mapa foi calculada e qualitativamente analisada. A equação original, descrita e validada na literatura por Paas e van Merriënboer (1993), combina desempenho (D), no caso deste estudo, dado pela nota no pós-teste e esforço mental (EM), ambas em escala normalizada Z, conforme a equação abaixo.

$$E = \frac{D - EM}{\sqrt{2}}$$

Todas as análises estatísticas foram conduzidas no programa computacional SPSS 22.0 (IBM, EUA) com nível de significância 0,05 (Field, 2013).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, foi feito um teste de Kolmogorov-Smirnov (com correção de Lilliefors) que confirmou a distribuição paramétrica dos dados, mesmo com um espaço amostral relativamente pequeno ( $n = 22$ ). A análise de consistência interna por Alfa de Cronbach, indicou níveis satisfatórios ou substanciais para as escalas de usabilidade ( $\alpha = 0,822$ ), desorientação ( $\alpha = 0,635$ ) e pós-teste ( $\alpha = 0,622$ ).

---

<sup>1</sup> Obedecemos a mesma análise proposta e validade por Brook (1996), em que se subtrai 1 ponto de cada item assinalado no questionário. Ao invés da escala variar de 15 a 75 pontos, ela varia partindo de zero a 60 pontos.

Um valor relativamente baixo foi encontrado para a consistência interna dos itens no pré-teste ( $\alpha = 0,421$ ), o qual pode ser explicado por afirmações com diferentes níveis de dificuldade e pela presença de diferentes assuntos (ou constructos) em um mesmo questionário. Uma análise fatorial adicional foi realizada indicando a presença de quatro fatores que explicam 78% de variância. O primeiro fator reúne as afirmações PR1, PR6 e PR7 (Tabela 1), consideradas fáceis e que remetem a conteúdos já estudados no Ensino Médio ou que requerem apenas lembrar fatos no Ensino Superior. O segundo fator reúne as afirmações PR3 e PR5 (Tabela 1), que são de média dificuldade e envolvem julgar com base em critérios termodinâmicos se um processo será espontâneo ou não-espontâneo. O terceiro fator reúne as afirmações PR4, PR8 e PR10 (Tabela 1) de média complexidade, as quais dependem de um entendimento conceitual mais específico sobre os processos em equilíbrio e eletroquímicos. Por fim, o quarto fator reúne as afirmações PR2 e PR9 (Tabela 1), de média a alta complexidade, relacionadas ao entendimento e aplicação dos conceitos de trabalho e energia livre de Gibbs, em nível universitário. Vale ressaltar que o nível de dificuldade das afirmações foi inferido não apenas por uma análise qualitativa do especialista no assunto, mas confirmada pela frequência de alunos capazes de julgar corretamente a afirmação. Por exemplo, as afirmações 6 e 7 (fáceis) foram julgadas corretamente por 95,6% dos alunos, enquanto as afirmações 2 e 9 (média a alta dificuldade) por 68% e 54% dos alunos, respectivamente.

#### 4.1 Desempenho nos testes (pré e pós) e ganho de conhecimento

A Tabela 3 traz o desempenho dos alunos em cada grupo no pré e pós-teste, bem como o ganho de conhecimento, dado pela diferença entre eles. O teste de homogeneidade de Levene indicou não haver diferença estatística significativa entre o desempenho dos alunos no pré-teste,  $F(1, 21) = 0,58$ ,  $p > 0,05$ . Este resultado traz evidências de que os alunos possuem o mesmo nível de conhecimento prévio no assunto, sendo descartada a possibilidade de uma co-variável no estudo.

Tabela 3

#### Média e desvio-padrão do desempenho dos alunos no pré-teste, pós-teste e o ganho de conhecimento

	Linear		Mapa	
	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
<b>Pré-teste (PR)</b>	7,64	1,50	7,36	1,21
<b>Pós-teste (PO)</b>	7,37	1,72	9,55	0,52
<b>Ganho de conhecimento (GC)</b>	-0,28	0,41	2,18	0,68

Nota. PR e PO, 0 a 10 pontos; GC - pós-teste menos pré-teste Fonte: Os autores (2021)

O desempenho dos alunos no grupo Mapa foi estatisticamente maior quando comparado ao desempenho do grupo Linear,  $t(20) = 3,65$ ,  $p = 0,002$ . O mesmo resultado foi obtido ao realizar um teste-t independente na comparação entre o ganho de conhecimento,  $t(20) = 9,27$ ,  $p < 0,001$ . Já um teste-t pareado foi conduzido para comparar o desempenho no pré-teste *versus* pós-teste

considerando a média global e estratificada por grupo. Os resultados indicaram que, a média no pós-teste só foi estatisticamente maior do que no pré-teste considerando os alunos do grupo Mapa,  $t(10) = 5,50$ ,  $p < 0,001$ ,  $r = 0,02$ .

Estes resultados confirmam nossa Hipótese A, indicando que estudar o conteúdo do hipertexto organizado na forma de MCs trouxe maiores chances de ganho de conhecimento factual e conceitual quando comparado ao estudo na forma linear/textual, mesmo este último sendo mais usual aos alunos. Para além do que já foi mencionado na introdução, é possível dizer que os MCs guardam profunda relação com a forma pela qual os seres humanos constroem o conhecimento, inicialmente em suas memórias de curto-prazo e, posteriormente, de longo-prazo. Para Ausubel (2000) o *continnum* da aprendizagem mecânica rumo à significativa, passa por relações de significado entre conceitos subsunçores presentes no conhecimento prévio do sujeito e a nova informação contida no material instrucional. Pautado em pressupostos teóricos, pode-se dizer que a nossa estrutura cognitiva é hierarquicamente organizada na forma de conceitos e proposições e o fato de o MC possuir tal estrutura facilita o processamento da informação, podendo contribuir para aproximação entre o que o aluno já sabe e o novo conhecimento (Moreira, 2011). Talvez, responder ao pré-teste tenha, inclusive, auxiliado o aluno a recordar conceitos importantes de sua memória de longo-prazo, os quais foram confrontados com novos conceitos presentes no hipertexto. Como consequência, é possível observar uma prevalência no processo de assimilação e retenção, evidenciado por um maior desempenho no pós-teste.

Vale frisar que não há condições de afirmar aqui a ocorrência da aprendizagem significativa, uma vez que isso requereria a aplicação de um pós-teste tardio, em que os alunos teriam que demonstrar a capacidade de transferência a longo-prazo, na resolução de problemas a partir da mobilização de conceitos aprendidos em uma situação diferente daquela em que ocorreu a instrução. Entretanto, é possível afirmar que os alunos adquiriram conhecimento factual e conceitual, mesmo que a curto-prazo, favorecendo um ponto de início para a (re)construção do conhecimento e, em situações reais, de mediação deste processo pelo professor.

#### 4.2 Usabilidade do sistema, esforço mental e desorientação

A Tabela 4 reúne os valores atribuídos aos alunos em cada grupo para as escalas de percepção de usabilidade do sistema, desorientação durante a navegação e esforço mental dedicado à compreensão do conteúdo químico.

Considerando a percepção de usabilidade do sistema pelos alunos, os resultados demonstraram não haver diferença estatística significativa entre as médias dos grupos,  $t(20) = 0,35$ ,  $p > 0,05$ . Considerando a frequência de alunos em cada grupo que julgaram positivamente (“concordo totalmente”) as afirmações do questionário (Tabela 2), foi possível perceber algumas diferenças importantes nas categorias de usabilidade.

Tabela 4

**Média e desvio-padrão das escalas de percepção de usabilidade, esforço mental e desorientação**

	Linear		Mapa	
	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
<b>Usabilidade (US)</b>	53,9	7,3	52,9	5,8
<b>Esforço mental (EM)</b>	3,0	1,6	3,1	1,0
<b>Desorientação (DH)</b>	8,7	4,8	9,6	4,5

Nota. US, máximo 60 pontos; EM = escala de 1 a 7; DH = máximo 28 pontos. Fonte: Os autores (2021)

Para as afirmações US8 (material fácil de navegar), US13 (gostou de usar a interface) e US14 (a interface é agradável) não houve diferença entre os grupos. O grupo Mapa apresentou uma percepção mais positiva em relação ao hipertexto estudado quando comparado ao grupo Texto, considerando que eles: gostariam de estudar usando materiais hiperídia com mais frequência (US1),  $\chi^2(1, 22) = 12,45$ , não acharam que seria necessário apoio técnico para navegar pelo material (US4),  $\chi^2(1, 22) = 12,45$ , acreditam que as funções do hipertexto estavam bem integradas (US5),  $\chi^2(1, 22) = 11,00$  e acharam o material muito consistente (US6),  $\chi^2(1, 22) = 15,50$ . Para as demais afirmações, o grupo Texto teve uma percepção mais positiva do que o grupo Mapa. Esses resultados quando interpretados em conjunto contrariam a Hipótese B.

Pelos pressupostos dos sistemas da informação, a usabilidade de uma interface hiperídia diz respeito à facilidade pela qual um usuário navega e explora pelo material (Dias, 2007). No âmbito educacional, Carvalho (2005) explica que múltiplos fatores interferem nessa navegabilidade, dentre eles: a qualidade científica, pedagógica e técnica, a familiaridade do usuário com o sistema informático e com o conteúdo e o desejo que o sujeito tem de aprender utilizando o sistema. Talvez, a familiaridade dos alunos com hipertextos lineares/textuais, tipicamente adotados na internet, e o fato do estudo em análise não ter sido usado em um ambiente formal de ensino-aprendizagem (isto é, o estudo foi feito em condições controladas de pesquisa), possam justificar a igualdade de percepção dos alunos frente ao hipertexto. Apesar disso, é importante frisar que não houve rejeição dos alunos frente aos MCs, mesmo este sendo não familiar aos sujeitos da pesquisa.

Resultados similares foram encontrados para o esforço mental requerido para compreender o conteúdo e a percepção de desorientação durante a navegação. Para ambas as variáveis, não foram identificadas diferenças estatísticas significativas entre os grupos de alunos, sendo  $t(20) = 0,16$  e  $t(20) = 0,41$ ,  $p > 0,05$ , respectivamente. O esforço mental é uma medida psicométrica subjetiva, auto-reportada pelo sujeito, que nos ajuda a determinar com que intensidade uma pessoa tenta processar ativamente as informações apresentadas no material instrucional (Paas, van Merriënboer & Adam, 1994). No caso deste estudo, o esforço mental está relacionado à interação cognitiva do aluno para lidar com a carga intrínseca do hipertexto, ou seja, com a

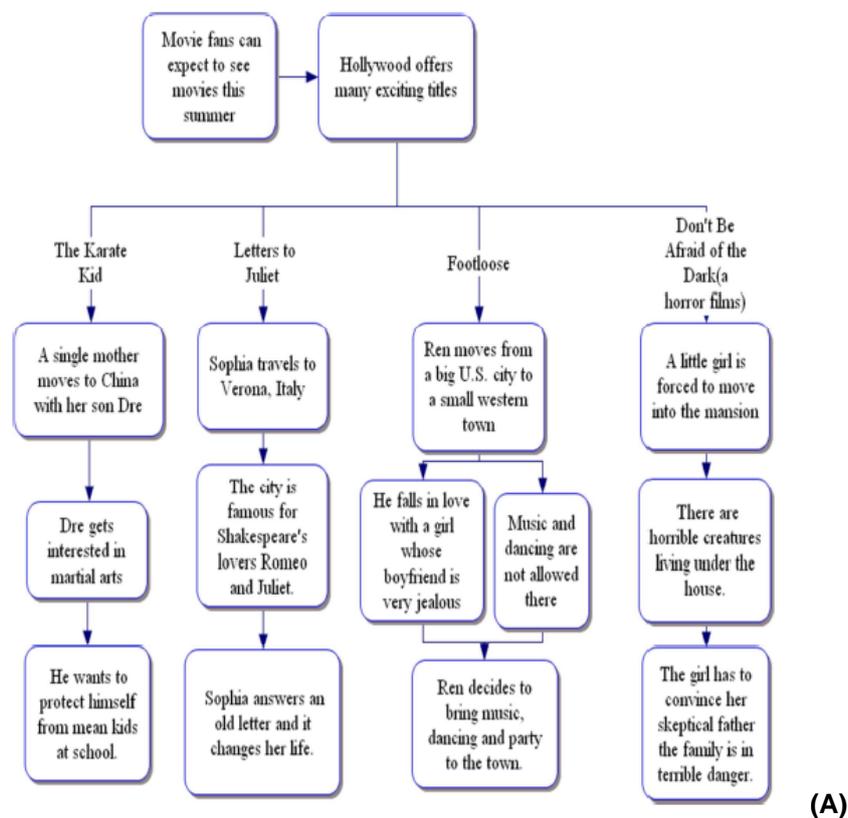
complexidade/dificuldade do conteúdo “espontaneidade das transformações químicas” representado no hipertexto. Apesar de refutarmos a Hipótese C inicialmente estabelecida, o resultado traz evidências que, independentemente da forma como o conteúdo foi representado, seja linear/textual ou na forma de MCs, os alunos se engajaram ativamente no processamento do conteúdo de forma semelhante, sem que isso lhes custasse um alto nível de esforço mental. Observe na Tabela 4 que ambos os grupos reportam, na média, valores próximos de 3 (baixa percepção de esforço mental). Vale ressaltar que o esforço mental pode ser influenciado pelo nível de conhecimento prévio, o qual foi igualmente observado para os alunos em ambos os grupos.

A desorientação é uma experiência subjetiva em que o aluno é levado a um estado psicológico resultante de problemas na construção de caminhos através do material instrucional (Conklin, 1987). Como hipertextos são reportados na literatura como fonte de desorientação no estudo digital, essa escala é frequentemente utilizada nas pesquisas que envolvem tal material para fins educacionais (Kim & Hirtle, 1995, Amadiou, Tricot & Mariné, 2010). Observando os valores da Tabela 4, é possível perceber que os hipertextos produzidos não foram fonte de desorientação aos alunos, uma vez que os valores reportados, na média, estão em torno de 9 pontos, muito próximo do valor mínimo da escala (4 pontos). Apesar de refutar a Hipótese D, isso indica que a carga cognitiva extrínseca foi mantida a mais baixa possível durante a elaboração do material hipermídia. No caso do hipertexto linear, os alunos se deparam com textos “corridos” que remetem a forma como eles naturalmente leem e estudam, ou seja, na língua portuguesa, da esquerda para a direita e de cima para baixo. Já o MC, poderia ser uma fonte de desorientação vista a falta de familiaridade com esse organizador gráfico do conhecimento. Como essa realidade não se observa na prática do estudo, podemos pressupor que os aspectos visuais e de layout do conteúdo podem ter facilitado a navegação.

Resultados conflitantes são encontrados na literatura sobre este assunto. Alguns resultados de pesquisa mostram que, sem uma devida orientação de navegação, não é possível verificar melhorias nos resultados de aprendizagem. Por exemplo, em McDonald e Stevenson (1996), os alunos obtiveram melhores resultados de aprendizagem em um texto linear do que em um documento hipermídia hierárquico, exatamente o contrário do observado no nosso estudo. Já em Salmerón e colaboradores (2009), o uso dos organizadores gráficos para representar a macroestrutura inicial do texto só gerou maior compreensão no caso de hipertextos de difícil compreensão. Em Amadiou e colaboradores (2009), a estrutura do MC influenciou diretamente na desorientação dos alunos durante a navegação ou leitura do hipertexto — estruturas hierárquicas causam menos desorientação em relação àquelas em rede, principalmente para alunos com baixo conhecimento prévio. Cangoz e Altun (2012) trouxeram evidências de que estruturas hierárquicas e com apresentação pictórica causaram menor desorientação nos alunos que interagiram com o material em comparação às estruturas em rede e apresentação apenas verbal/textual. Hilbert e Renkl (2009) argumentam que a adição de instruções com recursos digitais potencializa a

aprendizagem significativa do conteúdo em estudo, ainda que a carga cognitiva associada à tarefa aumente consideravelmente. Já os estudos de Jeung, Chandler e Sweller (1997) e Aguiar e Correia (2016) indicam que a adição de dicas gráficas pode oferecer uma orientação que facilita a navegação pelo conteúdo, diminuindo a carga cognitiva imposta durante o estudo ou aumentando os resultados de aprendizagem.

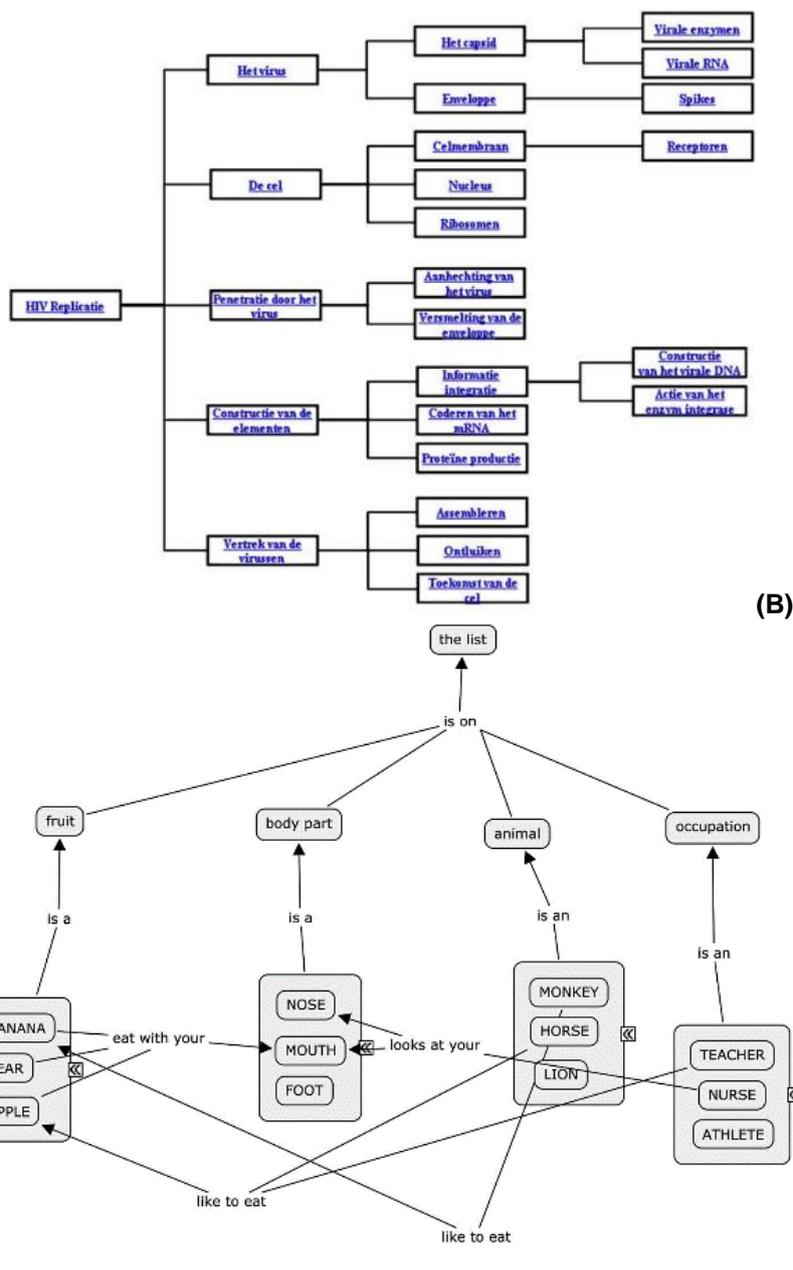
Vale frisar que em muitos dos trabalhos reportados na literatura que se utilizam de MCs como forma de representação do conhecimento científico, ora não fornecem acesso ao material utilizado ou, quando fornecem, não o utilizam resguardando suas características essenciais (veja exemplos na Figura 5), tais como: uso de conceitos curtos que representam objetos ou eventos, presença de termos de ligação com verbos que formam as proposições, setas que indicam a ordem de leitura da proposição, organização hierárquica conceitual que superordena conceitos mais gerais que vão se diferenciando em conceitos mais específicos e o estabelecimento de uma pergunta focal que delimita o tema (Aguiar & Correia, 2013). Isso coloca à prova muitos dos resultados observados, principalmente no que se refere à aquisição de conhecimento e desorientação.



(A)

**Figura 5** – Exemplos de hipertextos organizados na forma de MC, reportados na literatura, os quais não apresentam elementos essenciais esperados para este organizador gráfico (continua).

Fontes: reproduzidas na íntegra de (A) Liu (2014, p. 240).



**Figura 5** – (Continuação) Exemplos de hipertextos organizados na forma de MC, reportados na literatura, os quais não apresentam elementos essenciais esperados para este organizador gráfico. Fontes: reproduzidas na íntegra de (B) Amadiou, van Gog, Paas, Tricot & Mariné, (2009, p. 378); (C) Grimaldi, Poston & Karpicke (2015, p. 1050).

### 4.3 Eficiência instrucional

Para iniciar a discussão sobre a Eficiência instrucional (E) de cada hipertexto, a Tabela 5 apresenta a correlação entre as variáveis em estudo. A percepção de usabilidade se mostrou negativamente correlacionada a outras duas variáveis, a desorientação ( $r = -0,53$ ) e o esforço mental ( $r = -0,47$ ). Isso implica dizer que quanto mais fácil de navegar e intuitivo for o hipertexto mais fácil os alunos conseguirão realizar o processamento cognitivo relativo ao conteúdo representado no material e o formato escolhido para instrução, mas que essas condições não necessariamente levarão a maior aquisição de conhecimento.

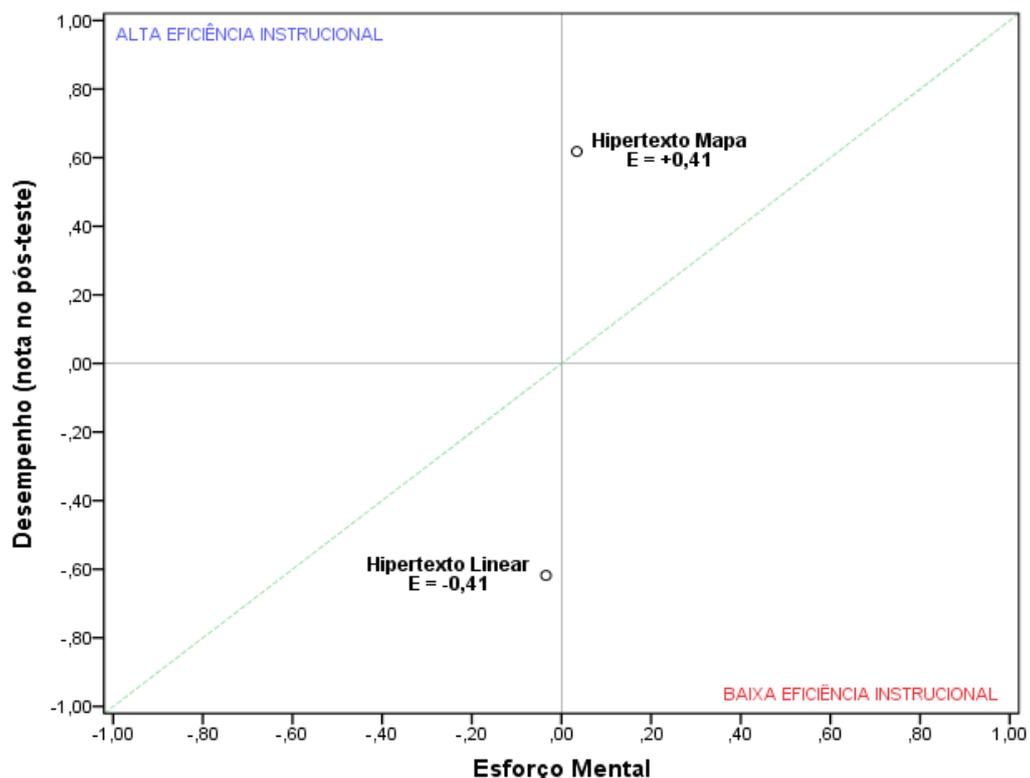
Tabela 5

**Correlação entre os índices de pré-teste, pós-teste, usabilidade, desorientação e esforço mental**

	Pré-teste (PR)	Pós-teste (PO)	Usabilidade (US)	Desorientação (DH)	Esforço mental (EM)
Pré-teste (PR)	1				
Pós-teste (PO)	0,26	1			
Usabilidade (US)	0,29	0,15	1		
Desorientação (DH)	-0,11	-0,05	<b>-0,53*</b>	1	
Esforço mental (EM)	0,25	-0,09	<b>-0,47*</b>	0,39	1

Nota. \*sig.  $p < 0,05$ . Fonte: Os autores (2021)

Por fim, a Figura 6 traz o gráfico de eficiência instrucional, em que no eixo x é representada a média do desempenho dos alunos em cada grupo e no eixo y a média do esforço mental, ambos em escala normalizada Z-score (média 0, desvio-padrão  $\pm 1$ ). Essa abordagem (Paas e van Merriënboer, 1993) assume uma hipotética condição em que cada unidade de esforço mental (EM) investido pelo aluno resulte em uma unidade de desempenho (D). Se o D for relativamente maior que o EM então o valor de E será positivo, indicando uma instrução com alta eficiência. Se o D for relativamente inferior ao EM então o valor de E será negativo, ou seja, a instrução pode ser considerada de baixa eficiência. Os valores de E são visualmente observados ao redor da diagonal quadrada ( $\sqrt{2}$ ) no gráfico 1 x 1.



**Figura 6** – Gráfico de eficiência da instrução, em função das médias normalizadas de desempenho e esforço mental, comparando hipertexto na forma de mapa conceitual e texto/linear.

Fonte: Os autores (2021).

Comparando os dois hipertextos, aquele organizado na forma de MCs revelou uma alta eficiência instrucional, uma vez que os alunos neste grupo tiveram um desempenho ( $D = +0,61$ ) relativamente maior do que o esforço mental ( $EM = + 0,03$ ) quando comparados aos alunos no grupo Texto/Linear ( $D = -0,61$ ,  $EM = -0,03$ ). O resultado observado confirma nossa hipótese E. Entretanto, considerando tudo o que já foi discutido anteriormente neste artigo, é possível dizer que o ganho de conhecimento observado após o estudo com o hipertexto na forma de MCs foi o grande responsável por essa alta eficiência. A partir de pressupostos cognitivistas para o planejamento instrucional, uma possível explicação é que oferecer certo grau de orientação durante a leitura do conteúdo a partir do uso dos MCs não gerou uma sensação de desorientação aos alunos, mantendo a carga extrínseca associada ao hipertexto a mais baixa possível. Vale ressaltar que a orientação oferecida neste momento é própria dos elementos centrais que compõe os MCs (Aguiar & Correia, 2013), ou seja, as setas nas relações conceituais que direcionam a sequência de leitura e uma hierarquia conceitual bem estabelecida, com conceitos mais gerais no topo do MC que se desdobram em conceitos cada vez mais específicos à medida que caminhamos para a base do MC. Com essa condição, mais recursos cognitivos da MT ficaram disponíveis para lidar com o conteúdo (carga intrínseca), potencializando o processamento generativo, a construção de esquemas e, conseqüentemente, a aprendizagem. Com isso, o esforço mental percebido não se alterou, pois os recursos da MT que poderiam estar sendo utilizados para lidar com um formato de instrução ineficiente agora foram alocados para lidar com o conteúdo e com a própria aquisição de conhecimento. Como consequência, os alunos apresentaram um bom desempenho no pós-teste.

## 5. CONCLUSÃO

A compreensão de processos e fenômenos químicos espontâneos só é possível por meio da adoção de modelos teórico-práticos da termodinâmica. Aprender estes conteúdos pode levar a concepções alternativas ou errôneas, uma vez que é exigido do aluno um alto nível de abstração e explicações em nível molecular-atômico. Muitas dessas concepções são relatadas na literatura como obstáculos à aprendizagem, as quais devem ser devidamente identificadas pelo professor e mediadas por uma instrução eficiente.

Neste estudo, propusemos a representação dos conteúdos químicos na forma de um hipertexto. Devido a possibilidade de ocorrência de desorientação durante a navegação deste material digital hipermídia, dois formatos foram testados e comparados: uma na forma textual/linear e outro na forma de MCs/rede proposicional. Apesar de muitas de nossas hipóteses terem sido refutadas, foi possível concluir uma vantagem no uso dos MCs em comparação à representação textual, apesar deste último ser de fato mais familiar aos alunos. Cognitivamente, os alunos puderam se engajar no processamento de informação relevante contida nos MCs, pois este organizador não ofereceu um senso de desorientação ou um alto esforço mental, ou seja, não levou o aluno a uma situação

de sobrecarga cognitiva. Acreditamos que isso só foi possível, pois os MCs foram elaborados com a mais alta qualidade de conteúdo e layout, ou seja, por um especialista não apenas no tema como também na técnica de mapeamento conceitual. Apesar da presente pesquisa não ter sido conduzida em condições reais de sala de aula, é possível oferecer algumas diretrizes aos professores que desejam utilizar estes materiais, principalmente no ensino híbrido ou remoto, potencializado pelas Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação:

- (1) A elaboração do MC pelo professor deve ser precedida de uma etapa de treinamento na técnica de mapeamento conceitual. O professor precisa garantir a elaboração de um MC com a mais alta qualidade de estrutura visual e conteúdo semântico, refletindo suas representações mentais de modo mais fidedigno. A falta de treinamento implica na elaboração de um MC de baixa qualidade que ao ser utilizado como material de ensino pode prejudicar a aprendizagem.
- (2) O uso de hipertextos na educação vem sendo cada vez mais explorado como um ambiente dinâmico no qual o aluno adota sua sequência de navegação e estudo. A utilização de um MC de alta qualidade visual e semântica permite oferecer ao aluno um suporte à navegação do conteúdo ditado pelo especialista, sem que isso aumente a desorientação causada pela não familiaridade a esta representação do conhecimento. A adição de recursos digitais associados ao MC pode ser uma forma de enriquecer esta estratégia didático-pedagógica.
- (3) O hipertexto não deve ser utilizado como uma estratégia única de ensino, ela deve vir acompanhada da mediação do professor e, principalmente, de etapas de discussão e avaliação contínua. No ambiente real de sala de aula hipertextos não devem ser usados como única fonte de instrução, uma vez que podem levar os alunos à aprendizagem mecânica/superficial.
- (4) A instrução deve sempre considerar o nível de conhecimento prévio dos alunos, uma vez que instruções consideradas eficientes para alunos com baixo nível de conhecimento prévio pode ser desmotivadora para especialistas no tema. Já uma instrução eficiente para alunos com alto conhecimento prévio pode levar à sobrecarga cognitiva para aqueles que não possuem subsunçores para lidar com as novas informações. As muitas possibilidades de adaptar a instrução considerando o nível de conhecimento prévio da turma, amplia a potencialidade do MC como organizador gráfico para propósitos educacionais.

Algumas limitações teóricas e metodológicas foram identificadas nesta pesquisa. Essas limitações nos permitem conceber a continuidade das pesquisas sobre o uso de MCs como material instrucional de Química em possíveis estudos futuros. Primeiramente, quando se fala em ensino de Ciências/Química, deve-se ter em mente os processos de aprender Ciências, em seu nível conceitual, procedimental e atitudinal. Por terem um caráter essencialmente conceitual, os MCs são

limitados quanto à organização e representação de conhecimentos procedimentais e atitudinais. Em segundo lugar, as teorias cognitivistas adotadas como fundamentação teórica do presente trabalho explicam o processo de aprendizagem por meio do processamento, aquisição e recuperação de informações. Ainda que amparado em uma perspectiva construtivista, na qual o aluno como participante ativo desse processo, age intencionalmente para estabelecer relações entre o que ele já sabe e as novas informações, essas teorias são limitadas a enxergar a aprendizagem como um balanço entre o ganho de conhecimento e as cargas cognitivas impostas ao aluno durante a tarefa. As componentes motora, afetiva e social, fatores preponderantes para ocorrência da aprendizagem, são desconsideradas na adoção dessas teorias. Por fim, para fins de pesquisa, é preciso ter consciência de que o reducionismo imposto pela fundamentação teórica e pela pergunta de pesquisa fez prevalecer um caráter pragmático, a metodologia quantitativa e o desenho experimental. Porém, como professores, devemos ter consciência de que não é apenas o caráter cognitivo que está em jogo durante o processo de aprendizagem e não é a diferença entre notas antes e depois de uma única intervenção de estudo com o MC que revela a ocorrência da aprendizagem significativa em sala de aula.

Por se tratar de um estudo, com número reduzido de alunos participantes, a possibilidade de generalização é bem reduzida, contudo, os resultados observados corroboram parte das discussões já feitas na literatura. Ainda assim, há espaço para estudos futuros que explorem o uso de MCs como material instrucional de Ciências/Química em diferentes contextos e metodologias de pesquisa, tais como: outros assuntos igualmente difíceis ao ensino da Química em nível superior (e.g., eletroquímica, equilíbrio químico, compostos de coordenação, síntese orgânica, química teórica e modelagem molecular); o uso de dicas gráficas de navegação e recursos digitais associados ao MC (e.g., vídeos, explicações em áudio, animações, ilustrações); o uso de outras metodologias de coleta e análise de dados (e.g., protocolos *think-aloud*, entrevistas semiestruturadas, análises de discurso e argumentação); uso combinado com outras estratégias de ensino para objetivos pedagógicos diversos (e.g., avaliação, colaboração, ensino por investigação, argumentação); a aplicação de pós-testes tardios (após alguns meses) e testes de transferências (situações em um contexto diferente daquele em que ocorreu a intervenção).

## REFERÊNCIAS

- Aguiar, J. G. & Correia, P. R. M. (2013). Como fazer bons mapas conceituais? Estabelecendo parâmetros de referências e propondo atividades de treinamento. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 13(2), 141-157.
- Aguiar, J. G. & Correia, P. R. M. (2016). Using concept maps as instructional materials to foster the understanding of the atomic model and matter–energy interaction. *Chemistry Education Research & Practice*, 17(4), 756-765.

- Ahuja, J. S. & Webster, J. (2001). Perceived disorientation: *An examination of a new measure to assess web design effectiveness*. *Interacting with Computers*, 14, 15-29.
- Amadiou, F., Tricot, A., & Mariné, C. (2010). Interaction between prior knowledge and concept-map structure on hypertext comprehension, coherence of reading orders and disorientation. *Interacting with Computers*, 22(2), 88-97.
- Amadiou, F., van Gog, T., Paas, F., Tricot, A., & Mariné, C. (2009). Effects of prior knowledge and concept-map structure on disorientation, cognitive load, and learning. *Learning and Instruction*, 19(5), 376-386.
- Atkins, P. & Jones, L. (2011). *Princípios de Química: Questionando a vida moderna e o meio ambiente*. Porto Alegre: Bookman.
- Ausubel, D. P. (2000). *The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Baddeley, A. (1998). *Human memory*. Boston: Allyn & Bacon.
- Blunt, J. R. & Karpicke, J. D. (2014). Learning with retrieval-based concept mapping. *Journal of Educational Psychology*, 106(3), pp. 849-858.
- Briggs, G., Shamma, D., Cañas, A. J., Carff, R., Scargle, J. & Novak, J. D. (2004). Concept maps applied to mars exploration public outreach. In A. J. Cañas & J. D. Novak & F. González (Eds.), *Concept Maps: Theory, Methodology, Technology, Proc. of the First Intl Conference on Concept Mapping*, Pamplona, Spain: Universidad Pública de Navarra.
- Brooke, J. (1996). SUS: A quick and dirty usability scale. In Jordan, P. W. et al. *Usability evaluation in industry*. Londres: Taylor & Francis, pp. 189-194.
- Brown, T.; Lemay, E.; Bursten, B. & Burdge, J. R. (2016). *Química: A Ciência Central*. Nova Jersey: Pearson.
- Burrows, N. L. & Mooring, S. R. (2015). Using concept mapping to uncover students' knowledge structures of chemical bonding concepts. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(1), pp. 53- 66.
- Cañas, A. J. & Novak, J. D. (2006). The origins of the concept mapping tool and the continuing evolution of the tool. *Information Visualization*, 5(3), pp. 175-184.
- Cañas, A. J. et. al. (2004). Cmaptools: a knowledge modeling and sharing environment. In A. J. Cañas & J. D. Novak, & F. González (Eds.), *Concept Maps: Theory, Methodology, Technology. Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping*, Pamplona, Spain: Universidad Pública de Navarra.
- Cañas, A. J., Ford, K. M. & Coffey, J. W. (1994). Concept maps as a hypermedia navigational tool. In *Proceedings of the Seventh Florida Artificial Intelligence Research Symposium (FLAIRS)*, Pensacola, Florida.
- Cangoz, B. & Altun, A. (2012). The effects of hypertext structure, presentation, and instruction types on perceived disorientation and recall performances. *Contemporary Educational Technology*, 3(2), pp. 81-98.

- Carvalho, A. A. A. (2005). *Como olhar criticamente o software educativo multimídia*. Cadernos SACAUSEF – Sistema de Avaliação, Certificação e Apoio à Utilização de Software para a Educação e a Formação - Utilização e Avaliação de Software Educativo, (1), pp. 69-82. Portugal, Universidade do Minho. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/1822/5921>.
- Conklin, J. (1987). Hypertext: an introduction and survey. *Computer*, 20(9), pp. 17- 41.
- Correia, P. R. M. & Nardi, A. (2019). O que revelam os mapas conceituais dos meus alunos? Avaliando o conhecimento declarativo sobre a evolução do universo. *Ciência & Educação*, 25(3), pp. 685-704.
- Correia, P. R. M., Cicuto, C. A. T. & Aguiar, J. G. (2014). Using novakian concept maps to foster peer collaboration in higher education. In: Ifenthaler, D., & R. Hanewald (Orgs.). *Digital knowledge maps in education*. (pp. 195 – 217). New York: Springer.
- Cress, U. & Knabel, O. B. (2003). Previews in hypertexts: effects on navigation and knowledge acquisition. *Journal of Computer Assisted Learning*, 19(4), pp. 517-527.
- Creswell, J. W. (2013). *Research design: qualitative, quantitative and mixed methods approaches*. Londres: Sage.
- Dias, C. (2007). *Usabilidade na Web: criando portais mais acessíveis*. Rio de Janeiro: Editora Alta Books.
- Dias, P. & Sousa, A.P. (1997). Understanding Navigation and Disorientation in Hypermedia Learning Environments. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 6(2), pp. 173-185.
- Dillon, A. & Gabbard, R. (1998). Hypermedia as an educational technology: A review of the quantitative research literature on learner comprehension, control, and style. *Educational Psychology*, 81, pp. 240-246.
- Field, A. (2013). *Descobrimos a estatística utilizando o SPSS*. São Paulo: Artmed.
- Grimaldi, P. J., Poston, L. & Karpicke, J. D. (2015). How Does Creating a Concept Map Affect Item-Specific Encoding? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 41(4), pp. 1049-1061.
- Hagemans, M. G., van der Meij, H., & de Jong, T. (2013). The effects of a concept map-based support tool on simulation-based inquiry learning. *Journal of Educational Psychology*, 105(1), pp. 1-24.
- Hauser, S., Nückles, M. & Renkl, A. (2006). Supporting concept mapping for learning from text. In S. A. Barab, K. E. Hay, & D. T. Hickey (Eds.), *Proceedings of the 7th International Conference of the Learning Sciences*. Mahwah, NJ: Erlbaum, pp. 243-249.
- Hilbert, T. S. & Renkl, A. (2009). Learning how to use a computer-based concept-mapping tool: Self-explaining examples helps. *Computers in Human Behavior*, 25, pp. 267-274.
- Horton, P. B. et al. (1993). An investigation of the effectiveness of concept mapping as an instructional tool. *Science Education*, 77(1), pp. 95-111.

- Huang, L., Milne, D., Frank, E. & Witten, I. H. (2012). Learning a concept-based document similarity measure. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 63(8), pp. 1593-1608.
- Hwang, G., Kuo, F., Chen, N. & Ho, H. (2004). Effects of an integrated concept mapping and web-based problem solving approach on students' learning achievements, perceptions and cognitive loads. *Computers & Education*, 71, pp. 77-86.
- Jeung, H. J., Chandler, P. & Sweller, J. (1997). The role of visual indicators in dual sensory mode instruction. *Educational Psychologist*, 17(3), pp. 329-343.
- Kim, H. & Hirtle, S. C. (1995). Spatial Metaphors and Disorientation in Hypertext Browsing. *Behaviour and Information Technology*, 14(4), pp. 239-250.
- Kotz, J. C., Treichel, P. M., Townsend, J. R. & Treichel, D. A. (2015). *Química Geral e Reações Químicas*. São Paulo: Cengage Learning.
- Lacerda, R. P. (2013). *Aprendizagem e hiperdocumento: a vinculação entre a linguagem hipertextual e a construção de sistemas conceituais*. Porto Alegre: Editora da UFRGS.
- Lim, K. Y., Lee, H. W. & Grabowski, B. (2009). Does concept-mapping strategy work for everyone? The levels of generativity and learners' self-regulated learning skills. *British Journal of Educational Technology*, 40(4), pp. 606-618.
- Liu, P. (2014). Using eye tracking to understand learners' reading process through the concept-mapping learning strategy. *Computers & Education*, 78, pp. 237-249.
- McDonald, S. & Stevenson, R. (1996). Disorientation in hypertext: the effects of three text structures on navigation performance. *Applied Ergonomics*, 27(1), pp. 61-68.
- Moreira, M. A. (2011). O que é afinal aprendizagem significativa? In M. A. Moreira (Ed.), *Aprendizagem Significativa: A teoria e textos complementares* (pp. 13-57). Porto Alegre: Livraria da Física.
- Mueller-Kalthoff, T. & Moeller, J. (2003). The effects of graphical overviews, prior knowledge, and self-concept on hypertext disorientation and learning achievement. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 12(2), pp. 117-134.
- Nesbit, J. C. & Adesope, O. O. (2006). Learning with concept and knowledge maps: a meta-analysis. *Review of Educational Research*, 76(3), pp. 413-448
- Novak, J. D. & Musonda, D. (1991). A 12-year longitudinal study of science concept-learning. *American Educational Research Journal*, 28(1), pp. 117-153.
- Novak, J. D. (1977). *A Theory of Education*. Ithaca: Cornell University Press.
- Novak, J. D. (1984). Application of advances in learning theory and the philosophy of science to the improvement of chemistry teaching. *Journal of Chemical Education*, 61(7), pp. 607-612.
- Novak, J. D. (2002). Meaningful Learning: The Essential Factor for Conceptual Change in Limited or Inappropriate Propositional Hierarchies Leading to Empowerment of Learners. *Science Education*, 86(4), pp. 548-557.

- Novak, J. D. (2010). *Learning, creating and using knowledge: concept maps as facilitative tools in schools and corporations*. Nova Iorque: Routledge.
- Oliveira, B. P., Fechine, P. B. A., Romero, F. B. & Soares, A. C. (2019). Concepções alternativas de conceitos termodinâmicos: uma investigação sobre a espontaneidade dos fenômenos naturais com alunos dos cursos licenciatura em química. *Interface*, 18(18), pp. 35-46.
- Paas, F. G. W. C. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 84(4), pp. 429-434.
- Paas, F. G. W. C. & van Merriënboer, J. J. G. (1993). The efficiency of instructional conditions: an approach to combine mental effort and performance measures. *Human Factors*, 35(4), pp. 737-743.
- Paas, F., van Merriënboer, J. J. G. & Adam, J. J. (1994). Measurement of cognitive load in instructional research. *Perceptual and Motor Skills*, 79, pp. 419-430.
- Redford, J. S., Thiede, K. W., Wiley, J. & Griffin, T. D. (2012). Concept mapping improves metacomprehension accuracy among 7th graders. *Learning and Instruction*, 22(4), pp. 262-270.
- Sakaguti, S. T. (2004). *Mapas conceituais e seus usos: um estudo da literatura*. (Dissertação de Mestrado Profissional). Universidade Estadual de Campinas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Computação, Campinas.
- Salmerón, L., Baccino, T., Cañas, J. J., Madrid, R. I. & Fajardo, I. (2009). Do graphical overviews facilitate or hinder comprehension in hypertext? *Computers & Education*, 53(4), pp. 1308-1319.
- Schneider, R. (2005). Hypertext narrative and the reader: a view from cognitive theory. *European Journal of English Studies*, 9(2), pp. 197-208.
- Shapiro, A. & Niederhauser, D. (2004). Learning from Hypertext: Research Issues and Findings. In D. H. Jonassen, (Eds.), *Handbook of Research for Educational Communications and Technology* (2. Ed, pp. 605-620). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Shavelson, R. J., Ruiz-Primo, M. A., & Wiley, E. W. (2005). Windows into the mind. *Higher Education*, 49, pp. 413-430.
- Stevenson, M. P. Hartmeyer, R., & Bentsen, P. (2017). Systematically reviewing the potential of concept mapping technologies to promote self-regulated learning in primary and secondary science education. *Educational Research Review*, 21, pp. 1-16.
- Stull, A. T. & Mayer, R. E. (2007). Learning by doing versus learning by viewing: three experimental comparisons of learner-generated versus author-provided graphic organizers. *Journal of Educational Psychology*, 99(4), pp. 808-820.
- Sunawan, & Xiong, J. (2017). The impact of control belief and learning disorientation on cognitive load. *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 16(1), pp. 177-189.
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive Load Theory*. Nova Iorque: Springer.

- Teichert, M. A. & Stacy, A. M. (2002). Promoting understanding of chemical bonding and spontaneity through student explanation and integration of ideas. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), pp. 464-496.
- Torres, P. L., & Marriott, R. C. V. (2010). *Handbook of research on collaborative learning using concept mapping*. Hershey: IGI Global.
- Unz, D. C. & Hesse, F. W. (1999). The use of hypertext for learning. *Journal of Educational Computing Research*, 20(3), pp. 279-295.