

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E ENSINO DE QUÍMICA: UMA ANÁLISE PROPEDEÚTICA DO CHATGPT NA DEFINIÇÃO DE CONCEITOS QUÍMICOS

Bruno S. Leite^{a,*} 

^aDepartamento de Educação, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 52171-900 Recife – PE, Brasil

Recebido em 27/03/2023; aceito em 18/04/2023; publicado na web 25/05/2023

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND CHEMISTRY TEACHING: A PROPAEDEUTIC ANALYSIS OF CHATGPT IN CHEMICAL CONCEPTS DEFINING. The use of artificial intelligence (AI) in education is a current topic and in Chemistry teaching it has the potential to offer some benefits. This article is the first attempt to show that activities involving Chemistry can be accelerated with the help of AI. This is a propaedeutic study that aimed to analyze the contributions of the ChatGPT AI in defining chemical concepts. The research was conducted in the virtual environment of the chatbot and was carried out in four stages. The results show that ChatGPT can be used in Chemistry teaching as an aid to the teaching and learning process. Additionally, depending on the chemical concept, AI provided coherent answers but could lead students to difficulties in understanding. Finally, the use of ChatGPT in Chemistry teaching needs to be guided by a process of reflection, so that from the AI's responses, students present critical thinking, the teacher considers it as just another resource in Chemistry teaching, besides other actions that can be developed in Chemistry teaching to ensure that the ChatGPT AI is used ethically and responsibly.

Keywords: artificial intelligence; chemistry teaching; ChatGPT; chemical concepts.

INTRODUÇÃO

As tecnologias digitais nos últimos anos têm se destacado com inúmeras possibilidades de aplicação na Educação. Seu impacto está diretamente relacionado com o papel que as tecnologias desenvolvem na sociedade atual. Muitas partes interessadas na sociedade dedicam boa parte de seu tempo a melhorias contínuas na educação, especialmente por meio do uso das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC).¹ Professores e estudantes utilizam aplicativos, *softwares*, vídeos, jogos digitais, internet etc. Contudo, a inserção dessas tecnologias no ensino, muitas vezes, é (ou foi) questionada por seus envolvidos (professores, diretores, pais, estudantes).

Quando surgiu a calculadora (máquina de calcular) as escolas e universidades tiveram de adaptar a forma de ensinar cálculo matemático. De modo igual, com a inserção dos vídeos até o uso da internet. Recentemente, um novo desafio surge na educação ao considerar o uso da inteligência artificial (IA) no processo de construção de conhecimento.

As ferramentas de inteligência artificial como o ChatGPT (tema deste artigo) e o Dall-E-2 (utilizado para elaborar o *Graphical Abstract* deste artigo) vêm ganhando espaço e tem chamado a atenção de diversos educadores.^{2,3} A inteligência artificial chamada ChatGPT tem conquistado o mundo, com inúmeros apoiadores (e opositores também). O ChatGPT, que foi lançado como uma ferramenta gratuita em 30 novembro de 2022 pela empresa de tecnologia OpenAI em San Francisco, Califórnia, é um grande modelo de linguagem (do inglês *large language model* - LLM), “que gera sentenças convincentes imitando os padrões estatísticos da linguagem em um enorme banco de dados de texto coletado da internet” (p. 620).⁴ Não é novidade que no processo de ensino e aprendizagem se tem utilizado de dados da *web*,^{1,5,6} extraídos de *blogs*, *sites*, Wikipédia, redes sociais etc. Por exemplo, se um professor propõe uma atividade em sala de aula solicitando “Faça um trabalho sobre modelos atômicos” os estudantes, em muitos casos, vão buscar o tema na internet, reescrevendo os textos

encontrados e tentando ligá-los de forma consistente para no final apresentarem uma versão final (possivelmente um texto original). O ChatGPT executa “exatamente” o mesmo processo. No entanto, é importante ressaltar que escrever um texto não significa aprender e internalizar questões relacionadas ao tema, mas apenas demonstrar a capacidade de realizar buscas na internet e escrever respeitando regras sintáticas e semânticas. É isso que o aplicativo ChatGPT faz, só que muito mais rápido.

Por outro lado, a construção de conhecimento não é algo que é transmitido do professor para o estudante⁷ ou da tecnologia para o indivíduo. O conhecimento é sempre construído, ou reconstruído no processo de ensino e aprendizagem, com inovações que emergem do conhecimento estabelecido anteriormente. Segundo Husserl,⁸ a construção do conhecimento não é livre e aleatória o que levaria a incomunicabilidade, mas é algo que deve corresponder a um pensamento, a uma concordância (consenso universal). Já Werneck,⁹ destaca que a construção do conhecimento como processo de aprendizagem do indivíduo depende do desenvolvimento de suas estruturas cognitivas e do modo pelo qual os conteúdos do conhecimento lhes são apresentados. Nesse sentido, o papel do professor enquanto formador de opinião, agente de mudança, que contribui para a compreensão mútua durante a construção do conhecimento do estudante é fundamental.

É importante ponderar que as tecnologias digitais são recursos que devem ser utilizadas como mediadoras no processo de ensino e aprendizagem, não podendo ser consideradas decisivas na construção do conhecimento pelos estudantes. Assim, é preciso refletir também sobre o papel da inteligência artificial nessa construção, uma vez que as tecnologias têm possibilitado o acesso a uma educação, talvez, diferenciada considerando que sua inserção nos ambientes de ensino (escolas e universidades) é um fenômeno em franca expansão. Ademais, conhecer a real capacidade que as tecnologias digitais têm para contribuir com o processo de ensino e aprendizagem é um passo primordial.

Todavia, acreditar que o uso da tecnologia por si só culminará diretamente na melhoria de uma atividade educativa se mostra ingênuo. Este tipo de pensamento é denominado de determinismo

*e-mail: brunoleite@ufrpe.br

tecnológico. O determinismo tecnológico “se traduz na ideia de que qualquer atividade será melhor realizada pela mera presença de artefatos tecnológicos, sempre os mais ‘modernos’, que carrega outro fetichismo, o do novo como imperativo, abstraído-se as próprias características dos artefatos” (p. 96).¹⁰ As tecnologias digitais, incluindo a inteligência artificial, são um caminho para a realização de uma atividade pedagógica e não a própria atividade, isto é, não se deve deixar encantar por seus atrativos de modo a limitar a práxis educativa.

Destarte, esta pesquisa investiga em que medida a utilização da tecnologia ChatGPT cria textos, a respeito de conceitos químicos de forma a contribuir (ou não) com a construção do conhecimento?

Essa investigação possibilitará identificar as potencialidades e limitações da IA ChatGPT avaliando seu desempenho na capacidade de responder questões envolvendo conceitos químicos.

Inteligência artificial

Nos últimos anos a IA tem apresentado a capacidade de gerar linguagem fluente, produzindo frases cada vez mais difíceis de distinguir do texto escrito por pessoas.¹¹ É fundamental destacar que a IA apenas reproduz os processos de nossa sociedade, em atividades para as quais foi treinada, realizando-as com maior rapidez e, muitas vezes, com maior precisão do que um ser humano.

A função de preenchimento automático de texto, muito comuns em *smartphones* (e nos navegadores), tem avançado na área da computação. Agora, ferramentas baseadas na mesma ideia progrediram a ponto de ajudar os pesquisadores a analisarem e escreverem artigos científicos, gerarem códigos e até debaterem ideias.¹² Essas ferramentas vêm do processamento de linguagem natural (do inglês, *natural language processing*), uma área de inteligência artificial destinada a ajudar os computadores a “entenderem” e até produzirem textos compreensíveis. Chamados de grandes modelos de linguagem (LLMs), essas ferramentas evoluíram para se tornarem não apenas objetos de estudo, mas também auxiliares de pesquisa. Os LLMs são redes neurais que foram treinadas em grandes corpos de texto para processar e, em particular, gerar linguagem.

A inteligência artificial tem atraído muitas atenções, pois seu uso impacta significativamente na vida cotidiana e nas regulamentações legais, incluindo leis civis, criminais e de responsabilidade.¹³ Há especulações sobre as consequências da IA para tudo, desde a guerra, geração de informações falsas até a produção de filmes, e que ela substituirá trabalhadores humanos (incluindo professores) ou funcionará mais como uma ferramenta para aumentar a capacidade humana.¹⁴ Segundo Pavlik,¹⁴ a IA se refere “à simulação da inteligência humana em máquinas que são programadas para pensar e agir como humanos. Essas máquinas são projetadas para aprender com seu ambiente e experiências e são capazes de adaptar seu comportamento com base nesse aprendizado” (p. 3).¹⁴

O ChatGPT, um chatbot, é uma dessas máquinas que interage com as pessoas, sendo uma variante do modelo de linguagem de inteligência artificial GPT-3 (*Generative Pre-trained Transformer 3*) desenvolvido pela OpenAI.¹⁵ O GPT-3 se destaca por seu tamanho, com 175 bilhões de parâmetros, o que o torna um dos maiores modelos de linguagem atualmente disponíveis.¹⁶ É um tipo de IA generativa que varre a internet em busca de padrões em diferentes tipos de conteúdo e assuntos, sendo capaz de criar coisas novas.

Tecnicamente, o ChatGPT leu muitos textos da Wikipédia, de livros, jornais, trechos que foram criados na web etc., e “aprendeu” a representar esse conhecimento do que leu dentro do modelo. O ChatGPT responde a partir do que ela já leu, conseguindo representar em palavras, bem como a relação entre essas palavras, apresentando respostas mais sofisticadas para o usuário. Trata-se de uma caixa de

texto em que o usuário escreve sem precisar saber programação, muito ao estilo dos recursos da web 2.0.¹⁷ Para acessar o ChatGPT e suas funções, é preciso primeiro criar uma conta por meio do endereço: <https://chat.openai.com>. Depois que a conta é criada, os usuários recebem algumas informações gerais sobre o chatbot. Quando os usuários começam a usar o *software*, eles verão as seguintes informações: exemplos, capacidades (recursos) e limitações. Em suas limitações, o ChatGPT alerta que pode ocasionalmente gerar informação incorreta, conteúdo tendencioso, instruções prejudiciais e conhecimento limitado do mundo e eventos após 2021, o que amplia a necessidade do usuário verificar as informações disponibilizadas pela IA.

O chatbot pode ser usado para atendimento ao cliente, criação de conteúdo e tarefas de tradução de idiomas, criando respostas em vários idiomas.¹³ O usuário escreve uma pergunta, pede algo e recebe uma resposta coesa, quase sempre coerente, mas não perfeita. Não é perfeita, pois o ChatGPT coleta os dados de conteúdos disponíveis na internet, na Wikipédia, em livros que estão disponíveis online, do *Twitter*, de vários vetores de informação e começou a “aprender” como as pessoas se comunicam, como as frases são montadas. Cabe ressaltar que este aprender, assemelha-se ao descrito por Bandura na aprendizagem social,¹ só que ao invés do estudante aprender pela observação dos outros, é o robô virtual que está “aprendendo” nos observando. Quando as perguntas são bem específicas, nem sempre o ChatGPT acerta, mas quando é solicitado para criar algo, a IA consegue apresentar respostas compreensíveis. O ChatGPT funciona aplicando uma camada de aprendizagem por reforço com *feedback* humano (do inglês, *Reinforcement Learning from Human Feedback - RLHF*), um algoritmo baseado em respostas. Além disso, o ChatGPT se diferencia dos demais chatbots ou sistemas de conversação que têm permissão para acessar fontes externas de informação (como realizar pesquisas online ou acessar bancos de dados) para fornecer respostas direcionadas às consultas do usuário, pois ele não navega ou realiza pesquisas na internet.¹⁸

Na educação o ChatGPT pode escrever textos, resumir trabalhos de pesquisa, responder a perguntas, elaborar planos de aula, dentre outras possibilidades. Ele produziu resumos de pesquisas consideradas bons o suficiente para que pesquisadores não conseguissem identificar que o texto foi escrito por um computador.¹¹ O acesso ao ChatGPT é aberto, o que possibilita que estudantes possam utilizá-lo para resolver exercícios de qualquer área do conhecimento. Hutson¹² destaca que os LLMs podem redigir resumos ou sugerir direções de pesquisa. Diversos artigos científicos têm creditado ao ChatGPT a autoria formal de suas pesquisas.⁴

A inserção do ChatGPT na educação tem gerado polêmicas, recentemente o ChatGPT foi proibido nas escolas de Nova York.¹⁹ Pesquisadores e educadores questionam se será possível que os professores sejam substituídos por cursos realizados pela IA. No ensino superior, Yeadon e colaboradores²⁰ consideram o ChatGPT uma séria ameaça à credibilidade de redações curtas que são utilizadas como método de avaliação. Já Gilson e colaboradores²¹ testaram o desempenho do ChatGPT em questões dentro do escopo do Exame de Licenciamento Médico dos Estados Unidos e afirmaram que a IA funcionava parcialmente no nível de estudantes de medicina do terceiro ano, apresentando “aplicações potenciais do ChatGPT como uma ferramenta de educação médica” (p. 1).²¹ No trabalho de Cotton, Cotton e Shipway,¹⁶ os autores adotam uma abordagem realista para avaliar as oportunidades e os desafios do uso do ChatGPT e se concentram no aproveitamento de tais assistentes de escrita baseados em IA. Em uma abordagem mais ampla, Tate e colaboradores²² examinaram as implicações das ferramentas de geração de texto do ChatGPT e similares para a educação e as situam dentro do contexto histórico da tecnologia educacional. Outra preocupação

com o ChatGPT nas universidades é o potencial uso dele por alguns estudantes para escrever exames e realizar tarefas.⁴

Na Química, ainda não existem trabalhos que identificam o ChatGPT como co-autor e/ou sobre sua contribuição no processo de ensino e aprendizagem. Desse modo, pensando na Química, o ChatGPT pode ser útil, por exemplo, na química computacional ao possibilitar a geração de relatórios detalhados sobre as propriedades de determinada molécula, descrever de forma legível sistemas complexos, contribuindo para o processo de interpretação e comunicação de resultados da química computacional. Na química experimental/analítica, auxiliar na otimização de experimentos, na orgânica gerar previsões sobre os resultados de diferentes reações químicas. Na físico-química/inorgânica pode contribuir no entendimento de algumas propriedades das moléculas. Ademais, uma das vantagens do ChatGPT é que ele pode ser usado para auxiliar na comunicação e divulgação de pesquisas envolvendo as diferentes áreas da Química. E no ensino de Química, como o ChatGPT pode (ou não) contribuir? A seguir descreve-se uma análise da IA ChatGPT para o ensino de Química.

MÉTODOS

Em relação ao método utilizado para a realização desta pesquisa, concorda-se com André²³ de que não é atribuindo um nome específico que irá estabelecer o seu rigor metodológico, mas pela “explicitação dos passos seguidos na realização da pesquisa, ou seja, a descrição clara e pormenorizada do caminho percorrido para alcançar os objetivos” (p. 96).²³ Nesse sentido, a pesquisa é de natureza qualitativa abrangendo uma abordagem descritiva e interpretativa das respostas da IA ChatGPT. O objetivo da pesquisa foi investigar as potencialidades e limitações da ferramenta ChatGPT, na qual foi avaliado seu desempenho na capacidade de responder questões sobre conceitos químicos de forma a contribuir (ou não) com a construção do conhecimento. Destarte, a pesquisa foi desenvolvida em três etapas.

Na primeira etapa, ocorreu a criação de um perfil no ChatGPT. Considerando que se trata de uma plataforma digital com características do tipo fechada^{24,25} foi preciso se cadastrar no ambiente para ter acesso a suas funcionalidades.

A segunda etapa da pesquisa consistiu na elaboração e realização das perguntas no ChatGPT. Nesse momento, as perguntas foram elaboradas e formatadas no chat do *software*. O ChatGPT é um exemplo de como uma inteligência artificial generativa pode produzir resultados na redação de textos. Portanto, buscou-se que a IA redigisse definições de conceitos químicos em um nível básico e em seguida analisou-se sua validade acadêmica. Para isso, como método de investigação, foi determinado que as definições seriam referentes a cinco conceitos químicos: Átomo, Ligação Química, Equilíbrio Químico, Isomeria e Ácido-Base. Estes conceitos foram escolhidos levando em consideração que estão comumente presentes em discussões envolvendo a Química. As perguntas realizadas para a IA foram: 1. Defina átomo; 2. Defina ligação química; 3. Defina equilíbrio químico; 4. Defina isomeria; 5. Defina ácido-base (ácido e base). Para todas as perguntas foi solicitado ao ChatGPT que “Melhore essa definição”.

Por ser um modelo de linguagem contido no servidor que não pode navegar ou realizar pesquisas na internet, todas as respostas do ChatGPT são geradas *in situ*, com base na relação abstrata entre as palavras na rede neural.¹⁸ Para reduzir o viés de retenção de memória, uma nova sessão de bate-papo foi iniciada no ChatGPT para cada pergunta realizada.

Na terceira etapa (análise das respostas), os textos produzidos pelo ChatGPT foram analisados e comparados com as definições presentes no Compêndio de Terminologia Química (*Compendium*

of Chemical Terminology) da IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*). O Compêndio de Terminologia Química é um livro publicado pela IUPAC que contém as definições de termos químicos internacionalmente aceitas. O compêndio consiste em uma lista em ordem alfabética de conceitos químicos com as definições recomendadas por várias comissões da IUPAC encarregadas de organizarem as nomenclaturas, terminologias, símbolos e unidades.²⁶ Sua primeira versão foi publicada em 1987 por Victor Gold, daí vem o nome informal: *Gold Book*. Além disso, discutiu-se (em alguns momentos) qual seria o papel do professor frente as informações geradas pelo ChatGPT.

Os textos criados pelo ChatGPT foram verificados por ferramentas de plágio como o *Plagium*, *Plagius*, *CopySpider* e afins. Os *softwares* de detecção de plágio analisam por completo os documentos em busca de ocorrências de suspeita de plágio em que os resultados são exibidos de maneira discriminada em um documento, com a indicação de todos os critérios de análise.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Devido à natureza de saída do ChatGPT, cada resposta disponibilizada foi revisada manualmente. Ressalta-se que não é intenção deste artigo explorar minuciosamente cada conceito apresentado, apenas analisar as respostas apresentadas pela inteligência artificial generativa e comparar (propedêuticamente) de acordo com a literatura (em especial, com o Compêndio de Terminologia Química). Todas as respostas do ChatGPT, em sua forma original, podem ser encontradas no Material Suplementar.

Definições de conceitos químicos no ChatGPT

Na sociedade atual, a palavra Química, por vezes, representa uma visão maniqueísta para muitas pessoas. Ela pode ser vista como algo “bom” ao buscar produzir substâncias e/ou materiais que ajudam na saúde e bem-estar das pessoas ou é considerada “ruim” que prejudica o meio ambiente, a saúde humana e a sociedade, sendo uma causadora de diversos malefícios.

Para além desta visão simplista e limitada, na Química se estuda características dos materiais, substâncias, suas representações e transformações, dentre outras ações que podem ser realizadas através dos diversos conteúdos que a permeia. Assim, ver como a Química está presente em todos os aspectos da vida das pessoas, desde atividades cotidianas até no desenvolvimento de medicamentos para cura de uma doença, tem sido fundamental.

Ensinar a Química nas escolas e universidades tem sido uma tarefa difícil, quer seja pela desvalorização que vem sofrendo, principalmente por políticas públicas que tem prejudicado seu ensino e apropriação de seus conceitos, vide o Novo Ensino Médio e a BNCC (Base Nacional Comum Curricular). Além disso, a Química ainda tem sido considerada como de difícil compreensão pelos estudantes.²⁷ É preciso que se busque um ensino de Química que proporcione o pensamento químico sobre o mundo, mais do que o acesso a conteúdos isolados e sem sentido na vida dos estudantes. Para produzir um pensamento químico sobre determinada situação, necessita-se dos significados dos conceitos da Química. E esses conceitos químicos, estão disponíveis em diferentes locais (livros, artigos, *sites* etc.).

Abordar os conteúdos da Química em sala de aula requer do professor uma formação adequada que vá para além de saber Química, mas que saiba como e porquê ensiná-la. Assim, o professor deve utilizar os diferentes recursos que estão à sua disposição (livro, quadro, laboratório, caderno, computador, *smartphone*, internet etc.). Um dos recursos que possivelmente pode contribuir para o ensino e aprendizagem da Química é o ChatGPT. Destarte, em uma primeira

consulta a ferramenta, questionou-se o ChatGPT sobre “Qual a possibilidade de usar o ChatGPT na Química?” a IA afirmou que:

“O ChatGPT pode ser usado na química para responder perguntas sobre conceitos, fórmulas, reações químicas, propriedades de elementos e compostos, etc. Além disso, pode ser usado para fornecer informações sobre experimentos e pesquisas químicas recentes. No entanto, é importante lembrar que o modelo não é especialista em química e as respostas devem ser verificadas antes de serem usadas para fins críticos”.²⁸

Observa-se que a plataforma se disponibiliza a responder perguntas sobre vários assuntos envolvendo a Química, contudo deixa explícito que “não é especialista em química”, sendo necessário que o usuário verifique as respostas antes de serem utilizadas. É neste momento que entra o professor como mediador na construção do conhecimento dos estudantes. De modo igual, esse alerta do ChatGPT serve também para os estudantes, pois memorizar fórmulas, conceitos, reações etc. pouco contribuirá para sua formação. Todavia, para identificar as potencialidades e limitações deste recurso, foram investigadas as definições de cinco conceitos químicos a partir das respostas da IA generativa ChatGPT.

Inicialmente, é importante destacar que definir não é a mesma coisa que conceituar. Segundo Messeder Neto, Sá e Brito,²⁹ definir significa “delimitar, dizer o que é” (p. 9).²⁹ Na perspectiva de Apolinário,³⁰ definir consiste na “descrição das propriedades ou características de um objeto ou conceito” (p. 43).³⁰ Segundo Mortimer,³¹ a definição “envolve o emprego da nominalização, pelo qual os processos, que normalmente ocorrem como fenômenos [...], são transformados em nomes ou grupos nominais” (p. 195).³¹ O conceito é uma ideia que corresponde a interpretação intelectual de um aspecto da realidade sensível.³⁰ Trata-se de “delimitar, dizer o que é, mas localizando o objeto em uma teia de relações” (p. 9).²⁹ Os conceitos são construções humanas históricas que em novos contextos adquirem novos sentidos e significados. Sobre conceitos, Vigotisky³² considera que estes evoluem com os significados das palavras e tendem a se tornarem mais precisos dentro de um sistema de generalidades. No momento de assimilação de uma nova palavra, termo, expressão etc., o processo de desenvolvimento do conceito está apenas iniciando.

Tomou-se como referência o termo definir – para realizar as perguntas ao ChatGPT – esperando que a IA “descreva, explique, delimite ou diga o que é” cada conceito elencado.^{29,30} Dentre as diversas possibilidades de uso do ChatGPT, a IA destaca que pode ser utilizada para responder perguntas sobre conceitos químicos, desse modo, foi solicitado que o ChatGPT definisse átomo em duas ocasiões consecutivas (“Defina” e depois “Melhore essa definição”), em que a plataforma apresentou dois textos distintos e inéditos (que foram classificados como originais em plataformas que identificam plágio).

O primeiro texto em resposta a pergunta (defina átomo) foi:

“Um átomo é a unidade básica de matéria. Ele consiste em um núcleo central, composto por prótons e nêutrons, rodeado por elétrons em movimento ao redor do núcleo. Os prótons têm carga positiva, os nêutrons não têm carga, e os elétrons têm carga negativa. A combinação de prótons, nêutrons e elétrons determina o elemento químico a que o átomo pertence”.²⁸

Ao definir átomo, o ChatGPT produziu um texto que apresenta palavras-chaves que são comumente observadas na literatura. A ideia de que o átomo é uma partícula infinitamente pequena,^{33,34} que apresenta um núcleo positivo que contém prótons (partícula de

carga positiva) e elétrons (partícula de carga negativa)²⁹ e que cada elemento é composto de um único tipo de átomo.³³ No Compêndio de Terminologia Química, átomo é “a menor partícula ainda caracterizando um elemento químico” (p. 121).³⁵ Em sua resposta o ChatGPT além de apresentar uma definição coerente para átomo, também relacionou com a definição de elemento químico.

Na sequência foi solicitado que a resposta fosse melhorada (Melhore essa definição), em que a IA ampliou sua resposta definindo átomo como “a unidade fundamental da matéria e é composto por três tipos de partículas subatômicas: prótons, nêutrons e elétrons”.²⁸ Além disso, apresentou uma explicação de como o núcleo do átomo é formado (por prótons e nêutrons), sobre os elétrons e apresentando uma definição de elemento químico que pode levar o estudante a se confundir (quando comparar as duas definições e com o descrito na literatura).

No segundo texto o ChatGPT explicou que “A combinação **específica** de prótons em um átomo determina o elemento químico a que ele pertence.” (grifo nosso).²⁸ Quando comparada a definição inicial, este trecho pode causar confusão na compreensão do estudante. Segundo Messeder Neto, Sá e Brito,²⁹ é comum encontrar definições de elemento químico como “conjunto de átomos de mesmo número atômico” (p. 26).²⁹ Os autores alertam para que “se a definição de elemento químico envolve todos os átomos de determinado tipo em todo o universo, as unidades não estão juntas” (p. 26),²⁹ sendo importante evitar usar uma definição que envolva a ideia de conjunto. As discussões envolvendo o conceito átomo em sala de aula requer um processo de ensino e aprendizagem que envolve noções abstratas, palavras, símbolos e modelos. Ademais, o *software* amplia sua resposta ao explicar que “O número de prótons em um átomo é conhecido como o número atômico e é único para cada elemento químico”,²⁸ trazendo o conceito de número atômico para sua definição de átomo. Segundo o Compêndio de Terminologia Química o átomo “consiste em um núcleo de carga positiva (Z é o número de prótons e e a carga elementar) carregando quase toda a sua massa (mais de 99,9%) e elétrons Z determinando seu tamanho” (p. 121).³⁵ Assim, a definição do ChatGPT para átomo se aproxima ao que é encontrado na literatura.

A segunda pergunta solicitava que o ChatGPT definisse “ligação química”. Após apresentar sua resposta, foi solicitado que a IA melhorasse essa resposta, conforme mostra a Figura 1.

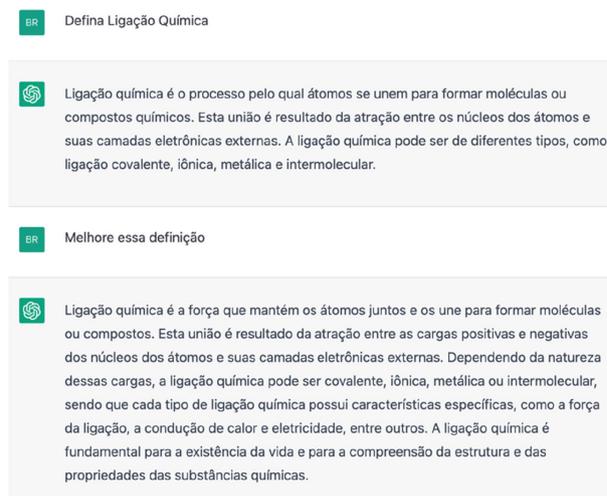


Figura 1. Definição de ligação química descrita pelo ChatGPT²⁸

A primeira resposta do ChatGPT trata da ligação como uma “união” de átomos para formarem moléculas ou compostos químicos. Talvez o termo união não seja o mais apropriado, uma vez que

pode levar o estudante a achar que de fato os átomos ficam unidos (quimicamente isso seria um problema). Embora, essa definição possa ser “considerada” pelo professor, nota-se a importância da mediação do professor em relação a este conhecimento, pois da forma que se encontra o texto (resposta do ChatGPT), provavelmente levará o estudante a um erro conceitual. Para o Compêndio de Terminologia Química a ligação química existe quando as forças que atuam entre dois átomos ou grupo de átomos levam à formação de um agregado com estabilidade suficiente para tornar uma molécula independente.^{35,36}

Segundo Atkins e Jones,³⁴ a ligação química é a junção de dois átomos em que o “arranjo resultante dos dois núcleos e seus elétrons tem menos energia do que a energia total dos átomos separados” (p. 164).³⁴ A ligação química leva a um abaixamento da energia do sistema, estabilizando-o. Percebe-se que na sua primeira resposta, o ChatGPT apresenta um texto que pode se mostrar como um obstáculo epistemológico.³⁷ A última parte da primeira resposta, o *software* apresenta uma delimitação sobre os tipos de ligação química, porém não as diferenciam. Além disso, apresenta a força intermolecular como um tipo de ligação química.

A segunda parte da resposta, melhora essa definição (Figura 1), o *software* trata a ligação química como uma força que mantém os átomos juntos. Semanticamente o termo junto também significa que se encontra a pouca distância do outro, se aproximando da ideia de que os átomos em uma ligação química não estão unidos (colados), mas sim próximos. A ligação química é uma força resultante da atração/repulsão que mantém os átomos ligados. Segundo Messeder Neto, Sá e Brito,²⁹ essa “força surge de uma aproximação entre átomos onde as atrações seriam as que ocorrem entre o núcleo (positivo) de um átomo com a eletrosfera (negativa) do outro” (p. 43).²⁹ Na sequência, o texto destaca que ligação química é “resultado da atração entre as cargas positivas e negativas dos núcleos dos átomos e suas camadas eletrônicas externas”.²⁸ Novamente, o texto dá a entender a existência de quatro tipos de ligação (covalente, iônica, metálica e intermolecular), explicando que “cada tipo de ligação química possui características específicas, como a força da ligação, a condução de calor e eletricidade, entre outros”.²⁸ É importante ter em mente que a “ligação química participa da identidade da substância formando, por exemplo, as moléculas” (p. 60).²⁹ Já as forças intermoleculares aparecem em uma situação em que existe um grande número de “interações/forças entre as moléculas que compõem as substâncias” (p. 60).²⁹ Ademais, as forças intermoleculares são forças entre moléculas, que são diferentes das forças responsáveis pela formação das ligações químicas entre átomos.^{33,34}

A princípio o termo para descrever interações fracas do tipo ligação de hidrogênio e forças de van der Waals é “interação intermolecular”. Semanticamente o termo “ligação intermolecular” não faz sentido porque o “intermolecular” já indica “entre moléculas”, então é uma interação entre duas espécies independentes. Se há uma ligação entre duas moléculas então o conjunto passa a ser uma única molécula.

A ligação também é uma interação (a definição matemática é baseada na diferença de energia das espécies juntas e separadas). Quanto maior essa diferença, mais forte a interação e maior a tendência de ser classificada como uma ligação. Todavia, compreende-se que na definição de ligação química, o *software* apresenta definições que são sensíveis no ensino de ligação química, o que pode acarretar numa aprendizagem equivocada deste conceito. Assim, reforça-se a necessidade de acompanhamento do professor no que diz respeito a definição de ligação química. Por fim, o ChatGPT menciona que a ligação química é “fundamental para a existência da vida e para a compreensão da estrutura e das propriedades das substâncias químicas”,²⁸ sem apresentar qualquer tipo de explicação,

configurando-se como uma frase solta, sem qualquer relação com o texto anterior. Toma,³⁸ afirma que as “ligações químicas representam um assunto de fundamental importância, e seu conhecimento é essencial para um melhor entendimento das transformações que ocorrem em nosso mundo” (p. 8).³⁸ Diferente do ChatGPT, Toma³⁸ elucida o porquê dessa importância.

No que diz respeito a terceira pergunta (defina equilíbrio químico), o ChatGPT respondeu que “equilíbrio químico é um conceito em química que descreve o estado em que as taxas de reações químicas opostas são iguais e resultam em uma concentração constante de reagentes e produtos em um sistema fechado”²⁸ e acrescenta que em um sistema em equilíbrio “a composição química permanece constante, mesmo que a reação esteja ocorrendo continuamente”.²⁸ Em situações na qual a velocidade da reação de transformação de reagente em produto se iguala à velocidade com que o produto se torna reagente, na Química se diz que a reação está em equilíbrio.²⁹ É nessa perspectiva que a resposta do ChatGPT caminha (utilizando outras palavras), apontando que o equilíbrio é estabelecido quando as velocidades de formação e consumo das substâncias envolvidas na reação se igualam, o que não significa dizer que as quantidades dessas substâncias em equilíbrio serão iguais. Percebe-se que nesse ponto (sobre a igualdade), pode levar o estudante a acreditar que as quantidades das substâncias em equilíbrio são sempre iguais. Novamente, embora o ChatGPT apresente uma resposta coerente, é necessária a mediação do professor na explicação do conceito, evitando que lacunas de aprendizagem ocorram.

Quando é solicitado para que o ChatGPT melhore a definição apresentada para equilíbrio químico, a IA amplia sua resposta, envolvendo mais informações sobre esse conceito (Figura 2).

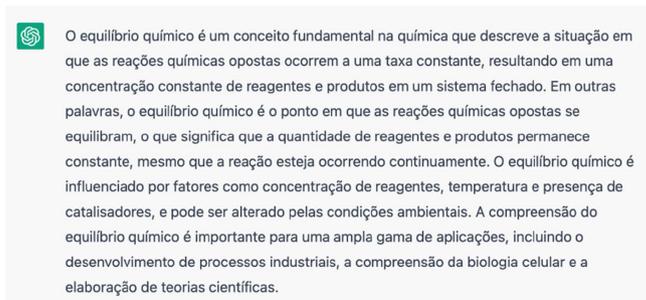


Figura 2. Segunda definição de equilíbrio químico explicada pelo ChatGPT²⁸

Ao mencionar que as “reações químicas opostas ocorrem a uma taxa constante” e “que a quantidade de reagentes e produtos permanece constante”, o ChatGPT apresenta uma definição coerente com as observadas na literatura. No equilíbrio a composição da mistura de reação é constante, em que as velocidades no sentido da formação de produtos e no sentido da volta aos reagentes são iguais. O equilíbrio químico é o “estágio da reação química em que não existe mais tendência em mudar a composição da mistura” (p. 425).³⁴ A resposta do ChatGPT acrescenta o fato de que o equilíbrio químico é influenciado por fatores como concentração, temperatura e catalisador, mas não faz menção ao Princípio de Le Chatelier (que é comumente utilizado para descrever qualquer alteração nas condições de uma reação em equilíbrio). Pode-se considerar que a IA possibilita a discussão do Princípio de Le Chatelier, mas que outra vez, precisa da mediação do professor para que o conceito de equilíbrio seja aprofundado. Nesse contexto, foi questionado ao ChatGPT que falasse sobre o Princípio de Le Chatelier em que a IA a descreveu como uma lei da Química que descreve como as condições externas afetam o equilíbrio químico, além de exemplificar os fatores que influenciam o equilíbrio. Segundo Sabadini e Bianchi,³⁹ o conceito de equilíbrio

químico seria apresentado de forma precisa se fosse feito do ponto de vista termodinâmico, fato não observado na resposta do chatbot.

É importante destacar que o ChatGPT não apresentou alguma fórmula, símbolo ou reação química na sua definição de equilíbrio químico. Este é um ponto que deve ser considerado no uso da IA, uma vez que na Química para definição de alguns conceitos se faz necessário o uso também do nível representacional (com equações químicas, fórmulas e símbolos que representam as substâncias iniciais e as substâncias produzidas). Na definição do compêndio, o equilíbrio químico é um processo reversível em que as taxas em ambas as direções (direção direta ou inversa na reação química) são idênticas, em que a energia de Gibbs (G) é mínima.^{35,40} Além disso, o compêndio traz em sua definição que no equilíbrio “a soma dos potenciais químicos dos reagentes é igual à dos produtos, de modo que: $\Delta G_r = \Delta G_p + R T \ln K = 0$; $\Delta G_r = -R T \ln K$ ” (p. 258),³⁵ em que a constante de equilíbrio (K) é dada pelo efeito da lei de massa.

A quarta pergunta realizada ao ChatGPT pedia que a IA definisse Isomeria. O conceito de isômero foi proposto inicialmente por Jöns Jacob von Berzelius (1779-1848) quando afirmou que substâncias isoméricas são “aquelas que possuem a mesma composição química e o mesmo peso atômico [molecular], mas propriedades diferentes” (p. 305).⁴¹ Em sua resposta inicial, a IA afirma que isomeria:

“É a propriedade química da existência de compostos químicos diferentes com a mesma fórmula molecular, mas com estruturas diferentes e propriedades únicas. Em outras palavras, a isomeria ocorre quando compostos diferentes possuem a mesma fórmula molecular, mas estruturas diferentes de átomos ou grupos funcionais”.²⁸

Essa resposta está em concordância com a do *Gold Book*, ao classificar isomeria como “uma das várias espécies (ou entidades moleculares) que têm a mesma composição atômica (fórmula molecular), mas diferentes fórmulas lineares ou diferentes fórmulas estereoquímicas e, portanto, diferentes propriedades físicas e/ou químicas”.^{35,42} Quando dois ou mais compostos têm a mesma composição, mas um arranjo diferente de átomos, eles são chamados de isômeros. O ChatGPT acrescentou em sua primeira resposta a existência de “vários tipos de isomeria, incluindo isomeria estereoquímica, isomeria de posição, isomeria óptica e isomeria geométrica”.²⁸ Ao ser solicitado que melhorasse a definição, o ChatGPT além de reescrever sua definição para isomeria como “uma propriedade fundamental da química, na qual compostos químicos diferentes possuem a mesma fórmula molecular, mas diferem na disposição espacial dos átomos ou grupos funcionais em sua estrutura”,²⁸ a IA passa a explicar de forma mais detalhada os tipos de isomeria:

“Existem vários tipos de isomeria, incluindo isomeria estereoquímica, onde a diferença está na disposição tridimensional dos átomos ou grupos funcionais em uma molécula; isomeria de posição, onde diferentes compostos são formados a partir da substituição de grupos funcionais em diferentes posições na molécula; isomeria óptica, onde compostos são idênticos na estrutura, mas possuem diferenças nas propriedades ópticas devido à presença de grupos funcionais assimétricos; e isomeria geométrica, onde a disposição espacial dos grupos funcionais em torno de um centro de assimetria é diferente”.²⁸

Analisando as respostas do ChatGPT é preciso atenção, pois algumas definições podem gerar interpretações distorcidas por parte dos estudantes. Primeiro que o *software* traz uma separação dos tipos

de isomeria, porém elenca apenas quatro (isomeria estereoquímica; isomeria de posição; isomeria óptica; isomeria geométrica), não mencionando os demais tipos e nem as separando por tipo. No ensino de isomeria, no ensino médio, comumente são apresentadas as isomerias de cadeia, de posição, de compensação, de função e da tautomeria (isomeria plana), dos isômeros *cis* e *trans* (isomeria espacial) e dos isômeros ópticos (enantiômeros e diastereoisômeros). Ao falar sobre isomeria estereoquímica, o ChatGPT não explica que este termo também é conhecido como isomeria espacial ou estereoisomeria, e que ocorre quando há mesma conectividade entre os átomos, mas moléculas diferentes.

Outras observações podem ser feitas em relação à resposta referente aos tipos de isomeria, por exemplo, ao explicar a isomeria de posição, a resposta é limitada a substituição de grupos funcionais, esquecendo de que ocorre também quando a diferença está na posição de uma insaturação, de um heteroátomo ou de um substituinte. Na isomeria espacial (ou estereoisomeria) a diferença entre os isômeros só pode ser visualizada por meio da orientação de seus átomos no espaço. Normalmente se faz a diferenciação de dois tipos de estereoisômeros: isômeros geométricos e isômeros ópticos.^{43,44} Os isômeros geométricos diferem entre si, pela disposição relativa dos átomos na molécula. No caso de uma molécula planar, os isômeros geométricos são conhecidos como *cis* ou *trans*. Já a isomeria óptica, um caso particular da geometria espacial, o isômero equivale à imagem especular do outro.⁴⁴ Estas explicações não são apresentadas pelo ChatGPT, abrindo possibilidades de que o texto apresentado leve a uma compreensão equivocada por parte dos estudantes. Assim, se o estudante apresentasse a definição de Isomeria produzida pela IA para seu professor como parte de uma atividade, ela pode até ser aceita, mas a explicação para os tipos de isomeria comprometeria sua “avaliação”.

O conceito de ácido e base pode ser considerado como um dos mais complexos no ensino da Química, não por ser de um nível de complexidade alto (como é no caso de partícula-onda, orbital, *quantum*, simetria molecular etc., que exigiria um grau maior de abstração), mas talvez porque sua definição é fundamentada em mais de uma teoria (Arrhenius, Brønsted-Lowry e Lewis), o que provavelmente dificultará que o ChatGPT responda de forma coerente. A opção pela definição de ácido-base se deu justamente para ver qual o grau de resposta seria obtido da IA. Na definição de ácido-base, tomou-se dois caminhos no ChatGPT. O primeiro que a inteligência artificial respondesse individualmente cada conceito (defina ácido e defina base), o segundo que o ChatGPT definisse ácido-base em conjunto.

Em relação ao primeiro caminho, o ChatGPT descreveu ácido como “uma substância química que, quando dissolvida em água, produz íon H^+ . Eles têm pH abaixo de 7”.²⁸ Observa-se que esta resposta está próxima da definição de Arrhenius (1859-1927) para ácido que consiste em “um composto que contém hidrogênio e reage com água para formar íons hidrogênio” (p. 87).³⁴ O ChatGPT também apresentou três exemplos de ácidos (com a fórmula molecular) em sua resposta: ácido clorídrico (HCl), ácido sulfúrico (H_2SO_4) e ácido cítrico ($C_6H_8O_7$). Considera-se que os exemplos de ácidos apresentados pela IA podem gerar dúvidas aos estudantes, uma vez que os dois primeiros podem ser facilmente identificados (e compreendidos) por meio da teoria de Arrhenius, mas o ácido cítrico pode dificultar a compreensão do estudante em relação a definição apresentada no ChatGPT (que produz íon H^+).

Já para base, a IA afirmou que “é uma substância que doa elétrons ou íons hidróxido (OH^-) para formar um novo composto químico”²⁸ e acrescenta que a base reage com um ácido para produzir sal e água, além de ter um pH maior que 7. Na teoria de Arrhenius uma base é definida como uma “substância que, quando dissolvida em água,

aumenta a concentração de íons OH^- (p. 708).³³ A definição descrita pelo ChatGPT pode ser considerada a princípio coerente, contudo a IA mistura o conceito de base na teoria de Arrhenius com o conceito de base de Lewis (em que uma base de Lewis é um doador de par de elétrons). Percebe-se assim que a IA apresenta o conceito de base para Arrhenius e de Lewis sem fazer distinção, podendo conduzir o estudante a uma visão distorcida deste conhecimento químico.

Quando solicitado para melhorar a definição, o ChatGPT apresentou algumas informações sobre ácidos e bases, mas novamente mesclando as teorias, conforme é observado na Figura 3.

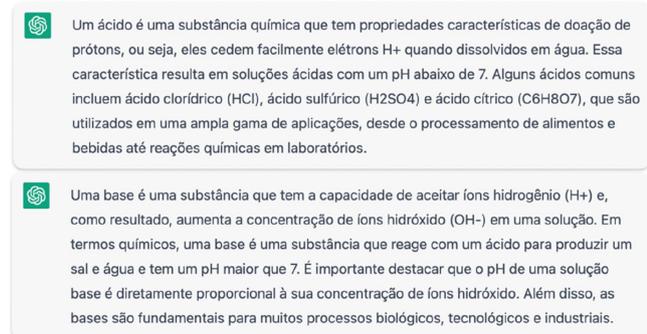


Figura 3. Respostas do ChatGPT para melhorar a definição de ácido e base²⁸

Quando solicitado que defina ácido-base (segundo caminho), o ChatGPT respondeu que um “ácido é uma substância que, quando dissolvida em água, libera íons hidrônio (H^+). Já uma base é uma substância que, quando dissolvida em água, libera íons hidróxido (OH^-). O conjunto de ácidos e bases é chamado de teoria de Arrhenius”.²⁸ Nesta definição, a IA faz menção a teoria de Arrhenius para ácidos e bases. E quando questionada para melhorar a resposta, o *software* apresenta a seguinte definição:

“Ácido e Base são conceitos fundamentais da química e representam dois tipos de substâncias que reagem com água para formar soluções. Um ácido é uma substância que doa prótons (íons hidrogênio, H^+) quando dissolvida em água, aumentando a concentração de prótons na solução. Já uma base é uma substância que aceita prótons (íons hidróxido, OH^-) quando dissolvida em água, diminuindo a concentração de prótons na solução. Esses conceitos foram desenvolvidos pelo químico sueco Svante Arrhenius em 1887”.²⁸

Essa ampliação da resposta, traz um problema que não é esclarecido pelo ChatGPT. As respostas são “misturas” dos conceitos de Arrhenius e de Brønsted-Lowry para ácidos e bases, em que um ácido, na definição de Brønsted-Lowry, “que doa um próton para outra substância” (p. 709)³³ e na definição de Arrhenius “são substâncias que, quando dissolvidas em água, aumentam a concentração de íons H^+ ” (p. 708).³³ Além disso, em virtude de a ênfase de Brønsted-Lowry ser na transferência de próton, o conceito também se aplica às reações que ocorrem em solução aquosa,³³ o que na teoria de Arrhenius se tratava de substâncias que quando dissolvidas em água aumentam a concentração de íons (H^+ ou OH^-). Esses detalhes, não elucidados pelo ChatGPT, podem conduzir os estudantes a erros conceituais sobre ácidos-bases.

A classificação de ácidos e bases segundo a definição de Arrhenius é a mais abordada no ensino de Química⁴⁵ e está presente nos “livros didáticos do ensino médio, sem qualquer explicação sobre suas limitações ou de qualquer relação histórica que possa ajudar o estudante a compreender a formação de teorias científicas” (p. 212),⁴⁵ talvez isso tenha influenciado nas respostas do ChatGPT para ácido e

base. Cabe enfatizar que o Compêndio de Terminologia Química não apresenta a definição para ácido conforme a teoria de Arrhenius.²⁶

O Compêndio de Terminologia Química descreve o ácido como uma “entidade molecular ou espécie química capaz de doar um hidrônio (próton) (ver ácido de Brønsted) ou capaz de formar uma ligação covalente com um par de elétrons (ver ácido de Lewis)” (p. 21).³⁵ A conceituação apresentada no compêndio é dividida em uma breve descrição do que é ácido para Brønsted-Lowry e o que é ácido para Lewis. Como destacado inicialmente, o ChatGPT possui limitações (como assumido pela própria IA de que suas respostas devem ser averiguadas com um especialista da área, ou seja, com um químico) que podem ter influenciado nas respostas. O fato de o *software* não mencionar nem a teoria de Brønsted-Lowry e nem a de Lewis deixa uma lacuna na aprendizagem do estudante, uma vez que ele ao pesquisar pelo conceito de ácido-base irá receber respostas de uma teoria apenas (Teoria de Arrhenius) – considerada introdutória e com limitações^{33,45} e/ou uma mescla de conceitos destas três teorias, levando-o a uma compreensão confusa e distorcida.

Em relação as respostas apresentadas pelo ChatGPT, professores que valorizam a educação bancária (baseada no “depósito” de ideias e conteúdos nos alunos),¹ provavelmente dariam boas notas aos estudantes na maioria das definições disponibilizadas pela IA os considerando preparados para as demandas da sociedade, pois “escrevem bem” e, talvez, tenham “cometido pequenos equívocos”. Entretanto, a educação para o século 21, que precisa de pensamento crítico, criatividade e resolução real de problemas, busca desenvolver habilidades e competências dos estudantes que vão além da escrita formal. Avaliar o conhecimento dos estudantes baseados apenas na escrita (produção textual) pode se configurar como um problema no ensino, principalmente quando esta avaliação é baseada no modelo de ensino tradicional (constituído de aulas expositivas e não dialogadas). Existem estudantes que são criativos, críticos e inovadores que podem não escrever tão bem quanto o ChatGPT, porém não existe construção de conhecimento sem reflexão. Assim, por mais que o ChatGPT crie situações, responda corretamente boa parte das questões, é preciso que o estudante pense, reflita, confronte e construa seu próprio conhecimento.

A experiência adquirida na utilização do ChatGPT, aponta para incentivar os estudantes a experimentarem o ChatGPT, pois ele pode fornecer uma maneira eficiente de se familiarizar com um novo tópico, encontrar alguns recursos adicionais e/ou descobrir exemplos que não foram tratados em sala de aula. Ressalta-se que de modo semelhante, diferentes debates ocorreram há mais de uma década, na qual alegava-se que a Wikipédia tornaria os estudantes ignorantes e preguiçosos.⁴⁶ Isso pode ser até verdade, quando o professor espera que o ensino da Química seja sobre decorar nomenclaturas, tabelas, símbolos, em que os estudantes, geralmente, copiam e colam os textos que estão nos livros (ou na internet). Pode-se também argumentar que um bom ensino de Química é menos sobre memorizar um monte de dados, teorias, fórmulas e paradigmas, e mais sobre saber como aplicar esses dados, teorias e modelos em situações complexas da vida real. Aprender Química é reconstruir compreensões que foram anteriormente construídas, buscando torná-las mais consistentes e complexas, ampliando o significado do que já é conhecido.

Em relação às definições (conceitos) é importante ressaltar que não adianta o estudante pegar as respostas prontas do ChatGPT e decorar todas as definições apresentadas, sem atribuir a elas um verdadeiro significado. Nesse sentido, Messeder Neto, Sá e Brito,²⁹ relatam que estudantes de Química têm chegado ao fim do curso sem dominar uma série de conceitos básicos. Tal afirmação reforça a necessidade de que o conceito químico seja ensinado para além da memorização e/ou reprodução de dizeres. É preciso que eles entendam a ciência que estão estudando, que desenvolvam pensamento crítico e consciente.

Ao fornecer respostas personalizadas e facilmente interpretáveis, o ChatGPT permite a criação de um ambiente de aprendizado interativo sob demanda para os estudantes, o que pode permitir maior retenção de informações e uma experiência de aprendizado mais agradável.²¹ Uma das principais características do ChatGPT é a capacidade de entender o contexto e manter uma conversa coerente e relevante para o tópico em questão. Contudo, quando se trata de termos mais complexos na Química, por exemplo, energia, calor, entropia etc., o ChatGPT poderá ter mais dificuldades em apresentar uma definição coerente e correta.

No que diz respeito a detecção de plágio nas respostas do ChatGPT, em nenhuma das definições apresentadas pela IA foram encontrados indícios de plágio nos *softwares* utilizados, isso significa que os detectores de plágio não encontraram documentos fazendo uso dos textos que foram digitados pelo ChatGPT. Esta é uma informação que merece atenção, uma vez que as respostas descritas pela IA podem se configurar como um texto autoral. Destarte, é papel do professor reforçar a necessidade de verificar as referências presentes nos textos de seus estudantes. Ao contrário de um mecanismo de busca (como o *Google*) que separa os resultados em uma infinidade de versões e links relacionados (indicando as fontes), o ChatGPT apresenta uma única resposta em forma de uma narrativa, o que dificulta mais ainda a citação das referências utilizadas. A título de ilustração, no *software CopySpider*⁴⁷ o relatório disponibilizado apresentava o percentual de 1,05% de similaridade (percentual acima de 3% indica possível existência de cópias indevidas, ou seja, de possível plágio). Cabe destacar que este percentual se refere a todas as respostas do ChatGPT e que na maioria das vezes não tratava de uma frase copiada e sim de um termo comum, por exemplo, “uma base é uma substância que doa”. Neste caso, mesmo com a marcação do *software* é observado que a frase não se trata de um plágio, sendo necessário a análise de cada indicação do *software* pelo usuário (conforme indicação do próprio *software* – “a conclusão sobre um documento ter ou não plágio de outros é de inteira responsabilidade do usuário ao analisar os resultados determinados pelo *CopySpider*”).⁴⁷

CONCLUSÃO

Neste artigo utilizou-se do ChatGPT para criar textos em resposta as perguntas sobre a definição de alguns conceitos químicos. Verificou-se que as respostas dadas pelo ChatGPT às questões colocadas foram relativamente coerentes, mas revelam a necessidade de alguns cuidados.

Aprender os conceitos químicos (dos mais “simples” aos mais “complexos”) não é uma tarefa singela, exige esforço cognitivo, e é comum que, em alguns momentos, compreensões equivocadas surjam.³⁷ Compreender os conceitos químicos é importante para o entendimento e desenvolvimento da Química e eles não estão prontos e acabados, pelo contrário, eles continuam sendo (re)construídos. Uma das limitações observadas inicialmente é que as respostas do ChatGPT podem apresentar informações incompletas, confusas ou erradas conceitualmente, o que preocupa se o estudante irá saber reconhecer a falta de informação ou o erro. A articulação dos conceitos na Química requer um papel central no seu entendimento.^{24,29,31}

O ChatGPT pode ser compreendido como mais uma oportunidade dos professores superarem o modelo de ensino centrado no conteúdo, no professor e focado na memorização, onde quem faz a pergunta é o professor e cabe ao aluno dar respostas. O ChatGPT é capaz de dar respostas a uma infinidade de perguntas (muitas delas coerentes com os conceitos químicos), o que implica na necessidade do professor superar ou pelo menos problematizar sua prática pedagógica. É preciso novas teorias e metodologias que ajudem o professor a melhor compreender o que significa ensinar e aprender em tempos

de hipercomplexidade, de inteligências diversas, de arquiteturas e plataformas.

É preciso que no ensino dos conceitos químicos possamos ir para além da pergunta e resposta (“O que é isso?”; “A resposta é essa!”), mas discutir, debater ideias e argumentar, em um nível mais aprofundado do fornecido pela IA. O ChatGPT tem uma excelente capacidade linguística, mas é limitado em lógica, abstração, em raciocínios de alto nível e não é capaz de manter uma discussão coerente e de alto nível, que podem ser realizadas através da interação professor-aluno e aluno-aluno.

Uma das preocupações de professores é que com o avanço dessas tecnologias, inviabilize a realização de tarefas comuns: escrever redações, responder questões de um livro, fazer um trabalho de pesquisa etc. O professor saberá diferenciar um texto escrito pela IA ou pelo seu estudante? São desafios que vem junto com o advento das tecnologias e estimular as habilidades de escrita crítica entre os estudantes é um desses desafios. O ChatGPT não entende o que ele responde. Ele responde o que a probabilidade indica, usando como base, os dados que ele teve acesso quando foi treinado.

A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa, é recomendável que professores, gestores, pais, escolas, universidades etc., proibam o uso do ChatGPT? Considerando a análise realizada neste artigo, a resposta seria NÃO. Proibir é a ação menos recomendada, é preciso compreender que o estudante ao ter contato com o instrumento (computador, *smartphone*, notebook, *tablet* etc.) e a informação (extraída do ChatGPT), não será conduzido ao conhecimento, ele (geralmente) vai “copiar e colar”. É preciso que o professor seja o mediador desse processo. Assim, o professor, ao permitir que seus estudantes utilizem o ChatGPT em suas atividades, deve ensinar caminhos para que seu estudante possa selecionar, analisar, criticar, comparar, avaliar, sintetizar, comunicar e informar. Esses são processos de pensamento complexos que o professor mediador deve ensinar, para que seus estudantes construam seu conhecimento.^{1,24,48} Desse modo, ocorrerá a passagem da informação para o conhecimento.

Como em outros contextos envolvendo o uso das tecnologias digitais na educação, o ChatGPT deve ser encarado como auxiliar do professor e não como um substituto. Já os estudantes podem usar a ferramenta para fazer perguntas sobre os conceitos químicos e receberem respostas coerentes e personalizadas para ajudá-los a estruturarem melhor seu conhecimento em torno de cada conceito.

À medida que a tecnologia é mais explorada e aprimorada, também é possível que novos métodos educacionais possam ser desenvolvidos e que sejam utilizadas todas as potencialidades do ChatGPT.²¹ É preciso entender o avanço que as tecnologias causam na educação, em especial no ensino de Química, pois elas ampliam as oportunidades de aprendizagem centrada no estudante, conforme o modelo da Aprendizagem Tecnológica Ativa,^{1,48} promovendo um processo educacional multidisciplinar, ao mesmo tempo em que busca soluções para o mundo real.

As tecnologias emergentes oportunizam no contexto educacional um ambiente de aprendizagem ativa e significativa, provocando importantes reflexões sobre o que se espera da educação do século XXI. Os educadores devem considerar as implicações de plataformas de IA, como o ChatGPT, para o processo de ensino e aprendizagem, desde a utilização pelos próprios professores até como os estudantes podem usar essas ferramentas para construir conhecimento.

A IA e seus aplicativos precisam ser vistos como aliados para uma educação construcionista baseada nas ideias de Seymour Papert^{49,50} e também para uma educação transformadora baseada na prática pedagógica crítica e reflexiva de Paulo Freire.⁵¹

Por fim, nossa perspectiva é que este trabalho possa incentivar outros professores a utilizarem e identificarem alternativas para a aplicação de inteligência artificial com seus estudantes de modo a

contribuir para o ensino da Química. O ChatGPT possui diferentes funções, além da criação de textos inéditos, resolução de perguntas, criação de planos de aulas. No entanto, essa aplicação da IA está fomentando uma importante discussão: Para onde deve ir o ensino de Química no século XXI?

MATERIAL SUPLEMENTAR

O material completo com todas as respostas do ChatGPT descritas nesse artigo está disponível em <http://quimicanova.s bq.org.br>, em formato PDF, com acesso livre.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (proc. 422587/2021-4), FACEPE (proc. APQ-0916-7.08/22), LEUTEQ e ao ChatGPT por “gentilmente ter respondido as perguntas” no desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

1. Leite, B. S.; *Tecnologias Digitais na Educação: da Formação à Aplicação*, 1ª ed.; Livraria da Física: São Paulo, 2022.
2. Rudolph, J.; Tan, S.; Tan, S.; *The Journal of Applied Learning & Teaching* **2023**, 6, 1. [Crossref]
3. Thili, A.; Shehata, B.; Adarkwah, M. A.; Bozkurt, A.; Hickey, D. T.; Huang, R.; Agyemang, B.; *Smart Learning Environments* **2023**, 10, 1. [Crossref]
4. Stokel-Walker, C.; *Nature* **2023**, 613, 620. [Crossref]
5. Pina, A. R. B.; Souza, F. N.; Leão, M. C.; *Revista Eletrônica de Educação* **2013**, 7, 301. [Crossref]
6. Leite, B. S.; *Pesquisa e Ensino* **2020**, 1, e202012. [Crossref]
7. Zittoun, T.; Valsiner, J.; Vedeler, D.; Salgado, J.; Gonçalves, M.; Ferring, D.; *Melodies of Living: Developmental Science of Human Life Course*, 1ª ed.; Cambridge University Press: Cambridge, 2011.
8. Husserl, E.; *Investigações Lógicas: Sexta Investigação (Elementos de uma Elucidação Fenomenológica do Conhecimento)*, 1ª ed.; Abril Cultural: São Paulo, 1980.
9. Werneck, V. R.; *Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação* **2006**, 14, 173. [Crossref]
10. Ferreira, B. J. P.; *Geminal* **2015**, 7, 89. [Crossref]
11. Graham, F.; *Nature* **2023**, 613, 612. [Crossref]
12. Hutson, M.; *Nature* **2022**, 611, 192. [Crossref]
13. Aydin, Ö.; Karaarslan, E. Em *OpenAI ChatGPT Generated Literature Review: Digital Twin in Healthcare*; Aydin, Ö., ed.; Emerging Computer Technologies, 2022, p. 22-31. [Link] acessado em maio 2023
14. Pavlik, J. V.; *Journalism & Mass Communication Educator* **2023**, 78, 84. [Crossref]
15. <https://openai.com/blog/chatgpt>, acessada em maio 2023.
16. Cotton, D. R. E.; Cotton, P. A.; Shipway, J. R.; *EdArXiv Preprints* **2023**. [Crossref]
17. Leite, B. S.; *RIBIE* **2019**, 27, 265. [Crossref]
18. Kung, T. H.; Cheatham, M.; Medenilla, A.; Sillos, C.; Leon, L.; Elepaño, C.; Madriaga, M.; Aggabao, R.; Diaz-Candido, G.; Maningo, J.; Tseng, V.; *PLOS Digital Health* **2023**, 2, 1. [Crossref]
19. <https://nypost.com/2023/01/05/nyc-schools-block-access-to-chatgpt-over-cheating-concerns>, acessada em maio 2023.
20. Yeadon, W.; Inyang, O. O.; Mizouri, A.; Peach, A.; Testrow, C.; *ArXiv* **2022**. [Crossref]
21. Gilson, A.; Safranek, C.; Huang, T.; Socrates, V.; Chi, L.; Taylor, R. A.; Chartash, D.; *medRxiv* **2022**. [Crossref]
22. Tate, T.; Doroudi, S.; Ritchie, D.; Xu, Y.; *EdArXiv Preprints* **2023**. [Crossref]
23. André, M.; *Revista da FAEEBA* **2013**, 22, 95. [Crossref]
24. Leite, B. S.; *Tecnologias no Ensino de Química: Teoria e Prática na Formação Docente*, 1ª ed.; Appris: Curitiba, 2015.
25. Ladvig, A.; Amaral, A. L. O.; Rocha, J. M. G.; Espíndola, M. B.; Cerny, R. Z.; Vieira, D. F.; *Anais do XXX Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, Brasília, Brasil, 2019. [Link] acessado em maio 2023
26. <https://doi.org/10.1351/goldbook>, acessada em maio 2023.
27. Souza, J. I. R.; Leite, Q. S. S.; Leite, B. S.; *Revista Docência do Ensino Superior* **2015**, 5, 135. [Crossref]
28. <https://chat.openai.com/chat>, acessada em maio 2023.
29. Messeder Neto, H. S.; Sá, L. V.; Brito, M. M.; *Conceitos Químicos em Debate*, 1ª ed.; EDUFBA: Salvador, 2022.
30. Apolinário, F.; *Dicionário de Metodologia Científica: Um Guia para a Produção do Conhecimento Científico*, 2ª ed.; Atlas: São Paulo, 2011.
31. Mortimer, E. F. Em *As Chamas e os Cristais Revisitados: Estabelecendo Diálogos entre a Linguagem Científica e a Linguagem Cotidiana no Ensino das Ciências da Natureza*; Santos, W. L. P.; Maldaner, O. A., orgs.; Editora Unijuí: Ijuí, 2011, cap. 7.
32. Vigotsky, L. S.; *A Construção do Pensamento e da Linguagem*, 1ª ed.; WMF Martins Fontes: São Paulo, 2001.
33. Brown, T. L.; Lemay, H. E.; Bursten, B. E.; Murphy, C.; Woodward, P. M.; Stoltzfus, M. W.; *Química: A Ciência Central*, 13ª ed.; Pearson Universidades: São Paulo, 2016.
34. Atkins, P. W.; Jones, L.; *Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente*, 3ª ed.; Bookman: Porto Alegre, 2006.
35. International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC); *Gold Book: Compendium of Chemical Terminology*, on-line version, 2019. [Link] acessado em maio 2023
36. International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC); *Gold Book: Compendium of Chemical Terminology*, on-line version, 2019. [Crossref]
37. Bachelard, G.; *A Formação do Espírito Científico: Contribuição para uma Psicanálise do Conhecimento*, 1ª ed.; Contraponto: Rio de Janeiro, 1996.
38. Toma, H. E.; *Quim. Nova Esc.* **1997**, 6, 8. [Link] acessado em maio 2023
39. Sabadini, E.; Bianchi, J. C. A.; *Quim. Nova Esc.* **2007**, 25, 10. [Link] acessado em maio 2023
40. International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC); *Gold Book: Compendium of Chemical Terminology*, on-line version, 2019. [Crossref]
41. Berzelius, J.; *Ann. Phys. (Berlin, Ger.)* **1830**, 19, 305.
42. International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC); *Gold Book: Compendium of Chemical Terminology*, on-line version, 2019. [Crossref]
43. Solomons, T. W. G.; Fryhle, C. B.; *Química Orgânica*, vol. 1, 10ª ed.; LTC: Rio de Janeiro, 2012.
44. Toma, H. E.; *Estrutura Atômica, Ligações e Estereoquímica*, 1ª ed.; Blucher: São Paulo, 2013.
45. Souza, M.; Aricó, E.; *Educ. Quim.* **2017**, 28, 211. [Crossref]
46. Knight, C.; Pryke, S.; *Teaching in Higher Education* **2012**, 17, 649. [Crossref]
47. <https://copyspider.com.br/main/pt-br/download>, acessada em maio 2023.
48. Leite, B. S.; *Revista Internacional de Educação Superior* **2018**, 4, 580. [Crossref]
49. Papert, S.; Solomon, C.; *Twenty Things to do with a Computer. Artificial Intelligence Memo 248*, MIT AI Laboratory: Cambridge, 1971. [Link] acessado em maio 2023
50. Papert, S.; *A Máquina das Crianças: Repensando a Escola na Era da Informática*, 1ª ed.; Artmed: Porto Alegre, 2008.
51. Freire, P.; *Pedagogia da Autonomia: Saberes Necessários à Prática Educativa*, 25ª ed.; Paz e Terra: São Paulo, 1996.

