

Aparato experimental aplicado ao ensino de estequiometria

Welica P. S. Freitas e Alem-Mar B. Goncalves

Este trabalho apresenta um aparato experimental confeccionado em MDF como recurso didático para o ensino de balanceamento químico. O material é de custo acessível, seguro e reutilizável, podendo ser facilmente replicado em escolas com infraestrutura limitada. A proposta busca apoiar professores na transposição didática de conceitos abstratos da estequiometria, articulando os níveis simbólico, macroscópico e submicroscópico da representação química. Ao aliar simplicidade, sustentabilidade e potencial pedagógico, o recurso amplia as possibilidades de ensino de estequiometria, superando abordagens reducionistas centradas apenas no algoritmo do balanceamento.

► ensino de química, balanceamento químico, estequiometria, recurso didático ◀

Recebido em 13/09/2025; aceito em 04/12/2025

Introdução

O ensino de estequiometria ocupa um lugar central na Educação em Química, tanto por seu papel na compreensão das transformações da matéria quanto por sua reconhecida dificuldade histórica de aprendizagem. Conceitualmente, a estequiometria estuda as relações quantitativas entre reagentes e produtos, fundamentando-se na conservação da massa e nas proporções definidas de átomos que constituem as substâncias (Brown *et al.*, 2014). Em termos gerais, envolve a interpretação de equações químicas, o estabelecimento de proporções entre quantidades de matéria e a conversão entre mol, massa e número de partículas.

Apesar dessa relevância, muitos estudantes concluem a Educação Básica dominando apenas o algoritmo do balanceamento, sem compreender seus significados conceituais (Gomes e Macedo, 2007). Essa dissociação entre cálculo e significado tem motivado diferentes propostas de mediação didática, fundamentadas no uso de analogias, modelos, experimentos acessíveis e tecnologias digitais (Bílek e

Niaz e Lawson (1985), ao investigarem a aprendizagem do balanceamento via método de tentativa e erro, concluíram que mesmo equações simples exigem um padrão de raciocínio formal hipotético-dedutivo.

Nodzyńska, 2018; Ferry *et al.*, 2022; Oliveira *et al.*, 2021).

Esses desafios podem ser compreendidos à luz dos três níveis de representação, macroscópico, submicroscópico e simbólico, propostos por Johnstone (1982). Para esse autor, as dificuldades

surgem quando esses níveis são trabalhados de forma isolada, sobretudo quando o ensino privilegia apenas o nível simbólico. Por isso, recursos que articulem simultaneamente esses três domínios tornam-se fundamentais para promover aprendizagens mais significativas.

Ademais, estudos clássicos em ensino de ciências indicam que as dificuldades dos estudantes vão além do aspecto procedimental. Niaz e Lawson (1985), ao investigarem a aprendizagem do balanceamento via método de tentativa e erro, concluíram que mesmo equações simples exigem um padrão de raciocínio formal hipotético-dedutivo. Os autores também observaram que equações mais complexas, que demandam múltiplos passos de tentativa e erro, impõem maiores exigências à capacidade mental de processamento dos estudantes. Assim, a dificuldade de aprendizagem não

está apenas na falta de treino ou de algoritmos, mas na própria estrutura cognitiva exigida pela tarefa, o que reforça a necessidade de recursos didáticos que apoiem esse processo de raciocínio.

Nesse campo, diversas iniciativas têm buscado alternativas didáticas para o ensino de estequiometria. Ferry *et al.* (2022) desenvolveram o *sanduíche estequiométrico*, um recurso tátil voltado a estudantes com deficiência visual. Posteriormente, Ferry e Assis (2024) analisaram a analogia da receita culinária presente em livros didáticos brasileiros, mostrando que, embora consistente, costuma ser utilizada de forma superficial, sem contemplar aspectos como reagente limitante, pureza e rendimento. Assis (2020) também discutiu o potencial de modelos analógicos, propondo a “balança de equações” como recurso mediador, destacando seu potencial motivador e seus limites de simplificação. Cazzaro (1999) sugeriu o uso de comprimidos efervescentes para explorar relações de massa, proposta que se distingue pela simplicidade, mas que tende a permanecer ilustrativa e sem aprofundar os múltiplos níveis de representação da Química.

No cenário internacional, Bílek e Nodzyńska (2018) utilizaram jogos digitais baseados na montagem de sanduíches para introduzir a lógica do balanceamento em crianças, evidenciando o potencial do *transfer cognitivo*, ou seja, a aplicação de estratégias aprendidas em um contexto cotidiano para resolver problemas em outro, como o balanceamento químico. Mais recentemente, Hamerská *et al.* (2024) avaliaram o uso do simulador PhET por licenciados em Química e observaram que, mesmo com o suporte visual, os estudantes continuaram a privilegiar o nível simbólico, tratando o balanceamento como um algoritmo. Esses resultados reforçam a crítica de que a ênfase excessiva no simbólico limita a compreensão conceitual da conservação da matéria.

Diante desse panorama, pode-se identificar três grandes movimentos nos estudos: (i) a busca por analogias consistentes (receita, sanduíche, balança) para representar a proporcionalidade química; (ii) o uso de experimentos acessíveis como tentativa de aproximar o conteúdo da realidade escolar; e (iii) a incorporação de jogos e simulações digitais como

recursos motivacionais. Apesar de avanços significativos, permanecem lacunas: a fragmentação entre abordagens, a priorização da dimensão procedimental em detrimento da conceitual e a ausência de propostas que integrem diferentes níveis de representação de forma sistemática e acessível ao professor.

Nesse contexto, o aparato experimental apresentado neste trabalho oferece uma alternativa para superar parte dessas lacunas. Construído em MDF e inspirado na balança de equações, o recurso apoia a compreensão da conservação da matéria e das proporções químicas ao integrar os níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico, respondendo às dificuldades de transição entre esses domínios (Melo e Silva, 2019). A mediação concreta possibilita observar massas, manipular partículas representadas e relacioná-las às equações químicas. Além de seguro, reutilizável e livre do uso de substâncias químicas, o material é adequado às condições reais das escolas, combinando sustentabilidade, baixo custo e fácil replicação, aspectos que justificam a apresentação de sua construção e de suas possibilidades pedagógicas.

Aparato experimental

O material consiste em uma balança de pratos (Figura 1a), feita com peças de MDF cortadas a *laser* fixadas por encaixes e 6 parafusos M3x30 com porcas, que possibilitam a mobilidade dos pratos. Além da estrutura da balança, foi produzido um conjunto de peças representando átomos e moléculas, igualmente recortadas em MDF. Para a modelagem, empregou-se o software FreeCAD, um programa gratuito de modelagem 3D, e o corte das peças foi realizado em uma máquina de *laser* de CO₂ de 80 W.

Nesse conjunto, cada elemento químico foi representado por círculos de MDF com diâmetro específico definido para cada átomo. Os modelos de moléculas foram construídos a partir da disposição desses círculos, de forma que a distância entre seus centros fosse cerca de menor que a soma dos “raios atômicos”, promovendo uma leve sobreposição visual que sugere a ligação química. A Figura 1b apresenta

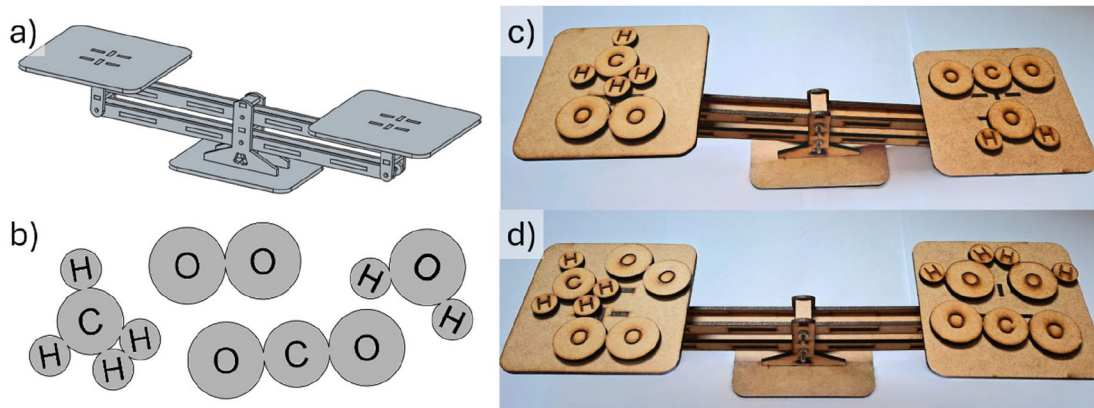


Figura 1: a) Imagem em 3D da balança montada. b) Imagem de quatro modelos de moléculas usados no material. Da esquerda para a direita, de cima para baixo, temos: metano (CH₄), oxigênio (O₂), gás carbônico (C) e água (H₂O). c) Foto da balança montada com a reação $\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ desbalanceada. d) Foto da balança com a reação $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ devidamente balanceada. Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

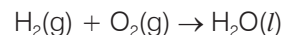
exemplos dos modelos de moléculas construídos. Devido ao uso do MDF e para facilitar o equilíbrio, desenhamos as moléculas em duas dimensões.

A montagem é feita encaixando e colando as peças com supercola instantânea ou cola de madeira. Seis parafusos são utilizados para fixar as hastes aos pratos e à base. O material pode ser facilmente reproduzido a partir dos arquivos de modelagem, bastando encaminhá-los a estabelecimentos que realizam cortes a *laser* em MDF ou acrílico, ou ainda em espaços *maker*, que disponibilizam máquinas de fabricação digital para seus usuários. Tais serviços têm se tornado cada vez mais acessíveis e presentes em diferentes cidades. Todas os arquivos para corte podem ser encontrados no material suplementar.

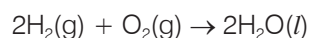
Resultados e discussão

O balanceamento de equações químicas consiste em assegurar que o número de átomos de cada elemento seja equivalente em ambos os lados da reação, atendendo ao princípio da conservação da massa. Em termos conceituais, tal procedimento permite estabelecer uma analogia de caráter gravimétrico, considerando que átomos de um mesmo elemento apresentam massas idênticas (desconsiderando-se, nesse contexto, as diferenças isotópicas, uma vez que não interferem no processo reacional, apenas em valores de massa). Dessa forma, torna-se possível comparar reagentes e produtos como se estivessem em uma balança (Figuras 1c e 1d). O material proposto pode ser utilizado após o balanceamento no papel, para verificar visualmente o resultado, ou diretamente como ferramenta de teste, ajustando as quantidades até alcançar o equilíbrio entre os lados da reação.

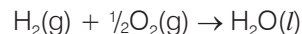
Uma questão importante que deve ser mencionada em relação a esse material é que ele não possibilita trabalhar com quantidades fracionadas. As moléculas são cortadas juntas, não permitindo desmembramento. Por exemplo, o balanceamento da equação



deve ficar



ao invés de



já que a molécula O_2 (Figura 1b) não pode ser separada em dois átomos de oxigênio. Contudo, essa restrição pode ser explorada como oportunidade didática, reforçando a convenção de expressar o balanceamento em números inteiros.

Na Tabela 1, apresentamos um conjunto de reações que são possíveis de trabalhar com o material fornecido como material suplementar. Apesar de apresentarmos essas reações como exemplos, o uso do aparato não se limita a elas, podendo o leitor desenhar novas moléculas e cortá-las em uma máquina a *laser*. Os autores ficam à disposição para auxiliar na construção de outras reações.

A elaboração de novas moléculas também pode ser explorada em sala de aula, incentivando os estudantes a utilizarem ferramentas digitais, como o aplicativo *Tinkercad*², que é gratuito, *online* e de rápido aprendizado. Deve-se atentar para o fato de que os diâmetros devem ser mantidos, caso sejam aproveitados os elementos e moléculas fornecidos aqui junto aos que forem criados. Juntamente com o material suplementar fornecemos uma planilha com os diâmetros que foram utilizados para cada elemento químico.

Como apresentado aqui, o aparato experimental tem como principal contribuição a possibilidade de articular os três níveis de representação da Química (macro, submicro e simbólico) (Melo e Silva, 2019), permitindo trabalhar a conservação da matéria de forma concreta e visual, diferentemente de abordagens que reduzem o balanceamento a um procedimento algorítmico. No nível macroscópico, o movimento dos pratos torna visível a conservação da

Tabela 1: Lista de reações que podem ser realizadas com o material¹.

Reação não balanceada	Reação balanceada
$\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	$2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$
$\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g})$	$\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g})$
$\text{C}(\text{s}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CH}_4(\text{g})$	$\text{C}(\text{s}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CH}_4(\text{g})$
$\text{CH}_4(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	$\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$
$\text{Al}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3(\text{s})$	$4\text{Al}(\text{s}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3(\text{s})$
$\text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{HCl}(\text{g})$	$\text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{HCl}(\text{g})$
$\text{SO}_3(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4(\text{l})$	$\text{SO}_3(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4(\text{l})$
$\text{P}_2\text{O}_5(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4(\text{l})$	$\text{P}_2\text{O}_5(\text{s}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 2\text{H}_3\text{PO}_4(\text{l})$
$\text{Al}(\text{s}) + \text{HCl}(\text{g}) \rightarrow \text{AlCl}_3(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$	$2\text{Al}(\text{s}) + 6\text{HCl}(\text{g}) \rightarrow 2\text{AlCl}_3(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g})$
$\text{Cl}_2(\text{g}) + \text{CH}_4(\text{g}) \rightarrow \text{CH}_2\text{Cl}_2(\text{l}) + \text{HCl}(\text{g})$	$2\text{Cl}_2(\text{g}) + \text{CH}_4(\text{g}) \rightarrow \text{CH}_2\text{Cl}_2(\text{l}) + 2\text{HCl}(\text{g})$
$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}(\text{l}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}(\text{l}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{CO}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{l})$

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

massa, oferecendo ao estudante uma experiência concreta do fenômeno. No nível submicroscópico, as peças que representam átomos e moléculas podem ser manipuladas, facilitando a compreensão da composição das substâncias, das ligações e da formação dos produtos. No nível simbólico, as quantidades colocadas na balança podem ser associadas diretamente à equação química, mostrando de forma clara como os coeficientes indicam as proporções necessárias para que a reação permaneça equilibrada.

Desse modo, o aparato vai além da simples ilustração de proporções e atua como mediador entre diferentes formas de representação. O professor pode iniciar pela escrita da equação, explorar hipóteses com as peças moleculares e, por fim, verificar o equilíbrio dos pratos, promovendo uma compreensão mais profunda da conservação da matéria e da lógica do balanceamento.

Apesar de seu potencial formativo, o recurso apresenta limitações decorrentes de seu caráter analógico. A separação entre reagentes e produtos em pratos distintos não representa o sistema real, no qual a reação ocorre em um único recipiente. Além disso, no exemplo apresentado (Figura 1), o CO_2 , um produto gasoso que escaparia em condições reais, permanece “retido” no prato, o que constitui uma simplificação necessária para fins didáticos. O modelo também possui mobilidade: os pratos oscilam conforme as quantidades inseridas, reforçando a analogia com a conservação da massa. Contudo, outra restrição é a impossibilidade de representar quantidades fracionadas de moléculas, já que as peças são inteiras; essa limitação, porém, pode ser explorada como oportunidade pedagógica para reforçar o uso de coeficientes inteiros na escrita das equações químicas. Nessa perspectiva, reconhecer essas limitações fortalece o uso crítico do aparato e abre espaço para discutir o caráter representacional dos modelos no ensino de Química.

A balança de MDF dialoga com outras propostas de modelagem analógica (Ferry *et al.*, 2022) ao permitir a manipulação de moléculas e o teste de hipóteses, além de se alinhar a pesquisas que defendem estratégias inovadoras para o ensino de estequiometria (Santos, 2019). Também converge com abordagens lúdicas e interativas discutidas por Lima *et al.* (2025). Em síntese, trata-se de um recurso versátil e acessível que integra diferentes perspectivas, analógica, experimental e lúdica, contribuindo para superar a fragmentação das práticas de ensino de estequiometria.

Conclusão

Neste artigo apresentamos uma proposta de balança de equações confeccionada em MDF que se constitui como um recurso didático de custo acessível, seguro e facilmente replicável, capaz de apoiar o professor no ensino de estequiometria. Ao articular representações simbólicas, macroscópicas e submicroscópicas, o aparato possibilita que o balanceamento químico seja compreendido para além do algoritmo, reforçando o princípio da conservação da matéria de forma concreta e visual.

Por sua simplicidade, reutilização e ausência de riscos químicos ou geração de resíduos, o material pode ser utilizado em diferentes contextos escolares, inclusive naqueles com infraestrutura limitada. Além disso, a possibilidade de os próprios professores e estudantes criarem moléculas por meio de *softwares* gratuitos amplia o potencial pedagógico, favorecendo práticas mais criativas, participativas e alinhadas à cultura digital. Espera-se que a divulgação desse aparato incentive professores a explorarem abordagens didáticas inovadoras para o ensino de estequiometria, contribuindo para superar as dificuldades históricas desse conteúdo e para promover aprendizagens mais significativas em Química.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer aos revisores pelas contribuições feitas para melhorar este artigo. Esse trabalho foi financiado e apoiado pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS/MEC - Brasil, Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT/MEC - Brasil, CNPq, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, Fundect (TO 114/2024) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Notas

¹Apresentamos aqui apenas alguns exemplos, pois outras reações podem ser construídas e utilizadas.

²O aplicativo pode ser acessado em: www.tinkercad.com.

Material suplementar

Material suplementar a este trabalho está disponível em https://qnesc.sbq.org.br/online/prelo/QNEsc_101-25_MS.pdf, na forma de arquivo PDF, com acesso livre, no qual se encontra uma tabela com as dimensões dos círculos usados nos desenhos das peças e o *link* para o repositório contendo os arquivos SVG, usados para corte a *laser*.

Welica P. S. Freitas (welica.freitas@ufmt.br) é licenciada e bacharel em Química pela Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), mestre e doutora em Ensino de Ciências pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Atualmente é Professora Adjunta da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Campus Sinop, e docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECM/UFMT-CUS). **Alem-Mar B. Goncalves** (alem-mar.goncalves@ufms.br) é bacharel, mestre e doutor em Física pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Atualmente é professor no Instituto de Física da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) e coordena um acervo de demonstrações de física (DemoFísica-UFMS) com foco no enriquecimento das aulas de graduação e na divulgação e popularização da ciência para estudantes da Educação Básica.

Referências

ASSIS, L. P. *Potencialidades e limitações pedagógicas no uso de modelos analógicos para o ensino de estequiometria*

na educação tecnológica. Dissertação de Mestrado em Educação Tecnológica, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

BÍLEK, M. e NODZYŃSKA, M. Balancing chemical equations using sandwich making computer simulation games as a supporting teaching method. *Problems of Education in the 21st Century*, v. 76, n. 6, p. 779-791, 2018.

BROWN, T. L.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E.; MURPHY, C. e WOODWARD, P. *Química: A Ciência Central*. 12^a ed. São Paulo: Pearson, 2014.

CAZZARO, F. Um experimento envolvendo estequiometria. *Química Nova na Escola*, v. 10, p. 53-54, 1999.

FERRY, A. S.; SCHMIDT, P. e ASSIS, L. P. Modelagem analógica para o ensino de estequiometria química a estudantes com deficiência visual: o recurso didático do sanduíche estequiométrico. *Revista Benjamin Constant*, v. 18, n. 65, e286504, 2022.

FERRY, A. S. e ASSIS, L. P. Análise estrutural de uma analogia para o ensino de estequiometria química: possibilidades e limitações. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, v. 21, n. 1, p. 120201-120217, 2024.

GOMES, R. S. e MACEDO, S. H. Cálculo estequiométrico: o terror nas aulas de Química. *Vértices*, v. 9, n. 1/3, p. 149-160, 2007.

HAMERSKÁ, L.; MATĚCHA, T.; TÓTHOVÁ, M. e RUSEK, M. Between symbols and particles: investigating the complexity

of learning chemical equations. *Education Sciences*, v. 14, n. 6, p. 570-596, 2024.

JOHNSTONE, A. H. Macro- and micro-chemistry. *School Science Review*, v. 64, n. 227, p. 377-379, 1982.

LIMA, P. N.; GOES, L. F. e FERNANDEZ, C. Jogando com fórmulas e reações: ludicidade no ensino de Química para explorar a representação molecular no balanceamento químico. *Química Nova na Escola*, prelo, 2025. <http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160451>

MELO, M. S. e SILVA, R. R. Os três níveis do conhecimento químico: dificuldades dos alunos na transição entre o macro, o submicro e o representacional. *Revista Exitus*, v. 9, n. 5, p. 301-330, 2019.

NIAS, M. e LAWSON, A. E. Balancing chemical equations: the role of developmental level and mental capacity. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 22, n. 1, p. 41-51, 1985.

OLIVEIRA, K. N.; NAUJORKS, A. C.; FREITAS, W. P.; GONCALVES, A. M. B. e CALHEIRO, L. B. A 3D-printed model that simulates a Geiger-Müller counter and the radioactive decay experiment. *Journal of Chemical Education*, v. 98, n. 10, p. 3284-3287, 2021.

SANTOS, A. F. *Ensino de estequiometria: uma proposta de intervenção no ensino médio*. Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

Abstract: *Experimental apparatus applied to teach stoichiometry.* This paper presents an experimental apparatus made of MDF as a didactic resource for teaching chemical equation balancing. The material is low-cost, safe, and reusable, and can be easily reproduced in schools with limited infrastructure. The proposal aims to support teachers in the didactic transposition of abstract stoichiometry concepts by articulating the symbolic, macroscopic, and submicroscopic levels of chemical representation. By combining simplicity, sustainability, and pedagogical potential, the resource expands the possibilities for teaching stoichiometry, overcoming reductionist approaches focused only on the algorithm of equation balancing.

Keywords: chemistry teaching, chemical equation balancing, stoichiometry, didactic resource