ISSN: 2358-8829

GAMIFICAÇÃO NO ENSINO DA SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA: APLICAÇÃO DO JOGO DIDÁTICO "LABIRINTO DA ENTROPIA" NO ENSINO MÉDIO

Paulo Henrique Nascimento Lima [1]
Maria Eduarda de Almeida Oliveira [2]
Liliane dos Santos Melo [3]
Eduardo Lima dos Santos [4]
Fred Augusto Ribeiro Nogueira [5]

INTRODUÇÃO

O instrumento central de intervenção consistiu no desenvolvimento e aplicação do jogo didático de tabuleiro humano denominado "Labirinto da Entropia". Para a execução do jogo, o espaço físico da sala de aula foi delimitado em um grande grid geométrico desenhado no chão, representando as coordenadas espaciais de um sistema termodinâmico fechado e isolado. Os próprios estudantes atuaram ativamente como "partículas simuladas", recebendo papéis e regras específicas de movimentação segundo a energia térmica disponível no sistema.

Diante desse panorama educativo, surge a necessidade premente de reconfigurar as metodologias de ensino tradicionais, direcionando-as para abordagens dinâmicas, participativas e contextualizadas. As metodologias ativas, aliadas aos recursos da gamificação pedagógica, constituem um campo promissor para suprir tais lacunas. A gamificação no espaço escolar não se reduz ao entretenimento desprovido de intencionalidade pedagógica; trata-se do emprego estruturado de elementos, mecânicas e dinâmicas próprias dos jogos em cenários educativos, com o intuito de impulsionar a motivação intrínseca, o engajamento colaborativo e a reconstrução conceitual ativa.

[1] Graduando em Licenciatura em Química do Instituto Federal de Alagoas (IFAL). E-mail: phnl2@aluno.ifal.edu.br;
[2] Graduanda em Licenciatura em Química do Instituto Federal de Alagoas (IFAL). E-mail: meao2@aluno.ifal.edu.br;
[3] Graduanda em Licenciatura em Química do Instituto Federal de Alagoas (IFAL). E-mail: lsm20@aluno.ifal.edu.br
[4] Doutor, Docente do Instituto Federal de Alagoas (IFAL). E-mail: eduardo.santos@ifal.edu.br;
[5] Doutor, Docente do Instituto Federal de Alagoas (IFAL). E-mail: fred.nogueira@ifal.edu.br.

ISSN: 2358-8829

O presente artigo tem como objetivo geral analisar os impactos e as contribuições do jogo didático "Labirinto da Entropia", associado à metodologia ativa POEE (Predizer, Observar, Explicar e Elaborar), na aprendizagem significativa de conceitos relativos à Segunda Lei da Termodinâmica e à irreversibilidade física em turmas do Ensino Médio Técnico. Especificamente, busca-se investigar o nível de evolução conceitual dos estudantes antes e após a intervenção lúdica, categorizar as formas de raciocínio emergentes durante a simulação do tabuleiro humano e avaliar a capacidade dos alunos em aplicar tais fundamentos na interpretação de fenômenos termodinâmicos e socioambientais do cotidiano.

A justificativa para a execução deste estudo fundamenta-se na urgência em renovar a práxis pedagógica no ensino das ciências exatas e da natureza, superando a mera memorização de fórmulas e enunciados desvinculados do mundo real. O estudo da Segunda Lei da Termodinâmica reveste-se de relevância singular, porquanto atravessa transversalmente temas essenciais como o funcionamento de motores térmicos, o fluxo de energia nos ecossistemas e a sustentabilidade planetária. Ao vivenciar corporalmente os estados de ordem, desordem e transferência energética por meio de uma dinâmica gamificada, os alunos transpõem o domínio puramente verbalista para alcançar esquemas mentais de representação simbólica e operacional mais complexos.

A síntese metodológica que orientou o trabalho abrangeu uma pesquisa de campo exploratória e qualitativa, articulada à pesquisa-ação participante. A proposta foi desenvolvida junto a estudantes do ensino técnico integrado, empregando uma avaliação diagnóstica prévia (pré-teste via Google Forms), a execução de uma aula didática interativa do jogo "Labirinto da Entropia" fundamentada no ciclo POEE, e uma avaliação diagnóstica final (pós-teste com produção reflexiva), suplementada pela observação sistemática registrada em diário de campo.

Os principais resultados alcançados demonstraram expressivo avanço no domínio conceitual dos participantes, revelado pela transição da visão simplista para explicações substanciadas no comportamento das partículas e na dispersão de energia. Notou-se um elevado grau de engajamento afetivo e cognitivo, confirmando que a gamificação corporalizada favorece a consolidação de conhecimentos duradouros. Conclusivamente, o estudo atesta a eficácia da articulação entre jogos pedagógicos e sequências de ensino investigativas na formação científica crítica de nível médio.

METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)

ISSN: 2358-8829

A trajetória metodológica deste estudo foi desenhada sob a perspectiva da abordagem qualitativa e da pesquisa-ação educacional, a qual pressupõe a intervenção planejada do pesquisador no ambiente escolar visando transformar e qualificar os processos de ensino e aprendizagem. A investigação foi desenvolvida em um Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, envolvendo a turma de Ensino Médio Técnico Integrado em química.

A intervenção pedagógica fundamentou-se no modelo POEE (Predizer, Observar, Explicar e Elaborar), o qual estrutura a atividade investigativa em quatro fases encadeadas para promover a mudança conceitual reflexiva:

> O ciclo POEE possibilita ao estudante confrontar suas ideias prévias com a evidência observável, exigindo a reorganização dos esquemas mentais mediante a elaboração de hipóteses e a construção coletiva do conhecimento científico fundamentado (SILVA et al., 2021, p. 115).

O instrumento central de intervenção consistiu no desenvolvimento e aplicação do jogo didático de tabuleiro humano denominado "Labirinto da Entropia". Para a execução do jogo, o espaço físico da sala de aula foi delimitado em um grande grid geométrico desenhado no chão, representando as coordenadas espaciais de um sistema termodinâmico fechado e isolado. Os próprios estudantes atuaram ativamente como "partículas simuladas", recebendo papéis e regras específicas de movimentação segundo a energia térmica disponível no sistema.

Na **Fase 1 (Predizer)**, antes do início da movimentação física no tabuleiro, foi apresentado aos alunos um cenário inicial hipotético: um conjunto de partículas perfeitamente agrupadas em uma região delimitada (baixo estado entrópico), e a evolução espacial e energética daquelas partículas após a aplicação de estímulos de vibração/temperatura simulados.

Na **Fase 2 (Observar)**, iniciou-se a dinâmica do tabuleiro humano. Com o auxílio de explicações prévias do conteúdo (como adição de calor, expansão de volume e trabalho exercido), os alunos executaram os passos conforme as probabilidades estabelecidas. Os participantes observaram visual e corporalmente a transição inevitável de uma configuração altamente ordenada e restrita para um estado de dispersão generalizada pelos espaços do tabuleiro, demonstrando empiricamente o aumento do número de microestados possíveis do sistema.

ISSN: 2358-8829

Na **Fase 3 (Explicar)**, os estudantes reuniram-se em pequenos grupos de discussão mediados pelos pesquisadores para debater os motivos pelos quais o retorno espontâneo à configuração inicial ordenada se tornava estatisticamente improvável ou praticamente impossível. Nesta etapa, os discentes foram incentivados a utilizar vocabulário científico progressivamente formal, correlacionando a vivência no jogo com a formulação das hipóteses para a entropia.

Na **Fase 4 (Elaborar)**, exigiu-se dos discentes a síntese reflexiva e a extrapolação teórica. Os alunos elaboraram esquemas explicativos e responderam a situações-problema contextualizadas envolvendo processos irreversíveis cotidianos, tais como a dissipação do calor em motores de combustão, a expansão livre de gases e os impactos da conversão energética na degradação do meio ambiente.

A coleta de dados empíricos ocorreu em três etapas integradas:

1. **Avaliação Diagnóstica Inicial (Pré-teste):** Aplicada via plataforma digital Google Forms, contendo questões abertas e de múltipla escolha destinadas a mapear concepções alternativas e subsunçores prévios sobre irreversibilidade, calor, trabalho e entropia.

2. **Roteiro de Observação Sistemática:** Registro contínuo efetuado pelos pesquisadores durante a dinâmica do jogo, anotando indicadores de engajamento, trabalho em equipe, argumentação verbal e uso de termos científicos.

3. **Avaliação Diagnóstica Final (Pós-teste) e Produção Reflexiva:** Formulário final idêntico ao inicial em termos conceituais, acrescido de uma questão dissertativa reflexiva que demandava a aplicação teórica a um problema socioambiental contemporâneo.

Ressalta-se que a pesquisa observou rigorosamente as diretrizes éticas vigentes, assegurando a preservação da identidade dos participantes e obtendo a devida autorização institucional e o consentimento informado dos envolvidos para a produção e divulgação dos dados acadêmicos.

REFERENCIAL TEÓRICO

A fundamentação teórica que sustentou esta investigação articula três eixos epistemológicos essenciais: a teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, as

ISSN: 2358-8829

conceituações físico-químicas modernas sobre a Segunda Lei da Termodinâmica e a entropia, e as teorias da gamificação pedagógica contemporânea.

De acordo com a teoria de Ausubel (2000), a aprendizagem significativa ocorre quando um novo conhecimento relaciona-se de maneira não arbitrária e substancial à estrutura cognitiva prévia do aprendiz. Os conceitos pré-existentes, denominados conhecimento prévio, servem de ancoradouro para as novas informações.

No contexto do ensino da termodinâmica, contudo, o conhecimento prévio dos estudantes é frequentemente marcados por intuições do senso comum que confundem ordem macroscópica com organização estatística microscópica.

> Para que ocorra a aprendizagem significativa, é indispensável que o material educativo seja potencialmente significativo e que o aprendiz manifeste uma predisposição para aprender. Se o estudante apenas memoriza fórmulas sem conectar os conceitos aos seus subsunçores, ocorre a aprendizagem mecânica, facilmente esquecida (AUSUBEL, 2000, p. 48).

No ensino do conceito de entropia é tradicionalmente introduzido focando unicamente na transferência de calor e na eficiência de máquinas térmicas, abordagem que frequentemente deixa de lado uma visão microscópica que facilite a visualização do fenômeno pelos estudantes (LEMA, 2018). Como alternativa pedagógica, defende-se a inclusão da perspectiva estatística, na qual a entropia é proporcional ao número de microestados acessíveis (ATKINS; DE PAULA, 2018). Essa transição permite ao estudante compreender a entropia não sob a metáfora limitante de "bagunça", mas sim como a tendência natural dos sistemas de evoluírem para estados de maior probabilidade e maior dispersão energética (LEMA, 2018).

Conforme salientam Mortimer e Amaral (2012), o uso inadequado de metáforas no ensino da entropia — como comparar a entropia de um sistema químico à desorganização de um quarto desarrumado — induz a erros conceituais graves. Um quarto desarrumado possui baixa entropia, pois não há dispersão de energia nem permutabilidade quantitativa de partículas. Assim, o jogo "Labirinto da Entropia" foi estruturado para representar fielmente o conceito, mostrando que o aumento da entropia corresponde à expansão dos microestados acessíveis no tabuleiro.

ISSN: 2358-8829

No campo da inovação pedagógica, a gamificação destaca-se como estratégia capaz de reconfigurar a atmosfera da sala de aula. Deterding et al. (2011) definem gamificação como a utilização de elementos do design de jogos em contextos não relacionados a jogos. Diferentemente dos jogos educativos convencionais ou dos *serious games*, a gamificação aplicada à educação visa engajar os estudantes emocional e cognitivamente por meio de metas claras, feedback imediato, autonomia de escolha e superação colaborativa de desafios.

Kapp (2012) defende que o jogo cria um espaço seguro de aprendizagem (o "círculo mágico"), no qual o erro é reconfigurado como parte do processo iterativo de descoberta e não como fonte de punição acadêmica. Ao vivenciar o "Labirinto da Entropia", os alunos testam hipóteses sobre a irreversibilidade sem o receio do insucesso escolar imediato, promovendo a reflexão metacognitiva sobre o próprio aprendizado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados empíricos coletados durante a pesquisa foram organizados e analisados mediante a categorização analítica das respostas dos formulários (pré e pós-teste) e a sistematização dos registros do roteiro de observação. A amostra contou com a participação efetiva dos estudantes do Ensino Médio Técnico em química.

A análise comparativa entre os testes inicial e final revelou uma transformação substancial no perfil conceitual dos discentes. Na avaliação diagnóstica inicial, observou-se expressivo predomínio de visões ingênuas e reducionistas. Quando questionados sobre a definição de entropia e irreversibilidade.

Durante as intervenções registradas no diário de observação, verificou-se que a dinâmica de movimentação no tabuleiro humano permitiu que os discentes percebessem fisicamente o conceito de irreversibilidade. Ademais, na produção reflexiva da Fase 4 (Elaborar), os estudantes foram desafiados a relacionar o aumento da entropia do universo aos problemas ambientais globais, como o aquecimento global e a escassez energética. Os participantes conseguiram elaborar argumentos consistentes demonstrando que os problemas ambientais degradam a qualidade da energia útil disponível, aumentando a entropia do planeta de forma irreversível. Essa articulação interconectou com êxito o conhecimento químico formal a aspectos socioambientais relevantes.

ISSN: 2358-8829

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação do jogo didático "Labirinto da Entropia", alinhado à metodologia investigativa POEE, mostrou-se uma estratégia pedagógica altamente eficaz para o ensino de conceitos complexos e abstratos da Físico-Química no Ensino Médio Técnico. A experiência comprovou que superação de concepções alternativas consolidadas exige estratégias que aliem engajamento afetivo, vivência corporal e reflexão crítica sistematizada.

Os resultados obtidos confirmaram a hipótese de que a representação vivenciada de microestados no tabuleiro humano favorece a transição de visões reducionistas — que associam entropia equivocadamente à desordem física trivial — para um entendimento rigoroso pautado na dispersão de energia e na irreversibilidade dos processos naturais. A significativa evolução conceitual registrada (com os alunos alcançando a categoria científica mais elevada no pós-teste) atesta a potencialidade de integrar jogos didáticos a ciclos de ensino investigativo.

Como prospecção para futuras pesquisas e aplicações pedagógicas, recomenda-se a adaptação do "Labirinto da Entropia" para ambientes digitais virtuais interativos, possibilitando a simulação do comportamento termodinâmico de coleções ainda maiores de partículas. Sugere-se igualmente a expansão desta metodologia gamificada para outros temas centrais da química teórica, tais como o Equilíbrio Químico e a Cinetica Química, consolidando práticas metodológicas ativas na formação continuada de professores de ciências.

Palavras-chave: Ensino de Química; Ludicidade; Aprendizagem Significativa; Entropia; Metodologias Ativas.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), expressam também seus agradecimentos ao Instituto Federal de Alagoas (IFAL) pelo suporte institucional e infraestrutura concedidos, à coordenação do curso de Licenciatura em Química, e aos estudantes participantes que tornaram viável a realização desta pesquisa-ação pedagógica.

REFERÊNCIAS

ATKINS, Peter; DE PAULA, Julio. **Físico-Química**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018. v. 1.

AUSUBEL, David P. **The Acquisition and Retention of Knowledge: A Cognitive View**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.

DETERDING, Sebastian; DIXON, Dan; KHALED, Rilla; NACKE, Lennart. From game design elements to gamefulness: defining "gamification". In: INTERNATIONAL ACADEMIC MINDTREK CONFERENCE, 15., 2011, Tampere. **Proceedings [...]**. Tampere: ACM, 2011. p. 9-15.

KAPP, Karl M. **The Gamification of Learning and Instruction: game-based methods and strategies for training and education**. San Francisco: Pfeiffer, 2012.

LEMA, Paulo R. O ensino do conceito de entropia sob a perspectiva estatística no Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 40, n. 3, e3402, 2018.

MORTIMER, Eduardo F.; AMARAL, Luiz O. F. A linguagem e as metáforas no ensino de entropia e Segunda Lei da Termodinâmica. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 34, n. 4, p. 198-207, 2012.

SILVA, Rodrigo M.; SANTOS, Carla P.; OLIVEIRA, Fernando J. Metodologias ativas e o ciclo POEE no ensino de ciências: contribuições para a aprendizagem significativa. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 26, n. 1, p. 110-128, 2021.