

cristalização fracionada e do equilíbrio mineralógico em magmas. O jogo, denominado Do Magma ao Cristal, foi desenvolvido em formato de tabuleiro e estruturado com 20 cartas de perguntas, desafios, recompensas e marcadores personalizados, tornando a interpretação dos diagramas de fases mais dinâmica e interativa. A proposta visou aliar teoria e prática, apresentando os conceitos de forma lúdica e didática para estimular o aprendizado ativo e facilita a assimilação de conteúdos complexos. Além disso, a atividade explorou fatores como o tamanho das partículas e as condições que influenciam a nucleação e o crescimento cristalino. O jogo Do Magma ao Cristal foi testado com estudantes de Geologia e Geofísica, e seu impacto no engajamento e na compreensão dos conceitos físico-químicos aplicados à mineralogia e petrologia foi avaliado, evidenciando seu potencial como ferramenta de ensino inovadora.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Até o século XIX, o ensino de Ciências não era uma prática comum nos currículos escolares brasileiros, que priorizavam disciplinas como línguas clássicas e matemática. A compreensão das Ciências Naturais estava fortemente influenciada pelas tradições e pela percepção da realidade da época (Silva et al., 2008). O conhecimento das leis da Natureza era visto como um meio para explorar os recursos naturais e exercer domínio sobre o ambiente, o que conferia um caráter essencialmente utilitarista às ciências. Com a Revolução Industrial, cresceu a percepção de que a ciência e a tecnologia desempenhavam um papel fundamental no desenvolvimento econômico e social. Esse reconhecimento levou à inclusão formal de disciplinas como Física, Química e Geologia nos currículos, com o objetivo de formar profissionais capacitados para ensinar essas áreas e impulsionar o progresso científico e tecnológico (Ernesto et al., 2018).

Enquanto as escolas formadoras de pensadores, cientistas e professores nas áreas de Química e Física triunfaram, as instituições voltadas à formação de geólogos e geocientistas cresceram em um ritmo mais lento (Figueirôa; Silva; Pataca, 2004). Esse desenvolvimento gradual foi influenciado pelas características próprias da profissão ao longo dos anos. No passado, a geologia era uma ciência baseada predominantemente na observação de campo e na descrição de formações rochosas. Os geólogos dependiam essencialmente de mapas geológicos, bússolas e análises visuais para interpretar a história da Terra (Gantus-Oliveira, 2023). Com a modernização da área, no entanto, surgiram novas ferramentas e metodologias, como sensores remotos, modelagem computacional e espectroscopia, permitindo uma compreensão mais aprofundada dos processos geológicos. Além disso, avanços tecnológicos em equipamentos laboratoriais possibilitaram análises mais precisas da composição química e estrutural dos minerais e rochas (Costa; Inda, 2016).

Atualmente, a formação de um geólogo exige um amplo conhecimento interdisciplinar. Além da geologia clássica, os profissionais precisam dominar conceitos de Física e Química para interpretar fenômenos como deformações tectônicas, propriedades termodinâmicas dos minerais e interações químicas nos processos de mineralização (Freire et al., 2015). Nesse contexto, a Físico-Química se destaca como uma área essencial, pois estuda as propriedades e o comportamento da matéria em diferentes condições de temperatura e pressão. Essa disciplina é fundamental para entender processos como cristalização, metamorfismo e equilíbrio químico em sistemas geológicos, fornecendo bases teóricas e aplicadas para a pesquisa e a exploração mineral, sendo essencial até mesmo na descrição de diversos estudos, nos quais termos como composição, liquefação e gasificação são frequentemente empregados (Jovanovski; Boev; Makreski, 2023).

Devido à crescente demanda por recursos naturais e a necessidade de monitoramento ambiental, a geologia moderna exige profissionais cada vez mais qualificados e aptos a integrar conhecimentos multidisciplinares, reforçando a importância da Físico-Química na formação e atuação dos geocientistas (Freire et al., 2015). Uma das áreas de estudo exploradas é a demonstração de transições de fase através de diagramas de fase, que podem relacionar condições como temperatura e pressão para sistemas de um único componente, bem como transições de fase para misturar entre componentes com um ponto fixo e outro variável na relação

temperatura/pressão. Esses diagramas e sua interpretação são vitais para os geocientistas, entretanto, os desafios tradicionais observados no ensino geral de Ciências Exatas circundam seu aprendizado, instigando a busca por novas metodologias atrativas e capazes de romper o padrão tradicional de ocorrência dos padrões dificuldade/desistência.

Os jogos didáticos têm se mostrado uma estratégia eficaz no ensino de Química, proporcionando um ambiente de aprendizado mais interativo e significativo. Ao despertar o interesse e a curiosidade dos alunos, esses recursos favorecem a revisão ativa dos conteúdos, tornando o processo de aprendizagem mais dinâmico. Segundo Piaget, o desenvolvimento cognitivo ocorre de forma contínua e depende da interação do sujeito com os objetos ao seu redor (Santos; Teotonia Da Silva, 2025). Embora essa teoria seja frequentemente associada à educação infantil, ela também se aplica ao ensino superior, pois a aquisição de conhecimento técnico envolve a assimilação de novos conceitos. Diante da extensa carga horária teórica e da complexidade dos conteúdos nessa etapa, o uso de atividades lúdicas torna-se ainda mais relevante. Nesse sentido, é fundamental que o professor adote estratégias didáticas interativas em diferentes momentos do planejamento. Como destaca Ronca (1989, p. 27), "o lúdico torna-se válido para todas as séries, porque é comum pensar na brincadeira, no jogo e na fantasia [...]" (Ronca, 1989).

Para equilibrar os aspectos lúdicos e educativos, garantindo que os jogos didáticos engajem os alunos sem comprometer os objetivos pedagógicos, sua aplicação no ensino de Química deve ser bem planejada e alinhada às metas educacionais. Esses recursos, quando utilizados estrategicamente, tornam-se ferramentas poderosas para despertar o interesse dos estudantes, facilitar a compreensão de conceitos complexos e promover uma aprendizagem mais significativa. Assim, os jogos representam uma alternativa promissora para superar os desafios do ensino tradicional e aproximar a físico-química da realidade dos alunos (Cunha, 2012).

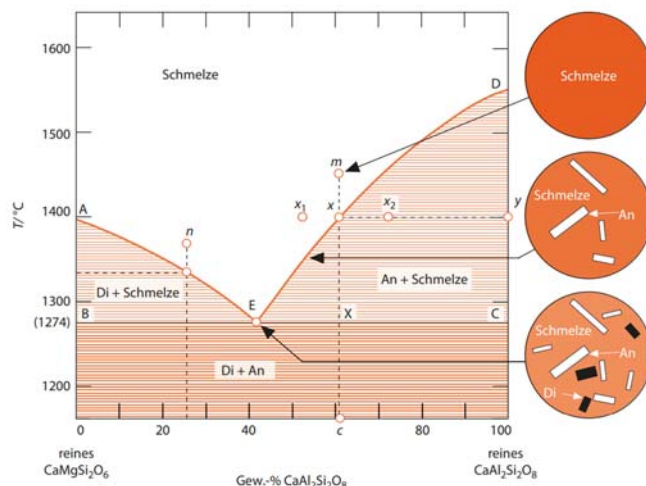
3. O PRODUTO EDUCACIONAL

O material educacional desenvolvido consiste em um jogo de tabuleiro estruturado como uma trilha didática, na qual os participantes avançam por um percurso interativo. O jogo incorpora cartas com perguntas que exigem a interpretação do diagrama de fases do sistema Diopsídio/Anortita ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6/\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), além de casas especiais que introduzem desafios e recompensas, tornando a experiência mais dinâmica e envolvente. O jogo pode ser acessado em: <https://drive.google.com/drive/folders/1ejtGwsJB6YldHIAzu1AGGEx-GCHVGLgk>. As questões foram elaboradas de forma criteriosa para cobrir diferentes aspectos do equilíbrio de fases, incluindo perguntas que demandam exclusivamente a análise do diagrama. A atividade pode ser realizada individualmente ou em equipes de até quatro participantes, incentivando a troca de conhecimentos, a cooperação e o desenvolvimento do pensamento crítico.

A trilha didática foi elaborada na plataforma Canva, utilizando como base um diagrama de fases extraído do livro *Gleichgewicht in geologischen Systemen* (Gill, 2020). As cores foram escolhidas para manter a harmonia visual com o diagrama original, priorizando tons alaranjados e avermelhados, que remetem à aparência típica de minerais em fusão. Os materiais foram impressos em cores em folhas A3, garantindo boa visualização e maior durabilidade. Foram confeccionados dois suportes de cartolina para fixação do diagrama e do tabuleiro, posicionando o diagrama em um ângulo de 45° em relação ao tabuleiro, que foi disposto horizontalmente sobre a mesa. Essa disposição facilita a consulta ao diagrama durante o jogo, tornando a experiência mais interativa. Os dados foram impressos a partir de um modelo disponível online (<https://br.pinterest.com/pin/722968546410737582/>), e as cartas foram baseadas na obra *Chemical Fundamentals of Geology* (Gill, 2015), assegurando embasamento teórico sólido. Todas as ilustrações utilizadas foram obtidas gratuitamente na própria plataforma, garantindo um design acessível, visualmente atrativo e alinhado à proposta pedagógica. A Figura 1 mostra o diagrama de fases utilizado no jogo, que representa o comportamento de fusão do sistema $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6/\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ à

pressão atmosférica. Os esboços circulares à direita ilustram como um “magma” experimental poderia parecer ao microscópio em diferentes estágios do experimento.

Figura 1. Relações de fusão no sistema $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6/\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ à pressão atmosférica.



Fonte: Gill (2020).

Esse sistema pseudobinário descreve o comportamento de cristalização entre Diopsídio e Anortita, permitindo compreender a evolução do líquido durante o resfriamento e a formação de fases minerais cristalinas (Chevrel et al., 2013). O diagrama de fases do sistema apresenta quatro regiões principais. No campo líquido, a mistura está completamente fundida, existindo apenas uma fase líquida. No campo líquido + cristal (L), ocorre o equilíbrio entre a fase líquida e os cristais em formação. Já no campo anortita + líquido, há a coexistência da fase cristalina anortita com uma fração líquida remanescente. Por fim, no campo anortita + fase sólida, todo o líquido foi consumido, restando apenas fases cristalinas (Pilla, 2010).

À medida que o sistema se resfria, a fração de cristais aumenta progressivamente. Por exemplo, para uma mistura inicial de composição X_1 , a cristalização da fase sólida inicia-se na temperatura T_1 e prossegue até atingir a eutética, onde ocorre a cristalização completa na temperatura mais baixa do sistema (Pilla, 2010). No contexto do sistema pseudobinário analisado, a cristalização inicia-se quando a linha do líquido é atingida, promovendo a formação de anortita como única fase sólida. O resfriamento contínuo provoca o aumento progressivo da fração de anortita até que todo o líquido desapareça, restando apenas a fase sólida. Durante esse processo, a composição do líquido se modifica continuamente até atingir aproximadamente 1400 °C, momento em que a cristalização é finalizada. Importante destacar que a fase sólida formada (anortita) mantém sua composição fixa ao longo da evolução do sistema (Sen; Presnall, 1984; Tulyaganov, 2000).

Para descrever quantitativamente o equilíbrio entre fases sólidas e líquidas, a Regra da Alavanca é amplamente utilizada. Esse princípio permite estimar a composição e a proporção das fases em equilíbrio dentro de um sistema binário ou ternário. Em um diagrama de fases, a linha de amarração conecta a composição do líquido em equilíbrio (ponto à esquerda na linha) e a composição da fase sólida (ponto à direita), fornecendo uma base matemática para o cálculo das frações relativas de cada fase (Pilla, 2010). A equação geral da Regra da Alavanca é dada na Equação 1, que expressa a massa total da mistura (C) como a soma das massas da fase sólida (D) e da fase líquida (L):

$$C = D + L$$

Eq 1.

A fração de cada fase pode ser determinada a partir das composições relativas no diagrama, conforme a Equação 2, onde C_L é a composição da fase líquida em equilíbrio (ponto à esquerda da

linha de amarração), e C_D é a composição da fase sólida em equilíbrio (ponto à direita da linha de amarração). Por fim, a fração da fase sólida (X_D) e da fase líquida (X_L) pode ser calculada conforme apresentam as Equações 3 e 4, respectivamente (Pilla, 2010).

$$\frac{D}{L} = \frac{C_L - C}{C - C_D} \quad \text{Eq. 2.}$$

$$X_D = \frac{C_L - C}{C_L - C_D} \quad \text{Eq. 3}$$

$$X_D = \frac{C - C_D}{C_L - C_D} \quad \text{Eq. 4}$$

Essas expressões mostram que a fração da fase sólida é proporcional à diferença entre a composição da mistura total (C) e a do líquido (C_L), enquanto a fração líquida é proporcional à diferença entre C e a composição da fase sólida (C_D). Assim, misturas próximas de C_D apresentam maior proporção de fase sólida, enquanto aquelas próximas de C_L contêm mais líquido. No contexto do sistema pseudobinário analisado, a aplicação da Regra da Alavanca permite acompanhar a evolução composicional durante o resfriamento, desde o magma completamente fundido até a cristalização total da anortita. Isso oferece uma abordagem quantitativa e didática para o estudo da cristalização magmática e da formação de rochas ígneas, contribuindo para o entendimento dos princípios termodinâmicos envolvidos nesse processo (Chevrel et al., 2013; Sen; Presnall, 1984).

4. RELATO DE APLICAÇÃO E PRINCIPAIS RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta as perguntas e alternativas desenvolvidas para o jogo *Do Magma ao Cristal*, destacando o alinhamento entre os conceitos fundamentais do diagrama de fases e a abordagem lúdica proposta. As questões foram cuidadosamente elaboradas para abordar tópicos essenciais, como comportamento de fases, pontos eutéticos, composição em massa dos componentes e fenômenos de equilíbrio em sistemas binários, fornecendo um panorama abrangente sobre os processos de cristalização e fusão. As perguntas incluem desde aspectos conceituais básicos, como a identificação das fases presentes em diferentes condições de temperatura e composição, até análises mais complexas, como a interpretação de pontos específicos do diagrama, como o ponto eutético (E) e o comportamento ao longo das linhas de liquidus e solidus.

Por exemplo, a primeira pergunta, “Quais fases estão presentes no sistema em altas temperaturas?”, exige que os jogadores reconheçam a região acima da linha de liquidus no diagrama, onde o sistema está completamente na fase líquida. Essa questão é crucial para entender a transição entre estados físico-químicos e reforça a leitura e interpretação do gráfico. No tabuleiro, casas relacionadas à fusão completa são representadas por elementos gamificados, como “Oba! O sistema está na fase líquida, avance 2 casas!”, incentivando o engajamento enquanto conecta diretamente com o diagrama.

Tabela 1. Descrição das perguntas e alternativas desenvolvidas para o jogo Do Magma ao Cristal.

Pergunta	Alternativas
Quais fases estão presentes no sistema em altas temperaturas?	A) O sistema está na fase líquida
	B) O sistema está na fase sólida
	C) O sistema está na fase gasosa
Qual é a temperatura do ponto eutético (E) no diagrama?	A) 1274 °C
	B) 1300 °C

	C) 1400 °C
Quais fases estão presentes no ponto E?	A) Di + An B) Di + melt C) An, An + melt
Qual é a composição em massa de $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ no ponto E?	A) 20% B) 40% C) 50%
O que ocorre acima da linha de liquidus?	A) Presença de sólido apenas B) Presença de sólido + líquido C) Presença de líquido apenas
Qual mineral é formado exclusivamente em 100% de $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$?	A) Anortita (An) B) Diopsídio (Di) C) Feldspato
Qual é a composição no eixo x na extremidade direita do diagrama?	A) 100% $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ B) 50% $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ C) 100% $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
O que caracteriza o ponto X?	A) Fusão completa B) Solidificação do líquido restante C) Equilíbrio entre Di e Na
O que representa a linha que conecta A e D?	A) Liquidus B) Solidus C) Eutético
O ponto E é um exemplo de qual tipo de reação heterogênea?	A) Incongruente B) Congruente C) Eutética
Qual fase predomina no ponto B?	A) Melt B) Anortita C) Diopsídio
Como o diagrama reflete um sistema de dois componentes que não se misturam?	A) Com um único liquidus B) Com linhas de equilíbrio eutético C) Sem interação entre Di e Na
Na região abaixo do ponto E, quais fases coexistem?	A) Apenas sólidos B) Di + Na C) Di + melt
Qual fenômeno ocorre no ponto n?	A) Cristalização do Di B) Formação de melt C) Fusão completa do Na

O que caracteriza a linha horizontal no ponto E?	A) Uma reação congruente
	B) O equilíbrio eutético
	C) A fusão completa

Fonte: as autoras.

A pergunta “Qual é a temperatura do ponto eutético (E) no diagrama?” destaca o papel do ponto eutético como um marco termodinâmico. A resposta correta, 1274 °C, reflete a temperatura em que duas fases sólidas cristalizam simultaneamente do líquido. Esse conceito é aplicado no jogo em casas que representam a solidificação ou equilíbrio eutético, reforçando a visualização das condições geológicas em que esses eventos ocorrem. De forma similar, a pergunta “Quais fases estão presentes no ponto E?” desafia os jogadores a identificar corretamente as fases coexistentes no equilíbrio eutético, que são Di + An (diopsídio e anortita). Essa questão promove uma análise cuidadosa do diagrama, auxiliando no entendimento de como diferentes fases minerais interagem em condições de temperatura e composição específicas, reforçando conceitos já abordados de formas diferentes.

A pergunta “Qual é a composição em massa de $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ no ponto E?” envolve a leitura quantitativa do eixo de composição, essencial para associar a posição no diagrama com os percentuais reais dos componentes. A resposta correta, 40%, exige que os estudantes saibam localizar o ponto E corretamente e interpretar os valores representados. Questões como “O que ocorre acima da linha de liquidus?” exploram a definição dessa linha como o limite entre a região de fusão completa (fase líquida) e a coexistência de sólidos e líquidos. A resposta correta, “Presença de líquido apenas”, reforça o conceito de equilíbrio e auxilia os jogadores a correlacionarem os fenômenos representados no gráfico com as casas do tabuleiro, que podem incluir avanços ou retrocessos dependendo das condições do sistema.

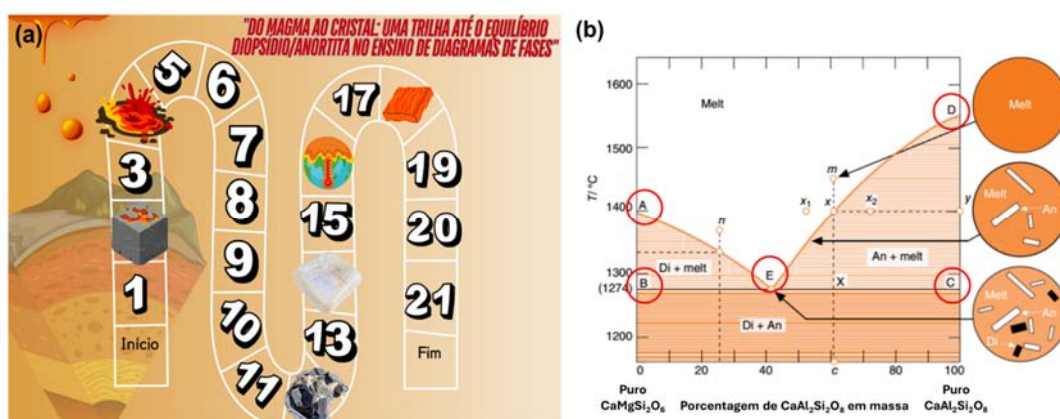
Na pergunta “Qual mineral é formado exclusivamente em 100% de $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$?”, a resposta correta é Diopsídio, o que reforça o entendimento dos componentes puros do sistema e sua relação direta com os extremos do eixo de composição. A questão “Qual é a composição no eixo x na extremidade direita do diagrama?” é resolvida com base na identificação dos minerais nos limites do sistema binário, sendo 100% $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ a resposta correta. Esse aspecto reforça o entendimento sobre os componentes puros e é visualmente representado no tabuleiro por figuras que ilustram esses minerais. Perguntas como “O que caracteriza o ponto X?” e “O que representa a linha que conecta A e D?” oferecem uma oportunidade de discutir eventos específicos, como solidificação residual e a importância das curvas de equilíbrio (solidus e liquidus). A correta identificação dessas regiões reforça o entendimento termodinâmico do sistema. A pergunta “O ponto E é um exemplo de qual tipo de reação heterogênea?” explora um conceito clássico: o equilíbrio eutético. A resposta correta é “Eutética”, o que remete ao tipo de reação em que duas fases sólidas se formam a partir de uma fase líquida. Questões como “Qual fase predomina no ponto B?” e “Na região abaixo do ponto E, quais fases coexistem?” exigem que o jogador compreenda o comportamento do sistema ao longo da linha de resfriamento, relacionando temperatura e composição com as fases presentes.

Outras perguntas aprofundam ainda mais a análise gráfica, como “Qual fenômeno ocorre no ponto n?”, que exige identificar um evento de transição — no caso, “Cristalização do Di”, e “O que caracteriza a linha horizontal no ponto E?”, cuja resposta correta é “O equilíbrio eutético”, reforçando o papel das linhas isotermais no comportamento do sistema. Por fim, a pergunta “Como o diagrama reflete um sistema de dois componentes que não se misturam?” avalia a compreensão de sistemas imiscíveis, cuja representação se dá por “linhas de equilíbrio eutético” e ausência de soluções sólidas contínuas, conceito essencial em sistemas binários do tipo Di-An.

O jogo Do Magma ao Cristal foi aplicado durante o evento Geodia, em uma atividade aberta a estudantes de diversos cursos do campus, incluindo alunos com e sem familiaridade prévia com os conceitos de petrologia, físico-química ou diagramas de fases. Essa diversidade de público evidenciou

a necessidade de ajustes na complexidade e linguagem dos materiais, resultando na adaptação de alguns termos técnicos, na inclusão de frases contextualizadoras nas cartas e na ampliação de elementos visuais para facilitar a interpretação dos conceitos abordados. A Figura 1(a) apresenta o tabuleiro de mesa desenvolvido para o jogo didático, composto por uma rota numerada de 1 a 21. Algumas casas fazem referência a elementos gamificados ou descrevem as fases de formação do sistema. O jogo foi projetado para que a jogada de dados determine o número de casas a avançar, sendo que cada casa possui uma carta numerada correspondente. À medida que os jogadores respondem corretamente às perguntas, eles progridem no percurso. A pontuação é definida pelo número de cartas coletadas por cada jogador, permitindo múltiplas voltas no tabuleiro e garantindo a revisão completa do conteúdo abordado.

Figura 2 – (a) Representação do tabuleiro do jogo didático *Do magma ao Cristal*. (b) Diagrama de fases adaptado para uso no jogo – Os pontos destacados (A, B, C, D e E) indicam condições específicas de transição entre as fases.



Fonte: (a) as autoras; (b) adaptada de (Gill, 2015).

Na Figura 2(b), observa-se o diagrama de fases apresentado anteriormente (Figura 1), agora modificado para facilitar a visualização, incluindo a definição de pontos específicos relacionados às perguntas e a tradução de alguns termos técnicos. As cartas do jogo foram elaboradas com perguntas curtas, relacionadas aos pontos destacados no diagrama, abordando temas como mudanças de fase, coexistência de componentes, temperaturas características de equilíbrio e cenários hipotéticos nos quais os jogadores precisam determinar respostas para avançar no tabuleiro. Além disso, algumas casas contêm cartas com elementos gamificados que ampliam a dinâmica do jogo, conforme ilustrado na Figura 3. Frases como “Ops! O sistema está solidificando, por isso fique uma rodada sem jogar”, “Ops! Você caiu na câmara magmática, volte 1 casa”, “Oba! O sistema está cristalizando em altíssima temperatura, avance 2 casas” e “Oba! O sistema está na fase líquida, avance 2 casas!” foram integradas para promover uma experiência mais envolvente. Além dessas cartas, as casas 12 e 14 disponibilizam duas cartas com informações completas sobre cada uma das fases puras dos minerais em estudo, permitindo uma melhor visualização dos componentes do sistema e como suas características relacionam-se com as condições que levam a sua formação.

Figura 3 – Cartas de alternativas do jogo



Fonte: as autoras.

O uso de elementos lúdicos, como cartas com consequências baseadas no comportamento do sistema representado, contribui significativamente para o engajamento dos participantes e para o aprendizado ativo. Essas inserções não apenas tornam o jogo mais atrativo, mas também reforçam conceitos-chave de maneira prática e contextualizada, promovendo uma assimilação mais intuitiva do conteúdo. A gamificação, ao simular situações próximas de fenômenos reais, permite aos estudantes explorar os conceitos em um ambiente de experimentação segura e interativa. Essa abordagem também incentiva a curiosidade, o pensamento crítico e o trabalho em equipe, elementos essenciais para o aprendizado significativo e duradouro. Dessa forma, os aspectos lúdicos atuam como catalisadores do processo educacional, conectando os estudantes de forma mais profunda ao conteúdo científico.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o desenvolvimento e a aplicação de um jogo educativo para o ensino de diagramas de fases, utilizando o sistema diopsídio-anortita como modelo. Os resultados obtidos demonstram que o jogo é uma ferramenta eficaz para promover a aprendizagem ativa e significativa dos alunos, contribuindo para o desenvolvimento de habilidades como análise de dados, resolução de problemas e trabalho em equipe. Ao transformar um conceito complexo em uma experiência lúdica e interativa, o jogo torna o aprendizado mais prazeroso e memorável. No entanto, é importante ressaltar que a utilização de jogos em sala de aula exige planejamento e acompanhamento por parte do professor, para garantir que os objetivos pedagógicos sejam alcançados. Futuras pesquisas podem explorar a adaptação do jogo para outros conteúdos e a avaliação do impacto a longo prazo sobre a aprendizagem dos alunos. Acredito que a utilização de jogos didáticos tem o potencial de revolucionar o ensino de ciências, tornando-o mais relevante e atrativo para os estudantes do século XXI.

6. REFERÊNCIAS

- CHEVREL, M. Oryaëlle *et al.* Physical properties of $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8\text{--CaMgSi}_2\text{O}_6\text{--FeO--Fe}_2\text{O}_3$ melts: Analogues for extra-terrestrial basalt. **Chemical Geology**, 9th Silicate Melts Workshop. v. 346, p. 93–105, 27 maio 2013.
- COSTA, Luiz Alfredo Moutinho da; INDA, Hermes Augusto Verner. Fundamentos da geologia pós-moderna. **Cadernos de Geociências**, v. 13, 11 jul. 2016.
- CUNHA, Márcia Borin da. Jogos no Ensino de Química: Considerações Teóricas para sua Utilização em Sala de Aula. **Química Nova na Escola**, v. 34, n. 2, p. 92–98, 2012.
- ERNESTO, Marcia *et al.* Perspectivas do ensino de Geociências. **Estudos Avançados**, v. 32, n. 94, p. 331–343, 13 dez. 2018.
- FIGUEIRÔA, Silvia F. de M.; SILVA, Clarete Paranhos da; PATACA, Ermelinda Moutinho. Aspectos mineralógicos das “Viagens Filosóficas” pelo território brasileiro na transição do século XVIII para o século XIX. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 11, p. 713–729, dez. 2004.
- FREIRE, João *et al.* A formação dos geólogos: o papel das universidades na configuração do campo profissional. **Análise Social**, v. 50, n. 215, p. 226–255, 2015.
- GANTUS-OLIVEIRA, Talita. A formação do geólogo: a necessidade de um currículo contemporâneo para uma ciência cidadã. **Terrae Didática**, v. 19, 28 dez. 2023.
- GILL, Robin. **Chemical Fundamentals of Geology and Environmental Geoscience**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2015.

JOVANOVSKI, Gligor; BOEV, Blazo; MAKRESKI, Petre. Chemistry and geology of coal: nature, composition, coking, gasification, liquefaction, production of chemicals, formation, peatification, coalification, coal types, and ranks. **ChemTexts**, v. 9, n. 1, p. 2, 19 jan. 2023.

PILLA, Luiz. **Físico-química II: equilíbrio entre fases, soluções líquidas e eletroquímica**. [S.l.]: Editora da UFRGS, 2010.

RONCA, Paulo Afonso Caruso. **A aula operatória e a construção do conhecimento**. [S.l.]: Esplan, 1989.

SANTOS, Elaine; TEOTONIA DA SILVA, Josineide. APRENDIZAGEM: UMA IMERSÃO SOBRE O MOVIMENTO DO APRENDER. In: PAULA ALMEIDA DE CASTRO; MÔNICA DE CARVALHO TEIXEIRA (Eds.). **Formação de Professores (Vol. 03)**. [S.l.]: Editora Realize, 2025.

SEN, G.; PRESNALL, D. C. Liquidus phase relationships on the join anorthite-forsterite-quartz at 10 kbar with applications to basalt petrogenesis. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 85, p. 404–408, 1984.

SILVA, Clarete Paranhos da *et al.* Subsídios para o uso da História das Ciências no ensino: exemplos extraídos das geociências. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 14, p. 497–517, 2008.

TULYAGANOV, Dilshat Ubaydullayevich. Phase Equilibrium in the Fluorapatite–Anorthite–Diopside System. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 83, n. 12, p. 3141–3146, 2000.