

PETROFLEX: FLEXQUEST PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS NO CONTEXTO DO DERRAMAMENTO DE ÓLEO NAS PRAIAS BRASILEIRAS

PETROFLEX: FLEXQUEST FOR SCIENCE EDUCATION IN THE CONTEXT OF THE OIL SPILL ON BRAZILIAN BEACHES

Bárbara Lúcia de Oliveira da Silva¹, José Antônio Bezerra de Oliveira², Kátia Aparecida da Silva Aquino³

Recebido: Maio/2025 - Aprovado: Outubro/2025

RESUMO: Este estudo objetivou desenvolver e aplicar uma FlexQuest, denominada PetroFlex, voltada para o estudo do desastre do derramamento de óleo nas praias brasileiras em 2019. A pesquisa, de natureza aplicada e abordagem qualitativa, foi realizada com estudantes do 3º ano do Ensino Médio em uma escola pública de Pernambuco, integrando recursos digitais e uma abordagem interdisciplinar para estimular a consciência socioambiental e o pensamento crítico. A metodologia envolveu a aplicação de atividades interativas em uma plataforma online, com os dados sendo interpretados qualitativamente, a partir dos três eixos da FlexQuest: Questões, Processos e Transferência. Os resultados mostraram que a PetroFlex favoreceu o desenvolvimento de habilidades críticas, como argumentação, análise de problemas complexos e tomada de decisão, além de ampliar a compreensão dos impactos socioambientais e das responsabilidades políticas e econômicas relacionadas ao desastre. Conclui-se que a PetroFlex é potencialmente eficaz na promoção de uma aprendizagem interdisciplinar, alinhada às diretrizes da Base Nacional Comum Curricular e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas, contribuindo para a formação crítica e cidadã dos estudantes.

PALAVRAS-CHAVE: ensino das ciências ambientais, flexibilidade cognitiva, aprendizagem ativa.

ABSTRACT: This study aimed to develop and implement PetroFlex, a FlexQuest designed to foster potentially meaningful learning in Science education by using the 2019 oil spill on Brazilian beaches as a contextual backdrop. This applied research, grounded in a qualitative approach, was conducted with 12th-grade students from a public high

- 1 <https://orcid.org/0009-0001-1409-8972> - Mestra em Ensino das Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Professora da Secretaria de Educação de Pernambuco (SEE-PE), Recife, Pernambuco, Brasil. Endereço: Avenida Ulisses Montarroyos, 4886, Apt 102 - Edf. Recicol, Candeias, Jaboatão dos Guararapes, PE, Brasil. CEP: 54400620. E-mail: barbarallucia@gmail.com
- 2 <https://orcid.org/0000-0003-4952-7746> - Doutor em Educação Tecnológica pela UFPE. Professor do Departamento de Educação da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: joseantonio.bezerra@ufrpe.br
- 3 <https://orcid.org/0000-0001-8895-6637> - Pós-doutorado em Educação Tecnológica pela UFPE. Professora do Colégio de Aplicação da UFPE, Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: aquino@ufpe.br





school in Pernambuco, Brazil. The intervention integrated digital resources and an interdisciplinary methodology to stimulate socio-environmental awareness and critical thinking. The pedagogical strategy consisted of interactive activities delivered through an online platform, with qualitative analysis focused on the three core dimensions of FlexQuest: Questions, Processes, and Transfer. Findings indicate that PetroFlex contributed to the development of critical skills such as argumentation, complex problem analysis, and informed decision-making, while deepening students' understanding of socio-environmental impacts and the political and economic responsibilities surrounding the disaster. The results suggest that PetroFlex is potentially effective in promoting interdisciplinary learning aligned with Brazil's National Common Curricular Base and the United Nations Sustainable Development Goals, thus supporting students' critical and civic education.

KEYWORDS: environmental science education, cognitive flexibility, active learning.

1 Introdução

A educação científica contemporânea enfrenta o desafio de formar cidadãos críticos e capazes de tomar decisões fundamentadas em prol de uma sociedade mais sustentável (Silva; Carvalho; Aquino, 2021). Nesse contexto, abordar desastres ambientais como o derramamento de óleo nas praias brasileiras, ocorrido em 2019, representa uma oportunidade para conectar o ensino de ciências a problemas reais, favorecendo o desenvolvimento de aprendizagem significativa e da conscientização socioambiental. Esse desastre, que comprometeu extensas áreas litorâneas e gerou impactos ecológicos, sociais e econômicos severos, necessita de uma abordagem interdisciplinar para ser compreendido em sua totalidade (Silva, 2023).

Diante da urgência em integrar criticidade, responsabilidade socioambiental e aprendizagem significativa no ensino de Ciências, especialmente diante de eventos complexos como o derramamento de óleo ocorrido nas praias brasileiras em 2019, torna-se necessário investigar caminhos didáticos que articulem conteúdos científicos a dimensões éticas e sociais. Estratégias que favoreçam a navegação entre diferentes mídias, o enfrentamento de dilemas reais e a produção autoral podem contribuir para o desenvolvimento de aprendizagens mais profundas e engajadas.

Com base nos princípios da Educação Problematicadora de Freire (1983), o ensino de ciências pode assumir um papel transformador ao explorar questões concretas do cotidiano. Freire defende que a educação deve ser um processo dialógico, voltado para a reflexão crítica e a transformação da realidade social. Integrar a discussão de desastres ambientais ao currículo permite não apenas a compreensão de conceitos científicos, mas também o desenvolvimento de uma postura ética e responsável diante de desafios globais.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (Brasil, 2018) reforça a importância de preparar os estudantes para enfrentar problemas complexos, promovendo competências como argumentação, análise



crítica e uso ético e reflexivo das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC). Nesse cenário, a Teoria da Flexibilidade Cognitiva (TFC), proposta por Spiro et al. (1988), destaca-se como um referencial relevante para organizar o ensino em domínios de conhecimento complexos, como as questões ambientais. A TFC propõe a interação dos sujeitos a múltiplas representações do conhecimento, permitindo que eles construam e reestruturem conceitos e os apliquem em diferentes contextos.

Nesta direção, a estratégia pedagógica FlexQuest surge como uma aplicação prática dessa abordagem, utilizando TDIC para guiar os estudantes em investigações sobre temas relevantes e interdisciplinares (Aleixo; Carneiro-Leão; Souza, 2009; Silva; Carneiro-Leão; Souza, 2015). Segundo os mesmos autores, por meio de recursos hipermídia, como textos, vídeos e gráficos, a FlexQuest estimula a curiosidade, o engajamento e a criticidade, ao conectar o conteúdo acadêmico a problemas concretos da sociedade. No caso do derramamento de óleo, essa estratégia possibilita integrar conhecimentos de áreas como Química, Biologia e Geografia, promovendo uma visão ampla e sistêmica de desafios ambientais (Silva, 2023).

Posto isto, este estudo teve como objetivo desenvolver e aplicar uma FlexQuest voltada para o estudo do desastre do derramamento de óleo nas praias brasileiras em 2019. A proposta busca explorar o potencial das TDIC para fomentar a flexibilidade cognitiva e a construção de conhecimentos interdisciplinares, preparando os estudantes para compreender criticamente os problemas ambientais contemporâneos e contribuir para soluções mais sustentáveis.

2 Aporte teórico

2.1 Teoria da Flexibilidade Cognitiva

A TFC, desenvolvida por Spiro et al. (1988), busca superar as limitações das abordagens tradicionais de ensino baseadas na memorização e fragmentação do conhecimento. Ela enfatiza a necessidade de preparar os estudantes para reestruturar o conhecimento de forma adaptável e aplicá-lo em diferentes contextos, especialmente em domínios complexos e pouco estruturados, os quais a abstração e o raciocínio crítico são indispensáveis (Spiro; Feltovich; Coulson, 1992; Spiro; Jehng, 1990). A TFC sugere que a aprendizagem profunda ocorre por meio da interação do estudante com múltiplas representações de conhecimentos, abordagens interdisciplinares e navegação não-linear pelos conteúdos conceituais, permitindo relações cognitivas mais amplas e dinâmicas entre os conhecimentos (Ramos, 2019).

Uma estratégia pedagógica baseada na TFC utiliza cenários reais, problemas autênticos e ferramentas digitais interativas, como hipermídia, para criar um ambiente de aprendizagem que promova a flexibilização do conhecimento. Por exemplo, no ensino de ciências, uma atividade que aborda o impacto ambiental de um desastre ecológico, como o derramamento de óleo, pode ser estruturada para propiciar a interação dos estudantes com múltiplas perspectivas daquele contexto ambiental. Nesse caso, os estudantes podem analisar a questão sob os ângulos da Química (compreensão dos compostos presentes no óleo), da Biologia (impacto sobre a fauna e flora) e da Geografia (afetados pelo transporte marítimo e



correntes oceânicas). Essa abordagem interdisciplinar tem potencial de incentivar o estudante a conectar conhecimentos prévios com novos conceitos, promovendo a reorganização de sua estrutura cognitiva e uma visão mais ampla dos fenômenos (Silva, 2023).

Além disso, a integração de tecnologias digitais, como ferramentas que combinam textos, imagens, vídeos e gráficos interativos, potencializa o processo de ensino. Essas tecnologias hipermídias permitem que os estudantes naveguem de forma não-linear pelo conteúdo abordado, explorando múltiplos caminhos de aprendizagem e revisitando conceitos em diferentes contextos. Esse processo estimula a flexibilidade cognitiva ao desafiar os estudantes a selecionar, articular e aplicar informações relevantes para resolver problemas complexos e desenvolver soluções criativas e fundamentadas (Pereira, 2009; Vasconcelos, 2012).

Estratégias baseadas na TFC também podem incorporar a resolução de situações-problema contextualizadas. Essas situações apresentam problemas específicos e realistas que exigem a aplicação prática do conhecimento a novos contextos. Por exemplo, os estudantes podem ser convidados a propor estratégias de mitigação para um contexto de impacto ambiental, considerando variáveis ecológicas, sociais e econômicas. Essa prática promove não apenas a compreensão do conteúdo, mas também o desenvolvimento de habilidades críticas, como tomada de decisões, argumentação e pensamento sistêmico. Dessa forma, a TFC, ao utilizar cenários reais, recursos hipermídias e situações-problema, promove a flexibilidade cognitiva ao incentivar a reorganização do conhecimento em diferentes contextos, preparando os estudantes para lidar com a complexidade do mundo contemporâneo de maneira crítica e eficaz.

2.2 FlexQuest: estratégia didática potencial para o ensino de Ciências Ambientais

A FlexQuest é uma estratégia pedagógica derivada das *WebQuests*, concebidas na década de 1990. Enquanto as *WebQuests* utilizam a internet como fonte para atividades estruturadas, a FlexQuest evolui ao incorporar os princípios da TFC, propiciando uma abordagem mais adaptativa e interdisciplinar. Essa metodologia se destaca por organizar informações reais e contextualizadas, promovendo a análise crítica e a aplicação prática do conhecimento em situações do cotidiano (Santos, 2016). A FlexQuest se estrutura em elementos essenciais que guiam o estudante ao longo do processo de aprendizagem. O Quadro 1 exhibe a estrutura canônica de uma FlexQuest:

A FlexQuest utiliza ferramentas digitais, como hipermídia, para enriquecer a experiência educacional. Essas tecnologias dinamizam o ensino, tornando-o mais conectado à realidade dos estudantes e promovendo a flexibilidade cognitiva ao facilitar a reorganização e a aplicação do conhecimento em diferentes contextos (Vasconcelos, 2012). Assim, essa estratégia amplia as possibilidades de aprendizagem interdisciplinar ao abordar temas complexos de maneira crítica e adaptativa. Posto isso, a FlexQuest tem potencial de preparar os estudantes para enfrentar problemas do mundo contemporâneo, incentivando o desenvolvimento de habilidades como resolução de problemas, tomada de decisão e pensamento sistêmico.



Alguns estudos sugerem que as FlexQuests podem ser utilizadas no contexto do ensino das Ciências Ambientais, possibilitando que esse campo de conhecimentos possa ser abordado de forma reflexiva, crítica e ativa pelo estudante (Lima; Santana; Souza, 2020; Oliveira; Aquino; Gusmão, 2017; Oliveira; Gusmão; Aquino, 2018; Oliveira; Silva; Aquino, 2017; Oliveira; Aquino, 2019; Silva, 2023; Silva; Cleophas, 2017). Dessa forma, acredita-se que a organização e aplicação de uma FlexQuest articulada à um tema contemporâneo e com proximidade às vivências dos estudantes configura-se como uma estratégia fértil para a promoção de aprendizagens significativas e críticas acerca de contextos ambientais.

Quadro 1- Elementos que constituem uma FlexQuest e suas respectivas descrições.

Elemento da FlexQuest	Descrição
Contextualização	Apresenta o tema central e sua relevância, conectando-o a problemas reais e despertando a curiosidade do estudante. Essa introdução situa a atividade de forma clara e reflexiva.
Casos e Minicasos	Os casos representam situações reais extraídas de fontes confiáveis, como notícias, relatórios e vídeos. Já os minicasos são recortes dos casos, que permitem uma análise mais detalhada e flexível, incentivando o estudante a explorar múltiplas perspectivas e construir conexões interdisciplinares.
Questões	Propõem problematizações que direcionam a análise dos casos e minicasos. Essas questões avaliam a capacidade do estudante de relacionar conceitos e aplicar o conhecimento em contextos diversificados.
Processos	Organizadores das etapas de exploração e análise, os processos incentivam a navegação não linear pelos conteúdos, promovendo a reestruturação cognitiva e o pensamento crítico.
Transferência	Etapa final que estimula o estudante a aplicar o que aprendeu em novas situações reais, reforçando a autonomia e consolidando uma aprendizagem significativa.

Fonte: Adaptado de Santos (2016)

Conforme informações do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA (Brasil, 2023), em agosto de 2019, ocorreu o maior desastre ambiental com óleo bruto da história do Brasil, e um dos maiores do mundo. Esse vazamento afetou tanto os estados da região nordeste quanto parte dos estados da região sudeste, totalizando 11 estados impactados. Com uma extensão de 4.334 km de faixa litorânea contaminada, o desastre provocou uma crise ambiental sem precedentes, que afetou gravemente a flora e a fauna marinha, além de causar danos às comunidades locais, à economia e à saúde pública. Dado o impacto causado e a relevância do tema para a sociedade, o caso do derramamento de óleo demonstrou grande potencial para ser explorado como um contexto real e significativo na criação de uma FlexQuest

3 Percurso metodológico

Este estudo caracteriza-se como de natureza aplicada, pois busca solucionar um problema prático relacionado ao ensino de Ciências por meio do uso da estratégia FlexQuest, com o objetivo de promover aprendizagens significativas e críticas em torno da temática do derramamento de óleo nas praias brasileiras. Trata-se de uma pesquisa de abordagem qualitativa e de objetivo explicativo, uma vez que investiga como



a proposta pedagógica impacta a argumentação dos estudantes, a sua compreensão interdisciplinar e a sua consciência socioambiental. Enquadra-se ainda como uma pesquisa-intervenção pedagógica, já que envolve o planejamento, a implementação e a análise de uma estratégia didática em contexto escolar real (Damiani et al., 2013).

3.1 Desenvolvimento e Aplicação da FlexQuest

A estruturação da FlexQuest para o estudo do derramamento de óleo nas praias brasileiras seguiu um processo organizado em três etapas. Inicialmente, foram selecionadas notícias de fontes confiáveis que abordavam os impactos do desastre ambiental, contemplando temas como saúde pública, biodiversidade, economia e políticas ambientais. Esse levantamento de dados considerou o período de 2019 a 2022, garantindo a atualidade e a relevância das informações utilizadas.

Em um segundo momento, as notícias foram organizadas em quatro casos (contextos) principais: Saúde e Propriedades Químicas, Informações Geográficas, Meio Ambiente e Sociedade, e Ações Políticas e Investigações. Cada caso foi desdobrado em minicasos, que detalharam aspectos específicos de suas respectivas temáticas. Ressalta-se que os minicasos são recortes literais dos casos que funcionam como disparadores pedagógicos, focando a atenção do estudante em um determinado contexto em que o conceito ou problema está inserido, e que poderia se perder sem esse recorte intencional (Santos, 2016). Essa segmentação foi planejada para facilitar a navegação entre os conteúdos e promover uma análise interdisciplinar, essencial para a compreensão do tema de forma ampla e aprofundada. No terceiro momento foram idealizados os questionamentos para as seções Questões, Processos e Transferência. Tais elementos são utilizados para favorecer a flexibilização do conhecimento dos estudantes ao articularem e apresentarem resoluções para as perguntas.

A FlexQuest foi estruturada em uma plataforma online da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), monitorada pelo Grupo de Pesquisa Semente, que permite a elaboração gratuita da FlexQuest. Nomeou-se essa estratégia como PetroFlex. Operacionalizando a abordagem, a PetroFlex foi aplicada no componente curricular de Química, em uma turma do 3º ano do Ensino Médio, composta por 40 estudantes divididos em grupos, em uma escola da Rede Pública Estadual de Pernambuco localizada na Região Metropolitana do Recife. A aplicação envolveu conhecimentos interdisciplinares, incluindo Geografia, Química, Saúde, Economia, Política, Educação Ambiental e Biologia, promovendo a integração de saberes para uma abordagem contextualizada e crítica.

O processo de aplicação foi organizado em três etapas. Na primeira etapa, foi realizado o momento inicial de acesso à PetroFlex, no qual os estudantes navegaram pela plataforma e se familiarizaram com os casos e minicasos apresentados. Em seguida, ocorreu uma discussão em sala de aula, com a socialização e análise das matérias de jornal disponibilizadas na PetroFlex, promovendo reflexões e debates. As duas primeiras etapas foram realizadas em uma aula de 50 minutos cada. A última etapa, realizada extraclasse, consistiu na elaboração e entrega das atividades propostas pela PetroFlex, permitindo aos estudantes



consolidar os conhecimentos e aplicar os conceitos trabalhados em situações práticas. Essa organização permitiu estruturar a aplicação de forma integrada e participativa, envolvendo os estudantes em diferentes momentos do processo, desde a exploração inicial dos conteúdos até a produção de reflexões críticas e contextualizadas.

3.2 Coleta e análise de dados

Os dados analisados neste estudo foram produzidos ao longo da aplicação da PetroFlex. As produções analisadas incluíram respostas escritas, posicionamentos e infográficos digitais elaborados pelos estudantes durante a abordagem didática. A análise seguiu um enfoque interpretativo, tomando como categorias analíticas três eixos estruturantes da FlexQuest: Questões, Processos e Transferência. Cada etapa foi examinada com base na sua função pedagógica, a fim de identificar evidências de aprendizagens significativas, reorganizações conceituais, construção de argumentos e posicionamentos críticos relacionados ao problema socioambiental em foco. Os minicase utilizados nas etapas de Questões e Processos foram concebidos como elementos didáticos provocadores e não como objetos de análise isolados.

A escolha por uma leitura guiada pelos próprios eixos da proposta se justifica pelo caráter formativo e aplicado do estudo, que foca na verificação do percurso de aprendizagem promovido pela PetroFlex. As respostas e produções foram analisadas pelos pesquisadores de forma dialogada, com anotações cruzadas e seleção de trechos representativos de cada etapa. Em seguida, os dados foram organizados em uma matriz interpretativa com base nos objetivos pedagógicos da proposta, possibilitando uma análise coerente com os fundamentos teóricos do trabalho e a emergência de categorias temáticas.

Essa estrutura analítica possibilitou compreender, de forma integrada, como os estudantes reagiram cognitivamente e discursivamente às situações propostas, evidenciando aprendizagens que dialogam com os princípios da TFC (Spiro et al., 1988), com a Educação Problematicadora de Freire (1983) e com as competências gerais da Base Nacional Comum Curricular (Brasil, 2018).

4 Resultados e discussão

A PetroFlex pode ser acessada a partir do endereço eletrônico <http://flexquest.ufrpe.br/projeto/13753/geral> (Figura 1). Os endereços das etapas constituintes da estratégia estão apresentados no Quadro 2. As notícias escolhidas como casos (e consequentes recortes em minicase) estão descritas no Quadro 3.



Figura 1- Página inicial da PetroFlex.



Fonte: Autores.

Quadro 2 – Endereço eletrônico dos elementos que constituem a PetroFlex.

Elemento da PetroFlex	Descrição
Casos	http://flexquest.ufrpe.br/projeto/13753/caso
Questões	http://flexquest.ufrpe.br/projeto/13753/questao
Processos	http://flexquest.ufrpe.br/projeto/13753/processo
Transferência	http://flexquest.ufrpe.br/projeto/13753/transferencia/14281

Fonte: Autores.

Quadro 3 – Notícias escolhidas como casos da PetroFlex e seus respectivos endereços eletrônicos

Elemento da PetroFlex	Descrição
Saúde e Propriedades Químicas	https://www.wwf.org.br/?73944/O-que-se-sabe-ate-agora-sobre--derramamento-de-oleo-no-Nordeste
Informações Geográficas	https://www.wwf.org.br/?76948/Vazamento-de-petroleo-completa-um-ano-sem-solucao
Meio Ambiente e Sociedade	https://brasil.elpais.com/brasil/2019/10/25/politica/1571959904_104809.html
Ações Políticas e Investigações	https://neomundo.org.br/2019/10/24/vazamento-de-petroleo-em-area-costeira-nordestina-se-torna-um-dos-maiores-impactos-ambientais-no-pais/

Fonte: Autores.

O contexto da PetroFlex teve como objetivo provocar o levantamento de saberes prévios, gerar inquietações e promover um contato inicial dos estudantes com os impactos socioambientais do derramamento de óleo ocorrido em 2019 nas praias do Nordeste do Brasil. Em seguida, os estudantes foram



orientados a navegarem pelos casos e minicasos presentes na PetroFlex e, em posteriormente, resolverem as situações presentes nas Questões. As perguntas formuladas buscavam acionar a capacidade de análise contextualizada, negociação de significados e posicionamento ético diante dos fatos apresentados.

Desde o primeiro momento de interação com os minicasos, os estudantes demonstraram envolvimento ativo com a proposta, mobilizando saberes prévios e ampliando seu repertório conceitual diante de um problema real e complexo. Em consonância com os fundamentos da Teoria da Flexibilidade Cognitiva (Spiro et al., 1988; Spiro; Jehng, 1990), a PetroFlex possibilitou aos participantes transitar entre representações diversas de um mesmo fenômeno, favorecendo a construção de interpretações mais profundas e adaptativas.

Logo no início da experiência, emergiram reações de espanto diante da gravidade do derramamento de óleo, expressas em comentários como a admiração e revolta com a extensão dos danos ambientais e o impacto direto sobre as espécies marinhas. Essa reação inicial sugere um momento de “flexibilização de atenção” (Spiro; Jeng, 1990), no qual os estudantes, instigados pelas imagens, dados e trechos reais das notícias, deslocam seu foco do cotidiano escolar para uma realidade ambiental perturbadora. Ao tomarem contato com os riscos à saúde provocados pelos hidrocarbonetos poliaromáticos (HPAs), os estudantes passaram a problematizar os efeitos tóxicos do petróleo sobre seres vivos e sobre o próprio ser humano.

Essas manifestações correspondem à dimensão de “contextualização significativa” discutida por Freire (1983). Nesse movimento, os estudantes deixam de abordar o conteúdo de modo abstrato e passam a reconhecer sua implicação nos desdobramentos sociais, ecológicos e políticos da situação. A proposta da PetroFlex, ao estruturar um percurso de aprendizagem fundamentado em casos reais e interligados, amplia a criticidade e o engajamento ao despertar sentimentos de pertencimento, indignação e responsabilização. Evidencia-se, assim, a potencialidade da estratégia como promotora de aprendizagens significativas (Oliveira; Aquino, 2019).

Ainda nesta direção, essa potencialidade se concretiza na medida em que os novos conteúdos, como as especificidades do impacto do óleo sobre a fauna, os processos de intemperismo e a ausência de respostas governamentais, relacionam-se às estruturas cognitivas prévias dos estudantes, mas exigem sua reorganização e ampliação para a produção de novos sentidos. O processo torna-se visível na mobilização de esquemas explicativos que articulam Química, Biologia e Geografia, configurando a reestruturação cognitiva proposta pela TFC. O conhecimento, então, deixa de ser acumulado de forma linear e passa a ser mobilizado em situações diversas, de maneira flexível e crítica (Spiro; Feltovich; Coulson, 1992).

As respostas analisadas da seção Questões indicam que os estudantes conseguiram identificar com boa nitidez os impactos ambientais diretos e, em muitos casos, extrapolaram para uma compreensão crítica das implicações sociais e políticas do desastre. Um exemplo disso é a seguinte resposta: “A falta de um posicionamento claro e medidas efetivas por parte do governo federal pode ser considerada uma irresponsabilidade, pois o combate ao desastre ambiental requer ação rápida e coordenada [...] comprometendo a saúde dos ecossistemas e a sustentabilidade a longo prazo”. Esse trecho revela uma leitura que transcende a descrição do evento, apontando para a inoperância institucional e as suas



consequências ambientais e sociais. Essa postura aproxima-se da noção de “leitura crítica da realidade” proposta por Freire (1983), na qual os educandos desenvolvem a capacidade de interpretar e questionar o mundo a partir de uma consciência política emergente.

Entre os temas mais frequentes nas respostas das Questões, destacaram-se impactos do óleo (75%) e proteção ambiental (58,33%), de acordo com os dados sistematizados. Embora algumas respostas tenham mantido um caráter mais descritivo, houve também manifestações em que os estudantes relacionaram diretamente os fatos ambientais às injustiças sociais, como na seguinte justificativa: “Falta fiscalização e investimento. As comunidades mais pobres são sempre as mais afetadas e esquecidas”. Essa afirmação aponta para a percepção das assimetrias sociais que estruturam o enfrentamento dos desastres ambientais. Ao destacar que os efeitos são desigualmente distribuídos, os estudantes demonstram sensibilidade ética e compreensão sociopolítica da realidade, alinhando-se à competência geral 6 da BNCC (Responsabilidade e Cidadania) (Brasil, 2018).

A etapa dos Processos na PetroFlex consistiu em atividades que desafiaram os estudantes a reorganizar informações dispersas e aparentemente desconexas em uma rede de significados mais complexa e integrada. Esse eixo foi construído para mobilizar o que Spiro et al. (1988) denominaram de “aprendizagem avançada em domínios complexos e pouco estruturados”. Ao trabalhar com diferentes casos e minicase que abordavam o mesmo evento sob perspectivas diversas (saúde pública, propriedades químicas, ecologia marinha, política ambiental, economia pesqueira, entre outros), os estudantes foram levados a articular múltiplos saberes, navegando de maneira não-linear por diferentes fontes e campos disciplinares.

Durante essa etapa, a PetroFlex exigiu dos estudantes que conectassem informações oriundas de várias áreas do conhecimento para interpretar o fenômeno do derramamento de óleo de forma sistêmica. Ao se debruçarem sobre a origem do petróleo, sua composição química e os impactos sobre a saúde humana e ambiental, os grupos demonstraram habilidade crescente para realizar análises de causalidade e interdependência. Por exemplo, a compreensão de que o óleo cru contém HPAs (compostos com alto potencial carcinogênico e mutagênico) foi articulada por alguns grupos à ideia de cadeia alimentar e bioacumulação, aproximando-se de conceitos biológicos como fluxo de energia e magnificação trófica. Essa conexão, que parte de um elemento químico específico e se projeta sobre a ecologia de ecossistemas, é um indicativo notável de que houve avanço na flexibilização de representação, uma das três dimensões cognitivas fundamentais previstas pela TFC (Guerra; Candeias; Prieto, 2014).

Além disso, observou-se o uso de estratégias de comparação, inferência e extrapolação nas análises dos estudantes. Quando questionados sobre a possibilidade de ingerir pescados da região atingida, por exemplo, os estudantes articularam os dados científicos fornecidos por universidades e institutos ambientais à contradição presente nos discursos governamentais. Essa capacidade de confrontar diferentes fontes e identificar lacunas ou contradições é típica da aprendizagem crítica e da educação problematizadora (Freire, 1983), pois exige não apenas a apropriação de conteúdos, mas a leitura crítica das estruturas de poder e dos discursos oficiais.



A abordagem com a PetroFlex não se deu como mera justaposição de áreas do conhecimento que interagem, mas como uma tessitura de relações construídas pelos próprios estudantes. Ao organizarem suas respostas em torno de eixos explicativos que envolviam dados geográficos (como correntes marítimas e áreas afetadas), elementos químicos (toxicidade, propriedades físico-químicas do óleo), aspectos socioeconômicos (queda no turismo, desemprego na pesca artesanal) e dimensões políticas (atuação de órgãos ambientais e omissão governamental), os estudantes promoveram aquilo que Fazenda (2003) chama de “intercomunicação entre os saberes”. Essa capacidade não apenas rompe com o ensino compartimentalizado das disciplinas, como favorece o desenvolvimento do pensamento sistêmico, algo essencial para enfrentar problemas complexos do século XXI (Brasil, 2018).

De modo complementar, a TFC prevê que, em domínios pouco estruturados, como o caso de desastres ambientais, não há uma única narrativa ou sequência de fatos que dê conta da complexidade do fenômeno. Assim, a exigência de navegação entre diferentes casos e minicasos funcionou como um dispositivo pedagógico para promover a desestabilização de interpretações simplificadoras. Os estudantes, ao se depararem com fragmentos noticiosos que abordavam o mesmo evento sob ângulos distintos, foram instados a reorganizar seu pensamento e a elaborar sínteses mais abrangentes, com base em representações plurais e contraditórias.

Ainda, esse eixo também evidenciou a importância do desenvolvimento da “flexibilidade de resposta” (Spiro; Jeng, 1990), ao passo que os estudantes foram incentivados a propor soluções, emitir posicionamentos e justificar suas decisões com base nos dados levantados. Isso indica o desenvolvimento de uma outra Competência Geral da BNCC: a 7ª - Argumentação (Brasil, 2018). Ainda que essas produções não configurassem propostas técnicas acabadas, elas refletiam processos ativos de tomada de decisão, seleção de informações relevantes e argumentação estruturada, as quais se considera competências centrais na formação científica e cidadã contemporânea.

A etapa de Transferência representa o momento em que os estudantes são convidados a aplicarem os conhecimentos construídos ao longo do percurso investigativo em uma produção autoral e situada. No caso da PetroFlex, essa etapa demandou dos estudantes a elaboração de infográficos digitais como síntese das aprendizagens construídas ao longo da atividade. Essa produção final (exemplo na Figura 2) teve como objetivo avaliar a capacidade dos alunos de aplicar os conhecimentos construídos a novas situações, exercitando autonomia, criticidade e representação multimodal, em consonância com o que a TFC define como flexibilização de resposta (Spiro et al., 1988; Spiro; Jeng, 1990). A proposta mobilizou habilidades de seleção, organização e expressão de informações, desafiando os estudantes a converter conteúdos complexos em narrativas visuais significativas.

Na etapa de Transferência, a análise qualitativa dos infográficos permitiu identificar cinco categorias temáticas recorrentes, que evidenciam os eixos interpretativos priorizados pelos grupos: Impacto causado pelo óleo (75% das produções), Proteção ambiental (58,33%), Fiscalização e monitoramento ambiental (41,66%), Responsabilidade do governo (33,33%) e Recuperação ambiental (16,66%). A centralidade do impacto ambiental nas produções sugere que os estudantes compreenderam a extensão dos danos



provocados pelo petróleo cru à fauna, à flora e aos ecossistemas costeiros. A categoria Proteção ambiental apareceu frequentemente associada a elementos como a necessidade de preservação da biodiversidade e de ações preventivas frente a novos desastres, reforçando uma perspectiva de educação ambiental crítica. Já a categoria Fiscalização e monitoramento” foi associada à cobrança por maior atuação de órgãos como o IBAMA, a Polícia Federal e a Marinha, destacando a apropriação dos estudantes de informações veiculadas nos minicassos e seu deslocamento para uma dimensão de responsabilização pública.

Ainda, a presença da categoria “Responsabilidade do governo” revela o amadurecimento argumentativo dos grupos, que passaram a compreender o desastre não como um evento isolado da natureza, mas como um fenômeno social e político, suscetível à atuação (ou inação) de agentes públicos. Esse movimento vão ao encontro com os princípios da Educação Problematicadora (Freire, 1983), ao possibilitar a tomada de consciência dos estudantes sobre as relações entre ciência, poder, política e justiça socioambiental. Mesmo que menos frequente, a categoria “Recuperação ambiental” apareceu como proposta de superação do problema, incluindo menções à biorremediação, à atuação comunitária e à necessidade de políticas de longo prazo para reabilitação dos ambientes afetados. Ainda que de forma incipiente, essas proposições sinalizam o início de um processo de elaboração propositiva, que articula conhecimento científico, sensibilidade ética e engajamento coletivo.

A produção dos infográficos também permitiu observar o uso funcional da linguagem multimodal. Os estudantes organizaram suas ideias por meio da combinação de texto, imagem, símbolos e esquemas, exercitando competências de comunicação científica e alfabetização visual. Esse tipo de atividade, ao exigir reorganização de conteúdos e expressão autoral, mobiliza simultaneamente os três tipos de flexibilização cognitiva previstos por Guerra, Candeias e Prieto (2014): atenção (selecionar o que é relevante), representação (traduzir de forma multimodal) e resposta (tomar posição e propor sínteses).

Em suma, a etapa de Transferência não se limitou a uma tarefa de avaliação final, mas funcionou como culminância de um processo formativo no qual os estudantes reconstruíram saberes, posicionaram-se criticamente e produziram conhecimento com sentido social. A PetroFlex, nesse sentido, demonstrou ser uma estratégia potente para promover aprendizagens complexas, interdisciplinares e comprometidas com a leitura crítica do mundo e a transformação da realidade. Esse movimento também se aproxima das análises de Oliveira, Cavalcante e Aquino (2023), que evidenciam como práticas educativas estruturadas em percursos planejados favorecem a reorganização conceitual dos estudantes e possibilitam compreensões mais críticas e contextualizadas.

5 Considerações finais

A experiência apresentada neste estudo revela a potência de propostas pedagógicas que integram tecnologias digitais, problemáticas socioambientais contemporâneas e fundamentos teóricos sólidos, como os da Teoria da Flexibilidade Cognitiva e da Educação Problematicadora. A PetroFlex se mostrou fértil no engajamento dos estudantes com saberes científicos e sociais, permitindo a construção de



posicionamentos argumentativos, interpretações críticas e reorganizações conceituais a partir de um problema real e complexo.

Ao longo das atividades, observou-se o envolvimento crescente dos estudantes, a mobilização ativa de múltiplas áreas do conhecimento e a emergência de discursos autorais e eticamente comprometidos com o meio ambiente e a justiça social. As produções finais, ainda que com variações formais, evidenciaram sínteses significativas sobre o desastre ambiental analisado, apontando para o desenvolvimento de competências cognitivas e cidadãs que ultrapassam os limites da simples memorização de conteúdos escolares.

Diante dos resultados obtidos, a proposta mostra-se promissora para aplicação em outros temas urgentes, como crise hídrica, racismo ambiental, pandemias e conflitos territoriais, além de abrir possibilidades para investigações que considerem os efeitos dessa abordagem em diferentes níveis de ensino, inclusive no campo da formação inicial e continuada de professores. Ainda assim, permanecem desafios estruturais que exigem atenção: o tempo exíguo das aulas no Ensino Médio, a necessidade de maior acesso às tecnologias digitais, e as dificuldades relacionadas à incorporação de práticas interdisciplinares em sistemas de ensino marcados por compartimentalizações disciplinares. Tais limites não invalidam a experiência, mas indicam caminhos para sua qualificação e ampliação.

Para fins de revisão linguística, ortográfica e de coesão textual, este manuscrito contou com o apoio da ferramenta de inteligência artificial generativa ChatGPT-4.0, utilizada exclusivamente para esse fim. Seu uso não interferiu na elaboração conceitual, na análise dos dados ou na autoria intelectual do conteúdo desenvolvido pelos autores.

Referências

ALEIXO, A. A.; CARNEIRO-LEÃO, M. B.; SOUZA, F. N. DE. FlexQuest: potencializando a WebQuest no Ensino de Química. **Revista entreideias: educação, cultura e sociedade**, v. 13, n. 14, p. 119–133, 2009.

BRASIL. Base Nacional Comum Curricular. Ministério da Educação e Cultura. Brasília, 2018.

BRASIL. **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis**. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/fiscalizacao-e-protecao-ambiental/emergencias-ambientais/manchasdeoleo/manchas-de-oleo>. Acesso em: 25 maio 2023.

DAMIANI, M. F. *et al.* Discutindo pesquisas do tipo intervenção pedagógica. **Cadernos de Educação**, n. 45, p. 57–67, 2013.

FAZENDA, I. C. A. **Interdisciplinaridade: História, Teoria e Pesquisa**. 11. ed. Campinas: Editora Papirus, 2003.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. 13. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1983.



GUERRA, C. G.; CANDEIAS, A.; PRIETO, G. Flexibilidade Cognitiva: Repensar o Conceito e a Medida da Inteligência. In: I Seminário Internacional - Universidade do Minho, 2014, Minho. **Anais [...]**. 2014.

LIMA, V. H. M. DE; SANTANA, O. A.; SOUZA, T. E. M. S. Plataforma Flexquest: um recurso educacional voltado para a conservação dos recursos hídricos. **Revista Brasileira de Educação Ambiental** (RevBEA), v. 15, n. 5, 2020.

OLIVEIRA, J. A. B.; AQUINO, K. A. S. **FlexQuest como Promotora de Aprendizagem Significativa no Ensino das Ciências Ambientais na Educação Básica**. 2019, Porto Alegre: SBC, 2019. p. 319–328.

OLIVEIRA, J. A. B.; AQUINO, K. A. S.; GUSMÃO, P. T. R. **Flexquest como potencial ferramenta para promoção da Aprendizagem Significativa Crítica no ensino de Ecologia no Ensino Médio**. 2017, 2017. p. 1–12.

OLIVEIRA, J. A. B.; CAVALCANTE, P. S.; AQUINO, K. A. S. Mapas conceituais na avaliação da aprendizagem decorrente de sequências de ensino potencialmente significativas para o ensino de ciências. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista**, v. 13, n. 1, p. 61-77, 2023.

OLIVEIRA, J. A. B.; GUSMÃO, P. T. R.; AQUINO, K. A. S. **Flexquest como material instrucional potencialmente significativo para o ensino das ciências naturais**. 2018, 2018. p. 105–109.

OLIVEIRA, J. A. B.; SILVA, C. J. DA; AQUINO, K. A. S. Aprendizagem Significativa Crítica e Flexibilidade Cognitiva: diálogo metodológico através da construção e validação de uma ferramenta Flexquest para o ensino de Ecologia na educação básica. **Cadernos de Estudos e Pesquisa na Educação Básica**, v. 3, n. 1, p. 35–51, 2017.

PEREIRA, B. T. **O uso das tecnologias da informação e comunicação na prática pedagógica da escola**. Paraná: UFPR, 2009.

RAMOS, P. S. **Flexquest “tem química na minha dieta?” associada ao uso de problemas: uma proposta para flexibilização do conhecimento relacionado às dietas restritivas**. 2019. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/8344>. Acesso em: 10 maio 2025.

SANTOS, I. G. S. **FLEXQUEST: Uma plataforma Web 2.0 para o desenvolvimento de atividades interdisciplinares visando a promoção de flexibilidade cognitiva**. 2016. Tese (Doutorado em Ensino das Ciências) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2016.

SILVA, B. L. O. **PETROFLEX: FlexQuest como estratégia didática sobre derramamento de óleo nas praias brasileiras**. 2023. 1–54 f. Dissertação – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

SILVA, C. J.; CARVALHO, H.; AQUINO, K. A. S. Unidade De Ensino Potencialmente Significativa para o estudo da água e poluição na perspectiva da Educação Ambiental Crítica. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 4, n. 2, 1 mar. 2021.



SILVA, I. G. S. S.; CARNEIRO-LEÃO, M. B.; SOUZA, F. N. Plataforma FlexQuest: uma estratégia didática para a promoção de flexibilidade cognitiva e interdisciplinaridade com recursos Web 2.0. **Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informação**, n. E4, p. 35–49, 2015.

SILVA, I. G. S. S.; CLEOPHAS, M. G. Uma proposta de trabalho interdisciplinar sobre a água: o caso da flexquest “o fluido da vida”. **Enseñanza de las ciencias**, n. Extra, p. 4949–4954, 2017.

SPIRO, R. J.; COULSON, R. L.; FELTOVICH, P. J.; ANDERSON, D. K. Cognitive Flexibility Theory: Advanced Knowledge Acquisition in Ill-Structured Domains. **Technical Report** No. 44, 1988.

SPIRO, R. J.; FELTOVICH, M. J.; COULSON, R. L. Cognitive flexibility, constructivism, and hypertext: Random access instruction for advanced knowledge acquisition in ill structured domains. In: DUFFY T M; JONASSEN, D. H. (Org.). . **Constructivism and the Technology of Instruction: A Conversation**. Hillsdale: Erlbaum, 1992. p. 57–75.

SPIRO, R. J.; JEHNG, J.-C. Cognitive flexibility and hypertext: Theory and technology for the nonlinear and multidimensional traversal of complex subject matter. **Cognition, education, and multimedia: Exploring ideas in high technology**. Hillsdale, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates, Inc, 1990. p. 163–205.

VASCONCELOS, F. C. G. C.; CARNEIRO-LEÃO, M. B. Utilização de recursos audiovisuais em uma estratégia FlexQuest sobre radioatividade. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 17, n. 1, p. 37–58, 2012.