



Problem-Based Learning como estratégia metodológica para o desenvolvimento da Flexibilidade Cognitiva no Ensino de Física

Problem-Based Learning as a methodological proposal for the development of Cognitive Flexibility in Physics Teaching

Bruno Prates da Silva¹, Muryel Pyetro Vidmar^{*1}, Dioni Paulo Pastorio²

¹Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Física, Porto Alegre, RS, Brasil.

Recebido em 23 de outubro de 2023. Revisado em 30 de dezembro de 2023. Aceito em 15 de março de 2024.

Neste artigo é apresentado um conjunto de Atividades Didáticas de Física para implementação no Ensino Superior, englobando os conteúdos referentes à Energia e Momento Linear. Para isso, as Atividades Didáticas foram elaboradas utilizando como fundamentação teórica a Teoria da Flexibilidade Cognitiva e, como base metodológica, a Problem-Based Learning, com uso de hipermídias como recursos educacionais. Objetiva-se que, através das atividades, os estudantes desenvolvam flexibilidade cognitiva voltada à Resolução de Problemas, possibilitando a reestruturação de seus conhecimentos mediante novos problemas. No decorrer do texto, são descritas as etapas envolvidas no planejamento das atividades e suas fundamentações teóricas e metodológicas; ainda, são analisados os avanços e desafios enfrentados na estruturação das mesmas. Por fim, são discutidas as potencialidades da Problem-Based Learning como metodologia para o desenvolvimento da flexibilidade cognitiva pautada pela Teoria da Flexibilidade Cognitiva.

Palavras-chave: Hipermídia, atividade didática de física, ensino superior, energia e momento linear, *scaffold*.

This article presents a set of Physics Didactic Activities for implementation in Higher Education, encompassing contents related to Energy and Linear Momentum. For this, the Didactic Activities were elaborated using the Cognitive Flexibility Theory as a theoretical foundation and, as a methodological basis, the Problem-Based Learning, using hypermedia as educational resources. The objective is that, through the activities, students develop Cognitive Flexibility focused on Problem Solving, enabling the restructuring of their knowledge through new problems. Throughout the text, the steps involved in the planning of activities and their theoretical and methodological foundations are described; furthermore, the advances and challenges faced in structuring them are analyzed. Finally, the potentialities of Problem-Based Learning as a methodology for the development of Cognitive Flexibility based on the Theory of Cognitive Flexibility are discussed.

Keywords: Hypermedia, didactic activity of physics, higher education, energy and linear momentum, scaffold.

1. Introdução

O atual modelo de formação universitária baseado em conhecimento técnico e teórico não supre nem se adapta às novas habilidades e competências exigidas pela sociedade. Tal discussão é provocada, dentre outros fatores

[...] pelo grande volume de conhecimento gerado atualmente e, paradoxalmente, por sua rápida obsolescência, o que torna muito daquilo que é ensinado durante um curso de formação universitária – especialmente conhecimentos de natureza tecnológica – inútil num período curto após a graduação, ou mesmo antes dela [1, p. 8].

Nessa conjuntura, questiona-se a eficácia metodológica tradicionalmente utilizada nas escolas e universidades, majoritariamente dominada pelo ensino tradicional, que, conforme Freire [2, p. 33] consiste em “[...] um ato de depositar, em que os educandos são os depositários e o educador o depositante”. Acerca dessa metodologia, existe um consenso que a mesma não é mais suficiente para promover a aprendizagem de conhecimentos conceituais, tampouco consegue encorajar o desenvolvimento de conhecimentos procedimentais e atitudinais, valorizados na vida profissional e social [1]. Além disso, os modelos instrucionais tradicionais falham em estimular as habilidades de aprendizagem autodirigidas dos estudantes, tornando-os relutantes ou mesmo resistentes a assumir um papel ativo nos processos de aprendizagem [3].

Para sobrepujar esses aspectos do ensino tradicional, bem como para se adequar às voláteis demandas sociais,

*Endereço de correspondência: muryel.vidmar@ufsm.br

entendemos que isso requer que os estudantes adquiram conhecimentos científicos e desenvolvam competências para enfrentar situações que vivenciam ou que venham a vivenciar, muitas delas novas e inéditas [4]. Em outras palavras, esperamos que os estudantes sejam capazes de reconstruir e recontextualizar seus conhecimentos mediante situações novas e/ou complexas.

Essas preocupações são abordadas pela Teoria da Flexibilidade Cognitiva (TFC), proposta por Rand Spiro e colaboradores na década de 1980 [5]. Ela objetiva o desenvolvimento da flexibilidade cognitiva (FC), tomando-a como fundamental para a construção, organização e reestruturação do conhecimento mediante a novas situações e contextos de utilização [6].

Por outro lado, entendemos que a aprendizagem ocorre através das tentativas de resolver os diversos problemas enfrentados diariamente [7]. Ao interpretar as novas situações e contextos de utilização como sendo o enfrentamento de problemas reais cotidianos, assumimos que o desenvolvimento da FC favorece a resolução de problemas, que por sua vez promove a aprendizagem. Assim, entendemos a prática de resolução de problemas (RP) como necessária para o desenvolvimento de aprendizagens, sejam elas conceituais, procedimentais e/ou atitudinais. Ainda, considerando que a FC é promovida com uma abordagem flexível de aprendizagem e instrução [8], julgamos apropriado, além de desafiador, trabalhar com a metodologia *Problem-Based Learning* (PBL¹).

A PBL consiste em uma metodologia ativa de ensino-aprendizagem com bases no construtivismo [9] e na psicologia cognitiva [1]. Nela, situações-problema são utilizadas para iniciar, motivar e direcionar as atitudes no contexto de sala de aula, visando o desenvolvimento de habilidades conceituais, procedimentais e atitudinais nos estudantes [1]. Ressaltamos ainda que, na PBL, o papel do professor e dos estudantes são ressignificados: o professor atua como tutor² dos estudantes, que participam de forma ativa na construção de seus próprios conhecimentos [10].

Neste contexto, temos como objetivo apresentar um conjunto de Atividades Didáticas (AD) de Física por meio da articulação entre a metodologia *Problem-Based Learning* e a Teoria da Flexibilidade Cognitiva, mediados pela utilização de hipermídias. Além disso, este trabalho discute e apresenta a construção de um *design* estrutural integrador entre a TFC e a PBL. Cabe ressaltar também, que o principal objetivo educacional dessa articulação teórico-metodológica é o desenvolvimento da flexibilidade cognitiva dos estudantes. Assim, nosso problema de pesquisa consiste em: Como estruturar Atividades Didáticas de Física que integrem a PBL à

TFC objetivando o desenvolvimento da FC em estudantes do Ensino Superior? Destaca-se que a investigação deste problema de pesquisa conduziu, dentre outros resultados, ao produto/material didático descrito no presente artigo.

Nesse sentido, organizamos o artigo inicialmente aprofundando nossos referenciais teóricos e metodológicos, bem como definindo a estruturação entre eles. Na sequência elucidamos as etapas desenvolvidas no planejamento das AD. Posteriormente, apresentamos as AD desenvolvidas e, por fim, destacamos algumas dificuldades enfrentadas na elaboração, bem como potencialidades de pesquisas futuras.

2. Referencial Teórico-Metodológico na Elaboração das AD de Física

2.1. Teoria da flexibilidade cognitiva

A TFC é uma teoria de ensino-aprendizagem desenvolvida para a aquisição de conhecimentos avançados em domínios mal estruturados³ [8]. Por mal estruturados, os autores referem-se aos domínios que envolvem a interação contextual de múltiplos conceitos, onde, mediante domínios minimamente diferentes, os padrões de interação entre os conceitos também são alterados [8, 11]. Em outras palavras, pode-se dizer que um domínio é mal estruturado quando suas múltiplas interações conceituais possuem sensibilidade às suas condições iniciais. Não obstante, a própria definição de domínio mal estruturado é mal estruturada, demonstrando que parte de seu significado é determinado pelo contexto em que é utilizado, tornando sua definição provisória [11].

Nesse sentido, a TFC caracteriza-se pela aplicabilidade a níveis avançados de aquisição de conhecimentos; ou seja, em domínios complexos [5, 12]. Nesse nível pós-introdutório de conhecimento, a partir da compreensão profunda do conteúdo, o estudante deve tornar-se capaz de aplicar flexivelmente seus conhecimentos em diferentes contextos [12]. Assim, “[...] a aquisição de conhecimento complexo pressupõe a apreensão de relações e princípios conceptuais relevantes subjacentes a um dado domínio [...]” [13, p. 2].

Os resultados de pesquisas sobre a aprendizagem avançada em domínios complexos levaram os autores da TFC a concluir que um aspecto comum das deficiências encontradas é a simplificação excessiva das estratégias de aprendizagem [14]. Tendo esta problemática central, Spiro e colaboradores desenvolvem a Teoria da Flexibilidade Cognitiva, onde propõe o desenvolvimento da flexibilidade cognitiva para a solução dessas problemáticas da aprendizagem em ambientes complexos.

O principal objetivo da TFC consiste na promoção da FC [12], visando proporcionar ao estudante a construção de esquemas flexíveis durante o processo de construção do conhecimento [4]. Por flexibilidade cognitiva,

³ Tradução do termo original em inglês *ill-structured domains*.

¹ Por conta da origem da metodologia, optamos por utilizar o termo em inglês.

² Por conveniência utilizaremos o termo “tutor” no singular, entretanto, em todos os casos, pode ser entendida como “tutores”, no plural.

entende-se a capacidade que o sujeito tem de, perante uma situação nova, reestruturar espontaneamente seu conhecimento para responder à demanda situacional [5, 6, 15]. Enquanto as demais teorias construtivistas propõem o desenvolvimento de uma estrutura de conhecimento baseada em conhecimentos prévios, a TFC diferencia-se ao propor adaptação flexível destes para satisfazer as necessidades de uma nova situação [13].

Nesse sentido, na perspectiva de Araújo e colaboradores [16, p. 4] “[...] um aluno bem sucedido é aquele que pode facilmente (re)escolher conhecimentos para responder a diferentes demandas situacionais”. Para isso, deve-se levar em conta que o potencial de construção adaptativa de conhecimentos – desenvolvimento da FC – depende primordialmente de uma representação completa da complexidade da situação [13].

Spiro e Jehng [6, p. 168] afirmam que “[...] a aprendizagem de conteúdos complexos em domínios mal estruturados requerem *múltiplas representações* – múltiplas explicações, múltiplas analogias, múltiplas dimensões de análise” (tradução nossa, grifo dos autores). Além disso, é através das sequências instrucionais não lineares e do reconhecimento da irregularidade e heterogeneidade, que é possível o desenvolvimento da FC [6].

Objetivando o desenvolvimento da FC, a TFC considera dois processos complementares: a desconstrução e as travessias temáticas [12]. Para isso, a TFC propõe uma estrutura particular de abordagem centrada em casos [17] como o foco de organização instrucional [6]. Os casos são acontecimentos ou recortes da realidade [6]; portanto, possuem complexidade e sua compreensão demanda de análises sob diferentes perspectivas [18]. Assim, o processo de ensino-aprendizagem, na estrutura da TFC, inicia-se por conhecer o caso na íntegra para, posteriormente, analisá-lo por suas partes constituintes, os mini-casos [6, 14].

Todavia, um caso, mesmo que individual, é muito complexo e difícil de trabalhar [6]. “Para tal é necessário que o tópico/matéria (o caso) seja dividido em mini-casos, e que estes pequenos segmentos sejam analisados tendo em conta determinados temas, conceitos e princípios pertinentes” [5, p. 31]. Dessa forma, o mini caso consiste na unidade fundamental de ensino [19], tornando-se o ponto de partida para a aprendizagem [17] e agilizando a obtenção de experiência, tornando a complexidade tratável para o estudante e facilitando a consecutiva reestruturação do conhecimento [12].

Para adquirir uma compreensão profunda dos mini casos, é necessário desconstruí-los em temas de análise conceitual, ou simplesmente temas [17], permitindo a análise distinta de cada um deles [15]. No âmbito da TFC, os temas de análise conceitual se referem a conceitos, princípios e leis, que variam conforme a área do conhecimento [20].

Após a identificação dos temas de análise conceitual envolvidos na etapa de desconstrução, deve-se redigir um comentário temático, explicando como cada tema se aplica ao mini caso [20]. Assim,

O conjunto dos *comentários temáticos*, redigidos para cada mini-caso, integra diferentes perspectivas que vão contribuir para que o aprendente possa compreender o mini-caso em profundidade e depois o *reconstrua*, adquirindo, deste modo, uma compreensão mais completa [15, p. 175, grifos da autora].

Dessa forma, a partir da análise de mini casos de distintos casos, o estudante vai percebendo como um mesmo tema de análise conceitual pode ser aplicado a diferentes mini casos [20]. Portanto, o processo de desconstrução supracitado é obtido através da desconstrução do caso em mini casos, que são analisados com os temas associados, através dos comentários temáticos [4].

A concepção de travessia temática, também chamada de cruzamento de paisagens, é a metáfora central da TFC [6]. Com a seleção de um ou mais temas de análise conceitual que se aplicam em uma série de mini casos distintos e seus respectivos comentários temáticos, os estudantes são guiados por uma travessia temática através dos casos e mini casos [15, 17].

Ressaltamos que é necessário que a paisagem seja atravessada em diversas direções de modo a evitar a compartimentalização e a atenuação da plenitude do domínio [8]. Assim, através das múltiplas travessias temáticas, o conhecimento que terá que ser usado de diversas maneiras é, também, ensinado de diversas maneiras [6]. Durante as travessias temáticas, os mini casos auxiliam na melhor compreensão do tema de análise conceitual selecionado, explicitando como um mesmo tema se aplica em casos e mini casos distintos [4, 15].

Em síntese, no âmbito da TFC, ensinar implica a seleção de materiais que possibilitem aos estudantes sua exploração ativa e multidimensional, enquanto a aprendizagem ocorre ao realizar travessias temáticas multidirecionais entre casos e mini casos [12]. Todavia, reconhecendo a complexidade teórica e estrutural da TFC, propomos uma analogia de como suas componentes estruturais interagem entre si. Para isso, utilizamos de uma tirinha, expressa abaixo pela Figura 1.

No primeiro quadro temos o análogo ao estudo de um mini caso, representado por um quadrado. No segundo quadro, temos um mini caso diferente, porém relacionado, representado por um triângulo. Ambos os mini casos compartilham os mesmos temas de análise conceitual – ângulos e segmentos de retas – mas diferem



Figura 1: Tirinha. Retirada do site: <https://tirasarmandinho.tumblr.com/>.

nas interações conceituais entre eles. Além disso, os dois primeiros quadros, através de seus mini casos, fornecem duas formas de organização do conhecimento.

A figura do terceiro quadro da tirinha representa uma pirâmide de base quadrada, o equivalente a um caso, por ser um objeto que representa um recorte da realidade. O terceiro quadro em si representa também uma travessia temática, onde a reflexão de Armandinho apresenta indícios do estabelecimento de relações entre dois mini casos distintos. Vale ressaltar que o estudo desses dois mini casos e a travessia temática realizada, assim como prevê a TFC, não esgotam, nem explicam totalmente o caso; ou seja, “há um limite para o quanto a compreensão de uma entidade complexa pode ser alcançada em um único tratamento, em um único contexto, para um único propósito” [8, p. 551, tradução nossa]. Outro mini caso possível seria, por exemplo, a abordagem da importância da perspectiva na observação das figuras, possibilitando a modificação da percepção inicial de que o triângulo e o retângulo observados sejam, de fato, figuras regulares.

Os comentários de Armandinho durante os dois primeiros quadros representam, até certo ponto, o conjunto dos comentários temáticos, os quais, redigidos para cada mini caso, integram as diferentes perspectivas que vão contribuir para a compreensão e reconstrução, adquirindo uma compreensão mais ampla do mini caso [15].

O comentário do quarto e último quadro ressalta a importância das múltiplas representações e da flexibilidade dos temas de análise conceitual na TFC. Destacando que, o conhecimento é construído nos exemplos [19], evitando a compartimentalização dos saberes [6].

Outra analogia pertinente, refere-se ao desenvolvimento da FC, onde, ao imaginarmos os mini casos como pequenas áreas discretas em uma soma de Riemann do Cálculo integral, a soma infinita desses pequenos mini casos representará a área total abaixo de um gráfico, o caso. Entretanto, para a compreensão completa do caso – aqui análogo à determinação exata da área total abaixo do gráfico – seria necessário o estudo de infinitos mini casos, o que é inviável, tanto no Cálculo, quanto no estudo de mini casos. A solução de ambos está no desenvolvimento da FC – aqui análogo ao operador integral -, que possibilita a compreensão do caso, pois fornece ao usuário a capacidade de reestruturação de seus conhecimentos para a compreensão de qualquer mini caso, tornando os temas – inicialmente discretos e compartimentalizados – contínuos e flexíveis, favorecendo a compreensão mais ampla do caso e possibilitando a solução para qualquer mini caso atrelado a ele.

Dentre os aspectos necessários para o desenvolvimento da FC, Vidmar e Sauerwein [4] sintetizam sete deles: i) concepção do conhecimento conceitual como conhecimento em utilização; ii) enfoque no caso como unidade de análise dos domínios de conhecimento; iii) análise de muitos casos diferentes; iv) desconstrução de casos e mini casos através de diferentes temas; v) estabelecimento de ligações entre mini casos de diferentes casos;

vi) construção flexível de conhecimento; vii) promoção de diversas ligações entre conceitos e casos.

Com essas considerações, optamos pela escolha da definição e caminho de promoção da FC definidos pela TFC. Isso porque a TFC “[...] aborda o conceito de FC com ênfase nos processos de ensino-aprendizagem; discute aspectos necessários para o desenvolvimento da FC; e apresenta estratégias para consubstanciar esses aspectos e, com isso, desenvolver a FC” [4, p. 3].

A TFC, com ênfase na repetição de apresentações do mesmo material rearranjado em sequências e perspectivas distintas, é mais eficiente com a utilização de sistemas com capacidade de acessos não lineares [6]. Isso porque, “a não linearidade constitui uma característica da natureza dinâmica do pensamento e da aprendizagem” [12, p. 142]. Para isso, propomos a utilização de hipermídias, cujo conceito está diretamente associado aos conceitos de hipertexto e multimídia [14].

Os autores da TFC propõem como ferramenta auxiliar a utilização de hipertexto, termo referente à sistemas computacionais que representam unidades de informações textuais cuja leitura não seja linear, sendo organizados em múltiplas dimensões [6, 14]. Nessa perspectiva, Dias [21, p. 149] afirma que “no plano da aprendizagem o hipertexto promove o desenvolvimento da representação multidimensional e flexível dos conteúdos, orientada pelas perspectivas construtivistas da aprendizagem, da cognição situada e da flexibilidade cognitiva”.

Já o conceito de hipermídia surge como uma evolução do conceito de hipertexto [5]. Ele intersecciona o conceito de hipertexto e multimídia, pois envolve sistemas computacionais onde as informações são ligadas de forma não linear (hipertexto) e utilizam de múltiplas representações da informação (multimídia) [14], como pode ser observado na Figura 2.

A multimídia é compreendida como um meio de processar a informação que associa diversas mídias, como textos, imagens, gráficos, animações, vídeos e sons [22, 23]. A partir da intersecção proposta, Rezende [22, p. 1], afirma que “a hipermídia acrescenta à multimídia um alto grau de interatividade e traz a possibilidade de reflexão por parte do estudante, de consideração ao seu estilo cognitivo e às suas concepções prévias”. Nesse sentido, a utilização de sistemas hipermídia de aprendizagem possibilita simular os múltiplos esquemas de organização e representação do conhecimento, possibilitando a interação não linear através das unidades

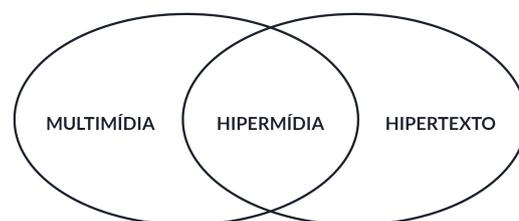


Figura 2: Conceito de hipermídia. Adaptado de [14].

de informações conceitualmente relacionadas (textos, imagens, áudios, vídeos e animações) [23].

2.2. Problem-based learning

A PBL não pode ser considerada uma metodologia nova, pois a aprendizagem através de problemas precede a civilização humana [1]. O primeiro autoproclamado currículo PBL possui sua origem em 1969, na universidade de *McMaster* [24]. Contudo, não há um consenso sobre os princípios ou a prática da PBL; ela surge como uma diversidade de ideias, pessoas e interesses, frouxamente unidos em um currículo misto [24]. Por sua procedência difusa, suas interpretações ocorrem sem uma clara fundamentação na linha de pensamento original do método [24]. Entretanto, existem semelhanças entre os trabalhos desenvolvidos. Em geral, a PBL consiste na resolução de um problema através de etapas sequenciais. Todavia, existem configurações distintas quanto à sua estrutura e número de passos, dependendo do autor que a propõe [25].

Em linhas gerais, podemos caracterizar a metodologia PBL como sendo aquela em que um problema é utilizado para iniciar, direcionar, motivar e focar a aprendizagem, em que os estudantes, em pequenos grupos e orientados pelos tutores, devem trabalhar para solucioná-lo [1]. Assim, a metodologia é iniciada quando [...] é apresentado ao aluno um cenário-problema, de onde eles, em pequenos grupos, formularão questões de investigação, procurando soluções para o problema apresentado através do cenário” [26, p. 53]. Isto é, a PBL pressupõe que, a partir do enfrentamento de um problema, preferencialmente real, ocorre a aprendizagem e o desenvolvimento de habilidades.

Hung, Jonassen e Liu [9] destacam as etapas comuns que envolvem o processo de aprendizagem PBL: (i) Os estudantes formam pequenos grupos, delimitam o problema, reconhecem o que eles já sabem, o que precisam aprender, quais atividades são necessárias e quem irá executá-las; (ii) Os estudantes realizam o estudo autodirigido, realizam as ações identificadas na etapa anterior, coletam recursos e preparam relatórios para seus respectivos grupos; (iii) Os estudantes compartilham os resultados de seus estudos autodirigidos, revisitando o problema e julgando possíveis soluções; (iv) Ao final, os estudantes resumem e integram seu aprendizado.

Nesse processo, cabe ao professor assumir a postura de um facilitador/orientador, chamado de tutor [1]. O tutor é responsável por fazer aos estudantes as perguntas que eles deveriam fazer a si mesmos, atuando como um guia metacognitivo [27, 28]. Além disso, cabe a ele assegurar que “[...] nenhuma fase do processo de aprendizado seja ignorada ou negligenciada e que cada fase seja realizada na sequência correta” [27, p. 6]. Nesse sentido, a atuação do tutor deve manter-se em um nível metacognitivo, salvo momentos como pronunciamentos ou atividades de orientação [27].

A implementação da metodologia PBL pode ser de quatro tipos: Original ou Pura, Híbrida, Parcial ou Pontual (*post-holing*) [1, 10]. O formato de implementação Original consiste em todo o currículo escolar ser estruturado através da PBL, como o curso da universidade de *McMaster* [1]. Nele, os problemas, elaborados por uma comissão de professores, aumentam gradualmente em complexidade e interdisciplinaridade [10]. O formato Híbrido, consiste em um núcleo curricular estruturado pela PBL que conta com algumas disciplinas isoladas que servem a ele [10]. Já no formato Parcial, a PBL estrutura disciplinas isoladas em um currículo tradicional [1], de modo que as demais disciplinas podem ser trabalhadas com outras metodologias, sem vínculo com os problemas PBL. Por fim, a PBL Pontual, consiste em uma implementação da metodologia em momentos específicos de uma disciplina pertencente a um currículo tradicional [1]. Dessa forma, os dois últimos formatos discutidos constituem-se como estratégias de ensino, uma vez que não demandam de alterações no currículo [10].

Cabe ressaltar que já existem indícios de relações entre a PBL e a TFC. Segundo Ribeiro [1], a própria PBL já utiliza do conceito de reestruturação dos conhecimentos aprendidos, para que se ajustem ao problema proposto. Hmelo e Ferrari [29] destacam a importância do desenvolvimento de uma base de conhecimentos flexível. Além disso, “como os problemas PBL geralmente envolvem vários conceitos, os alunos devem interconectá-los conceitualmente com base nos princípios, a fim de aplicar os conceitos para resolver um problema complexo” [3, p. 124, tradução nossa].

3. Etapas para o Planejamento das AD de Física

A construção das AD de Física se deu em etapas, iniciamos realizando a seleção temática, relativa aos conteúdos abordados pelo conjunto das AD. Posteriormente, definimos os casos, mini casos e temas de análise conceitual, com base em cada problema PBL. Na sequência elaboramos uma matriz temática, possibilitando identificar as travessias temáticas realizadas a partir das AD de Física. Ainda, identificamos os objetivos comuns ao conjunto das AD e as adaptações metodológicas. O detalhamento das etapas é descrito a seguir.

3.1. Seleção temática

O conjunto de AD de Física elaboradas aborda as relações entre os conceitos de Energia, Trabalho, Momento linear e Lei de Hooke, envolvendo os conteúdos de Física referentes à Mecânica Clássica. Essa delimitação temática decorre do plano de ensino pré-estabelecido da parte teórica da disciplina Física Geral e Experimental I⁴, uma

⁴ Demais informações podem ser encontradas no plano de ensino da disciplina, disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1NGDU5wraNvJ3ENkpECLqvQE3UsONfjAj/view?usp=sharing>.

disciplina inicial (primeiro semestre) e comum aos cursos de Ensino Superior em engenharia desta universidade.

Em especial, destacamos a escolha do conceito de Energia, o qual além de ser um conceito unificador, é supradisciplinar, indo na direção da estruturação do conhecimento dinâmico, contrário à compartimentalização dos saberes [30]. Portanto, possibilita a aproximação da Física com as demais ciências, uma vez que a

Energia (E) é um sutil ‘camaleão’ do conhecimento científico. Transforma-se espacial e temporalmente, na dinâmica mutável dos objetos, fenômenos e sistemas, conserva-se na totalização das distintas formas e degrada-se porque uma de suas formas – o calor – é menos elástica ou reversível do que as outras [30, p. 195].

Cabe destacar que a escolha das referidas temáticas se dá pelo fato de se tratarem de conceitos que possuem maior complexidade, abstração e flexibilidade na transição entre as demais áreas da Física e de outras Ciências, possibilitando aos estudantes proporem soluções abrangentes e ainda mais distintas.

3.2. Definição de casos, mini casos e temas de análise conceitual

Definida a seleção temática, com base na estrutura principal da TFC, devemos construir e sistematizar os casos, mini casos e temas de análise conceitual. O Quadro 1 apresenta os casos, mini casos e temas escolhidos.

Considerando o período de tempo disponível para a implementação das AD, bem como o período demandado para a execução de atividades PBL, optamos pela utilização de quatro casos, com três mini casos

para os dois primeiros casos e dois mini casos para os dois últimos. Em consonância com a TFC, os casos apresentados são detentores de complexidade [6], demandando a utilização de diversos conceitos para sua compreensão [31].

Os casos foram escolhidos por se tratarem das mais próximas relações entre a realidade dos estudantes e dos temas de análise conceitual previstos no plano de ensino. Outro fator relevante, foi a interconexão possível entre os casos, todos direcionados à preservação da vida. Nesse sentido, “como os problemas PBL geralmente envolvem vários conceitos, os alunos devem interconectá-los conceitualmente com base nos princípios, a fim de aplicar os conceitos para resolver um problema complexo” [3, p. 124, tradução nossa].

Ressaltamos que casos utilizados devem ser distintos o suficiente, prevenindo a formação de generalizações, mas que não apresentem tantas diferenças para que o conhecimento construído não seja compartimentalizado [6]. Assim, nas AD elaboradas, os casos se referem aos problemas PBL.

Na TFC, conforme Rezende e Cola [14, p. 97], “o assunto é dividido em mini-casos abordados a partir de diferentes perspectivas que devem ser complexas para os alunos compreenderem e aplicarem”. Assim, dividimos os quatro casos em dez mini casos, que possibilitam identificar os temas envolvidos e os aspectos importantes dentro de cada caso. “Desse modo, os mini casos estão articulados entre si pelos casos e conceitos” [4, p. 6].

Os mini casos são tratados na TFC como unidade fundamental do ensino e como iniciador de toda instrução [6]. Portanto, eles se mantêm como detentores de complexidade e do aspecto de realidade, de modo que os temas são abordados de forma contextualizada [4].

Quadro 1: Caso, mini casos e temas de análise conceitual das AD de Física.

Casos	Mini casos	Temas de análise conceitual
1. Energia na academia	1.1 O que faz com que uma pessoa emagreça?	Energia e trabalho.
	1.2 Quais os parâmetros do sujeito considerado e como eles influenciam na solução?	Massa, distância e tempo.
	1.3 Que outros problemas a solução encontrada pode gerar?	Energia e trabalho.
2. Energia para a vida	2.1 O que faz com que uma fonte de energia seja considerada renovável?	Energia e trabalho.
	2.2 Quais as características da usina e como eles influenciam na solução?	Energia, potência, tempo e trabalho.
	2.3 É possível gerar energia infinita?	Energia, potência, tempo e trabalho.
3. Segurança no trânsito	3.1 Como a velocidade dos carros ao colidir pode ser estimada e como ela influencia na colisão?	Velocidade, massa, energia, trabalho, momento linear e leis de Newton.
	3.2 Como o atrito entre o pneu e o solo pode ser estimado e como ele influencia na colisão?	Velocidade, força, distância, leis de Newton e lei de Hooke.
4. Segurança no trânsito 2	4.1 Como a velocidade dos carros ao colidir pode ser estimada e como ela influencia na colisão?	Massa, força, distância, leis de Newton, energia, trabalho e momento linear.
	4.2 O que ocorre com a energia envolvida na colisão?	Massa, energia e momento linear.

Fonte: elaborada pelos pesquisadores (2023).

Como já apresentado, os casos são desconstruídos através dos mini casos que, por sua vez, são analisados através dos temas de análise conceitual. Em nossas AD, elencamos onze temas de análise conceitual, que possibilitam compreender os quatro mini casos construídos. “Desse modo, os temas estão articulados entre si pelos casos e mini casos” [4, p. 6].

3.3. Construção da matriz temática

Para a sistematização dos casos, mini casos e temas de análise conceitual, conforme sugerida pelos autores da TFC e apresentada por Carvalho [15], construímos uma Matriz Temática, expressa pelo Quadro 2. Nela, a análise a partir dos temas, possibilita visualizar as afinidades temáticas entre os casos e mini casos.

A numeração dos casos e mini casos no Quadro 2 segue a ordem já apresentada no Quadro 1. Os temas de análise conceitual são os mesmos apresentados no Quadro 1, cuja organização ocorre da seguinte forma: **A.** Energia; **B.** Trabalho; **C.** Potência; **D.** Massa; **E.** Distância; **F.** Tempo; **G.** Velocidade; **H.** Momento Linear; **I.** Força; **J.** Leis de Newton; **K.** Lei de Hooke.

Com a análise da Matriz Temática, observa-se que cada tema possui maior aplicabilidade em alguns mini casos do que outros. Dessa forma, certos temas se aplicam a um número maior de mini casos do que outros [4, 14]. Além disso, percebe-se que alguns mini casos são analisados por uma maior quantidade de temas. Nesse sentido, Carvalho [15] reitera que a utilização de apenas um tema restringe a compreensão do mini caso.

Como exemplo de leitura horizontal, identificamos que a compreensão da inviabilidade de geração de energia infinita (mini caso 2.3) envolve os temas de análise conceitual: energia (tema A), trabalho (tema B), potência (tema C) e tempo (tema F).

Como exemplo de leitura vertical, identificamos que o tema trabalho (tema B) contribui para compreender: o que faz com que uma pessoa emagreça (mini caso 1.1); a identificação de possíveis problemas gerados pela solução para o emagrecimento (mini caso 1.3); o que faz

com que uma fonte de energia seja considerada renovável (mini caso 2.1); a caracterização de uma usina (mini caso 2.2); a geração de energia infinita (mini caso 2.3); e a velocidade dos carros antes de uma colisão (mini casos 3.1 e 4.1).

No âmbito da TFC, a matriz contribui para o processo de desconstrução e de travessia temática. Isso porque possibilita a desconstrução dos casos em mini casos e temas de análise conceitual e, ao mesmo tempo, permite identificar como os diferentes temas se aplicam a diferentes mini casos de diferentes casos. Além disso, a partir dessa estrutura, a matriz favorece as múltiplas formas de organização do conhecimento, característica essencial para o desenvolvimento da FC [14].

Salientamos que, como a proposta envolve problemas mal estruturados, é natural que os estudantes busquem informações e temas de outras áreas do conhecimento. São considerados mal estruturados (*ill-structured*), os problemas que possuem variados ou desconhecidos objetivos, formas de resolução e critérios de solução [9]. Assim, os temas de análise conceitual apresentados compreendem apenas a área da Física, mas não impedem a utilização de temas de outras áreas do conhecimento).

3.4. Definição dos objetivos comuns às AD

As quatro AD desenvolvidas possuem cinco objetivos gerais comuns, a partir dos quais são estruturadas. Esses objetivos de aprendizagem englobam os objetivos da TFC e os objetivos da PBL. São eles: (i) construir flexivelmente os conceitos físicos; (ii) compreender e relacionar adequadamente os conceitos físicos; (iii) aplicar adequadamente os conceitos físicos na resolução de problemas e/ou situações-problema; (iv) desenvolver habilidades de resolução de problemas; e (v) desenvolver habilidades de aprendizagem autodirigida.

Os dois primeiros objetivos correspondem aos aspectos necessários para o desenvolvimento da FC. O terceiro diz respeito à capacidade do estudante em recontextualizar seus conhecimentos perante novas situações. O quarto consiste na promoção de habilidades conceituais, procedimentais e atitudinais envolvidas no processo de resolução de problemas. Por fim, com a utilização da PBL, espera-se também uma melhora nas capacidades de auto aprendizagem dos estudantes.

Cabe destacar que as AD de Física planejadas estão em consonância com a abordagem proposta pela TFC e pela PBL. Isso porque objetivamos que os estudantes compreendam, através dos domínios complexos e mal estruturados da realidade, os conceitos da Física envolvidos, tornando-se capazes de utilizá-los em novas situações.

Além dos objetivos gerais destacados, cada AD possui seus próprios objetivos específicos, vinculados aos objetivos gerais, mas que consideram as especificidades de cada problema, considerando o(s) caso(s), mini caso(s) e temas de análise conceitual envolvidos em cada AD.

Quadro 2: Matriz Temática para as AD de Física.

Caso	Mini caso	Temas de análise conceitual										
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	1.1	X	X									
	1.2				X	X	X					
	1.3	X	X									
2	2.1	X	X									
	2.2	X	X	X			X					
	2.3	X	X	X			X					
3	3.1	X	X		X			X	X		X	
	3.2					X		X		X	X	X
4	4.1	X	X		X				X	X	X	
	4.2	X			X	X			X			

Fonte: elaborada pelos pesquisadores (2023).

3.5. Estruturação das AD de Física

As AD desenvolvidas possuem uma estrutura geral comum, que está de acordo com os elementos necessários para consubstanciar a FC, conforme a TFC; ou seja, estão estruturados na forma de casos, mini casos, temas de análise conceitual, comentários temáticos e travessias temáticas [4, 6].

Todavia, mesmo que nossas atividades estejam pautadas na TFC, optamos por estruturar as AD através da PBL. Optamos pela construção própria, considerando as supracitadas etapas comuns às práticas PBL. Assim, o conjunto das AD possui a seguinte estrutura geral:

Estabelecimento do problema. A primeira etapa, que inicia o processo de ensino-aprendizagem, consiste na apresentação, por parte do tutor, de um problema PBL, que deve ser resolvido pelos estudantes. Isso encontra-se em consonância com a TFC, onde, ao invés de iniciar a instrução com processos simples, inicia-se através de tratamentos complexos, situando-os em mini casos cognitivamente manejáveis [6]. Nessa etapa, a apresentação ocorre com a utilização de múltiplas mídias, que estão articuladas ao(s) mini caso(s) e ao caso a serem abordados, por vezes incluindo reportagens ou algum outro tipo de alerta aos problemas da sociedade, vinculadas com o(s) mini caso(s) e o caso. Ainda, cabe ao tutor auxiliar os estudantes na interpretação e delimitação do problema.

Em nossa proposta, apresentamos quatro casos compostos de dez mini casos, que apresentam-se na forma de problemas, um para cada AD. Assim, construímos dois problemas, para a AD1 e AD2 e, utilizamos de dois problemas PBL adaptados para a AD3 e AD4. A opção pela utilização de problemas já elaborados ocorreu mediante a complexidade da construção de um problema PBL. As adaptações configuram-se como modificações, objetivando uma maior aproximação com a realidade dos estudantes-alvo.

Elaboração de planos e estratégias de solução. Nessa etapa, munidos do problema, os estudantes devem dividir-se em pequenos grupos, identificar os temas de análise conceitual envolvidos, criar estratégias para a resolução do problema, identificando quais os conhecimentos já adquiridos e quais precisam ser aprofundados. “Isso significa, no âmbito da TFC, explicitar como cada tema de análise conceitual se aplica na compreensão do mini caso, caracterizando o comentário temático” [4, p. 8]. Nela, os estudantes também já devem ser capazes de fazer estimativas e construir hipóteses iniciais.

Cabe ao tutor o acompanhamento dos grupos, identificando as lacunas conceituais dos estudantes, e como mediador, tanto na divisão de grupos, quanto na possível divisão de tarefas. Ainda, em nosso planejamento, a primeira e segunda etapas compõem duas horas-aula de um mesmo dia.

Implementação das estratégias. Como a denominação sugere, é a etapa onde os estudantes devem

implementar as estratégias definidas na etapa anterior. Entendemos esta como a etapa fundamental na promoção de habilidades de aprendizagem autodirigida, proporcionadas pela PBL. Nesse sentido, espera-se que ela seja desenvolvida em período extraclasse, onde os estudantes devem buscar informações e recursos para a solução do problema, suprindo as lacunas conceituais identificadas anteriormente. Esperamos que os estudantes realizem suas buscas em diferentes mídias – tais como livros, imagens, vídeos, simulações computacionais e demais sites – para auxiliar no processo de compreensão dos temas de análise conceitual requeridos. Assim como na etapa anterior, aqui, através do comentário temático, ocorre o processo de reconstrução, possibilitando ao estudante relacionar entre si os temas envolvidos no mesmo mini caso favorecendo a construção flexível do conhecimento e a compreensão do mini caso [4].

Ao tutor, nessa etapa, cabe a disponibilização e comprometimento de auxílio e orientação em horários extraclasse. No entanto, ressaltamos que, na PBL, o papel do tutor não é responder questões diretas dos estudantes, tampouco ordenar ou sugerir ações ou recursos. Seu papel se aproxima mais de um facilitador e questionador; portanto, não deve fornecer informações prontas sobre a solução do problema.

Discussão dos grupos. De volta à sala de aula, em seus respectivos grupos, os estudantes devem discutir e preparar uma proposta de solução para o problema. Para isso, os grupos devem considerar as contribuições obtidas a partir da terceira etapa. Em termos do desenvolvimento da FC, essa etapa fornece uma oportunidade para que os estudantes compartilhem, com seus respectivos grupos, suas próprias representações da informação desenvolvidas ao construírem seu conhecimento [14]. Como nas demais etapas, o tutor deve atuar alternando entre os grupos, questionando suas ações e hipóteses.

Apresentação da solução. Na segunda metade da segunda aula, os grupos devem apresentar para a turma, de forma sucinta, sua solução para o problema. Com base nisso, o tutor realiza uma avaliação parcial da solução apresentada, fazendo perguntas, apontamentos e promovendo discussões com a turma, visando extrapolar e identificar novos possíveis problemas decorrentes da solução apresentada, contribuindo para a formulação de uma solução mais completa.

Além disso, após a apresentação e considerando os tópicos discutidos nela, os estudantes devem entregar, de forma documental, a solução proposta pelo grupo. Com base nessa solução documental, o tutor poderá analisar e avaliar posteriormente a solução de cada grupo. Salientamos que a entrega da solução pode ocorrer após o período destinado para a realização da referente AD; por exemplo, entregando a solução da AD1 no início da AD2, fornecendo aos estudantes mais algum tempo extraclasse para o ajuste de suas soluções.

Quadro 3: Aspectos para a promoção da FC por componente estrutural.

Aspectos para a promoção da FC [4]	Estrutura das AD de Física				
	Estabelecimento do problema	Elaboração de planos e estratégias de solução	Implementação das estratégias	Discussão dos grupos	Apresentação da solução
Concepção do conhecimento conceitual como conhecimento em utilização	X	X	X	X	X
Enfoque no caso como unidade de análise dos domínios de conhecimento	X		X	X	X
Análise de muitos casos diferentes					
Desconstrução de casos e mini casos através de diferentes temas		X	X		
Estabelecimento de ligações entre mini casos de diferentes casos		X	X		
Construção flexível de conhecimento			X	X	X
Promoção de diversas ligações entre conceitos e casos				X	X

Fonte: elaborado pelos pesquisadores (2023).

A apresentação e discussões de distintas formas de solução de um mesmo problema, assemelha-se às múltiplas perspectivas de um caso através de múltiplos mini casos e múltiplas representações. Esse momento, de apresentações múltiplas, proporciona aos estudantes a recontextualização, não do conhecimento especificamente, mas de estratégias, caminhos e recursos utilizados pelos diversos grupos em suas resoluções.

Apresentamos, com o Quadro 3, os aspectos para a promoção da FC [4], presentes em cada etapa da estrutura geral das AD de Física. Salientamos que o aspecto iii) Análise de muitos casos diferentes, não é contemplado na estrutura, contudo é contemplado através do conjunto das AD, que compõem quatro casos.

Por fim, salientamos que todos os recursos utilizados para a introdução de conceitos de Física e para a apresentação dos problemas devem ser disponibilizados aos estudantes virtualmente e, quando possível, em formato físico.

3.6. Adaptações e particularidades metodológicas na construção das AD

A metodologia PBL demanda, intrinsecamente, a utilização de problemas como motivadores e iniciadores do processo da aprendizagem [1, 28]. Nesse sentido, entendemos que,

As primeiras situações devem integrar o contexto do aluno. Novas situações devem ser

introduzidas em níveis crescentes de complexidade. É um erro começar a ensinar sem usar situações que tenham sentido para os alunos, uma falha bastante comum no ensino de Física [32, p. 77].

No âmbito da PBL, a aprendizagem é iniciada por problema autêntico e mal estruturado [9], cuja definição vai ao encontro das características de um problema aberto, pois: (i) envolve situações reais; (ii) não apresenta todas as informações necessárias para sua solução; (iii) viabiliza distintos caminhos de solução; (iv) apresenta incertezas nos conceitos e regras para solução, e sua organização [33]. Além disso, no âmbito da TFC, um problema aberto, como definido acima, pode ser interpretado como um domínio mal estruturado [11].

A metodologia PBL foi inicialmente desenvolvida como estruturadora de currículos médicos. Portanto, ao realizarmos sua transposição visando uma implementação pontual e na área de Física, são necessárias algumas adaptações, as quais serão destacadas na sequência.

A PBL busca tornar os estudantes sujeitos autônomos no âmbito de sua aprendizagem. Entretanto, ao menos inicialmente, os estudantes requerem algum tipo de suporte externo, em relação ao grupo, podendo ocorrer através da ação do tutor ou com o uso de algum material de apoio fornecido [34]. Há, porém, o suporte interno, onde os próprios integrantes dos grupos fornecem uns aos outros o amparo necessário. Assim, quanto maior for suporte interno, menor é a necessidade de suportes externos [34]. Nessa perspectiva de apoio, encontram-se

as ferramentas *scaffold*. Entende-se por *scaffolding* a assistência oferecida aos estudantes na realização de tarefas que eles não conseguiriam sozinhos [35, 36]. Nesse sentido, o *scaffolding* proporciona suporte aos estudantes por meio de pistas, informações básicas e orientação [37].

As ferramentas *scaffold* podem ser classificadas em dois grupos, os *soft scaffolds* e os *hard scaffolds*. *Soft scaffolds* referem-se aos apoios dinâmicos, situacionais e dependentes da interação humana e do contexto, sendo criados no momento de sua implementação; consideram-se *soft scaffolds*: o facilitador, os grupos colaborativos de estudantes e as questões para definir o escopo do problema. Já como *hard scaffolds* constituem-se as ferramentas fixas e pré-definidas, como a utilização de fichas de trabalho (*worksheets*) e o uso da tecnologia, como os recursos multimídia [35].

Além de garantir que os estudantes recebam o apoio necessário durante todo o processo da resolução do problema, Choo [35] identifica três motivos para a utilização de ferramentas *scaffold* na resolução de problemas PBL. São eles: (i) o reconhecimento da necessidade de um período de ajuste cognitivo e social; (ii) a diversidade de capacidade dos acadêmicos; e (iii) a garantia de apoio aos estudantes durante todo o processo.

Ao propormos a implementação de uma metodologia que altera, significativamente, os papéis dos envolvidos, reconhecemos a necessidade da utilização de recursos que possam apoiar os estudantes. Nesse sentido, utilizamos de questões que norteiam a resolução dos problemas, numa perspectiva de *hard scaffolds*, chamadas Questões de Assistência à Aprendizagem (QAA). As questões propostas não são diretivas, no sentido de indicar uma ação a ser tomada ou um procedimento a ser seguido. Pelo contrário, as QAA se assemelham ao papel do tutor, de modo que perguntas propostas são as que os estudantes deveriam fazer a si mesmos para resolver o problema; ou seja, procuram manter-se em uma posição de guia metacognitivo. Por conta disso, o enunciado das QAA deve evitar ao máximo a utilização de termos científicos, salvo, talvez, os termos científicos já presentes na própria apresentação do problema. Dessa forma, as QAA atuam como uma ferramenta *scaffold* do tipo *worksheet*, na medida em que propõem problemas menores, internos aos problemas PBL, e que servem como ferramentas de orientação dos estudantes na realização de tarefas complexas [35]. Assim, as QAA funcionam como pontes conceituais para mitigar possíveis obstáculos de aprendizagem, auxiliando os estudantes a realizarem ligações conceituais gradualmente [35].

Ressaltamos que as QAA somente foram utilizadas nas duas primeiras AD. Essa opção é justificada pelos primeiros problemas serem, definitivamente, problemas mais abertos que os dois últimos. Por conta disso, os mini casos relativos aos casos (problemas) 3 e 4 não correspondem às QAA, mas tratam-se de uma inferência dos problemas menores que os estudantes terão de resolver para resolver o problema PBL, o caso. Assim, os mini casos dos casos 3 e 4 não são apresentados aos

estudantes; portanto, a restrição de não utilização de termos científicos não se aplica.

Nos dois primeiros problemas PBL, propomos a utilização de mini casos na forma de perguntas – as QAA – como possíveis sub-problemas enfrentados pelos estudantes em suas resoluções. Tal opção fundamenta-se em nossa concepção de que a utilização de questões, no âmbito da resolução de problemas, é mais estimulante do que o fornecimento de informações prontas, uma vez que o pensamento não é estimulado por respostas, mas por perguntas [38]. Nesse sentido, as questões devem direcionar os pensamentos dos estudantes, sendo capazes de definir tarefas, expressar e delimitar os problemas [38].

Entendemos que após a resolução dos primeiros problemas não será mais necessária a utilização das QAA, pois os estudantes estarão mais habituados com a metodologia [35]. Ou seja, espera-se que, com o avanço das AD, os estudantes desenvolvam suas habilidades de auto aprendizagem. Dessa forma, com o avanço dos estudantes na metodologia, até mesmo o próprio tutor deve se tornar desnecessário [27].

Além da utilização das QAA como estruturadoras dos mini casos, elas também podem ser utilizadas para estimular a formulação dos comentários temáticos, possibilitando levar os estudantes a pensarem mais profundamente sobre os conceitos relacionados aos objetivos das atividades [35]. Nesse sentido, as QAA contribuem para o desenvolvimento da FC, na medida em que “a flexibilidade cognitiva depende de ter um repertório diversificado de formas de pensar sobre um tópico conceitual” [8, p. 548, tradução nossa].

Tanto na AD1 quanto na AD2, questionamos aos estudantes, através das QAA, os conceitos (temas) envolvidos na resolução do problema. Isso proporciona, além do estabelecimento de ligações entre os temas com os mini casos e caso, a orientação para a etapa de elaboração de planos e estratégias de solução, fazendo com que os estudantes identifiquem os temas relevantes e guiem, por si mesmos, as implementações dessas estratégias.

Spiro e Jehng [6] reconhecem o potencial das metodologias *problem-based*; entretanto, tecem uma crítica quanto à pequena quantidade de casos estudados. Nesse sentido, a PBL é muito útil para o ensino de processos de análises de casos, mas não para fornecer a análise multidimensional derivada dos casos [6]. Assim, propomos as QAA como solução para essa questão. Elas, ao atuarem como mini casos, possibilitam a estruturação da PBL nas configurações da TFC para o desenvolvimento da FC. Portanto, consubstanciam o *design* estrutural integrador entre a PBL e a TFC.

4. AD de Física Planejadas

As atividades planejadas compreendem um período de implementação próximo de um mês; isto é, espera-se que cada AD seja desenvolvida em uma semana, em dois encontros semanais de duas horas-aula cada.

Ademais, identificamos que a aplicação PBL que estamos desenvolvendo caracteriza-se como Pontual [1, 10], pois foi elaborada para ser implementada em um momento específico de uma disciplina, a parte teórica da disciplina Física Geral e Experimental I. A seguir apresentamos resumidamente cada uma das AD desenvolvidas⁵.

4.1. AD0

Cientes das alterações na dinâmica da sala de aula tradicional, propostas pela PBL, entendemos que sua implementação pode encontrar diversos obstáculos. Dentre eles, destacamos a resistência dos estudantes mediante a alteração metodológica proposta, onde, muito provavelmente, nenhum deles já tenha experienciado alguma atividade didática envolvendo a PBL.

Nesse sentido, entendemos como necessária uma aula inicial, onde é apresentada a metodologia PBL, explicando sua estrutura, suas etapas, os papéis dos envolvidos e como os estudantes serão avaliados.

4.2. AD1 – Energia na academia

A AD1 aborda as transformações de Energia envolvendo a mecânica do corpo humano. O problema proposto por ela pode ser resumido em: *Suponha que um indivíduo sedentário pretende emagrecer o máximo possível até o verão e, para potencializar seus resultados, resolve matricular-se na academia mais próxima de sua casa. Entretanto, por ser um sujeito muito ocupado, dispõe de apenas 40 minutos diários disponíveis para realizar todo o processo. Você é designado para auxiliar esse sujeito a atingir seu objetivo e deve elaborar seu treino, justificando-o. Para isso, considere que o indivíduo não altere sua alimentação.*

Na PBL, “[...] os estudantes, responsáveis por sua própria aprendizagem, engajados na aprendizagem autodirigida e estimulados pelo problema, podem buscar áreas de estudo muito além dos melhores sonhos do criador do curso” [28, p. 9, tradução nossa]. Portanto, por se tratar de um problema mal estruturado [9], é difícil prever todos os temas de análise conceitual envolvidos; entretanto, no âmbito da Física, espera-se que estejam presentes a Energia Mecânica (Cinética e Potencial Gravitacional), sua conservação, suas transformações e seus processos de transferência, como o Trabalho. Além disso, espera-se, pela natureza e autonomia proporcionada pela PBL, que os estudantes busquem subsídios para a solução do problema em outras áreas, como a Medicina, Fisioterapia, Nutrição, Educação Física, etc.

Embora o problema admita distintas soluções, portanto diferentes formas de obtê-las, dentre os objetivos

educacionais específicos possíveis com a AD, destacamos: (i) Associar adequadamente os conceitos de Trabalho e Energia; (ii) Identificar e distinguir os tipos de Energia; (iii) Aplicar adequadamente os conceitos físicos abordados para compreender a conservação de Energia e suas transformações; (iv) Vincular a Energia transferida com o Deslocamento; (v) Identificar e distinguir forças conservativas e forças não conservativas.

Como supracitado, propomos um momento inicial de introdução aos conteúdos de Física envolvidos. Nele, é realizada uma apresentação sucinta de conceitos, expressões matemáticas, imagens e simulações computacionais. Para a apresentação do problema, utiliza-se da apresentação de um vídeo e da entrega de um texto sobre um relatório da Organização Mundial da Saúde (OMS) contendo algumas imagens de pessoas realizando atividades físicas.

4.3. AD2 – Energia para a vida

A AD2 dá sequência ao estudo de Energia, dessa vez abordando as transformações de Energia voltadas para a produção de Energia Elétrica através de fontes renováveis. O problema proposto, pode ser resumido como: *Suponha que deve-se construir uma usina de energia elétrica renovável que seja suficiente para suprir as necessidades energéticas do país. O seu grupo deve determinar as dimensões e características necessárias para a construção, bem como os possíveis problemas enfrentados.*

Dentre os objetivos educacionais específicos, destacamos: (i) Identificar e distinguir os tipos de Energia; (ii) Aplicar adequadamente os conceitos físicos abordados para compreender a conservação de Energia e suas transformações; (iii) Mensurar e comparar escalas de grandezas Físicas; (iv) Identificar impactos sócio-ambientais gerados pela construção de usinas; (v) Argumentar criticamente sobre a geração de energia.

Para a representação e contextualização do problema, a AD2 utiliza de um vídeo que discute e extrapola a importância da eletricidade, de dados da Agência Nacional de Energia Elétrica, e de uma notícia com comentários sobre a criação de uma suposta fonte de energia infinita.

Reconhecemos que o problema proposto trata-se de uma extrapolação, descaracterizando-o como problema real. Entretanto, pode ter seus parâmetros e recursos facilmente adaptados para aproximar-se da realidade, por exemplo, tratando da demanda energética local ou regional.

A opção pela adoção de um problema surreal é justificada pelos seguintes fatores: (i) A comparação com os problemas reais na aceitação pelos estudantes; e (ii) O estímulo para o desenvolvimento de habilidades de pensamento crítico e pensamento crítico científico. Essa última justificativa abre espaço para a discussão da notícia que trata sobre a geração de energia infinita e fundamenta-se em nossa revisão da literatura, onde

⁵ Os planejamentos detalhados, bem como o material do estudante das quatro AD desenvolvidas, podem ser acessados em: https://drive.google.com/drive/folders/1k98M8MJ0jgAIEr_1CRYg0ynxkyvNSXbY?usp=sharing.

constatamos que a PBL tem sido utilizada com esses objetivos [39–43].

4.4. AD3 – Segurança no trânsito

A AD3 utiliza de um problema, originalmente intitulado *Collision Investigation (1-D)*, adaptado de um *site*⁶ que disponibiliza problemas PBL. Em suma, o problema trata de uma colisão em ângulo reto entre dois veículos, onde um deles está inicialmente em repouso. O problema é apresentado numa perspectiva de investigação criminal de uma cena; ou seja, os dados são obtidos *a posteriori*, o que requer uma investigação retrospectiva por parte dos estudantes.

A adaptação realizada diz respeito à adequação da situação para a realidade local, alterando menções à leis, rodovias e entidades legais. Além disso, alteramos a questão referente aos coeficientes de atrito entre o pneu e o asfalto, inserindo uma mola com os dados de suas medidas de alongação conforme a força aplicada, fazendo com que os estudantes necessariamente determinem a constante elástica da mola, para então determinar os coeficientes de atrito.

Como objetivos específicos da AD3, destacamos: (i) Aplicar adequadamente os conceitos físicos abordados para compreender a conservação de Energia e suas transformações; (ii) Relacionar o momento linear com colisões; (iii) Argumentar e discutir criticamente os resultados encontrados; (iv) Reconhecer a existência de erros de medida, as hipóteses e simplificações utilizadas, e avaliar seus impactos na solução do problema; (v) Relacionar a alongação da mola com sua constante elástica para a determinação dos coeficientes de atrito.

Para a apresentação do problema, durante a primeira etapa, propomos a apresentação de um vídeo sobre a evolução dos equipamentos de segurança nos automóveis. Além disso, a AD2 também apresenta uma notícia sobre a Década de Ação pela Segurança no Trânsito, uma iniciativa da OMS. Antes da implementação da AD3 sugere-se novamente, como na AD1, um momento inicial de introdução aos conteúdos de Física envolvidos.

4.5. AD4 – Segurança no trânsito 2

A AD4, da mesma forma que a AD3, utiliza de um problema adaptado do mesmo site. Nesse caso, o problema adaptado foi o *Collision Investigation (2-D)* que, de forma muito semelhante ao problema da AD3, apresenta uma situação de um acidente de trânsito. A diferença entre esses problemas está no tipo de colisão considerada (inelástica e elástica) e que, no caso da AD4, a colisão ocorre em duas dimensões, onde os dois carros têm uma certa velocidade inicial e distintos ângulos de movimento.

As adaptações do problema também são semelhantes ao da AD3, entretanto, suprimimos a necessidade de

determinação dos coeficientes de atrito envolvidos. Essas semelhanças entre os problemas tornam sua resolução possivelmente a mais facilitada dentre todos os desenvolvidos nas AD. Optamos por essa configuração devido ao posicionamento temporal da AD4 no plano de ensino, sendo ela realizada no final do semestre letivo. Nesse período os estudantes, de modo geral, possuem menor disponibilidade para realização das tarefas. Portanto, entendemos que uma atividade que possua uma menor demanda de aprendizado autodirigido seja melhor aceita pelos estudantes. Além disso, ao repetir a apresentação de um mini caso complexo em novos contextos, surgem aspectos adicionais de sua multifacetação, possibilitando as representações necessárias em um domínio complexo e mal estruturado [8].

Dentre os objetivos específicos da AD4, realçamos: (i) Aplicar adequadamente os conceitos físicos abordados para compreender a conservação de Energia e suas transformações; (ii) Identificar os tipos de colisões possíveis; (iii) Relacionar o momento linear com colisões; (iv) Argumentar e discutir criticamente os resultados encontrados; (v) Reconhecer hipóteses e simplificações utilizadas e avaliar seus impactos na solução obtida.

5. Considerações Finais

A Buscamos, neste trabalho, apresentar um conjunto de AD de Física através da utilização da metodologia PBL pautadas pela TFC e mediadas por hiperfídia, bem como discutir as potencialidades das mesmas para consubstanciar a promoção da FC.

Em termos dos objetivos formativos, o conjunto das AD elaboradas possuem objetivos gerais comuns e em consonância com os objetivos da TFC e da PBL. Nesse sentido, apresentamos uma proposta de articulação entre a PBL e a TFC. Utilizando de uma estrutura geral da PBL elaborada pelos pesquisadores – estabelecimento do problema, elaboração de planos e estratégias de solução, implementação das estratégias, discussão dos grupos e apresentação da solução – comum a todas as AD, procuraram manter a conformidade com a estrutura proposta pela TFC para o desenvolvimento da FC: caso, mini caso, tema de análise conceitual, comentário temático e travessia temática.

No tocante ao planejamento das AD, destacamos a dificuldade enfrentada em estruturá-las com base nesses pressupostos da TFC. Dentre as principais dificuldades, citamos: a complexidade na elaboração de problemas PBL (mini casos) mal estruturados, de modo que possibilitem a motivação dos estudantes; a escolha dos temas de análise conceitual que, embora pré-determinados no plano de ensino, dificultavam sua seleção vide a necessidade de implementação em problemas reais; a definição, abordagem e estruturação dos casos; e, sobretudo, o desafio de articular a PBL com a TFC, levando à conflitos e obstáculos estruturais entre elas.

⁶ Disponível em: <http://pbl.ccdmd.qc.ca/>.

A sistematização dos casos, mini casos e temas de análise conceitual envolvidos, na estrutura da TFC, foi obtida através da construção da Matriz Temática. Ela possibilitou, para o planejamento das AD: (i) o processo de desconstrução dos casos através dos mini casos e temas de análise conceitual; (ii) a visualização das possibilidades de comentários temáticos e de travessias temáticas; e (iii) a elaboração das múltiplas formas de organização do conhecimento, através da ligação entre os componentes estruturais da TFC [4].

Entendemos que a utilização de diversas hiper mídias como recursos didáticos na apresentação dos problemas PBL contribui significativamente para concretizar as múltiplas representações do conhecimento, previstas pela TFC. Isso porque apenas a apresentação verbal dos problemas PBL não fornece as informações adequadas para preparar os estudantes para o reconhecimento de informações não verbais relevantes [35]. Além disso, durante a etapa de estudo autodirigido (implementação das estratégias), os estudantes muito provavelmente utilizarão de distintos recursos (diversas mídias) para pesquisa, contribuindo para a exploração não linear dos temas envolvidos.

Naturalmente, a implementação de um conjunto de AD, como as descritas, enfrentará obstáculos. Dentre eles, está a significativa mudança de papéis no processo de ensino-aprendizagem, tanto do professor, quanto do estudante [3]. Nesse sentido, o sucesso da implementação da referida AD é dependente do grau de autodirecionamento dos estudantes para a realização das atividades PBL [3]. Como a estruturação das AD foi elaborada com base no plano de ensino da disciplina, entende-se que o tempo de implementação não deve ser um problema relevante. Contudo, como a proposta situa-se ao final do semestre letivo, pode-se enfrentar dificuldades no gerenciamento de tempo, por parte dos estudantes, no desenvolvimento da etapa de “implementação das estratégias”, realizada em períodos extra-classe.

Assim sendo, entendemos que as propostas de AD de Física apresentadas e discutidas neste trabalho, a partir de sua estrutura e fundamentação teórico-metodológica, bem como com os recursos didáticos utilizados, apresentam potencialidades para consubstanciar os aspectos necessários para o desenvolvimento da FC nos estudantes.

Enfatizamos ainda a pertinência e inovação de nosso trabalho ao propor um *design* estrutural integrador PBL-TFC consubstanciado através da elaboração das QAA. Esse *design* proporciona que os objetivos educacionais intrínsecos, tanto da TFC quanto da PBL, sejam, na medida do possível, mantidos e relacionados entre si. Assim, seus objetivos são entrecruzados; compreende-se a FC como uma habilidade crucial para a resolução de problemas e essa, por sua vez, proporciona, através do *design* proposto, o desenvolvimento da FC.

Nesse sentido, reconhecemos que o presente trabalho não propõe uma articulação teórico-metodológica entre a

TFC e a PBL, mas apresenta indícios e fornece subsídios para tal. Portanto, esperamos que o *design* elaborado, bem como as AD construídas, forneçam subsídios para o desenvolvimento de pesquisas futuras, tanto na implementação da AD, quanto numa possível articulação teórico-metodológica TFC-PBL.

Agradecimentos

Agradecemos especialmente à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo fomento a essa pesquisa.

Referências

- [1] L.R.C. Ribeiro, *Aprendizagem baseada em problemas (PBL): uma experiência no ensino superior* (EdUFS-Car, São Carlos, 2008).
- [2] P. Freire, *Pedagogia do Oprimido* (Paz e Terra, Rio de Janeiro, 1987).
- [3] W. Hung, *Educational Research Review* **4**, 118 (2009).
- [4] M.P. Vidmar e I.P.S. Sauerwein, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **42**, e20200031 (2020).
- [5] L.F. Pedro e A. Moreira, *Os Hipertextos de Flexibilidade Cognitiva e a planificação de conteúdos didáticos: um estudo com (futuros) professores de Línguas*, disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/228803364_Os_Hipertextos_de_Flexibilidade_Cogn\[...\]os_didacticos_um_estudo_com_futuros_professores_d_e_Linguas](https://www.researchgate.net/publication/228803364_Os_Hipertextos_de_Flexibilidade_Cogn[...]os_didacticos_um_estudo_com_futuros_professores_d_e_Linguas).
- [6] R.J. Spiro e J.C. Jehng, em: *Cognition, Education, and Multimedia: Exploring Ideas in High Technology*, editado por D. Nix e R.J. Spiro (Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, 1990).
- [7] H.S. Barrows e R.M. Tamblyn, *Problem-Based Learning: An Approach to Medical Education* (Springer Publishing Company, New York, 1980).
- [8] R.J. Spiro, R.L. Coulson, P.J. Feltovich e D.K. Anderson, em: *Proceedings of the 10th Annual Conference of the Cognitive Science Society* (Hillsdale, 1988).
- [9] W. Hung, D.H. Jonassen e R. Liu, em: *Handbook of Research on Educational Communications and Technology*, editado por J.M. Spector, M.D. Merrill, J. Merriënboer e M.P. Driscoll (Routledge, Abingdon, 2008).
- [10] B.A. Barros, *Aprendizagem Baseada em Problemas: um roteiro para o ensino de Termodinâmica na educação básica*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos (2019).
- [11] R.J. Spiro, P.J. Feltovich, R.L. Coulson, M.J. Jacobson, S.R. Durgunoglu, S. Ravlin e J.C. Jehng, *Knowledge Acquisition for Application: Cognitive Flexibility and Transfer of Training in Ill-Structured Domains* (United States Army, Alexandria, 1992).
- [12] A.A.A. Carvalho, em: *Tecnologias na Educação: uma abordagem crítica para uma atuação prática*, editado por M.B.C. Leão (Editora Universitária da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011).

- [13] L.F. Pedro e A. Moreira, em: *Anais do 6º Congresso Iberoamericano, 4.º Simpósio Internacional de Informática Educativa, 7º Taller Internacional de Software Educativo*, editado por M. Nistal, M. Iglesias e L. Rifón (RIBIE, Vigo, 2002).
- [14] F. Rezende e C.S.D. Cola, *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências* **6**, 1 (2004).
- [15] A.A.A. Carvalho, *Revista Portuguesa de Educação* **13**, 169 (2000).
- [16] F.P. Araújo, M.B.C. Leão, S.F.T.O. Mendonça e A.S. Gomes, em: *Anais do Simpósio Hipertexto e Tecnologias na Educação* (Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008).
- [17] A.A.A. Carvalho, C.S. Pinto e P.J.M. Monteiro, em: *4º Simpósio Internacional De Informática Educativa* (Vigo, 2002).
- [18] F.C.G.C. Vasconcelos e M.B.C. Leão, *Investigações em Ensino de Ciências* **17**, 37 (2012).
- [19] R.J. Spiro, B.P. Collins e A.R. Ramchandran, em: *Video research in the Learning Sciences*, editado por R. Goldman, R. Pea, B. Barron e S.J. Derry (Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, 2007).
- [20] A.A.A. Carvalho, C.S. Pinto, A.A. Baptista e P.J.M. Monteiro, em: *1ª Conferencia Ibero-Americana en Sistemas, Cibernética e Informática* (Orlando, 2002).
- [21] P. Dias, *Revista Portuguesa de Educação* **13**, 141 (2000).
- [22] F. Rezende, em: *Anais do IV Congresso RIBIE* (Brasília, 1998).
- [23] F. Rezende, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **18**, 197 (2001).
- [24] V.F.C. Servant, *Revolutions and Re-iterations: An Intellectual History of Problem-based Learning*. Tese de Doutorado, Erasmus Universiteit Rotterdam, Rotterdam (2016).
- [25] A.T. Felipe, A.L. Ortega e C. Mora, *Latin American Journal of Physics Education* **6**, 280 (2012).
- [26] V.I.R. Vasconcelos e M.V. Amado, *Sala de aula em foco* **11**, 52 (2022).
- [27] H.S. Barrows, *The tutorial process* (Southern Illinois University School of Medicine, Springfield, 1988).
- [28] H.S. Barrows, *New directions for teaching and learning* **68**, 3 (1996).
- [29] C.E. Hmelo e M. Ferrari, *Journal for the Education of the Gifted* **20**, 401 (1997).
- [30] J.P. Angotti, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **15**, 191 (1993).
- [31] R.J. Spiro, P.J. Feltovich, M.J. Jacobson e R.L. Coulson, *Educational Technology* **31**, 24 (1991).
- [32] M.A. Moreira, *Estudos Avançados* **32**, 73 (2018).
- [33] V. Oliveira, *Resolução de problemas abertos para Aprendizagem de Física no Ensino Médio na perspectiva da modelagem didático-científica*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (2018).
- [34] M.H. Davis e R.M. Harden, *Medical Teacher* **21**, 130 (1999).
- [35] S.S.Y. Choo, em: *One-Day, One-Problem*, editado por G. O'Grady, E. Yew, K. Goh e H. Schmidt (Springer, Singapore, 2012).
- [36] N. Phumeechanya e P. Wannapiroon, *Procedia – Social and Behavioral Sciences* **116**, 4803 (2014).
- [37] S.A. Seibert, *Teaching and Learning in Nursing* **18**, 185 (2023).
- [38] L. Elder e R. Paul, *The Clearing House* **71**, 297 (1998).
- [39] Mundilarto e H. Ismoyo, *Journal of Baltic Science Education* **16**, 761 (2017).
- [40] B. Jatmiko, B.K. Prahani, Munasir, Z.A.I. Supardi, I. Wicaksono, N. Erlina, P. Pandiangan, R. Althaf e Zainuddin, *Journal of Baltic Science Education* **17**, 300 (2018).
- [41] N.M. Siew e R. Mapeala, *Journal of Baltic Science Education* **15**, 602 (2016).
- [42] C. Vasconcelos, M.F. Amador, R.B. Soares e T.F. Pinto, *Investigações em Ensino de Ciências* **17**, 709 (2012).
- [43] A. Çoban e M. Erol, *Latin-American Journal of Physics Education* **14**, 4303 (2020).