

Decomposição de forças no plano inclinado: interpretando dificuldades como obstáculos

Inclined plane forces decomposition: interpreting difficulties as obstacles

Fábio Ramos da Silva^{1*}, Silvio José de Freitas Santos¹, Roberto Gonçalves Barbosa²

¹ Instituto Federal do Paraná, campus de Foz do Iguaçu, av. Araucária, 780 - CEP 85860000 - Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

² Universidade Federal do Paraná, setor litoral, rua Jaguariaíva, 512, - CEP 83260000 - Matinhos, PR, Brasil.

*E-mail: fabio.silva@ifpr.edu.br

Recibido el 30 de septiembre de 2022 | Aceptado el 24 de octubre de 2022

Resumo

Este trabalho apresenta uma análise das dificuldades de aprendizagem de estudantes com relação a decomposição de forças no plano inclinado, baseando-se em pesquisas que investigaram a aprendizagem dos estudantes sobre tal assunto. O objetivo reside em evidenciar essas dificuldades e compreendê-las à luz da ideia de obstáculo de Gaston Bachelard. A metodologia da pesquisa é qualitativa, com procedimentos de pesquisa bibliográfica. Os resultados mostram que as principais dificuldades estão relacionadas com a compreensão da representação de forças em superfícies horizontais e inclinadas e o apego exagerado às equações geralmente utilizadas na resolução de problemas, dificuldades que podem ser interpretadas como obstáculos substancialistas e de generalização. Destaca-se que os resultados contribuem para revelar dimensões que dificultam ou impedem a aprendizagem dos conhecimentos da física durante o seu ensino, sendo necessário um olhar atento dos docentes na discussão das forças no plano inclinado de modo a não reforçar esses possíveis obstáculos, buscando a superação dos mesmos.

Palavras-chave: Plano inclinado; Forças; Obstáculos epistemológicos; Ensino de Física.

Abstract

The study presents an analysis of learning difficulties related to the decomposition of forces on the inclined plane, based on research that investigated student learning on this subject. The goal is to highlight these difficulties and seek to understand them through Bachelard's idea of obstacles. The research methodology is qualitative, with bibliographic research procedures. The results show that the main difficulties are related to the understanding of the representation of forces on horizontal and inclined surfaces and the exaggerated attachment to equations commonly used in problem solving, difficulties that can be interpreted as generalization obstacles and substantialist obstacles. It is highlighted that the results contribute to reveal dimensions that hinder the learning of physics during its teaching, being necessary a careful look of the teachers in the discussion of the forces in the inclined plane so as not to reinforce these possible obstacles, seeking the overcoming them.

Keywords: Inclined plane; Forces; Epistemological obstacles, Physics Teaching.

I. INTRODUÇÃO

O conceito de obstáculo epistemológico foi proposto pelo filósofo francês Gaston Bachelard (1996) como um recurso para compreender o desenvolvimento epistemológico da Ciência, destacando os entraves nos processos de ruptura necessários para a superação de conhecimentos estabelecidos. Além de contribuir para a fundamentação de uma epistemologia original, a ideia de obstáculo epistemológico estendeu-se para a análise de fenômenos de outras áreas, como a educação (Astolfi, 1994, González, Galli e Meinardi, 2010) e psicologia (Grégoire, 2017, Triska, 2020), por exemplo. No caso da educação, vale ressaltar que o próprio autor previu a fecundidade da sua proposição para compreender os obstáculos inerentes ao processo de aprendizagem, assim como as dificuldades advindas da complexa relação professor-aluno, aos quais denominou obstáculos pedagógicos.

Na área de investigação em ensino de ciências, muitas pesquisas têm se apoiado na ideia de obstáculo epistemológico para compreender os seus objetos de estudo. Ayala Filho (2010) examinaram os possíveis obstáculos epistemológicos relacionados com o conceito de referencial, discutindo como eles dificultam ou impedem uma compreensão mais coerente da relatividade restrita. Correia, Lima e Magalhães (2008) tecem várias críticas à maneira como o conceito de calor é representado nos livros didáticos, reforçando a errônea compreensão da natureza do calor como uma substância; a argumentação dos autores se pauta na utilização de algumas palavras que podem reforçar este obstáculo epistemológico. Gomes e Oliveira (2007) investigaram obstáculos epistemológicos de estudantes do Ensino Fundamental e do Ensino Médio sobre o átomo; os autores encontraram compreensões animistas sobre o átomo e concepções relacionadas com modelos há muito tempo superados, como o de Dalton e Thomson. Pessanha e Pietrocola (2013) identificam alguns obstáculos epistemológicos em situações de ensino e aprendizagem de Física Moderna e Contemporânea; os obstáculos emergiram na interação dos estudantes com os materiais de ensino e ao fazer recurso aos seus conhecimentos internalizados.

Neste sentido, este trabalho busca trazer uma contribuição para a compreensão de certas dificuldades presentes na aprendizagem da decomposição de forças no plano inclinado por meio do estabelecimento de relações entre tais dificuldades e o conceito de obstáculo epistemológico. Para isso, recorreu-se às dificuldades de aprendizagem apontadas em trabalhos da literatura (Kim e Pak, 2002, Singh, 2007, Deventer e Wittmann, 2007, Poluakan e Runtuwene, 2018; Sirait, Handani e Mursyid, 2018), interpretando-as por meio da ideia de obstáculo (Astolfi, 1994; González *et al.*, 2010), inspirada pela teorização de Bachelard (1996). Os resultados apontam que as dificuldades destacadas na literatura podem estar associadas com obstáculos substancialistas e de generalização, dificultando a ruptura com conhecimentos adquiridos em outros contextos, como a decomposição de forças em superfícies horizontais.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Bachelard (1996) desenvolveu o conceito de obstáculo epistemológico como um meio para compreender o desenvolvimento histórico e epistemológico das ciências naturais. Com isso, o autor elaborou uma epistemologia original, destacando as transformações ocorridas na relação entre os sujeitos e os objetos de estudo durante o desenvolvimento do conhecimento científico, sobretudo, os obstáculos e dificuldades que impedem o avanço do conhecimento sobre os fenômenos. Bachelard esclarece que esses entraves são intrínsecos ao processo de conhecer, não se tratam de obstáculos externos, quer dizer,

[...] é no âmago do próprio ato de conhecer que aparecem, por uma espécie de imperativo funcional, lentidões e conflitos. É aí que mostraremos causas de estagnação e até de regressão, detectaremos causas de inércia às quais daremos o nome de obstáculos epistemológicos. (Bachelard, 1996, p. 17)

Nesse sentido, Bachelard (1996) realizou um inventário dos principais obstáculos epistemológicos presentes na evolução do conhecimento científico. O obstáculo da experiência primeira é de natureza empírica e está associado com o encanto suscitado pelas primeiras observações de um fenômeno, o obstáculo da generalização está relacionado com busca apressada em se compreender um fenômeno de maneira geral, o obstáculo verbal consiste na argumentação baseada em expressões e palavras que qualificam a si mesmas, o obstáculo do conhecimento unitário e pragmático está relacionado com as tentativas vãs de organização do conhecimento científico com relação à um padrão exterior ou para suprir necessidades humanas, o obstáculo substancialista consiste na atribuição de qualidades sensíveis a entes abstratos e o obstáculo animista diz respeito à atribuição de características animadas à dinâmica dos conhecimentos produzidos.

A ideia de obstáculo epistemológico superou o campo da epistemologia das ciências, influenciando estudos de outras áreas como a Educação. Bachelard (1996) previu a fecundidade desta ideia na análise da relação professor-aluno e no processo de aprendizagem dos estudantes. Com relação à última faceta, o autor ressalta que apesar do ensino de ciências se basear em conhecimentos racionalizados mediante um contraste com os saberes empíricos, o

processo de aprendizagem dos mesmos carrega consigo ideias primitivas e simplistas que satisfazem os sujeitos no estado de conhecimento em que se encontram.

Quando o conhecimento empírico se racionaliza, nunca se pode garantir que valores sensíveis primitivos não interfiram nos argumentos. De modo visível, pode-se reconhecer que a ideia científica muito usual fica carregada de um concreto psicológico pesado demais, que ela reúne inúmeras analogias, imagens, metáforas e perde aos poucos seu vetor de abstração, sua afiada ponta abstrata. (Bachelard, 1996, p. 19)

Dessa maneira, diversos investigadores têm explorado ou adaptado a ideia de obstáculo epistemológico focando na reflexão sobre a aprendizagem de ciências. Astolfi (1994) compreende que os obstáculos estão subjacentes à maioria das representações errôneas e conceitos espontâneos dos estudantes, sugerindo que os objetivos escolares deveriam contemplar a superação dos obstáculos como uma das metas do ensino. González *et al.* (2010) caracterizam os obstáculos na aprendizagem por meio de três características: transversalidade, funcionalidade e conflituosidade. Esses estudos concordam sobre o duplo papel que os obstáculos desempenham nos processos de aprendizagem, por um lado, são conquistas intelectuais dos sujeitos ou recursos lógicos que os auxiliam na compreensão do mundo e na realização de tarefas escolares, por outro, são entraves que dificultam o processo de educação científica, ou seja, a apropriação coerente dos conhecimentos científicos por parte dos sujeitos.

III. METODOLOGIA

Este trabalho tem como objetivo analisar as dificuldades de aprendizagem ou de compreensão relacionadas com a decomposição de forças no plano inclinado, baseando-se em alguns artigos publicados, por meio do conceito de obstáculo epistemológico do filósofo francês Gaston Bachelard (1996). A metodologia da pesquisa é qualitativa, com procedimentos de pesquisa bibliográfica (Gil, 2002). O desenho da pesquisa incluiu uma busca de artigos no portal Google Acadêmico utilizando as seguintes palavras-chave: plano inclinado, forças e aprendizagem. A busca contemplou também as traduções das palavras-chave para as línguas inglesa e espanhola. Os artigos retornados pela busca passaram por uma leitura preliminar buscando averiguar se tais artigos discutiam dificuldades de aprendizagem relacionadas com a decomposição de forças no plano inclinado. Após esse processo apenas cinco artigos contemplaram este requisito (Kim e Pak, 2002, Singh, 2007, Deventer e Wittmann, 2007, Poluakan e Runtuwene, 2018; Sirait *et al.*, 2018). Assim, os mesmos foram lidos integralmente com o propósito de identificar as dificuldades mais frequentes apontadas pelos autores. Em seguida, tais dificuldades foram analisadas e equiparadas com os diferentes tipos de obstáculos epistemológicos definidos por Bachelard (1996).

IV. RESULTADOS

Por meio da consulta do banco de dados, selecionou-se cinco trabalhos (Kim e Pak, 2002, Singh, 2007, Deventer e Wittmann, 2007, Poluakan e Runtuwene, 2018, Sirait *et al.*, 2018) que foram lidos na íntegra, e a partir dos quais buscou-se identificar os erros ou dificuldades apontadas como mais frequentes pelos autores, para, em seguida, serem analisados por meio da ideia de obstáculo (Bachelard, 1996, Astolfi, 1994, González, *et al.*, 2010).

Singh (2007) avaliou o desempenho de alunos que cursaram a disciplina de Introdução à Física em resolver problemas explorando as forças no plano inclinado. Para tal, inicialmente foi proposta uma questão que analisava a situação das forças presentes em um carro que estava em repouso em um plano inclinado. A questão trazia uma figura representando a situação e uma outra figura com os possíveis diagramas de corpo livre. A figura 1 apresenta a situação do problema.

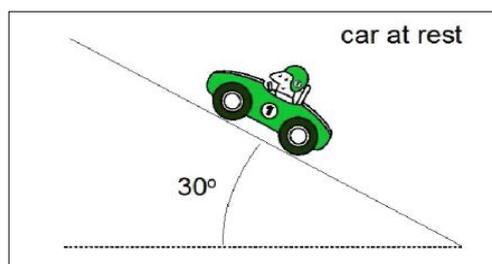


FIGURA 1. Situação apresentada aos alunos pelo problema. Os alunos deveriam associar as forças da situação com um diagrama de corpo livre sugerido na mesma questão. Tradução da figura: carro em repouso. Fonte: Singh, 2007, p. 197.

Em geral, os estudantes não apresentaram dificuldades para responder a questão, apresentando 70% das respostas corretas, porém cerca de 25% dos estudantes escolheram a mesma opção errada. A opção incorreta consistia em um diagrama de forças em que a força de atrito apontava para baixo ao longo do plano inclinado. Ao realizar a interpretação desse resultado por meio da fundamentação de Bachelard (1996), pode-se inferir que a tendência de resposta pode estar associada com uma espécie de obstáculo substancialista. Em muitas situações de ensino de física se aprende que a força de atrito é contrária à direção do movimento, e os estudantes aplicam corretamente essa ideia em diversos problemas de Física. Essa compreensão pode acabar atribuindo à força de atrito a qualidade de oposição ao movimento, tomando a frente do carro da figura como referência.

Poluakan e Runtuwene (2018) investigaram as dificuldades de professores de Física em formação na utilização de vetores para representar as forças de diversos sistemas por meio de diagramas de corpos livres, a fim de determinar o efeito dos conhecimentos prévios na representação de forças. O estudo envolveu dois grupos de estudantes, um havia cursado as disciplinas de Física Introdutória e Mecânica e o outro grupo havia cursado apenas Física Introdutória.

Dentre as várias situações físicas presentes na pesquisa, os autores apresentaram duas questões que envolviam a representação das forças que atuavam em um bloco que se movia em um plano inclinado sem atrito e com atrito. Os principais erros levantados pelos autores se referem a: *sentido da força peso* - a força peso não apontava para baixo, com aproximadamente 40% das respostas de ambos os grupos; *componentes da força peso* - ausência da representação das componentes (91% do grupo menos experiente e 60% do grupo mais experiente); *sentido da força normal* - força normal não é representada como um vetor perpendicular à superfície do plano, com cerca de 25% das respostas dos dois grupos.

Uma pesquisa semelhante foi realizada por Sirait *et al.*, (2018). Os autores analisaram o desempenho de professores de Física em formação na análise de diagramas de corpo livres relacionados com situações físicas corriqueiras. Para isso, aplicou-se um instrumento de pesquisa que contemplou situações de repouso e movimento em superfícies horizontais e em planos inclinados. Os estudantes deveriam analisar as situações e indicar o diagrama de corpo livre que julgassem correto. A figura 2 traz uma das questões apresentadas aos estudantes.

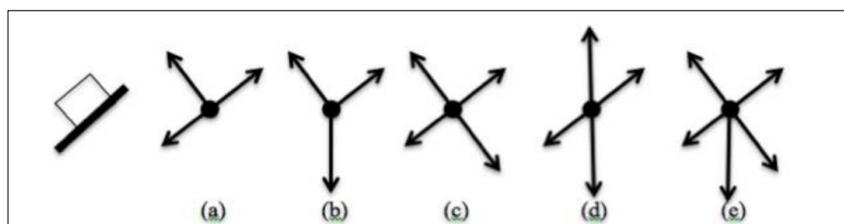


FIGURA 2. Diagramas do corpo livre para um corpo que repousa em um plano inclinado. Os estudantes deveriam anotar o diagrama de forças que julgassem correto. Fonte: Sirait *et al.*, 2018, p. 4.

Os resultados mostraram que apenas 30% dos estudantes assinalaram o diagrama correto, incluindo as componentes da força peso (opção e). Cerca de 40% indicou um diagrama adequado, porém sem a representação das componentes (opção b). O diagrama inadequado com a maioria das respostas foi o diagrama representado pela opção 'c', com quase 20% das respostas; as forças peso e normal são antiparalelas nesse diagrama. O mesmo instrumento de pesquisa trazia uma questão em que um bloco repousava sobre uma superfície horizontal. Neste caso, 83% dos estudantes escolheram a opção com o diagrama correto. Os autores destacam que o desempenho dos estudantes decresce conforme se analisam situações em que os blocos se deslocam com velocidade constante ou com aceleração constante.

As dificuldades na representação do sentido correto para as forças peso e normal no plano inclinado conforme os resultados de Sirait, Hamdani e Mursyid (2018) e Poluakan e Runtuwene (2018) podem estar associadas com a experiência dos estudantes com a representação destes vetores em situações que envolviam superfícies horizontais. Nas superfícies horizontais, as forças peso e normal são antiparalelas, possuem o mesmo sentido e direções contrárias. Nas superfícies inclinadas, estas forças deixam de ser antiparalelas e o sentido da força normal sofre uma rotação igual à inclinação da superfície. Assim, o conhecimento dos estudantes sobre a representação de forças nas superfícies horizontais pode ter influenciado o desempenho dos mesmos. Nesse sentido, pode-se inferir que estas dificuldades se referem ao que Bachelard chamou de obstáculo substancialista, no qual se atribui qualidades sensíveis a entidades abstratas, ou seja, assume-se que as forças normal e a peso são opostas. Seria um obstáculo com uma natureza semelhante ao obstáculo da força de atrito, discutido anteriormente.

Kim e Pak (2002) investigaram algumas dificuldades conceituais de Física que estudantes coreanos possuem mesmo após terem experimentado exaustivos treinamentos pré-universitários. Dentre as várias situações físicas presentes no instrumento de pesquisa dos autores, uma situação solicitava a representação de forças de um bloco que subia um plano inclinado mediante a aplicação de uma força aplicada (figura 3).

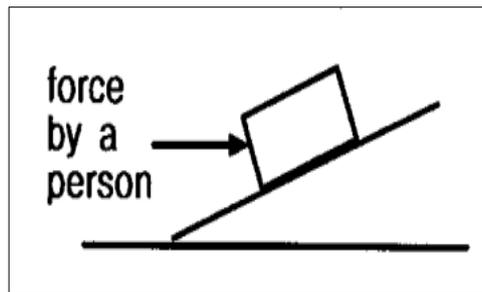


FIGURA 3. Situação do plano inclinado. Os estudantes deveriam desenhar a decomposição de forças e responder posteriormente algumas questões qualitativas. Tradução da figura: força aplicada por uma pessoa. Fonte: Kim e Pak, 2002, p. 763.

Além de solicitar a representação das forças, a questão perguntava se alguma força sofreria alteração na sua magnitude caso a força aplicada deixasse de existir. Os resultados mostraram que cerca de 44% dos estudantes realizaram diagramas de corpo livres corretos, incluindo a decomposição da força externa, porém menos de 10% deles conseguiram perceber a variação na intensidade da força normal na situação em que a força aplicada deixa de atuar. Os autores destacam que alguns investigados demonstraram resistência à ideia de variação da força normal quando indagados de forma direta pelos pesquisadores, argumentando que havia uma equação para o cálculo da intensidade da força normal no plano inclinado ($N = m \cdot g \cdot \cos \Theta$), e que a massa do bloco e o ângulo de inclinação não haviam variado. Os autores comentam este resultado:

Um objeto sobre um plano inclinado é um problema comum e os estudantes estão familiarizados com a equação $N = m \cdot g \cdot \cos \Theta$. As respostas dos estudantes sugerem que eles podem provavelmente resolver problemas tradicionais envolvendo planos inclinados com sucesso. Entretanto, uma pequena mudança no problema revelou que eles podem não entender a origem da força normal. (Kim e Pak, 2002, p. 763)

Este apego exagerado à equação que geralmente é utilizada para se calcular a intensidade da força normal em situações comumente presentes nos livros-texto pode representar uma espécie de obstáculo de generalização, no qual, o conhecimento adquirido parece dificultar a percepção de variações qualitativas no fenômeno analisado. A equação para o cálculo da intensidade da força normal é estendida em demasia para situações em que a mesma deixa de ser válida.

Por sua vez, Singh (2007) investigou o desempenho dos estudantes para mensurar a intensidade da força de atrito em situações que envolviam planos inclinados. Especificamente, o estudo investigou o desempenho dos estudantes para calcular a magnitude da força de atrito na situação demonstrada pela figura 1. Apenas 14% dos estudantes responderam ao problema de maneira correta. Os erros mais comuns foram oriundos de cálculos fornecidos pela equação para o cálculo do atrito estático (40%) e cinético (30%). Ora, o conhecimento e as experiências anteriores dos estudantes dificultaram a compreensão de que o módulo da força de atrito deveria ser igual ao módulo da projeção da força peso paralela à superfície em uma situação de equilíbrio de forças. Assim, o conhecimento das equações e as situações exitosas de sua aplicação no passado podem ter constituído uma espécie de obstáculo de generalização, estendendo em demasiado a conveniência das mesmas, impedindo a procura por novas estratégias de resolução. Singh (2007) insiste na investigação deste resultado apresentando, anteriormente a um grupo de alunos, uma questão análoga com a intenção de que o raciocínio dos estudantes em tal questão os influenciasse na análise da questão do atrito estático. A nova questão envolvia um carro que repousava sobre um plano inclinado sem atrito graças a força aplicada por um cabo, conforme a figura 4. Assim, solicitava-se o cálculo da intensidade da força de tensão do cabo.

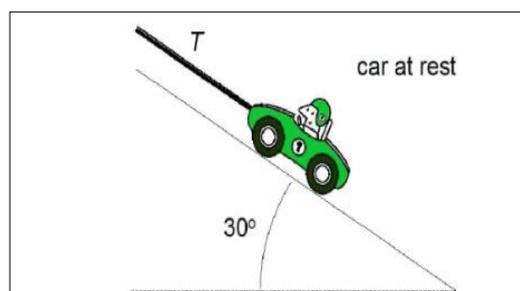


FIGURA 4. Situação apresentada pela questão. Os alunos deveriam associar as forças da situação com um diagrama de corpo livre sugerido na mesma questão. Tradução da figura: carro em repouso. Fonte: Singh, 2007, p. 197.

Embora 61% dos estudantes tenham sido capazes de calcular a força de tensão, apenas 17% deles calcularam corretamente a intensidade da força de atrito estática da questão posterior, ou seja, a situação da figura 1. Nas palavras do autor, os estudantes não conseguiram transferir as suas habilidades de resolução de problemas de um contexto para outro. A persistência de uma maneira de pensar que bloqueia novas formas de perceber as variações de um fenômeno pode ser o indicativo da presença de possíveis obstáculos (Astolfi, 1994, Bachelard, 1996, González *et al.*, 2010); como o inferido no caso da pesquisa de Kim e Pak (2002), parece se tratar de um obstáculo de generalização.

Deventer e Wittmann (2007) investigaram o desempenho de estudantes que cursaram a disciplina de Física Introdutória na resolução de problemas que envolviam operações com vetores. Para isso, os investigadores elaboraram um instrumento de pesquisa que incluía questões com contexto matemático e questões com um contexto de física. Uma das questões dizia respeito à decomposição de forças no plano inclinado. A figura 5 traz a questão.

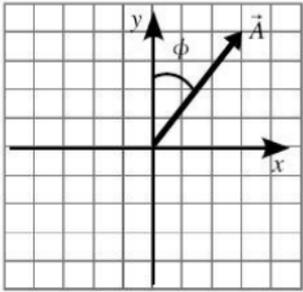
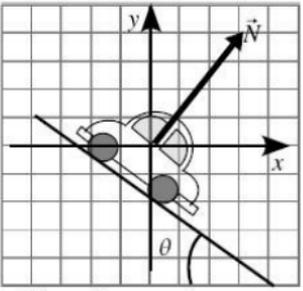
Math Version	
<p>8. Which of the following <u>algebraic expressions</u>, if any, gives the accurate <u>magnitude</u> of the <u>x-component</u> of vector \vec{A} above, (i. e., \vec{A}_x)?</p> <p>(a) $\vec{A}_x = \vec{A} \tan \phi$ (b) $\vec{A}_x = \vec{A} \cos \phi$ (c) $\vec{A}_x = \frac{\sin \phi}{ \vec{A} }$ (d) $\vec{A}_x = \vec{A} \sin \phi$ (e) $\vec{A}_x = \vec{A} - \vec{A}_y$ (f) $\vec{A}_x = \frac{\cos \phi}{ \vec{A} }$ (g) None of the above</p>	 <p style="text-align: center; font-size: small;">Figure from previous page</p>
Physics Version	
<p>8. Which of the following <u>algebraic expressions</u>, if any, gives the accurate <u>magnitude</u> of the <u>x-component</u> \vec{N}_x ?</p> <p>(a) $\vec{N}_x = \vec{N} \sin \theta$ (b) $\vec{N}_x = \frac{\sin \theta}{ \vec{N} }$ (c) $\vec{N}_x = \frac{\cos \theta}{ \vec{N} }$ (d) $\vec{N}_x = \vec{N} - \vec{N}_y$ (e) $\vec{N}_x = \vec{N} \cos \theta$ (f) $\vec{N}_x = \vec{N} \tan \theta$ (g) None of the above</p>	 <p style="text-align: center; font-size: small;">Figure from previous page</p>

FIGURA 5. Questões que envolviam decomposição de forças no plano inclinado. Fonte: Deventer e Wittmann, 2007, p. 210. Tradução da figura: Questão 8 (versão matemática) - Quais das seguintes expressões algébricas, se houver, indica a correta magnitude da componente x do do vetor A? Questão 8 (versão física) - Quais das seguintes expressões algébricas, se houver, indica a correta magnitude da componente x do vetor N?

Os autores destacam que o desempenho dos estudantes foi muito melhor na questão com o contexto matemático em comparação com a questão que envolvia o contexto físico; 54% dos estudantes tiveram êxito na questão matemática e 29% responderam de maneira correta a questão com um contexto físico.

No caso da questão que envolvia o contexto físico, chama a atenção que a opção 'e' ($|\vec{N}_x| = |\vec{N}| \cos \theta$) foi a única alternativa escolhida pelos estudantes que não acertaram a questão. Esse resultado demonstra uma dificuldade em compreender entre quais vetores está o ângulo que é semelhante ao ângulo da inclinação do plano e pode indicar a influência do aprendizado e das experiências anteriores dos estudantes na decomposição de vetores, que costuma se basear em ângulos internos aos vetores e o eixo x. Mais uma vez, pode-se inferir sobre a influência de um possível obstáculo de generalização. O quadro 1 a seguir traz um resumo dos possíveis obstáculos relacionados com as dificuldades de aprendizado levantadas pelos artigos citados.

QUADRO I - Possíveis obstáculos na aprendizagem da decomposição de forças no plano inclinado.

Principais erros	Caracterização	Natureza dos possíveis obstáculos
Força de atrito oposta à direção do possível movimento.	Tendência em associar a direção da força de atrito como contrária à frente do móvel. (Singh, 2007)	Obstáculo substancialista - definição de uma força como contrária à outra.
Forças peso e normal atuam no mesmo sentido, com direções contrárias.	Tendência em associar a direção da força peso como contrária à direção da força normal no plano inclinado. (Sirait <i>et al.</i> , 2018; Poluakan e Runtuwene, 2018)	Obstáculo substancialista - definição de uma força como contrária à outra.
Força de atrito estática possui a magnitude da força de atrito estática máxima.	Mensurar a força de atrito em situações estáticas por meio da equação da força de atrito máxima. (Singh, 2007)	Obstáculo de generalização - generalização de uma equação particular.
Usar cosseno para mensurar a componente horizontal de um vetor e utilizar o seno para calcular a magnitude componente vertical de um vetor.	Utilização das relações trigonométricas sem considerar o contexto no qual os vetores atuam, como a rotulagem dos ângulos. (Deventer e Wittmann, 2007)	Obstáculo de generalização - aplicação das relações trigonométricas sem considerar o contexto.
Magnitude da força normal é invariável	Dificuldade em perceber que a força normal depende das forças aplicadas à superfície. Apego à equação que calcula a magnitude da força normal em um plano inclinado na ausência de forças aplicadas. (Kim e Pak, 2002)	Obstáculo de generalização - generalização de uma equação particular.

Fonte: Os autores, 2022.

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com esse trabalho, observa-se que a epistemologia de Bachelard ultrapassa o escopo da natureza do conhecimento científico, sua objetividade e entrelaçamento empírico-conceitual, podendo produzir conhecimentos acerca da relação do sujeito da aprendizagem com o conhecimento científico formalizado. Tal viés o levou a definir e a classificar as dificuldades relacionadas ao processo de conhecimento ou aprendizagem da ciência, como obstáculos epistemológicos, influenciando linhas de pesquisa posteriores (Astolfi, 1994, González *et al.*, 2010).

Nessa pesquisa em particular e também a exemplo de outras mencionadas, foi possível constatar que quando o tema é plano inclinado os estudantes apresentam dificuldades de caráter físico conceitual e não matemático propriamente, consistindo em possíveis obstáculos na aprendizagem. Assim, pode-se compreender que as dificuldades apresentadas na representação das forças normal e peso nos planos inclinados estariam associadas com a atribuição de oposição entre essas duas forças, como se elas assumissem essa qualidade, fizesse parte da natureza das mesmas, consistindo numa espécie de obstáculo substancialista. Raciocínio semelhante pode ser realizado com relação aos erros do sentido da força de atrito, qualificando-a como oposta à direção de um eventual movimento. Já as dificuldades relacionadas com o cálculo da magnitude da força de atrito e a mensuração da força normal sofrem a influência de um obstáculo de generalização, no qual as equações aprendidas anteriormente assumem um papel de verdade para todos os contextos. Obstáculo semelhante parece estar presente nas confusões que os estudantes apresentam na decomposição de vetores, associando o cosseno do ângulo com o eixo x, por exemplo. Neste sentido, considerando a natureza dos obstáculos na aprendizagem (Astolfi, 1994, González *et al.*, 2010), o obstáculo substancialista de oposição e o obstáculo de generalização de situações particulares provavelmente influenciam de maneira transversal a aprendizagem de outros conteúdos escolares, dificultando a compreensão coerente dos mesmos.

Por fim, destaca-se que pesquisas dessa natureza contribuem para revelar dimensões que dificultam ou impedem a aprendizagem dos conhecimentos da física durante o seu ensino. De maneira que é necessário um olhar atento dos docentes quando da discussão das forças no plano inclinado de modo a não reforçar esses possíveis obstáculos, buscando a superação dos mesmos. Também é importante lembrar que tal representação de forças representa uma ruptura epistemológica para o estudante, do ponto de vista didático. Nesse sentido, sugere-se que próximos estudos se dediquem à investigação e proposição de metodologias de ensino que ajudem a superar os obstáculos aqui destacados, valorizando a criatividade e protagonismo de professores e alunos.

REFERÊNCIAS

- Astolfi, J. P. (1994). El trabajo didáctico de los obstáculos, en el corazón de los aprendizajes científicos. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 206-216.
- Ayala Filho, A.L. (2010). A construção de um perfil para o conceito de referencial em física e os obstáculos epistemológicos à aprendizagem da teoria da relatividade restrita. *Investigações em Ensino de Ciências*, 15(1) 155-179.
- Bachelard, G. (1996). *A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. Rio de Janeiro, Brasil: Contraponto.
- Correia, J. J., Lima, L. S. Magalhães, L. D. R. (2008). Obstáculos Epistemológicos e o conceito de calor. *Sitientibus Série Ciências Físicas*, 4, 1-10.
- Deventer, J. V., Wittmann, M. C (2007). Comparing Student Use of Mathematical and Physical Vector Representations. *AIP Conference Proceedings*, 951(208), 208-211.
- Gil, A. C. (2002). *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo, Brasil: Atlas.
- Gomes, H. J. P., Oliveira, O. B. (2007). Obstáculos epistemológicos no ensino de ciências: um estudo sobre suas influências nas concepções de átomo. *Ciências & Cognição*, 12, 96-109.
- González Galli, L., Meinardi, E. (2010). *Revisión del concepto de obstáculo a partir de la investigación sobre la enseñanza y el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural*. IX Jornadas Nacionales y IV Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología. Tucumán, Argentina.
- Grégoire, J. (2018). Overcoming obstacles to creativity in science. *Estudos de Psicologia*, 35(3), 229-236.
- Kim, E., Pak, S. (2002). Students do not overcome conceptual difficulties after solving 1000 traditional problems. *American Journal of Physics*, 70(7), 759-765.
- Pessanha, M., Pietrocola, M. (2013). *Obstáculos epistemológicos e didáticos no estudo de conceitos de física moderna e contemporânea*. Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – IX ENPEC, Águas de Lindoia, São Paulo, Brasil.
- Poluakan, C., Runtewene, J. (2018). Students' difficulties regarding vector representations in free-body system. *Journal of Physics: Conference Series*, 1120, 1-8.
- Singh, C. (2007). *Effect of misconception on transfer in problem solving*. AIP Conference Proceedings, 951(196), 196-199.
- Sirait, J., Hamdani, H., Mursyid, S. (2018). Students' understanding of forces: Force diagrams on horizontal and inclined plane. *Journal of Physics: Conference Series*, 997, 1-7.
- Triska, V. H. C. (2020). Pai: obstáculo epistemológico? *Psicologia USP*, 31, 1-10.