

DISCUTINDO CONCEITOS DE FÍSICA ATRAVÉS DA INVESTIGAÇÃO DA TRAGÉDIA DO TITANIC

DISCUSSING PHYSICS CONCEPTS THROUGH THE INVESTIGATION OF THE TITANIC TRAGEDY

IRAIZIET CUNHA CHARRET ^{*1}, YURI MARTINS ALVES ^{†1}

¹Universidade Federal de Lavras.

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta didática abordando conteúdos de Física presentes no currículo escolar do Ensino Médio através da utilização do filme Titanic. Os estudantes deverão se passar por peritos e investigar as causas do acidente a partir de algumas cenas do filme. A proposta está baseada em algumas metodologias de ensino, como: ensino por investigação, ensino por argumentação, ensino por problematização e resolução de problemas, além de aspectos relacionados à Ciência Forense. Para elaboração da proposta foi feita uma revisão bibliográfica, com um levantamento de outras propostas de ensino semelhantes, que são discutidas e que nos serviram de base. Os problemas de investigação são apresentados e uma possibilidade de sequência de ensino utilizando-os é discutida no final do trabalho. A proposta aqui apresentada não foi implementada em sala de aula, muito pelo fato da mesma ter sido desenvolvida durante a pandemia de Covid-19, o que dificultou de forma considerável o contato presencial com a sala de aula. Ao final apresentamos algumas considerações, onde fazemos um relato a respeito dos pontos relevantes do trabalho como um todo.

Palavras-chave: Física forense. Ensino de Física. Investigação. Problematização. Resolução de problemas.

^{*}iraziet@gmail.com

[†]yurimartins0077@gmail.com

Abstract

This work aims to present a didactic proposal approaching contents of Physics present in the school curriculum of High School through the use of the movie Titanic. Students must pose as experts and investigate the causes of the accident from some scenes in the film. The proposal is based on some teaching methodologies, such as: teaching by investigation, teaching by argumentation, teaching by problematization and problem solving, in addition to aspects related to Forensic Science. For the elaboration of the proposal, a literature review was carried out, with a survey of other similar teaching proposals, which are discussed and which served as the basis for our proposal. The research problems are presented and a possibility of teaching sequence using them is discussed at the end of the work. The proposal presented here was not implemented in any class, mainly because it was developed during the Covid-19 pandemic, which made contact with the classroom considerably difficult. Finally, the final considerations appear, where a report is made about the relevant points of the work as a whole.

Keywords: Forensic physics. Physics Teaching. Investigation. Problematisation. Problem solving.

I. INTRODUÇÃO

O sistema educacional brasileiro vem sendo alvo de significativas mudanças nos últimos anos, tendo como objetivo a transformação de um ambiente caracterizado como sendo puramente transmissivo, o qual caminha na contramão no que se refere à formação de um sujeito autônomo e esclarecido, para um ambiente cujo propósito seja estimular o pensamento crítico, criando assim condições favoráveis para o desenvolvimento pessoal e social do indivíduo (França, Gomes; França Júnior, 2021).

Discutir os caminhos trilhados pela educação é, sem dúvida, um desafio muito importante, visto que é necessário oferecer como produto algo que seja qualitativamente adequado para a formação do estudante (Cândido; Gentilini, 2017).

No que se refere ao Ensino de Física na Educação Básica, este ainda é caracterizado por ser muito mecanizado, onde, ao invés de dar lugar às discussões que favorecem o desenvolvimento pessoal, privilegia-se a memorização em massa de conteúdos, que, na maioria das vezes, acabam sendo rejeitados e esquecidos logo em seguida, como apontam Clement; Terrazan (2012). Ainda segundo os autores, é possível perceber um grande distanciamento entre os conteúdos estudados na escola e a realidade presente no cotidiano. Prova disso é o despreparo dos alunos, a julgar pelos rendimentos obtidos no Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), além do Programa Internacional de Avaliação de Estudantes (PISA), no que diz respeito a utilização do conhecimento, até então adquirido na escola, na resolução de problemas que abordam temas presentes no dia a dia (França, Gomes; França Júnior, 2021).

Poucas são as pessoas que utilizam o conhecimento científico para resolver problemas cotidianos, como, por exemplo, o cálculo do consumo de energia de determinados aparelhos

eletrônicos e a leitura e interpretação de rótulos presentes em embalagens de alimentos, o que deixa claro a necessidade de um comprometimento com o letramento da população (Brasil, 2018). Sendo assim, é preciso fazer uso de estratégias que consigam despertar o interesse dos alunos, para que estes possam sentir-se motivados a buscar conhecimentos de uma forma prazerosa e inovadora.

O presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão de literatura e elaborar uma proposta que possibilite ensinar Física de uma forma não convencional, utilizando metodologias que sejam acessíveis a qualquer tipo de ambiente escolar, visando colocar o aluno na posição de desenvolvedor e descobridor do próprio conhecimento. O tema escolhido para isso foi a Física forense.

A ciência forense está presente na vida de todas as pessoas, seja por meio de uma notícia em jornal, um filme ou uma série televisiva. Provavelmente, todos já tiveram contato com esse tipo de conteúdo. Particularmente, um físico forense possui várias funções, sendo que, segundo Souza (2019), as principais delas são:

Análise de acidentes de trânsito, determinação do tipo de veículo a que possam pertencer fragmentos como pedaços de lanternas e para-choques encontrados no local onde aconteceu o acidente e reconstruir, quando necessário, a dinâmica de homicídios, envolvendo, por exemplo, questões balísticas, tais como: trajetória de projéteis, distância em que foi efetuado o disparo, os orifícios de entrada e saída desses projéteis (Souza, 2019, p.27).

O desejo e o fascínio dos telespectadores em saber como se desenvolve uma investigação criminal, que visa determinar os autores e os motivos de um crime, cresce cada vez mais devido a grande disponibilidade de tais conteúdos nas mídias sociais, o que torna a utilização de seus elementos uma potencial estratégia didática para que se possa ensinar alguns conceitos científicos (Souza *et al.*, 2017).

Pensando nisso, foi desenvolvida, baseada em um dos documentos utilizados na revisão bibliográfica (Tenório; Leite; Tenório, 2014), uma proposta que busca trabalhar conceitos físicos através de um filme, o *Titanic*. O motivo da escolha desse filme foi o fato do mesmo conter vários conceitos físicos em potencial para serem utilizados em uma aula, além de ser muito popular e não possuir restrições de idade para os alunos que já cursam o ensino médio. A proposta se trata da realização do "dia do perito", onde os alunos se passarão por profissionais da área ao analisar os acontecimentos ao longo do filme, desde a construção do navio até o momento pós-tragédia.

II. REVISÃO DE LITERATURA

Para encontrar os documentos que abordam a Física forense associada com o ensino de Física, foi utilizada como principal fonte de pesquisa o portal de periódicos da CAPES.

Através da ferramenta de busca avançada, foram usados os seguintes filtros: Assunto - contém - "palavra chave" - E - Assunto - contém - "palavra chave", ambos sem restrição sobre o tipo de material e idioma, porém, restritos aos últimos cinco anos (2018-2022). Além disso,

as seguintes palavras chave foram utilizadas: investigação, argumentação, problematização, resolução de problemas, ensino de física e física forense, contendo combinações como "investigação"e "ensino de física", "argumentação"e "ensino de física", "problematização"e "ensino de física", "resolução de problemas"e "ensino de física"e "física forense"e "ensino de física".

Vale ressaltar que, ao se utilizar os termos "física forense"e "ensino de física", nenhum resultado foi encontrado, nem mesmo quando o critério de data foi alterado para "qualquer ano". Como a Física forense é o tema central do presente trabalho, foi necessária a utilização do Google acadêmico como fonte de pesquisa secundária. Para a busca no Google acadêmico, foram utilizados os seguintes termos chave e filtros: "física forense"AND "ensino de física", período de 2018 a 2022, ordenar por relevância, em qualquer idioma e qualquer tipo de material.

Dos trabalhos encontrados, foram feitas leituras de seus resumos e, quando necessário, de suas introduções e conclusões, com o intuito de identificar quais deles estavam dentro do escopo desejado. Após a seleção dos trabalhos, uma leitura completa foi realizada.

Através da utilização dos filtros e das palavras chave mencionadas, assim como suas combinações, foram encontrados 57 resultados. Ao se utilizar os termos "investigação"e "ensino de física", foram encontrados 14 trabalhos. Depois de uma breve análise de seus resumos, 8 deles foram selecionados. Ao se utilizar os termos "argumentação"e "ensino de física", foram encontrados 5 trabalhos. Depois de uma breve análise de seus resumos, 3 deles foram selecionados. Ao se utilizar os termos "problematização"e "ensino de física", foram encontrados 3 trabalhos. Depois de uma breve análise de seus resumos, apenas 1 deles foi selecionado. Do restante, ambos já haviam aparecido com a utilização dos termos "investigação"e "ensino de física", sendo que um deles havia sido selecionado e o outro descartado. Ao se utilizar os termos "resolução de problemas"e "ensino de física", foram encontrados 7 trabalhos. Depois de uma breve análise de seus resumos, 3 deles foram selecionados. Ao se utilizar os termos "física forense"e "ensino de física", foram obtidos 29 resultados. Depois de uma breve análise de seus resumos, 3 deles foram selecionados.

Além disso, outro trabalho, o qual não aparece como resultado das buscas, também foi utilizado. Portanto, ao todo, foram selecionados 19 trabalhos, como pode ser visto na Tabela 1.

Palavras chave	Número de trabalhos
Investigação e ensino de física	8
Argumentação e ensino de física	3
Problematização e ensino de física	1
Resolução de problemas e ensino de física	3
Física forense e ensino de física	3
Trabalhos pré-selecionados	1
Total	19

Tabela 1: Distribuição dos trabalhos selecionados por termos de busca. Fonte: os autores, 2024.

Dos trabalhos selecionados, foi feita uma análise a respeito de algumas características, tais como: i) situação da proposta (se aplicada ou não); ii) local de aplicação; iii) tema

abordado; iv) estratégias de ensino adotadas.

A maioria foi desenvolvida em sala de aula, apenas a proposta apresentada por Souza (2018) não foi desenvolvida. De acordo com o autor, ela foi planejada para estudantes de primeiro ano do ensino médio que convivem com o ensino tradicional, visando uma abordagem diferenciada do conteúdo que permita o desenvolvimento de uma aprendizagem significativa.

De forma geral, a maioria das propostas foi direcionada à estudantes do ensino médio, o que já era esperado considerando os níveis de atuação da disciplina. Entretanto, foi possível observar ainda propostas direcionadas à estudantes do ensino fundamental e superior (Silva; Araújo, 2019; Raibolt, Hastenreiter; Rodrigues, 2017; Barcellos *et al.*, 2019; Testoni *et al.*, 2017; Ribeiro, Pigosso; Pastorio, 2019; Souza, 2019; Antunes, 2018).

Raibolt, Hastenreiter e Rodrigues (2017) justificam a abordagem de conteúdos relacionados à Física logo no ensino fundamental pois acreditam que a maior parte dos problemas de aprendizagem e das dificuldades em Física no ensino médio são devidas à falta de vivência de tais conceitos nos níveis mais elementares de ensino.

É importante destacar que, além da diferença entre os ensinos fundamental, médio e superior, deve-se levar em consideração o tipo de instituição à qual a proposta é direcionada; se pública ou privada. A minoria das propostas aplicadas que foram analisadas (Raibolt, Hastenreiter; Rodrigues, 2017; Souza, 2019) têm como público alvo turmas de instituições privadas. Tal fato pode ser explicado pela maior liberdade do professor da rede pública no que se refere ao planejamento dos conteúdos a serem trabalhados no decorrer do ano, além da tentativa de se obter uma significativa melhora na qualidade do ensino destas instituições.

Vale ressaltar que, como instituições públicas, estão sendo consideradas aquelas da rede municipal, estadual, militar e até mesmo federal, o que não exclui as desigualdades internas existentes entre as mesmas. Das 18 propostas aplicadas, apenas uma (Merizio; Clement, 2021) não deixa claro o tipo de instituição onde foi desenvolvida.

No que se refere ao conteúdo abordado, é possível observar uma baixa utilização dos temas de Física Moderna e Contemporânea (3 trabalhos) se comparados aos temas de Física Clássica. Um provável motivo é o despreparo dos professores para lidar com os conteúdos relacionados a Física Moderna e Contemporânea. Porém, outros fatores podem também influenciar este resultado, como a ausência ou a pouca importância dada aos temas de Física Moderna e Contemporânea nos currículos da educação básica.

Segundo Rodrigues e Carlos (2019), é necessário estender e diversificar os temas a serem trabalhados no decorrer do ano letivo para que se torne possível desenvolver no aluno uma visão mais representativa da natureza da ciência e de sua complexidade. Isso evidencia a necessidade de se desenvolver materiais a respeito, uma vez que a Física presente no currículo escolar não tem acompanhado os avanços tecnológicos ocorridos nas últimas décadas. Entretanto, é preciso deixar claro que este não foi o objetivo do nosso trabalho.

Dos temas de Física Moderna e Contemporânea, aqueles que marcaram presença foram: i) radiação de corpo negro; ii) relatividade geral, buracos negros e lentes gravitacionais; iii) partículas elementares. Esses temas apareceram em três trabalhos (Rodrigues; Carlos, 2019; Ferreira *et al.*, 2021; Londero; Mosinahti, 2017).

Já dos temas de Física Clássica, aqueles que marcaram presença foram conceitos rela-

cionados à: i) Termodinâmica; ii) Ondulatória; iii) Hidrostática; iv) Mecânica; v) Ótica; vi) Astronomia; vii) Cinemática.

A maior incidência de conteúdos foram daqueles relacionados à Mecânica e à Cinemática, o que, de certa forma, já era esperado. Na sequência, aparecem Hidrostática, Termodinâmica, Ondulatória, Ótica e Astronomia, sendo os três últimos com percentuais iguais.

Além da necessidade de diversificação dos temas, Rodrigues e Carlos (2019) trazem a importância do uso de variadas abordagens, já que, segundo os autores, a implementação de uma mesma estratégia de ensino em turmas com perfis diferentes não produz um nível de aprendizagem similar, deixando clara a necessidade de um planejamento que leve em consideração as peculiaridades do ambiente.

Na Figura 1, é possível identificar as diferentes estratégias utilizadas no desenvolvimento das atividades dos trabalhos analisados. Fica evidente a preferência pela utilização de atividades experimentais e pelo uso das tecnologias digitais, as quais trazem consigo as tecnologias móveis, as simulações computacionais, os recursos audiovisuais, entre outras.



Figura 1: Distribuição das estratégias de ensino utilizadas durante as atividades. Fonte: os autores, 2024.

Na nossa proposta, optamos pela utilização de um filme (*Titanic*), o qual é caracterizado como um recurso audiovisual. Esta ideia surgiu após a leitura de um dos artigos selecionados (Tenório, Leite; Tenório, 2014), o qual fez uso de um episódio da série televisiva *Crime Scene Investigation* (CSI) para elaborar uma atividade onde os alunos deveriam se passar por peritos criminais e analisar os fenômenos físicos envolvidos nas cenas.

Baseado nos acontecimentos do filme, foram desenvolvidos alguns problemas abertos que têm conteúdos relacionados à cinemática, hidrostática e termodinâmica, os quais, coincidentemente, são os mais encontrados nas propostas educacionais. Assim como no trabalho base, a ideia é fazer com que os alunos se passem por peritos e analisem os fenômenos físicos envolvidos nas cenas selecionadas.

Para a elaboração dos problemas abertos, levou-se em consideração os resultados obtidos através da aplicação das atividades dos trabalhos analisados.

Moura e Silva (2019) relataram uma mudança de postura dos alunos que participaram das atividades, os quais foram de meros receptores de informação para descobridores do próprio conhecimento. Tal mudança de postura proporcionou as condições necessárias para a transformação do conhecimento prévio em conhecimento científico.

Em todos os trabalhos, foi considerada a importância da divisão da turma em grupos, já que esta possibilita a presença de uma maior argumentação entre os próprios alunos. A argumentação torna-se importante na medida em que percebe-se uma maior facilidade dos alunos no entendimento do conteúdo a partir da utilização de uma linguagem mais próxima àquela presente em sua realidade. Com isso, os alunos que possuem maior facilidade com o assunto estudado podem expor seus conhecimentos dentro do grupo, fazendo com que aqueles alunos que apresentam dificuldades no entendimento do assunto tenham maiores chances de aprendizado.

Todos os resultados mostram uma maior participação dos estudantes se comparada com as aulas tradicionais. Além disso, os alunos mostraram-se mais motivados no desenvolvimento das atividades. Portanto, fica claro que o uso de estratégias e metodologias diversificadas podem contribuir de forma positiva para o aprendizado dos estudantes.

III. PROPOSTA: ENSINANDO FÍSICA ATRAVÉS DO FILME *Titanic*

Dentre as várias estratégias didáticas disponíveis, os filmes, por serem bem aceitos pelo público em geral, merecem um lugar de destaque. Segundo Silva (2014), as mídias possuem um papel fundamental como estimulantes na construção do conhecimento, podendo ser utilizadas como um instrumento a serviço da educação, já que são capazes de proporcionar atividades escolares diversificadas voltadas para o desenvolvimento crítico do aluno. Como, em muitas das vezes, a ciência que se aprende na escola não privilegia sua dimensão prática, ou seja, seu verdadeiro funcionamento, os filmes podem aparecer como veículos de formação dessas noções (Oliveira, 2006).

A facilidade de divulgação e disseminação do conhecimento científico devido ao desenvolvimento das tecnologias de informação tem possibilitado ao público uma maior oportunidade de aprendizagem pessoal, a qual ocorre fora do ambiente escolar na medida em que o aluno busca conhecimento por vontade própria (Tenório, Leite; Tenório, 2014).

Segundo Falk e Coulson (2000, apud Tenório, Leite; Tenório, 2014), um estudo revelou que grande parte dos indivíduos envolvidos admitiram ter aprendido sobre ciências durante seu tempo de lazer. Sendo assim, as escolas não devem competir com as mídias, mas sim torná-las parte das aulas como estratégia didática, possibilitando aos estudantes a motivação no processo de aprendizagem.

A proposta que aqui é apresentada consiste no estudo e na aplicação de alguns conceitos físicos através da análise de situações presentes no filme. Os alunos serão guiados por um texto que retrata a sequência de acontecimentos, o qual apresenta cinco problemas que deverão ser debatidos e solucionados em grupo. Esse texto pode ser elaborado a partir das informações presentes nas seções a seguir, de acordo com o interesse do professor.

Cada grupo será responsável pela resolução de um problema, e, no final, será realizada uma socialização entre os mesmos com o objetivo de apresentar suas resoluções, buscando assim esclarecer o motivo da tragédia e discutir os conceitos físicos envolvidos.

III.1. *Titanic*: algumas informações

O *Titanic* foi considerado o maior e mais luxuoso navio do mundo no início do século XX. Em sua viagem inaugural, ele partiu de *Southampton*, Inglaterra, no dia 10 de abril de 1912, com destino à Nova York, Estados Unidos, com 1316 passageiros e 885 tripulantes (Thomen, 2015).

Por ter sido um transatlântico moderno para a época, seu nível de segurança era considerado muito alto. Desde 1902, a *White Star Line*, companhia de transporte marítimo responsável pelo *Titanic*, transportara 2.179.594 passageiros, sendo que, durante esse período, apenas dois óbitos foram registrados, os quais se tratavam de passageiros a bordo do navio *Republic*, que colidiu com o *Florida*, outro transatlântico. Da colisão, foi possível concluir que, mesmo com grandes danos, os transatlânticos modernos demoravam para afundar, possibilitando assim mais tempo para uma possível transferência de passageiros para outras embarcações (Mayo, 2017).

O *Titanic* possuía 16 compartimentos¹ à prova d'água, sendo que se até 4 deles fossem danificados e preenchidos com água, ainda assim o navio flutuaria. Com base nisto, os fabricantes consideraram desnecessários botes salva-vidas em número suficiente para atender a todos os passageiros, já que o navio era praticamente "insubmersível" (Mayo, 2017).

Entretanto, no quarto dia de viagem, por volta das 23h40, um grande objeto foi avistado a cerca de 400 metros de distância do navio. Era um iceberg. O *Titanic*, com mais de 46 mil toneladas, colide com mais de 500 mil toneladas de gelo, fazendo com que 5 de seus 16 compartimentos à prova d'água fossem danificados (Mayo, 2017).

O navio afundou após quase três horas do acontecido, fazendo com que mais de 1500 pessoas perdessem a vida, a maioria devido às águas gélidas do oceano, já que o número de botes salva-vidas era insuficiente para o total de passageiros e tripulantes a bordo (Mayo, 2017).

O *Carpathia*, navio que resgatou os sobreviventes do naufrágio, chegou ao local da colisão às 4h da manhã, quando o *Titanic* já estava totalmente submerso, conseguindo resgatar um pouco mais de 700 pessoas (Mayo, 2017).

III.2. Houve crime na tragédia do *Titanic*?

Após o acidente, foi dado início às investigações a fim de encontrar possíveis culpados pelo desastre. Dois inquéritos foram realizados: um pelo senado dos Estados Unidos, presidido pelo senador *William Alden Smith*, e outro pela câmara britânica, dirigido por *Lord Mersey*. A partir desses inquéritos, fica evidente a existência de irregularidades técnicas no *Titanic*, fazendo com que algumas leis fossem acrescentadas e outras alteradas (Haas, 2009).

As discussões apresentadas a seguir fazem menção a alguns fatos reais, como é o caso dos inquéritos realizados; entretanto, a ideia é fazer com que os alunos, baseados nos dados desses inquéritos e nos resultados obtidos com a resolução dos problemas, julguem se houve ou não crime na tragédia do *Titanic*.

Algumas das conclusões obtidas pelos inquéritos podem ser vistas a seguir:

¹Constituídos por porões de carga, salas da caldeira, motor alternativo, motor de turbina, tanques de pico, os quais eram separados por comportas estanques, que poderiam ser acionadas da ponte de comando.

- O número de botes salva-vidas era insuficiente para a quantidade de pessoas a bordo.

Além da quantidade de botes salva-vidas ter sido insuficiente para o número de pessoas a bordo, aqueles que estavam disponíveis foram, inicialmente, destinados aos tripulantes da primeira classe. Com isso, é possível afirmar que houve irregularidade na decisão de equipar o navio com uma quantidade de botes salva-vidas insuficiente? A prioridade pelo embarque de tripulantes da primeira classe pode ser vista como um crime?

- O navio era chamado de "insumersível", já que se até 4 de seus 16 compartimentos fossem danificados e preenchidos com água, o que dificilmente aconteceria em uma colisão frontal, ainda assim ele flutuaria.

Entretanto, quando o iceberg é avistado, o capitão do navio inicia uma manobra de desvio, o que acabou fazendo com que o choque acontecesse com sua lateral. Baseado nisso, é possível atribuir culpa ao capitão?

- Após o acidente, fica exigido aos navios de rotas transatlânticas a implementação de várias normas de segurança, como o acesso total ao navio para a saída dos passageiros, a realização de exercícios de segurança, comunicações via rádio, entre outras, o que deixa clara a insuficiência das normas de segurança do *Titanic*.

O fato do *Titanic* não possuir comunicação via rádio pode ser encarado como uma negligência da equipe responsável por sua construção? Se os tripulantes tivessem sido treinados com exercícios de segurança o resultado poderia ter sido diferente?

III.3. Investigando as causas do acidente

A seguir, serão apresentados alguns problemas que buscam analisar situações ocorridas durante a viagem, como forma de investigar as causas que, somadas, levaram ao trágico fim do *Titanic*. Tais problemas abordam conceitos básicos de Física, como cinemática, hidrostática e termodinâmica, mostrando ser possível desenvolver uma boa análise dos fatores que culminaram na magnitude da tragédia apenas com os conceitos presentes no currículo escolar dos alunos.

Os problemas serão divididos em cinco grupos, sendo que cada um ficará responsável por uma situação diferente. O primeiro grupo deverá explicar como um objeto pesado como o *Titanic* consegue flutuar na água, além de entender o porquê da grande segurança ofertada pelo navio. O segundo grupo será responsável por explicar os motivos dos graves danos causados na colisão, já que o navio, feito de metal, se choca com um iceberg, constituído de gelo, além de explicar o porquê parte do iceberg fica acima da superfície e parte fica submersa, indicando a proporção aproximada de tais partes. O terceiro grupo será responsável por estimar o local do acidente baseado em algumas informações da viagem, além de estipular o tempo de resgate. O quarto grupo será responsável por analisar as condições de sobrevivência das vítimas nas águas gelidas do oceano, concluindo se será ou não possível realizar o resgate de alguém com vida baseado no tempo máximo de sobrevivência das vítimas no mar em comparação com o tempo necessário para o resgate. O

quinto e último grupo será responsável por explicar por que Jack, no final do filme, não se abrigou juntamente com Rose no destroço de madeira que flutuava na água.

Com isso, espera-se que seja possível concluir que um conjunto de pequenos fatores como os citados nos problemas contribuíram para que a tragédia acontecesse em suas devidas proporções.

III.3.1 Primeiro problema: flutuabilidade (Grupo 1)

Ao serem colocados na água, determinados objetos conseguem ficar em situação de flutuabilidade. Entretanto, existem objetos que afundam imediatamente. Imagine duas esferas maciças de mesmo volume, uma constituída de metal e outra de isopor. Quando colocadas na água, a que for constituída de metal irá afundar e a de isopor irá flutuar.

Ao se tratar do *Titanic*, este era constituído basicamente de metal, e, como sabemos, um objeto feito de metal, como a pequena esfera do exemplo acima, tende a afundar quando colocado na água. Mesmo assim, o *Titanic* era um navio aparentemente seguro, ou seja, tinha a capacidade de flutuar com uma grande margem de segurança na água do mar.

Questões de investigação

1. Levando em consideração a grande massa e a constituição do *Titanic*, o que tornava possível que ele flutuasse com segurança na água do mar?
2. O que levou seus fabricantes a confiarem tanto na "impossibilidade do navio submergir" a ponto de não disponibilizarem botes salva-vidas para todos os passageiros?
3. Por que o navio começou a afundar a partir do momento em que 5 de seus 16 compartimentos foram comprometidos?

Discutindo o problema

O problema aborda a questão da flutuabilidade de um objeto grande e massivo na água. Como isso é possível? Sendo ele de metal, como ele conseguia flutuar?

Com o intuito de resolver este problema, os alunos deverão realizar, inicialmente, um debate dentro do grupo e elencar os principais pontos a serem levados em consideração para solucioná-lo. Essas discussões iniciais devem ser orientadas pelo professor.

Para que seja possível analisar a situação, é necessário que os alunos tenham em mãos algumas informações importantes, tais como: as dimensões do navio, sua massa e a densidade da água do mar. Entretanto, tais informações não serão oferecidas inicialmente, mas deverão ser solicitadas pelos próprios alunos durante as discussões, as quais serão fornecidas pelo professor.

Como exemplo, podem ser considerados os seguintes dados: suponha que o navio possui a forma de um paralelepípedo de 169 m de comprimento, 23 m de altura e 15,5 m de largura. Além disso, considere que todos os 16 compartimentos possuem volumes iguais, sendo que a soma de todos eles é equivalente ao volume total do navio, o qual tem 46.328 toneladas de massa. A densidade da água do mar tem o valor aproximado de 1.027 kg/m^3 .

Como se trata de um problema aberto, é possível que os alunos sozinhos não consigam identificar todos os pontos necessários, ou ainda, mesmo com todos os pontos em mãos, não consigam resolvê-lo. Devido a isso, o professor deve aparecer como um facilitador, guiando-os no caminho correto. Vale ressaltar que o objetivo principal deste e dos outros problemas é fazer com que os alunos entendam a aplicação dos conceitos físicos presentes em todas as abordagens. Para que isso aconteça, podem ser utilizados alguns questionamentos por parte do professor, tais como:

- Qual é a relação entre as dimensões do navio e a flutuabilidade do mesmo?
- Qual é a relação entre o peso e a condição de flutuabilidade?
- Qual é a relação entre a inundação dos compartimentos e o peso do navio?
- Em que essa relação afeta a condição de equilíbrio?

O intuito deste primeiro problema é trabalhar os conceitos de densidade e empuxo, já que será necessário que os alunos façam uma comparação entre as densidades do navio e da água do oceano, além de explicar o porquê da submersão do navio a partir do momento em que 5 de seus 16 compartimentos são danificados e preenchidos com a água do mar. Com isso, espera-se que eles consigam concluir que a densidade do navio era consideravelmente menor que a da água, tornando possível sua flutuabilidade com uma grande margem de segurança.

III.3.2 Segundo problema: colisões (Grupo 2)

Mesmo sendo constituído de metal, o navio sofreu vários danos ao colidir com o iceberg, o que acabou fazendo com que ele afundasse em cerca de três horas.

Questões de investigação

1. Por que o navio, feito de metal, sofreu danos a ponto de naufragar, sendo que o mesmo colidiu com um pedaço de gelo? Apresente na resposta um exemplo similar comum no dia a dia.
2. Por que parte do iceberg se encontra aparente na superfície e parte submersa?
3. Qual é a fração do volume visível em relação ao volume total do iceberg?

Discutindo o problema

Este segundo problema aborda o conteúdo de colisões e suas consequências, além de conter uma discussão sobre a flutuabilidade de um iceberg baseada nas frações do volume de gelo visível e submerso.

Com o intuito de resolver o problema, os alunos deverão realizar um debate dentro do grupo e elencar os principais pontos para sua resolução. Para que seja possível analisar a situação, é necessário que os alunos tenham em mãos algumas informações importantes,

como a massa do navio, sua velocidade, a massa do iceberg, a densidade da água do mar e a densidade do gelo. Tais informações deverão ser solicitadas pelos próprios alunos durante as discussões, as quais serão fornecidas pelo professor.

Como exemplo, pode-se considerar os dados apresentados na Tabela 2.

Massa do navio	Velocidade	Massa do iceberg	Densidade da água / gelo
46.328 t	41 km/h	500.000 t	1.027 kg/m^3 / $924,3 \text{ kg/m}^3$

Tabela 2: Alguns dados aproximados que podem ser úteis para a resolução do problema 2. Fonte: os autores, 2024.

Como se trata de um problema aberto, é possível que os estudantes não consigam identificar todos os pontos necessários para a solução. O professor, visando que os alunos tenham em mãos todos os dados necessários para a resolução do problema, pode realizar uma série de questionamentos, tais como:

- Qual é a relação entre os danos causados pela colisão e as dimensões/características dos objetos?
- Quais características físicas da água no estado sólido a difere da água no estado líquido?
- Qual é a relação entre o volume e a condição de equilíbrio (flutuabilidade)?

Já que o problema envolve questões relacionadas à colisão e hidrostática (já mencionada no problema anterior), ambos os temas podem ser trabalhados a partir dessa discussão, de forma que os alunos tenham um papel central no desenvolvimento desses conhecimentos.

O intuito deste segundo problema é trabalhar o conceito de colisões, levando em consideração que a massa do iceberg era muito maior que a massa do Titanic, o que explica o porquê de, mesmo sendo construído de um material resistente, o navio ter sofrido graves danos. Além disso, o problema engloba o conceito de densidade e empuxo como necessários para se calcular a relação entre a densidade da água e do gelo com as parcelas dos volumes visível e submerso. Com isso, espera-se que os alunos consigam concluir que quanto maior a diferença de massa dos objetos envolvidos em uma determinada colisão, maior a diferença causada pelos danos - o objeto com uma massa muito menor tende a sofrer um dano muito maior - e que aproximadamente 10% do volume do bloco de gelo ficará visível na superfície, já que a densidade do gelo equivale à aproximadamente 90% da densidade da água.

III.3.3 Terceiro problema: movimento (Grupo 3)

Antes de partir em direção à Nova York, o *Titanic* passou por duas cidades: *Cherbourg*, na França, e *Queenstown* (hoje chamada de *Cobh*), na Irlanda (Thomen, 2015). Porém, o navio nunca conseguiu chegar em Nova York, já que afundou logo após a colisão com um grande iceberg.

Questões de investigação

1. Supondo que não tenha sido possível identificar as coordenadas geográficas do local do acidente durante o aviso de naufrágio, em que local do oceano seria provável encontrar o navio e os passageiros que conseguiram sobreviver para a realização do resgate? Construa, com o auxílio do *Google Maps*, a trajetória prevista para o *Titanic* e marque o local aproximado do acidente.
2. Supondo que a única comunicação possível do navio aconteceu com Nova York, quanto tempo levaria para que a equipe de resgate vinda de tal região chegasse ao local do acidente?

O problema aborda uma série de questões importantes no que se refere à busca pelo local do acidente e à possibilidade de resgate. Como se trata de um problema aberto, torna-se necessário que os alunos consigam identificar quais pontos principais devem ser levados em consideração para a sua resolução. Por exemplo, para que seja possível identificar o local da colisão, são necessárias algumas informações importantes, como o dia e o horário da partida do último local onde o navio parou, o tipo de movimento realizado, a trajetória e o dia e horário da colisão. Além disso, para determinar o tempo necessário para que a equipe de resgate chegue até o local do acidente, é preciso saber qual a sua velocidade média e a distância entre as cidades. Tais informações devem ser solicitadas pelos alunos.

A título de exemplo, é possível considerar que o navio saiu de *Queenstown* às 13h30 do dia 11 de abril de 1912 rumo ao seu destino final, desenvolvendo um movimento retilíneo e uniforme. No dia 14 de abril, às 23h40, aconteceu a colisão que ocasionou seu naufrágio. A Figura 2 mostra o trajeto que o *Titanic* deveria percorrer durante sua viagem de *Queenstown* (*Cobh*) até Nova York, cidade onde ele nunca chegou.

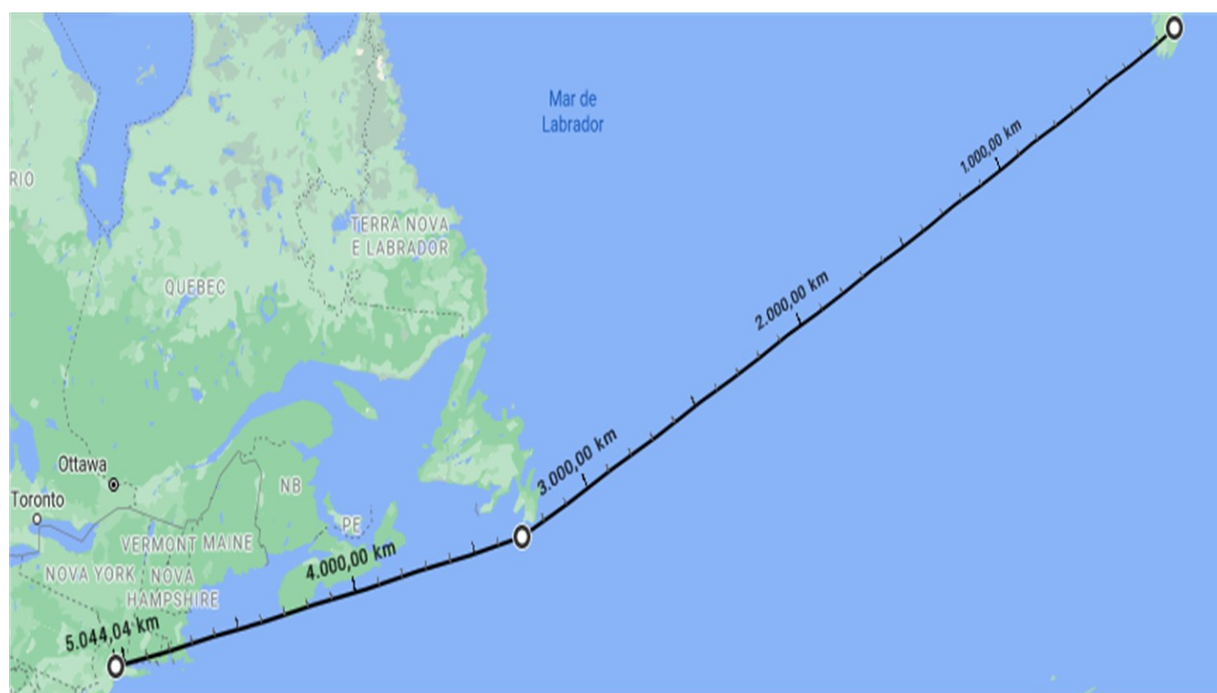


Figura 2: Trajetória prevista para a viagem do *Titanic* entre *Queenstown* (*Cobh*) e Nova York (Adaptado a partir do *Google Maps*, 2023).

A tabela (3) apresenta um resumo dos dados envolvidos no problema.

Saída de Queenstown	Acidente	Velocidade	Distância entre as cidades	Velocidade do Resgate
13h30 - 11 de abril	23h40 - 14 de abril	41 km/h	5.044 km	80 km/h

Tabela 3: Alguns dados aproximados que podem ajudar na resolução do problema 3. Fonte: os autores, 2024.

Para que todas estas informações sejam solicitadas pelos alunos no momento da discussão em grupo, o professor pode usar alguns questionamentos, tais como:

- Quais grandezas são necessárias para se descrever um movimento qualquer?
- Como forma de simplificação, levando em consideração a trajetória e a velocidade, é possível aproximar o movimento do navio com qual movimento já conhecido?

Já que o problema envolve questões relacionadas ao tempo de percurso, velocidade e trajetória, o conteúdo de cinemática pode ser trabalhado a partir dessa discussão, de forma que os alunos tenham um papel central no desenvolvimento desse conhecimento.

O intuito deste terceiro problema é trabalhar alguns conceitos presentes no conteúdo de cinemática na busca pela posição do navio na hora do acidente e do tempo necessário para o resgate, tendo como base a distância entre as duas cidades, o tempo de viagem e a velocidade desenvolvida pelo navio e pela equipe de resgate. Com isso, espera-se que os estudantes consigam concluir que é possível, através das ferramentas disponíveis, fazer uma boa aproximação do local onde ocorreu o acidente, além de estipular o provável tempo de resgate, o que, em uma situação real, poderia salvar a vida de várias pessoas.

III.3.4 Quarto problema: trocas de calor (Grupo 4)

A temperatura do corpo humano é um dos parâmetros fisiológicos mais controlados do organismo (Biazzotto *et al.*, 2006). Não é possível sobreviver por muito tempo em temperaturas muito baixas devido à hipotermia.

Questões de investigação

1. Seria possível, baseado no tempo que a equipe de resgate levaria para chegar ao local do acidente, encontrar alguém com vida em alto mar fora dos botes salva-vidas?
2. Caso a resposta seja negativa, qual seria a menor distância para um resgate que possibilitasse tal feito?

O problema aborda os conteúdos de termodinâmica e cinemática ao abordar a hipotermia e suas consequências, além de sua relação com o tempo máximo de resgate. Com o intuito de resolver o problema, os alunos deverão realizar um debate dentro do grupo e elencar os pontos principais para a sua resolução.

Para que seja possível analisar a situação, é necessário que os alunos tenham em mãos algumas informações importantes, como o calor específico e o fluxo de calor do corpo humano na temperatura que se encontrava a água, o peso médio das vítimas, entre outras.

Tais informações deverão ser solicitadas pelos próprios alunos durante as discussões, as quais serão disponibilizadas pelo professor. Além disso, os alunos necessitarão do tempo que a equipe de resgate leva para chegar ao local, dado este que é motivo de investigação do grupo 3. Entretanto, o mesmo poderá ser disponibilizado ao grupo 4 quando requerido, já que se torna inviável esperar a conclusão do outro grupo para só então começar a se pensar no problema.

Suponha que o corpo humano perca calor a uma taxa de $136,5 \text{ cal/s}$ ($571,4 \text{ J/s}$) na temperatura em que se encontrava a água no momento do acidente, que era algo em torno de -2°C (Ramis, 2013), e entre em hipotermia grave quando a temperatura corporal, que se encontra normal na faixa de 37°C , cai para um valor menor que 28°C (Golin *et al.*, 2003). O calor específico médio do corpo humano é próximo de $0,84 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ ($3.516,2 \text{ J/kg K}$) (Luz, 2021), e podemos aproximar a massa corporal média das vítimas como algo em torno de 65 kg . A velocidade média da equipe de resgate é 80 km/h .

Como se trata de um problema aberto, é possível que os alunos não consigam identificar todos os pontos necessários. O professor, visando que os alunos tenham em mãos todos os dados para a resolução do problema, pode realizar uma série de questionamentos, tais como:

- Além do afogamento, qual outro problema enfrentado pode ter sido crucial para promover a morte das vítimas?
- O que acontece quando dois corpos com temperaturas diferentes entram em contato?
- Como o tempo influencia essa configuração?
- Qual é a relação entre o tempo de resgate e a sobrevivência das vítimas?

Já que o problema envolve questões como hipotermia e movimento, os conteúdos de termodinâmica e cinemática (já trabalhado no terceiro problema) podem ser trabalhados a partir dessa discussão, de forma que os alunos tenham um papel central no desenvolvimento desses conhecimentos.

Com este problema, espera-se que os alunos possam compreender alguns assuntos abordados nos conteúdos de cinemática e termodinâmica a partir da busca pela posição do navio na hora do acidente e da análise das condições de sobrevivência, tendo como base algumas características físicas e fisiológicas do corpo humano e o tempo de viagem da equipe de resgate.

III.3.5 Quinto problema: flutuabilidade (grupo 5)

Uma das cenas mais marcantes do filme é o momento em que *Rose* consegue se abrigar em um destroço de madeira, enquanto *Jack*, dentro da água, a acompanha. Vários foram os questionamentos que surgiram a respeito do destroço conseguir abrigar, além de *Rose*, também *Jack*.

A Figura 3 começou a ser divulgada nas redes sociais assim que o filme foi lançado, mostrando haver espaço para o casal, e não apenas para *Rose*, sobre o destroço de madeira (Oliveira, 2012). Caso isto tivesse acontecido, *Jack* poderia ter sobrevivido e dado um fim

diferente à história.

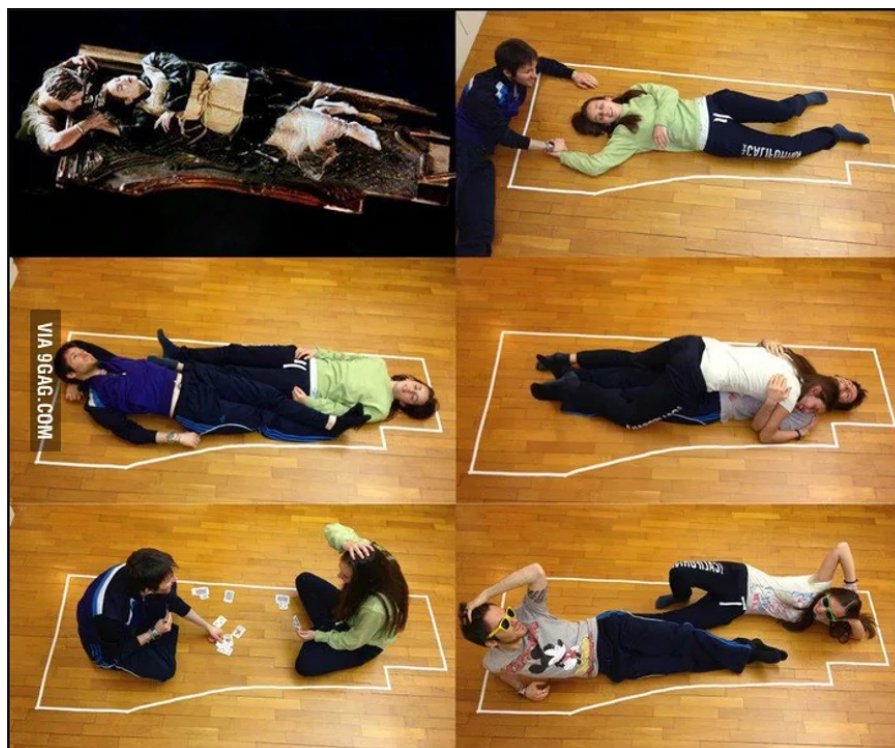


Figura 3: Possibilidades de abrigo do casal levando em consideração o espaço disponível sobre o destroço (Funny, 2012).

Questões de investigação

1. Com base na Figura 3, os questionamentos apresentados pelo público mostram-se pertinentes?
2. O simples fato de existir espaço no destroço para ambos os personagens garante a segurança destes?
3. Seria realmente possível que *Jack* tomasse seu lugar ao lado de *Rose* e se mantivesse a salvo até o momento do resgate?

O problema aborda uma situação muito debatida entre o público. Por ser um problema aberto, o mesmo dá suporte para uma série de ideias diferentes por parte dos alunos e faz com que seja necessário uma análise de cada uma dessas possibilidades até que se chegue a um consenso. Espera-se que, à medida que os questionamentos avancem, surjam perguntas estratégicas cujas respostas são necessárias para a continuidade da análise do problema.

Mais uma vez, o professor aparece como um guia, levando os alunos para o caminho correto. A ideia principal do problema é a comparação entre o peso total do destroço com o empuxo máximo exercido pela água. Para que isso seja possível, é necessário que os alunos busquem algumas informações, tais como: as dimensões, o peso, o volume e a densidade do destroço, o peso dos personagens, a densidade da água e a aceleração da gravidade. Como

uma aproximação, poderiam ser utilizados os seguintes dados: suponha que o destroço tenha o formato de um paralelepípedo de dimensões $2,40\text{ m} \times 0,70\text{ m} \times 0,10\text{ m}$ e densidade 570 kg/m^3 , que a densidade da água seja 1.027 kg/m^3 , que *Rose* tenha um peso de 600 N e *Jack* de 750 N e considere a aceleração da gravidade como sendo $9,8\text{ m/s}^2$.

Vale ressaltar que nem sempre os alunos conseguirão sozinhos chegar aos questionamentos necessários para a obtenção de todos os dados para a solução do problema. O professor, como guia, pode realizar uma série de perguntas que façam com que os alunos obtenham todos os dados importantes para a situação em análise. Seguem abaixo algumas questões que podem direcionar os alunos na atividade.

- O que torna possível a flutuação de um determinado objeto em um fluido?
- O que faz com que um determinado objeto afunde em um fluido?
- Quais as características de tal objeto devem ser levadas em consideração para que se possa realizar uma análise da situação de afundamento ou flutuabilidade?
- Qual é a relação entre o peso e a condição de equilíbrio?
- A partir de que momento essa condição de equilíbrio deixa de existir?

Já que o problema envolve questões como densidade e empuxo, o conteúdo de hidrostática (já trabalhado no primeiro problema) pode ser muito bem trabalhado a partir dessa discussão, de forma que os alunos tenham um papel central no desenvolvimento desse conhecimento.

Com este problema, espera-se que os alunos possam compreender alguns assuntos abordados no conteúdo de hidrostática, como a relação entre o peso e o empuxo e a densidade de um determinado objeto, tendo os alunos no centro do processo de aprendizagem através da contextualização do tema com acontecimentos do dia a dia, já que, apesar do filme não tratar de fatos totalmente verdadeiros, aborda uma situação real.

IV. SEQUÊNCIA DE ENSINO

Esta seção tem como objetivo apresentar uma proposta de desenvolvimento da sequência de ensino em sala de aula, explicando o uso dos problemas elaborados, a forma de condução, os objetivos associados com as aulas e com a proposta como um todo, as características esperadas para o público, o tempo previsto para seu desenvolvimento e a forma de avaliação.

IV.1. Pré-requisitos

Já que a sequência aborda conceitos como movimento, flutuabilidade e temperatura, tornam-se previamente necessárias algumas noções básicas de cinemática, hidrostática e termodinâmica, de forma que tais conceitos contribuam para um maior entendimento dos temas e possibilite o desenvolvimento da proposta.

IV.2. Objetivos da proposta

A proposta tem como objetivo, através do uso de elementos da física forense, apresentar um modelo de aula que possibilite estimular nos alunos o pensamento crítico, utilizando para isto metodologias que façam destes desenvolvedores e descobridores do próprio conhecimento, através da resolução de problemas que visam uma significativa evolução em seus processos investigativo e argumentativo, além de trabalhar conteúdos presentes no currículo escolar, como cinemática, hidrostática e termodinâmica.

Diferente de um modelo de ensino clássico, que tem como prioridade o julgamento de todo um processo evolutivo de determinado conteúdo através de uma avaliação que visa medir o nível de conhecimento do aluno, tal proposta tem por objetivo avaliar, além do conhecimento adquirido pelo aluno a respeito do conteúdo, que se mostra muito importante, a forma como o aluno buscou encontrar maneiras de solucionar o problema através de questionamentos e troca de ideias entre os demais integrantes do grupo, demonstrando sua opinião e defendendo seu ponto de vista. Neste quesito, todo o processo, e não apenas o resultado final, é avaliado.

Devido a má aceitação da disciplina por grande parte dos estudantes, já que a mesma é conhecida por ser uma disciplina onde se encontram algumas dificuldades na compreensão de determinados assuntos, muito pelo fato da linguagem matemática se fazer bastante presente, a proposta tem por objetivo aproximar o aluno dos conteúdos através de artefatos bem aceitos por esta comunidade, como é o caso da tecnologia audiovisual, fazendo com que a motivação seja peça crucial no processo de busca por conhecimento por parte dos alunos.

IV.3. Problemas

Os problemas abordam diferentes temas presentes no currículo escolar da disciplina de Física do ensino médio, como cinemática, hidrostática e termodinâmica, além de exigir certo conhecimento a respeito das leis de Newton. Devido a isso, faz-se necessário que a proposta seja preferencialmente trabalhada nos dois últimos anos do ensino médio, já que provavelmente tais alunos, nesta etapa de formação, já tiveram contato com esse tipo de conteúdo, mesmo que de forma introdutória.

A divisão dos alunos em grupos aparece como uma ótima estratégia, já que isso permite uma maior discussão entre os mesmos a respeito dos passos a serem seguidos para que se possa solucionar o problema, ficando reservado a cada integrante a necessidade de apresentar um ponto de vista e defendê-lo, o qual será julgado pelo restante dos alunos e, após chegarem em uma conclusão, decidirem se tal ponto de vista mostra-se ou não pertinente.

Além de possibilitar que os alunos adquiram conhecimento sobre esses temas, os problemas proporcionam situações de investigação e argumentação, fazendo com que não seja possível a utilização de algoritmos prontos para sua resolução, ou seja, não torna possível o uso de estratégias prontas e mecanizadas.

No que se refere às etapas de resolução, as estratégias utilizadas podem ser separadas, de acordo com Oliveira, Araújo e Veit (2020, p.4), nos seguintes estágios:

1. Definição e representação do problema;
2. Elaboração de planos e estratégias de solução;
3. Implementação das estratégias de solução;
4. Avaliação e monitoramento do processo.

Sendo assim, os conhecimentos de conteúdo e os procedimentais, habilidades meta-cognitivas, de argumentação e justificativa, estimativa de grandezas, elaboração e teste de hipóteses, se mostram conhecimentos e habilidades necessárias relevantes para que se possa resolver tais problemas, segundo Oliveira, Araújo e Veit (2020).

IV.4. Condução da proposta

Inicialmente, torna-se necessário ter em mente o conhecimento que os alunos apresentam sobre os temas que serão abordados ao longo dos problemas. Sabemos que a Física é uma ciência que está presente nas mais diversas situações do cotidiano, e, por isso, mesmo sem ainda ter contato com o conteúdo na escola, o aluno apresenta certas concepções prévias sobre o assunto. Tais concepções merecem atenção e serão importantes no momento da resolução dos problemas.

Como forma de avaliar esse conhecimento prévio, será disponibilizado um pequeno questionário abordando questões conceituais que fazem parte do conteúdo que se pretende estudar com a utilização da proposta. Esse questionário deverá ser realizado em uma aula prévia ao desenvolvimento da proposta. Algumas questões que podem compor esse questionário podem ser vistas a seguir.

1. O que faz com que determinados corpos flutuem na água e outros afundem?
2. Como é possível descobrir se um corpo afunda ou não na água mesmo antes dele ser colocado na mesma?
3. O que significa dizer que um corpo está em equilíbrio mecânico?
4. O que é uma trajetória?
5. O que é velocidade média?
6. O que caracteriza o Movimento Retilíneo e Uniforme (MRU)?
7. Qual é a característica de uma colisão inelástica?
8. Em uma colisão entre um caminhão e um carro, sabemos, pela terceira Lei de Newton, que a força exercida em ambos é igual. Porém, os danos apresentados pelo carro são muito maiores se comparados aos do caminhão. A que se deve essa diferença?
9. Como ocorre o fluxo de calor entre dois corpos?
10. Quais grandezas estão relacionadas com a variação da temperatura de um corpo?

11. Duas quantidades iguais de água e óleo, à mesma temperatura, são colocadas em recipientes diferentes e recebem uma mesma quantidade de calor de uma fonte quente. Para um mesmo intervalo de tempo, qual substância apresentará um maior acréscimo em sua temperatura?

Este questionário, que é um exemplo de questões possíveis de serem utilizadas, auxiliará o professor no momento do direcionamento dos alunos, deixando clara a necessidade ou não de uma maior intervenção como forma de guiá-los no processo de solução dos problemas. Após analisar o questionário e ter em mente o conhecimento expresso pelos alunos sobre o tema, a proposta pode ser iniciada de fato.

Como a proposta trata de problemas relacionados a acontecimentos presentes no filme *Titanic*, é necessário que os alunos o tenham assistido em algum momento. Caso seja preciso, o filme pode ser reproduzido em sala de aula para todos ou até mesmo ficar como tarefa assisti-lo em casa.

Os alunos serão divididos em cinco grupos, sendo que cada grupo ficará responsável por analisar uma situação diferente. Cada um destes problemas possui situações que deverão ser solucionadas com base nos conhecimentos dos alunos e com a mediação do professor. Como se tratam de problemas abertos, será necessária uma investigação por parte dos alunos dos acontecimentos que levaram a tal situação e a coleta do maior número de dados que conseguirem para que seja possível solucioná-los. Caso os alunos não consigam sozinhos reunir todas as informações necessárias, o professor deve entrar com questionamentos que os direcionem e façam com que os mesmos cheguem em tais informações, podendo elas ser dadas pelo próprio professor.

Após reunir todos os dados necessários, os alunos deverão utilizar artefatos da Física para desenvolverem uma explicação para o problema. Nesse momento, podem surgir várias dúvidas, já que alguns alunos talvez não tenham conhecimento a respeito dos fenômenos físicos e da abordagem matemática necessária para o desenvolvimento da questão. Espera-se que essas dúvidas sejam sanadas dentro do próprio grupo, onde os alunos que possuem uma maior facilidade com o assunto expliquem para o restante dos integrantes.

Uma vantagem de tal metodologia é que os alunos possuem uma linguagem mais comum entre si se comparada com a linguagem do professor, o que pode facilitar o entendimento. A argumentação aparece como um fator importante nesse momento, já que será necessário defender um ponto de vista proposto e se chegar a um consenso. Caso nenhum dos alunos consiga tal feito, o professor pode usar a situação para realizar uma breve explicação do conteúdo, possibilitando assim que os alunos consigam dar sequência na resolução do problema.

Por fim, logo após todos os grupos terem encontrado uma possível solução para o problema, será realizada uma espécie de socialização entre os grupos, onde os alunos irão apresentar os passos desenvolvidos no processo de resolução, discutindo com os demais alunos da turma. Com isso, espera-se que a sequência de fatos apresentados e explicados pelos grupos possa contribuir para o entendimento dos motivos para tal tragédia ter acontecido em suas devidas proporções.

IV.5. Tempo de aplicação

Como se tratam de problemas abertos, em que os alunos terão que investigar e buscar por si próprios os caminhos necessários para que possam solucioná-los, é preciso estar ciente de que esse processo pode levar algum tempo, o qual pode variar de grupo para grupo. Alguns pontos que podem influenciar diretamente no andamento da atividade são: o nível de empenho dos integrantes dos grupos, a organização, o conhecimento a respeito do tema estudado, entre outros. Além disso, outro aspecto que pode influenciar nesse quesito é a forma como o professor administra a atividade, ficando responsável por não permitir que os alunos trilhem caminhos que se afastem do objetivo da proposta.

De forma geral, e levando em consideração uma aula de 50 minutos, espera-se ser possível desenvolver a proposta em 5 aulas, sendo a primeira reservada para discutir o filme, que deverá ter sido assistido previamente pelos estudantes, duas delas reservadas para a resolução do problema em grupo e as outras duas para a socialização dos resultados obtidos por todos. Vale ressaltar que pode ser necessário um maior período de tempo para que os alunos consigam resolver os problemas, já que estes demandam várias investigações. Caso o tempo estipulado não seja suficiente, baseado nos problemas elaborados, o acréscimo de mais uma aula deve ser suficiente para que a tarefa seja concluída.

IV.6. Avaliação

A avaliação levará em conta todo o processo de solução do problema. Para que o aluno obtenha um bom rendimento, ele deverá ser peça ativa em todos os passos, sendo necessário que o mesmo investigue a situação em busca de informações chave e argumente com os outros integrantes do grupo. Seguindo as etapas de resolução mencionadas anteriormente (Oliveira, Araújo; Veit, 2020), um possível questionário individual pode ser visto logo a seguir.

1. Definição e representação do problema: Descreva o problema apresentado baseado em sua leitura inicial.
2. Elaboração de planos e estratégias de solução: Elenque os principais pontos que devem ser levados em consideração para que se possa solucionar o problema, além de uma prévia de como os mesmos serão utilizados no momento da resolução.
3. Implementação das estratégias de solução: Descreva os passos que serão seguidos para a resolução do problema.
4. Avaliação e monitoramento do processo: Apresente uma conclusão a respeito dos passos utilizados, bem como sobre os resultados obtidos.

Após todos os grupos encerrarem esta primeira parte, será solicitado que eles façam uma breve apresentação de seus problemas ao restante da turma, explicando os passos utilizados no momento da resolução e os resultados obtidos. Com todos esses dados, os grupos deverão elaborar um pequeno relatório que contenha a sequência cronológica de acontecimentos e explicar, baseado nos conhecimentos físicos presentes, o motivo da tragédia ter alcançado tal magnitude.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como já mencionado, o objetivo do trabalho foi o desenvolvimento de alguns problemas abertos que possibilitassem aos alunos a oportunidade de atuarem como "peritos" durante a investigação de determinados acontecimentos presentes no filme "*Titanic*" e que trabalhassem conceitos de Física básica inseridos no currículo escolar do ensino médio. É válido ressaltar que os temas não foram escolhidos de forma prévia, surgindo somente após a seleção das cenas do filme definidas como integrantes da proposta.

Inicialmente, esperava-se que a proposta fosse utilizada em sala de aula a fim de testar sua eficiência e analisar os resultados obtidos. Desta forma, seria possível identificar quais pontos foram capazes de proporcionar aquilo que se espera dos problemas, que é permitir aos alunos a construção e aplicação do conhecimento através da investigação de situações que envolvam acontecimentos da vida real, mesmo que vistas nas cenas do filme, e fazer com que os estudantes tenham contato com uma forma diferente de se aprender um conteúdo, os quais teriam papel fundamental nesse processo. Ainda, seria possível identificar quais pontos não alcançaram o resultado esperado, dando a oportunidade de repensá-los e adequá-los aos dados.

A não aplicação da proposta foi devido, principalmente, à pandemia da Covid-19, a qual afetou significativamente o andamento das atividades escolares entre os anos de 2020 e 2021. Uma hipótese levantada, a qual também não foi concluída, foi sua utilização com os alunos do curso de Licenciatura em Física da própria Universidade, matriculados na disciplina de Física II. Existe uma grande diferença entre alunos do ensino superior, mesmo se tratando de alunos que estão cursando os períodos iniciais, e alunos do ensino médio. Assim, os dados que seriam obtidos através de sua utilização com os licenciandos poderiam pouco ou nada contribuir para o julgamento de sua eficácia na educação básica. Além disso, as aulas estavam acontecendo de forma remota, o que dificultaria a organização da turma em grupos e inviabilizaria o estabelecimento da argumentação entre os alunos, as quais são características centrais da proposta. Outra hipótese seria utilizá-la durante as atividades de estágio supervisionado, a qual também não teve sucesso, já que os estágios I, II e III do curso de Licenciatura em Física da UFLA aconteceram de forma remota, e, no estágio IV, que foi realizado no momento em que este trabalho estava sendo concluído (segundo semestre do ano de 2022), não houve coincidência entre os conteúdos estudados pelos alunos e aqueles presentes na proposta. Com isso, foi preciso contentar-se com sua não aplicação, deixando-a apenas como um proposta de ensino. Entretanto, sua utilização pode ser parte de trabalhos que venham a ser produzidos posteriormente, seja pelo próprio autor, seja por algum leitor.

Mesmo com a não aplicação da proposta, foi possível absorver do trabalho um alto nível de aprendizado considerando-se as etapas seguidas durante a produção do material. Para o desenvolvimento da fundamentação, foram necessárias diversas leituras de materiais que abordavam diferentes metodologias e estratégias de ensino. Levando em consideração a demanda de um professor por conhecer formas diversificadas e eficientes de se apresentar um conteúdo, tais leituras forneceram um grande embasamento teórico, possibilitando o aprofundamento daquilo que foi visto durante a graduação e o aprendizado de outros conteúdos. Ainda, foi possível perceber as dificuldades envolvidas no planejamento de um material didático que tenha como objetivo contribuir com a melhoria da qualidade

da educação, já que é preciso levar em consideração as particularidades existentes no processo de aprendizagem. Além de despertar o interesse do aluno, é preciso dar sentido às atividades por ele desenvolvidas, fazendo com que o mesmo possa utilizar desses novos conhecimentos na resolução de problemas existentes em seu dia a dia.

Através da revisão de literatura, foi possível concluir que é preciso produzir mais materiais que façam uso da Física forense como estratégia didática para o ensino de conceitos científicos, já que tal estratégia possui grande potencial quando se pretende obter um ensino contextualizado.

Como colocado acima, espera-se que tal proposta possa ser utilizada no futuro, para que assim seja possível obter os resultados esperados e analisá-los de acordo com sua potencialidade em promover um ensino de qualidade aos estudantes.

Editora Responsável: Maria de Fátima da Silva Verdeaux

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, A. A. *Ciências forenses e o método aula invertida: contribuições para o ensino de ciências naturais no ensino superior*. 71 f. Monografia (Graduação Curso de Licenciatura em Ciências da Natureza) - Universidade Federal do Pampa, Dom Pedrito, RS, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.unipampa.edu.br/jspui/handle/riu/3679>>. Acesso em: 10 jan. 2022.
- BARCELLOS, L. S.; GERVÁSIO, S. V.; SILVA, M. A. J.; COELHO, G. R. A mediação pedagógica de uma licencianda em ciências biológicas em uma aula investigativa de ciências envolvendo conceitos físicos. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 19, p. 37-65, 2019. doi: <<https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2019u3765>>.
- BIAZZOTTO, C. B.; BRUDNIEWSKI, M.; SCHMIDT, A. P.; AULER JÚNIOR, J. O. C. Hipotermia no período peri-operatório. *Revista Brasileira de Anestesiologia*, v. 56, n. 1, p. 89-106. 2006. doi: <<https://doi.org/10.1590/S0034-70942006000100012>>.
- BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, 2018.
- CÂNDIDO, R. K.; GENTILINI, J. A. Base curricular nacional: reflexões sobre autonomia escolar e o projeto político-pedagógico. *Revista Brasileira de Política e Administração da Educação*, v. 33, n. 2, p. 323-336, 2017. doi: <<https://doi.org/10.21573/vol33n22017.70269>>.
- CLEMENT, L.; TERRAZZAN, E. A. Resolução de problemas de lápis e papel numa abordagem investigativa. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 7, n. 2, p. 98-116, 2012.
- FALK, J. H.; COULSON, D. *Los Angeles science education research (LASER) project: Telephone survey report*. Annapolis, MD: Institute for Learning Innovation, 2000.

FERREIRA, M.; COUTO, R. V. L.; SILVA FILHO, O. L.; PAULUCCI, L.; MONTEIRO, F. F. Ensino de astronomia: uma abordagem didática a partir da teoria da relatividade geral. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 43, 2021. doi: <<https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0157>>.

FRANÇA, S. C. G.; GOMES, L. C.; FRANÇA JÚNIOR, M. C. Uma proposta para o ensino de física por meio de problematizações. *Revista Insignare Scientia*, v. 4, n. 3, p. 542-562, 2021.

FUNNY. *Science vs Rose*. 2012. 1 fotografia. Disponível em: <<https://9gag.com/gag/3887564>>. Acesso em: 14 jun. 2021.

GOLIN, V.; SCHWARZWALDER, S.; BEDRIKOW, R.; PEREIRA, A. C.; MELHADO, V. E. R.; SALLES, M. J. C.; AZEVEDO, P. R. C. Hipotermia acidental em um país tropical. *Revista da Associação Médica Brasileira*, v. 49, n. 3, p. 261-265, 2003. doi: <<https://doi.org/10.1590/S0104-42302003000300028>>.

HAAS, L. *Um Navio para Recordar*. 2009. NR Titanic. Disponível em: <<https://nrtitanic.wordpress.com/2009/11/07/os-inqueritos/>>. Acesso em: 05 set. 2022.

LONDERO, L.; MOSINAHTI, G. A problematização da física de partículas elementares e o uso de notícias da imprensa. *Enseñanza de las ciencias*, n. Extra, p. 5255-5260, 2017.

LUZ, G. *Calor específico do corpo humano*. 2021. Gelson Luz: Blog materiais. Disponível em: <<https://www.materiais.gelsonluz.com/2018/09/calor-especifico-do-corpo-humano.html>>. Acesso em: 15 jun. 2021.

MAYO, J. *Titanic: Minuto a minuto*. 1. ed. São Paulo: Vestígio, 2017. ISBN 978-85-8286-324-4.

MERIZIO, A. D.; CLEMENT, L. Uso de tecnologias móveis sob uma perspectiva investigativa em aulas de física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 38, n. 3, p. 1453-1477, 2021. doi: <<https://doi.org/10.5007/2175-7941.2021.e76703>>.

MOURA, F. A.; SILVA, R. O ensino de física por investigação: A socioconstrução do conhecimento para medir a aceleração gravitacional. *Research, Society And Development*, v. 8, n. 3, p. 01-12, 2019. <<https://doi.org/10.33448/rsd-v8i3.771>>.

OLIVEIRA, B. J. Cinema e imaginário científico. *História, ciências, saúde* v. 13 (suplemento), p. 133-150, 2006.

OLIVEIRA, L. D. Titanic, Jack, Rose e o princípio de Arquimedes. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 29, n. 2, p. 283-288, 2012. <<https://doi.org/10.5007/2175-7941.2012v29n2p283>>.

OLIVEIRA, V.; ARAÚJO, I. S.; VEIT, E. A. Resolução de problemas abertos como um processo de modelagem didático-científica no ensino de física. *Revista Brasileira de Ensino de*

Física, v. 42, 2020. <<https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0043>>.

RAIBOLT, B.; HASTENREITER, R. S. C.; RODRIGUES, F. N. Problematização como base para construção de atividades experimentais em aulas de ciências no ensino fundamental I: Conceitos iniciais de hidrostática. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, n. Extra, p. 1033-1040, 2017.

RAMIS, N. T. *Prevención y tratamiento de la hipotermia en los trabajadores de la Marine Mercante*. 109 f. Dissertação (Mestrado) UPC, Facultat de Nàutica de Barcelona, Departament de Ciència i Enginyeria Nàutiques, 2013. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/2099.1/17381>>. Acesso em: 08 jan. 2022.

RIBEIRO, B. S.; PIGOSSO, L. T.; PASTORIO, D. P. Implementação de metodologias ativas de ensino em uma turma de física básica: um estudo de caso. *Revista de Enseñanza de la Física*, v. 31, n. 2, p. 31-45, 2019.

RODRIGUES, R. S. R.; CARLOS, J. G. Estimando a temperatura da superfície do sol: um experimento, três enfoques. *Revista Caminho Aberto*, v. 6, n. 11, 2019. <<https://doi.org/10.35700/ca.2019.ano6n11.p15-24.2675>>.

SILVA, E. S.; ARAÚJO, A. A. V. R. Empuxo sobre um corpo imerso: uma investigação em contexto de aprendizagem ativa considerando o paradoxo hidrostático de Galileu. *Revista Prática Docente - Ciências da natureza e suas tecnologias*, v. 4, n. 1, p. 185-195, 2019. <<https://doi.org/10.23926/RPD.2526-2149.2019.v4.n1.p185-195.id366>>.

SILVA, J. A. Cinema e educação: o uso de filmes na escola. *Revista Intersaberes*, v. 9, n. 18, p. 361-373, 2014. <<https://doi.org/10.22169/revint.v9i18.642>>.

SOUZA, É. J. *Física forense na educação básica: uma proposta baseada na alfabetização científica*. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade Federal de São Paulo - Campus Diadema, Diadema, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.unifesp.br/handle/11600/54624>>. Acesso em: 11 jan. 2022.

SOUZA, É. J.; YOSHIMURA, M. T. S.; MATOS, P. A.; TESTONI, L. A. O jogo do perito: uma proposta investigativa para o ensino de ciências utilizando elementos de física forense. In: XI ENCONTRO DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS - XI ENPEC. Atas do XI ENPEC. Florianópolis, SC, 2017. p. 1-10.

SOUZA, P. L. P. *Balística: Física forense para o ensino de lançamento oblíquo*. 41 f. Monografia (Graduação em Física) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2018. Disponível em: <<https://app.uff.br/riuff/handle/1/11152>>. Acesso em: 05 ago. 2022.

TENÓRIO, T.; LEITE, R. M.; TENÓRIO, A. Séries televisivas de investigação criminal e o ensino de ciências: uma proposta educacional. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*,

v. 13, n. 1, p. 73-96, 2014.

TESTONI, L. A.; BROCKINGTON, G.; AZEVEDO, M. N.; LINARDI, P.; MARTORANO, S. A. A.; FERNANDES, R. Histórias em quadrinhos e argumentações em aulas de física. *Enseñanza de las ciencias*, n. Extra, p. 1465-1472, 2017.

THOMEN, D. M. N. *O Desastre do RMS Titanic*. 2015. GPET Física: Unicentro, PR. Disponível em: <<https://www3.unicentro.br/petfisica/2015/10/27/o-desastre-do-rms-titanic/>>. Acesso em: 07 jun. 2021.
