



DANIEL MENALI LOPES

**PROPOSIÇÃO DE UMA UNIDADE DIDÁTICA
MULTIESTRATÉGICA A PARTIR DE UM PROBLEMA DE
MECÂNICA NO ÂMBITO DA FÍSICA FORENSE**

LAVRAS-MG

2023

DANIEL MENALI LOPES

**PROPOSIÇÃO DE UMA UNIDADE DIDÁTICA MULTI ESTRATÉGICA
A PARTIR DE UM PROBLEMA DE MECÂNICA NO ÂMBITO DA
FÍSICA FORENSE**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Licenciatura em Física, para a obtenção do título de Licenciado.

Prof. Dr. Antonio dos Anjos Pinheiro da Silva

Orientador

**LAVRAS-MG
2023**

DANIEL MENALI LOPES

**PROPOSIÇÃO DE UMA UNIDADE DIDÁTICA MULTI ESTRATÉGICA A PARTIR
DE UM PROBLEMA DE MECÂNICA NO ÂMBITO DA FÍSICA FORENSE**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Licenciatura em Física, para a obtenção do título de Licenciado.

APROVADA em 12 de Dezembro de 2023.

Dr. Antônio Marcelo Martins Maciel ICET - UFLA
Dr. Helena Libardi ICET - UFLA

Prof. Dr. Antonio dos Anjos Pinheiro da Silva
Orientador

**LAVRAS - MG
2023**

Em memória de Antônio Lopes da Silva e César Alencar de Souza.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, que não mediu esforços para a realização do sonho de cursar o ensino superior.

Agradeço aos meus amigos que não me abandonaram durante o trajeto, me dando suporte nos momentos de dificuldades.

Agradeço ao meu orientador, à banca e à todos os professores que participaram da minha formação acadêmica.

Se eu vi mais longe, foi por estar no ombro de gigantes.

(Isaac Newton)

RESUMO

Este trabalho consiste na elaboração de uma Unidade Didática Multiestratégica (UDM) baseada na resolução de um problema de mecânica, a partir da proposição e apresentação de um problema no âmbito da física forense. Com o advento da mídia no formato de séries e filmes, a física forense tem em anos recentes, alcançado popularidade ascendente, podendo assim desempenhar o papel de motivador para os alunos na construção do conhecimento. A unidade didática aqui proposta parte de um problema inicial na qual os alunos desenvolvem as atividades a eles atribuídas, agindo como se fossem peritos criminais, utilizando os conteúdos da mecânica, em especial, de cinemática, quantidade de movimento e conservação da energia. O trabalho foi finalizado na forma de uma proposta de UD que não foi desenvolvida com um público alvo, entretanto ao longo da proposta, algumas orientações foram deixadas caso o professor tenha interesse em desenvolver a mesma em sua sala de aula.

Palavras-chave: Ensino de Física. Física Forense. Unidade didática.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Estrutura de tarefas da UDM.....	16
Figura 02 - Representação de eixos para análise de posição de uma partícula.....	23
Figura 03 - Associação de vetores unitários ortogonais para localização de uma partícula.....	23
Figura 04 - Carro na posição de origem dos referenciais.....	24
Figura 05 - Carro na posição X em um instante t.....	24
Figura 06 - Esfera com a energia mecânica igual à energia potencial gravitacional.....	25
Figura 06 - Esfera com a energia mecânica igual à energia cinética.....	25
Figura 07 - Prédio onde ocorreu o caso.....	32
Figura 08 - Figura para solicitar aos estudante que trace a trajetória do corpo, possibilitando analisar possíveis concepções alternativas relacionadas à cinemática.....	35
Figura 09 - Figura para solicitar aos estudantes trace uma nova trajetória, porém, agora com maior velocidade inicial, solicitando também o local da colisão com o solo.....	36
Figura 10 - Corpo no momento do lançamento com velocidade do empurrão.....	39
Figura 11 - Corpo no momento do lançamento com velocidade do possível acidente.....	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 - Tarefas, descrições e procedimentos da UDM..... 17

LISTA DE SIGLAS

UDM Unidade Didática Multiestratégica

UD Unidade Didática

CSI Crime Scene Investigation

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. ATIVIDADES INVESTIGATIVAS, FÍSICA FORENSE E ENSINO DE FÍSICA.....	13
3. METODOLOGIA.....	16
4. ENTREVISTA COM PERITO FORENSE.....	20
5. ELABORAÇÃO DA UNIDADE DIDÁTICA MULTIESTRATÉGICA (UDM).....	22
5.1. Primeira Tarefa.....	22
5.2. Segunda Tarefa.....	22
5.3. Terceira Tarefa.....	27
5.4. Quarta Tarefa.....	28
5.5. Quinta Tarefa.....	29
5.6. Sexta Tarefa.....	29
5.7. Sétima Tarefa.....	29
6. UNIDADE DIDÁTICA.....	31
6.1 Primeira aula - O que aconteceu com Gervásio?.....	31
6.2 Segunda Aula - Definindo a natureza do caso.....	33
6.3 Terceira aula - Um auxílio do legista.....	36
6.4 Quarta aula - Solucionando o caso.....	38
6.5 Quinta aula - Apresentando o laudo pericial.....	40
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
8. REFERÊNCIAS.....	43

1. INTRODUÇÃO

Sou Daniel Menali Lopes, nascido na cidade de Boa Esperança, Minas Gerais e, inicialmente, quero tecer considerações a respeito de minha trajetória acadêmica, escolhas e motivações. O curso de Licenciatura em Física foi o escolhido durante os anos do meu ensino médio devido a uma grande familiaridade pelos conteúdos abordados durante esse período e um entusiasmo em ministrar aulas, influenciado sempre pelos professores. Durante o ensino superior, tenho obtido um grande êxito no que se refere à realização pessoal de cursar uma graduação, com a qual me identifico, além de todo ciclo familiar de amigos e colegas e professores do curso que incansavelmente me apoiam, sempre que preciso. Considero que essas são as minhas motivações para a conclusão deste trabalho.

O objetivo deste trabalho consiste na elaboração de uma unidade didática multiestratégica baseada na resolução de problemas. Para a elaboração da unidade didática, foi construído um problema, cujo enredo poderia ser característico da área da física forense. Neste contexto, os estudantes desenvolvem as etapas do problema como se fossem peritos criminais e investigam uma situação em que necessitam dos conhecimentos de física para abordar, analisar, compreender e fazer juízo de uma determinada situação sob investigação.

O ensino por investigação, em particular a resolução de problemas, é parte fundamental para a construção do conhecimento. Para isso, podemos evidenciar que, de maneira geral, as atividades tradicionalmente desenvolvidas no ensino de física são repetitivas e envolvem memorização conceitual e aplicações diretas de equações (CLEMENT e TERRAZZAN, 2012).

Portanto, no presente trabalho foi elaborado um problema contextualizado com caráter investigativo no âmbito da física forense, no qual os estudantes podem ser protagonistas, agindo como peritos para analisar uma cena de um crime propondo solução para o problema, utilizando conceitos físicos e com a missão de apresentar um laudo final com suas conclusões e ferramentas utilizadas.

O trabalho foi elaborado pensando em ser desenvolvido em um contexto de aplicação dos conhecimentos. No entanto, não há restrições de desenvolvimento em diferentes contextos de ensino, pois a unidade pode ser adaptada para introdução de conceitos de cinemática e conservação de energia no ensino médio.

Justificamos a escolha do problema, que poderia ser abordado no contexto da física forense, acreditando no caráter investigativo das ciências forenses e que a partir da mesma, é possível desenvolver conteúdos da física. Esta tomada de decisão, pode auxiliar na aprendizagem de conceitos a partir de situações baseadas na realidade, pois trata-se de uma

área popular dentro das ciências segundo Pizzi (2013), o caráter investigativo tem a potencialidade de estimular os alunos a participarem ativamente do processo de ensino e aprendizagem. Com isso, a escolha do tema e da elaboração da unidade didática leva em questão a popularidade presente em algumas investigações criminais nas quais exalta-se a importância das análises físicas para solução de diversos casos.

Assim, o presente trabalho está estruturado em capítulos. No capítulo três, apresentamos um referencial teórico de atividades investigativas no ensino de física e a física forense como possibilidade de problematização. No quarto capítulo descrevemos sobre uma entrevista, com um perito forense. Nesta entrevista foram discutidas as potencialidades de elaboração de uma unidade didática que abordasse os conceitos de mecânica, que de uma forma recorrente aparece nas abordagens investigativas da física forense. No quinto capítulo apresentamos a elaboração e fundamentação do conteúdo científico e metodológico para a construção da unidade didática, juntamente com as estratégias para o desenvolvimento das aulas. E finalmente, no sexto capítulo, estão as considerações finais do trabalho.

2. ATIVIDADES INVESTIGATIVAS, FÍSICA FORENSE E ENSINO DE FÍSICA

Reconhecemos que no ensino de física é necessário que o conteúdo seja abordado de maneira contextualizada com a realidade instigando a participação ativa dos alunos durante o processo de ensino e aprendizagem. Contudo, segundo Clement e Terrazzan (2012), em geral, o ensino configura-se através de um distanciamento entre os trabalhos desenvolvidos no contexto escolar e a realidade.

Com isso, é recomendável propor mudanças e alternativas para unir esses pólos, construindo, por exemplo, atividades investigativas. Isto é especificamente o que é feito neste trabalho, a resolução de problemas, objetivando uma efetividade da compreensão dos conteúdos abordados.

Segundo Clement e Terrazzan (2012), devemos fazer uma separação entre a resolução de problemas e exercícios. A resolução de problemas fundamenta-se em uma contextualização aberta na qual os alunos realizam uma investigação para desenvolver as ações de aprendizagem e aplicação, nas quais eles envolvem-se com a atividade convencendo que há um problema a ser resolvido, exaltando a capacidade de autonomia dos estudantes para resolverem situações do cotidiano. A resolução de exercícios consiste em uma aplicação nas quais os alunos memorizam algoritmos e ações ensinadas pelo professor para situações apresentadas, fundamentado na crença de que o ensino pode ser transmitido de forma verbal e ser assimilado pelos alunos.

É evidente que não devemos subordinar a utilização de exercícios em sala de aula, pois, é importante para que os estudantes pratiquem determinados conceitos e habilidades de ações para resolver determinadas situações solicitadas pelo professor.

No ensino de física, de maneira geral, a resolução de exercícios é predominante, sendo que os exercícios trabalhados em sala de aula não enquadram na definição de problemas, sendo comum o fracasso dos alunos ao depararem com situações ligeiramente diferentes daquelas apresentadas pelo professor. Segundo Azevedo (2004):

A experimentação baseada na resolução de problemas não é suficiente para a descoberta de uma lei física, tampouco achamos necessário que o aluno passe por todas as etapas do processo de resolução de maneira autônoma, mas que, com base nos conhecimentos que os alunos já possuem do seu contato cotidiano com o mundo, o problema proposto e a atividade criada a partir dele venham despertar o interesse do aluno, estimular sua participação, apresentar uma questão que possa ser o ponto de partida para a construção do conhecimento, gerar discussões e levar o aluno a participar das etapas da construção do problema. (AZEVEDO, 2004, pág. 22).

A definição de um problema está condicionado à aceitação dos estudantes, tornando-se a definição de problema algo subjetivo. Segundo Peduzzi (1997):

Deste modo, a distinção entre problema e exercício é bastante sutil, não devendo ser especificada em termos absolutos. Ela é função do indivíduo (de seus conhecimentos, da sua experiência, etc.) e da tarefa que a ele se apresenta. Assim, enquanto uma determinada situação pode representar um problema genuíno para uma pessoa, para outra ela pode se constituir em um mero exercício. (PEDUZZI, 1997)

Partindo de situações vivenciais e temas populares dentro de determinados contextos, é possível a elaboração de um problema que o professor pode desenvolver em sala de aula. Destacando a importância da contextualização em situações vivenciais, a física forense surge como uma possibilidade de abordagem devido a popularidade das ciências forenses e devido à situações pertinentes do cotidiano nas quais são necessárias uma leitura científica dos problemas.

Segundo Dias Filho e Antedomenico (2010), a comparação entre as ciências forenses e o desenvolvimento da biologia no século XX com a divulgação do sucesso da primeira clonagem de um mamífero, a famosa ovelha Dolly, resultou numa popularização da ciência, em específico explorando a divulgação científica através de temas associados à clonagem. Seguindo esse raciocínio, o sucesso das ciências forenses deve-se à ampla divulgação das séries policiais investigativas, tais como *CSI*, *Cold Case* e *Crossing Jordan*, gerando um “efeito Dolly” popularizando as investigações criminais.

Logo, a ideia da popularização das ciências forenses pode surgir como ferramenta para um ensino investigativo baseado na resolução de problemas, na qual os estudantes fazem o papel de investigadores e procuram a solução de um determinado caso por meio de leis físicas. A contextualização e a resolução de problemas é uma ferramenta importante para o ensino de física pois motiva o aluno a desenvolver o processo de aprendizagem. Segundo Azevedo (2004):

Para que uma atividade possa ser considerada uma atividade de investigação, a ação do aluno não deve se limitar apenas no trabalho de manipulação ou observação, ela também deve conter características de um trabalho científico: o aluno deve refletir, discutir, explicar, relatar, o que dará ao seu trabalho características de uma investigação científica. (AZEVEDO, 2004, p.21)

Para uma verificação de potencialidades de desenvolvimento da física forense para o ensino de física, analisamos o estudo de Souza et al. (2023), que caracteriza as produções em cinco categorias, sendo elas: Acidentes de trânsito, balística, desenvolvimento de software, física forense como tema secundário e interdisciplinar.

Dentro da categoria de acidentes de trânsito, os professores buscaram evidenciar conceitos de conservação de momento e análises de colisões. Na balística, os estudos são direcionados para o estudo de lançamento oblíquo de projéteis de arma de fogo estudando conceitos de cinemática para investigar sua trajetória. Na terceira categoria, é o

desenvolvimento de softwares, os quais são destinados para análises de colisões em acidentes de trânsito. Na quarta categoria, a física forense aparece como tema secundário, no qual, os autores citam aplicações da física dentro das ciências forenses mas não estão relacionadas com os objetivos principais das propostas. A última categoria é a interdisciplinaridade, na qual as ciências forenses extrapolam as barreiras entre as disciplinas de química, física, biologia e matemática.

De maneira geral, Souza et al. (2023) identifica que os trabalhos relacionados à física forense e ensino de física foram pouco explorados e que não há continuidades de pesquisas nesta área para que hajam estudos aprofundados e aplicações, resultando em propostas baseadas em repetições práticas de outros autores. Contudo, a área possibilita novas pesquisas e propostas para serem exploradas.

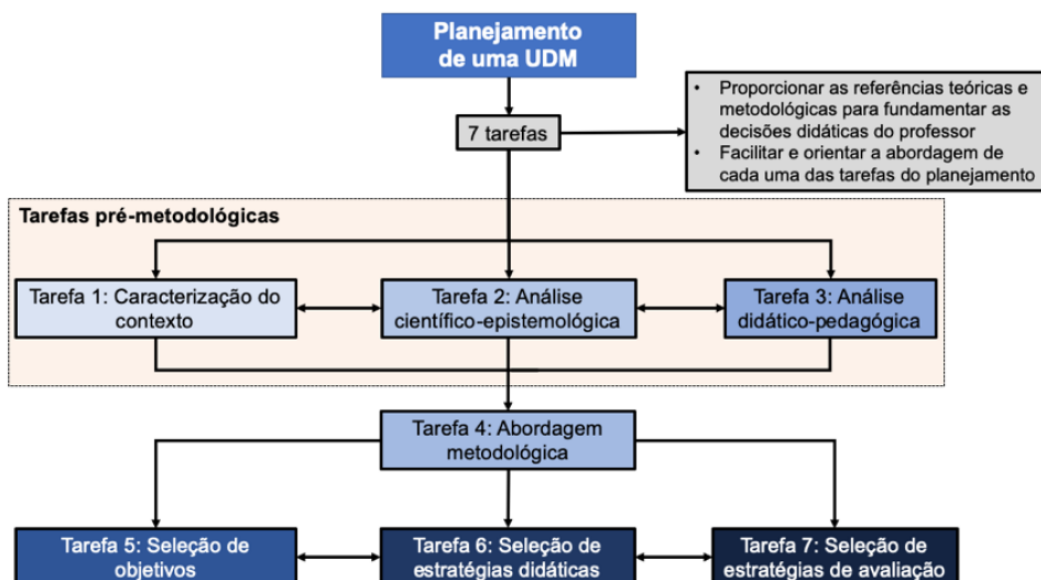
3. METODOLOGIA

De maneira introdutória nesta etapa do trabalho, destaco que o interesse na área da física forense é antigo, desde que acompanhava a série *CSI: Investigação Criminal*. Contudo, para o desenvolvimento do trabalho, o conhecimento era incipiente. Por esse motivo, contatamos um perito forense para analisar as possibilidades e potencialidades de trabalhar conteúdos de mecânica dentro de uma investigação criminal. Com isso, foi realizada uma entrevista com o objetivo de elencar as possibilidades para a elaboração de problemas no âmbito da física forense.

Para o planejamento da UD baseamos na modelagem de Unidades Didáticas Multiestratégicas com o intuito de promover um ensino de qualidade que atenda às singularidades presentes no contexto desenvolvido (BEGO, 2016). A escolha das UDMs para a elaboração da proposta de ensino é engajada na ideia de que não é com atividades pontuais que se constrói o conhecimento, mas sim através de uma elaboração metodológica e pedagogicamente fundamentada em um processo crítico.

Seguindo na ideia das UDMs, o planejamento é baseado em sete tarefas, organizadas no seguinte quadro:

Figura 01 - Estrutura de tarefas da UDM.



Fonte: Bego (2016).

As tarefas pré-metodológicas são a caracterização do contexto, análise científico-epistemológica e a análise didático-pedagógica. A primeira tarefa é a caracterização do contexto escolar no qual a unidade didática será desenvolvida, considerando a caracterização da turma, dos estudantes e da unidade escolar. Na segunda tarefa está presente a escolha do conteúdo, a análise histórica de como o conteúdo se estabeleceu e desenvolveu-se como ciência e a definição conceitual dos principais elementos. Na terceira tarefa está presente o levantamento de concepções prévias através de pesquisas na literatura, delimitar os obstáculos e explicitar as implicações para o ensino.

A quarta tarefa é a escolha da metodologia adotada para o desenvolvimento da Unidade Didática, no caso deste trabalho a escolha da resolução de problemas, explicitando a metodologia e delimitando a atuação do professor e dos estudantes durante o processo de ensino e aprendizagem.

Posteriormente à tarefa de escolha de metodologia, a quinta, sexta e sétima tarefa são a proposição dos objetivos, seleção das estratégias didáticas e seleção das estratégias de avaliação, respectivamente. Na quinta tarefa consiste a definição dos objetivos da unidade didática, considerando os aspectos investigados nas demais tarefas. Na sexta tarefa está a elaboração global da unidade didática, considerando os recursos didáticos, materiais e as estratégias didáticas. Na sétima e última tarefa é determinar o conteúdo de avaliação e métodos de coleta de informações para análises do processo de ensino-aprendizagem.

A estrutura de elaboração da UDM pode ser verificada por meio do Quadro 5.1, que sistematiza e evidencia as tarefas, descrições e procedimentos da UDM.

Quadro 3.1 - Tarefas, descrições e procedimentos da UDM.

Tarefa	Descrição	Procedimentos
Caracterização do contexto	<ul style="list-style-type: none"> - Racionalização do contexto de atuação. - Identificação de condicionantes para a prática pedagógica. - Identificação de problemas práticos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Caracterização da unidade escolar. 2) Caracterização da turma. 3) Caracterização dos estudantes
Análise científico epistemológica	<ul style="list-style-type: none"> - Estruturação dos conteúdos de ensino. - Atualização científica do professor. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Selecionar os conteúdos. 2) Identificar o perfil histórico conceitual dos conteúdos principais.

Análise didático pedagógica	<ul style="list-style-type: none"> - Delimitação dos condicionantes de aprendizagem: adequação ao estudante 	<ol style="list-style-type: none"> 3) Definir o esquema conceitual da unidade. 1) Levantamento de concepções prévias. 2) Delimitar obstáculos epistemológicos 3) Explicitar as implicações para o ensino
Abordagem metodológica	<ul style="list-style-type: none"> - Conscientização sobre a concepção de ensino e aprendizagem a ser adotada. - Explicitação de uma visão de ciência. - Definição dos propósitos e expectativas para o ensino de física 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Explicitar os princípios metodológicos da abordagem adotada. 2) Delimitar os papéis desempenhados pelo professor e alunos no processo de ensino e aprendizagem. 3) Definir a finalidade do ensino de física na educação formal. 4) Descrever a visão de ciência e as implicações para o ensino.
Proposição dos objetivos	<ul style="list-style-type: none"> - Reflexão sobre os potenciais aprendizados dos alunos. - Estabelecimento de referências para o ensino e avaliação. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Considerar conjuntamente as tarefas de 1 a 5. 2) Definir e delimitar as prioridades e hierarquizá-las.
Seleção das estratégias didáticas	<ul style="list-style-type: none"> - Determinação das estratégias e da sua melhor forma de sua estruturação e sequenciamento. - Determinação de tarefas a realizar pelo professor e estudantes. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Considerar a abordagem metodológica e os objetivos de aprendizagem delimitados. 2) Planejar a sequência global de ensino. 3) Selecionar estratégias didáticas. 4) Elaborar materiais de aprendizagem. 5) Prever recursos didáticos necessários.

Seleção de estratégias de avaliação.	<ul style="list-style-type: none">- Avaliação da aprendizagem dos alunos.- Referências para o reajuste e reorganizações do processo de ensino.- Avaliação da própria UDM	<ol style="list-style-type: none">1) Determinar o conteúdo da avaliação.2) Determinar atividades e momentos de atividades devolutivas para os estudantes.3) Planejar instrumentos de coleta de informações sobre o processo de ensino aprendizagem.
--------------------------------------	--	---

Fonte: Bego (2016) adaptada para o ensino de física.

4. ENTREVISTA COM PERITO FORENSE

A realização da entrevista com o perito forense foi baseada em um questionário elaborado com questões de apontamento para as discussões, nas quais o entrevistado tem a liberdade de expor narrativas sobre suas experiências. As questões norteadoras foram:

1. Comente sobre a amplitude da ciência forense. É possível a partir dessa amplitude usá-la como motivação na abordagem e construção de conceitos de física? Poderia mencionar algum exemplo?
2. O ensino de física é normalmente baseado em modelos, com muitas simplificações em relação ao sistema real. Como você avalia esse tipo de abordagem, considerando os problemas reais que enfrenta em sua profissão?
3. No domínio da mecânica newtoniana, quais seriam situações possíveis, no âmbito das ciências forenses, para abordar conceitos de cinemática, dinâmica e conservação de energia?

A entrevista foi realizada no dia 05 de setembro de 2022, às 21 horas, horário de Brasília, de forma virtual através da plataforma *Google Meet*. O entrevistado foi o físico, perito forense do estado de São Paulo e professor de ciências forenses Adilson Pereira. A entrevista foi gravada por meio do gravador do *Google Meet* para a transcrição das respostas do perito, apresentadas a seguir:

1. Quando analisamos qualquer ato relacionado à perícia e da criminalística, notamos que a abrangência é possível trabalhar de maneira multidisciplinar e transdisciplinar. Por exemplo, analisando uma gota de sangue, podemos precisar de um físico, de um químico e um biólogo, pois, podemos analisar questões de energia e projeção de movimentos de gotas de sangue, análise genética do DNA do sangue e a composição química deste. Apresentando a característica de abranger diferentes ciências em um mesmo problema.
2. Voltando à questão do sangue, por exemplo. Cada superfície na qual fazemos a análise temos um determinado tipo de material e propriedades, ou seja, há uma margem de erro nas quais devem ser consideradas. Logo, ao fazer essa abordagem, devemos analisar a situação e chegar o mais próximo possível de forma a analisar uma mínima e uma máxima situação possível. Mesmo que com muitos testes, a margem de erro costuma ser grande, porém, mesmo com

grandes erros e com amostras únicas o erro é conclusivo. Por exemplo um acidente de trânsito com uma única amostra, por não ser possível trabalhar situações iguais no laboratório, uma situação poderia ter 20% de margem de erro, porém, para um carro que estava em 100km/h em uma pista na qual o limite de velocidade é 80km/h, o erro ainda consegue colaborar com a justiça.

3. A questão mais simples é a queda de um corpo, analisando as velocidades, energias e o ângulo da queda, dando subsídios para o legista analisar os ferimentos se são condizentes ou não com a quantidade de movimento e impacto com o chão. Como exemplo, no caso da Isabella Nardoni foi feito o cálculo da velocidade final e a quantidade de movimento, comparando os ferimentos do corpo e verificando que havia ferimentos de pequeno porte que não seriam possíveis somente com a queda, fazendo com que os peritos voltassem à cena do crime para fazer análises de um possível empurrão ou confronto físico.

A entrevista levantou alguns aspectos que influenciaram diretamente na construção da unidade didática, dentre eles a dificuldade de trabalhar com a física forense pois esta abre margem para uma grande propagação de erros experimentais devido à complexidade do sistema e direcionou a problematização para uma análise de queda de corpos por ser uma situação mais “simples” de ser analisada.

O impacto para o planejamento da UD foi uma simplificação do sistema, direcionando para uma análise comparativa entre duas diferentes situações, na qual uma acusa um personagem e outra inocenta-o, cabendo ao professor organizar a dinâmica proposta neste trabalho.

5. ELABORAÇÃO DA UNIDADE DIDÁTICA MULTIESTRATÉGICA (UDM)

5.1. Primeira Tarefa

A primeira etapa consiste na investigação acerca do contexto escolar para um ensino conexo com as condições socioeconômicas e estruturais dos estudantes, considerando os aspectos relevantes para o desenvolvimento da proposta. Todavia, como a proposta não foi desenvolvida, a caracterização do contexto escolar fica à cargo do professor que desejar desenvolver a UD.

5.2. Segunda Tarefa

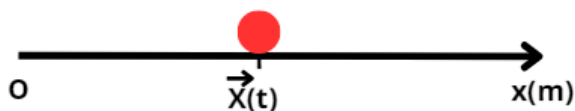
A segunda tarefa é a análise científico-epistemológica do conteúdo da sequência didática. Nessa segunda etapa, apresentamos os pré-requisitos essenciais para o desenvolvimento da unidade didática; os conteúdos conceituais e como eles se relacionam dentro dos conceitos científicos ensinados na UD, ressaltando os aspectos fenomenológicos, teóricos e representacionais; e o desenvolvimento histórico do conteúdo trabalhado, trabalhando a ciência como uma construção humana, avaliando conceitos, filosofias e limitações (BEGO, 2016).

Os pré-requisitos essenciais são o conteúdo de cinemática e lançamento oblíquo e conservação de energia mecânica. Com isso, a unidade não foi elaborada com o intuito de apresentação desses conceitos de mecânica, mas sim para uma aplicação e investigação do conteúdo para solução de um problema, contribuindo para a apropriação e ampliação dos conhecimentos.

No âmbito fenomenológico, a análise do movimento é um problema fundamental na física (NUSSENZVEIG, 2013). De forma inicial, podemos tratá-lo desconsiderando as causas para se produzir uma dada situação física, focando a análise na descrição do movimento.

Para determinada análise, devemos inicialmente definir eixos a partir de um referencial de origem que, no caso de um movimento unidimensional, podemos associar a posição de um corpo a partir de um eixo (representado na Figura 02 como x). A posição pode ser definida através de uma função $X(t)$ que localiza o corpo em uma posição num determinado instante de tempo (t). Como exemplo, podemos analisar a posição de um corpo em coordenadas unidimensionais para evidenciar o evento de uma esfera em uma determinada posição no instante de tempo t .

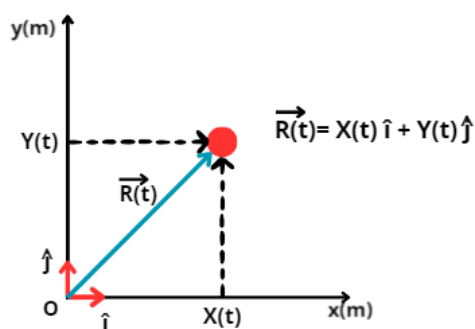
Figura 02 - Representação de eixos para análise de posição de uma partícula.



Fonte: Do autor.

Podemos associar ao sistema a definição de vetores unitários (vetores de módulo igual à uma unidade para representar sentido e direção) para representar eixos de coordenadas. Generalizando em vetores ortogonais, podemos analisar casos de duas ou mais dimensões, nas quais partículas que descrevem movimentos bi ou tridimensionais possam ser localizadas através de associação dos vetores unitários.

Figura 03 - Associação de vetores unitários ortogonais para localização de uma partícula.



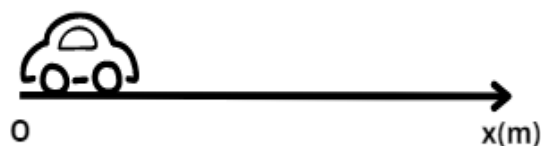
Fonte: Do autor.

Para entendimento dos fenômenos relacionados ao movimento dos corpos, podemos associar três grandezas: a trajetória, a velocidade e a aceleração de uma partícula.

Podemos definir a trajetória como o conjunto de posições que uma partícula ocupa em um determinado intervalo de tempo. Para a representação de trajetórias, podemos associar um vetor $\mathbf{r}(t)$ no qual associa a posição de uma partícula em cada instante de tempo.

Definindo os referenciais, a noção de movimento está relacionada com o conceito de velocidade de um corpo. Como exemplo, podemos apresentar um carro que encontra-se em um tempo inicial na posição definida na origem:

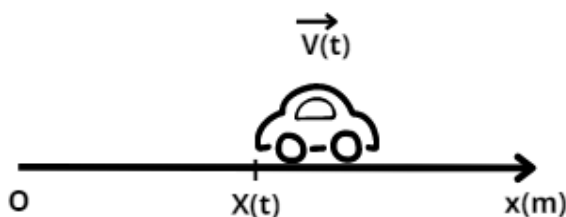
Figura 04 - Carro na posição de origem dos referenciais.



Fonte: Do autor.

Conforme a escala de tempo avança, se o carro estiver em movimento, podemos analisar que a posição do carro em relação ao eixo de referência é alterada:

Figura 05 - Carro na posição X em um instante t.



Fonte: Do autor.

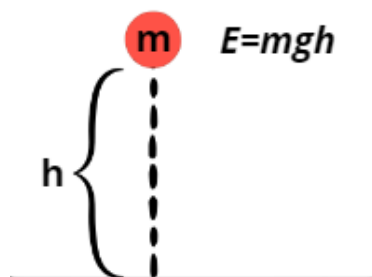
Como observado no exemplo, em um instante inicial o carro encontra-se na posição de origem definida no eixo de coordenadas. Conforme a escala de tempo avança, a posição do carro varia, definimos a variação da posição em função do tempo como velocidade.

De maneira similar, podemos analisar um carro que encontra-se parado em repouso em uma determinada posição, o carro pode iniciar um movimento alterando sua velocidade. Definimos então a variação da velocidade durante um intervalo de tempo como aceleração.

Para o desenvolvimento deste trabalho e da unidade didática, é fundamental a compreensão desses conceitos para a análise do movimento de lançamento de projéteis, no qual, associa-se movimentos em duas dimensões. No caso deste trabalho, o movimento no eixo x é retilíneo e uniforme e no eixo y retilíneo uniformemente acelerado. Associando as duas componentes, verificamos que o corpo descreve uma trajetória parabólica.

Outra forma de fazer a análise da velocidade de um sistema é através da conservação da energia mecânica. Como exemplo, podemos analisar uma esfera com massa “m” parada e suspensa em uma altura “h”. A energia mecânica do sistema é a energia potencial gravitacional, pois a esfera não possui velocidade:

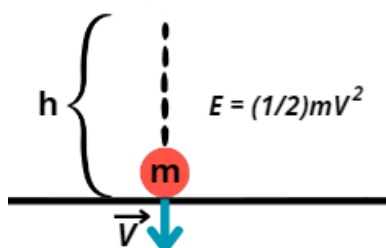
Figura 06 - Esfera com a energia mecânica igual à energia potencial gravitacional.



Fonte: Do autor.

Ao abandonarmos a esfera, ela adquire velocidade devido à interação gravitacional. Com isso, a energia potencial gravitacional é convertida em energia cinética e a energia mecânica do sistema, por ser conservada, mantém-se igual à energia “E” inicial, de forma que no momento da colisão da esfera com o solo (altura igual a zero) a energia mecânica do sistema é toda convertida em energia cinética:

Figura 06 - Esfera com a energia mecânica igual à energia cinética.



Fonte: Do autor.

A última etapa da segunda tarefa para a UDM é analisar como a mecânica desenvolveu-se historicamente estabelecendo-se como uma ciência.

Como ponto de partida, o conhecimento da mecânica e do movimento está presente desde civilizações pré-históricas nos momentos que os humanos aproveitaram de descobertas para a utilização de máquinas simples, como as alavancas, balança, roda ou parafuso. Porém, como o foco do trabalho não é a análise histórica de uma área tão ampla

quanto a mecânica, destacamos três personagens históricos que destacamos como primordiais para a formalização de uma ciência: Aristóteles, Galileu e Newton.

Na Grécia antiga, Aristóteles fez análises e proposições importantes para o pontapé do estudo da mecânica através dos movimentos “naturais” e “violentos”. Para Aristóteles, cada corpo pertencia a um lugar “natural”, com isso, os movimentos naturais são definidos como uma tendência natural (GILBERT, 1982). Como exemplo, um cachorro movimenta-se no sentido de um osso para abocanhá-lo, não o osso corre para o cachorro, dando a ideia de que o movimento não é relativo.

Logo, construindo essa análise, podemos verificar uma esfera que ao ser abandonada cai em queda livre pois é seu movimento natural. O movimento “violento” seria a ação realizada por algum fator que força os corpos a saírem do seu estado natural, como exemplo alguém levantando a esfera até determinada altura antes desta ser abandonada.

Vale ressaltar que Aristóteles não matematizou a mecânica proposta, mas sua análise serviu de base para diversos cientistas elaborarem ferramentas para análises da física aristotélica.

Avançando para o século XV, Galileu Galilei fez importantes contribuições para a mecânica, apresentando os princípios mais fundamentais de relatividade e do princípio da inércia (GILBERT, 1982). Galileu apresentou estudos experimentais sobre a queda dos corpos, propondo que a velocidade cresce conforme avançam-se os espaços.

Com essa proposta, Galileu definiu que a velocidade é proporcional ao tempo em uma queda livre, apresentando o conceito de aceleração, resultado bastante interessante considerando a falta de equipamentos para medições experimentais precisas.

Outra contribuição importante é o teorema de composição de velocidades, apresentando de maneira implícita o conceito de inércia dos corpos e a relatividade dos movimentos. Por meio da composição velocidade, dois corpos distintos com velocidades relativas entre eles podem ser analisados de maneira precisa em limites clássicos e, quando os corpos estão em referenciais inerciais, podemos ter a ideia inicial do conceito de inércia.

Avançando até o século XVII, chegamos em Isaac Newton com importantes contribuições para a óptica, cálculo diferencial e integral e a mecânica dos corpos. Baseando-se em geometria, Newton propôs uma mecânica utilizando as ferramentas do cálculo diferencial integral, formalizando os conceitos de aceleração, velocidade e posição geometricamente.

Newton formalizou também as ideias implícitas de Galileu de inércia e da geometria relativa do movimento, propondo a formalização do conceito de força como uma

variação em um determinado intervalo de tempo do momento linear de uma partícula, definindo também o tempo e espaço absoluto.

Outra contribuição importante de Newton para este trabalho é a formalização da gravitação universal, baseada nos estudos do modelo heliocêntrico e medidas do sistema solar realizadas por cientistas. A importância desta análise fundamenta o que conhecemos como gravidade, justificando a queda dos corpos.

5.3. Terceira Tarefa

A terceira tarefa consiste na análise didático-pedagógica, desenvolvida através de pesquisas na literatura, identificando concepções alternativas, obstáculos epistemológicos e a implicação do conteúdo na UDM (BEGO, 2016).

A física tem dificuldades particulares em relação às outras áreas do conhecimento devido às concepções alternativas, vinculadas com o senso comum. É difícil definir as causas para a dificuldade do entendimento da física, mas podemos analisar questões vinculadas com as concepções alternativas enraizadas nos estudantes para descrever fenômenos.

No âmbito da mecânica, vamos restringir a pesquisa de concepções alternativas para a área da cinemática, podendo destacar a dissipação de ímpeto, movimento implicando em uma força ativa, a aceleração da gravidade aumenta quanto mais um objeto cai e objetos pesados caem mais rápido; concepções essas analisadas por Cruz Junior (2016), Fiolhais e Trindade (1998).

A teoria do ímpeto é baseada no movimento dividido em três fases. Na primeira fase, o ímpeto é maior que o peso do corpo, fazendo com que um projétil lançado descreva um movimento ganhando altura em relação ao solo. A segunda fase é que o ímpeto vai se dissipando, fazendo com que a velocidade do objeto comece a ser alterada pois o ímpeto é menor que o peso do corpo. Na última fase, esgotou-se o ímpeto e apenas o peso contribui para o sistema.

Outras ideias surgem sobre o movimento nas quais associam a força sendo proporcional ao movimento, implicando que, nessas concepções, encaixa-se a ideia de que a força está sempre ativa em um sistema em movimento e que a aceleração aumenta conforme a velocidade aumenta, explicações essas considerados errôneas pela mecânica newtoniana.

Elencar as concepções alternativas é importante para o ensino de física pois é papel do professor contribuir para um ensino-aprendizagem mais eficaz. Com isso, tendo em posse possíveis obstáculos, é evidente que o professor deve elaborar métodos para superação

dessas ideias alternativas. Como exemplo, podemos solicitar que os alunos desenhem a trajetória de um corpo durante um lançamento de projéteis e identifique as forças do sistema, a fim de identificar possíveis concepções.

5.4. Quarta Tarefa

A quarta tarefa consiste na escolha de uma abordagem metodológica para ser desenvolvida na Unidade Didática.

A metodologia pedagógica escolhida para a unidade didática é o método de Resolução de Problemas em seis etapas apresentados por Clement e Terrazan (2012) para desenvolver a dinâmica e favorecer os aspectos de investigação na sala de aula, sendo essas:

1. Análise qualitativa do problema: analisar qualitativamente o problema, fazendo uma “análise da cena de crime” e seus elementos relevantes.
2. Emissão de hipóteses e estabelecimento de estimativas das grandezas físicas: após a análise qualitativa, o próximo passo é a elaboração de hipóteses sobre como determinado fenômeno pode ter ocorrido. São hipóteses e estimativas de grandezas físicas que estão envolvidas no sistema da investigação, podendo ser interpretado como “dados” para a solução.
3. Elaboração de estratégias de resolução: tentativa de uma explicação global do problema, juntando as percepções do sistema em questão e fundamentos teóricos, permitindo que os alunos elaborem diferentes estratégias e contraste-se, tal como a previsão da velocidade final de um corpo utilizando ferramentas da cinemática ou conservação de energia mecânica.
4. Aplicação das estratégias de resolução: etapa na qual realiza-se a solução do problema propriamente dita, baseada nas estratégias da etapa anterior.
5. Análise dos resultados: objetiva contrastar e analisar as hipóteses emitidas, averiguando se as características do sistema condizem com a solução do problema.
6. Elaboração de síntese explicativa do processo de resolução praticado e a sinalização de novas situações problema: os alunos devem elaborar a síntese da resolução do problema e apresentar as etapas, hipóteses e soluções desenvolvidas durante as etapas, sendo apresentado um “laudo pericial” para a justiça sobre a conclusão de como ocorreu determinado fato.

5.5. Quinta Tarefa

A quinta etapa da construção da unidade didática é a seleção dos objetivos de aprendizagem. O professor, de maneira autoral, deve identificar os aspectos da unidade didática, o conteúdo, as orientações curriculares e sua análise científico epistemológica para propor os objetivos (BEGO, 2016). Com isso, os objetivos da unidade didática foram baseados na estrutura do processo cognitivo da taxonomia de Bloom revisada por Ferraz e Belhot (2010):

- Entender a relação entre altura, velocidade, aceleração e alcance da cinemática de lançamento de horizontal e como elas se relacionam.
- Analisar situações problemas relacionadas com a cinemática dos corpos, elencando fatores relevantes para o estabelecimento de hipóteses.
- Aplicar estratégias para solucionar problemas de cinemática utilizando equações e conceitos da cinemática e conservação de energia.

5.6. Sexta Tarefa

Durante a elaboração da unidade, diversas atividades foram adaptadas para que fossem adequadas com os estudantes, pois, é alto o nível de complexidade ao analisar situações da física aplicada com apenas uma amostra e diversas hipóteses para solução do caso. Com isso, as atividades foram direcionadas para a construção de uma história na qual analisa-se apenas duas possibilidades, podendo desenvolver conteúdos de cinemática e conservação de energia como estratégias para a solução do problema.

A estratégia central para a proposição da UD é a investigação de um problema que pode envolver duas possibilidades: assassinato ou acidente. Para isso, o sistema foi simplificado. Para fazer a análise do alcance do corpo, determinamos uma velocidade de lançamento inicial para caso tenha sido empurrado e uma velocidade para caso tenha sido um acidente. Logo, os alunos devem comparar as situações com o alcance do corpo e determinar a causa da tragédia.

5.7. Sétima Tarefa

A sétima tarefa é elaborar as estratégias de avaliação para o aprendizado dos estudantes e avaliação da unidade didática. Tendo em vista todo o processo desenvolvido durante as aulas, a avaliação pode ser elaborada de forma que considere a participação dos estudantes dentro dos grupos, aferindo frequência e interações dentro das atividades, e

avaliando o relatório final como trabalho apresentado e escrito, verificando se todas as etapas foram cumpridas e desenvolvidas de maneira satisfatória.

Durante todo o desenvolvimento das atividades da UD, os alunos produziram materiais para entregar ao professor. Esses materiais devem ser analisados de forma que, o professor avalie como apareceram as concepções alternativas na segunda aula e como os grupos desenvolveram as concepções para a apresentação do laudo na última aula.

Para avaliar as estratégias e hipóteses dos alunos para solucionar os problemas, o professor pode analisar os dados coletados dos alunos com as hipóteses levantadas durante as aulas e verificar se houve levantamento dos fatores relevantes dentro do sistema para o cálculo da velocidade final, quantidade de movimento e alcance do corpo e os resultados obtidos através dos cálculos.

6. UNIDADE DIDÁTICA

6.1 Primeira aula - O que aconteceu com Gervásio?

O professor pode iniciar a aula fazendo uma breve apresentação sobre o que designamos de física forense “A física forense é a área da física na qual está presente nas investigações forenses, desde a solução de crimes até o estudo de acidentes de trânsito”. Podem ser citadas séries de investigações criminais para exemplificar o trabalho dos peritos. Recomenda-se o professor evidenciar os aspectos importantes das ciências forenses para as aplicações da física.

Para auxílio dos professores e alunos que não conhecem a área da física forense, apresentamos que é a área da física na qual aplica-se princípios físicos contribuindo para investigações, resolvendo crimes ou fazendo a análise científica de circunstâncias que podem influenciar em aspectos legais. A área utiliza de princípios fundamentais da física, como a mecânica, óptica, termodinâmica e acústica para analisar eventos e definir a natureza de possíveis crimes.

Em um segundo momento, o professor divide a sala de aula em dois grupos e distribui uma folha de papel aos membros, contendo a problematização a ser resolvida, que apresento a seguir:

Um corpo estendido no chão!

Uma determinada empresa da construção civil tem, nos últimos anos, se destacado no mercado de projetos e edificações. Gestores, engenheiros, arquitetos, técnicos e funcionários orgulhosos ostentam seu papel relevante no sucesso da empresa. Foi durante uma festa comemorativa dos dez anos da empresa que o sinistro, abaixo descrito, aconteceu. O evento se desenrolava em um amplo salão de muitos ambientes com sacadas para um estacionamento, no quarto andar, com escadas que davam acesso ao terraço do prédio. Cerca de oitenta pessoas circulam nesse espaço em pequenos grupos aparentemente descontraídos naquele ambiente fraterno. Por volta da 1 hora da manhã, a festa prosseguia com cerca de quarenta pessoas, quando faltou energia elétrica no prédio por cerca de 10 minutos. Assim que a luz foi restabelecida alguns amigos deram falta de Gervásio, um experiente engenheiro com 52 anos de idade, um dos fundadores da empresa. Uma rápida busca foi realizada e Gervásio não foi encontrado no ambiente da festa e nem atendia o celular. Como ele não havia se despedido, um estranhamento tomou conta do grupo. Colegas ligaram para sua casa e familiares confirmaram que ele ainda não havia chegado. Passados 25 minutos, duas viaturas policiais e uma ambulância estacionaram no prédio. Todos desceram às pressas e o porteiro

informou que havia acionado a polícia pois havia um corpo de um homem no estacionamento do prédio, aparentemente já sem vida.

Figura 07 - Prédio onde ocorreu o caso.



Fonte: Imagem gerada por IA através do site Microsoft Bing

Orientações ao professor: Recomendamos que o professor faça com a turma a leitura da situação problema. Após a leitura, ele propõe que cada grupo poderia agir como um perito criminal tendo como tarefa global, a elaboração de um relatório técnico com laudo que poderia auxiliar na elucidação do caso: “O que aconteceu com Gervásio?”. Em um momento posterior o relatório pode ser encaminhado às autoridades competentes para as devidas providências.

Para o restante da primeira aula, o professor pode lançar algumas questões que podem servir de gatilho para o processo inicial investigativo dos grupos, por exemplo: Quem falou com Gervásio pela última vez? O que teria levado Gervásio a se dirigir ao terraço do prédio? Ele estava sozinho? Gervásio era fumante? Será que ele precisou atender algum telefonema de forma reservada? Ele sofria de alguma doença crônica, como hipertensão arterial e talvez tenha sentido algum mal estar e precisou respirar o ar fresco da noite? Com base nessas questões, cada grupo deve propor que especulações poderiam usar para responder

a essas questões, bem como pensar e propor outras possibilidades em torno da situação que a vítima estivesse envolvida naquele momento. Recomendamos que o professor peça aos grupos que registrem por escrito, seus apontamentos, estratégias e possíveis ações investigativas. Esta etapa pode ser intitulada como primeiros passos da investigação e pode ser entregue no início da aula seguinte. Assim os grupos terão tempo hábil para se reunir, em horário extra classe para discutir e produzir o material solicitado.

Vale destacar que, essas perguntas iniciais são feitas por detetives e não peritos. Contudo, essas perguntas dentro da UD servem para a construção do enredo, no qual o professor deve direcionar as discussões e especulações para uma situação factual, que Márvio (personagem hipotético) estava com Gervásio no momento da tragédia, indicando o principal suspeito a ser investigado, apontando o resultado através dos cálculos de cinemática no decorrer da UD.

6.2 Segunda Aula - Definindo a natureza do caso

Caro Professor, para o desenvolvimento da segunda aula pensamos em três momentos.

Primeiro momento: o professor mantém os grupos e solicita um representante para apresentar as especulações e ações elencadas pelo respectivo grupo referente aos primeiros passos da investigação. Cada grupo informa se no processo de investigação inicial fizeram uso das questões norteadoras ou se propuseram outras. Vale ressaltar que, essas questões são arbitrarias e não influenciam nos aspectos físicos do problema, mas podem ser relevantes para a elucidação do caso, compondo um pano de fundo para o desenvolvimento de um enredo em torno do problema. À medida que os grupos apresentam, o professor pode anotar as hipóteses e questões trazidas para discussão.

Conversando com o Professor: como a UD não foi desenvolvida podemos apenas intuir que algum grupo possa apresentar diferentes hipóteses iniciais, como por exemplo: “Gervásio havia consumido bebidas alcoólicas e recebeu um telefonema da esposa, visivelmente alterada, e para ter um pouco mais de privacidade, subiu ao terraço. Aparentemente, o casamento estava passando por dificuldades, com isso, Márvio, colega de trabalho percebeu a expressão de Gervásio e acompanhou-o até o terraço.” Neste caso Márvio teria sido a última pessoa a falar com Gervásio e poderia ser chamado para relatar os desdobramentos desse momento.

Com o intuito de direcionar as discussões das hipóteses, o professor pode escolher, dentre as hipóteses apresentadas, aquelas a priori que ele achar ser as mais

convincentes, encaminhando para um contexto de duas possibilidades para a resolução do caso: (i) **Foi um homicídio** - alguém empurrou Gervásio. Neste caso o próprio amigo Márvio torna-se um forte suspeito. Outra possibilidade, (ii) **foi um acidente**. Os grupos são instruídos a discutir entre os membros e produzir material escrito, relatando as ações investigativas pensadas em cada possível caso. Com isso, os alunos deixam a abordagem de detetive para a construção do enredo da UD e passam a trabalhar como peritos, realizando a investigação dos elementos físicos presentes na cena. O material é recolhido pelo professor para ser analisado.

Segundo momento: O professor solicita que os alunos façam a análise qualitativa do quadro físico da tragédia, com base na construção da história da primeira aula. Para auxílio dos estudantes, o professor pode sugerir as seguintes perguntas norteadoras: O que está presente na cena do crime? Quais elementos podem ser relevantes para uma análise física? Por que são relevantes? O que poderia influenciar, dentro do sistema, para que o corpo seja encontrado neste local? Elaborem hipóteses para justificar o ocorrido e o que vocês acham que pode ter contribuído para tal fato?

De maneira geral, espera-se que os estudantes apresentem que, no quadro geral, há um corpo que possivelmente caiu de um prédio. Como mais de um personagem está envolvido na situação, pode ter acontecido um homicídio ou acidente. Os fatores que influenciaram nesse quadro geral são a altura do prédio, o alcance do corpo e alguns estudantes podem considerar a massa um fator importante.

Conversando com o Professor: Aqui esperamos que os grupos em suas ações investigativas apresentem demandas como por exemplo, qual a altura do prédio; se houve ou não deslocamento lateral em relação a linha vertical e o ponto onde o corpo foi encontrado; havia algum resíduo embaixo das unhas da vítima; qual a massa do corpo; a vítima foi encontrada no jardim com todos seus pertences, óculos, sapatos, documentos, dinheiro, etc.

Como observado, a elaboração e apresentação da história dos motivos que poderiam ter levado Gervásio a ir ao terraço do prédio não interferem diretamente nas questões físicas do problema, no entanto, motiva os alunos a participarem da construção de um enredo e solução dele.

É evidente que os objetivos da aula devem ser cumpridos, por isso, recomenda-se que, durante a construção da história pelos alunos, o professor atue como um mediador, escolhendo as informações que façam sentido para o desenvolvimento da aula através de uma dinâmica de testemunhas.

A dinâmica consiste em fazer apontamentos para que a história apresente duas possibilidades de situações: um empurrão ou um possível acidente. Com isso, se as discussões

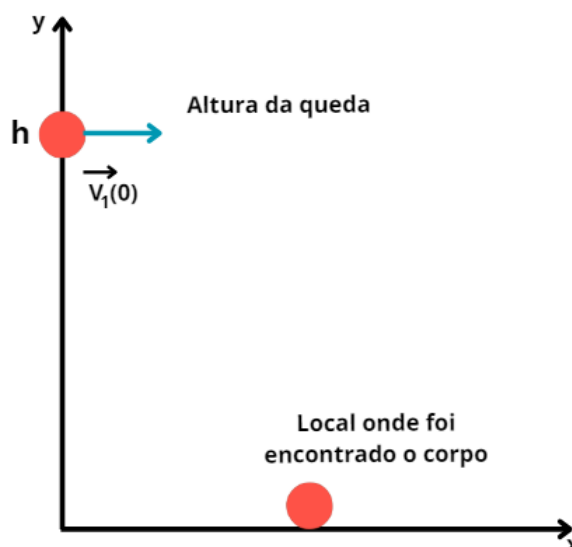
encaminharem para que Gervásio tenha caminhado ao terraço sozinho, o professor pode acrescentar que, segundo uma testemunha, Márvio (personagem fictício) acompanhou Gervásio até o local da tragédia para tratar de alguma informação dentro do contexto da história dos alunos.

Por exemplo, durante as discussões, os alunos mostraram que Gervásio estava em telefonema com a esposa e subiu sozinho ao terraço para ter privacidade. Com isso, o professor pode intervir, apresentando que uma testemunha presente no local viu Márvio subindo ao terraço para verificar se Gervásio estaria bem durante a discussão.

Terceiro momento: O terceiro momento da aula objetiva investigar possíveis concepções alternativas sobre a cinemática, a fim de trabalhá-las juntamente com os alunos para um aprendizado efetivo. Para investigar as concepções, o professor pode apresentar as seguintes atividades e solicitar que sejam entregues para coleta dos dados.

A atividade consiste nos alunos desenharem e justificarem a trajetória de queda do corpo com a seguinte pergunta: Suponhamos que o corpo caiu do prédio com uma velocidade inicial V conforme a figura. Qual a trajetória do corpo ao cair do prédio? Desenhe na figura.

Figura 08 - Figura para solicitar aos estudante que trace a trajetória do corpo, possibilitando analisar possíveis concepções alternativas relacionadas à cinemática.

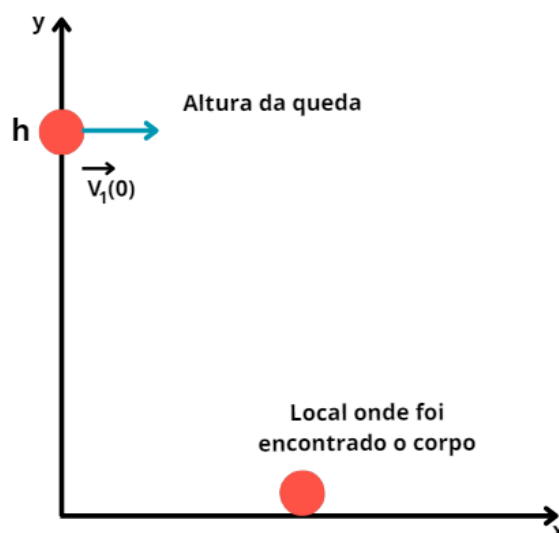


Fonte: Do autor.

Para uma segunda análise o professor pode seguir com a pergunta: Imaginando uma mesma altura, como seria a trajetória do corpo quando a velocidade inicial de lançamento

é $V_2(0)$, sendo essa maior que $V_1(0)$ na situação anterior? O alcance do corpo seria maior ou menor?

Figura 09 - Figura para solicitar aos estudantes trace uma nova trajetória, porém, agora com maior velocidade inicial, solicitando também o local da colisão com o solo.



Fonte: Do autor.

Para o fechamento das atividades da segunda aula, juntamente com os desenhos, os alunos devem responder às seguintes perguntas: a) A velocidade do corpo é constante durante toda trajetória? Por quê? b) Existe alguma aceleração no sistema? Qual? c) Existe alguma força atuando no corpo? Qual? d) A aceleração varia conforme a velocidade varia? E a força? Justifique sua resposta.

6.3 Terceira aula - Um auxílio do legista

A aula é dividida em dois momentos.

Primeiro momento: o professor pode analisar previamente os materiais produzidos pelos alunos e verificar se existem concepções alternativas sobre o movimento, as quais implicam em concepções alternativas sobre a mecânica de modo geral. Após essa verificação, a primeira parte da aula é destinada a verificar concepções alternativas equivocadas e confrontá-las com situações que mostram a sua inadequação na solução de problemas do lançamento de projéteis.

Tendo em vista as concepções alternativas estudadas para a elaboração da UDM, as concepções podem ser relacionadas com o ímpeto e a força sendo a causadora do movimento, resultando em uma aceleração proporcional à velocidade.

Para resolver as concepções alternativas, o professor pode fazer o desenho da Figura 8 no quadro, com isso separar o movimento em dois eixos perpendiculares. Ao fazer a separação, o professor pode analisar juntamente com os alunos qual é o tipo de movimento em cada eixo. Após definir que no eixo horizontal temos um movimento retilíneo e uniforme e no vertical uma queda livre com movimento retilíneo uniformemente acelerado.

Com o intuito de descrever a trajetória, o professor compara as duas situações, sendo que, no movimento retilíneo e uniforme a velocidade do corpo é constante, diferentemente do movimento retilíneo uniformemente variado, no qual o corpo por estar em queda livre, parte do repouso e sua velocidade aumenta com o passar do tempo.

O destaque principal dessa análise deve ser direcionado para a curva que o corpo descreve como trajetória, evidenciando uma parábola devido às equações de movimento e destacar para os alunos que a aceleração nesse sistema é a gravidade, na qual permanece constante durante o movimento, não alterando seu módulo conforme a velocidade aumenta.

É importante ressaltar que para o confronto das concepções alternativas, o professor pode abordar os conteúdos de dinâmica e equilíbrio dos corpos, pois é fundamental para a análise da cinemática do corpo demonstrar que a força que atua é a força peso, sendo exercida no eixo vertical e por esse motivo o movimento no eixo é retilíneo e uniformemente acelerado.

Segundo momento: Os estudantes devem traçar estratégias para solucionar o caso através da tentativa de uma solução global para o problema partindo de argumentos teóricos.

Para dar início a essa atividade, o professor pode adotar uma dinâmica para motivar os alunos a encontrarem a velocidade de lançamento e a velocidade final do corpo no momento da colisão com o chão. Para isso, o professor mantém os dois grupos para o desenvolvimento da dinâmica, na qual cada grupo fará investigações de diferentes situações e apresentará a conclusão para toda classe em um momento posterior.

A dinâmica consiste no professor simular uma ligação hipotética de um legista para a solução do caso, apresentando para os alunos a seguinte narrativa: “Boa noite, peritos! Meu nome é Antonio, legista oficial que será responsável por investigar o caso em que vocês estão empenhados também. Como você e sua equipe estão no local da tragédia, preciso de algumas informações primordiais para solucionar o caso. Preciso que vocês analisem a colisão

do corpo com o chão, para que eu possa fazer a análise dos ferimentos a fim de compará-los com situações análogas. Obrigado e bom trabalho!”.

Com isso, o professor pode solicitar aos alunos que analisem a colisão do corpo com o chão, investigando o cenário da tragédia e obtendo as informações necessárias. Como motivação inicial, o professor pode dialogar com a classe a fim de identificar se seus alunos sabem analisar uma colisão. Para isso ele coloca a seguinte situação hipotética: há diferença entre ser atropelado por uma moto a 30 km/h ou por um caminhão na mesma velocidade? Quais fatores influenciam essa diferença? Agora, vamos tratar de outra situação, imaginem uma moto a 30km/h e outra moto idêntica a 60 km/h. A colisão das duas com um corpo tem diferença?

Após fazer a comparação, o professor pode evidenciar o conceito e a equação de quantidade de movimento no quadro, na qual depende da velocidade no momento da colisão e a massa do corpo.

Conversando com o professor: Neste segundo momento, o professor pode optar entre duas dinâmicas. A primeira consiste em passar os dados da altura do prédio (10 m), massa do corpo (80 kg) e a aceleração da gravidade da Terra ($10 m/s^2$). A segunda opção é solicitar aos alunos que “realizem” as medidas juntamente com as equipes, com a dinâmica funcionando de maneira que, os grupos solicitam os dados que julgarem necessários para o professor, e este por sua vez, passa para os grupos os dados solicitados.

Para a análise da colisão, pode ser considerada somente a contribuição da velocidade perpendicular ao chão, desconsiderando a velocidade no eixo x e postulando que esta interfere apenas no alcance do corpo.

Para o desenvolvimento do restante do segundo momento da aula, os alunos devem elaborar estratégias para o cálculo da quantidade de movimento na colisão com os dados do sistema, evidenciando na elaboração do laudo as etapas e as estratégias, juntamente com os cálculos desenvolvidos, podendo ser através da conservação de energia mecânica ou através da cinemática.

6.4 Quarta aula - Solucionando o caso

Na quarta aula, o professor pode dividir a aula em dois momentos.

Primeiro momento: O professor pode pedir uma socialização dos grupos de modo que um representante de cada grupo apresente no quadro qual estratégia foi utilizada para o cálculo da quantidade de movimento do corpo no momento da colisão.

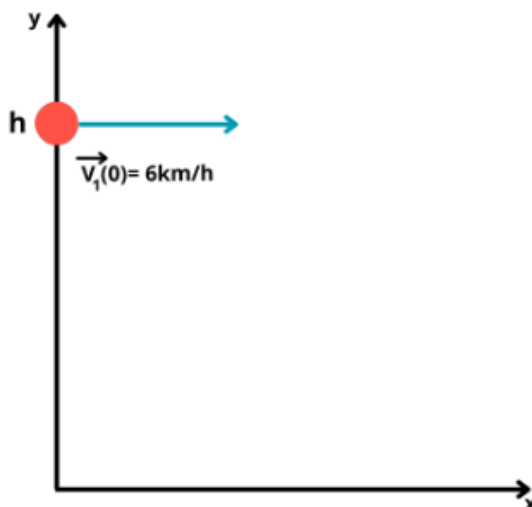
O professor pode avaliar as apresentações e verificar se ambos os grupos utilizaram da mesma estratégia para obter as informações. Caso os grupos não apresentem soluções com estratégias diferentes, o professor pode demonstrar no quadro como obter a velocidade no momento da colisão através da cinemática e da conservação de energia mecânica, chegando na mesma conclusão.

Segundo momento: O professor pode apresentar a seguinte narrativa em um novo telefonema hipotético do legista: “Boa noite, peritos! Aqui quem fala é o legista Antonio. Recebi os dados que vocês analisaram a colisão do corpo com o chão. Esses dados são importantes para comparar as lesões tendo em vista a colisão, com isso analisamos se existem lesões condizentes com a colisão ou lesões de menor porte, podendo indicar algum conflito. Nesse caso, não identificamos nenhuma lesão por conflito. Logo, assumo que podem ter acontecido dois casos, alguém o empurrou ou ele acidentou-se e caiu do terraço do prédio.”

Com isso, o professor solicita aos grupos que elaborem estratégias para descobrir se o indivíduo foi empurrado ou não, usando os conhecimentos de física. Para isso, o professor apresenta uma motivação inicial, lembrando as atividades realizadas na segunda aula, na qual os alunos analisaram o que aconteceria com um lançamento caso a velocidade inicial fosse maior, resultando em um maior alcance.

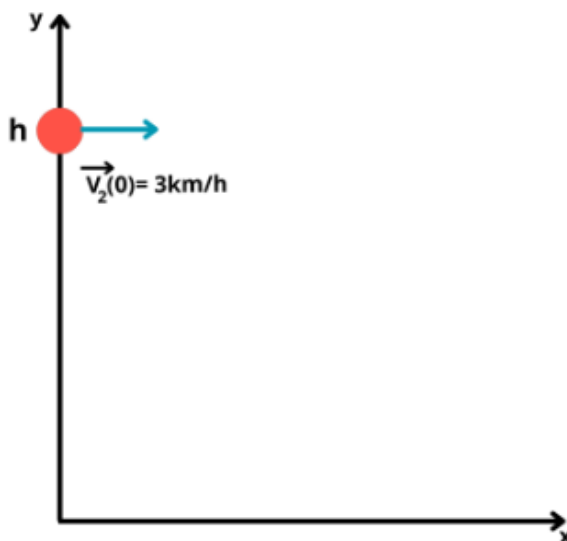
Para a realização dos cálculos com as hipóteses, o professor pode fornecer dados de velocidade de lançamento do corpo ao ser empurrado, assumindo que seja 6 km/h, e a velocidade da possibilidade de acidente como sendo de 3 km/h. As hipóteses devem ser apresentadas juntamente com representações semelhantes aquelas imagens da segunda aula, porém, com os dados numéricos das velocidades $V_1(0)$ e $V_2(0)$ e a altura é a mesma fornecida para o cálculo da quantidade de movimento na terceira aula.

Figura 10 - Corpo no momento do lançamento com velocidade do empurrão.



Fonte: Do autor.

Figura 11 - Corpo no momento do lançamento com velocidade do possível acidente.



Fonte: Do autor.

Conversando com o professor: Para o desenvolvimento do problema, o professor pode escolher o desfecho do caso previamente, pois o que vai determinar as conclusões é o alcance do corpo em relação à projeção no terraço. Se o professor optar em Márvio ser culpado, tendo em vista os dados do sistema, o alcance do corpo deve ser 2,35 m aproximadamente, caso Márvio seja inocente, o professor pode apresentar o alcance de 1,17

m. Com isso, deve-se instigar que os alunos que façam o cálculo para as diferentes velocidades iniciais e comparem os resultados obtidos com o alcance medido no sistema.

O restante da aula é dedicado à resolução das duas situações e comparação com o verificado, formulando os dados finais do laudo pericial com as conclusões, considerando a história construída juntamente com os alunos, nesse caso, analisando se Márvio é ou não inocente.

6.5 Quinta aula - Apresentando o laudo pericial

A quinta e última aula será dividida em dois momentos.

Primeiro momento: Os grupos devem apresentar o laudo pericial com as estratégias e desenvolvimento para a solução do caso, apresentando desde o material produzido na segunda aula até a conclusão com base no alcance do corpo, desenvolvido na quarta aula.

Segundo momento: Para concluir a unidade didática, o professor pode apresentar a seguinte narrativa a fim de evidenciar o trabalho dos peritos forenses e tecer algumas comparações com as atividades desenvolvidas na sala de aula.

“Durante o desenvolvimento das aulas, podemos analisar uma situação pertinente à física forense. Porém, na prática das investigações forenses, a solução do caso não é trivial. Podemos fazer um análogo com físicos experimentais ao realizarem algum experimento em laboratório, quando são analisados problemas de medidas, fatores podem ser ajustados e novas medidas podem ser realizadas em amostras maiores para observar determinados comportamentos. Para físicos forenses, o sistema é único, sendo difícil estipular ou realizar medidas e previsões. Por exemplo, no problema trabalhado em sala de aula, o lançamento não necessariamente seria com determinada velocidade e da mesma forma o empurrão, a colisão do corpo com o chão não é perfeitamente inelástica e possivelmente não haveria apenas duas comparações para serem comparadas. Dito isso, físicos forenses trabalham com propagações de erros relevantes dentro de sistemas, mas ainda sim, podem contribuir para a solução de algum caso. Por exemplo, ao realizar cálculos para análise de uma colisão de um carro em uma rodovia a fim de investigar uma possível infração de trânsito do motorista, o perito calcula que o erro equivale à 20%, uma margem alta considerando erros de laboratórios, porém, poderiam chegar à conclusões se o carro estivesse em uma velocidade de 100 km/h em uma pista com limite de velocidade de 60 km/h, pois dentro da margem de erro, o carro poderia estar entre 120 km/h e 80 km/h, concluindo que houve uma infração. Dito isso, para o

desenvolvimento da unidade didática, o sistema foi simplificado com o intuito de trabalhar com os alunos conteúdos de cinemática e conservação de energia mecânica.”

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o processo de levantamento e pesquisa do referencial teórico inicial, podemos concluir que a física forense é uma área da física na qual não contempla muitas publicações na área do ensino. Contudo, essa área pode ser amplamente explorada devido ao seu caráter interdisciplinar e investigativo, apresentando possibilidades para ser desenvolvida dentro do ensino.

Tendo em vista essas observações, de modo inicial, a proposta tinha como objetivo ser desenvolvida, entretanto, a complexidade do calendário acadêmico e a necessidade de cumprir com as demais atividades da graduação influenciaram para que o objetivo se transformasse em uma proposta de unidade didática.

Com o início da elaboração, a proposta parecia distante e complexa, devido ao pouco conhecimento dentro da área e a dificuldade de analisar situações dentro deste domínio. Contudo, após a entrevista com o perito forense, houve encaminhamentos para a sequência do trabalho nos quais baseamos nossa proposta de UD.

Durante a elaboração da unidade, diversas atividades foram adaptadas para que fossem adequadas com os estudantes, pois, é alto o nível de complexidade ao analisar situações da física aplicada com apenas uma amostra e diversas hipóteses para solução do caso. Com isso, as atividades foram direcionadas para a construção de uma história na qual analisa-se apenas duas possibilidades, podendo desenvolver conteúdos de cinemática e conservação de energia como estratégias para a solução do problema.

Após o término da elaboração da proposta, é possível verificar que a física forense pode ser uma ferramenta para contribuir com o ensino investigativo dentro do ensino de física, podendo atuar como problematização para o desenvolvimento de conceitos físicos, como visto neste trabalho.

Quanto à UD, podemos defender seu desenvolvimento, trabalhando os conceitos de cinemática e conservação de energia mecânica dentro da resolução do problema, preocupando com concepções alternativas e construção de hipóteses e aplicações para resolver determinadas situações pertinentes no cotidiano.

8. REFERÊNCIAS

AZEVEDO, M. C. P. S. de. **Ensino por Investigação: Problematizando as Atividades em Sala de Aula.** In: **Ensino de Ciências: unindo a pesquisa e a prática.** São Paulo: Cengage Learning Editores, 2004.

BEGO, A. M. **A implementação de unidades didáticas multiestratégicas na formação inicial de professores de Química.** Coleção Textos FCC (Online), v.50, p. 55-72, 2016

CARVALHEIRO, M. S. **Física Forense Aplicada ao Ensino da Mecânica.** Universidade Estadual de Maringá, 2018.

CLEMENT, L.; TERRAZAN, E. A. **Resolução de Problemas de Lápis e Papel Numa Abordagem Investigativa.** Experiências no Ensino de Ciências, v.7, nº2, 2012.

CRUZ JUNIOR, L. B. **Concepções Dos Alunos Concluintes E Egressos Do Ensino Médio Sobre Os Conteúdos De Cinemática E Dinâmica No Método Tradicional De Ensino.** Trabalho de Conclusão de Curso UFU, Uberlândia-MG, 2016.

DIAS FILHO, C. R.; ANTEDOMENICO, E. **A perícia criminal e a interdisciplinaridade no ensino de ciências naturais.** Química Nova na Escola. V.32, n.2, 2010.

FERRAZ, A. P. do C. M. BELHOT, R. V. **Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais.** Gest. Prod. v.7, n.2, p.421-431: São Paulo, 2010.

FIOLHAIS, C. TRINDADE, J. F. **Física para Todos - Concepções Erradas em Mecânica e Estratégias Computacionais.** 1º Colóquio de Física do Instituto Politécnico de Tomar “A Física no Ensino, na Arte e na Engenharia”, 1998.

GILBERT, A. **Origens Históricas da Física Moderna: Introdução Abreviada.** Fundação Calouste Gulbenkian: Lisboa, 1982.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica 1: Mecânica.** 5. ed., São Paulo: Blucher, 2013.

PIZZI, J.; BOHM, F. M. L. Z. **A Prática Investigativa como Instrumento Metodológico Utilizado pelos Professores no Ensino de Ciências.** Os Desafios da Escola Pública Paranaense na Perspectiva do Professor PDE. Paraná: Secretaria de Educação, 2013.

PEDUZZI, L. O. Q. **Sobre a resolução de problemas no ensino da física.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 14, n. 3, p. 229–253, 1997.

SOUZA, E. J. de. **Física Forense na Educação Básica:** Uma Proposta Baseada na Alfabetização Científica. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2019.

SOUZA, W. A. V. de; MASSINI, G. B.; CARDOSO, F. C. **Física forense:** O estado da arte no ensino de física no Brasil. Revista do Professor de Física, v.7, n.2, p.87-111: Brasília, 2023.