



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS PICOS
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA**

MARIA JANAINA BORGES LEAL

O ENSINO DE FÍSICA FORENSE NO ENSINO MÉDIO

PICOS

2023

MARIA JANAINA BORGES LEAL

O ENSINO DE FÍSICA FORENSE NO ENSINO MÉDIO

Trabalho de Conclusão de Curso (artigo científico) apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Picos.

Orientador: Prof. Me. Emanuel Veras de Souza.

PICOS

2023

O ENSINO DE FÍSICA FORENSE NO ENSINO MÉDIO

Maria Janaina Borges Leal*
Emanuel Veras de Souza**

RESUMO

Atualmente, o Ensino de Física no Brasil ainda tem se mostrado descontextualizado. Sendo considerada uma disciplina pouco atrativa por parte dos estudantes, um dos grandes desafios do professor de física hoje é despertar o interesse do aluno quanto a essa disciplina. O presente trabalho visa a elaboração de uma proposta de sequência didática para os alunos do primeiro ano do ensino médio, que relaciona a física forense com situações perceptíveis ao aluno em seu cotidiano, através da utilização dos conteúdos: princípio de conservação da energia; princípio de conservação da quantidade de movimento; queda livre e lançamento horizontal em três atividades distribuídas ao longo da sequência didática. Buscando uma contextualização do ensino, o objetivo desta proposta é despertar o interesse dos educandos quanto a disciplina de física, fazendo-os enxergar a intrínseca importância dessa Ciência e como ela pode ser aplicada em situações reais mediante aulas interativas e dinâmicas, onde o aluno incorpore o papel de perito por meio de uma abordagem investigadora, agregando de forma significativa os conteúdos abordados em sala de aula.

Palavras-chave: Ensino de Física; Sequência didática; Física Forense; Aprendizagem significativa.

ABSTRACT

Currently, Physics Teaching in Brazil has still been out of context. Being considered an unattractive subject by students, one of the great challenges for physics teachers today is to awaken student interest in this subject. The present work aims to develop a proposal for a didactic sequence for first-year high school students, which relates forensic physics to situations perceptible to the student in their daily lives, through the use of content: principle of conservation of energy; principle of conservation of momentum; free fall and horizontal launch in three activities distributed throughout the teaching sequence. Seeking a contextualization of teaching, the objective of this proposal is to awaken students' interest in the subject of Physics, making them see the intrinsic importance of this Science and how it can be applied in real situations through interactive and dynamic classes, where the student incorporates the role of expert through an investigative approach, significantly adding to the content covered in the classroom.

Keywords: Physics teaching; Didactic sequence; Forensic physics; Significant Learning.

Data de aprovação: 03/10/2023 (data de apresentação do TCC)

* Graduada do curso de Licenciatura em Física, IFPI. Email: janaina.borges191@gmail.com.

** Docente – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Picos. Mestre. E-mail: emanuel.veras@ifpi.edu.br.

1 INTRODUÇÃO

A Física tem um papel fundamental na compreensão do universo, pois engloba leis e princípios que descrevem seu funcionamento. Sendo indispensável para o desenvolvimento científico e tecnológico, essa ciência busca fornecer aos alunos uma base sólida de conhecimentos e habilidades que lhes propiciem a compreensão sobre os fenômenos da natureza.

Atualmente, existe uma variedade quanto aos métodos de ensino que podem ser aplicados em sala de aula, cabe ao professor através dos recursos didáticos disponíveis, utilizar as metodologias de ensino mais pertinentes e adequadas para trabalhar de maneira construtiva a relação de ensino-aprendizagem. No que diz respeito a disciplina de física, os mais aplicados são aulas expositivas e experimentais. No entanto, o atual cenário educacional se apresenta centrado nas aulas expositivas, onde são abordados conceitos, leis e teorias sem aplicações práticas, gerando assim a descontextualização do ensino e o desinteresse do aluno, desenvolvendo a visão de que essa disciplina é monótona e abstrata (MOREIRA, 2018).

Como forma de desmistificar esse ponto de vista, a ciência forense é uma estratégia interessante por ser uma área bastante atrativa. Segundo os trabalhos de Silva e Rosa (2013) e Boffelli (2022), observa-se nos últimos anos uma alta na produção e audiência de séries televisivas e filmes que retratam a investigação criminal, em produções fictícias relatando como é o dia a dia de um perito forense, e/ou em formato de documentário com depoimentos de peritos e investigadores acerca de casos reais. O que também têm crescido nos últimos anos é o número de publicações de trabalhos que englobam essa “narrativa televisiva” (FRANCO, 2020).

Nas produções fictícias, embora busquem fazer abordagens que representem situações realistas, nota-se alguns equívocos, pois é comum a existência de certos “saltos” durante o estudo de uma cena de crime, onde os investigadores conseguem solucionar crimes complexos em questões de horas ou até mesmo minutos, passando assim a ideia de que a elucidação de um crime é algo simples, quando na realidade investigações criminais podem levar dias ou meses, através de análise forense detalhada, na qual todas as vezes faz-se necessária a utilização de conhecimentos técnicos para o entendimento da dinâmica dos fatos.

Pode-se citar como exemplo um caso real que chocou o Brasil ocorrido em 2008, o da menina Isabella Nardoni, criança de 5 anos que foi assassinada ao ser arremessada do 6º andar de um prédio. Em documentário disponível na *Amazon Prime Video*, os responsáveis pela investigação do caso relatam como foi feito todo o trabalho que os levaram ao desfecho do caso. Entre os relatos de investigadores e peritos, chama atenção o do médico legista, dentre suas análises durante a necropsia foi constatada uma pequena fratura no ísquio (osso arqueado localizado no quadril), característica de quedas sentadas, não ocasionada pela queda do 6º andar, visto que uma queda de altura tão grande dessa forma provocaria fraturas na coluna, caso que Isabella não apresentava, além de que um impacto de energia tão grande acarretaria, de maneira análoga, em uma fratura proporcional.

Durante seu relato, o médico apresenta conceitos físicos utilizados por ele para solucionar o aparecimento dessa fratura no corpo da criança, por ser uma fratura pequena, condiz com a fato de pouca energia na hora do impacto. Segundo o mesmo, a força do próprio peso do corpo da criança sob ação da força gravitacional não seria suficiente para ocasionar a fratura, logo deveria existir uma força adicional, produzindo assim força suficiente para causar aquele tipo de fratura. Através dessa e outras análises, a perícia constatou que a criança sofreu uma série de violências físicas antes de ser arremessada pela janela do prédio. Através do estudo desse caso, nota-se que a física está presente não somente nas áreas em que o perito

com formação em física atua, mas também em outras de suma importância como a medicina, engenharia, química, biologia entre outras.

A Física Forense é uma área multidisciplinar que combina princípios e leis da física com as investigações de interesse judicial (NETO, 2002). Ela desempenha um papel fundamental, através de evidências científicas e técnicas, que podem auxiliar a desvendar um delito. Portanto, este artigo tem como objetivo explicar a importância da física forense e como ela pode ser aplicada em sala de aula, despertando através do princípio investigativo o interesse dos alunos pela disciplina de física e fornecendo através de conceitos básicos, uma melhor compreensão do mundo ao seu redor. O enfoque deste trabalho está voltado para as turmas da 1ª série do ensino médio, onde mediante uma sequência didática que utiliza a temática forense, após os alunos já terem visto os conteúdos de mecânica, é proposto trabalhar de maneira contextualizada atividades investigativas sobre os conteúdos de princípio de conservação da energia, princípio de conservação da quantidade de movimento, queda livre e lançamento horizontal.

2 ENSINO DE FÍSICA

O ensino de física tem um papel indispensável na formação dos estudantes, contribuindo para o desenvolvimento educacional e científico, através dos quais, desenvolvem competências que lhes possibilitam compreender os fenômenos e leis que descrevem a natureza do universo. No Brasil, o ensino de física vem perdurando há anos como ultrapassado e descontextualizado, enfrentando diversos desafios (MOREIRA, 2021). São muitos os fatores que contribuem para tal cenário, como resultado disso o que é exercido é um ensino que apenas prepara o aluno para passar em provas através de uma aprendizagem puramente mecânica.

O ensino de física nas últimas séries da educação básica (ensino médio) não enfrenta uma realidade agradável. As aulas já não atendem a realidade do alunado; os professores em muitos casos não estão capacitados a estarem em sala de aula; os recursos e as metodologias de ensino utilizados por muitos professores já são considerados ultrapassados. Sendo assim, tornam-se necessários o debate e as sugestões sobre estratégias de ensino que minimizem os efeitos negativos dessa realidade que deixa cada vez mais os alunos sem interesse pela Física (MORAES, 2009, p. 1).

De acordo com os resultados da pesquisa de Bezerra *et al* (2009), alguns professores têm receio de utilizar novas metodologias de ensino, ficando presos ao ensino mais tradicionalista, tal fato se explica por sua formação também condizer com esse método, não o preparando da maneira mais adequada para acompanhar o processo de desenvolvimento educacional da sociedade, o que é enfatizado por Moreira (2018).

O que se encontra na maioria das salas de aulas da educação básica são turmas onde o professor é o único detentor do conhecimento, e os alunos meros receptores de informação. Raramente se tem uma participação dos alunos durante as aulas, muitas vezes eles se encontram retraídos, por não possuírem o hábito de questionar o professor sobre suas dúvidas e curiosidades. Essas circunstâncias acontecem na maioria das vezes por timidez ou medo de ser constrangido na frente da turma. É preciso mudar essa realidade, mesmo sem ter os recursos necessários, o professor deve utilizar sua criatividade para implementar suas aulas, criando situações onde o aluno possa interagir efetivamente na aula (JESUS *et al.*, 2017, p. 1477-1489).

Atualmente, no que tange a abordagem dos assuntos da disciplina de física, a Base Nacional Comum Curricular (2018) tem como elemento indispensável o desenvolvimento de competências específicas e habilidades por área do conhecimento. A respeito da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, é constantemente enfatizada a intrínseca importância de uma abordagem investigativa, sendo esta uma abordagem essencial para o desenvolvimento de tais competências. Ao investigar situações-problemas, promove-se a curiosidade, a formulação de hipóteses, a participação ativa dos estudantes, de forma a corroborar com uma formação onde eles possam questionar e compreender melhor o mundo que os cerca.

3 FÍSICA FORENSE

De maneira geral, a Ciência Forense é descrita como uma vasta área que engloba um conjunto de conhecimentos científicos aplicados para a resolução de crimes. Uma vez que pode ser trabalhada de maneira contextualizada por ser composta de diversos campos de atuação.

A Ciência Forense é uma área interdisciplinar que envolve física, biologia, química, matemática e várias outras ciências de fronteira. Seu objetivo é dar suporte às investigações relativas à justiça civil e criminal. Em investigações de crimes, o foco principal do profissional forense é confirmar a autoria ou descartar o envolvimento do(s) suspeito(s) (SEBASTIANY *et al.*, 2013, p. 49-50).

No que diz respeito à disciplina de física, vários conceitos científicos são utilizados nesses aglomerados de técnicas que compõem a ciência forense, como por exemplo: trajetória de projéteis; queda livre; princípio da conservação da energia; princípio da conservação da quantidade de movimento e etc., podendo ser observada na área de balística, precipitação e defenestramento, acidentes de trânsito e em outros enfoques. A ciência forense é uma ferramenta que pode contribuir de maneira bastante significativa na comunidade acadêmica, de modo que a abordagem dessa ciência pode facilitar o ensino-aprendizagem dos conteúdos a serem estudados (SILVA *et al.*, 2022). Sua utilização como uma ferramenta lúdica e interativa é uma alternativa valiosa, capaz de facilitar o processo de ensino-aprendizagem da disciplina de física, dando suporte ao professor na hora de explicar conceitos considerados pelos estudantes como abstratos ou sem utilidade.

Quanto a esses conceitos, nos dias atuais pode-se listar séries de sucesso que envolvem a ciência forense nos canais de *streaming*, como Dexter, Mindhunter, Lúcido e CSI Las Vegas, as duas últimas sendo líderes de audiência conforme o portal UOL. Embora em Lúcido a ciência forense não seja o tema central, surgindo como tema adjacente, é possível observar a cada episódio um caso diferente de investigação que exige técnicas forenses, da área de Física em acidentes de trânsito e na área de balística; e da Biologia e Química com testes de DNA, observações nos padrões de manchas de sangue e nas coletas de impressões digitais. Já na série CSI, a ciência forense é o tema central, sendo explorado com maior ênfase, o que permite entender de fato como os peritos conseguem solucionar casos utilizando essas ciências.

4 REVISÃO DOS CONTEÚDOS DE FÍSICA

Nesta seção serão abordados os principais conceitos necessários para a resolução das atividades propostas posteriormente, através de uma breve revisão, haja visto que essa proposta deverá ser aplicada após os alunos já terem estudado os respectivos conteúdos da parte de mecânica, já possuindo assim conhecimentos prévios que os capacitarão para a realização das atividades.

4.1 Trabalho, Energia cinética e cálculo de velocidades

Energia é uma grandeza de fundamental importância para a física, no entanto, sua definição é um tanto complexa devido a sua utilização em diferentes contextos, o que se sabe com exatidão sobre a energia é que ela é uma grandeza escalar, podendo está associada a capacidade de realizar trabalho, assim é possível dizer que os conceitos de energia e trabalho estão intrinsecamente conectados. A energia se manifesta de diferentes formas: cinética, potencial, térmica, elétrica, sonora, luminosa e nuclear, porém o maior interesse no estudo dos acidentes de trânsito é a energia mecânica, aquela que se refere a soma das energias cinética e potencial.

A energia cinética é aquela relacionada ao movimento de um objeto, todo aquele que possui velocidade também possui energia cinética. Quanto maior for sua velocidade, maior será sua energia cinética, consequentemente, quanto menor for sua velocidade, menor será sua energia cinética. Já o trabalho é uma forma de transferir energia mediante a aplicação de uma força, sendo responsável por provocar uma variação na energia cinética do objeto (HALLIDAY; RESNICK, 2012).

Matematicamente, as definições de energia cinética e trabalho são, respectivamente:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

Onde E_c é a energia cinética, m é a massa do objeto e v é a velocidade do objeto, e

$$W = Fd\cos\phi \quad (2)$$

Tem-se W para o trabalho realizado pela força, F é a força aplicada no objeto, d é a distância percorrida pelo objeto e ϕ o ângulo formado entre o deslocamento $\vec{d}$ e a força $\vec{F}$.

Utilizando o teorema do trabalho e energia cinética, que matematicamente é descrito como:

$$W = \Delta E_c \quad (3)$$

E sabendo que a ΔE_c corresponde a $E_{cf} - E_{ci}$, substituindo pelas definições citadas anteriormente, tem-se que:

$$Fd\cos\phi = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2 \quad (4)$$

É importante ressaltar que quando a componente da força é paralela ao deslocamento do objeto, caso usado para se calcular o trabalho que uma força realizada sobre um objeto, ambos formam um ângulo de 0° entre si, dessa forma, sabendo que o $\cos(0^\circ)$ corresponde a 1,

$$Fd = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2 \quad (5)$$

Colocando-se m em evidência e reorganizando a equação,

$$Fd = \frac{m(v_f^2 - v_i^2)}{2} \quad (6)$$

Pela segunda Lei de Newton, tem-se que $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$. Sabendo que $\vec{p} = m\vec{v}$ e m é constante,

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (7)$$

Assim, pela definição de aceleração:

$$\vec{F} = ma \quad (8)$$

Substituindo a equação (8) na equação (6):

$$mad = \frac{m(v_f^2 - v_i^2)}{2} \quad (9)$$

Note que m aparece em ambos os lados da equação. Portanto, dividindo ambos os lados por m , temos:

$$ad = \frac{(v_f^2 - v_i^2)}{2} \quad (10)$$

Reorganizando a equação,

$$(v_f^2 - v_i^2) = 2ad \quad (11)$$

Considerando-se que em situações de trânsito, quando em processo de frenagem dos veículos a força de atrito é a força resultante e que ela corresponde a μN , pode-se demonstrar que,

$$F_{at} = \mu N \quad (12)$$

Onde F_{at} é a força de atrito, μ é o coeficiente de atrito e N é a força normal.

Observando-se que a força de atrito é uma força de sentido contrário ao movimento; utilizando-se mais uma vez da segunda Lei de Newton e sabendo-se que a força normal é calculada da mesma forma da força peso, tem-se que,

$$ma = -\mu mg \quad (13)$$

$$a = -\mu g \quad (14)$$

Logo, percebesse que o coeficiente de atrito é uma grandeza adimensional, pois:

$$\mu = -\frac{a \text{ (m/s}^2\text{)}}{g \text{ (m/s}^2\text{)}} \quad (15)$$

Substituindo-se a equação (14) na equação (11) e adotando $v_f = 0$, obtém-se a equação de Torricelli reduzida,

$$v = \sqrt{2\mu g d_f} \quad (16)$$

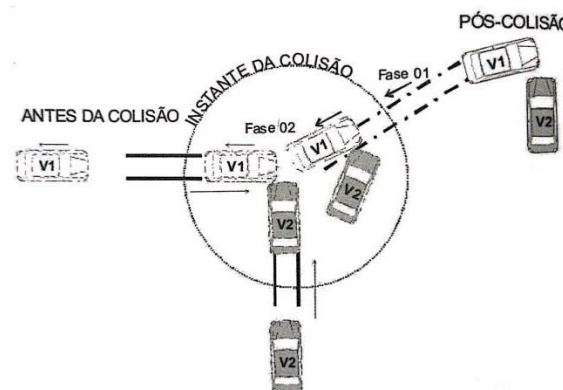
Através da equação (16) é possível calcular a velocidade de um objeto, onde μ é o coeficiente de atrito (definido experimentalmente), g é a aceleração da gravidade e d_f é a distância de frenagem ou fricção em um único percurso, caso acontece em mais de um, deve-se somar todas as parcelas de frenagem e aplicar a distância total na equação.

4.2 PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

Esse princípio afirma que mesmo que a energia se converta de uma forma para outra, a energia total de um sistema isolado permanece constante, ou seja, a quantidade total de energia é conservada. No caso da energia mecânica, por exemplo, a energia cinética pode ser transformada em energia potencial e vice-versa, porém a medida que uma aumenta, a outra diminui (HALLIDAY; RESNICK, 2012).

Segundo Almeida (2015), em algumas situações de acidentes de trânsito pode-se utilizar o princípio da conservação da energia para determinar a velocidade inicial de um veículo, que são nos casos que envolvem apenas um único veículo, ou nos casos de um sistema de 2 veículos onde se possa analisar cada veículo de forma independente. Uma outra variável que deve ser adicionada nos cálculos é a velocidade de danos, que está associada a energia de deformação dos veículos após a colisão. A energia pode ser transferida um objeto para outro, como nos casos de colisões do tipo transversal e traseira, dessa forma deve-se atentar a parcela de energia de deformação de cada veículo, porém, em colisões angulares, não se transfere energia, com isso a velocidade de danos de cada veículo é atribuída a ele mesmo. Dessa maneira, após avaliar os tipos de avarias apresentadas pelo veículo, é necessário adicionar a parcela do valor da velocidade de danos ao cálculo da energia final (pós-colisão).

Figura 1: Fases da colisão de veículos.



Fonte: Almeida (2015)

Considerando-se uma colisão entre os veículos V_1 e V_2 , ocorre que uma sequência de passos deve ser seguida para se determinar as velocidades iniciais de cada veículo antes da colisão. Quando o perito chega no local, encontra os veículos nas posições finais, dessa forma é preciso traçar um caminho para se chegar a conclusão do que aconteceu antes da colisão. Neste princípio, são analisadas quatro etapas, após a colisão, imediatamente após, imediatamente antes e antes da colisão. Onde a aplicação do princípio de conservação da energia deve ocorrer nos momentos imediatamente antes e imediatamente após a colisão.

Pelo princípio de conservação da energia,

$$E_i = E_f \quad (17)$$

Onde E_i é a energia inicial e E_f é a energia final.

Assim é possível determinar E_f , uma vez que se tenha conhecimento das massas dos veículos e após calcular a velocidade final de ambos pela equação (16), basta somar as energias finais dos dois veículos e obter a energia final total, levando em consideração que a velocidade de danos (v_d) deve ser considerada na hora dos cálculos, assim:

$$E_f = \frac{mv_f^2}{2} + \frac{mv_d^2}{2} \quad (18)$$

Sabendo-se da energia após a colisão, é possível calcular a velocidade no instante da colisão (v_{ic}), substituindo o valor da energia encontrado na equação (1) e reorganizando os termos,

$$v_{ic} = \sqrt{\frac{2E}{m}} \quad (19)$$

Encontrando v_{ic} é possível encontrar a energia inicial e verificar se o princípio de conservação da energia é respeitado.

Nos casos onde exista frenagem por partes dos veículos antes da colisão, é preciso levar em consideração a parcela de energia que é dissipada pelo veículo durante esse processo. Assim, pela equação (16), calcula-se a velocidade total de cada veículo.

$$v_t = \sqrt{v_{ic}^2 + 2\mu g d_f} \quad (20)$$

Onde v_t representa a velocidade total do veículo no início da colisão, ou seja, a velocidade com a qual os veículos colidiram.

4.3 PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO

A quantidade de movimento, também conhecida como momento linear, é uma grandeza vetorial que associa massa e velocidade de um determinado objeto através da equação,

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad (21)$$

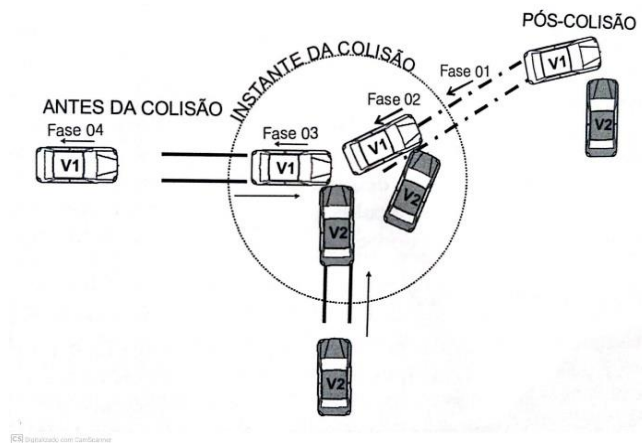
Onde m é a massa, $\vec{v}$ é a velocidade e $\vec{p}$ é a quantidade de movimento, sendo $\vec{p}$ e $\vec{v}$ na mesma direção.

O princípio de conservação da quantidade de movimento diz que em um sistema isolado, a quantidade de movimento permanece constante, ou seja, o $\vec{P}$ antes é igual ao $\vec{P}$ depois da interação entre objetos, assim,

$$\vec{P}_i = \vec{P}_f \quad (22)$$

Para a aplicação desse princípio na análise de acidentes de trânsito, assim como no princípio de conservação da energia, deve ser feita uma análise de reconstrução que corresponde a quatro fases, como técnica denominada de Princípio de Conservação da Quantidade de Movimento Gráfico (PCQM Gráfico), como mostrado na figura 2.

Figura 2: Fases da colisão de veículos.



Fonte: Almeida (2015)

Os passos que devem ser utilizados para descrever a dinâmica de um acidente de trânsito do tipo entre dois veículos colidentes são descritos por Almeida (2015) como:

- I) Fase 01 e 02 – posteriores a colisão;
- II) Fase 03 e 04 – anteriores a colisão;
- III) Fase 02 e 03 – imediatamente após a colisão e imediatamente antes da colisão.

Na fase 01, deve-se calcular as velocidades dos veículos imediatamente após a colisão, através da equação (16).

Na fase 02, calcula-se a quantidade de movimento final de cada veículo, uma vez que já se tenha obtido a velocidade pela fase anterior e conhecendo a massa dos veículos:

$$\vec{P}_f = m\vec{v}_f \quad (23)$$

Conhecendo os ângulos de saída de cada veículo e sabendo que a quantidade de movimento é uma grandeza vetorial, deve-se calcular o vetor resultante da quantidade de movimento pelo método da fila.

Na fase 03, sabendo dos conhecimentos de operações com vetores, é possível determinar a direção e o sentido do vetor resultante e assim conhecer a quantidade de movimento inicial de cada veículo, e com isso, a velocidade de cada veículo no instante da colisão:

$$v_{ic} = \frac{\vec{P}_l}{m} \quad (24)$$

Na fase 04, de maneira análoga ao princípio de conservação da energia, sabendo das velocidades no instante de colisão e verificando se existem marcas de frenagem, deve-se aplicar a equação (16) para obter as velocidades iniciais dos veículos.

$$v_t = \sqrt{v_{ic}^2 + 2\mu g d_f} \quad (25)$$

4.4 MOVIMENTO DE QUEDA DOS CORPOS

A cinemática é a parte da mecânica que estuda o movimento dos corpos sem se preocupar com suas causas. No que rege o movimento desses corpos sob ação da gravidade existem diferentes tipos, como queda livre, lançamento vertical, lançamento horizontal e lançamento oblíquo. Nesta seção será abordado o movimento dos corpos em queda livre e em lançamento horizontal, desconsiderando as forças resistivas em ambos.

4.4.1 Queda livre

Este é um movimento unidimensional, caracterizado pela queda de um corpo que é “abandonado” verticalmente de determinada altura. Quando se desconsidera as forças que são contrárias a esse movimento, o corpo fica sob influência apenas da aceleração da gravidade, usualmente representada por $\vec{g}$ e com valor aproximado de $9,8 \text{ m/s}^2$ (NUSSENZVEIG, 2002). Como neste tipo de movimento a aceleração é constante, aplica-se as equações do movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV).

As equações horárias do MRUV seguem a partir da definição de aceleração, que quando é constante, a aceleração média e instantânea são iguais, podendo ser escrita como:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (26)$$

Considerando-se que o tempo inicial é 0, tem-se que,

$$a = \frac{v - v_0}{t} \quad (27)$$

Onde v é a velocidade final e v_0 é a velocidade inicial. Isolando v obtém-se,

$$v = v_0 + at \quad (28)$$

Que corresponde a equação horária da velocidade. Note que essa equação é uma função do 1º grau, assim, seu gráfico corresponde a uma reta, onde sua área forma um trapézio. Calculando-se a área desse gráfico, se obtém a ΔS (deslocamento) do mesmo. Assim, tem-se que:

$$\Delta S = \frac{(v + v_0) t}{2} \quad (29)$$

Como já calculado na equação (28), pode-se substituir o valor de v na equação (29), assim:

$$\Delta S = \frac{(v_0 + at + v_0) t}{2} \quad (30)$$

Fazendo a distributiva, chega-se a:

$$\Delta S = \frac{2v_0 t + at^2}{2} \quad (31)$$

Tirando o m.m.c, obtém-se:

$$\Delta S = v_0 t + \frac{at^2}{2} \quad (32)$$

Sabendo-se que a variação do espaço corresponde a $S - S_0$, chega-se a:

$$S - S_0 = v_0 t + \frac{at^2}{2} \quad (33)$$

Organizando a equação, tem-se a equação horária do espaço:

$$S = S_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2} \quad (34)$$

Isolando o tempo t na equação (28) e substituindo na equação (34), chega-se a:

$$S = S_0 + v_0 \left(\frac{v - v_0}{a} \right) + \frac{a}{2} \left(\frac{v - v_0}{a} \right)^2 \quad (35)$$

Resolvendo a distributiva, e simplificando obtém-se:

$$S - S_0 = \frac{vv_0 - v_0^2}{a} + \frac{v^2 - 2vv_0 + v_0^2}{2a} \quad (36)$$

Fazendo o m.m.c. tem-se:

$$\Delta S = \frac{2v_0 v - 2v_0^2 + v^2 - 2v_0 v + v_0^2}{2a} \quad (37)$$

Simplificando e reorganizando a equação encontrada, chega-se a:

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta S \quad (38)$$

Que é a equação de Torricelli.

4.4.2 Lançamento horizontal

Este é um movimento bidimensional que acontece quando um corpo é lançado horizontalmente de determinada altura, ou seja, o corpo descreve um movimento na vertical e na horizontal de forma simultânea. Neste tipo de movimento, no plano vertical tem-se uma aceleração constante, por sofrer ação exclusiva da gravidade (MUV), já no plano horizontal a velocidade é constante e não se possui aceleração, o que caracteriza o movimento uniforme (MU) (FILHO; SILVA, 2016).

A equação do MU de interesse é a da posição, partindo da definição de velocidade abaixo,

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (39)$$

Considerando-se que o tempo inicial é 0, tem-se que,

$$v = \frac{S - S_0}{t} \quad (40)$$

Isolando S , tem-se que:

$$S = S_0 + vt \quad (41)$$

Onde S é o espaço final, S_0 o espaço inicial, v a velocidade e t o tempo.

5 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Uma sequência didática é um conjunto de atividades antecipadamente articuladas, que são elaboradas seguindo passos sequenciais, cujo objetivo principal é promover o ensino-aprendizagem de forma significativa (CAVALCANTI; RIBEIRO; BARRO, 2018).

Utilizada como uma atividade que pode trazer resultados positivos com sua aplicação em diferentes temáticas, a sequência didática tem como fundamentação promover uma minimização da fragmentação do ensino através de etapas pensadas passo a passo. O interessante de sua utilização é proporcionar ao aluno possibilidades de um ensino desafiador e interativo. Pode-se citar como exemplo os trabalhos de Souza (2019) e Massini (2022), cujas aplicações em sala de aula utilizando uma sequência didática que relacionava a física forense com a disciplina de física, renderam resultados positivos ao final de suas pesquisas.

A análise de um acidente de trânsito e de um episódio da série CSI: Investigação criminal em sala de aula pode ser uma maneira eficiente de fazer com que os educandos enxerguem a física além das fórmulas trabalhadas em sala de aula, a partir da observação de situações que são perceptíveis a eles quase que rotineiramente, ao mesmo tempo que os conscientizam sobre os riscos e consequências a quais estão inseridos nas situações de trânsito. Dessa forma, propõe-se uma sequência didática cujo o objetivo principal é fazer com que o alunado do ensino médio consiga associar a física em situações do cotidiano, através de uma área que desperte o interesse, como é a física forense.

6 PROPOSTA DAS ATIVIDADES

A atividade proposta visa trabalhar conceitos de mecânica em situações que são facilmente perceptíveis no cotidiano, através da análise de questões de acidentes de trânsito e de um episódio da série CSI: Investigação Criminal, onde serão explanados os conceitos de Princípio da Conservação da Energia, Princípio de Conservação da Quantidade de Movimento, queda livre e lançamento horizontal. A finalidade dessas atividades é que o aluno “incorpore” o papel de perito através de atividades de cunho investigativo, e descubra o quanto a física está presente no dia a dia. As aulas de aplicação da proposta devem ser divididas entre partes teóricas e atividades práticas, ao longo de 8 aulas de 50 minutos cada, sendo 1 aula para cada uma das 6 primeiras etapas e 2 aulas para a etapa 7. Quanto a resolução das atividades, os alunos podem resolver os cálculos em casa e apresentar ao professor na aula seguinte.

Na etapa 1, o professor deverá fazer questionamentos, cujo o objetivo principal é fazer um levantamento acerca dos conhecimentos prévios dos alunos em relação aos conteúdos específicos que são necessários para a análise e compreensão da dinâmica dos acidentes de trânsito e queda dos corpos, bem como sobre o entendimento do que eles acreditam ser a ciência forense de maneira geral, e a física forense de maneira específica, da importância dessa ciência e sua contribuição para a sociedade. Desse modo, através das respostas obtidas nessa etapa, o professor poderá ter uma visão de como trabalhar da melhor maneira as etapas posteriores, focando onde os alunos têm maior deficiência.

Na etapa 2, o professor apresentará o seguinte texto escrito por Luis Otto Faber Schmutzler, referenciado por Espindula (2013) em seu livro:

“QUEM SOU EU?

— Matei mais pessoas que muitas guerras.

— Sou mais mortífero e aleijo mais do que as balas e destruo vidas e o futuro de mais famílias.

— Não faço distinções: minhas vítimas são ricas ou pobres, jovens ou velhos, mulheres e crianças.

— Estou presente no mundo inteiro, ataco de surpresa, arranco a cabeça, cego a visão, estouro o crânio, mutilo, quebro a espinha, formo um exército de paraplégicos e cegos, espalho o sofrimento permanente para milhares de famílias em todo o mundo.

— Nutro-me de superstições, e por incrível que pareça, da falsa crença de que tudo o que acontece é da vontade de Deus, meu único e poderoso inimigo...

— Nutro-me da ignorância, do descaso, e da própria maldade de quem deveria me combater, mas não o faz...

— Nutro-me da prepotência, da irresponsabilidade das pessoas, da convicção infantil que são sempre competentes e infalíveis para me evitarem, para então pegá-las de surpresa.

— Nutro-me, por incrível que pareça, da omissão de gente muito importante para a sociedade, que são os juízes, do sistema jurídico como um todo, responsável pela impunidade generalizada.

Afinal, quem morreu, morreu, e provavelmente era culpado...

— Nutro-me do poder legislativo, constituído de pessoas mais preocupadas com o próprio bolso do que com aqueles que os elegeram.

Sou teu pior inimigo, quando você está no trânsito!

Quem sou eu?

Sou conhecido pelo nome de ACIDENTE DE TRÂNSITO!

Sou tão temido, que até me deram o nome errado!

Acidente é um evento não previsível e não evitável, e são coisas da natureza, como terremotos, erupções vulcânicas, furacões e etc., que até certo ponto já são até previsíveis pelos métodos científicos modernos!

Sou realmente maquiavélico, pois ao me chamarem de “acidente”, já estão tirando a responsabilidade de alguém, que poderia ter tomado medidas para evitar-me, ou para diminuir a gravidade das consequências de meus feitos...

Sobretudo, conto ainda com o apoio de uma crença que um deus mau estabeleceu que quem morreu cruelmente, foi para pagar seus pecados cometidos em outra vida.”

Após a leitura do texto, deve-se questionar os alunos sobre quais reflexões eles podem fazer acerca do mesmo. Em seguida apresente o seguinte vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=u9oJgY3kyxY>, onde mostra situações que envolvem acidentes reais de trânsito. Ao final do vídeo, o professor fará com a turma uma discussão dialogada e questionamentos sobre o que eles conseguiram perceber, no que tange os conhecimentos físicos envolvidos nessas situações e por quais motivos eles acham que aconteceram esses acidentes. É importante ser ressaltado os perigos ao cometer as infrações de trânsito presentes no contexto, e a importância de se utilizar os equipamentos de segurança quando trafegar nesse ambiente.

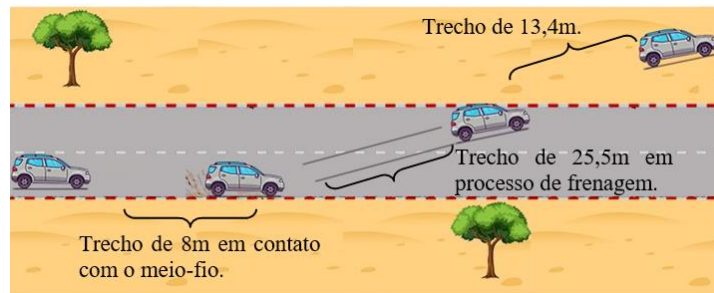
Posteriormente, na etapa 3, deve-se fazer uma breve revisão sobre os conteúdos imprescindíveis para a análise de um acidente de trânsito, que são o princípio da conservação de energia e princípio da conservação da quantidade de movimento. As revisões desses conteúdos podem ser feitas a critério do professor, porém, sugere-se que aconteça através de uma aula expositiva-dialogada com associações a problemas do cotidiano, mas caso prefira, também poderão ser utilizados como método de ensino vídeos ou textos científicos. Sugere-se como material de apoio para que os alunos façam uma leitura prévia do conteúdo antes da revisão: Hewitt, Paul G. Física conceitual [recurso eletrônico] / Paul G. Hewitt ; tradução: Trieste Freire Ricci ; revisão técnica: Maria Helena Gravina. – 12. ed. – Porto Alegre : Bookman, 2015.

Na etapa 4, o professor deverá explicar o que vem a ser a profissão de perito criminal, as áreas de atuação, o que fazem esses profissionais e o quanto são essenciais na determinação das causas de um acidente de trânsito. Para desenvolver tal atividade o professor apresentará o vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=kpT70L2-prk&t=147s>. Ao final do vídeo, deve-se questionar os alunos sobre quais dessas áreas de atuação mostradas o perito com formação em física se encaixa, e em quais, além do vídeo, também são atribuídos ao perito com formação acadêmica em física, salientando que muitas vezes o perito com formação em física precisa utilizar-se dos conhecimentos de outras áreas para o desenvolvimento de seu trabalho.

A etapa 5 é formada pela atividade 1, onde será apresentado aos alunos um croqui de uma situação de trânsito, que é um esboço à mão de pintura/desenho. Com base em uma questão de Almeida (2015), utilizou-se os dados da questão teórica do referido livro para a elaboração do croqui.

Atividade 1: Observe o croqui esquemático da representação de uma situação de trânsito. Não se sabe as causas que fizeram o motorista perder o controle do veículo, porém, pelas evidências do local foi possível apurar os seguintes dados:

Figura 3: Croqui esquemático de uma situação de trânsito.



Fonte: Adaptado de Almeida (2015)

Sabendo que os coeficientes de atrito $\mu_c = 0,7$ para o concreto, $\mu_c = 0,8$ para a frenagem no asfalto e $\mu_c = 0,5$ para a terra e que a massa do veículo corresponde a 1200 kg, determine a velocidade inicial do veículo utilizando a equação (16).

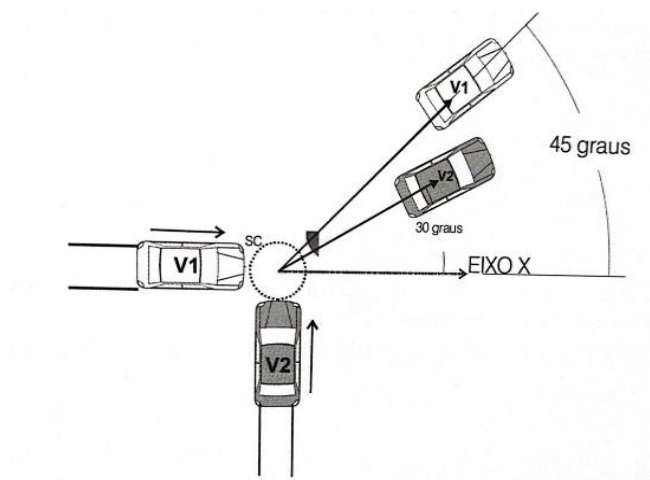
A velocidade encontrada deve corresponder a $v_i = 25,32 \text{ m/s}$.

A etapa 6 é formada pela atividade 2, onde os alunos colocarão em prática o conhecimento adquirido ao longo das etapas anteriores. Nessa etapa será realizada uma análise envolvendo um acidente de trânsito. A situação retratada na Figura 4 e que será trabalhada em sala de aula foi elaborada por Almeida (2015), sendo utilizada para que os alunos possam incorporar o papel de perito, sendo capazes de construir o próprio conhecimento através de uma aprendizagem investigadora. Para essa atividade, divida a turma em equipes de 4 alunos para que possam analisar a cena do acidente, onde através dos conhecimentos atrelados à física, eles vão desvendar o caso.

Atividade 2: Dois veículos (V_1 e V_2), de massas $m_1 = 800 \text{ kg}$ e $m_2 = 1.000 \text{ kg}$, em trajetórias perpendiculares colidem e a seguir passam a se descolar separadamente, cada qual em trajetória independente e bem definida. O veículo V_1 descreveu trajetória direcionada 45 graus acima do eixo X, e o veículo V_2 descreveu trajetória de 30 graus, conforme a Figura 4. Seus percursos após a colisão foram de 6 metros para o veículo V_1 e de 4 metros para o veículo V_2 , em processo de frenagem, considerando para ambos o coeficiente de atrito $\mu_c = 0,80$ no trecho pós-colisão.

Sabendo que, anterior ao sítio de colisão (SC), V_1 percorreu trecho de 5 metros em processo de frenagem e o V_2 percorreu trecho de 12 metros, ambos com coeficiente de atrito $\mu_c = 0,80$, pelo método do PCQM Gráfico determine as velocidades iniciais de cada veículo colidente.

Figura 4: Representação de um acidente de trânsito.



Fonte: Almeida (2015)

Faça os seguintes questionamentos:

- a) Foi possível determinar as velocidades iniciais dos veículos através deste princípio?
- b) Agora, tente resolver essa mesma situação aplicando o princípio da conservação da energia. Adote uma velocidade de danos na ordem de 45 km/h no veículo V_1 e 20 km/h no veículo V_2 .
- c) Os resultados obtidos foram os mesmos nos dois princípios?
- d) Se você tivesse que analisar essa situação de maneira real, quais as dificuldades que você acha que encontraria?

Ao final da atividade os alunos devem encontrar as seguintes velocidades iniciais: pelo princípio de conservação da quantidade de movimento $v_{1t} = 17,73 \text{ m/s}$ e $v_{2t} = 16,68 \text{ m/s}$; e pelo princípio de conservação da energia $v_{1t} = 17,97 \text{ m/s}$ e $v_{2t} = 16,77 \text{ m/s}$.

Na etapa 7, também deverá ser feita uma breve revisão sobre os conteúdos que explicam os movimentos dos corpos, principalmente o de queda livre e lançamento horizontal. Como livro de apoio, sugere-se o mesmo livro da etapa 3. Seguidamente, deve-se apresentar em Datashow o 2º episódio da 1ª temporada da série *CSI: Investigação Criminal*, intitulado “Troco Legal”. A exibição deve ocorrer nos momentos: 0min – 4min32s; 10min19s – 13min29s; 14min – 15min26s; 17min51s – 18min50s; 20min7s – 21min6s; 25min11s – 28min30s; 31min48s – 33min44s e 35min33s – 39min44s do episódio, onde se tem um caso da morte de um homem em decorrência da queda de um prédio. O trabalho dos peritos é investigar quais as circunstâncias para que tal fato acontecesse.

Atividade 3: Nesta atividade você deve ser mais uma vez o perito.

- a) Ao assistir esse episódio, faça uma discussão participativa sobre quais conceitos físicos pode-se observar neste caso.
- b) Que tipo de movimento é descrito durante a queda do prédio?
- c) Através dos dados informados no episódio, é possível descobrir quais variáveis físicas quanto ao movimento dos corpos em queda? Calcule a velocidade final com que o corpo atinge o solo e o tempo de queda.
- d) Supondo que ao invés de ter sido “abandonado”, o corpo da vítima tivesse sido empurrado, com uma distância final do corpo em relação ao prédio de 4 metros, calcule a velocidade do corpo na componente horizontal antes de atingir o solo.

Ao realizar os cálculos utilizando as equações do movimento, o aluno deve encontrar os seguintes resultados: velocidade com que o corpo atinge o chão na componente Y de $v_y = 29,70 \text{ m/s}$; o tempo de queda de $t = 3,03 \text{ s}$; velocidade na componente X de $v_x = 1,32 \text{ m/s}$.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresenta uma proposta de sequência didática que engloba a física forense como uma ferramenta que desperte o interesse e seja facilitadora do processo de aprendizagem da disciplina de física, mediante a aplicação de conhecimentos referentes aos conteúdos de princípio de conservação da energia, princípio de conservação da quantidade de movimento, queda livre e lançamento horizontal em situações que podem ser visualizadas no cotidiano do aluno.

Através da aplicação dessa proposta em sala de aula, espera-se que a física seja ensinada de maneira contextualizada, dando ao educando a oportunidade de conhecer métodos e técnicas científicas que são utilizadas nas ciências forense, por meio de aulas mais dinâmicas, fazendo assim com que o educando participe mais ativamente da aula, e

consequentemente, compreenda e assimile melhor os conteúdos abordados e sua aplicação no cotidiano.

As três atividades propostas buscam a interação entre os alunos, de forma que eles sejam instigados a aplicar conhecimentos da física para a elucidação de situações do cotidiano, incorporando o papel de peritos através de uma prática investigadora, fazendo-os serem capazes de observar o quanto a física está presente no cotidiano.

Infere-se que o ensino de física precisa cada vez mais ser melhorado, de modo que o professor deve sempre buscar novas metodologias e implementações para suas aulas, tornando assim a disciplina mais contextualizada e atrativa.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. L. **Manual de Perícias em Acidentes de Trânsito**. 2. ed. Campinas, SP: Millennium Editora, 2014.

AUTOMOVEIS E ENGENHARIA. Acidentes de trânsito em 2021 – Pancadas Incríveis e Incêndios. YouTube, 14 mai. 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=u9oJgY3kxY>. Acesso em: 19 set. 2023.

BEZERRA, D. P *et al.* A evolução do ensino da física – perspectiva docente. **Scientia Plena**, [S. l.], v. 5, n. 9, 2009. Disponível em: <https://scientiaplena.org.br/sp/article/view/672>. Acesso em: 19 set. 2023.

BOFFELLI, B. L. **A ciência forense em séries televisivas**: como a ciência e o cientista são representados em Dexter, NCIS e CSI. 2022. Dissertação (Mestrado) - Fundação Oswaldo Cruz. Programa de Pós-Graduação em Divulgação da Ciência, Tecnologia e Saúde da casa de Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://ppgdc.coc.fiocruz.br/images/dissertacoes/Dissertao-Bernardo-Lima-Boffellio.pdf>. Acesso em: 9 out. 2023.

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

CANAL APCF. Profissão de perito criminal. YouTube, 5 dez. 2013. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=kpT70L2-prk&t=147s>. Acesso em: 19 set. 2023.

CAVALCANTI, M. H. S.; RIBEIRO, M. M.; BARRO, M. R. Planejamento de uma sequência didática sobre energia elétrica na perspectiva CTS. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 24, n. 4, p. 859-874, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1516-731320180040004>. Acesso em: 1 jul. 2023.

CSI: Investigação Criminal. Temporada 1, Episódio 2 – Troco Legal. Direção de Michael Watkins. Columbia Broadcasting System. 13 out. 2000. (43min.).

ESPINDULA, A. **Perícia Criminal e Cível**: Uma visão geral para peritos e usuários da perícia. 4. ed. Campinas, SP: Millennium Editora, 2013.

FILHO, B. B.; SILVA, C. X. **Física aula por aula**: mecânica. 3. ed. São Paulo: FTD, 2016.

FRANCO, L. S. **A série CSI e suas possibilidades como estratégia de ensino em biologia**. 2020. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia. Faculdade de Educação. Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Salvador, 2020. Disponível em: <http://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/33221>. Acesso em: 16 ago. 2023.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física: mecânica**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

HEWITT, P. G. Física conceitual [recurso eletrônico] / Paul G. Hewitt ; tradução: Trieste Freire Ricci; revisão técnica: Maria Helena Gravina. – 12. ed. – Porto Alegre : Bookman, 2015. Disponível em: https://www.mediafire.com/file/hf39675jwqef4jq/Fisica_Conceitual_-_Paul_Hewitt.pdf/file. Acesso em: 19 set. 2023.

INVESTIGAÇÃO criminal. Temporada 1, Episódio 1 – Isabella Nardoni. Direção de Beto Ribeiro e Carla Albuquerque. Estúdio Medialand: Amazon Prime Video, 30 abr. 2018. (43 min.).

JESUS, G. B. O *et al.* Repensando a metodologia do ensino tradicional de física nas escolas públicas: um estudo de caso do Centro Integrado de Educação Navarro de Brito em Vitoria da Conquista/BA. In: VI Seminário Nacional e II Seminário Internacional Políticas Públicas, Gestão e Práxis Educacional, 2017, Vitória da Conquista. **Seminário Gepráxis**. Vitória da Conquista, 2017. p. 1477-1489. Disponível em: <http://anais.uesb.br/index.php/semgepraxis/article/viewFile/7305/7082>. Acesso em: 9 out. 2023.

MASSINI, G. B. **A Física Forense como ferramenta de aprendizagem**: Uma proposta para o ensino médio. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) – Universidade Federal Fluminense, Instituto do Noroeste Fluminense de Educação Superior, Santo Antônio de Pádua, 2022. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/26413>. Acesso em: 23 ago. 2023.

MORAES, J. U. P. A visão dos alunos sobre o ensino de física: um estudo de caso. **Scientia Plena**, [S. l.], v. 5, n. 11, 2009. Disponível em: <https://www.scientiaplenua.org.br/sp/article/view/736>. Acesso em: 19 set. 2023.

MOREIRA, M. A. Desafios no ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, n. Suppl. 1, e20200451, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0451>. Acesso em: 29 ago. 2023.

MOREIRA, M. A. Uma análise crítica do ensino de Física. **Estudos Avançados**, [S. l.], v. 32, n. 94, p. 73-80, 2018. DOI: 10.1590/s0103-40142018.3294.0006. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/152679>. Acesso em: 19 set. 2023.

NETO, O. N. Soluções Eletrônicas para Cálculos de Velocidade em Acidentes de Trânsito. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S. l.], v. 24, n. 2, p. 124-128, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/VkX7HF8dGs3VQj6N5FDWS8H/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 9 out. 2023.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física básica**. 4. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2002.

PAZ, J. Fenômeno, Lucifer lidera ranking de audiência no streaming; veja o top 10. Uol, 2020. Disponível em: <https://noticiasdatv.uol.com.br/noticia/series/fenomeno-lucifer-lidera-ranking-de-audiencia-no-streaming-veja-o-top-10-42706>. Acesso em: 8 out. 2023.

REDAÇÃO. Franquia policial mais bem-sucedida da história, CSI acaba após 16 anos. Uol, 2016. Disponível em: <https://noticiasdatv.uol.com.br/noticia/series/franquia-policial-mais-bem-sucedida-da-historia-csi-acaba-apos-16-anos-11298>. Acesso em: 8 out. 2023.

SEBASTIANY, A. P *et al.* A utilização da Ciência Forense e da Investigação Criminal como estratégia didática na compreensão de conceitos científicos. **Educación Química**, Cidade do México, v. 24, n. 1, p. 49-56, 2013 ISSN 0187-893-X. Disponível em: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2013000100009. Acesso em: 19 set. 2023.

SILVA, A. C. T.; FERREIRA, F. C. L.; SANTOS, F.; SILVA, A. C.; FERNANDES, C. S. Ensino baseado em investigação e Ciências Forenses: possibilidades para a alfabetização científica. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 11, n. 2, p. e36111225775, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i2.25775. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/25775>. Acesso em: 9 out. 2023.

SILVA, P. S.; ROSA, M. F. Utilização da ciência forense do seriado CSI no ensino de Química. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, [S. l.], v. 6, n. 3, p. 148-160, 2013. DOI: 10.3895/S1982-873X2013000300009. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/1478/1147>. Acesso em: 9 out. 2023.

SOUZA, E. J. **Física Forense na educação básica**: Uma proposta baseada na alfabetização científica. 2019. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade Federal de São Paulo - Campus Diadema, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unifesp.br/handle/11600/54624>. Acesso em: 19 set. 2023.