

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



Campus
AGRESTE



SBF
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

MEIRERE LUCIO PEREIRA

**CASOS DE CRIMES NO ENSINO DE FÍSICA: explorando a mediação e o caráter
lúdico no ensino de mecânica com atividades de perícia criminal**

Caruaru

2023

MEIRERE LUCIO PEREIRA

**CASOS DE CRIMES NO ENSINO DE FÍSICA: explorando a mediação e o caráter
lúdico no ensino de mecânica com atividades de perícia criminal**

Dissertação apresentada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Formação de Professores de Física em Nível de Mestrado.

Orientador: Prof. Dr. João Eduardo Fernandes Ramos

Caruaru

2023

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Paula Silva - CRB/4 - 1223

P436c Pereira, Meirere Lucio

Casos de crimes no ensino de física: explorando a mediação e o caráter lúdico no ensino de mecânica com atividades de perícia criminal. / Meirere Lucio Pereira. – 2023. 139 f.; il.: 30 cm.

Orientador: João Eduardo Fernandes Ramos.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, 2023.

Inclui Referências.

1. Física (Ensino médio). 2. Perícia (Exame técnico) – Caruaru (PE). 3. Aprendizagem por experiências. 4. Feuerstein, Reuven, 1921 - . 5. Integração na educação – Caruaru (PE). 6. Educação lúdica. I. Ramos, João Eduardo Fernandes (Orientador). II. Título.

CDD 371.12 (23. ed.)

UFPE (CAA 2023-041)

MEIRERE LUCIO PEREIRA

**CASOS DE CRIMES NO ENSINO DE FÍSICA: explorando a mediação e o caráter
lúdico no ensino de mecânica com atividades de perícia criminal**

Dissertação apresentada ao Mestrado Nacional
Profissional em Ensino de Física da
Universidade Federal de Pernambuco como
requisito parcial à obtenção do título de mestre
em Ensino de Física.

Área de concentração: Formação de
Professores de Física em Nível de Mestrado.

Aprovada em: 14/07/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. João Eduardo Fernandes Ramos (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof. Dr. Augusto César Lima Moreira (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof. Dr. Alexandre Campos (Examinador Externo)
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Deus de Abraão, Isaque e Jacó, pois não somos capazes, por nós, de pensar coisa alguma, como de nós mesmos, sem que do alto nos seja permitido fazer. Por isso, a Ele a glória eternamente amém.

Agradeço a minha mãe por me criar nos caminhos do Senhor, e acompanhar de perto meu início estudantil. Ao meu pai pelo exemplo de que os estudos podem te levar mais longe.

Não posso deixar de agradecer a todos que já foram meus professores, vocês são demais! Guardo todos no coração! Não tenho um professor favorito, antes já tive, mas depois que comecei a trabalhar na área, percebi como todos eram especiais ao seu jeito.

Faço um agradecimento especial ao coordenador atual do MNPEF, polo 46, aqui da Universidade Federal de Pernambuco na cidade de Caruaru, o Prof. Dr. Gustavo Camelo Neto, que no seu trato sempre cortês transmite confiança aos seus discentes. E claro, o agradecimento especial se estende ao Prof. Dr. João Eduardo F. Ramos por me resgatar de um labirinto de ideias, e me mostrar uma saída, seu trabalho foi fundamental.

E um agradecimento mais que especial a minha querida e doce esposa Priscyla por tanta dedicação a nossa união. Seria impossível para um pai de família (01 filho nascido e 01 na barriga) atender as demandas advindas de uma pós-graduação em nível de mestrado, acumulando-as com a sala de aula, os plantões na polícia científica, e as atividades voluntárias na igreja. Mas ela fez dos meus projetos e sonhos os dela. Aproveito o espaço para te declarar: te amo!

RESUMO

Este trabalho foi baseado nos parâmetros da Experiência da Aprendizagem Mediada (EAM) formulada por Reuven Feuerstein. Parâmetros que indicam as condições que precisam ser criadas para uma mediação eficaz (nas edições brasileiras, que abordam a teoria deste autor, convencionou-se chamar esses parâmetros de critérios de mediação ou parâmetros de características da mediação). O presente trabalho também se apoiou na hipótese da integração hierárquica defendida no livro Pozo, J. I.; Gómez Crespo M. A. Aprender y enseñar ciencia: Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico. 6ª ed. Madrid: Ediciones Morata, S.L. (2009). O produto educacional foi aplicado em duas turmas, de uma escola particular, de 9º ano do ensino fundamental 2 (ambas com 43 alunos). Quando aberto para comentários anônimos, os alunos indicaram que a sequência didática aplicada trouxe motivação para aprender (89,2% se sentiram motivados para aprender), desenvolvimento social (75,7% acharam fácil defender sua opinião junto ao seu grupo) e transcendeu a sala de aula (81,1% sentiram que fizeram uma reflexão acerca do cuidado de si mesmo e dos outros). A sequência didática proposta fornece uma opção para o ensino dos conceitos iniciais da mecânica clássica de maneira contextualizada através de casos fictícios, de cenas de crime, para serem solucionados pelos alunos por meio da perícia criminal, que deve ser realizada em vestígios montados nessas cenas de crime. Onde eles precisarão recorrer a conceitos matemáticos e físicos na busca por essa solução. O caráter lúdico da atividade se mostrou bastante eficiente no quesito motivação. A sequência didática é composta por 06 (seis) casos criminais envolvendo os seguintes conteúdos: apresentação das áreas de atuação da física, unidades de medida de comprimento e tempo, notação científica, referencial, trajetória, velocidade escalar instantânea e velocidade escalar média, leis de Newton, força de atrito e energia mecânica. Vale ressaltar que a lista de conteúdos citadas anteriormente é a dos conteúdos explícitos na sequência didática, mas há conteúdos implícitos e que podem ser explorados como continuação a este trabalho, são eles: Algarismo significativo, teorema da energia cinética, lançamento oblíquo, regressão linear e método Monte Carlo. A principal tarefa do professor na sequência didática será a de mediador. Fornecendo aos mediados a oportunidade de serem os protagonistas em seus processos de aprendizagem.

Palavras-chave: ensino de física; perícia criminal; aprendizagem mediada; Reuven Feuerstein; integração hierárquica; ludicidade.

ABSTRACT

This study has been based on the parameters of the Mediated Learning Experience (MLE) formulated by Reuven Feuerstein. These parameters indicate the conditions that need to be created for effective mediation (in Brazilian editions that report this author's theory, it has been agreed to call these parameters *cr terios de mediação ou parâmetros de características da mediação*). This current study has also been based on the hypothesis of hierarchical integration defended in the book Pozo, J. I.; Gómez Crespo M. A. *Aprender y Ense ar ciencia: Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. 6th ed. Madrid: Ediciones Morata, S.L. (2009). The educational product was applied in two classes, a private school, 9th grade of elementary school 2 (both with 43 students). When open to anonymous comments, these students indicated that the didactic sequence applied brought motivation to learn (89.2% felt motivated to learn), social development (75.7% found it easy to defend their opinion with their group) and transcended the classroom (81.1% felt that they made a reflection about the care of themselves and others). The proposed didactic sequence provides an option for the teaching of the initial concepts of classical mechanics in a contextualized way through fictitious cases, crime scenes, to be solved by students through criminal expertise, which must be carried out on traces mounted at these crime scenes. Where they will need to resort to mathematical and physical concepts in the search for this solution. The playful character of the activity proved to be quite efficient in terms of motivation. The didactic sequence consists of 6 (six) criminal cases involving the following contents: presentation of the physics' expertise areas, measurement units of length and time, scientific notation, referential, trajectory, instantaneous scalar speed, average scalar speed, Newton's laws, friction force and mechanical energy. It is worth mentioning that the list of contents mentioned above is part of explicit contents in the didactic sequence, but there are implicit contents that can be explored as a continuation of this study as oblique throw, linear regression, and Monte Carlo method. The main teacher's task in the didactic sequence will be the mediator, providing to the students the opportunity to be the protagonists in their learning processes.

Keywords: physics teaching; criminal expertise; mediated learning; Reuven Feuerstein; hierarchical integration; playfulness.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1	O PROBLEMA DAS CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS SEGUNDO POZO E CRESPO	12
2.2	A EXPERIÊNCIA DA APRENDIZAGEM MEDIADA (EAM) DE REUVEN FEUERSTEIN	18
2.3	CRIMINALÍSTICA – ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA	24
3	A FÍSICA ENVOLVIDA NA SEQUÊNCIA DIDÁTICA UTILIZANDO ELEMENTOS DAS CIÊNCIAS FORENSES	28
3.1	O QUE É FÍSICA?	28
3.1.1	Ramos da física	28
3.1.1.1	Física clássica	29
3.1.1.2	Física moderna	31
3.2	MÉTODO CIENTÍFICO	34
3.3	UNIDADES DE COMPRIMENTO E TEMPO	35
3.3.1	Unidades de comprimento	35
3.3.2	Unidades de tempo	37
3.4	NOTAÇÃO CIENTÍFICA E ORDEM DE GRANDEZA	38
3.5	CINEMÁTICA	41
3.5.1	Referencial	41
3.5.2	Ponto material e corpo extenso	42
3.5.3	Movimento e repouso	43
3.5.4	Trajectoria	43
3.5.5	Instante de tempo e intervalo de tempo	44
3.5.6	Posição x coordenada de posição	45
3.5.7	Variação de posição (deslocamento) x distância percorrida (distância total)	46
3.5.8	Velocidade	48
3.5.8.1	Velocidade média x velocidade escalar média	48
3.5.8.2	Velocidade instantânea x velocidade escalar instantânea	50
3.6	LEIS DE NEWTON	51

3.7	REFERENCIAL INERCIAL E NÃO INERCIAL	52
3.8	FORÇA DE ATRITO	61
3.9	ENERGIA MECÂNICA	65
3.9.1	Energia cinética	65
3.9.2	Energia potencial	65
3.9.2.1	Energia potencial gravitacional	66
3.9.2.2	Energia potencial elástica	68
4	METODOLOGIA	69
4.1	ESCOLHA DO TEMA	69
4.2	A PESQUISA	70
4.3	PROCEDIMENTOS E COLETA DE DADOS	70
4.4	A PROPOSTA DIDÁTICA	72
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	92
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	100
	REFERÊNCIAS	102
	APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL	104

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho irá abordar problemas comuns na área do ensino, especialmente na área do ensino de ciências. Serão revisitados os problemas, já tão conhecidos na área do ensino, como a desmotivação para aprender, o não aproveitamento dos conhecimentos prévios de seus alunos e a falta de eficiência no ensino das ciências, tanto nas instituições públicas quanto nas privadas, frente a uma sociedade que muda constantemente. Também serão pontuadas possíveis causas para eles, pois entendendo melhor suas causas, eles poderão ser mais bem tratados.

Após entender melhor possíveis causas para os problemas da desmotivação para aprender e o despreparo dos jovens que saem da escola, será apresentada uma sequência didática baseada numa espécie de miscelânea entre a **Experiência da Aprendizagem Mediada de Reuven Feuerstein (contida em sua teoria da Modificabilidade Cognitiva)** e **A hipótese da Integração Hierárquica de Pozo e Crespo**. Além é claro, da inserção de 06 (seis) elementos de criminalística para contextualizar o aprendizado de conceitos da mecânica clássica.

Os 06 (seis) elementos de criminalística utilizados na sequência didática para contextualizar as aulas de física foram: a profissão do perito criminal, o método científico utilizado por estes em seus trabalhos periciais, um caso de perícia contábil, um caso de reprodução simulada dos fatos, uma cena de homicídio, a análise das imagens de um acidente de trânsito, e o exame pericial em um local de acidente envolvendo a deformação de uma motocicleta e marcas de frenagens.

A presente pesquisa teve como objetivo geral apresentar uma alternativa ao ensino tradicional, e desta forma alcançar objetivos específicos como contribuir com a formação de alunos críticos, criativos, sensíveis às necessidades sociais e com elevados valores éticos e morais. Assim como tornar o ensino de física mais atrativo.

No capítulo 2, deste trabalho, serão apresentadas as teorias que fundamentam esta pesquisa. O subitem 2.1 apresentará a hipótese da integração hierárquica, proposta por Pozo e Crespo, que versa sobre uma maneira adequada de tratar os conhecimentos prévios dos alunos. O subitem 2.2 lançará luz nos parâmetros de mediação contidos na Experiência da Aprendizagem de Reuven Feuerstein, e o último item deste capítulo, item 2.3, apresentará a criminalística e seus postulados, evidenciando sua importância como uma ciência autônoma.

No capítulo 3, deste documento, será apresentado um breve resumo dos conteúdos de física contidos na sequência didática, passando desde apresentação das áreas da física até os conceitos pouco trabalhados no ensino médio como os conceitos de referencial inercial e não inercial.

No capítulo 4 será detalhada a metodologia aplicada na pesquisa e serão apresentados os detalhes de como se deu a inserção dos elementos de criminalística. Será nesse capítulo a maneira escolhida para a coleta dos dados será explanada.

No penúltimo capítulo, item 5, os resultados serão apresentados com base nos dados analisados, assim como algumas discussões acerca dos resultados serão realizadas. E com base na metodologia escolhida, ficará demonstrado que a sequência didática atingiu os objetivos propostos pela pesquisa. Por fim, sugestões de continuidade para o trabalho são indicadas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Um dos papéis da escola é o de preparar nossas crianças e jovens para atuarem suprimindo as necessidades da sociedade. Quando da revolução industrial, surgiu a necessidade de formarmos cidadãos confortáveis em permanecer em lugares fechados por muito tempo, cumpridores de horários rígidos (horário para entrar na fábrica, horário para sair dela, horário para comer, horário para descansar e as campainhas ditavam o ritmo nas fábricas e nas escolas) e fazedores de trabalhos repetitivos e memorizados. E assim a escola cumpriu muito bem o seu papel. Hoje o mundo está mudando velozmente e exige que as pessoas tenham pensamento crítico, sejam criativas, e sensíveis às necessidades sociais e possuam elevados valores éticos e morais. Será que nossas escolas estão ajudando a suprir essas novas necessidades?

Outra mudança que ocorreu foi no quesito: onde buscar o conhecimento? Antes, as crianças e adolescentes frequentavam a escola para receberem informações que seriam expostas pelos professores. Os docentes eram, principalmente, transferidores de conhecimentos. Porém, para os dias atuais, o local para se buscar conhecimento não está mais restrito ao ambiente escolar. A produção de conhecimento cresceu exponencialmente, e a informação está em toda parte. Podemos encontrá-la em blogs da internet, em redes sociais educativas, em *streams* (é a transmissão, em tempo real, de dados de áudio e vídeo de um servidor para um aparelho)¹, em aplicativos, em jogos, nos livros, nas revistas impressas, nas revistas digitais, nos programas de rádio, nos programas de televisão, entre tantas outras fontes. Portanto, não adianta o professor ficar à frente da turma escrevendo conteúdos na lousa ou vocalizando-os. O acesso à informação está inclusive nas palmas de suas mãos, nos *smartphones*.

Em consequência do que foi exposto nos parágrafos anteriores (as mudanças das necessidades sociais e o crescimento exponencial na produção do conhecimento), os discentes estão desmotivados e isso é notório a todos que vivenciam uma sala de aula. Primeiro porque os alunos entendem que podem encontrar a informação falada pelo professor em outro lugar, e segundo porque não veem sentido no que estão aprendendo. Eles estão sentindo uma distância muito grande entre o que estão aprendendo na escola e o que estão vivenciando fora dela.

Entendendo as expectativas da sociedade no tocante as suas necessidades, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) orienta que o currículo escolar traga a investigação, a reflexão, a

¹ <https://blog.nubank.com.br/o-que-e-streaming/>

análise crítica, a imaginação e a criatividade como competências a serem desenvolvidas nos alunos por meio de uma abordagem própria da ciência:

Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas. (BRASIL 2018)

Aulas contextualizadas, envolvendo problemas reais e que exijam a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade podem trazer a motivação necessária aos alunos. O processo de ensino e aprendizagem é uma via de mão dupla: o professor precisa ter intenção no ato de ensinar e o aluno precisa responder de modo recíproco a esta intenção. A motivação é precípua nesse processo.

2.1 O PROBLEMA DAS CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS SEGUNDO POZO E CRESPO

O capítulo anterior abordou duas causas para o problema do desinteresse dos alunos pela escola de modo geral. Este capítulo abordará o problema das concepções alternativas aos conceitos científicos que os alunos trazem consigo e que podem ser um problema quando não enfrentados devidamente. De acordo com Juan Ignacio Pozo e Miguel Ángel Gómez Crespo², uma das causas para o problema do desinteresse pela disciplina de ciências está na dificuldade em compreender os conteúdos conceituais. Pozo e Crespo explanam que essa dificuldade é proveniente da presença, entre os alunos, de fortes concepções alternativas aos conceitos científicos.

Mas, como conduzir o aluno de suas concepções alternativas para o conhecimento científico? Pozo e Crespo trazem a hipótese da integração hierárquica para contrapor as três hipóteses comumente defendidas do ponto de vista da psicologia cognitiva da aprendizagem e da própria tradição em didática das ciências: 1 – Compatibilidade; 2- Incompatibilidade; 3- A Independência entre ambas as formas de conhecimento. A sequência didática desenvolvida neste trabalho se apropria da hipótese de Pozo e Crespo e rejeita essas três hipóteses tradicionais em didática das ciências. A seguir seguem uma descrição do que prega cada hipótese tradicional e porque foram rejeitadas. Depois será explanada a hipótese da integração hierárquica e

As primeiras análises do pensamento científico a partir da psicologia cognitiva eram baseadas em uma suposta compatibilidade entre as formas de pensamento próprias da ciência e do

² Pozo, J. I e Crespo, M. A. G. A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico. 5ª edição. Porto Alegre: Artmed, 2009.

conhecimento cotidiano. Assumiam que o chamado racionalismo científico não é senão uma prolongação da própria racionalidade humana. As pessoas comuns e os cientistas pensam essencialmente de modos iguais quando enfrentam um problema.

A mente do cientista e a da pessoa comum (incluídos os alunos) estariam formatadas da mesma maneira, ou seja, os programas que rodam em uma e na outra seriam compatíveis. (Pozo & Gómez Crespo, 2009, p. 120)

Considerar as formas de pensamento, do homem comum (não cientista) e do cientista, compatíveis fará com que o professor ao ensinar ciências não precise se preocupar com as concepções alternativas trazidas por seus alunos. Pois entende-se, a partir dessa hipótese, que quando os alunos forem apresentados às concepções científicas, irão abandonar os conceitos equivocados. Por isso, essa hipótese é também denominada hipótese da acumulação de saberes.

Porém, Pozo e Crespo argumentam que estudos da psicologia do pensamento (Nisbet, 1993; Pérez Echecerría, 1990) mostram que adolescentes e adultos (inclusive universitários) quando são testados a realizarem uma tarefa que requer utilizar um pensamento científico, quase sempre recorrem a outras formas mais simples de pensamento e que levam a resultados diferentes aos da ciência.

Em suma, se considerarmos a pesquisa recente em psicologia do pensamento, a metáfora do ser humano como cientista é pouco adequada. O pensamento científico não parece ser a forma natural, convencional, de as pessoas comuns enfrentarem seus problemas. (Pozo & Gómez Crespo, 2009, p. 123)

A partir dos estudos mostrando que o conhecimento cotidiano é baseado em formas de pensamentos e aprendizagem que se afastam bastante da racionalidade científica, a busca é por um método eficaz de ensino que possa levar o aluno de sua concepção alternativa para a concepção científica. Surge assim, a hipótese da incompatibilidade entre ambas as formas do pensamento.

A hipótese da incompatibilidade, em oposição a hipótese anterior, entende que a mente do cientista e a do aluno têm formatos incompatíveis e que utilizam linguagens diferentes. Portanto, os conhecimentos prévios são necessariamente errados e precisam ser substituídos pelos conhecimentos científicos. O professor precisa confrontar de forma contundente as ideias dos alunos e impor a concepção científica.

É preciso mudar, mediante o ensino, os conhecimentos prévios que o aluno traz consigo e aproximá-lo dos conhecimentos científicos. (Pozo & Gómez Crespo 2009, página 125)

O objetivo, então, é mostrar ao aluno que sua teoria é errônea e que ele deve substituí-la por outra teoria melhor, mais próxima da teoria cientificamente aceita. (Pozo & Gómez Crespo 2009, página 125)

De acordo com a hipótese da incompatibilidade, os conhecimentos prévios dos alunos devem aparecer na primeira atividade com os alunos, depois precisam ser conflitados pelo professor e espera-se que no exame final tenham desaparecidos. Embora essa metodologia se mostre mais eficaz que os métodos mais tradicionais, como o da hipótese anterior (hipótese da compatibilidade ou da acumulação de saberes), nenhum estudo de caso conseguiu demonstrar que os alunos abandonaram suas concepções alternativas. Pois elas são provenientes de sua experimentação cotidiana. No máximo o que se consegue é que os alunos compreendam as concepções científicas. Mas sem abandonar o que construíram ao longo da vida.

Segundo Pozzo e Crespo, a impossibilidade de eliminação das concepções alternativas se dá pelo fato dessas concepções funcionarem muito bem no contexto em que foram aprendidas. Por exemplo, quando um aluno expressa que os corpos mais pesados caem primeiro que os mais leves, ele pode estar correto quando se leva em consideração a força de empuxo proveniente do ar que envolve os objetos em queda. A queda dos objetos até o chão é presenciada pelos adolescentes desde quando são apenas bebês. A física Newtoniana **ensinada na escola** é cheia de restrições (por exemplo: sem resistência com o ar) e não se parece muito com a física vivenciada pelos alunos no mundo real. Portanto, os conhecimentos prévios estão arraigados no intelecto dos indivíduos, e dificilmente serão abandonados.

Em vez de pretender que o aluno abandone sua mecânica intuitiva para assumir os modelos da física Newtoniana, o que se tentaria é que ele consiga diferenciar entre ambos os modelos ou interpretações e aprenda a usá-los discriminando em função do contexto. (Pozo & Gómez Crespo, 2009, p. 126)

Surge assim, a hipótese da independência (ou do uso do conhecimento segundo o contexto). Essa hipótese trabalha com a ideia de se manter no mesmo sujeito as duas concepções (a científica e a alternativa). Essas concepções serão aplicadas de modo discriminativo em função do contexto.

O problema dessa hipótese está no fato do aluno não ter maturidade suficiente para discernir os contextos. O que ele faz é utilizar o conhecimento científico no contexto da escola e as concepções alternativas nos contextos fora da escola. Mas, o objetivo da educação não deveria ser exatamente a transposição dos conteúdos escolares para o cotidiano? Qual proveito tem de ensinar ciências, se servirá apenas para o contexto escolar? Vemos aqui, mais uma vez, que o

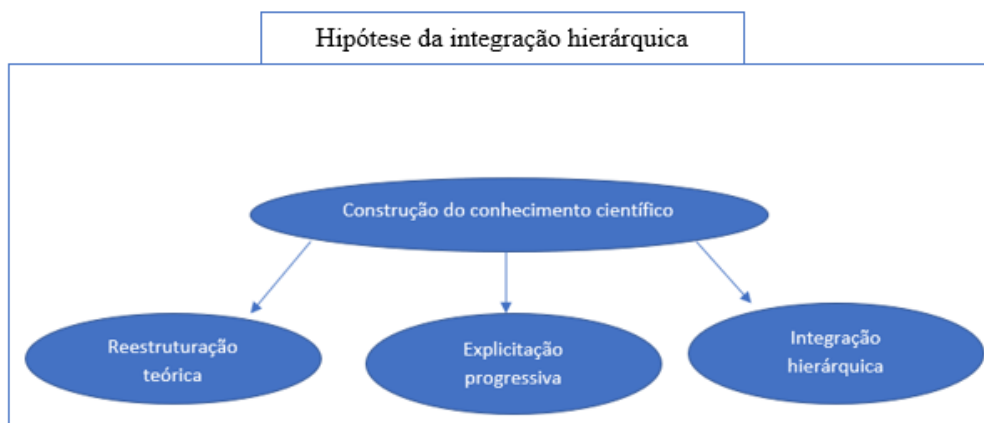
problema do desinteresse pelo estudo de ciências persistirá caso se adote essa hipótese para tratar os conhecimentos alternativos versus o conhecimento científico.

Para contrapor as hipóteses anteriores, Pozo e Crespo trazem uma hipótese mais robusta (por isso foi esta a escolhida para ajudar na construção da sequência didática produto desta dissertação), a hipótese da integração hierárquica ou dos diferentes níveis de representação e conhecimento.

Segundo essa hipótese, a ativação contextual de teorias alternativas não é incompatível com a necessidade da mudança conceitual entendida como a construção do conhecimento científico a partir do cotidiano. (Pozo & Gómez Crespo, 2009, p.129)

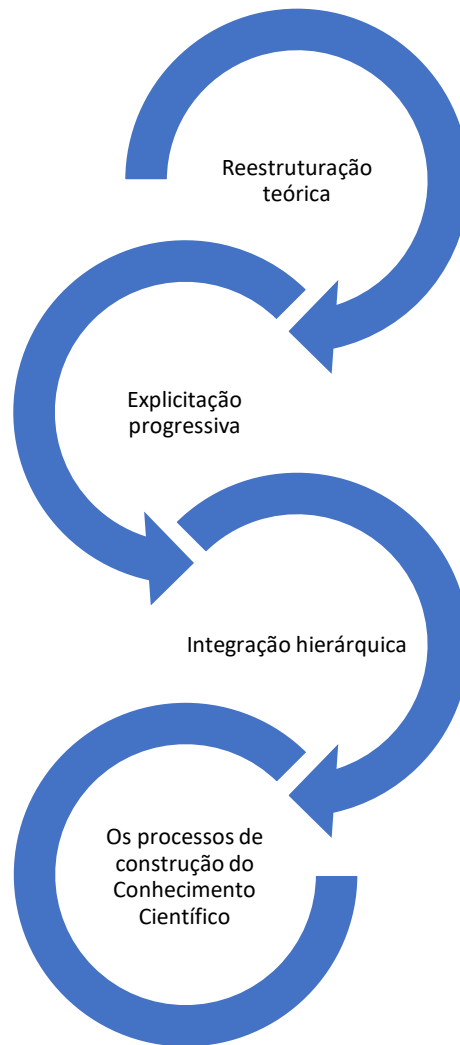
Para a construção do conhecimento científico é necessário mais do que um processo: seja ele o de contrapor as ideias fenomenológicas dos alunos ou a ação de permitir a coexistência passiva das duas concepções (científica e alternativa). São necessários três processos: uma reestruturação teórica, uma explicitação progressiva e a integração hierárquica. É de relevo citar que esses três não serão executados separadamente, mas concomitantemente.

Figura 1– Ilustração da hipótese da integração hierárquica de Pozo & Crespo



Fonte: Adaptada de Pozo & Gómez Crespo, 2009, p.132.

Figura 2- Processos concomitantes para a construção do conhecimento científico



Fonte: O autor. Ilustra os três processos de Construção do Conhecimento Científico como sendo três processos concomitantes.

O processo de reestruturação teórica é aquele onde o professor apresenta situações incompatíveis com as concepções alternativas dos alunos, mas não para que sejam eliminadas pelos alunos (claro que se a concepção for absurda, essa precisa ser abandonada). O professor irá diferenciar as situações deixando claro que as concepções estão tratando modelos diferentes dentro de um conteúdo mais amplo. Nos termos da epistemologia de Bunge³, dentro de uma **teoria geral**, o professor apresentaria diferentes **modelos teóricos** e diferentes **objetos modelos** para chacoalhar as bases do aluno e fazê-lo buscar uma reestruturação. A ideia é que o aluno busque encaixar seu conhecimento factual (análise fenomenológica) dentro da teoria geral. Pois

³ Bunge, Mario. Teoria e Realidade. São Paulo: Perspectiva, 1974.

se o fenômeno acontece, não pode ser rejeitado, mas é preciso apenas que o aluno o reorganize dentro da teoria científica.

A forma mais leve de mudança conceitual seria o enriquecimento ou crescimento das concepções, simplesmente incorporando nova informação, mas sem mudar em absoluto a estrutura conceitual existente. O ajuste já implicaria modificar essas estruturas de alguma maneira, fundamentalmente mediante processos de generalização e discriminação, mas não exigiria uma mudança radical das estruturas existentes. Essa mudança radical ocorreria com a reestruturação, que deve traduzir-se e concretizar-se em uma mudança das estruturas conceituais utilizadas em um domínio de conhecimento dado, indo das formas mais simples, próprias do conhecimento cotidiano, até as estruturas mais complexas das teorias científicas. (Pozo & Gómez Crespo, 2009, p. 132)

No processo da explicitação progressiva, o aluno é colocado numa situação em que precise explicitar suas ideias (melhor ainda se ocorrerem em contextos de trabalhos em grupo). Forçando-o buscar as explicações intuitivas de suas concepções, que as vezes nem eles sabem em que estão baseadas suas ideias.

Segundo Pozo e Gómez Crespo, as concepções alternativas:

são baseadas em supostos e restrições implícitos, ou seja, são subjacentes às próprias concepções, mas sem que o sujeito tome consciência delas. Portanto, será necessário, com o fim de promover a mudança conceitual, projetar cenários que facilitem esse processo de explicitação, de forma que o aluno enfrente problemas potenciais, se possível em contextos de interação social, que induzam à comunicação das próprias concepções, de maneira que mediante esse processo de explicitação, o aluno vá trazendo para a sua própria consciência boa parte desse continente submerso que são suas teorias implícitas. (Pozo & Gómez Crespo, 2009, p. 133)

Assim, torna-se mais acessível pensar criticamente acerca de concepções alternativas formalizadas e bem representadas. É praticamente impossível confrontar uma concepção inconsciente. Após o aluno tomar conhecimento de suas ideias, que antes existiam apenas em seu subconsciente, é mais provável que ele consiga relacionar suas teorias com as teorias científicas.

Como já visto anteriormente, quando o aluno aprende uma teoria científica ele não abandona suas concepções alternativas, ou seja, quando ocorre uma mudança conceitual, passam a coexistir na mente do aluno as teorias científicas e suas próprias teorias. O que ocorre, de fato, é uma integração hierárquica.

O processo de integração hierárquica (não confundir o processo com a hipótese da integração hierárquica propriamente dita, vide figuras 1 e 2), conforme já citado anteriormente, ocorre juntamente com os demais processos dessa hipótese. Este processo leva em consideração que o conhecimento científico é explícito, bem formalizado, e por isso tem maior capacidade de

generalização, é mais complexo e permite explicar mais situações cotidianas. Sendo assim, o conhecimento intuitivo poderá ser incluído dentro das teorias científicas. Mas claro, isso apenas ocorrerá porque esse processo ocorrerá em conjunto com os processos de reestruturação teórica e de explicitação progressiva.

O aluno sendo conduzido a explicitar sua teoria, terá a oportunidade de entender o porquê pensa daquela maneira, e só assim poderá comparar sua teoria intuitiva com a teoria científica. Com isso fará a reestruturação teórica (encaixará sua teoria como caso particular de uma teoria geral) e possivelmente fará a integração hierárquica (entenderá que uma teoria complexa e mais bem formulada abrange a teoria fenomenológica e tem mais poder de redescrição representacional).

Sendo assim, o produto educacional foi desenvolvido tentando tratar as concepções alternativas dos alunos de acordo com a hipótese da integração hierárquica defendida pelos pesquisadores Pozzo e Crespo.

2.2 A EXPERIÊNCIA DA APRENDIZAGEM MEDIADA (EAM) DE REUVEN FEUERSTEIN

É muito comum o professor atribuir o fracasso da aprendizagem do aluno apenas ao aluno. Porém, é importante que se entenda que a responsabilidade é solidária. O aluno precisa estar disposto (responder ao esforço do professor de modo recíproco), mas o professor precisa ter intenção ao ensinar. Ensinar com intenção deixa claro a inseparabilidade de duas atitudes necessárias ao bom professor: querer ensinar e acreditar que é possível que o aluno aprenda o que se está sendo ensinado a ele. Sem essas duas atitudes, o professor apenas cumpre um expediente a frente de sua classe, e assim sendo, pode-se afirmar que os alunos perderam tempo e, com exceção do salário que será recebido, o professor também perdeu seu tempo.

Ensinar com intenção significa moldar o conteúdo a ser ensinado, é adaptá-lo à realidade de seu aluno. É pensar como ensinar o conteúdo para que seja bem compreendido. Envolve planejar o ensino. Afirma Feuerstein (2010, p.83): “*Na interação de aprendizagem mediada, o conteúdo específico da interação, por mais importante que seja, é moldado pela intencionalidade.*”

A *intencionalidade* no processo de mediação conduz o professor a pensar cada sessão da aula. Nada em uma aula deve ocorrer por acaso. Isso força o professor a pensar até mesmo o tom da voz que será utilizado em determinado momento. Feuerstein ainda traz os seguintes exemplos:

“Quero que ouça o que estou dizendo. Portanto, estou dizendo em uma voz alta.”

“Quando falo com você em tons baixos, tenho uma intenção. Quero que você faça um esforço para escutar, não apenas ouvir.”

“Quero que você saiba a ordem das ações, portanto, repito muitas vezes.”

(Feuerstein, *Além da inteligência: aprendizagem mediada e a capacidade de mudança do cérebro*. Traduzido por Aline Kaehler, 2010, p.83)

A atitude “acreditar na aprendizagem do aluno” significa ter crença na possibilidade de sua “modificabilidade cognitiva⁴”. Ao acreditar no sucesso do meu aluno, eu sou estimulado (energizado, motivado, engajado) a ensiná-lo.

Eu devo acreditar que o aluno é um ser modificável que é capaz de mudar e capaz de mudar de acordo com sua vontade e decisões. (Feuerstein, *Além da inteligência: aprendizagem mediada e a capacidade de mudança do cérebro*. Traduzido por Aline Kaehler, 2010, p.33)

Acreditar na aprendizagem do aluno traz motivação para o professor, e faz com que ele procure soluções para alcançar o resultado tão acreditado. Um professor que não acredita na capacidade de aprender do aluno, acaba desistindo dele. Há atualmente fortes evidências acerca da neuroplasticidade. Não importa a quantidade e/ou tamanho das barreiras existentes no processo de aprendizagem de um aluno (Feuerstein enumera três: barreira etiológica⁵, barreira de idade de início⁶ e barreira gerada a partir da severidade da condição da pessoa⁷), elas **não** são intransponíveis.

Devemos admitir que, por sermos otimistas por natureza e em nossas perspectivas teóricas, também acreditamos que existem casos em que uma chance real de mudança significativa pode não ser possível. Porém, nossa experiência trabalhando com populações com estas deficiências provou que até mesmo a barreira da severidade não é invencível. (Feuerstein, *Além da inteligência: aprendizagem mediada e a capacidade de mudança do cérebro*. Traduzido por Aline Kaehler, 2010, p. 40)

A herança trazida pelo aluno não deve servir como motivo para se desistir dele. Por mais severa que seja a sua condição deve-se entender que é só mais um obstáculo a ser rompido. Feuerstein conta o seguinte relato (o caso da aluna Y.):

Y. veio a mim com uma disfunção muito severa. Ela tinha feição “de pássaro”, com olhos saltados, um nariz longo, e tendência de torcer o rosto para os lados para focar visualmente. Ela não só não falava, mas também não tinha habilidade para produzir sons que não um grito aguda que não parecia

⁴ Modificabilidade Cognitiva é um termo utilizado por Reuven Feuerstein para definir a habilidade que o cérebro humano tem em reestruturar suas mentes no tocante a sua inteligência e forma de aprender. Capacidade de se criar nos indivíduos condições para o aprendizado.

⁵ Barreiras causadas de causa biológica e/ou ambiental.

⁶ Barreira que limita o aprendizado de determinadas funções a certos limites de idade.

⁷ Barreira proveniente de deficiências múltiplas severas – físicas, sensoriais e mentais.

estar relacionado com uma experiência de estímulo externo ao qual havia sido exposta. Era impossível ensiná-la como colocar a língua para fora. Ela sofria de apraxia – uma disfunção marcada pela inabilidade de realizar determinados movimentos físicos como a imitação. Ela também sofria de abulia, a inabilidade de iniciar ações por si mesma. Ou seja, ela precisava receber força de uma fonte externa para realizar uma ação. Por exemplo, para que ela levantasse um copo, alguém precisava pegar sua mão e fazê-la agir. Sem isso, ela pararia a ação no meio.

Quando comecei o exame, parecia que nada poderia ser feito. Eu desisti. Não acreditava que algo pudesse ser alterado. Mas a mãe, que estava muito infeliz, não desistiu. Ela tinha uma grande necessidade: “Eu vim até você porque achei que você podia ajudar. Você ajudou a tantos outros. Não consigo aceitar que minha criança será idiota! Se você não pode fazer, me ensine que eu faço!”

Ela veio até mim ano após ano, diversas vezes para receber instruções de como trabalhar com a filha. Após três anos e meio ela trouxe a filha e disse: “Ela está lendo!” Eu tratei as palavras da mãe com ceticismo e pensei comigo mesmo: “Outro sonho de uma mãe que deseja muito, um pensamento desejoso”. Mas a mãe trouxe um quadro com letras e a menina as organizou, com uma mão, em palavras, frases e assim por diante. Apesar de ter ensinado para a mãe como trabalhar com Y., eu não conseguia acreditar! Eu tive que admitir que para mim foi um tapa na cara, visto que eu havia me perguntado o que teria acontecido se eu tivesse acreditado que era possível alterar a condição da menina e tivesse trabalhado com ela diretamente. Comecei a trabalhar diretamente com ela. Sentamos com Y. ao lado de um computador e ela alcançou níveis incríveis de escrita nele.

Ela escreveu uma maravilhosa biografia, e vimos que ela entendia tudo que era dito ao redor dela, toda a falta de esperança dita sobre ela. Quando perguntei por que a mãe dela segurava sua mão enquanto digitava, ela respondeu: “Honrado e respeitado professor...” – e eu senti a ironia de suas palavras – “se você tivesse sido como eu, e se tivessem dito a você que era incapaz de qualquer coisa, e apenas sua mãe acreditasse em você e a levasse a fazer coisas como minha mãe fez, você também não abriria mão dela, Sr. Professor”. (Feuerstein, Além da inteligência: aprendizagem mediada e a capacidade de mudança do cérebro. Traduzido por Aline Kaehler, 2010, p. 40-41)

Acreditar em um frutífero resultado na aprendizagem do aluno gera forças no professor, que irá buscar diferentes ferramentas para alcançar o produto acreditado.

É de relevo repetir que, a responsabilidade do aprendizado não é unicamente do professor, pois o aluno precisa querer aprender. Claro que um ciclo virtuoso se inicia em um processo de ensino aprendizado onde o professor quer ensinar e acredita em seus alunos. Ensinando com intencionalidade (motivado e crendo) o professor buscará se reinventar até que o aluno rompa seus obstáculos. O aluno por sua vez ficará mais confiante após os avanços e se sentirá motivado. Aluno motivado e aprendendo, alimenta a crença do professor. Está criado um ciclo virtuoso de aprendizagem. Embora o professor tenha altíssima parcela de responsabilidade, aprender irá requerer, também, esforço e dedicação por parte do aluno.

Esta habilidade única de um aluno ou adulto se modificar existe como opção. Enfatizamos a palavra opção porque nos lembra de que nem todos realizam

esta habilidade. Existe como possibilidade; para realizar isto, um investimento de esforço e recursos é requerido. Mas a opção existe para todos os indivíduos, quem quer que sejam, mesmo quando barreiras ou obstáculos estão no caminho de sua implantação. (Feuerstein, *Além da inteligência: aprendizagem mediada e a capacidade de mudança do cérebro*. Traduzido por Aline Kaehler, 2010, p.35)

Baseado na Teoria da Modificabilidade Cognitiva desenvolvida por Reuven Feuerstein foi desenvolvida uma sequência didática onde o professor terá o papel de mediador e o aluno será o alvo da mediação. Pois para Feuerstein a modificabilidade do ser humano ocorre quando ele passa pelo processo de mediação.

Quando perguntamos o que torna um humano um ser modificável, agora temos uma resposta – a modificabilidade é transmitida para o ser humano por meio da mediação pela qual o mundo é mediado para ele e cria ferramentas e as condições prévias necessárias para ser modificado. (Feuerstein, *Além da inteligência: aprendizagem mediada e a capacidade de mudança do cérebro*. Traduzido por Aline Kaehler, 2010, p.53).

O que diferencia o ser humano dos demais seres vivos é exatamente sua forma de mediar o conhecimento. Mediamos não só a informação, mas a construção e a interpretação dada a ela. Mediamos trazendo uma reflexão acerca do objeto mediado. Quando isso é feito, a mente dos mediados são preparadas para serem modificadas.

Deste ponto de vista, um ser humano é uma criatura única. Apesar de haver indicadores de mediação também no mundo animal, eles não permitem que animais transmitam suas experiências aos seus descendentes. Animais são limitados em sua habilidade de transmitir sua experiência porque lhes faltam ferramentas de transmissão. Você já viu prova da existência de um animal que viveu no passado, fora de seu testemunho físico? Achemos traços de dinossauros, por exemplo, os seus ossos, mas eles nos dizem como foram extintos? Os seres humanos são únicos que transmitem a cultura, e pela transmissão de cultura não dizemos apenas a transmissão de informação, mas a formulação da experiência para que gerações futuras possam derivar delas os meios para se adaptar a mudanças. (Feuerstein, *Além da inteligência: aprendizagem mediada e a capacidade de mudança do cérebro*. Traduzido por Aline Kaehler, 2010, p.53).

Feuerstein ainda indica que para que se ocorra um bom processo de mediação, é preciso que sejam criadas condições preparatórias (denominadas por ele de parâmetros da Experiência da Aprendizagem Mediada - EAM) nas mentes dos mediados. Ele classifica os parâmetros da EAM em dois grupos: grupo 1: parâmetros responsáveis pelo caráter universal da modificabilidade humana (plasticidade própria de todo ser humano) e grupo 2: parâmetros específicos para a modificabilidade de cada ser humano (dependendo da cultura e histórico de vida de cada mediado). Para Feuerstein o primeiro grupo é essencial para que uma interação professor-aluno se torne uma Experiência de Aprendizagem Mediada. Já o segundo grupo de parâmetros ele entende que não precisa ocorrer durante todo o processo de mediação, mas apenas em situações específicas do mediado, também denominados de parâmetros situacionais.

Os parâmetros que compõem o **primeiro grupo** (parâmetros universais e essenciais para a EAM) são:

- Intencionalidade e reciprocidade;
- Transcendência;
- Mediação de significado.

Os parâmetros que compõem o **segundo grupo** (parâmetros situacionais) são:

- Mediação do sentimento de competência;
- Mediação da regulação e controle de comportamento;
- Mediação do comportamento de compartilhar;
- Mediação da individualização e diferenciação psicológica;
- Mediação da busca por objetivos, colocação de objetivos, e alcance de objetivos;
- Mediação da busca por desafio, novidade e complexidade;
- Mediação da consciência de ser uma entidade modificável;
- Mediação da alternativa otimista;
- Mediação do sentimento de pertença;

A sequência didática criada baseou-se apenas nos parâmetros universais (Intencionalidade e reciprocidade/ Transcendência/ Mediação do significado). Portanto, apenas esses serão apresentados a seguir.

O parâmetro da “Intencionalidade e reciprocidade” foi explicitado nos três primeiros parágrafos deste item 2.2 (A EXPERIÊNCIA DA APRENDIZAGEM MEDIADA (EAM) DE REUVEN FEUERSTEIN).

O parâmetro denominado Transcendência está relacionado a promover no mediado as ferramentas que possibilite ele aplicar os conteúdos aprendidos a outros contextos. Que não se apliquem apenas no momento da aprendizagem. É mediar o conhecimento para que o aluno seja capaz de utilizar o que está aprendendo no futuro, em outros momentos de sua vida, não apenas na sala de aula.

É a mediação consciente do mediador em ensinar olhando para o futuro, para outros contextos, para situações além do “aqui-agora”. O ensino não deve ser pontual, restrito a uma única situação ou contexto, precisa ser passível de aplicação, precisa ser capaz de ser útil e integrável a outras estruturas conceituais, outros saberes, outros momentos da vida do aprendiz e em outros contextos. (Marcos Meier e Sandra Garcia, 2011, p. 132)

O professor não pode ter como único fim o ensino de determinados conteúdos, pois isso irá cansar o aluno, irá desestimulá-lo. Mediar um conteúdo científico tem outras finalidades incluindo o de proporcionar a habilidade de aprender a aprender. E essa forma de mediar olhando para além do conteúdo (mediar utilizando o parâmetro da transcendência) quando repetida continuamente desenvolve no aluno a aprendizagem de processos metacognitivos, que segundo Marcos Meier e Sangra Garcia (2011), é a capacidade do indivíduo pensar sobre sua própria forma de aprender. Dessa forma, é evidente que esse parâmetro cria um ciclo virtuoso de aprendizagem, pois o aluno aprende um conteúdo novo, aplica a outros contextos, motivando a aprender e criando nele habilidades para melhorar sua forma de aprender.

A mediação de transcendência cria em um ser humano uma grande diversidade de possibilidades de ação e reação, cujo significado é a flexibilidade e criatividade de respostas resultantes, que permitem a propensão de modificabilidade permanente para adaptar-se a novas situações. (Feuerstein, Além da inteligência: aprendizagem mediada e a capacidade de mudança do cérebro. Traduzido por Aline Kaehler, 2010, p. 89)

É de relevo citar que Marcos Antônio Moreira (2009) expõe que uma das maneiras de se verificar quando o aluno aprendeu de modo significativo é testando-o em contexto diverso do aprendido, utilizando exemplos fora dos exemplos aplicados em sala de aula. Moreira argumenta que alunos que são expostos a testes similares (ou familiares) aos estudados no material didático (por ele chamado de material instrucional), eles podem simular uma aprendizagem reproduzindo o que estudaram repetidamente. Por isso, por entender que a criminalística é pouco abordada nas salas de aula, foi elaborada a sequência didática contextualizada com esses elementos forenses.

O terceiro parâmetro do grupo dos parâmetros universais de mediação é o da mediação de significado. O mediador faz uso dele quando busca ir além do ato de transmitir um conteúdo para o mediado, o que Freire (1983) chamou de concepção “bancária”. O professor ou mediador deve levar em conta questões como, por que ensinar esse conteúdo? Esse assunto é importante? Assim trará significado para o que se está aprendendo, e como consequência criará em seu alunato uma mola propulsora para aprender.

O terceiro componente, que é essencial para a existência de interações com valor de mediação, é a mediação de significado. O mediador não se contenta com a transmissão de conteúdo para a criança, mas também deve ser responsivo a perguntas como: “Por que este conteúdo é importante? Por que precisa ser aprendido?”

Desta forma o mediador cria na criança uma capacidade energética, que constitui um motivo para aceitar e absorver a mediação e usá-la. A mediação de significado é o que cria as forças motivadoras e emocionais que

impulsionam nossa atividade e comportamento. (Feuerstein, Além da inteligência: aprendizagem mediada e a capacidade de mudança do cérebro. Traduzido por Aline Kaehler, 2010, p. 89)

Este parâmetro não é idêntico, mas tem certa relação com o conceito central da teoria de Ausubel (1980), a aprendizagem significativa. Moreira (2009) afirma que para Ausubel a aprendizagem significativa é um processo que ocorre quando uma nova informação interage com um subsunçor⁸ existente na estrutura cognitiva do aprendiz. Quando dessa interação, a nova informação é transformada pelo subsunçor assim como o próprio subsunçor é também transformado. Fazendo com que conteúdos que possuam um significado lógico (é o significado inerente ao conteúdo das disciplinas ensinadas nas escolas) possa se relacionar, de modo não literal e não arbitrário, com a estrutura cognitiva do aluno, que interpreta a nova informação de forma única e individual (significado psicológico).

Feuerstein (2010), semelhantemente, explica que esse parâmetro faz surgir no aprendiz uma necessidade de buscar significados mais profundos e pessoais para o que se está aprendendo. Assim como, também, faz com que o conteúdo que se está aprendendo seja entendido e racionalizado. O mais importante que os conceitos e definições encontrados nos livros, que Moreira (2009) denominou significado lógico, é como o aluno buscou significado para esses conceitos em sua mente. Pois os significados lógicos poderão até ser esquecido (o que não tem problema algum, porque poderão ser consultados nos livros), mas a necessidade por buscar de sentido ficará infundida no aluno. Preparará o aluno para buscar significado para tudo em sua vida, fazendo-o um ser pensante e adaptável. Ele inclusive terá a capacidade de relacionar os novos significados aprendidos não só com os desafios futuros, mas relacioná-los-á as suas experiências de vida que ocorreram em momentos anteriores.

Sendo assim, por tudo que foi exposto no corpo deste item, acredito que seja possível ensinar física para alunos que passaram por um processo de ensino aprendizagem deficiente em sua carreira estudantil, mesmo que por longo período. Desde que, é claro, passe a ser alvo de uma experiência de aprendizagem mediada por parte de um mediador que acredita, e, portanto, não desistirá desse aluno.

2.3 CRIMINALÍSTICA – ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA

⁸ Termo utilizado para traduzir o termo em inglês *subsumer*. É uma definição, ideia, conceito e/ou termo cujo significado já esteja bem sedimentado na estrutura cognitiva do aprendiz.

Por volta do século XIX os exames forenses eram atividades exclusivas dos médicos, que estavam incumbidos tanto dos exames nos cadáveres como nos demais vestígios relacionados aos crimes investigados. Porém, a técnica aplicada por alguns criminosos exigiu um aprimoramento e especialização dos exames periciais. Passou a ser exigido uma gama maior de conhecimento a ser aplicado ao estudo dos elementos materiais relacionados aos crimes. Não só a medicina, mas outras áreas, como física, biologia, química, engenharia, informática, toxicologia e matemática passaram a compor a criminalística⁹.

Atualmente a criminalística é aceita como disciplina autônoma que possui métodos, postulados e princípios próprios e com total independência das demais disciplinas que ela se utiliza. Abaixo seguem os três postulados encontrados na 3ª edição do livro de criminalística editado pela Millennium¹⁰:

- 1) A conclusão de uma perícia deve ser invariante em relação ao perito criminal que a realizou.
 - 2) A conclusão de um exame pericial deve ser invariante em relação aos meios utilizados, desde que sejam utilizados meios adequados.
 - 3) A conclusão dada por um perito criminal é independente em relação ao tempo.
- Considerando que a verdade é imutável em relação ao tempo decorrido.

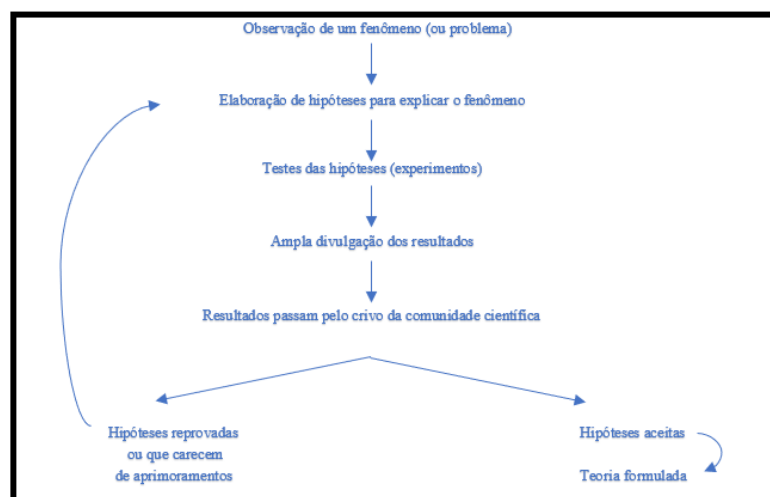
Por que ensinar física contextualizando com a criminalística? Porque poderá ajudar numa alfabetização científica. As pessoas, mesmo aquelas que já passaram por todo o ensino médio, e tiveram aulas de física, química e biologia por pelo menos três anos seguidos, não sabem diferenciar o que é científico do não científico. Há sérios problemas na concepção das pessoas acerca da definição de ciência. Para muitos, ciência é um estudo finalizado, um produto acabado, que não permite aprimoramento. Muitas dessas concepções errôneas são fruto da exploração das propagandas, cujos fabricantes procuram se aproveitar da credibilidade das ciências, e rotineiramente colocam pessoas trajando jaleco para apresentar um xampu, um desodorante, um alimento ou quaisquer que seja o produto e assim afirmar que aquele produto é perfeito, pois foi cientificamente testado.

⁹ Disciplina que atua para subsidiar decisões judiciais e que se apoia em áreas técnicas (física, química, biologia, engenharia, toxicologia entre outras), embora seja independente em sua ação.

¹⁰ DOREA, Luiz Eduardo; Quintela, Victor; Stumvoll, Victor Paulo. Criminalística. 3. ed. Campinas, SP: Millennium Editora, 2005.

Porém, o analfabetismo científico não é culpa apenas dos que se aproveitam da figura das ciências para vender seus produtos. O ensino dessa matéria é por diversas vezes mal realizado. Por vezes, os alunos são expostos às funções matemáticas para representar comportamentos de fenômenos da natureza sem que haja um espaço para reflexão. Muitas vezes falta trazer para sala de aula o caminho percorrido pelos cientistas para enfim sua teoria ser formalizada. Geralmente para ensinar como os cientistas trabalham, é apresentado no quadro branco um esquema de método científico contendo as seguintes etapas: a observação de um fenômeno, a elaboração de hipóteses, os testes das hipóteses (ou experimentos), validação ou negação das hipóteses, se validada, vira uma teoria, e se não, retorna para a etapa da elaboração das hipóteses. É evidente que este modo simplório não permitirá que o aluno assimile a complexidade que envolve o método científico. Os esquemas não abordam como são esses testes. E não respondem as seguintes perguntas: quantos testes precisam serem feitos? Qual a variedade de testes? Quem valida ou nega os testes? Mesmo após a hipótese passar por essas etapas e assim ser criada uma teoria, é possível modificá-la? Ainda que o esquema apresentado pelo professor inclua mais etapas que o exemplo a seguir, figura 3, é bem provável que o aluno não assimile bem o que é uma teoria científica.

Figura 3- Esquema simplificado do método científico



Fonte: O autor.

Observando o esquema exposto anteriormente, pode-se perceber como as teorias são postas como finalizadas (“um produto final”). Quem é o aluno para refletir acerca de uma lei científica? Ela já foi aceita por diversos cientistas, então quem é o aluno para aprimorar ou questionar uma teoria? Ele deve simplesmente ter uma fé, similar a fé religiosa, no que as leis da ciência afirmam. Sendo assim, os alunos não desenvolverão ferramentas para diferenciar um

conhecimento científico de um conhecimento religioso. Pois para ambos ele precisa somente ter uma fé cega.

Pensando no problema do analfabetismo científico, exposto nos parágrafos anteriores, a sequência didática desenvolvida apropriou-se de elementos da criminalística com intuito de estimular os alunos a elaborarem possíveis dinâmicas para as cenas de crimes a serem periciadas por eles, e assim aplicar o método científico, ilustrado na figura 3, na prática. Ao examinarem as cenas de crime, os alunos terão que elaborar uma possível dinâmica para o fato. E ao final, o professor mediador irá avaliar as hipóteses dos alunos indicando onde acertaram, onde erraram e o cuidado que eles precisam ter ao concluir qualquer coisa. É neste momento que o mediador encontra espaço para mostrar aos alunos que mesmo após refletirem sobre algo, criarem hipóteses e testarem-na obtendo o que acreditam ser um resultado positivo, ainda é possível falsear sua interpretação.

Com a atividade explicitada no parágrafo anterior, é possível apresentar para os alunos uma definição mais abrangente para uma teoria científica, a definição trazida pelos falsificacionistas:

Teorias que não resistem a testes de observação e experimentais devem ser eliminadas e substituídas por conjecturas especulativas ulteriores. A ciência progride por tentativa e erro, por conjecturas e refutações. Apenas as teorias mais adaptadas sobrevivem. Embora nunca se possa dizer legitimamente de uma teoria que ela é verdadeira, pode-se confiantemente dizer que ela é a melhor disponível, que é melhor do que qualquer coisa que veio antes. (Chalmers, A. F., O que ciência, afinal?, 1993, p.63)

É importante deixar claro para os alunos que a falseabilidade de um modelo teórico não traz descrédito para a ciência, pelo contrário é daí que vem a sua credibilidade. As formulações teóricas são baseadas em estudos descritos passo a passo (metodologia), e assim, a comunidade científica e cada um de nós podemos consultar, e por nós mesmos podemos enxergar alguma falha ou não. O que é científico não é o que é perfeito, mas o que se baseou no método científico, com uma metodologia explícita e que se permite passar pelos mais diversos crivos. Os cientistas não ficam desapontados ao terem suas teorias aprimoradas por outros. Muito pelo contrário, ficam orgulhosos de que seus trabalhos foram úteis para o desenvolvimento da ciência. Conforme Popper:

Eu posso, portanto, admitir alegremente que falsificacionistas como eu preferem uma tentativa de resolver um problema interessante por uma conjectura audaciosa, *mesmo (e especialmente) se ela logo se revela falsa*, a alguma récita da sequência de truismos irrelevantes. Preferimos isso porque acreditamos que essa é a maneira pela qual podemos aprender com nossos erros; e porque ao descobrirmos que nossa conjectura era falsa podemos ter aprendido muito sobre a verdade, e teremos chagado mais perto dela. (Chalmers, A. F., O que ciência, afinal?, 1993, p.69)

3 A FÍSICA ENVOLVIDA NA SEQUÊNCIA DIDÁTICA UTILIZANDO ELEMENTOS DAS CIÊNCIAS FORENSES

3.1 O QUE É FÍSICA?

Um erro muito comum que ocorre quando se está apresentando a disciplina de física para os alunos novatos é apresentá-la como sendo um ramo das ciências da natureza. Embora as ciências da natureza tenham sido inicialmente uma única ciência, conhecida como *filosofia da natureza*, ou *filosofia natural*, não se pode dizer por isso que a física é um ramo das ciências naturais. A física é uma ciência fundamental.

A física é, em muitos sentidos, a mais fundamental das ciências naturais, e é também aquela cuja formulação atingiu o maior grau de refinamento. (H. Moysés Nussenzveig, 2013, p. 16)

A física é mais do que um ramo das ciências da natureza. Ela é uma ciência fundamental. Ela versa sobre coisas fundamentais, como o movimento, as forças, a energia, a matéria, o calor, o som, a luz e a estrutura dos átomos. (Paul G. Hewitt, 2010, p.13 e 14)

Ainda citando Moysés Nussenzveig (2013) é sabido que a mecânica quântica jogou luz na estrutura dos átomos explicando-as. A física forneceu explicação para as ligações químicas, e de certa forma pode-se dizer que a química é um ramo da física. E pelo mesmo raciocínio, pode-se dizer que a biologia é um ramo da química, pois a biologia estuda a matéria viva que está contida química, que estuda a matéria (orgânica e inorgânica) e suas combinações. Vale ressaltar que uma disciplina ser considerada ramo de outra não significa ser inferior ou de menor importância, mas de quão fundamentais são suas teorias.

Sendo assim, a física é uma ciência da natureza fundamental, pois trata de conceitos fundamentais como o movimento, as forças, a energia, a matéria, o calor, o som, a luz e a estrutura dos átomos. E com isso auxilia na compreensão do universo e seus fenômenos. E seu método de pesquisa e desenvolvimento é baseado no método científico.

3.1.1 Ramos da física

A física para fins didáticos pode ser dividida em ramos, isto é, uma divisão apenas por questão de enfatizar áreas, pois esses ramos são interligados, e ainda, é importante citar que quando se fala de pesquisa de fronteira faz-se necessário cada vez mais “unificar” os conhecimentos destes ramos e não somente isso, mas também adotar uma abordagem interdisciplinar. Tendo isso em mente, **vamos dividir a física em Física Clássica (desenvolvida entre os séculos XVII e XIX)**

e **Física Moderna (desenvolvida a parti do século XX)**, e cada uma contendo alguns objetos de estudo (ou ramos).

3.1.1.1 Física clássica

Quando se estuda fenômenos a baixa velocidade (muito inferior a velocidade da luz no vácuo) e partículas não subatômicas a física clássica corresponde muito bem. Ela também é conhecida como Física Newtoniana. Podemos subdividi-la em: mecânica, ondulatória, termodinâmica, eletromagnetismo e óptica.

A mecânica é um ramo da física clássica que se concentra no estudo do movimento e das interações entre corpos macroscópicos. Ela abrange a cinemática (que descreve o movimento sem levar em conta suas causas) e a dinâmica (que estuda as causas do movimento e as forças que o provocam).

A **física mecânica** envolve a análise de objetos em diferentes estados de movimento, desde o repouso até o movimento acelerado. Ela estuda como as forças agem sobre os corpos, afetando sua trajetória, velocidade e aceleração. Além disso, a física mecânica explora conceitos como energia cinética, energia potencial, trabalho e conservação de energia.

A **ondulatória** é um ramo da física que se dedica ao estudo das ondas e de seus fenômenos. Uma onda é uma perturbação que se propaga em um meio, transportando energia sem o transporte de matéria. A ondulatória abrange uma ampla gama de fenômenos, desde ondas sonoras que nos permitem ouvir, até ondas eletromagnéticas que compreendem a luz visível, o calor e as ondas de rádio. Através dos princípios da ondulatória, podemos compreender como as ondas se propagam, interagem e se comportam ao encontrar obstáculos ou se difratar por aberturas. Além disso, a ondulatória também nos permite entender a natureza das ondas em diferentes meios, sua velocidade de propagação, frequência, comprimento de onda e amplitude. O estudo da ondulatória é essencial para uma variedade de campos científicos e tecnológicos, desde telecomunicações até medicina diagnóstica por figura.

A **termodinâmica** é uma área fundamental da física que estuda as relações entre o calor, trabalho e energia em sistemas físicos. Ela abrange uma ampla gama de fenômenos que envolvem transferência de calor e transformações de energia, seja em escala macroscópica, como motores a vapor e refrigeradores, ou em escala microscópica, como o comportamento dos átomos e moléculas (não abrangendo a escala subatômica, pois esse estudo é abrangido pela mecânica quântica). A termodinâmica se baseia em leis fundamentais, como a primeira lei da

termodinâmica, que estabelece a conservação da energia, e a segunda lei da termodinâmica, que define a direção do fluxo de calor e as limitações na conversão de calor em trabalho. Esses princípios permitem o estudo e a compreensão de processos termodinâmicos, como ciclos de Carnot, máquinas térmicas e sistemas em equilíbrio termodinâmico. A termodinâmica é uma ferramenta essencial em diversas áreas da ciência e da engenharia, desde a produção de energia até a química e a biologia, fornecendo uma base sólida para a compreensão dos processos energéticos e suas limitações.

O eletromagnetismo é uma das áreas fundamentais da física que estuda a interação entre cargas elétricas e campos magnéticos. Ele abrange uma ampla gama de fenômenos, desde o funcionamento de dispositivos eletrônicos até a propagação da luz e o comportamento das correntes elétricas. O eletromagnetismo se baseia nas leis formuladas por James Clerk Maxwell, conhecidas como as equações de Maxwell, que descrevem a natureza ondulatória da luz e estabelecem a união entre a eletricidade e o magnetismo. Essas equações demonstram que a variação de um campo magnético cria um campo elétrico e vice-versa, gerando ondas eletromagnéticas que se propagam no espaço. Além disso, o eletromagnetismo também estuda os princípios da eletrostática, do magnetismo e da indução eletromagnética, permitindo o desenvolvimento de tecnologias como motores elétricos, transformadores, antenas e sistemas de comunicação sem fio. O eletromagnetismo é essencial para a compreensão de fenômenos elétricos e magnéticos, tanto em escala microscópica quanto macroscópica, e desempenha um papel fundamental em diversas áreas da ciência e da engenharia, impulsionando o avanço da tecnologia moderna.

A óptica é um ramo fascinante da física que estuda a luz e os fenômenos relacionados à sua propagação e interação com os objetos. Ela abrange uma ampla gama de fenômenos, desde a reflexão e refração da luz até a formação de imagens por meio de lentes e espelhos. A óptica tem suas raízes em estudos antigos sobre a natureza da luz, mas foi com o desenvolvimento da teoria corpuscular e ondulatória da luz que grandes avanços foram feitos. A teoria corpuscular, proposta por Isaac Newton, considerava a luz como partículas em movimento, enquanto a teoria ondulatória, desenvolvida por Christiaan Huygens e posteriormente refinada por Thomas Young, considerava a luz como ondas. Essas duas abordagens foram unificadas pela teoria eletromagnética de James Clerk Maxwell, que descreveu a luz como uma onda eletromagnética. A óptica tem aplicações em diversas áreas, como a óptica geométrica, que estuda a trajetória da luz e a formação de imagens, e a óptica física, que se concentra nos fenômenos relacionados à natureza ondulatória da luz, como interferência e difração. Além disso, a óptica também

desempenha um papel fundamental em tecnologias como óculos, microscópios, telescópios, lasers e fibras ópticas, impulsionando avanços significativos em áreas como comunicação, medicina, indústria e pesquisa científica. A óptica é uma área empolgante e em constante evolução, permitindo-nos explorar e compreender o comportamento da luz e suas aplicações práticas em nosso mundo.

A descrição da óptica como uma teoria ondulatória é considerada uma teoria clássica. A teoria ondulatória da luz remonta ao século XVII, com as contribuições de cientistas como Christiaan Huygens e Thomas Young. Essa abordagem considera a luz como uma onda eletromagnética que se propaga através do espaço.

No entanto, vale ressaltar que a natureza da luz também foi objeto de estudo na física moderna, especialmente no início do século XX, com o desenvolvimento da teoria quântica. A descoberta de que a luz possui um comportamento dual, apresentando características de partícula (fóton) e onda, levou ao desenvolvimento da chamada "óptica quântica" ou "óptica quântica não linear". Essa abordagem incorpora os princípios da mecânica quântica para descrever fenômenos ópticos, como o efeito fotoelétrico e a emissão estimulada de radiação (base para o funcionamento dos lasers).

Portanto, embora a teoria ondulatória da luz seja considerada clássica, a descrição completa do comportamento da luz requer a compreensão dos princípios da física quântica, especialmente em fenômenos mais complexos e em escalas extremamente pequenas.

3.1.1.2 Física moderna

A física moderna é um campo fascinante que revolucionou nossa compreensão do universo em escalas que vão desde o infinitamente pequeno até o vasto cosmos. Com base em princípios fundamentais da mecânica quântica e da teoria da relatividade, a física moderna explora o mundo dos fenômenos subatômicos, partículas elementares, forças fundamentais e propriedades exóticas da matéria. Com o avanço da física de partículas, os cientistas descobriram uma miríade de partículas subatômicas e desvendaram os mecanismos das forças que governam o universo. Além disso, a física moderna estuda a natureza do espaço-tempo e as propriedades dos buracos negros, bem como os enigmas da matéria escura e da energia escura que compõem a maior parte do cosmos. Com suas aplicações tecnológicas em áreas como eletrônica, computação quântica e tecnologia de figura, a física moderna continua a impulsionar avanços científicos e tecnológicos que moldam nosso mundo em constante evolução. Dentre tantas áreas que poderíamos subdividir a física moderna, temos: física de baixas temperaturas,

física quântica, física do estado sólido, física da matéria condensada, relatividade, física atômica e nuclear, e a física de plasma.

A física do estado sólido e a física da matéria condensada são termos frequentemente utilizados de forma intercambiável, mas também podem ter distinções sutis dependendo do contexto. Geralmente, considera-se que a física do estado sólido é um subcampo mais específico da física da matéria condensada.

A física do estado sólido concentra-se nas propriedades físicas e eletrônicas dos sólidos, como metais, isolantes e semicondutores, e os fenômenos que ocorrem nesses materiais. Estuda a estrutura cristalina dos sólidos, as interações entre átomos e moléculas, as propriedades magnéticas, as propriedades elétricas, os fenômenos de transporte de carga e calor, bem como os efeitos quânticos em sistemas de dimensões reduzidas, como nano materiais e interfaces.

Por outro lado, a física da matéria condensada é uma área mais ampla que abrange uma variedade de sistemas que exibem comportamento coletivo de um grande número de partículas, como sólidos, líquidos, superfluidos, condensados de Bose-Einstein e materiais complexos. Além dos sólidos, também inclui estudos sobre líquidos, vidros, materiais amorfos e sistemas altamente correlacionados.

A física de baixas temperaturas é um ramo fascinante da ciência que se dedica ao estudo e compreensão dos fenômenos que ocorrem em temperaturas extremamente baixas, próximas do zero absoluto. Nessa faixa de temperaturas, os materiais exibem comportamentos surpreendentes e propriedades quânticas peculiares. Um dos destaques é a formação de condensados de Bose-Einstein, em que um grande número de átomos ou moléculas se agrupa em um estado quântico coletivo, exibindo comportamento ondulatório macroscópico. Além disso, a física de baixas temperaturas explora fenômenos como a supercondutividade, em que a resistência elétrica de certos materiais desaparece quando são resfriados abaixo de uma temperatura crítica, e a superfluidez, em que líquidos podem fluir sem atrito. Esses fenômenos têm implicações importantes em tecnologia, como na criação de dispositivos supercondutores e na compreensão da estrutura fundamental da matéria. O estudo da física de baixas temperaturas nos desafia a explorar as propriedades e comportamentos extremos da matéria e nos oferece uma visão única dos princípios fundamentais da física quântica.

A física quântica é uma das teorias mais fundamentais e revolucionárias da ciência, que desafia nossa compreensão convencional da realidade. Ela descreve o comportamento da matéria e da energia em escalas subatômicas, onde os princípios da mecânica clássica não se aplicam. Na

física quântica, as partículas são descritas por estados quânticos, que podem existir em superposição, representando uma combinação de diferentes propriedades simultaneamente. Além disso, a teoria introduz o conceito de dualidade partícula-onda, tratando as partículas como entidades que podem exibir características tanto de partícula quanto de onda. A física quântica também abrange fenômenos como o emaranhamento, em que partículas entrelaçadas estão correlacionadas de forma instantânea, independentemente da distância entre elas, desafiando a noção clássica de causalidade. Essa teoria tem aplicações profundas em diversas áreas, incluindo eletrônica, computação quântica, criptografia, fônica e materiais quânticos. A física quântica nos leva a um mundo fascinante, repleto de probabilidades, incertezas e um novo conjunto de leis que governam o reino microscópico da natureza.

A física relativística é um ramo da física moderna que busca entender e descrever o comportamento da matéria e da energia em altas velocidades e em presença de campos gravitacionais intensos. Fundamentada na teoria da relatividade de Einstein, a física relativística desafia as intuições clássicas do espaço, do tempo e da gravidade. Ela nos mostra que o tempo não é absoluto, mas sim dependente da velocidade e da gravidade, resultando em efeitos como dilatação do tempo e contração do comprimento. Além disso, a relatividade nos mostra que a velocidade da luz é uma constante universal invariável e que a massa (denominada massa relativística) de um objeto aumenta à medida que sua velocidade se aproxima da velocidade da luz. Essa teoria também descreve a curvatura do espaço-tempo causada pela presença de massas, o que resulta em fenômenos como a curvatura da luz em torno de corpos massivos. A física relativística tem aplicações em áreas como astrofísica, física de partículas, cosmologia e tecnologia de satélites de posicionamento global. Ela nos proporciona uma compreensão mais profunda dos fenômenos observados em escalas extremas e como toda física moderna ela desafia nossa visão tradicional do universo e das leis da física.

A física atômica e nuclear é um campo de estudo que investiga as propriedades, estrutura e interações dos átomos, núcleos atômicos e partículas subatômicas. **Na física atômica**, exploramos a estrutura eletrônica dos átomos e as transições de energia que ocorrem quando os elétrons saltam entre diferentes níveis de energia. Essas transições resultam na emissão e absorção de radiação e são a base para tecnologias como a espectroscopia e a física de lasers. **Já a física nuclear** concentra-se na estrutura, nas propriedades e nas interações dos núcleos atômicos, incluindo a radioatividade, a fissão nuclear e a fusão nuclear. Ela busca entender a estabilidade dos núcleos, a formação de elementos químicos no universo, bem como a produção e o uso de energia nuclear. A física atômica e nuclear desempenha um papel crucial na

medicina, na energia nuclear, na pesquisa de materiais e em nossa compreensão da origem e evolução do universo. Ela nos ajuda a desvendar os segredos da matéria em escalas atômicas e subatômicas, proporcionando *insights* valiosos sobre a natureza fundamental da realidade.

Por fim, temos **a física de plasma**. Esse ramo da física moderna estuda a quarta forma fundamental da matéria, ao lado dos sólidos, líquidos e gases. O plasma é um estado altamente energético da matéria composto por partículas carregadas, como elétrons e íons, que interagem fortemente através das forças eletromagnéticas. Ele está presente em diversos ambientes, desde as estrelas e os raios até os dispositivos de fusão nuclear e os tubos de plasma utilizados em tecnologias como a iluminação fluorescente. A física de plasma investiga as propriedades coletivas e o comportamento complexo desses sistemas, explorando fenômenos como a condução de eletricidade, a formação de campos magnéticos, as ondas e as instabilidades. Além disso, ela estuda a interação entre o plasma e os materiais ao seu redor, abrangendo áreas como a física de superfícies e os processos de plasma em materiais. A física de plasma desempenha um papel fundamental na busca por energia de fusão controlada, bem como em aplicações tecnológicas como a propulsão de foguetes e a fabricação de semicondutores. É um campo dinâmico e desafiador que nos ajuda a compreender e aproveitar o potencial do plasma para uma ampla gama de aplicações científicas e tecnológicas.

3.2 MÉTODO CIENTÍFICO

O método científico possui uma definição ampla e complexa, mas podemos resumir e simplificar seu conceito como sendo um método investigativo que se utiliza quando se deseja buscar um resultado o mais imparcial possível e digno de confiança. Esse método é composto pelas seguintes características: Observação do fenômeno (e/ou problema a ser solucionado), elaboração de hipóteses para explicar o fenômeno observado (e/ou para responder o problema inicial), testes das hipóteses, análise dos resultados dos testes, conclusões a respeito das hipóteses. Podendo as hipóteses iniciais serem aceitas como corretas, ou surgir necessidade de se criar hipóteses.

Importante dizer que o método científico não pode ser considerado como uma receita de bolo única e inequívoca. Como dito no parágrafo anterior ele possui uma definição complexa. Portanto, as etapas citadas no parágrafo anterior devem servir apenas de regras importantes dentro do método, mas que o método não se resume a elas.

Por fim, dentro da temática do método científico, pode-se afirmar, sem dúvida, que quando a ciência ao se utilizar do método científico não construiu um produto final ou perfeito. Mas

trouxe reprodutibilidade e progresso (no sentido de aprimoramento e não no sentido de melhoria para a sociedade). Conforme A. F. Chalmers (1939) a ciência avança por tentativa e erro, por conjecturas e refutações. E ele brinca dizendo que apenas as teorias mais adaptadas sobreviverão.

3.3 UNIDADES DE COMPRIMENTO E TEMPO

Na física as medições são muito importantes, pois ajudam na leitura do universo dirimindo as ambiguidades e fornecendo previsibilidade. Segundo David Halliday (2010), descobrimos a física aprendendo a medir e a comparar grandezas como comprimento, tempo, massa temperatura, pressão e corrente elétrica.

Contar e medir são essenciais para o estudante de física. E tudo que pode ser medido ou contado, é denominado de grandeza. Contar remete a matemática, sendo ela a linguagem que nos permite ler o universo. E medir implica comparar. Quando se mede um comprimento, está se comparando seu tamanho com o de um objeto conhecido, por isso é possível expressar um comprimento em palmos, polegadas e pés. E ao se expressar essa comparação estamos fornecendo o que foi medido (a grandeza) com sua respectiva unidade comparativa (unidade de medida), por exemplo: minha mesa tem 7 palmos da mão de meu pai.

3.3.1 Unidades de comprimento

Como dito no parágrafo anterior, o ato de medir uma grandeza está relacionado ao ato de compará-la. Sendo assim, para medir um comprimento de um objeto é preciso comparar com uma unidade padrão. Dentro de um Sistema Internacional (SI)¹¹ de unidades ficou convencionado que a unidade de medida padrão para o comprimento seria o metro.

Atualmente o metro padrão ficou definido como a distância percorrida pela luz no vácuo durante um intervalo de tempo de $1/299\,792\,458$ de segundo. Para medidas menores que o metro existem submúltiplos como o mili (10^{-3}), o centi (10^{-2}) e o deci (10^{-1}). Para medidas maiores que o metro podem ser utilizados deca (10^1) hecto (10^2) e o kilo (10^3). Observe a tabela abaixo:

Tabela 1- Múltiplos e submúltiplos do metro

¹¹ Na 14ª Conferência Geral de Pesos e Medidas, que ocorreu em 1971, ficou convencionado sete grandezas fundamentais para compor a base do Sistema Internacional de Unidades, assim como suas respectivas unidades de medida.

Grandeza	Unidade		Símbolo	Valor em unidade fundamental do SI
Comprimento	Múltiplos	Quilômetro	km	1 km = 1000 m = 10^3 m
		Hectômetro	hm	1 hm = 100 m = 10^2 m
		Decâmetro	dam	1 dam = 10 m = 10^1 m
	Submúltiplos	Decímetro	dm	1 dm = 0,1 m = 10^{-1} m
		Centímetro	cm	1 cm = 0,01 m = 10^{-2} m
		Milímetro	mm	1 mm = 0,001 m = 10^{-3} m

Fonte: <https://www.todamateria.com.br/conversao-de-unidades/>

Existem outros múltiplos e submúltiplos além dos apresentados na tabela anterior. Observe uma tabela mais completa abaixo:

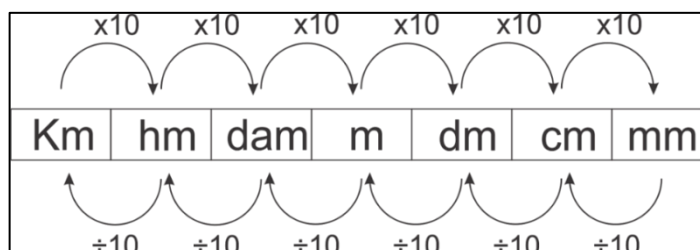
Tabela 2 – Outros múltiplos e submúltiplos

Múltiplos			Submúltiplos		
Factor	Prefixo	Símbolo	Factor	Prefixo	Símbolo
10^1	deca	da	10^{-1}	deci	d
10^2	hecto	h	10^{-2}	centi	c
10^3	quilo	k	10^{-3}	mili	m
10^6	mega	M	10^{-6}	micro	μ
10^9	giga	G	10^{-9}	nano	n
10^{12}	tera	T	10^{-12}	pico	p
10^{15}	peta	P	10^{-15}	femto	f
10^{18}	exa	E	10^{-18}	atto	a
10^{21}	zetta	Z	10^{-21}	zepto	z
10^{24}	yotta	Y	10^{-24}	yocto	y

Fonte: <https://mundodeengenheiro.wordpress.com/blog-2/>

Para realizar uma conversão de unidades de comprimento entre as unidades apresentadas na tabela 1, basta multiplicar ou dividir por 10 quantas vezes forem necessárias, pois cada unidade é 10 vezes maior que a unidade a sua direita. Observe a figura a seguir:

Figura 4 - Conversão de unidades de comprimento no sistema métrico decimal



Fonte: <https://mundodeengenheiro.wordpress.com/blog-2/>

Por exemplo, para converter 15,8km para decímetros é preciso multiplicar por 10 quatro vezes, ou seja, $15,8 \text{ km} = (15,8 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10) \text{ dm}$.

Sendo assim, $15,8 \text{ km} = 158000 \text{ dm}$.

3.3.2 Unidades de tempo

O tempo é uma grandeza que pode ser utilizada para responder duas perguntas:

- Quando ocorreu um evento? (Definimos como instante de tempo);
- Quanto tempo durou um evento? (Definimos como intervalo de tempo).

Sendo o tempo uma grandeza assim como o comprimento, ele também pode ser medido. E como citado anteriormente, medir é comparar com uma unidade padrão. Dentro do SI a unidade padrão para tempo é o segundo¹². Mas existem muitas outras unidades de medida para a grandeza tempo. Observe na tabela abaixo outras unidades e suas respectivas relações:

Tabela 3 – Unidades de tempo e suas relações

Grandeza	Unidade	Símbolo	Valor em outras unidades
Tempo	minuto	min	1 min = 60 s
	hora	h	1 h = 60 min = 3600 s
	dia	dia	1 dia = 24 h = 1440 min = 86400 s
	ano	ano	1 ano = 365 dias = 8760 h = 525 600 min = 31 536 000 s

Fonte: <https://www.todamateria.com.br/conversao-de-unidades/>

Para realizar a conversão de unidades de tempo, pode-se utilizar o Método da Conversão em Cadeia. Observe os exemplos a seguir:

Exemplo 1: Quantos segundos tem em 1 ano?

$$1 \text{ ano} = 1 \text{ ano}$$

$$1 \text{ ano} = 1 \text{ ano} \cdot \frac{365 \text{ dias}}{1 \text{ ano}} \cdot \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ dia}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$

$$1 \text{ ano} = 31\,536\,000 \text{ s}$$

Exemplo 2: Três dias tem quantos minutos?

$$3 \text{ dias} = 3 \text{ dias}$$

$$3 \text{ dias} = 3 \text{ dias} \cdot \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ dia}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}$$

¹² Conforme a 13ª Conferência Geral de Pesos e Medidas ficou adotado que um segundo seria o intervalo de tempo medido para a oscilação da luz em determinada frequência que é emitida por um átomo de césio 133.

$3 \text{ dias} = 4320 \text{ min}$

Como citado anteriormente, outro cálculo importante no estudo da grandeza tempo é para descobrir a duração de um evento. Neste caso se faz necessário a subtração ou adição de intervalos de tempo. Observe os exemplos abaixo:

Exemplo 3: Uma apresentação escolar será composta por duas músicas a serem ouvidas sucessivamente. A primeira música tem 4min e 50s de duração e a segunda música tem 5min e 25s de duração. Qual a duração da apresentação, sabendo que durará exatamente o tempo das duas músicas?

4 min 50s

+ 5 min 25s

9min 75s = 10min 15s

Exemplo 4: A transmissão televisiva de uma partida de futebol iniciou as 16h 13min e terminou as 18h e 05min. Qual a duração da transmissão do jogo?

18 h 05 min

- 16 h 13 min

Como o subtraendo é maior que o minuendo (13 minutos > 05 minutos), é preciso escrever as 18h e 05 min no formato 17h e 65min. Já que são equivalentes e permitirá a escrita de 65min – 13min, onde o minuendo será maior que o subtraendo. Observe:

18 h 05 min - 16 h 13 min 	➡	17h 65min - 16h 13min 1h 52min
---	---	--

3.4 NOTAÇÃO CIENTÍFICA E ORDEM DE GRANDEZA

A notação científica é uma forma de representar números extremamente grandes ou pequenos de maneira mais concisa e conveniente. Ela é frequentemente usada na física, mas outros campos científicos como a química e astronomia também fazem uso dessa ferramenta.

Essa notação é baseada no uso de potências de base 10. Em sua forma geral, um número em notação científica é escrito como um produto de dois fatores: um fator numérico N (um número maior igual a 1 e menor que 10), multiplicado por 10 elevado a uma potência inteira. Observe a forma geral de uma notação científica abaixo:

$$\text{Número} = N \cdot 10^e \quad \left\{ \begin{array}{l} \{N \in \mathbb{N} | 1 \leq N < 10\} \\ \text{"e"} \text{ é um expoente} \\ \text{inteiro} \end{array} \right.$$

Por exemplo, o número 300.000.000 pode ser escrito em notação científica como $3 \cdot 10^8$. Aqui, o número 3 representa a parte numérica entre 1 e 10, enquanto o expoente 8 indica que a parte numérica deve ser multiplicada por 10 oito vezes.

Da mesma forma, um número muito pequeno, como 0,000000045, pode ser expresso como $4,5 \cdot 10^{-8}$. Nesse caso, a parte numérica que está entre 1 e 10 é 4,5, e o expoente -8 indica que o decimal deve ser dividido por 10 oito vezes.

A notação científica permite simplificar a representação de números muito grande ou muito pequenos, facilitando os cálculos e a compreensão dos valores envolvidos. Além disso, ela é especialmente útil ao lidar com medidas em escalas astronômicas, como a distância entre planetas ou a massa de estrelas.

Ao utilizar a notação científica, é importante prestar atenção ao valor do expoente. Um expoente positivo indica um número grande, enquanto um expoente negativo indica um número pequeno.

Em resumo, a notação científica é uma ferramenta valiosa para representar números de magnitude extrema de maneira mais simples e compreensível. Ela desempenha um papel crucial nas ciências exatas, facilitando os cálculos e permitindo uma melhor compreensão dos fenômenos observados no universo.

Além da notação científica temos como representar um número por meio de sua ordem de grandeza, que é a potência de base 10 mais próxima do número que se deseja representar. Sendo assim, essa representação será aproximada. Utilizaremos a representação de um valor por sua

ordem de grandeza (uma potência de base 10) quando não tivermos os dados exatos de seu valor, ou quando não necessitamos de tanta precisão.

Como vimos no parágrafo anterior a ordem de grandeza será dada pela potência de base 10 mais próxima do valor que se deseja representar. Por exemplo, qual a potência de base 10 mais próxima do número 1500?

$$10^3 < 1500 < 10^4$$

Como 1500 está entre 10^3 e 10^4 , precisamos saber qual potência de base 10 está mais próxima de 1500. Comparando a diferença $1500 - 10^3$, e a diferença $10^4 - 1500$, temos $1500 - 1000 = 500$ e $10000 - 1500 = 8500$. Sendo assim, 1500 está mais próximo da potência 10^3 . Portanto, a ordem de grandeza do número 1500 é dada pela potência 10^3 .

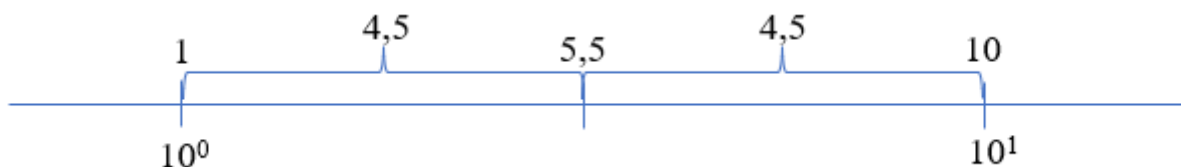
Um método mais prático para descobrir a ordem de grandeza de um número é convertê-lo para a forma de notação científica e comparar sua parte numérica com o número decimal 5,5. Se o fator numérico da notação científica for menor que 5,5, então a ordem de grandeza procurada será dada pela própria potência de base 10 da notação científica. Caso a parte numérica seja maior ou igual a 5,5, então a ordem de grandeza procurada será a potência de base 10 da notação científica adicionando 1 ao seu expoente. Veja o esquema a seguir:

$$x = N \cdot 10^e$$

Se $N < 5,5 \rightarrow$ A ordem de grandeza de x é igual a 10^e ;

Se $N \geq 5,5 \rightarrow$ A ordem de grandeza de x é igual a 10^{e+1} .

O 5,5 é escolhido como o valor comparativo para saber se deve-se aumentar 1 ao expoente porque 5,5 é a metade entre 10^0 e 10^1 . Observe:



Em resumo, a parte numérica de uma notação científica não aparecerá quando representamos a ordem de grandeza de um dado número. Porém, não é só apagar a parte numérica. Existe uma regra de “arredondamento” para a maneira como devemos apagar o fator numérico de uma notação científica para expressar sua ordem de grandeza.

Observe a tabela abaixo que contém diversos exemplos de representação da ordem de grandeza dos números dados.

Tabela 4 – Ordem de grandeza da área dos oceanos

Oceano	Área (km ²)	Ordem de grandeza da área (km ²)
Pacífico	156 000 000	10 ⁸
Atlântico	76 800 000	10 ⁸
Índico	68 600 000	10 ⁸
Antártico	20 300 000	10 ⁷
Ártico	14 100 000	10 ⁷

Fonte: O autor.

3.5 CINEMÁTICA

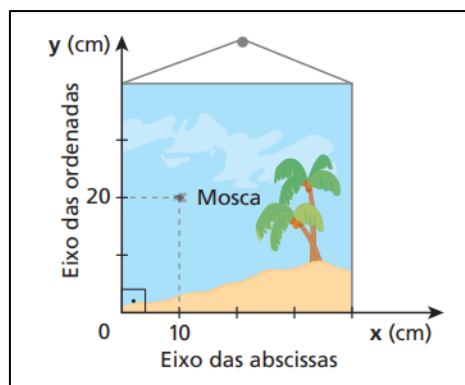
A cinemática, conforme explicitado no segundo parágrafo do item 3.1.1.1, Física Clássica, estuda os movimentos em si, sem se preocupar com suas causas (as causas do movimento são estudadas pela dinâmica). Nesta área da física se estuda desde a simplicidade de um objeto deslizando suavemente até a complexidade de corpos celestes em órbita. As grandezas físicas fundamentais utilizadas neste estudo são comprimento e tempo. E outras grandezas física que se destacam são: coordenada de posição, velocidade e aceleração.

Para se compreender melhor a cinemática, é preciso iniciar por algumas definições como: referencial, ponto material, corpo extenso, movimento, repouso, trajetória, instante de tempo, intervalo de tempo, posição (coordenada de posição), variação de posição (deslocamento), distância percorrida (distância total), velocidade média, velocidade escalar média, velocidade instantânea (ou simplesmente velocidade) e velocidade escalar instantânea (ou simplesmente velocidade escalar).

3.5.1 Referencial

Referencial é um ponto, marca, objeto, corpo ou qualquer coisa que utilizamos para determinar a posição de outros pontos, marcas, objetos, sistema de objetos, entre outros. E assim determinar se estes estão em repouso ou movimento. Um referencial muito utilizado comumente é o sistema de eixos cartesianos ortogonais, vide figura a seguir.

Figura 5 – Sistema de referência cartesiano



Fonte: Tópicos de física: Mecânica e Hidrodinâmica. 21. ed. vol. 1. São Paulo, SP: Editora Saraiva, 2012, p. 20.

Observando a figura 5, e projetando sobre o plano do quadro um par de eixos cartesianos ortogonais com origem no vértice inferior esquerdo do quadro, podemos determinar a posição da mosca como tendo coordenadas de abscissa (x) e ordenada (y) com valores 10cm e 20cm respectivamente.

Em um item seguinte, tópico 3.7, aprofundaremos o conceito de referencial separando-o em dois conceitos: referencial inercial e referencial não inercial.

3.5.2 Ponto material e corpo extenso

Quando do estudo dos fenômenos da natureza, às vezes, se faz necessário adotar um modelo para os corpos envolvidos no estudo, ou definimos o corpo como ponto material ou definimos ele como sendo um corpo extenso. A escolha de qual modelo adotar para cada corpo dependerá do tipo de análise e não da natureza (ou dimensão) do corpo a ser estudado. Pois um mesmo corpo sendo analisado em dois estudos diferentes poderá ser considerado um ponto material em um estudo e um corpo extenso em outro estudo. O planeta Terra poderá ser considerado um ponto material, caso o estudo seja calcular o intervalo de tempo para ele dar uma volta completa ao redor do Sol. Mas se o estudo a ser realizado depender das dimensões do planeta, então ele será tratado como um corpo extenso, por exemplo, se analisarmos as estações do ano provocadas pela inclinação de seu eixo de rotação.

Mas quando considerar um objeto como sendo ponto material? O objeto em estudo será dito ponto material quando suas dimensões forem desprezíveis para a análise em questão. Já se o objeto estudado tiver suas dimensões levadas em consideração, ele será tratado como um corpo extenso. Por exemplo, para calcular o tempo de viagem de um trem, pertencente ao sistema ferroviário europeu, que viajará de Londres (Reino Unido) para a cidade de Edimburgo (Escócia) podemos considerá-lo como um ponto material, pois suas dimensões não interferirão

significativamente no tempo da viagem. Porém, esse mesmo trem, deverá ser considerado um corpo extenso se o cálculo for o tempo que ele demora para ultrapassar um túnel.

3.5.3 Movimento e repouso

Mesmo antes de se estudar física, há um senso comum de que movimento é quando se muda de posição em relação ao solo (e muitos se quer percebem que esta é sua concepção de movimento). Mas essa noção está incompleta, pois nem sempre o referencial será o solo. Por isso, ensinar estes conceitos (de movimento e repouso) se torna um desafio. O estado de movimento ou repouso é um estado relativo, isto é, depende do referencial adotado. Portanto, não faz sentido perguntar se um corpo está em movimento sem relacionar a um referencial.

Um corpo é dito em movimento quando sua coordenada de posição varia, com o passar do tempo, em relação a um dado referencial. No caso dos movimentos unidimensionais, podemos simplificar o conceito para: um corpo é dito em movimento quando sua distância varia (se afasta ou se aproxima), com o passar do tempo, em relação a um dado referencial.

Quando um corpo não está em movimento em relação a um dado referencial, é dito que ele está em repouso em relação a esse referencial. Sendo assim, um corpo é dito em repouso quando sua coordenada de posição não varia em relação a um dado referencial. Fazendo a mesma simplificação do parágrafo anterior, temos que nos movimentos unidimensionais um corpo é dito em repouso quando sua distância é fixa em relação a um dado referencial.

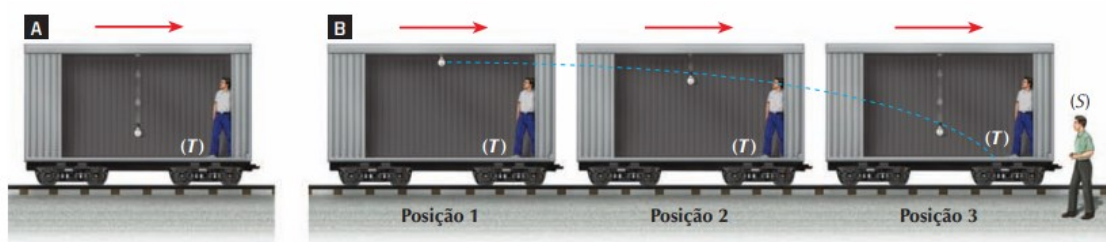
Algumas considerações importantes podem ser dadas a esses conceitos:

- Se um **corpo A** está em repouso (ou em movimento) em relação a um **corpo B**, então o **corpo B** obrigatoriamente estará em repouso (ou em movimento) em relação ao **corpo A**. Dizemos que o conceito de repouso (ou de movimento) é um conceito simétrico.
- Um mesmo corpo pode estar em movimento em relação a um referencial e em repouso em relação a outro referencial.
- Não existe repouso absoluto, isto é, repouso em relação a tudo, pois sempre será possível encontrar um referencial no qual o corpo em estudo esteja em movimento.
- Não existe movimento absoluto, isto é, movimento em relação a tudo, pois sempre será possível encontrar um referencial no qual o corpo em estudo esteja em repouso.

3.5.4 Trajetória

A trajetória de um móvel pode ser definida como a linha imaginária vista por um observador num certo referencial, isto é, assim como os conceitos de movimento e repouso, o conceito de trajetória também é relativo. Pois um mesmo movimento de um corpo pode ser visto com diferentes trajetórias por dois referenciais distintos. Por exemplo, a queda de um objeto preso ao teto de um vagão de um trem, que se desloca com velocidade constante, pode ser vista com trajetórias distintas por um observador dentro de um trem (referencial T) e um observador no solo (referencial S), vide figura 6:

Figura 1 – Trajetória vista por dois referenciais distintos



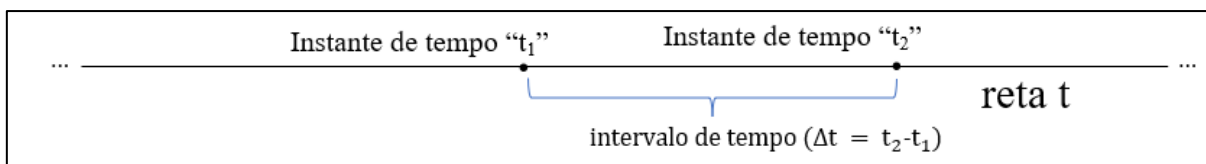
Fonte: JÚNIOR, Francisco Ramalho; FERRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, P. A. de Toledo. Os fundamentos da física: Mecânica. 10. ed. São Paulo: Editora Moderna, 2009, p. 31. A figura "A" ilustra a trajetória vista por um observador no interior do trem. A figura "B" ilustra a trajetória do mesmo objeto vista por um observador no solo.

3.5.5 Instante de tempo e intervalo de tempo

O tempo é uma grandeza primitiva e fundamental, portanto não admite uma definição simples e completa. Portanto, para fins didáticos vamos definir o tempo como sendo uma sucessão ilimitada e ininterrupta de instantes, ou seja, o tempo não tem começo, não tem fim e não para de passar. Conforme citado no item 3.3.2, Unidades de tempo, podemos nos utilizar desta grandeza fundamental para responder quando um evento ocorreu (instante de tempo) e quanto tempo ele durou (intervalo de tempo).

Para fugir do mundo abstrato que a definição apresentada no parágrafo anterior traz, podemos nos utilizar de uma analogia com elementos da geometria. Onde o tempo seria análogo a uma reta, um instante de tempo seria análogo a um ponto nesta reta e um intervalo de tempo seria análogo a um segmento de reta. Observe a figura 7:

Figura 2- Analogia do conceito de tempo com elementos da geometria



Fonte: O autor.

Para determinarmos valores numéricos para os instantes de tempo t_1 e t_2 , é preciso um referencial temporal, isto é, escolher um ponto na reta do tempo para ser a origem dos tempos ($t=0$). E a partir da origem dos tempos mede-se com auxílio de um cronômetro os instantes t_1 e t_2 . Em que o valor de t_1 será dado pelo tempo passado desde o instante $t=0$ até o instante em que ocorre o evento relativo ao instante t_1 , e da mesma forma se procede para determinar o valor do instante t_2 . Por exemplo, em um jogo de futebol o instante t_1 é o instante em que ocorre o primeiro gol, e o instante t_2 aquele em que ocorre o segundo gol. O início da partida é no instante em que inicia o cronômetro ($t=0 \rightarrow$ origem dos tempos), e a partir daí registra-se os instantes que desejarmos. Para saber o instante em que ocorre o primeiro gol, é só medir o tempo que se passou desde quando o cronômetro foi iniciado até o instante em que a bola atravessa linha do gol pela primeira vez, este será o instante t_1 . Quando a bola atravessa a linha do gol pela segunda vez, o instante t_2 é o valor registrado pelo cronômetro neste instante. Agora, para saber o intervalo de tempo entre o primeiro e segundo gol, basta subtrair o valor de t_2 pelo valor de t_1 (t_2-t_1).

Considerações acerca dos conceitos de instante de tempo e intervalo de tempo:

- Um instante de tempo pode ser representado por um valor negativo, pois basta que o evento associado a ele tenha ocorrido antes do início da contagem dos tempos (origem dos tempos).
- Um intervalo de tempo nunca será negativo, pois o instante t_2 sempre será maior que o instante t_1 . Precisaremos desta consideração quando do estudo do conceito de velocidade.

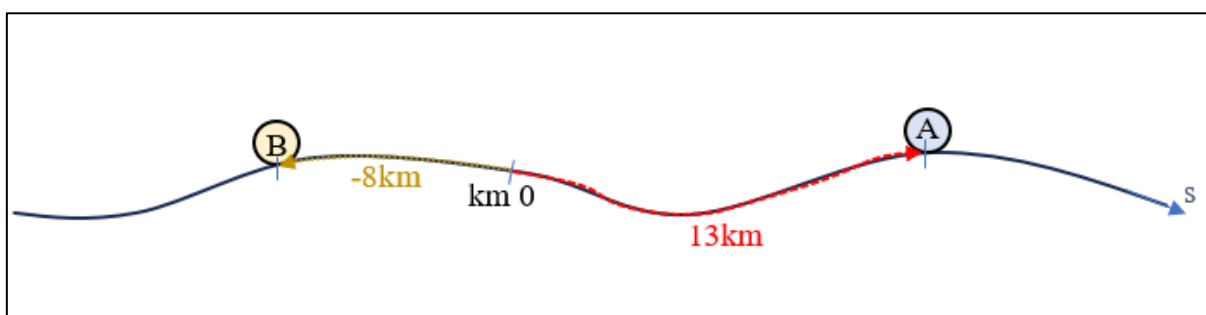
3.5.6 Posição x coordenada de posição

Muitos livros de física fundem o conceito de coordenada de posição com o conceito de posição. O que não traz nenhum prejuízo. Porém, desejando ser mais rigoroso podemos separar os conceitos, onde, a posição de um corpo pode ser definida como o lugar no espaço ocupado por ele, ou seja, onde ele se situa no espaço. E a coordenada de posição é a grandeza física em si, pois ela é mensurável. Vale ressaltar que podemos realizar uma abordagem vetorial para a grandeza coordenada de posição e uma abordagem simplificada, que podemos denominar

coordenada sobre a trajetória (abordagem muito utilizada no segmento básico da educação, especialmente ensino fundamental II, pois os alunos são apresentados aos conceitos da cinemática antes conhecerem a matemática vetorial). Numa abordagem vetorial, a coordenada de posição pode ser definida como o vetor posição de origem coincidente com a origem do sistema de referência e extremidade na posição do objeto. Neste tipo de abordagem o sistema de referência mais comum é o composto por eixos cartesianos ortogonais, como na figura 5. Neste caso, podemos dizer que a coordenada de posição da mosca é dada por $x=10\text{cm}$ e $y=20\text{cm}$, ou pelo vetor posição $\vec{r}$ ($r_x = 10\text{cm}$, $r_y = 20\text{cm}$).

Numa abordagem simplificada (coordenada sobre a trajetória), a coordenada de posição é definida como a distância da posição do objeto até o marco zero (origem). Neste tipo de abordagem o movimento é vinculado a uma trajetória (uma espécie de trilho), e a coordenada de posição de uma partícula é expressa por um valor numérico, seguido de sua unidade de medida, igual a distância da posição deste móvel até o marco zero (referencial). Vale ressaltar que neste caso, essa distância deve ser medida ao longo da trajetória. Vide figura a seguir.

Figura 3 – Coordenada de posição



Fonte: O autor.

Na figura anterior, Figura 3, a coordenada de posição do corpo A é dada por $s_A = 13\text{km}$, e a coordenada de posição do corpo B como sendo $s_B = -8\text{km}$. O sinal negativo da coordenada de posição do corpo B é provocada pela escolha arbitrária do sentido positivo de orientação para a trajetória. Geralmente as coordenadas positivas estão à direita do marco zero e as coordenadas negativas ficam à esquerda. Mas como dito anteriormente, uma escolha arbitrária.

3.5.7 Variação de posição (deslocamento) x distância percorrida (distância total)

Quando um móvel muda de posição, saindo de uma posição $\vec{s}_0$ para uma posição $\vec{s}$, surge uma variação de posição ($\vec{\Delta s}$), também denominado deslocamento. Para calcular o deslocamento basta realizar a subtração vetorial entre o vetor posição final $\vec{s}$ e o vetor posição inicial $\vec{s}_0$.

$$\overrightarrow{\Delta s} = \vec{s} - \vec{s}_0 \text{ (Equação 3.5.7 - A)}$$

Numa abordagem simplificada¹³, devido ao fato de as posições ocupadas pelos móveis estarem vinculadas a uma trajetória, e com isso suas coordenadas de posição serem baseadas nas medidas realizadas sobre o traçado da trajetória, teremos então todas as coordenadas do vetor posição sendo de mesmo versor (versor que sempre aponta na direção da trajetória). E quando somamos ou subtraímos vetores podemos somar ou subtrair as componentes de mesmo versor, e assim o cálculo vetorial se assemelha ao cálculo com escalares. Portanto, poderemos calcular o deslocamento (Δs) apenas subtraindo o valor numérico da posição final (s) pelo valor numérico da posição inicial (s_0).

$$\Delta s = s - s_0 \text{ (Equação 3.5.7 - B)}$$

Vale ressaltar que, embora a notação vetorial tenha sido suprimida devido à abordagem simplificada que gerou a equação 3.5.7-B, o deslocamento continua sendo uma grandeza vetorial, pois possui **módulo** (dado pela distância entre s e s_0), **direção** (a direção da reta suporte da trajetória), **sentido** ($\Delta s > 0$ indica um movimento no sentido de orientação da trajetória e um $\Delta s < 0$ indica um movimento no sentido contrário ao de orientação da trajetória). Diferente do que muitos pensam, o deslocamento (Δs) não representa os metros percorridos pelo móvel, mas apenas a sua variação. Por exemplo, um móvel desloca-se sobre uma reta suporte de trajetória, partindo de uma posição com coordenada $s_0 = 15\text{m}$, desloca-se até uma coordenada 50m e retorna para uma posição com coordenada $s = 20\text{m}$, o deslocamento (Δs) para essa situação será dada por $\Delta s = 5\text{m}$:

$$\Delta s = s - s_0$$

$$\Delta s = 20 - 15$$

$$\Delta s = 5\text{m}$$

Facilmente pode-se notar que os metros percorridos pelo móvel foram superiores a 5m . Isso porque o valor calculado representa o deslocamento e não a distância percorrida. Para calcular a distância efetivamente percorrida (d) por um móvel, realiza-se a soma dos módulos de todas as variações de posições ($\overrightarrow{\Delta s}$). Somar módulos significa somar magnitudes numéricas

¹³ Abordagem apresentada no segundo parágrafo do item 3.5.6, Posição x Coordenada. É muito utilizada no segmento básico da educação, especialmente ensino fundamental II, pois os alunos são apresentados aos conceitos da cinemática antes aprenderem a operar com vetores.

desconsiderando sua orientação no espaço, sendo assim, **a distância percorrida** (ou distância total “d”), que é o valor registrado pelos odômetros dos veículos, é **uma grandeza física escalar** que mede a distância realmente percorrida por um móvel e **sempre será um valor positivo**.

$$d = \sum |\overrightarrow{\Delta S}| \text{ (Equação 3.5.7 – C)}$$

Aplicando a equação 3.5.7-C ao exemplo do móvel que parte de uma posição com coordenada $s_0 = 15\text{m}$, desloca-se até uma coordenada 50m e retorna para uma posição com coordenada $s = 20\text{m}$, encontramos como distância percorrida:

$$d = |\overrightarrow{\Delta S}_{ida}| + |\overrightarrow{\Delta S}_{volta}|$$

$$d = |50 - 15| + |20 - 50| = 65\text{m}$$

No estudo da grandeza física denominada velocidade, item 3.5.8, será crucial saber diferenciar o conceito de variação de posição ($\overrightarrow{\Delta S}$) do conceito de distância percorrida (d).

3.5.8 Velocidade

3.5.8.1 Velocidade média x velocidade escalar média

O conceito de velocidade é utilizado na física para descrever o movimento de um objeto (um objeto em repouso em relação a um dado referencial possui velocidade zero em relação a este referencial). Essa grandeza física indica com que rapidez um móvel muda de posição. Porém, como visto no item anterior, item 3.5.7, existem duas grandezas associadas a mudança de posição, a variação de posição ($\overrightarrow{\Delta S}$) e a distância percorrida (d). Sendo assim, surge aqui dois tipos de velocidade: a velocidade média ($\overrightarrow{v_m}$) e a velocidade escalar média (v_m).

A velocidade média é por definição a rapidez com que ocorre a variação de posição ($\overrightarrow{\Delta S}$) de um móvel. Essa definição pode ser expressa matematicamente da seguinte forma:

$$\overrightarrow{v_m} = \frac{\overrightarrow{\Delta S}}{\Delta t} = \frac{\vec{s} - \vec{s}_0}{t - t_0} \text{ (Equação 3.5.8 – A)}$$

Considerações acerca da grandeza velocidade média ($\overrightarrow{v_m}$):

- Sua unidade de medida no SI é a unidade composta metro por segundo (m/s). Mas diversas outras unidades de medida poderão ser utilizadas, desde que sejam compostas no formato unidade de comprimento por unidade de tempo;

- O vetor velocidade média **sempre** aponta na mesma direção e mesmo sentido que o vetor deslocamento ($\vec{\Delta s}$);
- Os módulos das velocidades que um móvel desenvolve num percurso pode ser maior, igual ou inferior ao módulo da velocidade média calculado;
- Na abordagem simplificada do ensino fundamental II, o caráter vetorial dessa grandeza poderá ser omitido, pois os alunos trabalharão com um móvel que se desloca fixo a uma trajetória (numa espécie de coordenada sobre a trajetória) o valor encontrado poderá ser negativo ou positivo a depender exclusivamente do sinal de Δs .

Já a velocidade escalar média (v_m) é por definição a rapidez com um móvel percorre uma determinada distância (d). Matematicamente expressamos da seguinte forma:

$$v_m = \frac{d}{\Delta t} \text{ (Equação 3.5.8 – B)}$$

A velocidade escalar média (v_m) é uma forma diferente de descrever “com que rapidez” uma partícula está se movendo. Enquanto a velocidade média ($\vec{v}_m$) envolve o deslocamento da partícula ($\vec{\Delta s}$), a velocidade escalar média (v_m) é definida em termos da distância total percorrida (o número de metros percorridos, por exemplo), independentemente da direção. (adaptado de **Fundamentos de Física**. 12. ed. vol. 1. Editora LTC, 2023, p.16).

Na prática o valor numérico de v_m representa a velocidade que o móvel precisa manter constante para que o tempo gasto para percorrer a distância “ d ” seja Δt .

Por exemplo, para um automóvel que demora 2 horas para percorrer a distância de 132 km numa viagem de Recife/PE para Caruaru/PE, podemos calcular sua velocidade escalar média da seguinte maneira:

$$\text{Velocidade escalar média} = 132 \text{ km} / 2 \text{ h} = 66 \text{ km/h}$$

Sabemos que o automóvel em questão viajou sob diversas velocidades diferentes, inclusive pode ter sido necessário parar o veículo no meio da viagem (velocidade igual a zero). Porém, caso seu condutor conseguisse realizar essa mesma viagem mantendo uma velocidade constante de 66km/h por toda a viagem, o tempo gasto seria de 2h.

Sendo assim, podemos tecer os seguintes comentários sobre a velocidade escalar média:

- Ao calcular-se uma velocidade escalar média encontra-se um valor teórico que representa qual valor de velocidade deveria ser mantido constante para percorrer a distância “ d ” num tempo Δt ;

- As velocidades práticas desenvolvidas por um veículo em um deslocamento passam por valores menores, iguais e superiores ao valor de velocidade escalar média que venha a ser calculado para esse deslocamento;
- A velocidade escalar média sempre será um valor positivo, pois a distância “d” e o intervalo de tempo Δt sempre são valores positivos;
- Velocidade escalar média e velocidade média são conceitos bem distintos, porém nos movimentos retilíneos de único sentido, o valor da velocidade escalar média coincidirá com o módulo da velocidade média.

3.5.8.2 Velocidade instantânea x velocidade escalar instantânea

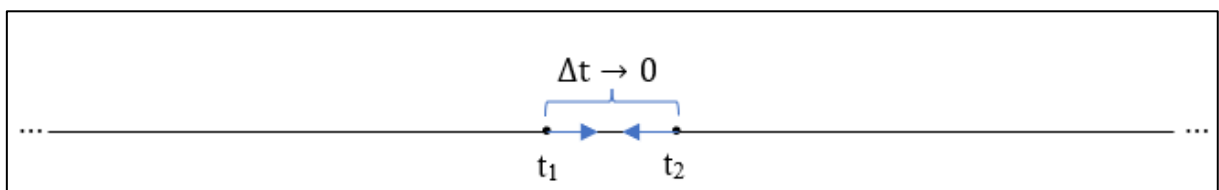
O item 3.5.8.1 tratou sobre a rapidez média com que um móvel varia sua posição por meio de duas análises distintas: velocidade média e velocidade escalar média. Para ambas as análises, essa rapidez é medida para um intervalo tempo, e não determina a velocidade desenvolvida por um móvel num instante específico. Para determinar a velocidade desenvolvida por um móvel num momento específico, é preciso calcular sua velocidade instantânea. E quando se tem interesse em determinar apenas o módulo da velocidade num determinado instante, então calcula-se a velocidade escalar instantânea.

Para calcular a velocidade instantânea, partimos da equação 3.5.8-A, e tomamos o limite em que $\Delta t \rightarrow 0$:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{\Delta s}}{\Delta t} \text{ (Equação 3.5.8 – C)}$$

O fato de tomarmos o limite em que $\Delta t \rightarrow 0$, pode ser explicado pela interpretação geométrica dada as definições de intervalo de tempo e instante de tempo, item 3.5.5. E assim, pode-se afirmar que, $\Delta t \rightarrow 0$ significa aproximar os instantes de tempo t_1 e t_2 , no limite de ficarem quase sobrepostos. Quanto mais perto t_1 for de t_2 , mais preciso será o cálculo da velocidade instantânea. Observe:

Figura 4 – Intervalo de tempo tendendo a zero.



Fonte: O autor.

Quando o intervalo de tempo tende a zero ($\Delta t \rightarrow 0$), temos um intervalo de tempo “tornando-se” um instante de tempo.

Por fim, definimos velocidade escalar instantânea como sendo o módulo do vetor velocidade instantânea. Sendo assim, basta olhar para o módulo do vetor velocidade instantânea e ignorar a direção e sentido do movimento.

Considerações acerca da velocidade instantânea e da velocidade escalar instantânea:

- A velocidade instantânea $\vec{v}$ é a taxa de variação da posição da partícula em relação ao tempo a cada instante, ou seja, é a derivada de “s” em função do tempo “t”;
- A velocidade instantânea também é um vetor, com módulo, direção e sentido;
- A velocidade escalar instantânea é registrada pelos velocímetros dos veículos.

3.6 LEIS DE NEWTON

As Leis de Newton, também conhecidas como Leis do Movimento, são um conjunto de princípios fundamentais na física clássica estabelecidos por Sir Isaac Newton no século XVII. Essas leis descrevem o comportamento dos corpos em movimento e são aplicáveis a uma ampla gama de situações. Mas não a todas as situações. Para estudos que envolvem velocidade muito altas (comparáveis a velocidade da luz), deve-se utilizar a teoria da relatividade restrita de Einstein. E para estudos no universo atômico ou subatômico, a mecânica newtoniana precisa ser substituída pela mecânica quântica.

As denominadas Leis de Newton são três: Lei da Inércia, Princípio fundamental da dinâmica e Lei da Ação e Reação. A seguir abordaremos cada lei.

Primeira Lei de Newton - Lei da Inércia:

A primeira lei de Newton, também chamada de Lei da Inércia, estabelece que um corpo em repouso tende a permanecer em repouso e um corpo em movimento retilíneo uniforme tende a permanecer em movimento retilíneo uniforme, a menos que uma força externa atue sobre ele. Essa lei reflete o conceito de inércia, que é a propriedade dos corpos de resistirem a mudanças em seu estado de movimento.

Segunda Lei de Newton – Princípio Fundamental da Dinâmica:

A segunda lei de Newton, conhecida como Lei Fundamental da Dinâmica, relaciona a força resultante aplicada a um corpo de massa “m” com a aceleração adquirida pelo efeito da aplicação da força resultante. Segundo essa lei, a aceleração de um objeto é diretamente

proporcional à força resultante aplicada a ele e inversamente proporcional à sua massa. Para os casos de **massa constante**, essa relação pode ser expressa pela fórmula matemática:

$$\vec{F}_{res} = m \cdot \vec{a}$$

As unidades de medida, no SI, envolvidas nesta lei são:

$$1\text{N} = (1\text{ kg})(1\text{m/s}^2) = 1\text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$

Terceira Lei de Newton - Lei da Ação e Reação:

A terceira lei de Newton, também conhecida como Lei da Ação e Reação, afirma que para cada ação há uma reação de mesmo módulo, mesma direção, mas sentidos opostos. Em outras palavras, quando um objeto exerce uma força sobre outro objeto, este último exerce uma força de mesma intensidade, mas em direção oposta, sobre o primeiro objeto. Essa lei ressalta o fato de que as forças sempre ocorrem em pares, e a interação entre dois corpos resulta em forças mútuas. Num sistema de referência não inercial, a terceira lei de Newton não é válida. Este sistema será tratado no próximo item, 3.7 Referencial Inercial e não inercial.

Essas três leis de Newton são consideradas pilares fundamentais da física clássica e são amplamente aplicáveis em diversas situações. Elas fornecem uma base para a compreensão do movimento e das interações entre corpos, permitindo a previsão e a explicação de uma ampla gama de fenômenos físicos.

É importante ressaltar que as Leis de Newton são válidas em um contexto de velocidades baixas em relação à velocidade da luz e em ausência de efeitos relativísticos ou quânticos. Em situações extremas, como velocidades próximas à velocidade da luz ou em escalas subatômicas, outras teorias físicas, como a teoria da relatividade e a mecânica quântica, precisam ser utilizadas.

Em suma, as Leis de Newton são conceitos fundamentais que descrevem o movimento e as interações entre corpos na física clássica. Elas proporcionam uma base sólida para a compreensão do mundo físico ao nosso redor, permitindo a previsão e a análise de uma ampla variedade de fenômenos. Porém, é importante dizer que, conhecer as leis não é suficiente para essa compreensão, se faz necessário certa praticar com a resolução de diversos problemas.

3.7 REFERENCIAL INERCIAL E NÃO INERCIAL

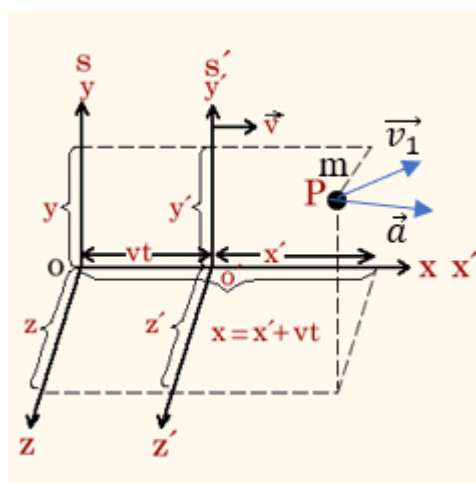
O conceito de referencial inercial e não inercial é fundamental na física para compreender a natureza dos movimentos e as leis que governam o universo. Pois deles derivam, por exemplo,

a explicação para o surgimento da Força de Coriolis, que ajuda a explicar a formação de ciclones. Inclusive a força de Coriolis fornece base teórica para o experimento do Pêndulo de Foucault, experimento que possui grande importância histórica, já que foi o primeiro experimento inequívoco na constatação do movimento de rotação da Terra.

Um referencial inercial é um sistema de coordenadas em que as leis do movimento, como a primeira e segunda lei de Newton, são válidas sem a necessidade de introduzir forças inerciais¹⁴ ou acelerações aparentes. Em um referencial inercial, um objeto em repouso permanecerá em repouso (equilíbrio estático) e um objeto em movimento retilíneo uniforme continuará seu movimento sem alterações (equilíbrio dinâmico), a menos que uma força externa atue sobre ele.

Pode-se assim dizer que a primeira lei de Newton é aquela que define o que é um referencial inercial. É como se a primeira lei de Newton fosse uma lei experimental que afirma que há pelo menos um referencial para o qual podemos afirmar que na ausência de forças externas, um móvel se move com velocidade constante. Por dedução lógica, se há um, então teremos infinitos, pois todo referencial que se mova com velocidade constante em relação a este referencial, será um referencial inercial em relação a ele. O que fica claro pela Transformada de Galileu, como demonstrado na Figura 10.

Figura 5 - Sistema de referência inercial



Fonte: Adaptado de <https://moodle.ufsc.br/mod/book/view.php?id=504254&chapterid=2629>

¹⁴ Algumas fontes utilizam a denominação força fictícia.

A figura acima mostra uma partícula “P” de massa m deslocando-se com velocidade “ v_1 ” em relação ao referencial S e aceleração “ a ” também em relação ao referencial S. Temos um referencial S’ deslocando-se com **velocidade constante** “ v ” em relação ao referencial S.

Temos também as posições em relação a cada referencial:

$$S \rightarrow P(x,y,z,t)$$

$$S' \rightarrow P(x',y',z',t')$$

Como condições iniciais, para simplificar, tomaremos as origens dos dois sistemas de referência sobrepostos em $t=t'=0$:

$$O = O' \rightarrow t=t'$$

Sendo assim:

$$\left. \begin{array}{l} x = x' + vt \\ \text{ou} \quad x' = x - vt \\ y' = y \\ z' = z \end{array} \right\} \begin{array}{c} \text{Transformação} \\ \text{Galileana de} \\ \text{coordenadas} \end{array}$$

Agora abaixo teremos a Transformação Galileana de Velocidade

$$S \rightarrow \vec{v}(v_x, v_y, v_z) \text{ e } S' \rightarrow \vec{v'}(v'_x, v'_y, v'_z)$$

$$v_x = \frac{dx}{dt}; \quad v_y = \frac{dy}{dt}; \quad v_z = \frac{dz}{dt}$$

$$v'_x = \frac{dx'}{dt'}; \quad v'_y = \frac{dy'}{dt'}; \quad v'_z = \frac{dz'}{dt'}$$

Como:

$$t=t' \rightarrow dt = dt' \rightarrow \frac{d}{dt'} = \frac{d}{dt}$$

Então:

$$v'_x = \frac{dx'}{dt}; \quad v'_y = \frac{dy'}{dt}; \quad v'_z = \frac{dz'}{dt}$$

Sendo assim:

$$v'_x = \frac{d(x - vt)}{dt} = v_x - v$$

$$v'_x = v_x - v$$

$$v'_y = \frac{dy'}{dt} = \frac{dy}{dt} = v_y$$

$$v'_z = \frac{dz'}{dt} = \frac{dz}{dt} = v_z$$

Obtemos assim a Transformada de Galileu de Velocidade:

$$\left. \begin{aligned} v'_x &= v_x - v \\ v'_y &= v_y \\ v'_z &= v_z \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Transformação} \\ \text{Galileana de} \\ \text{velocidades} \end{array}$$

Por fim, podemos realizar a Transformada Galileana da aceleração e verificar **as equações do movimento de Newton** para referenciais que se movem com velocidade constante um em relação ao outro **são invariantes**. Sendo essa uma demonstração matemática aplicada aos conceitos de referenciais inerciais (onde a primeira e segunda lei de Newton são invariantes).

Observe a Transformada Galileana da aceleração:

$$S \rightarrow \vec{a}(a_x, a_y, a_z) \text{ e } S' \rightarrow \vec{a'}(a'_x, a'_y, a'_z)$$

$$a_x = \frac{dv_x}{dt}, a_y = \frac{dv_y}{dt}, a_z = \frac{dv_z}{dt}$$

$$a'_x = \frac{dv'_x}{dt'}, a'_y = \frac{dv'_y}{dt'}, a'_z = \frac{dv'_z}{dt'}$$

$$a'_x = \frac{d(v_x - v)}{dt} = a'_x = a_x - 0 \rightarrow a'_x = a_x$$

$$a'_y = \frac{dv'_y}{dt'} = \frac{dv_y}{dt} \rightarrow a'_y = a_y$$

$$a'_z = \frac{dv'_z}{dt'} = \frac{dv_z}{dt} \rightarrow a'_z = a_z$$

Sendo assim,

$$\vec{a} = \vec{a'}$$

Transformação
Galileana da
aceleração

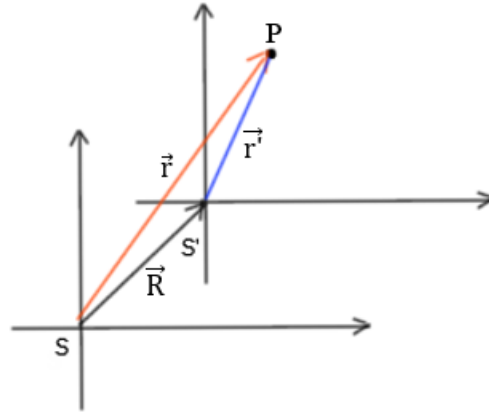
Por fim, teremos:

$$\left. \begin{array}{l} S \rightarrow \vec{F}_r = m \cdot \vec{a} \\ S' \rightarrow \vec{F}'_r = m \cdot \vec{a'} \end{array} \right\} \boxed{\vec{F}_r = \vec{F}'_r}$$

Ficando provado que para referenciais que se movem um em relação ao outro sob velocidade constante, as equações do movimento de Newton são invariantes e dizemos que esses referenciais são ditos inerciais, e não se faz necessário adicionarmos forças inerciais para validar a primeira e segunda lei de Newton.

Por outro lado, um referencial não inercial é um sistema de coordenadas que está acelerando ou girando em relação a um referencial inercial. Nele, as leis do movimento não são válidas diretamente, e forças inerciais ou acelerações aparentes precisam ser introduzidas para descrever corretamente o comportamento dos corpos em movimento. Observe a demonstração abaixo:

Figura 6 – Sistema de referência não inercial



Fonte: O autor.

Onde $\vec{r}$ é a posição de P no Sistema S, $\vec{r}'$ é a posição de P no Sistema S', e $\vec{R}$ é a posição de S' em relação à S. Iremos utilizar letras maiúsculas para representar as grandezas de S' em relação à S.

Levando em conta que S' se mova com velocidade muito inferior à velocidade da luz, portanto, desprezaremos os efeitos relativísticos. E assim sendo, o tempo passará igualmente para os dois referenciais ($t=t'$).

$$t=t' \rightarrow dt = dt' \rightarrow \frac{d}{dt'} = \frac{d}{dt}$$

Por simples soma de vetores, temos:

$$\vec{r} = \vec{r}' + \vec{R} \text{ (Equação I)}$$

Derivando ambos os membros, em relação ao tempo:

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\vec{r}'}{dt} + \frac{d\vec{R}}{dt}$$

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{V} \text{ (Equação II)}$$

Onde:

$\vec{v} \rightarrow$ velocidade de P medido em S;

$\vec{v}' \rightarrow$ velocidade de P medido em S';

$\vec{V} \rightarrow$ velocidade de S' medido em S.

Derivando mais uma vez em relação ao tempo:

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\vec{v}'}{dt} + \frac{d\vec{V}}{dt}$$

$$\vec{a} = \vec{a}' + \vec{A} \text{ (Equação III)}$$

$\vec{a} \rightarrow$ aceleração de P medido em S;

$\vec{a}' \rightarrow$ aceleração de P medido em S';

$\vec{A} \rightarrow$ aceleração de S' medido em S.

Lembrando a segunda lei de Newton, para massas fixas, funciona para o referencial inercial S, portanto aplicando-a na massa “m” localizada no ponto P, teremos:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \text{ (Equação IV)}$$

Substituindo a Equação III na Equação IV:

$$m \cdot (\vec{a}' + \vec{A}) = \vec{F}$$

$$m \cdot \vec{a}' + m \cdot \vec{A} = \vec{F}$$

$$m \cdot \vec{a}' = \vec{F} - m \cdot \vec{A} \text{ (Equação V)}$$

Comparando a equação V com a segunda lei de Newton, temos:

$m \cdot \vec{a}' = \vec{F} - m \cdot \vec{A}$	Equação V
$m \cdot \vec{a}' = \vec{f}$	2ª Lei de Newton

Nesta comparação fica evidente que a segunda lei de Newton para o referencial não inercial (S') só será satisfeita se além das forças aplicadas a partícula de massa “m” for adicionada uma parcela $(- m \cdot \vec{A})$.

Portanto, podemos interpretar que, para o referencial S' é como se além das forças newtonianas ($\vec{F} \rightarrow$ resultante das forças) que atuam sobre a massa “m”, teremos mais uma parcela com dimensão de força ($[m \cdot \vec{A}] = kg \cdot \frac{m}{s^2}$) em sentido contrário (indicado pelo sinal negativo) ao

sentido da aceleração sofrida por “m” no referencial S’ ($\vec{a}'$). Podemos chamar essa parcela de força inercial, pois ela só existe se “m” for diferente de zero (ou seja, se houver massa inercial).

Como pode-se perceber, para que a segunda lei de Newton possua correspondência no referencial S’, surge uma parcela de força ($-m \cdot \vec{A}$), denominada força inercial, para a qual vamos atribuir o símbolo “ $\vec{F}'$ ”. É importante ressaltar que essa força só apareceu porque o sistema S’ estava acelerado ($\vec{A}$) em relação a S (ou seja, tínhamos um referencial não inercial).

$$\vec{F}' = -m \cdot \vec{A} \left\{ \begin{array}{l} \vec{A} \rightarrow \text{aceleração de } S' \text{ medido em } S \\ \vec{F}' \rightarrow \text{Força inercial} \end{array} \right.$$

A demonstração anterior foi realizada para um referencial S’ que translada em relação à S. Mas caso o referencial S’ rotacionasse em relação à S, a equação para força inercial continuaria válida sendo necessário apenas entender que a aceleração que aparece na equação seria a aceleração centrípeta. E o sinal negativo da equação indica que para um observador no referencial que rotaciona, é sentida uma aceleração para fora (contrária ao sentido da aceleração centrípeta).

Em resumo:

Se S’ translada em relação à S, a força inercial é dada por: $\vec{F}' = -m \cdot \vec{A}$, onde $\vec{A}$ é a componente tangencial da aceleração.

Se S’ rotaciona em relação à S, a força inercial é dada por: $\vec{F}' = -m \cdot \vec{A}$, onde $\vec{A}$ é a componente centrípeta da aceleração.

Ficando assim demonstrado que as leis do movimento apenas são válidas, se forças inerciais (ou acelerações aparentes) forem introduzidas. E assim o comportamento dos corpos em movimento ficará descrito corretamente. Mas, é importante dizer que, as forças inerciais são diferentes das forças newtonianas, pois elas não são resultado da interação entre dois corpos. Portanto, não possuem uma reação para elas, ou seja, não obedecem a terceira lei de Newton.

Diante de tudo que foi exposto, um questionamento importante precisa ser levantado: A Terra é um referencial inercial? Por tudo que foi exposto, entendemos que a Terra não é um referencial inercial (já que possui movimento de rotação em torno do seu eixo e translação em torno do

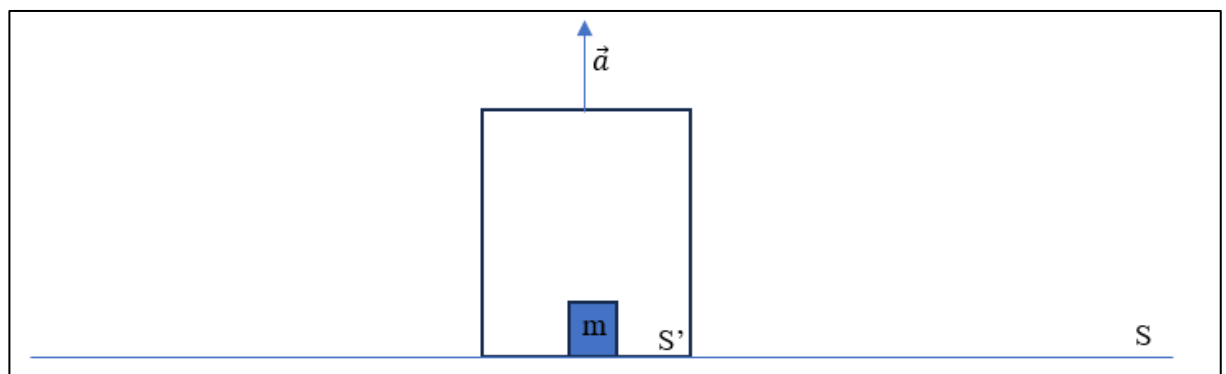
Sol). Apesar de saber que a superfície da Terra não seja um referencial inercial, em geral iremos considerá-la como sendo, pois, para a maior parte de nossas experiências diárias ela se aproxima bastante de um referencial inercial. Para que se sinta uma diferença significativa, teríamos que ter um objeto caindo de uma altura muito grande (onde claramente se vê a ação da força de Coriolis), ou ao dispararmos um projétil a uma distância muito grande, ou na observação de oscilação de um pêndulo por um longo período de tempo (como no pêndulo de Foucault).

Para fins práticos adotamos as estrelas mais distantes como sendo nossos referenciais inerciais. E como a Terra está “em repouso” em relação esses referenciais, podemos considerar que qualquer referencial que se mova em MRU (ou esteja em repouso) aqui na Terra, seja um referencial inercial.

Observe os exemplos a seguir:

Exemplo 1: Qual o valor do peso registrado por uma balança para o caso de um bloco de massa “m” que está dentro de um elevador que sobe acelerado com aceleração $\vec{a}$?

Figura 7- Elevador subindo acelerado.



Fonte: O autor.

Referencial inercial: Adotando o solo como referência.

Aplicando a segunda lei de Newton no bloquinho de massa “m”:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

O peso registrado pelo visor da balança é o da força normal ($\vec{N}$). Isolando o termo da força normal, temos:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

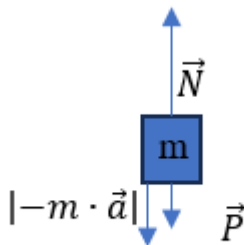
$$\vec{N} - \vec{P} = m \cdot \vec{a}$$

$$\vec{N} = \vec{P} + m \cdot \vec{a}$$

$$\vec{N} = m \cdot \vec{g} + m \cdot \vec{a}$$

Referencial não inercial: Adotando o elevador como referência.

Ainda trabalhando o problema representado na figura 12, mas tomando o referencial S'. Para este referencial o bloco de massa "m" está em repouso ($\vec{F}_r = 0$). Porém, para que a segunda lei de Newton se aplique num referencial não inercial, faz-se necessário introduzir uma força inercial ($-m \cdot \vec{a}$) com sentido contrário ao da aceleração do sistema S':



Como a força resultante é igual a zero, temos:

$$\vec{N} = \vec{P} + m \cdot \vec{a}$$

$$\vec{N} = m \cdot \vec{g} + m \cdot \vec{a}$$

Observe que a solução é igual a solução encontrada quando o problema foi resolvido utilizando o referencial inercial.

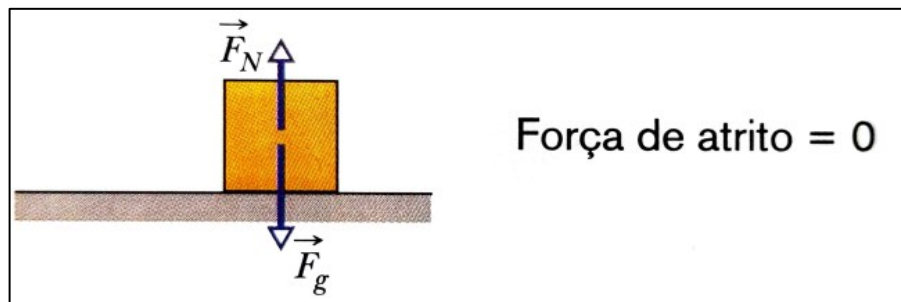
3.8 FORÇA DE ATRITO

As forças de atrito desempenham um papel fundamental em nosso cotidiano. É a força de atrito que permite caminhar, dirigir um carro ou segurar um objeto nas mãos. Essa força é resultado da interação entre as superfícies em contato, com características como rugosidade (está mais

relacionada ao atrito dito cinético) e aderência (está mais relacionada ao atrito dito estático). Compreender as forças de atrito é essencial para projetar máquinas, melhorar a eficiência dos sistemas e garantir a segurança em diversas situações do nosso dia a dia.

É válido dizer que, apenas surgirá uma força de atrito atuando sobre um corpo quando alguma força tentar mover esse corpo. Caso as superfícies em contato não estejam sendo forçadas a relativamente se moverem entre si, então não haverá força de atrito, observe a figura abaixo:

Figura 8 – Ausência de força de atrito



Fonte: HALLIDAY, R. W. Fundamentos de Física. 12. ed. vol. 1. Editora LTC, 2023, p. 130

Quando a força de atrito surge, ela pode ser classificada em dois tipos: a força de atrito estático (ou de destaque) e a força de atrito cinético (ou atrito dinâmico). A força de atrito estático é atuante enquanto as superfícies em contato estão em repouso entre si. Já a força de atrito cinético passa a atuar quando as superfícies em contato estão em movimento entre si. A equação para a calcular a intensidade da força de atrito é:

$$f_{\text{at}} = \mu \cdot F_N$$

{

$f_{\text{at}} \rightarrow$ módulo da força de atrito

$\mu \rightarrow$ coeficiente de atrito

$F_N \rightarrow$ módulo da força normal que uma superfície exerce sobre a outra

Equação 3.8

Observe que para os dois tipos de força de atrito só foi apresentada uma equação (Equação 3.8), pois a mesma equação serve para calcular os dois tipos de força de atrito. O que irá mudar de um cálculo para o outro é o valor do coeficiente de atrito, que se divide em: coeficiente de atrito estático (μ_e) e coeficiente de atrito cinético (μ_c). É percebido experimentalmente que, para mesmos pares de superfícies em geral os coeficientes de atrito estáticos são maiores que os coeficientes de atrito cinético. Isso pode ser explicado pelo fato do coeficiente de atrito estático

está mais relacionado a aderência entre as superfícies (uma espécie de “solda a frio”) do que o coeficiente de atrito cinético. Pois quando as superfícies são postas em movimento entre si, as “soldas a frio” são quebradas e a contribuição destas para a força de atrito diminui bastante. Ficando a força de atrito (no caso cinético) mais relacionada a rugosidade entre as superfícies.

$$\mu_e \geq \mu_c \text{ (Inequação 3.8)}$$

Pode ocorrer do coeficiente de atrito cinético ser igual ao coeficiente de atrito estático, mas nunca maior. Observe a tabela abaixo adaptada do livro “Princípios de Física” (Serway R. A., 2014, p.133)

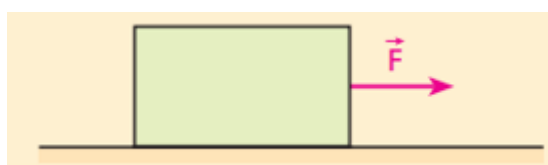
Tabela 5- Coeficientes de atrito

SUPERFÍCIES EM CONTATO	μ_e	μ_c
Cobre sobre aço	0,53	0,36
Aço sobre aço	0,74	0,57
Alumínio sobre aço	0,61	0,47
Borracha sobre concreto	1,0	0,8
Madeira sobre madeira	0,25-0,5	0,2
Madeira encerada sobre neve úmida	0,14	0,1
Teflon sobre teflon	0,04	0,04
Articulações sinoviais em humanos	0,01	0,003

Fonte: Adaptada de Princípios de Física” Serway R. A., 2014, p.133.

Vale ressaltar que diferenciar o uso entre os coeficientes nem sempre é tarefa fácil, e requer do estudante a resolução de exercícios para se habituar com as situações. O livro Tópicos de física, volume 1, da editora Saraiva, em sua 21ª edição traz o seguinte exercício em sua página de número 198:

Um bloco de 2,0 kg de massa repousa sobre um plano horizontal quando lhe é aplicada uma força $\vec{F}$, paralela ao plano, conforme representa a figura abaixo:



Os coeficientes de atrito estático e cinético entre o bloco e o plano de apoio valem, respectivamente, 0,50 e 0,40 e, no local, a aceleração da gravidade tem módulo 10m/s^2 . Calcule:

- a) a intensidade da força de atrito recebida pelo bloco quando $|\vec{F}| = 9,0\text{N}$;
 b) o módulo da aceleração do bloco quando $|\vec{F}| = 16\text{N}$.

Despreze o efeito do ar.

(Tópicos de física: Mecânica e Hidrodinâmica. 21. ed. vol. 1. São Paulo, SP: Editora Saraiva, 2012, p. 198)

Para sabermos qual coeficiente de atrito utilizar no problema acima, precisamos descobrir se o bloco está em movimento ou em repouso. Para isso, calculemos o valor da máxima força de atrito que é dado pela equação 3.8 utilizando o coeficiente de atrito estático:

$$f_{at\text{ máx}} = 0,5 \cdot 20$$

$$f_{at\text{ máx}} = 10\text{N}$$

O valor encontrado acima indica que a força $\vec{F}$ de 9N não é suficiente para mover o bloco. Ficando, portanto, em repouso. Com base na segunda lei de Newton, quando um bloco está em repouso a força resultante sobre ele é igual a zero. Sendo assim, a força de atrito que corresponde ao item “a” do exercício em lide possui um valor também de 9N.

Para responder ao item “b”, precisamos perceber que, a situação mudou, a força $\vec{F}$ aplicada ao bloco possui uma intensidade de 16N, e é superior ao valor da força de atrito máxima calculada. Portanto, o bloco irá se mover, sendo necessário calcular o valor da força de atrito cinético.

$$f_{at\text{ cinético}} = 0,4 \cdot 20$$

$$f_{at\text{ cinético}} = 8\text{N}$$

Aplicando a segunda lei de Newton para a situação acima, teremos:

$$|a| = \frac{Fr}{m} = \frac{F - f_{at}}{m}$$

$$|a| = \frac{16 - 8}{2} = 4\text{m/s}^2$$

Considerações acerca da força de atrito:

- As forças de atrito estático e cinético são praticamente independentes da área de contato entre as superfícies atritantes;
- Quando a força que tenta mover uma superfície em relação a outra tem mesmo módulo da força de atrito máxima, dizemos que as superfícies estão na iminência de movimento;
- Os valores dos coeficientes de atrito estático (μ_e) e cinético (μ_c) dependem da natureza das superfícies, e geralmente o coeficiente de atrito estático é maior que o coeficiente de atrito cinético ($\mu_e \geq \mu_c$), mas em alguns casos se apresenta com mesmo valor.

3.9 ENERGIA MECÂNICA

Não podemos definir energia mecânica sem antes definir o termo energia, ou pelo menos tentar defini-lo. Pois, por ser uma grandeza tão ampla e primitiva, se torna difícil defini-la de forma objetiva. Respeitando as limitações citadas anteriormente, definiremos energia como uma grandeza física escalar cujo valor numérico está associado ao estado de uma partícula ou sistema de partículas.

Existem diferentes modalidades de energia, temos energia mecânica, energia elétrica, energia térmica, energia nuclear, energia química, energia luminosa entre outras. Sendo assim, energia mecânica pode ser definida como uma modalidade dentre tantas modalidades de energia. Esta modalidade divide-se em dois tipos energia cinética e energia potencial.

3.9.1 Energia cinética

A energia cinética é uma forma de energia mecânica que os corpos em movimento possuem. Essa forma de energia pode representar o poder de colisão de um corpo. Seu valor é calculado pela equação abaixo:

$$K = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

$\left\{ \begin{array}{l} K \rightarrow \text{Energia cinética [Joule]} \\ m \rightarrow \text{massa [kg]} \\ v \rightarrow \text{velocidade de translação [m/s]} \end{array} \right.$

Equação 3.9.1

3.9.2 Energia potencial

Dentre os tipos de energia potencial destacaremos dois: a energia potencial gravitacional e a energia potencial elástica. A energia dita potencial, é aquela relacionada a energia que os corpos adquirem por ocuparem uma certa posição em relação a um dado referencial energético. Por exemplo, podemos utilizar o solo como referência para a energia potencial gravitacional, e todo

corpo que ocupar uma posição elevada em relação ao solo, dizemos que possui energia potencial gravitacional maior que zero, e um corpo dentro de um buraco, teria energia potencial gravitacional negativa. No caso da energia potencial elástica a ideia é a mesma, utilizamos a posição de equilíbrio de uma mola como sendo o marco zero energético (mola relaxada), e os corpos que estiverem preso a esta mola e fora dessa posição, terão uma energia potencial elástica diferente de zero.

Vale observar que, para a energia potencial gravitacional a escolha do ponto de referencial energético (potencial = zero) é discricionária. Porém, para o caso da energia potencial elástica, o referencial energético não é de escolha livre, sendo, portanto, obrigatório a escolha da posição onde a mola se encontra relaxada.

3.9.2.1 Energia potencial gravitacional

A equação utilizada para calcular a energia potencial gravitacional é:

$$U = m \cdot g \cdot y$$

{

$U \rightarrow$ Energia potencial gravitacional [Joule]

$m \rightarrow$ massa [kg]

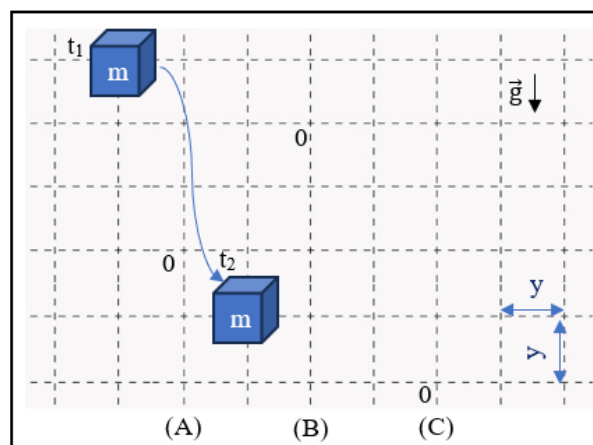
$g \rightarrow$ aceleração da gravidade [m/s^2]

$y \rightarrow$ altura em relação ao referencial adotado [m]

Equação 3.9.2.1

Perceba que, como a escolha do referencial energético é livre, os valores encontrados irão variar de escolha para escolha. Sendo assim, esse valor não possui significado físico. E de fato, o que importa nos estudos envolvendo a energia potencial gravitacional é sua variação. Observe o exemplo a seguir:

Figura 9- Variação de energia potencial gravitacional



Fonte: O autor.

Levando em consideração os referenciais energéticos representados na figura 13 (referenciais (A), (B) e (C)), vamos calcular a energia potencial gravitacional inicial do cubo (instante t_1) e a energia potencial gravitacional do cubo após chegar na posição final (instante t_2). Utilizando a equação 3.9.2, temos:

Referencial (A):

$$\text{No instante } t_1, \text{ temos } U_1 = m \cdot g \cdot 3y = 3mgy$$

$$\text{No instante } t_2, \text{ temos } U_2 = m \cdot g \cdot (-y) = -mgy$$

Referencial (B):

$$\text{No instante } t_1, \text{ temos } U_1 = m \cdot g \cdot y = mgy$$

$$\text{No instante } t_2, \text{ temos } U_2 = m \cdot g \cdot (-3y) = -3mgy$$

Referencial (C):

$$\text{No instante } t_1, \text{ temos } U_1 = m \cdot g \cdot 5y = 5mgy$$

$$\text{No instante } t_2, \text{ temos } U_2 = m \cdot g \cdot y = mgy$$

É fácil perceber que a energia potencial gravitacional associada ao cubo variou de acordo com os referenciais energéticos adotados. E de fato, esses valores não possuem significado físico. Vejamos agora se calcularmos a diferença de potencial entre as energias potenciais adquiridas pelo cubo em cada instante para cada referencial:

Referencial (A):

$$\Delta U = U_2 - U_1 = (-mgy) - (3mgy) = -4mgy$$

Referencial (B):

$$\Delta U = U_2 - U_1 = (-3mgy) - (mgy) = -4mgy$$

Referencial (C):

$$\Delta U = U_2 - U_1 = (mgy) - (5mgy) = -4mgy$$

Um resultado interessante aparece: A variação da energia potencial gravitacional não depende da escolha do referencial energético. Mas apenas da variação de altura (Δy).

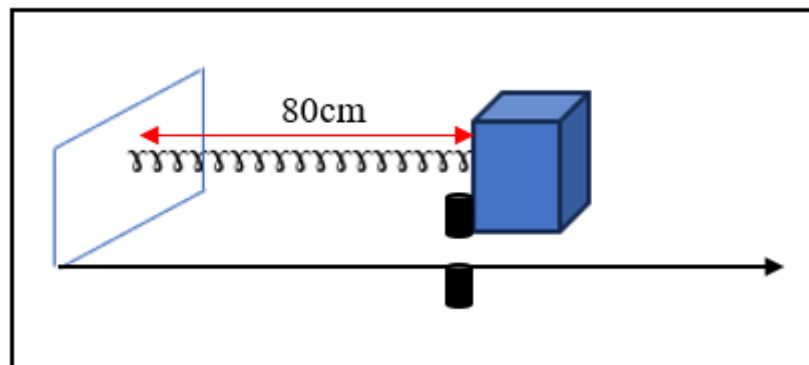
3.9.2.2 Energia potencial elástica

A equação para calcular a energia potencial elástica é dada por:

$$U(x) = \frac{1}{2}k \cdot x^2 \quad \left\{ \begin{array}{l} U(x) \rightarrow \text{Energia potencial elástica [Joule]} \\ k \rightarrow \text{constante elástica da mola [N/m]} \\ x \rightarrow \text{deformação da mola [m]} \end{array} \right. \quad \boxed{\text{Equação 3.9.2.2}}$$

Exemplo: Calcule a energia potencial elástica adquirida por um cubo de 1kg na situação em que ele é preso a uma mola de constante elástica $k=100\text{N/m}$. O cubo encontra-se preso por um pino e a mola possui comprimento natural de 60 cm.

Figura 10 – Sistema massa-mola



Fonte: O autor. Bloco que adquiriu uma energia potencial elástica.

Utilizando a equação 3.9.2.2, teremos:

$$U(x) = \frac{1}{2}k \cdot x^2$$

$$U(x) = \frac{1}{2}100 \cdot (0,2)^2$$

$$U(x) = 2 \text{ Joules}$$

4 METODOLOGIA

4.1 ESCOLHA DO TEMA

Os assuntos de física foram escolhidos baseados no currículo da escola em que o produto seria aplicado, pois é possível trabalhar o ensino de física por meio de uma abordagem contextualizada com a criminalística para quaisquer que sejam os conteúdos de física. A intenção é mostrar que com criatividade é possível trazer contextualização, ludicidade e aplicação prática para os conteúdos. Com isso, alcançar a motivação tão necessária para a aprendizagem. E assim, conduzir os alunos de suas concepções alternativas para concepções científicas.

A pesquisa partiu do problema da desmotivação para estudar por parte dos alunos. Hoje temos alunos extremamente desmotivados em frequentarem as salas de aulas. Com a intenção de aumentar o desejo por aprender, buscou-se uma forma de ensinar utilizando a Experiência da Aprendizagem Mediada de Reuven Feuerstein, sem deixar de lado a aprendizagem mecânica, a aprendizagem por descoberta e a aprendizagem por recepção. Contextualizando os conteúdos de física com uma temática que desperta bastante curiosidade: o trabalho dos peritos criminais, que graças ao seriado americano *CSI*¹⁵, transmitido aqui no Brasil e que obteve altíssima audiência, o trabalho desses ganhou notoriedade e despertou bastante curiosidade. O sucesso do seriado foi tanto que ganhou diferentes versões: *CSI: New York*, *CSI: Miami*, *CSI: Vegas*, *CSI: Cyber*, entre outras.

Tomando proveito da curiosidade pelo trabalho desses profissionais, foi elaborada uma sequência didática contextualizada com casos criminais fictícios que deverão ser solucionados por meios de conteúdos de física. O professor apresenta um caso criminal aos alunos e indica sua relação com determinado conteúdo de física. O Aluno para solucionar o crime, precisará compreender o conteúdo envolvido. Gerando engajamento e cooperação pelo aprendizado.

A coleta de dados ocorreu por meio das respostas dos alunos em atividades escritas, através de Google Formulário (*Google Forms*), avaliação qualitativa e quantitativa (pertencente ao próprio sistema da escola e aplicados pela coordenação pedagógica da instituição de ensino) e avaliações escritas (contendo exercícios tradicionais também pertencentes ao próprio sistema

¹⁵ Série Americana por nome Crime Scene Investigation - CSI.

de ensino da escola). A postura dos alunos nas aulas também serviu de análise para avaliação da sequência didática.

4.2 A PESQUISA

A pesquisa se desenvolveu em duas turmas (as duas com 43 alunos) de nono ano do ensino fundamental dois (9º Fund. II) de uma escola particular localizada no município de Caruaru-PE, e adotante de um Sistema Tradicional de Ensino (entenda tradicional como sendo: uma gama relativamente grande de conteúdos, exposição de conteúdos geralmente no quadro seguida de exame de verificação de aprendizagem composto por exercícios de vestibulares).

A sequência didática envolvida na pesquisa comportou um total de 30 aulas, que foram aplicadas no primeiro semestre de 2023. Onde entre os momentos de exposição de conteúdo na modalidade mais tradicional foram incorporados elementos de criminalística. Porém em todos os momentos foram levadas em consideração a hipótese da integração hierárquica defendida por Pozo e Crespo, a aprendizagem significativa de Ausubel e a Experiência da Aprendizagem Mediada de Reuven Feuerstein.

Na sequência didática foram abordados diretamente os seguintes conteúdos: a apresentação da disciplina de física como sendo uma ciência (foi iniciada a discussão sobre o que é ciência e como funciona o método científico), o estudo das grandezas físicas comprimento e tempo, e suas respectivas unidades de medida, ordem de grandeza e notação científica, os conceitos de referencial, trajetória, velocidade escalar média, velocidade escalar instantânea, leis de Newton, força de atrito e energia mecânica.

4.3 PROCEDIMENTOS E COLETA DE DADOS

A pesquisa fez uso de uma sequência didática que foi aplicada em duas turmas com 43 alunos cada, do 9º ano do ensino fundamental 2, em uma escola particular na cidade de Caruaru pertencente ao estado de Pernambuco. Cujo material didático é composto por um livro contendo textos teóricos e 04 (quatro) sessões de exercícios: exercitando em aula, exercícios resolvidos, exercícios de fixação e exercícios propostos. É importante citar que a sequência didática conteve um total de 30 (trinta) aulas de 50 minutos cada. Essas aulas foram ministradas em 15 (quinze) encontros de duas aulas germinadas, ou seja, cada encontro teve a duração de duas aulas seguidas (50 min + 50 min) totalizando cem minutos de aula (100 minutos). A implementação do produto educacional (elementos de criminalística no ensino de física) foi

realizada separadamente em cada uma das turmas durante o expediente ordinário da carga horária dos estudantes, ou seja, o produto não foi aplicado como ferramenta extracurricular.

As 30 (trinta) aulas citadas no parágrafo anterior não incluem à aplicação de 02 (dois) exames quantitativos, pois foram aplicados por fiscais contratados pela escola e ocorreram em momentos distintos aos das aulas.

A coleta dos dados se deu através de:

- a) **Diário de campo para observação da postura dos alunos em sala de aula:** as falas, defesa das ideias perante o grupo e o envolvimento e sinais de empolgação também serviram como base para a análise das informações.
- b) **Duas avaliações escritas tradicionais (Avaliação 1 e Avaliação 2):** não foram elaboradas pelo professor mediador que desenvolveu a sequência didática, mas por um professor pertencente ao sistema de ensino (que também é professor da disciplina em outra unidade dentro do mesmo grupo empresarial, chamado professor analista), a primeira delas (AV1 – Avaliação 1) é composta por 08 (oito) questões abertas e 04 (quatro) fechadas, e no que se refere ao nível das questões a distribuição é: 02 (duas) fáceis, 06 (seis) medianas e 04 (quatro) difíceis. O segundo exame (AV2 – Avaliação 2) é composto por 10 (dez) questões abertas, 05 (cinco) fechadas e a classificação quanto ao grau de dificuldade é da seguinte maneira: 03 (três) fáceis, 08 (oito) medianas e 04 (quatro) difíceis.
- c) **Uma avaliação qualitativa:** aplicada pela coordenação da escola, que escolheu alunos variados com ênfase no índice formativo da turma, num total de aproximadamente 10% dos alunos de cada turma. Onde os alunos puderam falar livremente sobre o professor aplicador das aulas.
- d) **Uma avaliação quantitativa:** aplicada com todos os alunos das duas turmas, onde eles atribuem notas de zero a dez aos quesitos:
 - I) conteúdo e didática;
 - II) assiduidade e aproveitamento da aula;
 - III) postura formativa e;
 - IV) envolvimento e acompanhamento.
- e) **Um questionário anônimo e voluntário aplicado com a auxílio do Google Forms:** os alunos são convidados voluntariamente a deixar um comentário livre e a responder um questionário contendo as seguintes perguntas:

- I) Como você avalia a qualidade da aula (ótima, boa, regular, ruim, péssima)?
- II) Ao final da aula, você entende que aprendeu física (sim ou não)?
- III) Você se sentiu motivado para aprender (sim ou não)?
- IV) Os alunos podiam escolher dentro de um universo de 08 (oito) termos (investigação, exercícios, confusa, reflexão, falta de imaginação, criatividade, hipóteses e rotina) quais eles associavam com a sequência didática, podendo escolher mais de um.
- V) A aula de hoje te despertou para a segurança no trânsito (sim ou não)?
- VI) Durante as aulas foi fácil defender sua opinião perante seu grupo (sim ou não)?

4.4 A PROPOSTA DIDÁTICA

Conforme consta no primeiro parágrafo do item 4.3, Procedimentos e coleta de dados, a sequência didática é composta por 15 (quinze) encontros. Porém, a inserção de elementos de criminalística no ensino de física se deu em apenas 06 (seis) desses encontros. Pois é importante citar que também foram utilizadas ferramentas mais tradicionais de ensino como: resolução de exercícios e exposição de conteúdos por meio do quadro branco. Mas o fato de a sequência didática envolver momentos de aprendizagem mecânica (resolução de vários exercícios tradicionais) e aprendizagem por recepção (aulas expositivas) isso não é impedimento para a aprendizagem significativa. Segundo Moreira (2009), Ausubel não criou uma dicotomia entre aprendizagem mecânica e aprendizagem significativa.

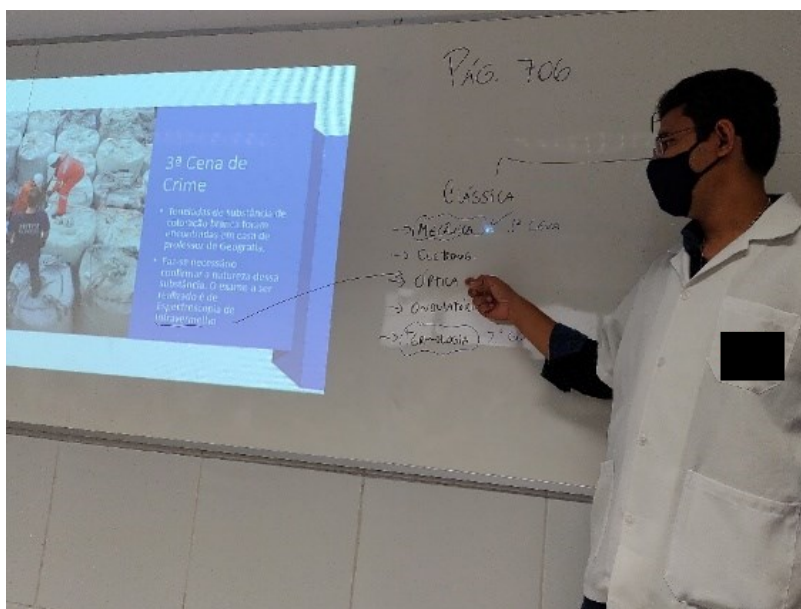
A primeira inserção de elementos de criminalística ocorreu já no primeiro dia de aula. Nesse encontro, o contexto utilizado foi a profissão do perito criminal. Aproveitou-se a oportunidade para apresentar as provas criminais aceitas pela legislação brasileira: a prova documental, a prova testemunhal e a prova objetiva. Aproveitando a curiosidade da turma, foi explicado que o perito criminal, dentre as três provas citadas, trabalha com a prova objetiva, e esta é do tipo concreta, pois não admite subjetividade, ou seja, quando analisada por diferentes peritos deve apresentar resultados igualmente claros e precisos. Sua análise é reproduzível, assim diz que é uma prova científica. E a pergunta foi lançada aos alunos: Mas quando uma teoria pode ser considerada científica?

Ao mediar para os alunos sobre quando uma teoria é científica, o mediador pôde debater sobre o método científico. Deixando claro para os alunos que ele não é infalível, mas permite sua reprodutibilidade, portanto pode ser testado (conferido) e assim pode-se depositar confiança. Ou seja, é confiável, mas não infalível. Assim, houve um trabalho de alfabetização científica.

Ainda nessa primeira inserção, os alunos assumiram o papel de diretores de uma unidade de perícia forense. Cujo papel seria o de selecionar o perito certo para cada caso criminal que surgisse (foram apresentadas, com auxílio do projetor de slides, imagens de cenas de crimes). Eles poderiam designar para “as ocorrências criminais” peritos especializados em mecânica clássica, ondulatória, termodinâmica, eletromagnetismo, óptica, física de baixas temperaturas, física quântica, física do estado sólido, física da matéria condensada, relatividade, física atômica e nuclear, e física de plasma. Para dinamizar esse momento, os alunos foram divididos em grupos de aproximadamente 5 alunos e debateram entre eles qual o especialista iriam enviar para cada cena de crime projetada no quadro. É de relevo citar que os alunos poderiam ler o material didático para auxiliá-los a escolherem a área da física que mais se adequava à situação apresentada.

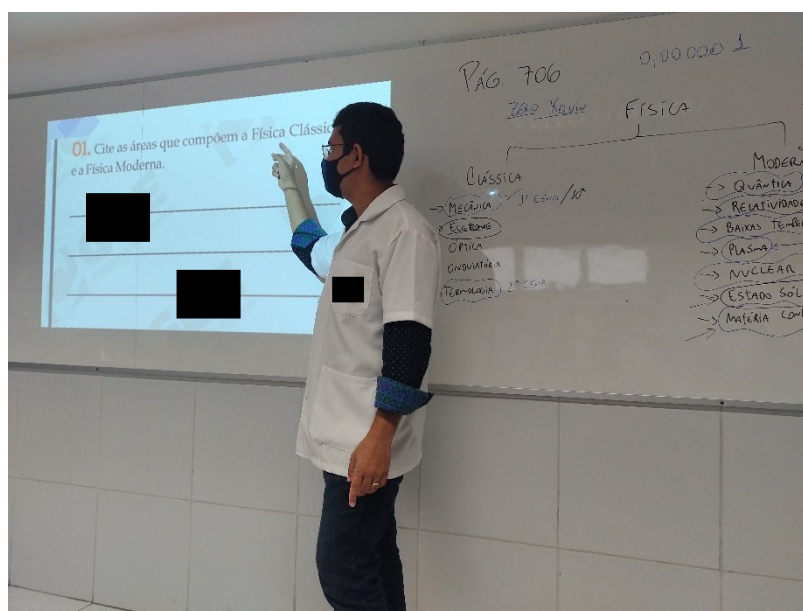
Ao final da aula foi recolhida a ficha de cada grupo, e os alunos foram direcionados a resolverem o “Exercitando em aula” disposto no livro didático. O exercício era composto pelos seguintes enunciados: “Cite as áreas que compõem a física clássica e a física moderna”, “Explique como funciona o método científico”, “Aponte algumas aplicações tecnológicas do dia a dia cuja base científica é a física clássica, e outras cuja base é a física moderna”, “Qual é o conceito de gravidade na física relativística?”. Como atividade para casa foi orientada a resolução de exercícios de fixação contidos no livro. Vide fotografias 01 e 02 e figura 16 que ilustram as atividades realizadas neste encontro.

Fotografia 01 – Inserção de elementos de criminalística 01



Fonte: O autor. Professor mediador projetando cena de crime (substância em forma de pó e coloração branca passará pelo exame de Espectroscopia de Infravermelho).

Fotografia 02 – Momento de resolução de exercícios do livro



Fonte: O autor.

Figura 16 – Ficha de exercício aplicado com os alunos

Perfeito!
13,0

AULA 1 - Tópico 1: Introdução à Física

Membros da equipe:
João Henrique
Pedro Augusto
Guilherme do Nascimento

Indique um especialista para cada cena de crime.

1ª Cena de Crime:

FÍSICA CLÁSSICA	FÍSICA MODERNA
Mecânica	Física de baixas temperaturas
Ondulatória	Física Quântica
Termologia	Física do estado sólido
Eletromagnetismo	Física da matéria condensada
Óptica	Física relativística
	Física Atômica e Nuclear
	Física de plasma

2ª Cena de Crime:

FÍSICA CLÁSSICA	FÍSICA MODERNA
Mecânica	Física de baixas temperaturas
Ondulatória	Física Quântica
Termologia	Física do estado sólido
Eletromagnetismo	Física da matéria condensada
Óptica	Física relativística
	Física Atômica e Nuclear
	Física de plasma

3ª Cena de Crime:

FÍSICA CLÁSSICA	FÍSICA MODERNA
Mecânica	Física de baixas temperaturas
Ondulatória	Física Quântica
Termologia	Física do estado sólido
Eletromagnetismo	Física da matéria condensada
Óptica	Física relativística
	Física Atômica e Nuclear
	Física de plasma

4ª Cena de Crime: Física de baixas temperaturas ✓
 5ª Cena de Crime: Física da matéria condensada ✓
 6ª Cena de Crime: Física Atômica e Nuclear ✓
 7ª Cena de Crime: Física relativística ✓
 8ª Cena de Crime: Física de plasma ✓
 9ª Cena de Crime: Física Quântica ✓
 10ª Cena de Crime: Física Mecânica ✓
 11ª Cena de Crime: Física Eletromagnetismo ✓
 12ª Cena de Crime: Física do estado sólido ✓
 13ª Cena de Crime: Física da matéria condensada ✓

Fonte: O autor.

O segundo encontro foi utilizado para estudar as grandezas comprimento e tempo, e suas respectivas unidades de medida. Para abordar esse conteúdo, foi criada na sala de aula uma cena fictícia de homicídio. Foi impresso um poster com a figura de um cadáver e colado sobre o chão da sala. Foram espalhados os seguintes vestígios para serem encontrados pelos alunos:

- 01 (um) projétil de arma de fogo;
- 01 (um) estojo, próprio para munição de arma de fogo, percutido e deflagrado;
- 01 (uma) figura impressa ilustrando uma porta arrombada, que foi fixada com auxílio de fita adesiva na maçaneta da porta por dentro;
- 01 (uma) figura impressa ilustrando uma cédula de identidade recortada e colocada dentro do bolso do cadáver;
- 01 (uma) figura impressa ilustrando uma janela quebrada foi colada na janela de vidro da sala;
- 01 (uma) carteira da sala foi posicionada sob a figura de janela quebrada;
- 01 (uma) figura impressa ilustrando cacos de vidro caídos sobre o solo da sala junto à janela que foi “quebrada”;
- 01 (uma) figura impressa ilustrando uma pegada foi colada por trás da carteira “utilizada” como apoio pelo “algoz” para subir na janela;
- Foi escrito pelo professor mediador o horário de início da perícia: 07h50min. E o horário do fim: 9h07min. Para que os alunos calculem o intervalo de tempo da perícia.

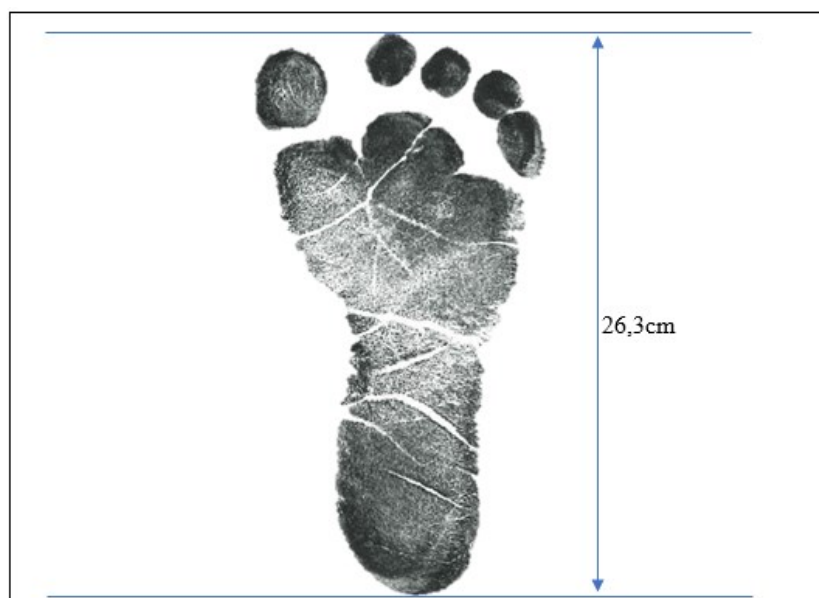
Novamente foram formados grupos de aproximadamente 05 (cinco) alunos. Enquanto um grupo periciava a “cena de crime” os demais grupos ficavam aguardando em outro ambiente, lendo o livro didático na página do conteúdo a ser ensinado (comprimento e tempo e suas respectivas unidade de medida). Cada grupo tinha 3 minutos.

Após todos os grupos terem tido a oportunidade de periciar a “cena de crime”, foi entregue um paquímetro para que pudessem medir o diâmetro do projétil de arma de fogo, e utilizando uma régua centimetrada para medir o comprimento da pegada. Para descobrir o tamanho do sapato do suspeito, os alunos precisaram medir com a régua a pegada encontrada, depois seguir o passo a passo abaixo, que ilustra uma fórmula para o fabricante de sapatos. Importante dizer que a fórmula foi inventada para conduzir/guiar/mediar os alunos, de modo lúdico, ao uso das conversões de unidades de medida:

- 1º) Passo: Converte o comprimento do pé encontrado para mm;
- 2º) Passo: Divide o resultado por 2;
- 3º) Passo: Converte o resultado para dm;
- 4º) Passo: Multiplica o resultado do passo anterior por 1000;
- 5º) Passo: Subtrai por 13 dm;
- 6º) Passo: Divide o resultado por 31;
- 7º) Passo: O resultado da divisão anterior é igual ao número do calçado.

A pegada ilustrada na figura impressa e colocada na cena de crime, tinha o comprimento de 26,3 cm (vinte e seis centímetros e três milímetros), vide figura a seguir:

Figura 17 – Medição de uma pegada



Fonte: O autor. Mostra figura reduzida da pegada utilizada em sala de aula.

Com o valor do comprimento da pegada e após terem aplicado o passo a passo da fórmula do fabricante de sapatos, os alunos são apresentados aos suspeitos:

Figura 18- Suspeito N°1.



Nome do suspeito nº1: Ateniense Rodrigues Pereira;

Idade: 45 anos;

Profissão: Professor de história desempregado;

Calçado: 41

Fonte: O autor.

Figura 19- Suspeito N°2.



Nome do suspeito nº2: Douglas Mendonça;

Idade: 30 anos;

Profissão: Entregador;

Calçado: 42

Fonte: O autor.

Figura 20 - Suspeito N°3.



Nome do suspeito n°3 Seu Milton Rocha da Silva;

Idade: 72 anos;

Profissão: Aposentado;

Calçado: 40

Fonte: O autor.

Em continuidade, os alunos precisaram responder a um questionário proveniente do “Ministério da Justiça” que desejava informações sobre o caso. Vide figura a seguir, figura 21.

Figura 21- Questionário aplicado com os alunos

DOCUMENTO


 SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
 MINISTÉRIO DA JUSTIÇA
 DEPARTAMENTO DE POLÍCIA FEDERAL
INQUÉRITO POLICIAL

SRDP/PE
 SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE PERNAMBUCO
 IPL Nº 0215/2023 DMBD
 INCIDÊNCIA PENAL art. 121 do Código Penal 648986548

Senhor(a) Perito(a) Criminal, para um melhor entendimento de como o fato ocorreu, necessitamos das respostas para os seguintes itens (gentileza, justifique todas as respostas para evitar que os advogados consigam livrar o culpado das consequências de seus atos):

- 1) Qual o horário do início da perícia? 10h52min
- 2) Qual o horário do fim da perícia? 14h02min
- 3) Qual o intervalo de tempo dos exames periciais? 11h15min
- 4) Qual a natureza jurídica do fato (acidente, suicídio ou homicídio)? homicídio
- 5) Qual o nome da vítima? Maximiliano Apival
- 6) Qual o tipo de arma utilizada na cena de morte (arma branca ou arma de fogo)?
arma de fogo
- 7) Se arma de fogo, qual o calibre? 9mm
- 8) Qual a dinâmica do fato? (como ocorreu a morte? Houve invasão do local?)
de arrombaram a porta matou ele e fugiu pela se
nala quebrada

Certo de poder contar com seu auxílio,
Atenciosamente, Promotor de Justiça Frederico Mendes

Nomes dos componentes da Equipe Pericial:

Dealvize Tavares

João Pedro Gonçalves Tavares

Marcio Henrique

Rafael Santo

Carlos andrey, miguel arthur

Fonte: O autor.

Por fim, os alunos realizaram os exercícios do livro, da sessão exercitando em sala, compostos pelas seguintes questões:

- Mariana desejava ver um jogo de futebol às 16h, mas chegou 25 min e 30 s atrasada, pois levou 1h, 50 min e 40 s no caminho. Em que horário ela saiu de casa?
- O filme *O Senhor dos Anéis – O retorno do Rei*, que recebeu o Oscar de melhor longa-metragem, possui uma versão estendida com 13430 s. Qual é a duração do filme no formato Xh Ymin e Zs?
- Cláudio mediu a sua altura com uma fita métrica, constatando 1,85 m. Expresse o valor da altura dele em:
 - a) km
 - b) dm
 - c) dam
 - d) dm
 - e) cm
 - f) mm
- Transforme para metros as seguintes medidas:
 - a) 10cm
 - b) 20 mm
 - c) 50 km
 - d) 2 km
 - e) 600 km
 - f) 0,005 hm
 - g) 20 dam
 - h) 123.456 cm

A terceira inserção de elementos de criminalística foi realizada dentro do conteúdo de Notação Científica e Ordem de Grandeza. Para trabalhar estes conteúdos, foi utilizado o contexto de um crime contábil. E um registro contábil contendo cifras bilionárias foi entregue para cada aluno individualmente. A missão de cada aluno era calcular se o saldo, após as movimentações financeiras, era positivo, negativo e qual o seu valor. Para isso os alunos tinham 5 minutos. A intenção era mostrar aos alunos que a notação científica é para facilitar o trabalho. Pois a experiência de trabalho com adolescentes tem indicado um receio de utilizar a nova ferramenta (o medo do novo), portanto, preferem trabalhar com os números cheios de zeros. Vide abaixo, figura 22 que mostra a ficha entregue aos alunos.

Figura 22 - Registro contábil

Livro Caixa da empresa "Milionária GoogoLLLL"

Nº da ordem	Data	Tipo de doc	Descrição	Entrada	Saída	Valor em Notação Científica
01	02/05/2021	Recibo	Vendas de assinaturas	5000000000000		5×10^{12}
02	05/05/2021	Nota Fiscal	Compra de carros		1000000000	1×10^9
03	07/05/2021	Nota Fiscal	Compra de HD's		2000000000	2×10^9
04	10/05/2021	Contracheques	Pagamento de Salários		200000000000	2×10^{11}
05	11/05/2021	Recibo	Abertura de capital	1000000000000		1×10^{12}
06	13/05/2021	Nota Fiscal	Impostos		30000000000	3×10^{10}
07	14/05/2021	Recibo	Venda de dados dos clientes	3000000000000		3×10^{12}
08	17/05/2021	Nota Fiscal	Compra de Satélite		50000000000	5×10^{10}
09	20/05/2021	Nota Fiscal	Material de escritório		5000000000	5×10^8
10	21/05/2021	Nota Fiscal	Devolução de vendas		4000000000	4×10^8
11	22/05/2021	Recibo	Desconto em compras à vista	10% de 20000000000		
12	24/05/2021	Nota Fiscal	Aluguéis		20000000000	2×10^9

Fonte: O autor. Mostra registro contábil fictício entregue aos alunos.

Os alunos apresentaram dificuldades em utilizar as potências com base 10, e preferiram utilizar os números com todos os zeros. Com isso, não obtiveram êxito na resolução do problema no tempo proposto. O professor pediu para os alunos cronometrarem sua resolução e em 2 minutos, utilizando potências de base 10, cumpriu com a tarefa.

Por fim, após a atividade explanada nos parágrafos anteriores, e com os alunos tendo entendido a importância de expressar grandezas com números muito grandes (ou muito pequenos), o professor apresentou no quadro branco a definição de notação científica e a definição de ordem de grandeza. E os alunos realizaram os exercícios da sessão exercitando em sala. Para casa foi orientado realizarem a atividade contida nos exercícios de fixação do livro.

A quarta inserção de elementos de criminalística ocorreu no estudo das bases da cinemática. O planejamento escolar obrigatório exigia a abordagem dos seguintes conteúdos: definição de cinemática, definição de referencial, definição de ponto material, definição de corpo extenso, definição de movimento, definição de repouso, definição de trajetória, definição de posição (ou coordenada de posição), definição de variação de posição, definição de distância percorrida,

definição de instante de tempo, definição de intervalo de tempo, definição de velocidade média e velocidade instantânea. Como se percebe são muitas definições a serem apresentadas (a palavra “definição” foi escrita diversas vezes propositalmente para exprimir o quão cansativo poderia ser este encontro).

Nem todas as definições citadas no parágrafo anterior foram apresentadas por meio de elementos de criminalística. Para apresentação do conceito de cinemática, definição de referencial, ponto material, corpo extenso, posição, variação de posição, distância percorrida, instante de tempo e intervalo de tempo foram utilizados textos escritos no quadro, imagens, exemplos falados, analogia com elementos geométricos entre outros. Vide o quadro abaixo contendo esses conteúdos e as ferramentas pedagógicas utilizadas.

Quadro 1 – Informa o conteúdo à respectiva ferramenta pedagógica

Conteúdo	Ferramenta pedagógica
Cinemática	Foi escrito um texto no quadro com a definição deste ramo da física
Referencial	O professor deixou um marcador piloto para quadro branco sobre o birô da sala, vendou seus olhos e pediu auxílio verbal dos alunos para encontrá-lo. O objetivo era que os alunos utilizassem objetos da sala para referenciar a localização do piloto. E assim, ensinar uma definição inicial para referencial: Objeto e/ou marcação utilizada para indicar a posição de outros objetos, e assim determinar inclusive sua velocidade (se está em repouso ou movimento).
Ponto material x Corpo extenso	Foi utilizada a seguinte questão: Quanto tempo um trem de 100m de comprimento com uma velocidade de 100m/s leva para atravessar um túnel de 100m? E um trem de 200m? E de 300m? Deixando claro que quando o comprimento é considerado para o cálculo, ele é dito corpo extenso. Mas o

	comprimento deste mesmo trem pode ser desprezado caso o estudo seja o tempo gasto por ele para sair de Lisboa e chegar em Madrid, portanto, sendo considerado um ponto material.
Posição, variação de posição e distância percorrida	Aproveitando que os alunos já foram apresentados à definição de referencial, é traçada no quadro branco uma reta e escolhido um referencial (marco zero), e os alunos com auxílio de uma fita métrica precisam expressar a posição de figuras geométricas desenhadas sobre esta reta.
Tempo, instante de tempo e intervalo de tempo	Foram feitas analogias com elementos da geometria para explicar essas grandezas físicas. A reta foi escolhida para representar o tempo, um ponto sobre a reta do tempo foi escolhido para representar o instante de tempo e um segmento de reta contido na reta do tempo foi a analogia escolhida para o intervalo de tempo.

Fonte: O autor.

Para as demais definições (trajetória, velocidade instantânea e velocidade média) foram utilizados elementos próprios da criminalística. Para ensinar sobre trajetória foi utilizada prática denominada reprodução simulada dos fatos. É uma prática exercida por peritos criminais, que avaliam se o depoimento de vítimas, suspeitos e testemunhas coadunam com os vestígios materiais. Nesta atividade, o professor contava um fato delituoso pelo ponto de vista de uma testemunha, e os alunos precisavam avaliar se a versão da testemunha era fisicamente possível. Vide quadro 2.

Quadro 2 – Contém descrição dos fatos narrados pelo professor e o modelo das respostas esperadas.

O primeiro fato narrado foi:

Caso 1: Um homem conta que quando estava sentado na varanda de sua casa, em um dia sem vento, viu um cadáver sendo deixado cair de um avião de pequeno porte de cor azul que passava defronte a sua casa.

O professor desenha uma parábola e conta que essa foi a trajetória contada pelo morador à polícia. A versão é coerente com a física?

Modelo de resposta esperada pelo professor:

Sim, pois a trajetória de queda do cadáver vista por quem está fora do avião tem a forma parabólica. E para quem se encontra no avião a trajetória vista para o mesmo objeto será de uma linha vertical para baixo.

O segundo fato narrado foi:

Caso 2: Um motociclista presenciou a ação de um grupo armado descendo de um veículo de cor preta e placa ABC 1234. Os homens do grupo disparam suas armas de fogo a ermo e aleatoriamente.

O motociclista conta que estava montado numa motocicleta 600 cilindradas parada de frente para o shopping da cidade esperando a namorada largar do trabalho. Quando de repente o automóvel preto para e descem do veículo 05 (cinco) homens armados e começam atirar para todos os lados. Ele arranca com sua motocicleta pela avenida e quando se encontrava em fuga acerca de dezenas de metros percebe um pontinho preto sobrevoando próximo de sua face, pensa que é uma mosca e agarra-a com uma das mãos. Ao abrir a mão, percebe que se tratava de um projétil de arma de fogo. A versão é coerente com a física?

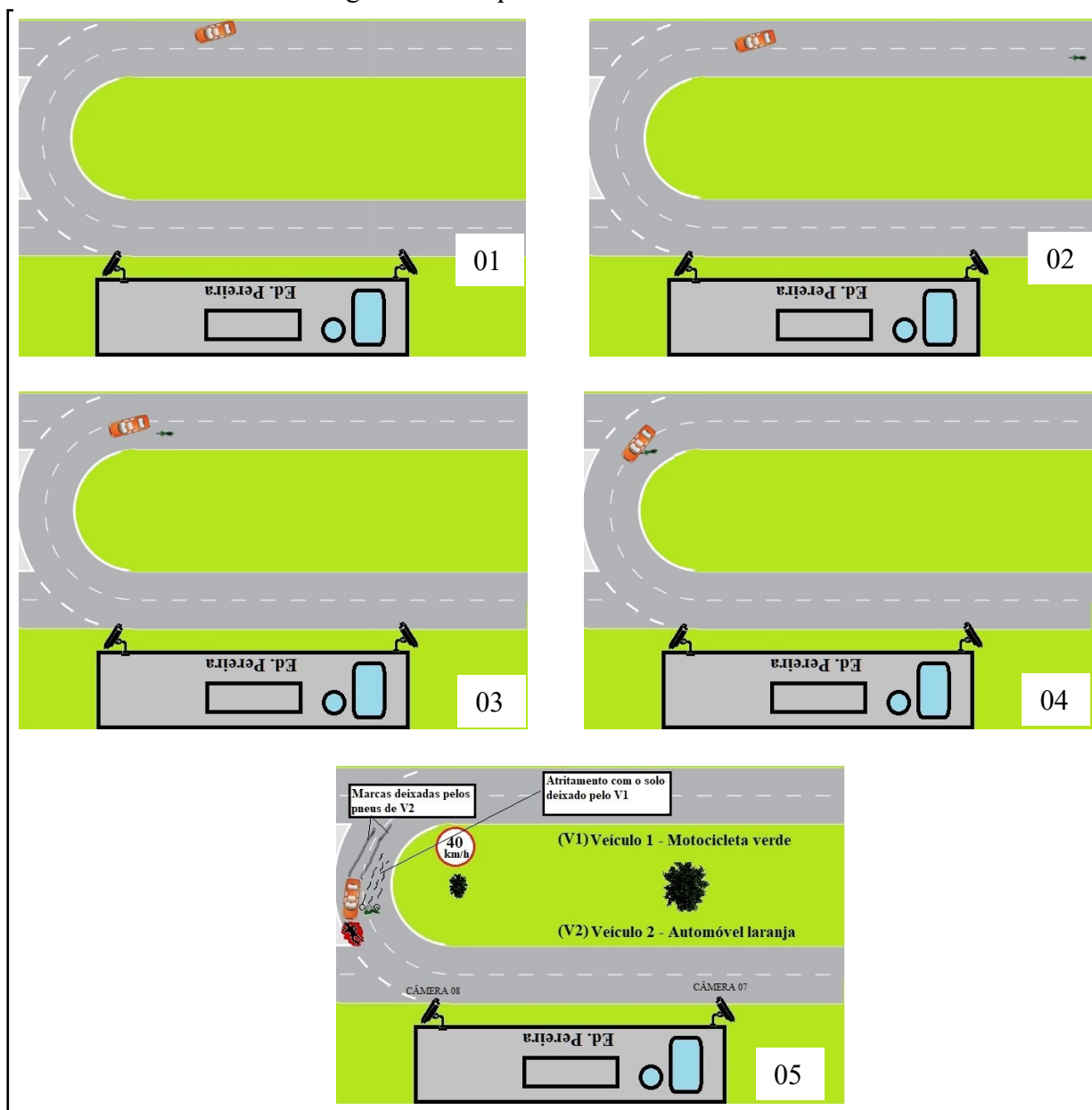
Modelo de resposta esperada pelo professor:

Sim, pois é possível que a velocidade do projétil disparado pela arma de fogo esteja com o mesmo módulo, mesma direção e mesmo sentido da motocicleta, portanto em repouso em relação a ela.

Fonte: O autor.

As definições de velocidade média e velocidade instantânea foram abordadas em um novo encontro. Para elas foi utilizado um caso criminal de acidente de trânsito onde os alunos precisariam calcular a velocidade de um veículo por meio das imagens registradas por um edifício que ladeava o local do acidente. Observe a seguir as figuras que compõem a animação, vide figura 23.

Figura 23 – Sequência de um acidente de trânsito



Fonte: O autor.

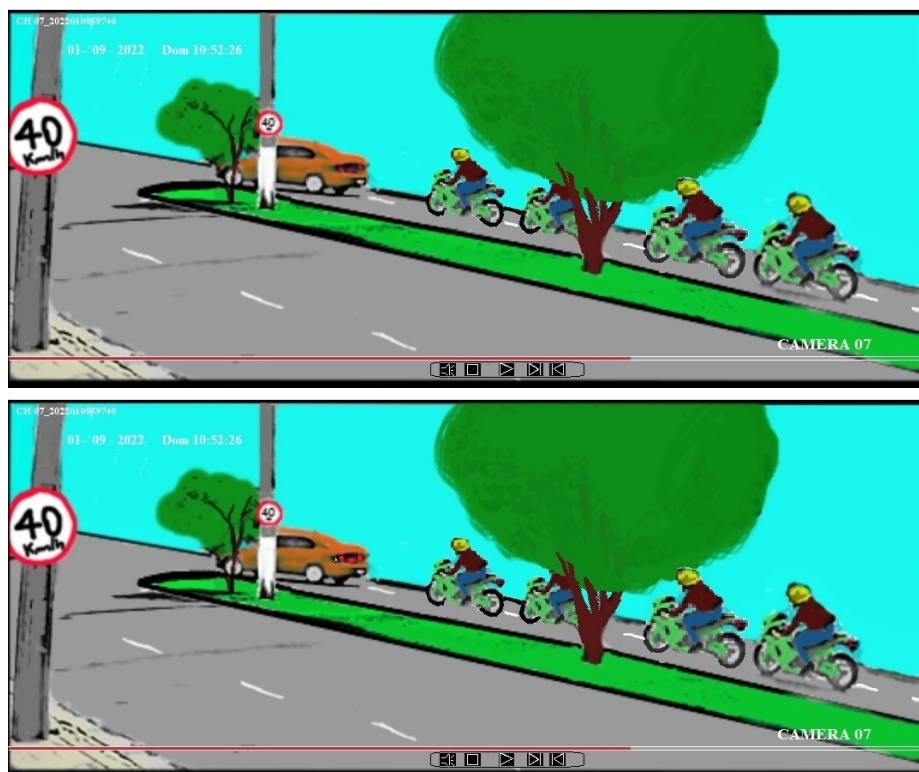
O professor mediador para simular a reprodução de um vídeo pode projetar no quadro branco a parte 01, da figura 23, em tela cheia e apertar no teclado do computador a tecla para direita sucessivas vezes para ir caminhando entre as figuras acima. Para isso terá que colocar as cinco figuras em uma mesma pasta do computador e renomear cada uma de modo que fiquem na ordem adequada (uma sugestão é frame 1, frame 2, frame 3, frame 4 e frame 5). E a partir daí deixa livre para os alunos pensarem como resolver o problema.

O caminho para a solução do problema acima (atribuir a culpa do acidente a algum dos dois automóveis) deve ser encontrado pelos alunos. O professor mediador pode ir fazendo perguntas

para conduzir o processo de raciocínio da turma. Espera-se que os alunos perguntem se podem olhar as câmeras do Edifício Pereira;

E aí o professor mediador irá fornecer as seguintes imagens (figura 24), que parecem idênticas, mas numa o carro está com a seta apagada e na outra a luz de seta aparece acesa (para dar a ideia de que o condutor do automóvel acionou a chave seletora de seta).

Figura 24 - *Frame a Frame sobrepostos.*



Fonte: O autor.

Nesse momento o professor mediador explica aos alunos que as 04 (quatro) imagens da motocicleta é uma sobreposição de frames consecutivos e servem para verificar a distância percorrida pela motocicleta no intervalo de tempo entre dois frames.

Como saber qual a distância percorrida pela motocicleta nesse intervalo de tempo? Se os alunos falarem sobre medir a distância no local, é importante o mediador explicar que a lente esférica do equipamento que registra a filmagem provoca distorções nos comprimentos, e associado a isso existe o erro de perspectiva. A melhor solução para a distância percorrida é utilizar o próprio comprimento da motocicleta, pois ela percorre mais que o seu comprimento entre cada

passagem de frame. Onde encontrar as dimensões da motocicleta? No manual do fabricante! Neste momento o professor mediador irá fornecer a figura 25.

Figura 25 – Especificações técnicas de motocicleta

PÁG 105 MANUAL

MOTOCICLETA KXW600

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

DIMENSÕES

Comprimento total	2.050 mm
Largura total	751 mm
Altura total	1.074 mm
Distância entre eixos	1.350 mm
Distância mínima do solo	125 mm
Altura do assento	803 mm

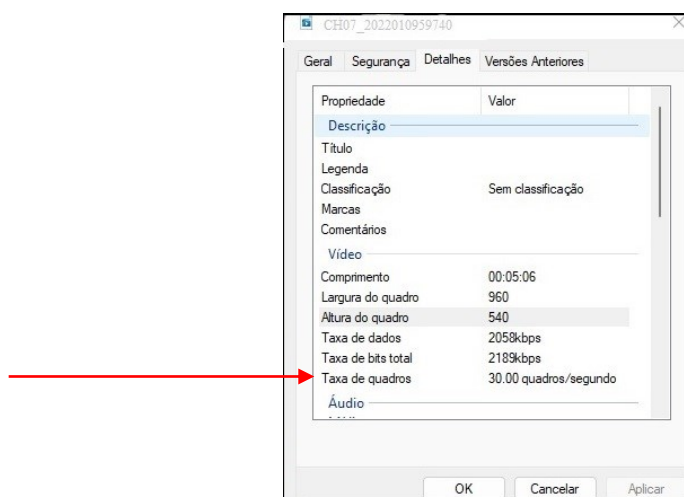
PESO

Peso seco	188 kg	KXW600
	193 kg	(KXW 600 com ABS)

Fonte: O autor. Ilustração de um manual de motocicleta.

Depois o professor tenta buscar dos alunos como podem saber o tempo percorrido pela motocicleta entre dois frames consecutivos. Deve-se dar um tempo para que os alunos respondam. Caso não consigam chegar à solução, o professor indica as propriedades do vídeo. E mostra a figura 26:

Figura 26 – Propriedades de um vídeo



Fonte: O autor. Detalhes do vídeo com informação da taxa de quadros.

Com a informação de 30 quadros por segundo, é fácil explicar para os alunos que o intervalo de tempo entre quadros é de $1/30$ do segundo.

Por fim, o mediador calcula com a turma a velocidade da motocicleta utilizando a fórmula para velocidade instantânea:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (v \rightarrow \text{velocidade instantânea})$$

É um momento de muito interesse para os alunos (pois descobrirão o quão rápido a moto se movia), portanto, é uma excelente oportunidade para apresentar a definição de velocidade média para os alunos. O mediador deve explicar que a velocidade em um dado instante (velocidade instantânea) pode ser encontrada a partir do cálculo de velocidade média para um intervalo de tempo bem próximo de zero. Sendo assim, como vamos utilizar 1/30 do segundo (aproximadamente 0,03 segundos), podemos considerar que o valor da velocidade média calculado se aproximou bastante da velocidade instantânea da motocicleta.

$$v_{méd} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s - s_0}{t - t_0} \quad (v_{méd} \rightarrow \text{velocidade média})$$

Calculando a velocidade da motocicleta na atividade temos:

$$v_{méd} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\text{distância entre eixos}}{\text{tempo entre frames}} = \frac{1,35m}{\frac{1}{30}s} = 1,35m \cdot \frac{30}{1s} = \frac{40,5m}{s} = 145,8 \text{ km/h}$$

Como a motocicleta percorre mais do que sua distância entre eixos, pode-se afirmar que sua velocidade era não inferior a 145,8 km/h. Muito superior ao limite máximo permitido na via, e que estava indicado na placa de trânsito como sendo de 40 km/h.

O sexto e último momento em que foi inserido elementos de criminalística foi um caso de acidente de trânsito. Onde os alunos foram agrupados em até cinco alunos. Cada grupo recebeu um documento de três páginas composto por capa, página contendo uma explanação sobre as equações a serem utilizadas no exercício e página contendo o croqui do acidente. Vide figura 27 contendo a capa, figura 28 contendo as equações e figura 29 contendo o croqui ilustrativo.

Figura 27 – Capa de um inquérito policial de acidente de trânsito

DOCUMENTO


SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA JUSTIÇA
DEPARTAMENTO DE POLÍCIA FEDERAL
INQUÉRITO POLICIAL

SR/DPF/PE
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE PERNAMBUCO

IPL Nº 0215/2013 **TOMBO 2013** 

INCIDÊNCIA PENAL: Artigo 302 do Código de Trânsito Brasileiro

INDICIADOS: Sr. Jacobino Fictício Culpa da Silva

Fonte: O autor. Capa do documento entregue aos alunos.

Figura 28- Página 02 da inserção de elementos de criminalística envolvendo um acidente de trânsito

Exame na motocicleta



1.350mm

Distância entre os eixos da motocicleta antes da colisão



975mm

Distância entre os eixos da motocicleta após da colisão

Pelo encurtamento da distância entre os eixos de uma motocicleta pode-se calcular, com a equação abaixo, a velocidade relativa de colisão:

$$V_c = \frac{8}{5}x + 12$$

Equação de Lynn B. Fricke

$V_c \rightarrow$ Velocidade de colisão, em km/h

$x \rightarrow$ deformação, diminuição da distância entre eixos, medida em centímetros

Pelo comprimento da marca de frenagem é possível calcular a velocidade imediatamente anterior ao acionamento do freio (Velocidade inicial - v_0):

Energia Cinética no momento da colisão

$$E_{c_{colisão}} = \frac{m \cdot v_c^2}{2}$$

$V_c \rightarrow$ Velocidade de colisão, em m/s

$m \rightarrow$ massa do veículo+piloto

Energia consumida pelo atrito com o solo

$$E_{dissipada} = \mu \cdot m \cdot g \cdot d$$

$m \rightarrow$ massa do veículo+piloto

$\mu \rightarrow$ Coeficiente de atrito entre o pneu e o solo [grandeza adimensional]

$d \rightarrow$ comprimento da marca de frenagem medida no local

$g \rightarrow$ aceleração da gravidade [g=10m/s²]

Energia cinética antes do acionamento do freio

$$E_{c_{inicial}} = E_{c_{colisão}} + E_{dissipada}$$

$$E_{c_{inicial}} = \frac{m \cdot v_0^2}{2}$$

Coeficientes de atrito	
Pneu de motocicleta x terra solta	0,2
Pneu de motocicleta x terra batida	0,3
Pneu de motocicleta x asfalto seco	0,6
Pneu de motocicleta x asfalto molhado	0,4

Figura 29- Página 03 da inserção de elementos de criminalística envolvendo um acidente de trânsito

CROQUI ESQUEMÁTICO RELATIVO AO ACIDENTE QUE OCORREU NO CRUZAMENTO DA RUA BAHIA COM A RUA PERNAMBUCO



Senhor Perito Criminal, para um melhor entendimento de como o fato ocorreu, precisamos das respostas para os seguintes itens (gentileza, justifique todas as respostas para evitar que os advogados consigam livrar o culpado das consequências de seus atos):

- 1) Como aconteceu o acidente?
- 2) Existe alguma razão pela qual as motocicletas possuam uma arrancada maior que os automóveis?
- 3) A posição do cadáver (piloto da motocicleta) é compatível com o acidente?
- 4) Se foi a motocicleta que colidiu com o automóvel, por que ela sofreu danos? Existe alguma explicação científica?
- 5) O tipo de solo interfere na distância percorrida pelos veículos durante o processo de frenagem? Se a rua fosse de terra solta a colisão teria ocorrido com menor impacto? E se estivesse chovendo?
- 6) O que explica a motocicleta continuar em movimento mesmo após o travamento das rodas?
- 7) Qual a velocidade máxima permitida no trecho da rua Pernambuco onde ocorreu o acidente?
- 8) Qual a velocidade aproximada com que se movia o veículo 1?

Certo de poder contar com seu auxílio,
Atenciosamente, Promotor de Justiça Frederico Mendes

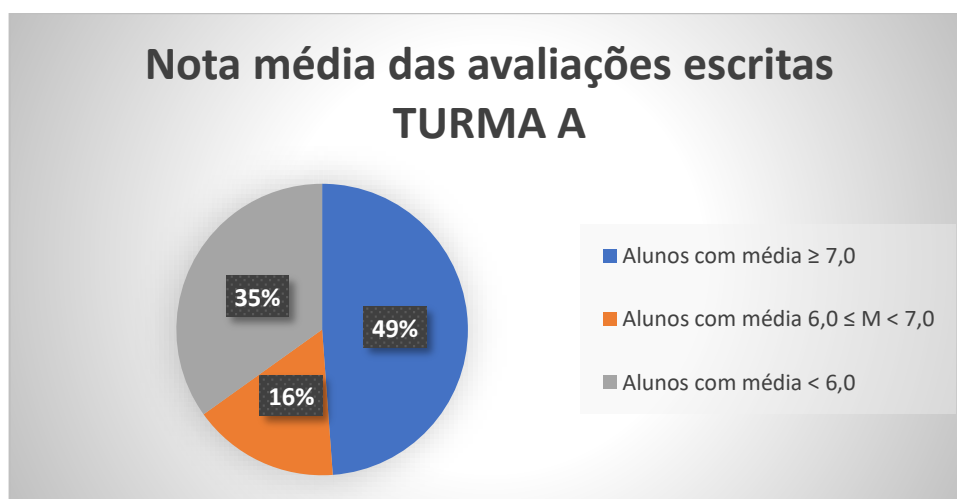
Nesta atividade é ensinado sobre os conceitos de energia mecânica e sua conservação, forças dissipativas e força de atrito. E caso algum grupo pergunte qual a base científica para a equação do cálculo de velocidade de colisão de uma motocicleta por base do encurtamento de sua distância entre os eixos, o professor pode explicar que é uma equação empírica, onde são realizados *crashes tests* (testes de impactos) com um modelo específico de motocicleta e são anotados em um gráfico cartesiano a velocidade do impacto e a deformação consequente da colisão. Depois encontra-se a equação da reta que melhor se adequa aos pontos anotados, o que na matemática é chamado de ajuste de reta (ou regressão linear).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como citado no item anterior, 4.3 procedimentos e coleta de dados, uma das formas de avaliar o produto educacional foi observar a postura dos alunos. E quando dessas observações ficou notória a alegria dos alunos em participarem das atividades propostas, a atenção aos comandos dados, os sorrisos, a empolgação quando expressavam suas opiniões, o sentimento de competência quando expunham suas hipóteses e a participação coletiva sem necessidade de insistir para que queiram participar. Por tudo isso exposto neste parágrafo o professor aplicador do produto entendeu que o produto atendeu às expectativas no âmbito motivacional.

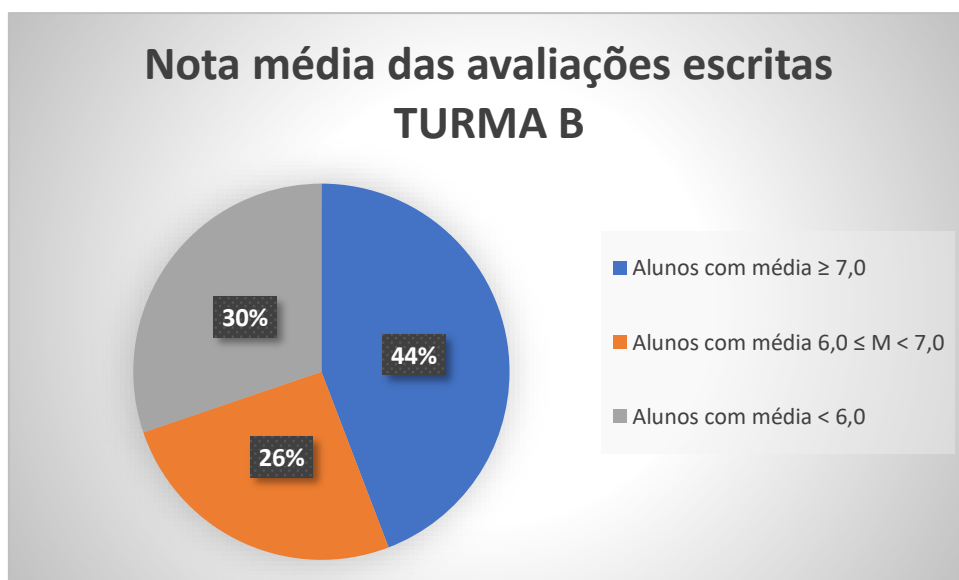
Quando se analisou o resultado dos alunos nas avaliações escritas, ficou claro que 65% dos alunos da turma “A” alcançaram nota acima de 6,0 e na turma “B” esse percentual subiu para 70%. Vide o gráfico 1 e o gráfico 2 que ilustram o percentual de alunos numa distribuição de três grupos: com média inferior a 6,0, com média entre 6,0 e 7,0 e com média igual ou superior a 7,0.

Gráfico 1 – Nota média da turma A



Fonte: O autor. Ilustra percentual dos alunos da turma “A” distribuídos em três grupos: alunos com média acima ou igual a 7,0, alunos com média entre 6,0 e 7,0, e alunos com média inferior a 6,0.

Gráfico 2 – Nota média da turma B



Fonte: O autor. Ilustra percentual dos alunos da turma "B" distribuídos em três grupos: alunos com média acima ou igual a 7,0, alunos com média entre 6,0 e 7,0, e alunos com média inferior a 6,0.

Entendendo que os alunos participantes da pesquisa cursaram o 6º ano e 7º ano do ensino fundamental 2 de modo 100% remoto, modalidade exigida pelo isolamento social ocasionado pela pandemia da Covid-19, que levou o governo brasileiro a instituir o ensino remoto como única modalidade para os anos de 2020 e 2021. Portanto, não é difícil deduzir que eles sofreram danos nos âmbitos emocional, social e cognitivo. Esses alunos, que em sua maioria possuíam a idade entre 11 e 12 anos, não puderam desenvolver tão bem as habilidades matemáticas adquiridas nessa fase escolar. São nos 6º e 7º anos que os alunos aprendem (ou deveriam aprender) operações com números expressos na sua forma decimal, operações com números expressos na forma de fração, operações com números negativos, equações de primeiro grau, sistemas de equações do primeiro grau, inequações do primeiro grau e sistema de inequações do primeiro grau, ferramentas cruciais no estudo da mecânica.

Por tudo que foi exposto no parágrafo anterior e acrescentando o fato de mais da metade das duas turmas terem alcançado o índice proveitoso ou terem ficado muito próximo disso, permite concluir que a sequência didática proposta é adequada e tornou possível ensinar física para alunos que passaram por um processo de ensino aprendizagem deficiente.

Olhando sob o crivo da avaliação qualitativa, o resultado é ainda mais evidente, pois a coordenação pedagógica expressou enorme satisfação pelo feedback dado pelos alunos. Vale repetir que, nessa avaliação são selecionados alunos variados com ênfase nos que possuam melhor índice formativo entre os demais da turma – em torno de 10% dos alunos de cada turma

- onde eles podem expressar livremente sobre o professor e o método de ensino utilizado, numa espécie de bonificação por seu bom comportamento, então recebem o direito de avaliar o método de ensino do professor. Vide abaixo um print do sistema da escola contendo a avaliação qualitativa (figura 30).

Figura 30 – Avaliação Qualitativa

Avaliações Qualitativas

Meirere Pereira

Avaliações:

1ª Avaliação dos professores 2023

■ Louvor ■ Bom ■ Regular ■ Insuficiente ■ Deficiente

Conceito	Série	Feedbacks
9.72	9º ano do Ens. Fundamental Caruaru	Física: O professor Meirere surpreendeu de forma muito positiva seus alunos. Superou todas as expectativas, em virtude dos estudantes acharem que Física no nono ano seria muito difícil tem um bom envolvimento com a turma, faz todos os exercícios de fixação, corrige as atividades em sala, além de trazer uma metodologia de aplicação dos conteúdos, resignificando-os. A postura formativa do professor é muito boa, o mesmo tem um bom domínio com toda a sala. Sua média quantitativa é de 9.72 (Kiara Batista)

Fonte: Sistema da instituição onde fora aplicado o produto educacional. Mostra recorte de tela do Sistema da Escola onde consta a avaliação Qualitativa do professor.

Examinando o resultado da avaliação quantitativa, que é uma avaliação oficial da instituição onde todos os alunos atribuem uma nota de zero a dez para alguns quesitos como didática, aproveitamento da aula, envolvimento e acompanhamento, ficou demonstrado que a sequência didática utilizada trouxe significado para a aprendizagem dos alunos, que se sentiram motivados, envolvidos, acolhidos e com suas opiniões respeitadas. O resultado dessa avaliação é mostrado na figura 31:

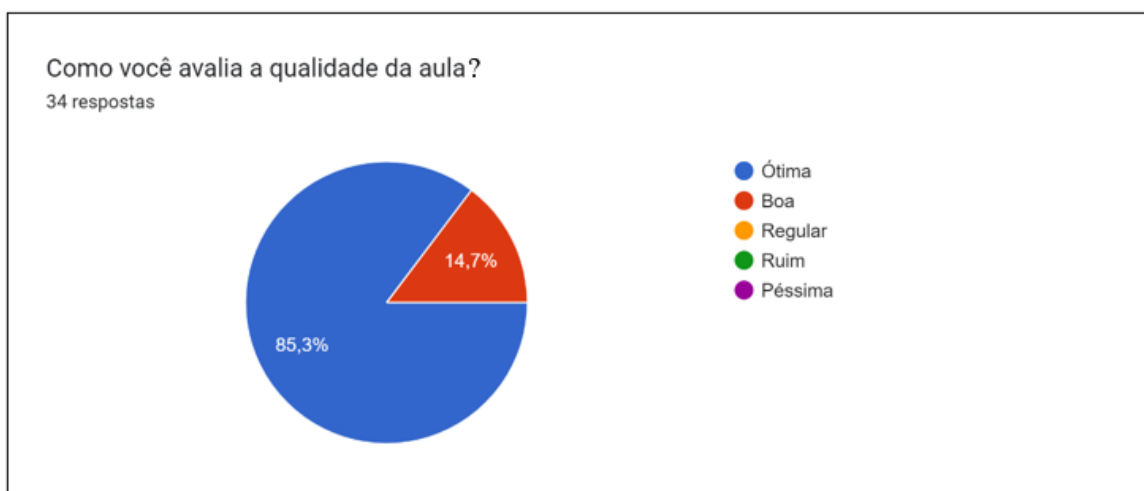
Figura 31 – Avaliação Quantitativa



Fonte: Sistema da instituição onde fora aplicado o produto educacional Mostra recorte de tela do Sistema da Escola onde consta a avaliação Quantitativa do professor no primeiro semestre.

Por fim, julgando com base na resposta voluntária e anônima dos estudantes que passaram pela pesquisa ficou constatado que o produto educacional trouxe motivação, transposição dos conteúdos para fora da sala de aula (94,1% dos alunos, que responderam ao questionário, se sentiram despertados para a segurança no trânsito), o desenvolvimento do pensamento crítico, pensamento criativo, e que foram trabalhados valores éticos e morais (os alunos precisaram ouvir e se fazerem ouvir). Vide abaixo os gráficos contendo as respostas e comentários dos alunos participantes da pesquisa (gráfico 3 até gráfico 8).

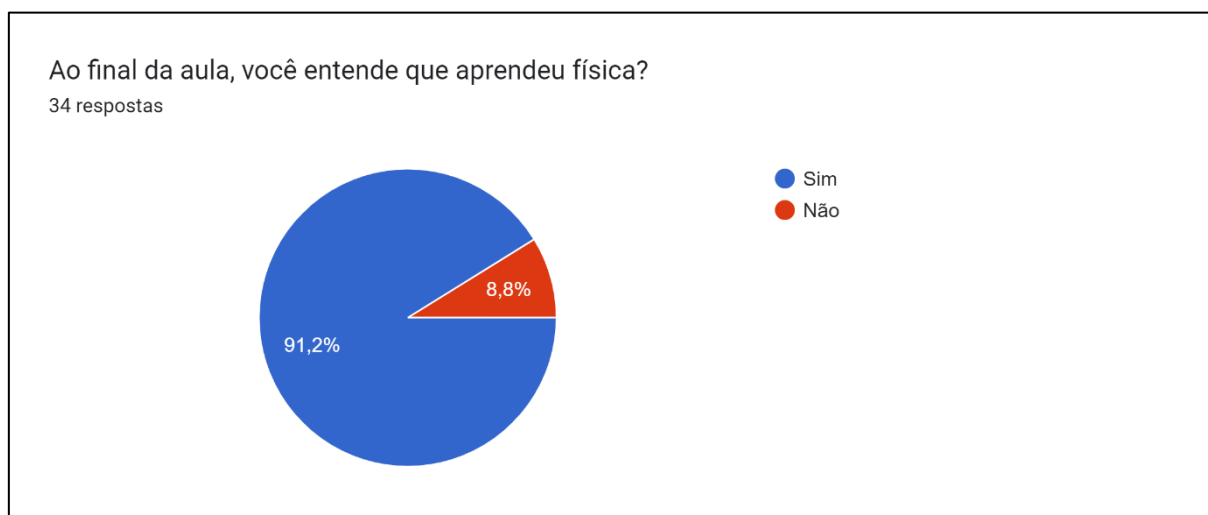
Gráfico 3 – Como você avalia a qualidade da aula?



Fonte: O autor.

No gráfico 3 é possível constatar que todos os alunos que responderam ao questionário avaliaram a metodologia utilizada como boa ou ótima. O que indica bastante satisfação com a sequência didática utilizada.

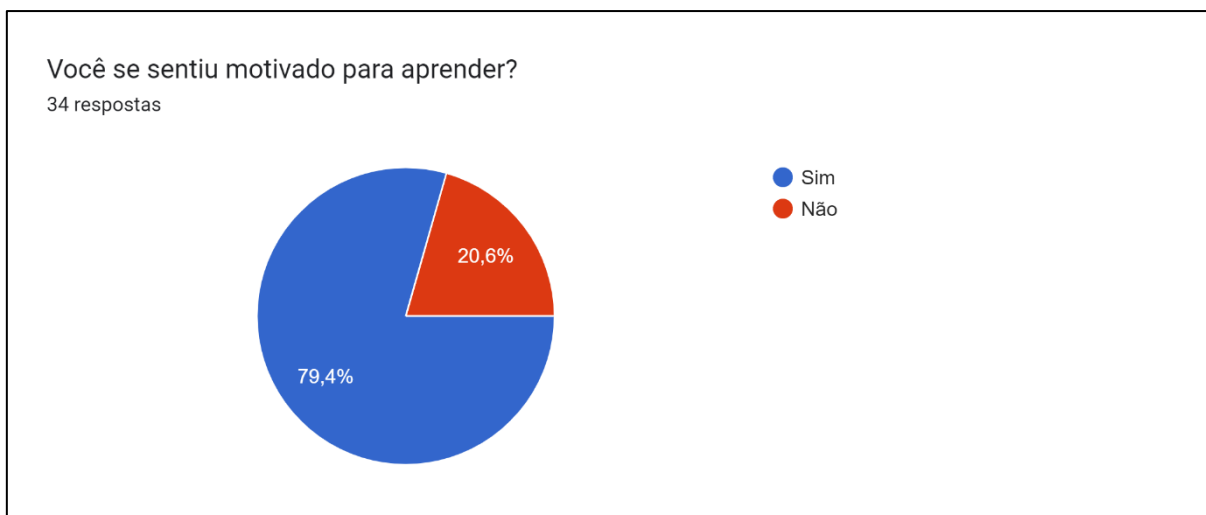
Gráfico 4 – Ao final da aula, você entende que aprendeu física?



Fonte: O autor.

O gráfico 4 reflete o sentimento dos alunos após passarem pelas aulas. Quase que em totalidade houve o sentimento de compreensão da disciplina.

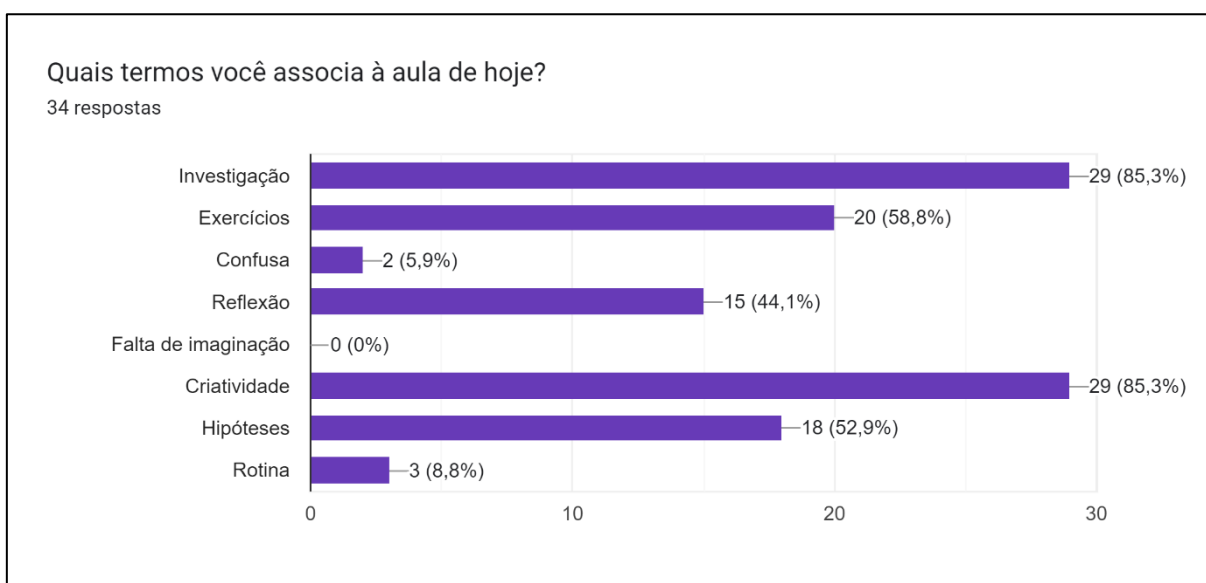
Gráfico 5 – Você se sentiu motivado para aprender?



Fonte: O autor.

No quesito motivação foi notória a satisfação e empolgação dos alunos durante as aulas. Fato confirmado pela resposta dos alunos ao questionário, cujo percentual está ilustrado no gráfico 5

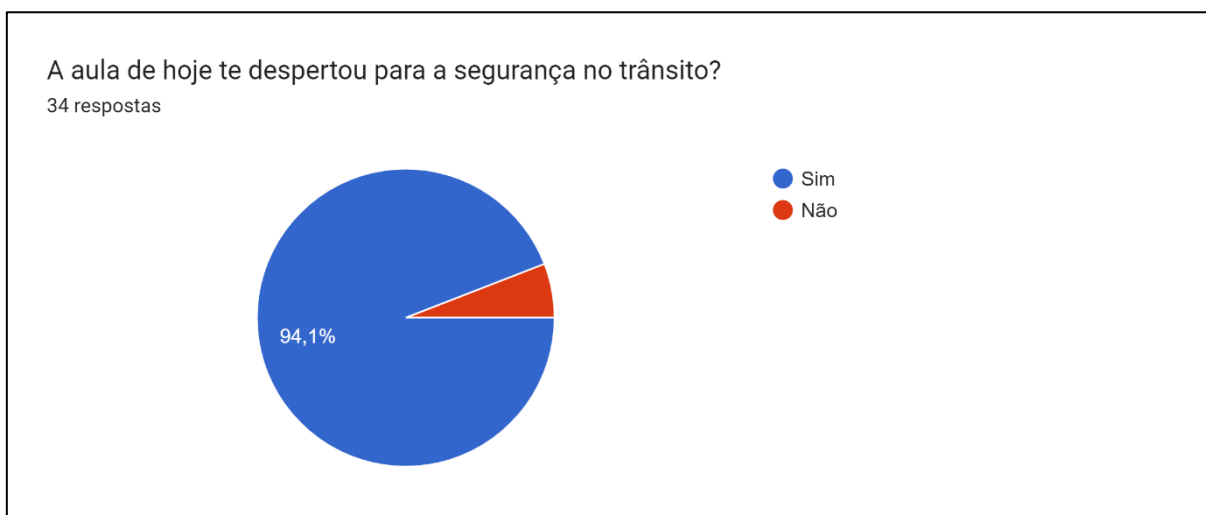
Gráfico 6 – Quais termos você associa à aula de hoje?



Fonte: O autor.

Os alunos tiveram a oportunidade de associar alguns termos às aulas ministradas. Um fato interessante é a associação da palavra “Exercícios”, pois embora a metodologia fugir do sistema tradicional de ensino, alguns alunos sentiram-se presos aos exercícios, o que pode ter ocorrido provavelmente pelo fato das atividades terem ocorrido na sala de aula. Grande parte deles associaram ao termo “Criatividade” e “Investigação”. Vide gráfico 6.

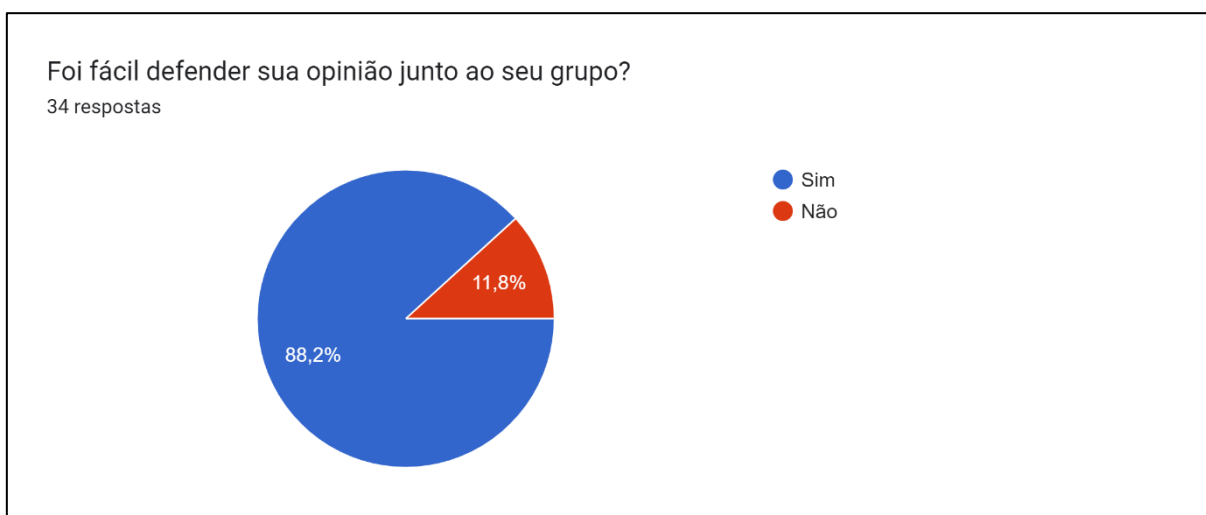
Gráfico 7 – Aula de hoje te despertou para a segurança no trânsito?



Fonte: O autor.

O gráfico 7 mostra um dado importante. Ele indica que um número elevado de alunos foi despertado para a segurança no trânsito. Mostrando que os conteúdos ministrados tiveram um alcance além das paredes da sala de aula.

Gráfico 8 – Foi fácil defender sua opinião junto ao seu grupo?



Fonte: O autor.

Por fim, pode-se observar que outras habilidades foram trabalhadas com as turmas. Alunos precisaram ouvir e se fazerem ser ouvidos. Muitos expressaram ter sido fácil defender suas opiniões diante do grupo. Outros sentiram dificuldade, o que é positivo, pois essa é uma habilidade a ser desenvolvida. E o professor mediador pode ajudar nesse desenvolvimento. Vide gráfico 8.

Não menos importante, é de relevo citar que a sequência didática precisa ser utilizada com base nos parâmetros da Experiência da Aprendizagem Mediada de Reuven Feuerstein. Pois não basta

aplicar as inserções de criminalística sem que a relação professor-aluno esteja equilibrada. Observe que as notas dadas por ambas as turmas para o envolvimento e acompanhamento do professor para com os alunos foi de 10,0 e 9,94, vide figura 32.

Figura 31 – Avaliação Quantitativa



Fonte: Sistema da instituição onde fora aplicado o produto educacional Mostra recorte de tela do Sistema da Escola onde consta a avaliação Quantitativa do professor no primeiro semestre.

As notas dadas para o item conteúdo e didática foram elevadas não somente pelas inserções de elementos de perícia criminal, mas, muito provavelmente essas notas se deram porque o professor mediador respeitou as concepções alternativas de seus alunos, tratando-as conforme a hipótese da integração hierárquica de Pozo e Crespo (vide item 2.1), e estimulou a confiança dos alunos buscando a reciprocidade por parte deles, vide item 2.2.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pôde-se verificar que os objetivos iniciais do trabalho, que eram contribuir com a formação de alunos críticos, criativos, sensíveis às necessidades sociais e com elevados valores éticos e morais, foram atingidos. Assim como o problema motivador do trabalho, que era a falta de motivação dos alunos em frequentar as aulas de física, foi enfrentado com por meio da inserção de elementos de criminalística. Esses elementos foram úteis para produzir engajamento, e permitiu aos alunos o fortalecimento de habilidades como criatividade, atenção, cooperação, e trouxe significado para a aprendizagem.

A abordagem dos conteúdos de forma lúdica contribuiu para que os alunos expressassem suas opiniões de forma desinibida, municiando o professor mediador com as concepções alternativas do alunato. Que poderá, sem desprezar e nem confrontar de modo ríspido essas concepções, apresentar as definições científicas, ajudando os alunos a fazerem cada um por si só a sua própria reestruturação cognitiva.

Vale ressaltar que a Experiência da Aprendizagem Mediada foi crucial para ajudar alunos pós pandemia a alcançarem resultados satisfatórios. Os alunos expressaram satisfação com a abordagem trazida pelo professor mediador, mostraram-se motivados para aprender, transcenderam a aprendizagem para fora do ambiente escolar. Vale ressaltar que os resultados atingiram a coordenação pedagógica da escola que expressou surpresa com os resultados alcançados, e chegou ainda a afirmar que o trabalho repercutiu também entre os diretores gerais da instituição.

Por fim, é sabido que este trabalho, como todos os trabalhos acadêmicos, pode, deve e será alvo de crítica, aprimoramento, complemento e correções. Conteúdos não abordados neste trabalho como Algarismo Significativo, Teorema da Energia Cinética, Lançamento Oblíquo, Regressão Linear e Método Monte Carlo podem ser mais bem aproveitados.

O conteúdo de Algarismo Significativo poderia ter sido abordado quando da atividade da cena de homicídio criada na sala de aula, onde os alunos fizeram a medição do calibre do projétil de arma de fogo e a medição da pegada.

Aproveitando a cena de acidente de trânsito em que um carro e uma moto colidem em um cruzamento (6ª inserção de criminalística da sequência didática apresentada) pode-se ensinar também o Teorema da Energia Cinética. Ainda neste acidente de trânsito pode-se estudar

lançamento oblíquo lançando luz sobre o fato de os motociclistas serem projetados quando dum acidente de trânsito.

Quando das colisões envolvendo motocicleta, ocorre o encurtamento da distância entre seus eixos. Analisando esse encurtamento por meio de *crashes tests* (testes de impacto), onde são anotados em um plano cartesiano os valores dos encurtamentos da distância entre eixos em função da velocidade da colisão. A partir desses dados coletados experimentalmente pode-se procurar uma reta que melhor se ajuste ao conjunto de pontos (regressão linear). Sendo assim, a utilização de elementos de criminalística poderá servir para ensinar regressão linear.

O método Monte Carlo tem sido bastante utilizado por peritos criminais quando de suas análises em sinistros de trânsito. Pois quando se utilizam do comprimento das marcas de frenagem para calcular velocidades, são obrigados a escolher um valor apropriado para o coeficiente de atrito e como não há um valor exato para essa grandeza física (variam pelas condições da pista, dos pneus, da temperatura entre outras) e ainda o próprio fato de medir uma marca de frenagem envolve um erro de medição. Sendo assim, auxiliados por um computador, os peritos criminais executam os cálculos milhares de vezes criando uma curva de densidade de probabilidade para descobrirem qual o valor mais provável da velocidade de um automóvel envolvido em um acidente e qual o grau de confiança desta medida. Sendo assim, os diferentes níveis de educação (desde o nível básico até o ensino superior) podem ser ensinados de forma contextualizada com a criminalística.

REFERÊNCIAS

- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. Tradução: Eva Nick e outros. Rio de Janeiro, RJ: Interamericana, 1980.
- BUNGE, Mario. **Teoria e Realidade**. São Paulo: Perspectiva, 1974.
- CHALMERS, A. F. **O que é ciência, afinal?**. Tradução: Raul Fiker. 1. ed. São Paulo: Brasiliense, 1993.
- DOCA, Ricardo Helou; BISCUOLA, Gualter José; Bôas, Newton Villas. **Tópicos de física: Mecânica e Hidrodinâmica**. 21. ed. vol. 1. São Paulo, SP: Editora Saraiva, 2012.
- DOREA, Luiz Eduardo; Quintela, Victor; Stumvoll, Victor Paulo. **Criminalística**. 3. ed. Campinas, SP: Millennium Editora, 2005.
- FEUERSTEIN, Reuven; FEUERSTEIN, Rafael S.; FALIK, Louis H. **Além da inteligência: aprendizagem mediada e a capacidade de mudança do cérebro**. Tradução: Aline Kaehler. 1. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2014.
- FREIRE, Paulo. **Pedagogia do oprimido**. 13. ed. Rio de Janeiro, RJ: Paz e Terra, 1983.
- HALLIDAY, R. W. **Fundamentos de Física**. 12. ed. vol. 1. Editora LTC, 2023.
- HEWITT, G. Paul. **Física Conceitual**. Tradução: Trieste Freire Ricci. 11. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2011.
- JÚNIOR, Francisco Ramalho; FERRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, P. A. de Toledo. **Os fundamentos da física: Mecânica**. 10. ed. São Paulo, SP: Editora Moderna 2009
- MEIER, Marcos; GARCIA, Sandra Regina Rezende. **Mediação da aprendizagem: contribuições de Feuerstein e de Vygotsky**. 7. ed. Curitiba, PR: Edição do Autor 2011.
- MOREIRA, Marcos Antônio. **Subsídios teóricos para o professor pesquisador em Ensino de Ciências: A teoria da Aprendizagem Significativa**. 1. ed. Porto Alegre, RS: UFRGS, 2009.
- NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de física básica: Mecânica**. 5. ed. vol. 1 São Paulo, SP: Blucher, 2013.
- POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o ensino de ciências: Do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. Tradução: Naila Freitas. 5. ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2009.

SERWAY, R. A. **Princípios de Física**. 5. ed. vol. 1. São Paulo: Editora Cengage Learning, 2014.

APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL

Casos de crimes no Ensino de Física: Explorando a Mediação e o caráter lúdico no Ensino de
Mecânica com atividades de perícia criminal

Meirere Lucio Pereira

Caruaru

2023

APRESENTAÇÃO

Caro (a) Professor (a)

O material aqui apresentado é um produto educacional elaborado dentro da dinâmica que compõe o curso a nível de mestrado ofertado pelo Programa Nacional de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF). Entendendo o problema da falta de interesse por grande parte dos alunos quando se trata de estudar física, então pensou-se na elaboração de aulas contendo elementos próprios da criminalística. Sendo assim, tomando proveito da fama e aceitação pública dos seriados de investigação e perícia criminal, foram elaborados crimes fictícios, cuja solução passaria pelas ferramentas aprendidas em sala de aula. A sequência didática criada introduziu 06 (seis) elementos de criminalística para auxiliar na apresentação da disciplina de física, notação científica, ordem de grandeza, cinemática e dinâmica.

Os elementos de criminalística utilizados nesta obra foram: designação do perito criminal (expert) adequado para os tipos de exames periciais, perícia contábil por meio de potências de base 10, perícia em cena de homicídio contendo vestígios materiais, balísticos e biológicos, perícia em vídeo para calcular a velocidade de um veículo, e perícia em local de acidente de trânsito.

Utilizando de muita criatividade e adaptando a realidade escolar de cada professor, é possível fazer uso deste produto educacional e obter grandes resultados. A partir das ideias apresentadas neste material é possível que outros professores se inspirem e criem suas próprias cenas fictícias de crime e/ou altere as cenas apresentadas nesta sequência didática.

O produto educacional foi sendo desenvolvido enquanto se ministravam as aulas para duas turmas do Ensino Fundamental 2. Mas nada impede seu uso em qualquer nível de ensino, incluindo o ensino superior.

PRIMEIRA INSERÇÃO DE CRIMINALÍSTICA – FUNÇÃO DO PERITO CRIMINAL

Esta primeira inserção foi realizada em 50 minutos, distribuída da seguinte maneira:

Quadro informando o recurso pedagógico utilizado

MOMENTO	CONTEÚDO	ELEMENTO DE CRIMINALÍSTICA	RECURSO PEDAGÓGICO	TEMPO DEDICADO
01	O QUE É CIÊNCIA?	APRESENTAR O TRABALHO DO PERITO CRIMINAL	SLIDE EXPLICANDO QUE A PERÍCIA CRIMINAL UTILIZA A PROVA CIENTÍFICA	~5 MIN
02	O QUE É O MÉTODO CIENTÍFICO?	APRESENTAR O TIPO DE PROVA UTILIZADA PELOS PERITOS CRIMINAIS	SLIDE COM ESQUEMA ACERCA DO MÉTODO CIENTÍFICO	~5MIN
03	O QUE É FÍSICA?	APRESENTAR AS DIFERENTES FORMAÇÕES DE UM PERITO CRIMINAL	SOLICITAR QUE ABRAM O LIVRO TEXTO CONTENDO DETALHES SOBRE AS ÁREAS DA FÍSICA	~5MIN
04	O QUE É FÍSICA?	GAMEFICAÇÃO: DESIGNAR O PERITO CRIMINAL CERTO PARA CADA CENA DE CRIME INDICADA	SLIDES COM IMAGENS DE CENAS DE CRIME FICTÍCIAS MAIS LIVRO TEXTO	~20MIN
05	EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO	RESOLVER EXERCÍCIOS DO LIVRO	LIVRO TEXTO	~15MIN

Utilizando slides para a apresentação da disciplina de física como uma ciência natural, inicia-se apresentando o trabalho do perito criminal EXPLICANDO que este utiliza-se da ciência como ferramenta de trabalho (slide 01). Em continuidade apresenta-se os tipos de provas admitidas pela legislação brasileira: prova testemunhal, prova documental e prova material (ou científica) (slide 01). Aproveitando o gancho dos tipos de provas, pode-se questionar quando uma prova é científica? E para ajudar a responder essa pergunta, pode ser apresentado um esquema resumido acerca do método científico (slide 02). Por fim, numa forma de gameificação, os alunos são convidados a assumirem o papel de chefes de uma unidade de perícia forense, cujo papel será designar o perito criminal mais adequado dentro de suas especialidades (mecânica, ondulatória, termodinâmica, eletromagnetismo, óptica, física de baixas temperaturas, física quântica, física do estado sólido, física da matéria condensada, física relativística, física atômica e nuclear e física de plasma). Os alunos poderão associar as cenas de crime, que lhe forem apresentadas, aos ramos da física de acordo com o que entenderem da leitura do livro texto Uma atividade muito interessante para ser realizada com os alunos distribuídos em grupos de até 05 (cinco) componentes. Seguem slides utilizados na aula.

Figura 1 – Ilustra o slide 01 pertencente a primeira inserção de criminalística



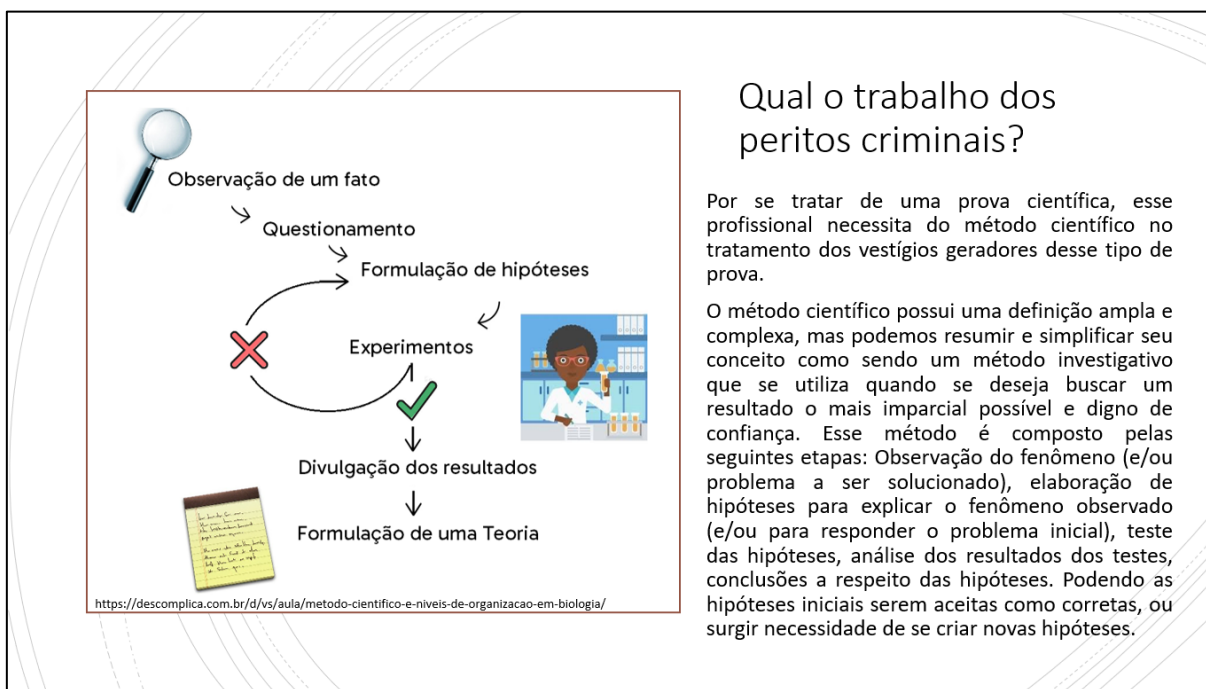
Qual o trabalho dos peritos criminais?

Os peritos criminais trabalham auxiliando a justiça no fornecimento de provas.

A legislação brasileira prevê 3 (três) tipos de prova: Prova documental, prova testemunhal e a prova material. Dentre essas, é a prova material com a qual o perito criminal trabalha.

A prova material é também denominada prova técnica ou prova objetiva. Ela é composta pelos vestígios encontrados na cena do crime. Por ser objetiva esse tipo de prova é concreto e não admite subjetividade, ou seja, quando analisada por diferentes peritos devem apresentar resultados igualmente claros e precisos. Sua análise é reprodutível. Assim, dizemos que essa **é uma prova científica.**

Figura 2 – Ilustra o slide 02 pertencente a primeira inserção de criminalística



Fonte: O autor.

Figura 3 – Ilustra o slide 03 pertencente a primeira inserção de criminalística



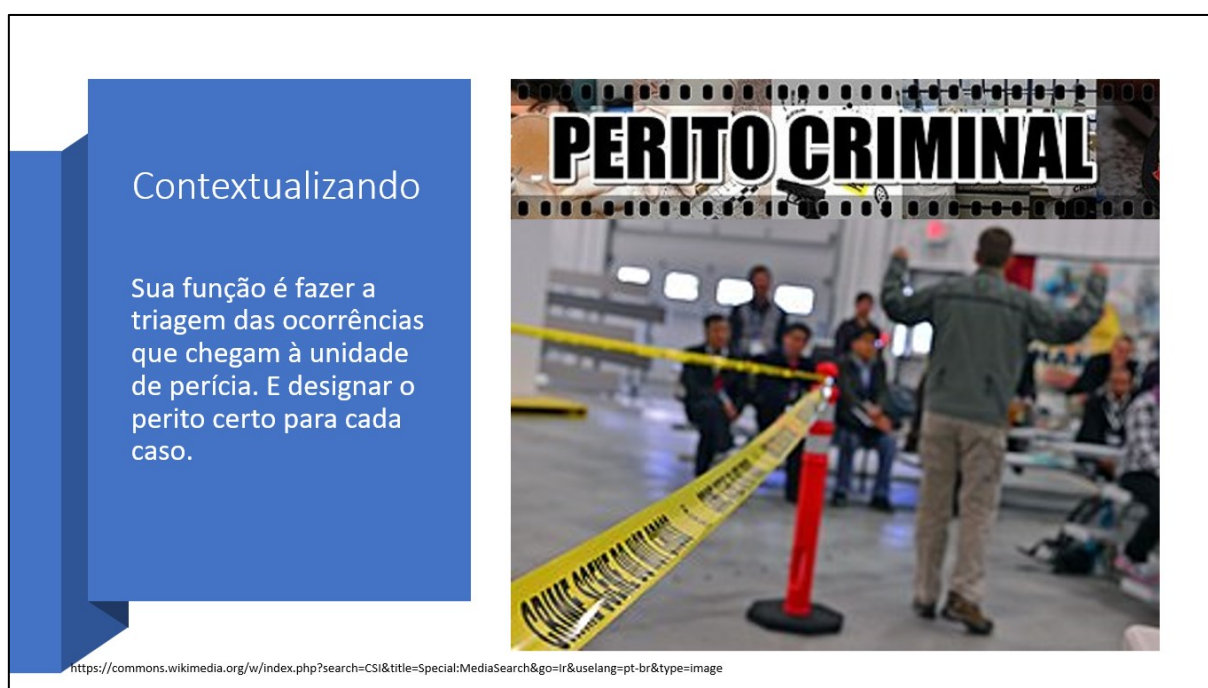
Fonte: O autor.

Figura 4 – Ilustra o slide 04 pertencente a primeira inserção de criminalística



Fonte: O autor.

Figura 5 – Ilustra o slide 05 pertencente a primeira inserção de criminalística



Fonte: O autor.

Figura 6 – Ilustra o slide 06 pertencente a primeira inserção de criminalística



Fonte: O autor.

Figura 7 – Ilustra o slide 07 pertencente a primeira inserção de criminalística



Fonte: O autor.

Figura 8 – Ilustra o slide 08 pertencente a primeira inserção de criminalística



<https://www.tamoiisnews.com.br/noticias/cidade/policia-federal-desarticula-quadilha-que-transportava-cocaina-para-o-exterior-apreendida-no-porto-de-sao-sebastiao-em-outubro-de-2020/>

3ª Cena de Crime

- Toneladas de substância de coloração branca foram encontradas em casa de professor de Geografia.
- Faz-se necessário confirmar a natureza dessa substância. O exame a ser realizado é de Espectroscopia de Infravermelho

Fonte: O autor.

Figura 9 – Ilustra o slide 09 pertencente a primeira inserção de criminalística



<https://olhardigital.com.br/2016/04/18/pro/criopreservacao-veja-quanto-custa-manter-um-corpo-congelado/>

4ª Cena de Crime

- Pessoas foram encontradas em câmaras de super congelamento. Faz-se necessário descongelar sem matar as vítimas. E ainda descobrir quem é o autor dessa horrenda cena de crime.

Fonte: O autor.

Figura 10 – Ilustra o slide 10 pertencente a primeira inserção de criminalística



<https://olhardigital.com.br/2019/09/24/noticias/entenda-o-que-sao-computadores-quanticos-e-como-eles-funcionam/>

5ª Cena de Crime

- Um computador capaz de decifrar senhas, onde existem bilhões de permutações, foi encontrado. Suspeita-se que esse tenha sido usado para invadir o sistema do Palácio da Alvorada.

Fonte: O autor.

Figura 11 – Ilustra o slide 11 pertencente a primeira inserção de criminalística



<https://www.cnnbrasil.com.br/business/primeira-usina-nuclear-do-brasil-angra-1-so-tem-operacoes-garantidas-ate-2024/>

6ª Cena de Crime

Acidente em usina localizada em Angra dos Reis

Fonte: O autor.

Figura 12 – Ilustra o slide 12 pertencente a primeira inserção de criminalística

7ª Cena de Crime

Os EUA enviou um vírus para danificar um satélite de comunicação chinês. Alterando a correção relativística do tempo realizado pelo equipamento chinês.

Fonte: O autor.

Figura 13 – Ilustra o slide 13 pertencente a primeira inserção de criminalística

8ª Cena de Crime

Um assassino se utilizou de uma arma atípica para matar seu algoz. Ele disparou gases carregados positivamente contra o veículo da vítima.

Fonte: O autor.

Figura 14 – Ilustra o slide 14 pertencente a primeira inserção de criminalística



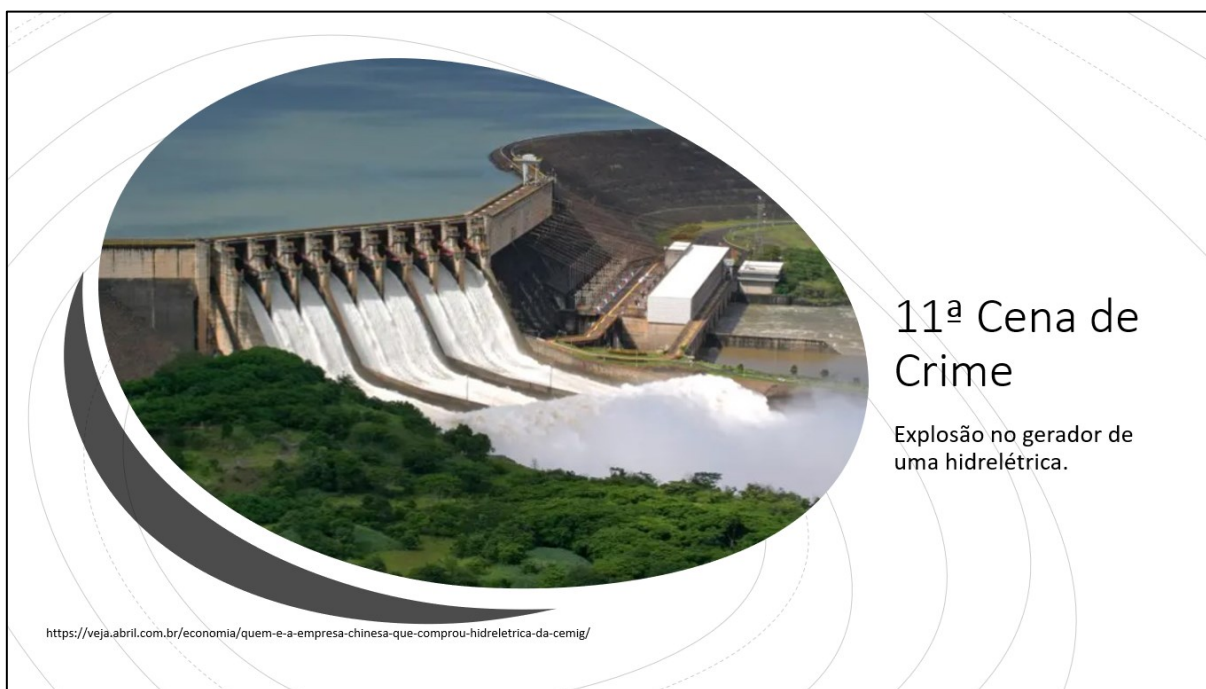
Fonte: O autor.

Figura 15 – Ilustra o slide 15 pertencente a primeira inserção de criminalística



Fonte: O autor.

Figura 16 – Ilustra o slide 16 pertencente a primeira inserção de criminalística



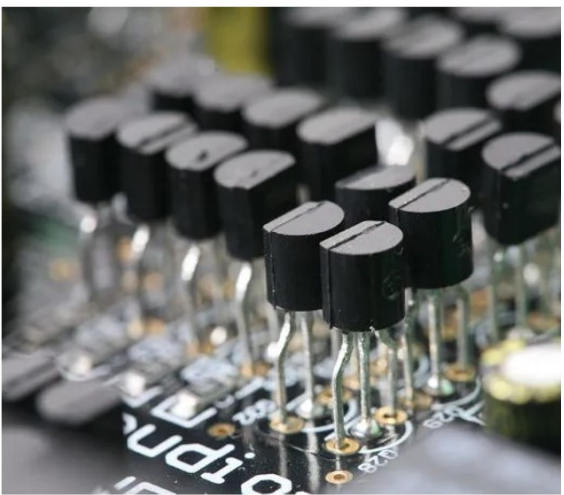
Fonte: O autor.

Figura 17 – Ilustra o slide 17 pertencente a primeira inserção de criminalística



Fonte: O autor.

Figura 18 – Ilustra o slide 18 pertencente a primeira inserção de criminalística



13ª Cena de Crime

Transistores falsificados estão sendo vendidos como originais. Periciar e comprovar que se tratam de produtos falsos.

Fonte: O autor.

Os alunos receberam uma folha contendo a ordem das cenas de crime e um espaço para escreverem qual o ramo da física que melhor investigaria referida cena de crime. Vide figura 19

Figura 19 - Ficha questionário para ser entregue aos alunos

Membros da equipe: _____

FÍSICA CLÁSSICA	FÍSICA MODERNA
Mecânica	Física baixas temperaturas
Ondulatória	Quântica
Termodinâmica	Estado Sólido
Eletromagnetismo	Matéria Condensada
Óptica	Relatividade
	Física atômica e nuclear
	Física de Plasma

1ª Cena: _____
 2ª Cena: _____
 3ª Cena: _____
 4ª Cena: _____
 5ª Cena: _____

Fonte: O autor.

Figura 20 – Momento 05: Exercício aplicado com os alunos

Exercício

1. Cite as áreas que compõem a Física Clássica e a Física Moderna.

2. O que é o método científico?

3. Aponte algumas aplicações tecnológicas do dia a dia cuja base científica é a Física Clássica, e outras cuja base é a Física Moderna.

4. Qual é o objetivo de estudo da Física Quântica?

Fonte: O autor:

SEGUNDA INSERÇÃO DE CRIMINALÍSTICA – CENA DE HOMICÍDIO

A inserção de elementos de criminalística nº2 foi projetada da seguinte maneira:

1. O professor deve chegar na sala de aula antes dos alunos para montar uma cena de homicídio:
 - a) Colar figura representando um arrombamento na maçaneta da porta, vide Figura 21;
 - b) Colar figura de uma pegada (com indicação de 26,3 cm de comprimento) por trás de uma cadeira de final de fila, próxima a uma janela para indicar invasão por escalada pela janela, vide Figura 22;
 - c) Colar uma figura de janela quebrada em uma das janelas da sala, vide Figura 23;
 - d) Colocar no solo sob a janela “quebrada” uma figura de fragmentos de vidro, vide Figura 24;
 - e) Colar, no modo pôster, uma silhueta de cadáver no chão da sala, vide Figura 25;
 - f) Colocar 01 (uma) munição de manejo sob o poster de papel da figura do cadáver (comprar na internet), vide Figura 26;
 - g) Colocar uma impressão contendo o documento de identificação da vítima em seu bolso, vide Figura 27.

- h) Escrever no quadro da sala o horário de início e fim da perícia, vide Figura 28.
- i) Elaborar questionário com nome da vítima, tipo de arma (branca ou de fogo), se de fogo, qual o calibre? Qual a dinâmica, houve arrombamento ou escalada? Vide Figura 29.
- j) Colar no quadro a foto de três suspeitos, vide Figura 30 até a Figura 32.

Os alunos podem ser divididos em grupos, que periciarão a cena de homicídio separadamente. Enquanto um grupo examina a cena, os demais grupos devem ficar lendo o livro texto. Entende-se que um tempo entre 3 e 5 minutos para cada grupo é suficiente.

- 2. O professor deve ajudar os grupos a encontrarem a figura da pegada.
- 3. Os alunos deverão utilizar uma fórmula fictícia do fabricante de sapato (Figura 33) para descobrir o tamanho do sapato do algoz, e comparar com os suspeitos, vide Figura 30 até a Figura 32.
- 4. O professor poderá tomar proveito da empolgação dos alunos para ensiná-los a realizar as conversões de unidades de comprimento contidas na fórmula do fabricante de sapato. E aproveitar o momento de resolução do questionário (Figura 29) para ensinar operações envolvendo a grandeza tempo, pois os alunos terão que subtrair o instante final da perícia pelo instante inicial para descobrir qual o intervalo de tempo dos exames periciais, vide Figura 34.
- 5. Por fim, com intenção de fixar o conteúdo, o professor deve ofertar uma lista de exercícios envolvendo transformações de unidades de comprimento e unidades de tempo, assim como operações envolvendo essas duas grandezas.

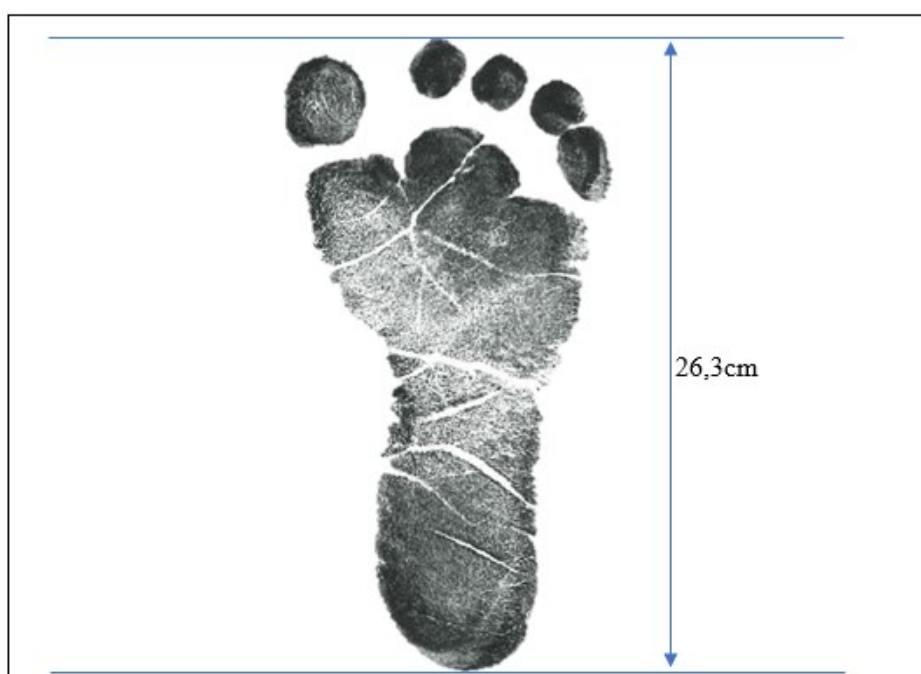
Segue a seguir imagens para serem impressas e utilizadas segundo orientações acima:

Figura 21 - Figura de arrombamento colada junto à maçaneta da porta da sala de aula



Fonte: O autor.

Figura 22 - Figura de pegada



Fonte: O autor.

Figura 23 - Figura de Janela quebrada



Fonte: Janela quebrada. Fonte: https://br.freepik.com/fotos-premium/janela-quebrada_26507196.htm#query=janela%20quebrada&position=11&from_view=keyword&track=ais

Figura 24 – Figura contendo cacos de vidro para ilustrar a quebra da janela da sala de aula (“cena” de crime).



Fonte: <http://www.oportaldasmaravilhas.com.br/blog/faca-voce-mesmo/vaso-craquelado/>

Figura 25 – Figura de cadáver para ser impresso em modo pôster.



Fonte: https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/politica/2018/03/13/interna_politica,665894/senado-aprova-aumento-de-pena-para-feminicidio-na-presenca-de-familiar.shtml

Figura 26 – Munição de manejo a venda na internet



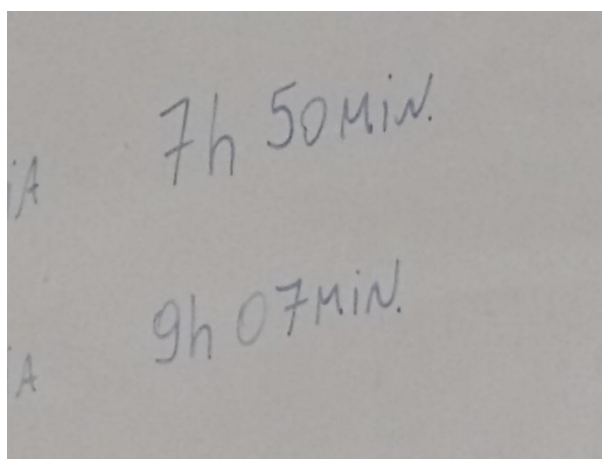
Fonte: <https://beartac.com.br/snapcaps-treina-9mm-luger-10un-shotgun-2/>

Figura 27 – Figura ilustrativa do documento de identificação da vítima.



Fonte: Adaptado de <https://noticiaexata.com.br/geral/mais-de-2-mil-documentos-de-identidade-na-versao-cartao-foram-emitados-em-mt-desde-junho/>

Figura 28 – Foto retirada do quadro quando do momento da aula.



Fonte: O autor.

Figura 29 – Figura de um inquérito policial fictício para trazer ludicidade para a aula.



DOCUMENTO

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA JUSTIÇA
DEPARTAMENTO DE POLÍCIA FEDERAL
INQUÉRITO POLICIAL

SR/DPF/PE
 SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE PERNAMBUCO

IPL Nº 0215/2023 TOMBO 

INCIDÊNCIA PENAL: art. 121 do Código Penal **648986548**

Senhor(a) Perito(a) Criminal, para um melhor entendimento de como o fato ocorreu, necessitamos das respostas para os seguintes itens (gentileza, justifique todas as respostas para evitar que os advogados consigam livrar o culpado das consequências de seus atos):

- 1) Qual o horário do início da perícia? _____
- 2) Qual o horário do fim da perícia? _____
- 3) Qual o intervalo de tempo dos exames periciais? _____
- 4) Qual a natureza jurídica do fato (acidente, suicídio ou homicídio)? _____
- 5) Qual o nome da vítima? _____
- 6) Qual o tipo de arma utilizada na cena de morte (arma branca ou arma de fogo)? _____
- 7) Se arma de fogo, qual o calibre? _____
- 8) Qual a dinâmica do fato? (como ocorreu a morte? Houve invasão do local?) _____

Certo de poder contar com seu auxílio,
 Atenciosamente, Promotor de Justiça Frederico Mendes

Nomes dos componentes da Equipe Pericial:

Figura 30 – Suspeito nº 01.



SUSPEITO Nº 1

Nome: Ateniense Rodrigues Pereira;

Idade: 45 anos;

Profissão: Professor de história desempregado;

Calçado: 41

Fonte: O autor.

Figura 31 – Suspeito nº 02.



SUSPEITO Nº 2

Nome: Douglas Mendonça;

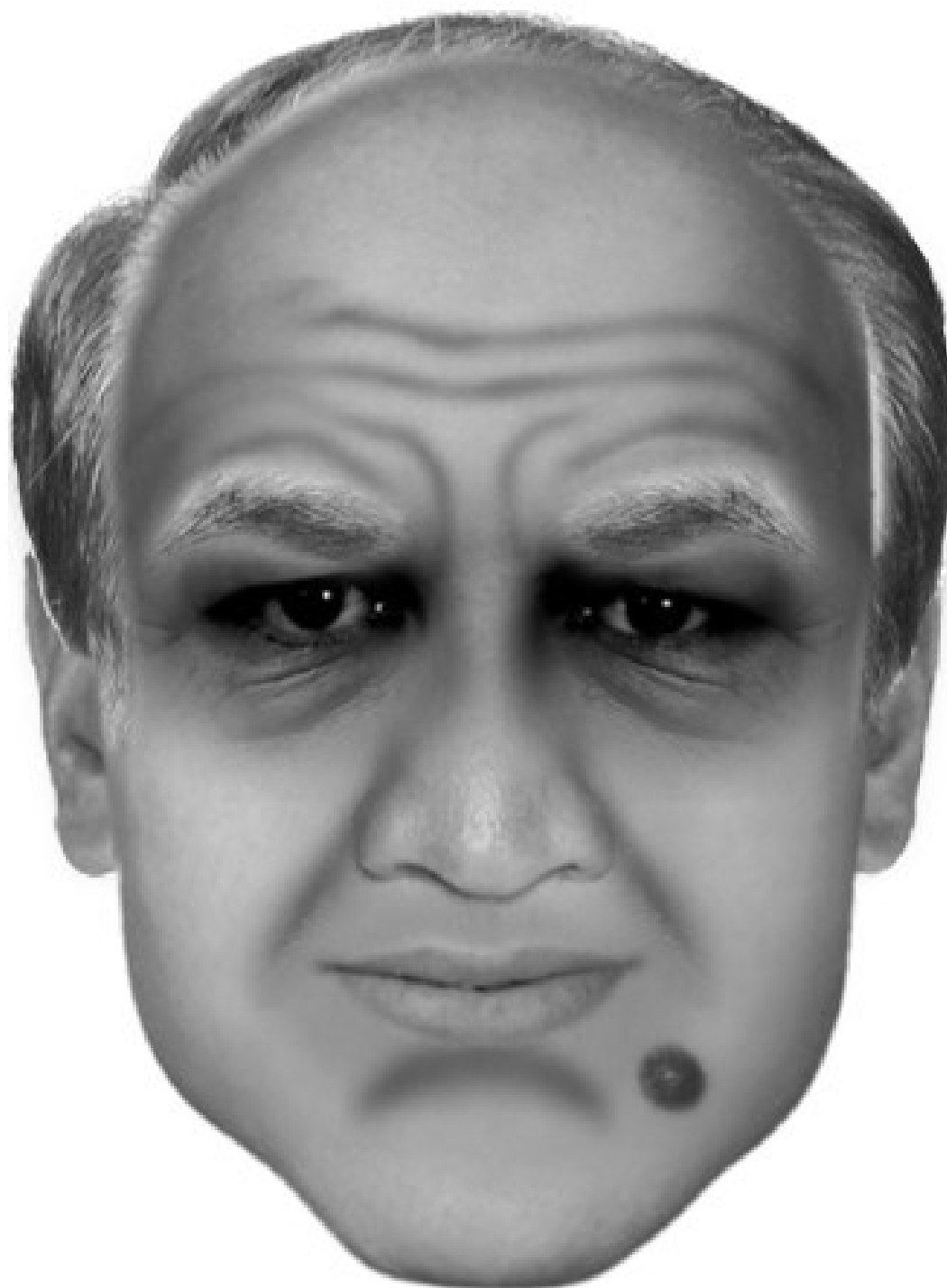
Idade: 30 anos;

Profissão: Entregador;

Calçado: 42

Fonte: O autor.

Figura 32 – Suspeito nº 03.



SUSPEITO Nº 3

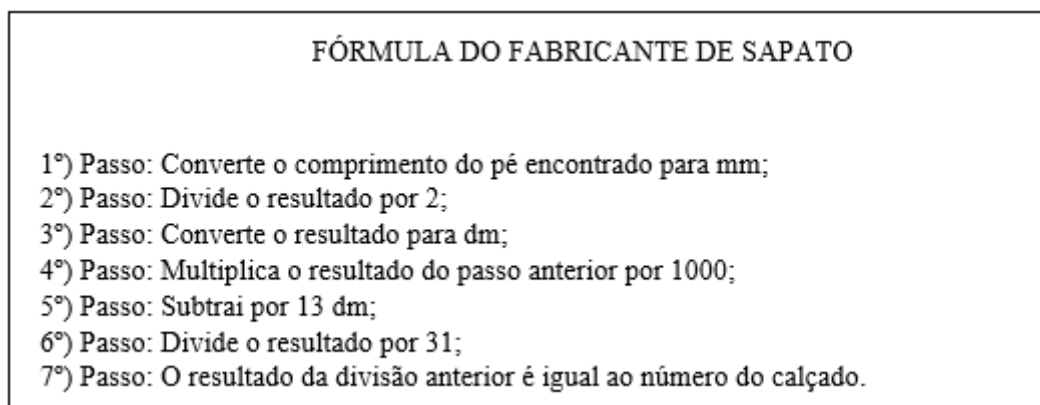
Nome: Seu Milton Rocha da Silva;

Idade: 72 anos;

Profissão: Aposentado;

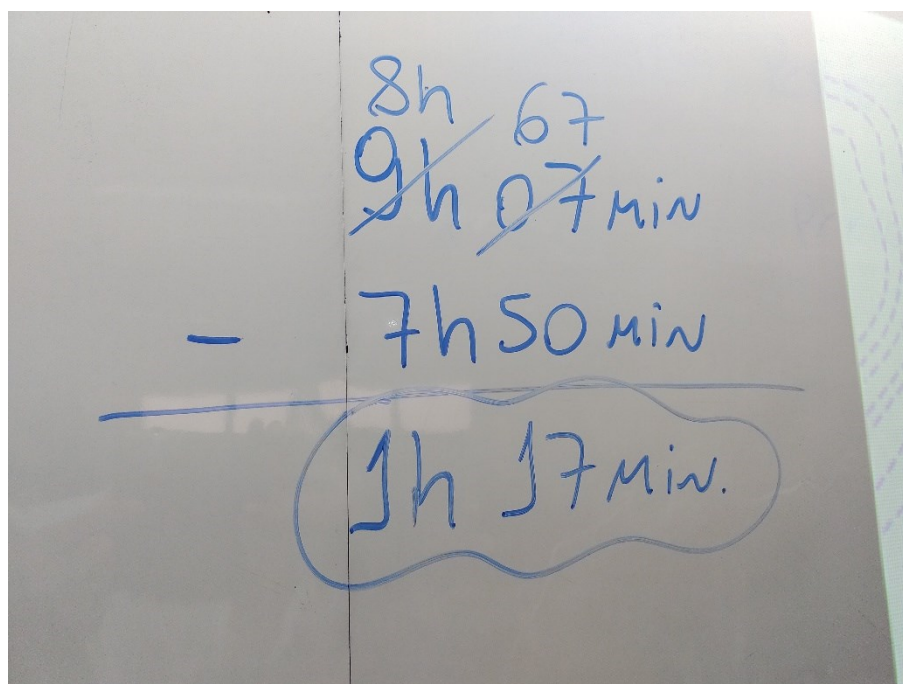
Calçado: 40

Figura 33 – Fórmula fictícia do fabricante de sapato.



Fonte – O autor.

Figura 34 – Figura do cálculo do intervalo de tempo dos exames periciais.



Fonte: O autor.

TERCEIRA INSERÇÃO DE CRIMINALÍSTICA – CRIME CONTÁBIL

A terceira inserção de elementos de criminalística foi realizada dentro do conteúdo de Notação Científica e Ordem de Grandeza. Para trabalhar estes conteúdos, foi utilizado o contexto de um crime contábil. E um registro contábil contendo cifras bilionárias foi entregue para cada aluno individualmente. A missão de cada aluno era calcular se o saldo, após as movimentações

financeiras, era positivo, negativo e qual o seu valor. Para isso os alunos tinham 5 minutos. A **intenção** era mostrar aos alunos que a notação científica é para facilitar o trabalho. Pois a experiência de trabalho com adolescentes tem indicado um receio de utilizar a nova ferramenta (o medo do novo), portanto, preferem trabalhar com os números cheios de zeros. Vide abaixo, Figura 35, que mostra a ficha entregue aos alunos.

Figura 35 - Mostra registro contábil fictício entregue aos alunos.

Livro Caixa da empresa "Milionária GoogoLLLL"

Nº da ordem	Data	Tipo de doc	Descrição	Entrada	Saída	Valor em Notação Científica
01	02/05/2021	Recibo	Vendas de assinaturas	500000000000		5×10^{-14}
02	05/05/2021	Nota Fiscal	Compra de carros		1000000000	1×10^9
03	07/05/2021	Nota Fiscal	Compra de HD's		2000000000	2×10^9
04	10/05/2021	Contracheques	Pagamento de Salários		200000000000	2×10^{11}
05	11/05/2021	Recibo	Abertura de capital	1000000000000		1×10^{12}
06	13/05/2021	Nota Fiscal	Impostos		300000000000	3×10^{10}
07	14/05/2021	Recibo	Venda de dados dos clientes	3000000000000		3×10^{12}
08	17/05/2021	Nota Fiscal	Compra de Satélite		500000000000	5×10^{10}
09	20/05/2021	Nota Fiscal	Material de escritório		5000000000	5×10^9
10	21/05/2021	Nota Fiscal	Devolução de vendas		4000000000	4×10^9
11	22/05/2021	Recibo	Desconto em compras à vista	10% de 20000000000		
12	24/05/2021	Nota Fiscal	Aluguéis		20000000000	2×10^9

Fonte: O autor.

Muito provavelmente os alunos irão apresentar dificuldade em utilizar as potências com base 10, e preferirão utilizar os números com todos os zeros. E é muito provável que eles não obtenham êxito na resolução do problema no tempo proposto (tempo de 5 minutos). Após este primeiro momento o professor poderá resolver no quadro branco, utilizando potências de base 10, e demonstrar a utilidade e facilidade que a nova ferramenta pode fornecer.

Por fim, após a atividade explanada nos parágrafos anteriores, e com os alunos tendo entendido a importância de expressar grandezas gigantes ou minúsculas com a notação científica, o professor pode, aproveitando o momento de significância e aceitação, apresentar no quadro branco a definição de notação científica e a definição de ordem de grandeza.

É importante realizar os exercícios de fixação.

QUARTA INSERÇÃO DE CRIMINALÍSTICA – REPRODUÇÃO SIMULADA

Muitos professores quando estão ensinando cinemática acabam não levando em conta que os muitos símbolos e diversas equações podem assustar os alunos. E começar a ensinar por este caminho pode não ser tão razoável. O professor tem que considerar que ele está familiarizado com os símbolos e equações por estar a tanto tempo em contato com estes. Uma analogia possível para tentar mostrar o que o aluno vê, é a seguinte:

$$\sigma = \sigma_0 + n_0\vartheta + \frac{1}{2}\alpha\vartheta^2$$

$$n = n_0 + \alpha\vartheta$$

$$n^2 = n_0^2 + 2\alpha\delta\sigma$$

Possivelmente um professor de física entenderá que as equações acima se referem as equações básicas do MUV utilizando letras gregas. Talvez, logo de imediato, o professor tenha se sentido desconfortável com a equações acima. Portanto, antes de afugentar os alunos, seria interessante atraí-los mais para perto mostrando o quão útil pode ser os conhecimentos advindos da cinemática.

Sendo assim, foi criada uma sequência didática para mostrar aos alunos que estudar cinemática traz uma aprendizagem fascinante, e que desafia o senso comum. Os alunos são divididos em grupos e precisarão avaliar o depoimento de algumas testemunhas oculares de fatos criminosos. Esta atividade é similar a reprodução simulada dos fatos, em que os peritos criminais retornam a cena do crime e verificam a viabilidade dos depoimentos prestados à polícia.

O primeiro fato narrado foi:

Caso 1: Um homem conta que quando estava sentado na frente de sua casa, em um dia sem vento, viu um cadáver sendo deixado cair de um avião de pequeno, que voava baixo, de pequeno porte, de cor azul e numeração PS-XZE que passava defronte a sua casa.

O professor desenha uma parábola e conta que essa foi a trajetória contada pelo morador à polícia. A versão é coerente com a física?

O segundo fato narrado foi:

Caso 2: Um motociclista presenciou a ação de um grupo armado descendo de um veículo de cor preta e placa ABC 1234. Os homens do grupo dispararam suas armas de fogo a erro e aleatoriamente.

O motociclista conta que estava montado numa motocicleta 600 cilindradas parada de frente para o shopping da cidade esperando a namorada largar do trabalho. Quando de repente o automóvel preto para e descem do veículo 05 (cinco) homens armados e começam atirar para todos os lados. Ele arranca com sua motocicleta pela avenida e quando se encontrava em fuga acerca de dezenas de metros percebe um pontinho preto sobrevoando próximo de sua face, pensa que é uma mosca e agarra-a com uma das mãos. Ao abrir a mão, percebe que se tratava de um projétil de arma de fogo. A versão é coerente com a física?

Modelo de resposta esperada pelo professor: Sim, pois, mesmo sendo pouco provável, é possível que a velocidade do projétil disparado pela arma de fogo esteja com o mesmo **módulo**, mesma **direção** e mesmo **sentido** da motocicleta, portanto em **repouso** em relação a ela.

O terceiro fato narrado foi:

Caso 3: Um homem conta ter visto um veículo passar próximo ao muro de um presídio e ter arremessado um malote por cima do muro. O homem conta a polícia que viu claramente um veículo com as rodas azuis marcadas por um pontinho preto em sua extremidade.

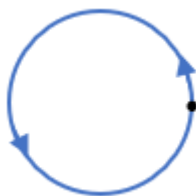
Figura 36



Fonte: retirado de Tópicos de física: Mecânica e Hidrodinâmica. 21. ed. vol. 1. São Paulo, SP: Editora Saraiva, 2012, p. 28).

O homem ao contar seu testemunho informa todo empolgado que viu claramente o pontinho preto fazendo a trajetória da figura 37:

Figura 37



Fonte: O autor.

A versão é coerente com a física?

Modelo de resposta esperada pelo professor: Não. Pois, a trajetória vista por alguém, num referencial no solo, perceberá o pontinho preto deslocando-se numa trajetória cicloide, vide figura 38.

Figura 38 - Cicloide

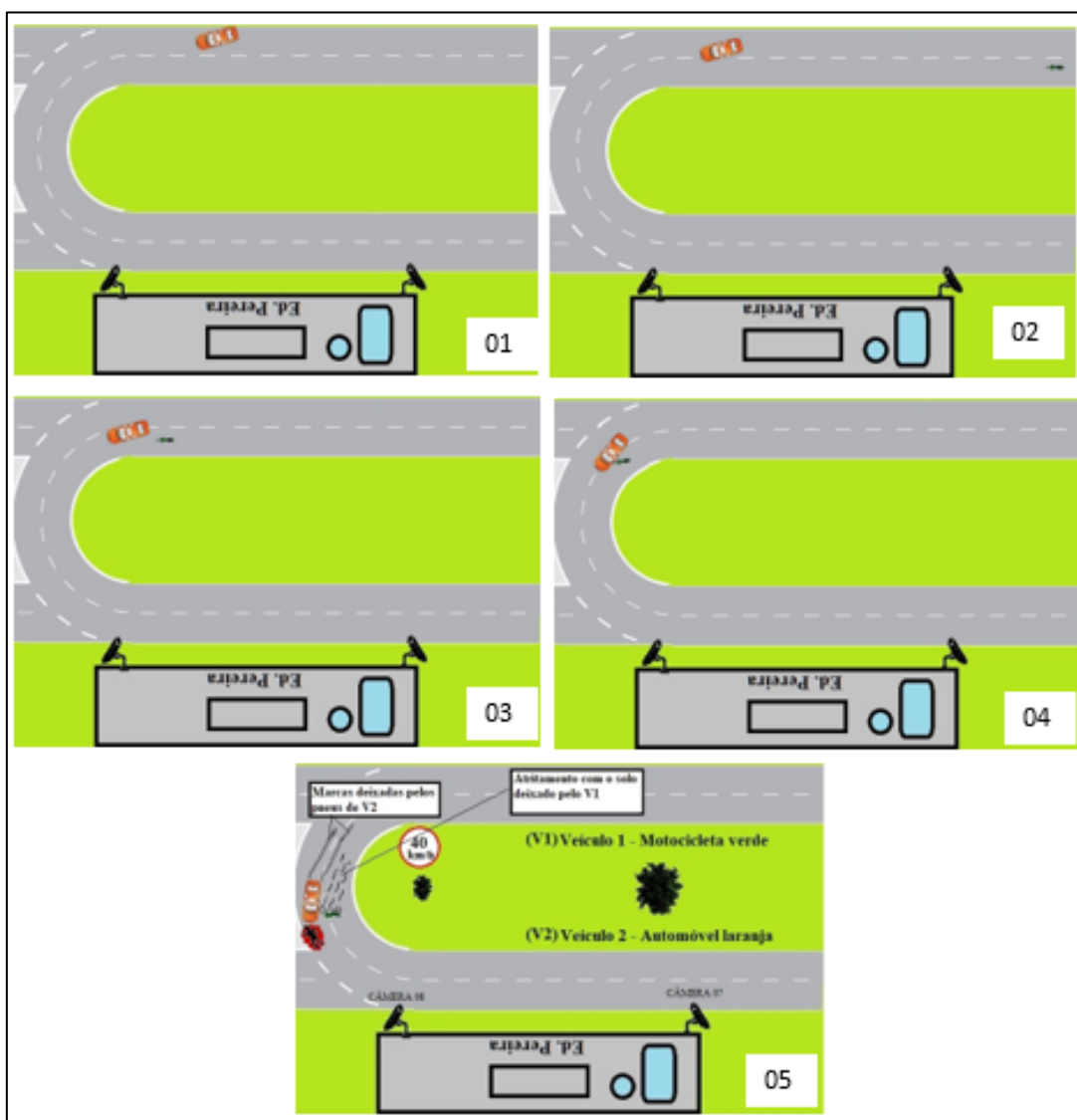


Fonte - retirado de Tópicos de física: Mecânica e Hidrodinâmica. 21. ed. vol. 1. São Paulo, SP: Editora Saraiva, 2012, p. 28).

QUINTA INSERÇÃO DE CRIMINALÍSTICA – VELOCIDADE CALCULADA POR VÍDEO

Para elas foi utilizado um caso criminal de acidente de trânsito onde os alunos precisariam calcular a velocidade de um veículo por meio das imagens registradas por um edifício que ladeava o local do acidente. Observe a seguir as imagens que compõem a animação, vide Figura 39.

Figura 39 – Sequência de imagens que formam a animação do acidente.



Fonte: O autor.

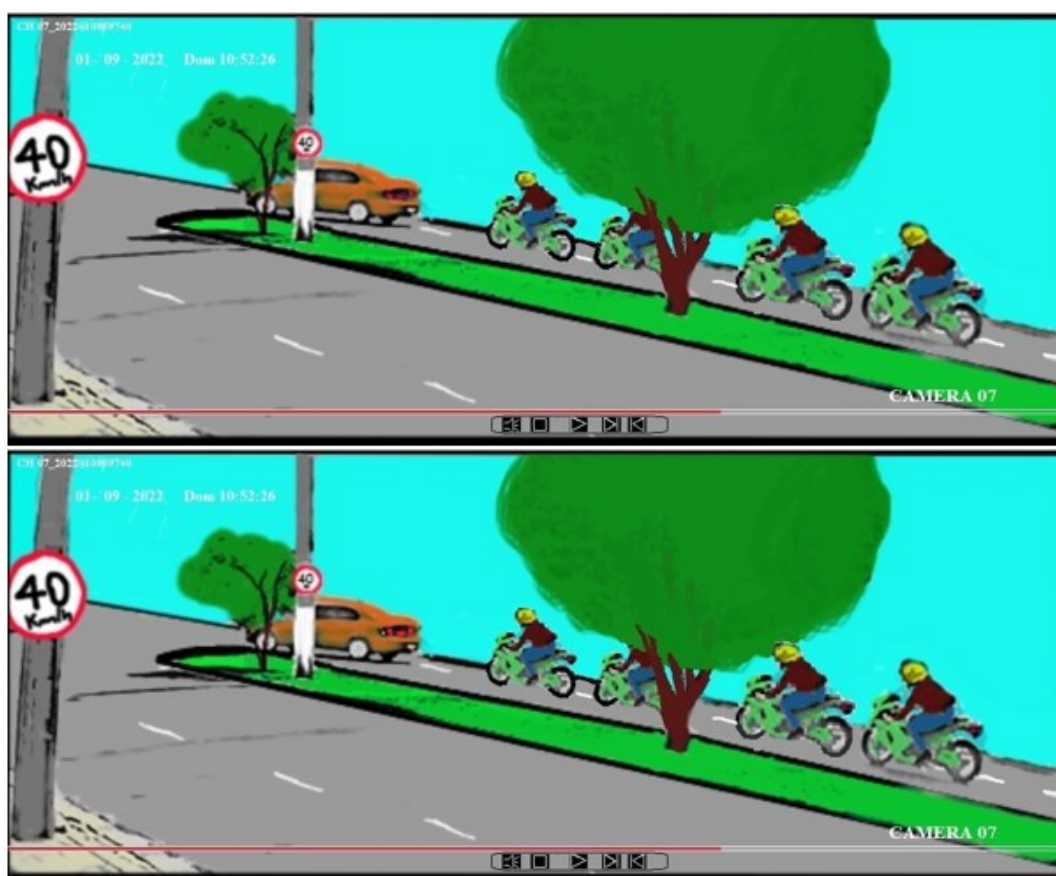
O professor mediador para simular a reprodução de um vídeo pode projetar no quadro branco as cinco imagens, que compõem a F, separadamente e em tela cheia, e apertar no teclado do computador a tecla de seta para direita sucessivas vezes para ir caminhando entre as imagens.

Para isso terá que colocar as cinco imagens em uma mesma pasta do computador e renomear cada uma de modo que fiquem na ordem adequada (uma sugestão é frame 1, frame 2, frame 3, frame 4 e frame 5). E a partir daí deixa livre para os alunos pensarem como resolver o problema.

O caminho para a solução do problema acima (atribuir a culpa do acidente a algum dos dois automóveis) deve ser encontrado pelos alunos. O professor mediador pode ir fazendo perguntas para conduzir o processo de raciocínio da turma. Espera-se que os alunos perguntem se podem olhar as câmeras do Edifício Pereira;

E aí o professor mediador irá fornecer as seguintes imagens (Figura 40 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**), que parecem idênticas, mas numa o carro está com a seta apagada e na outra a luz de seta aparece acesa (para dar a ideia de que o condutor do automóvel acionou a chave seletora de seta). O professor pode provocar, a atenção dos alunos, perguntando se há diferença entre as imagens. Sempre puxando a atenção da turma para o problema.

Figura 40 – Frame a frame sobrepostos.



Fonte: O autor.

Nesse momento o professor mediador explica aos alunos que as 04 (quatro) imagens da motocicleta, que aparecem na figura 40, são uma sobreposição de frames consecutivos (figura

estroboscópica) e servem para verificar a distância percorrida pela motocicleta no intervalo de tempo entre dois frames.

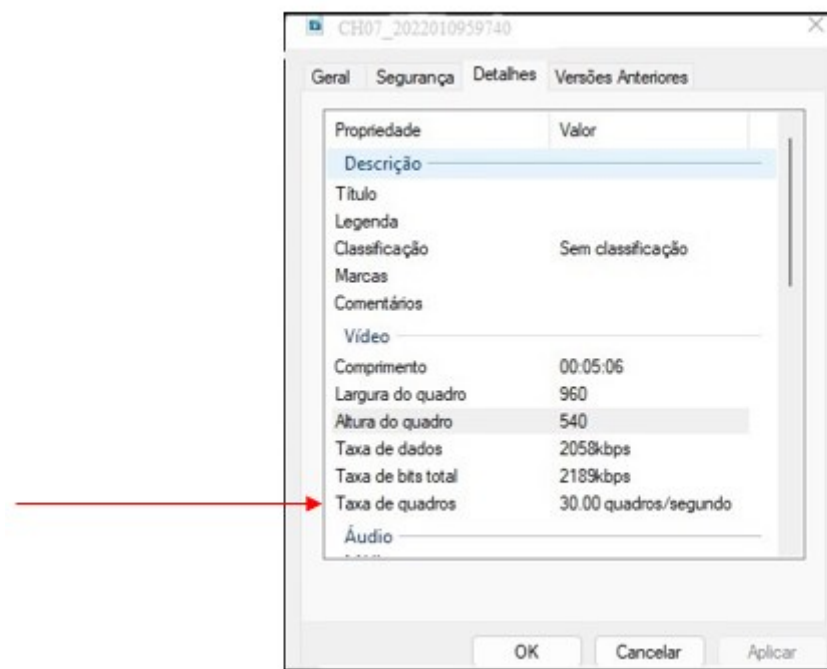
Como saber qual a distância percorrida pela motocicleta nesse intervalo de tempo? Se os alunos falarem sobre medir a distância no local, é importante o mediador explicar que a lente esférica do equipamento que registra a filmagem provoca distorções nos comprimentos, e associado a isso existe o erro de perspectiva. A melhor solução para a distância percorrida é utilizar o próprio comprimento da motocicleta, pois ela percorre mais que o seu comprimento entre cada passagem de frame. Onde encontrar as dimensões da motocicleta? No manual do fabricante! Neste momento o professor mediador irá fornecer a Figura 41.

Figura 41 - Ilustração de um manual de motocicleta.

Fonte: Autor

Depois o professor tenta buscar dos alunos como podem saber o tempo percorrido pela motocicleta entre dois frames consecutivos. Deve-se dar um tempo para que os alunos respondam. Caso não consigam chegar à solução, o professor indica as propriedades do vídeo. E mostra a figura 42 a seguir:

Figura 42 – Detalhes do vídeo contendo informação da taxa de quadros.



Fonte: Autor

Com a informação de 30 quadros por segundo, é fácil explicar para os alunos que o intervalo de tempo entre quadros é de 1/30 do segundo.

Por fim, o mediador calcula com a turma a velocidade da motocicleta utilizando a fórmula para velocidade instantânea:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

v - velocidade instantânea

É um momento de muito interesse para os alunos (pois descobrirão o quão rápido a moto se movia), portanto, é uma excelente oportunidade para apresentar a definição de velocidade média para os alunos. O mediador deve explicar que a velocidade em um dado instante (velocidade instantânea) pode ser encontrada a partir do cálculo de velocidade média para um intervalo de tempo bem próximo de zero. Sendo assim, como vamos utilizar 1/30 do segundo (aproximadamente 0,03 segundos), podemos considerar que o valor da velocidade média calculado se aproximou bastante da velocidade instantânea da motocicleta.

$$v_{méd} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s - s_0}{t - t_0}$$

v - velocidade média

Calculando a velocidade da motocicleta na atividade temos:

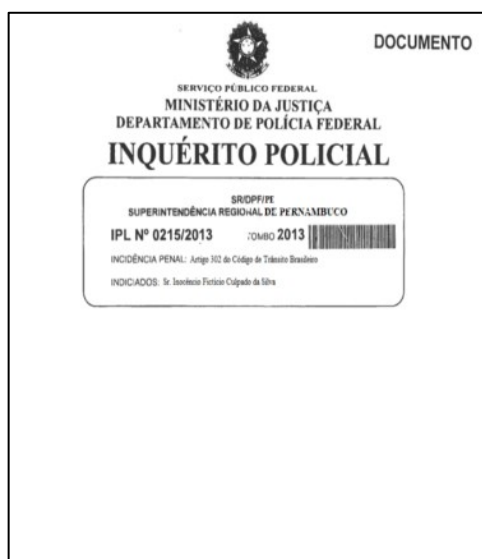
$$v_{méd} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\text{distância entre eixos}}{\text{tempo entre frames}} = \frac{1,35m}{\frac{1}{30}s} = 1,35m \cdot \frac{30}{1s} = \frac{40,5m}{s} = 145,8 \text{ km/h}$$

Como a motocicleta percorre mais do que sua distância entre eixos, pode-se afirmar que sua velocidade era não inferior a 145,8 km/h. Muito superior ao limite máximo permitido na via, e que estava indicado na placa de trânsito como sendo de 40 km/h.

SEXTA INSERÇÃO DE CRIMINALÍSTICA – CÁLCULO DE VELOCIDADE EM LOCAL DE ACIDENTE

O sexto momento em que foi inserido elementos de criminalística foi um caso de acidente de trânsito. Onde os alunos foram agrupados em até cinco alunos. Cada grupo recebeu um documento de três páginas composto por capa, página contendo uma explanação sobre as equações a serem utilizadas no exercício e página contendo o croqui do acidente. Vide Figura 43 contendo a capa, Figura 44 contendo as equações e Figura 45 contendo o croqui ilustrativo.

Figura 43 – Capa de inquérito policial.



Fonte: O autor.

Figura 44 - Página 02 do documento entregue aos grupos.

Exame na motocicleta



Distância entre os eixos da motocicleta antes da colisão



Distância entre os eixos da motocicleta após da colisão

Pelo encurtamento da distância entre os eixos de uma motocicleta pode-se calcular, com a equação abaixo, a velocidade relativa de colisão:

$$V_c = \frac{8}{5}x + 12$$

Equação de Lynn B. Fricke

$V_c \rightarrow$ Velocidade de colisão, em km/h

$x \rightarrow$ deformação, diminuição da distância entre eixos, medida em centímetros

Pelo comprimento da marca de frenagem é possível calcular a velocidade imediatamente anterior ao acionamento do freio (Velocidade inicial - v_0):

Energia Cinética no momento da colisão

$$E_{c_{colisão}} = \frac{m \cdot v_c^2}{2}$$

$V_c \rightarrow$ Velocidade de colisão, em m/s

$m \rightarrow$ massa do veículo+piloto

Energia consumida pelo atrito com o solo

$$E_{dissipada} = \mu \cdot m \cdot g \cdot d$$

$m \rightarrow$ massa do veículo+piloto

$\mu \rightarrow$ Coeficiente de atrito entre o pneu e o solo [grandeza adimensional]

$d \rightarrow$ comprimento da marca de frenagem medida no local

$g \rightarrow$ aceleração da gravidade [$g=10\text{m/s}^2$]

Energia cinética antes do acionamento do freio

$$E_{c_{inicial}} = E_{c_{colisão}} + E_{dissipada}$$

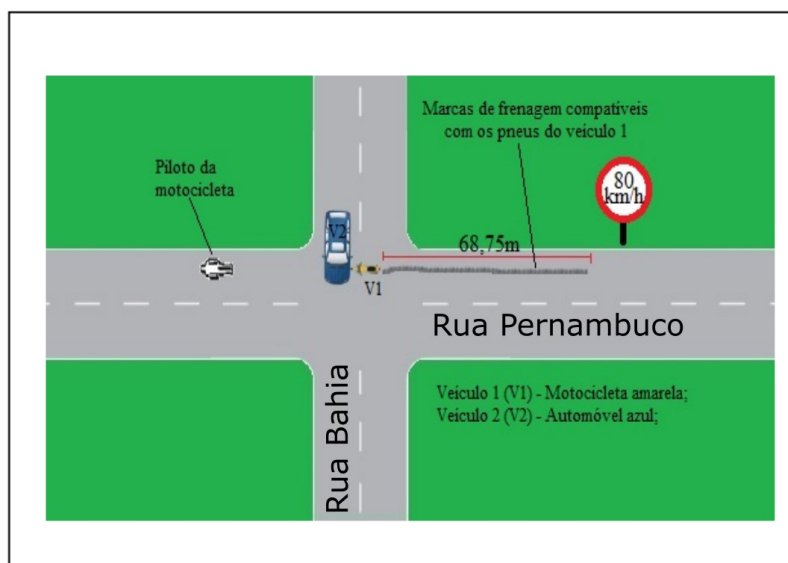
$$E_{c_{inicial}} = \frac{m \cdot v_0^2}{2}$$

Coeficientes de atrito	
Pneu de motocicleta x terra solta	0,2
Pneu de motocicleta x terra batida	0,3
Pneu de motocicleta x asfalto seco	0,6
Pneu de motocicleta x asfalto molhado	0,4

Fonte: O autor.

Figura 45 - Página 03 do documento entregue aos grupos.

**CROQUI ESQUEMÁTICO RELATIVO AO ACIDENTE QUE OCORREU NO
CRUZAMENTO DA RUA BAHIA COM A RUA PERNAMBUCO**



Senhor Perito Criminal, para um melhor entendimento de como o fato ocorreu, necessitamos das respostas para os seguintes itens (gentileza, justifique todas as respostas para evitar que os advogados consigam livrar o culpado das consequências de seus atos):

- 1) Como aconteceu o acidente?
- 2) Existe alguma razão pela qual as motocicletas possuam uma arrancada maior que os automóveis?
- 3) A posição do cadáver (piloto da motocicleta) é compatível com o acidente?
- 4) Se foi a motocicleta que colidiu com o automóvel, por que ela sofreu danos? Existe alguma explicação científica?
- 5) O tipo de solo interfere na distância percorrida pelos veículos durante o processo de frenagem? Se a rua fosse de terra solta a colisão teria ocorrido com menor impacto? E se estivesse chovendo?
- 6) O que explica a motocicleta continuar em movimento mesmo após o travamento das rodas?
- 7) Qual a velocidade máxima permitida no trecho da rua Pernambuco onde ocorreu o acidente?
- 8) Qual a velocidade aproximada com que se movia o veículo 1?

Certo de poder contar com seu auxílio,
Atenciosamente, Promotor de Justiça Frederico Mendes

Quando os alunos estiverem realizando a perícia na motocicleta (ou seja, na figura da motocicleta contida na Figura 44), eles deverão observar que a distância entre eixos dela foi diminuída pela colisão (energia mecânica dissipada no momento da colisão). E a equação de Lynn B. Fricke¹⁶ serve para descobrir a velocidade de colisão da motocicleta.

A velocidade com que a motocicleta colidiu é a velocidade após a marca de frenagem. Mas qual a velocidade da motocicleta imediatamente antes do processo de frenagem? O aluno poderá valer-se do princípio da conservação da energia mecânica. Pois, a energia cinética inicial da motocicleta deve ser igual a energia dissipada no processo de frenagem (trabalho da força de atrito) mais a energia dissipada na colisão.

A energia dissipada no processo de frenagem é dada por:

$$\tau = \vec{F}_{at} \cdot \vec{d} = F_{at} \cdot d \cdot \cos \theta$$

$$\tau = -\mu \cdot m \cdot g \cdot d$$

A energia dissipada na colisão é dada pela equação da energia cinética aplicando a velocidade da colisão encontrada a partir da equação de Lynn B. Fricke.

$$E_{cinética da colisão} = \frac{1}{2} m \cdot v_c^2$$

Por fim, aplica-se o questionário que se encontra em forma de esclarecimentos ao poder judiciário, vide Figura 45.

¹⁶ Equação empírica, onde são realizados *crashes tests* (testes de impactos) com um modelo específico de motocicleta e são anotados em um gráfico cartesiano a velocidade do impacto e a deformação consequente da colisão. Depois encontra-se a equação da reta que melhor se adequa aos pontos anotados.