



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



DEIVID LUIZ PEREIRA DA SILVA

**INTEGRANDO ASPECTOS TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE
FÍSICA ATRAVÉS DA INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul em parceria com a Sociedade Brasileira de Física, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Prof. Dr. Ederson Staudt
Orientador

Prof. Dr. Jorge Rodolfo Silva Zabadal
Coorientador

Tramandaí
Maio 2021

DEIVID LUIZ PEREIRA DA SILVA

**INTEGRANDO ASPECTOS TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE
FÍSICA ATRAVÉS DA INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul em parceria com a Sociedade Brasileira de Física, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 03 de Maio de 2021.

Prof. Dr. Ederson Staudt Presidente da Banca – MNPEF-UFRGS/CLN

Prof. Dr. Alexandre Luis Junges – MNPEF-UFRGS/CLN

Prof. Dr. Nilson dos Santos Ferreira - UFS

Prof. Dr. André Ricardo Rocha da Silva- FURG

CIP - Catalogação na Publicação

PEREIRA DA SILVA, DEIVID LUIZ
INTEGRANDO ASPECTOS TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS NO
ENSINO DE FÍSICA ATRAVÉS DA INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA /
DEIVID LUIZ PEREIRA DA SILVA. -- 2021.

92 f.

Orientador: EDERSON STAUDT.

Coorientador: JORGE RODOLFO SILVA ZABADAL.

Dissertação (Mestrado Profissional) -- Universidade
Federal do Rio Grande do Sul, Campus Litoral Norte,
Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional
Profissional em Ensino de Física, Tramandaí, BR-RS,
2021.

1. Força de Atrito. 2. Coeficiente de Atrito. 3.
Investigação Científica. 4. Roteiro de Feynman. 5.
Plano Inclinado. I. STAUDT, EDERSON, orient. II.
SILVA ZABADAL, JORGE RODOLFO, coorient. III. Título.

RESUMO

Quando se considera tópicos de estudo da Física, percebe-se que alguns deles são tratados de maneira bastante idealizada. Como é o caso da abordagem do tema força de atrito. Com o intuito de evitar uma abordagem apenas em cenários ideais, os quais não representam aplicações reais, buscamos desenvolver um produto educacional caracterizado por uma sequência didática que visa incentivar os estudantes dos anos finais do ensino fundamental e etapas subsequentes, a expandir e aprimorar a capacidade de investigação científica. Dentro disto, será possível uma melhor compreensão da força de atrito, tendo em vista que as atividades experimentais relacionadas a determinação de ambos, o coeficiente de atrito estático e o coeficiente de atrito cinético, usualmente praticadas nos laboratórios didáticos, são bastante imprecisas. Assim, surge a necessidade de desenvolver um equipamento confiável, capaz de realizar experimentos relacionados à natureza da força de atrito estática entre duas superfícies sólidas, no que se refere ao controle das variáveis para as quais os respectivos desvios estejam dentro de limites aceitáveis. Dessa maneira, relativamente a parte experimental, foi desenvolvida uma rampa de inclinação variável, que em sua versão mais completa, é totalmente automatizada no controle do ângulo de elevação, favorecendo os processos de aquisição dos dados. O controle da elevação é realizado por um conjunto de sensores conectados a um motor, cujo passo angular é extremamente reduzido. De modo semelhante, apresenta-se também uma versão mais simples dessa rampa, que é operada de maneira completamente manual, e cuja construção pode ser realizada com materiais de custo reduzido. Essa versão mais simples pode ser utilizada para uma primeira aproximação dos estudantes com os procedimentos de investigação científica, pois permite grande interação com o equipamento. O produto educacional, em sua totalidade, pode ser caracterizado como uma ferramenta pedagógica para estudar a natureza da força de atrito entre superfícies sólidas, cuja simplicidade e precisão permitem implementar uma sequência didática que integra os aspectos teóricos e experimentais. Visando preencher as lacunas no que se refere ao ensino/aprendizagem nas leis clássicas de atrito, para a sequência didática aqui proposta, será empregado o roteiro de estudo iterativo de Richard P. Feynman. Esse roteiro induz o estudante nas estratégias de construção da própria aprendizagem a efetuar práticas de investigações, tanto teóricas, como experimentais, em que o conteúdo não é apenas revisado, mas

também questionado e reformulado, tal como em qualquer processo de pesquisa científica.

Palavras-chave: Força de Atrito, coeficiente de Atrito, Ensino de Física, Roteiro de Feynman, Plano Inclinado, Investigação Científica.

ABSTRACT

When we consider topics of study of Physics, we can notice that some of them are treated in a very idealized way. As it is the case of the approaching of the theme of frictional force. With the purpose to avoid an approach only in ideal scenarios, which do not represent real applications, we seek to develop an educational product characterized by a didactic sequence that aims to encourage students in the final years of elementary school and subsequent stages, to expand and improve their ability to scientific investigation. Within this, a better understanding of the friction force will be possible, considering that the experimental activities related to the determination of both the static friction coefficient and the kinetic friction coefficient, usually practiced in teaching laboratories, are quite imprecise. Thus, the need arises, to develop a reliable equipment, capable of carrying out experiments related to the nature of the static frictional force between two solid surfaces, with regard to the control of variables for which the respective deviations are within acceptable limits. Thus, in relation to the experimental part, a variable inclination ramp was developed, which in its most complete version, is fully automated in controlling the elevation angle, favoring the data acquisition processes. Elevation control is performed by a set of sensors connected to a motor, whose angular pitch is extremely reduced. Similarly, a simpler version of this ramp is also presented, which is operated completely manually, and whose construction can be carried out with low cost materials. This simpler version can be used for a first approach of students with the procedures of scientific investigation, as it allows great interaction with the equipment. The educational product, in its entirety, can be characterized as a pedagogical tool to study the nature of the frictional force between solid surfaces, whose simplicity and precision allow to implement a didactic sequence that integrates theoretical and experimental aspects. In order to fill the gaps regarding teaching / learning in the classical friction laws, for the didactic sequence proposed here, the iterative study script by Richard P. Feynman will be used. This script induces the student in the strategies for building his own learning to carry out investigative practices, both theoretical as well as experimental, where the content is not only revised, but also questioned and reformulated, as in any scientific research process.

Keywords: Friction Force, Coefficient of Friction, Physics Teaching, Feynman Script, Inclined Plane, Scientific Research.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1. Aspectos didáticos	12
2.2. Aspectos relativos ao modelo matemático	15
3 METODOLOGIA	21
4 RELATO DA APLICAÇÃO	24
4.1 Descrição das ferramentas utilizadas no produto educacional	24
4.2 Implementação do produto educacional	27
4.3 Orientações para iniciar a experimentação	29
4.4 Relatos das estratégias utilizadas por cada grupo durante a atividade:	30
4.4.1 Relatos do Grupo 01	30
4.4.2 Relatos do Grupo 02	32
4.4.3 Relatos do Grupo 03	33
4.4.4 Relatos do Grupo 04	34
5 DISCUSSÃO DAS ESTRATÉGIAS ADOTADAS	36
6 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS NA SBR-M	39
Quadros de resultados do Grupo 01	39
Quadros de resultados do Grupo 02	40
Quadros de resultados do Grupo 03	41
Quadros de resultados do Grupo 04	41
7 SEGUNDO ENCONTRO, UTILIZAÇÃO DA SBR-A:	43
8 RESULTADO E DISCUSSÃO	47
8.1 Resultados com a superfície de contato Acrílico - Acrílico	47
8.1.1 Gráfico dos Resultados por Cenário da superfície de contato Acrílico – Acrílico ..	49
8.2 Resultados com a superfície de contato Cortiça - Cortiça	50
8.2.1 Gráfico dos Resultados por Cenário da superfície de contato Cortiça - Cortiça....	52
8.3 Resultados com a superfície de contato Lixa- Lixa	53
8.3.1 Gráfico dos Resultados por Cenário da superfície de contato Lixa- Lixa.....	54
9 CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS	59
APENDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL	61
ANEXO A - Plano de corte a laser SBR-A parte-1	85
ANEXO B - Plano de corte a laser SBR-A parte-2	86
ANEXO C - Plano de corte a laser SBR-M	87
ANEXO D - Plano de corte a laser SBR-A parte-3	88

ANEXO E - Plano de corte a laser de um par de blocos articulados.....	89
ANEXO F - Componentes do sistema de elevação da SBR-A.....	90
ANEXO G - Componentes do circuito eletrônico.....	91
ANEXO H - Plano de corte do esquadro com transferidor acoplado	92

1 INTRODUÇÃO

Quando se considera o estudo de temas da Física percebe-se que alguns deles são abordados de maneira bastante idealizada e, dentre esses temas destaca-se a força de atrito. Assim, consideramos aqui, de uma maneira geral estudos relacionados às Leis de Newton e, em específico, a natureza do atrito estático entre duas superfícies sólidas. Esse assunto, em geral, é trabalhado nos diferentes níveis de ensino de formação acadêmica de forma superficial, reduzindo-o a um tópico excessivamente simplificado. Apesar de ser um fenômeno comum e de fácil identificação em rotinas cotidianas, alguns aspectos sobre a natureza da força de atrito ainda podem ser considerados obscuros. Isso se revela, por exemplo, quando se verifica que, nos livros e demais materiais didáticos de apoio, o tratamento dado é quase que padrão. Consideramos que seguir a abordagem como tradicionalmente apresentada, nos livros pode ser um fator decisivo para que o assunto se torne desinteressante na percepção dos estudantes. Para contornar essa dificuldade, no presente trabalho, apresentamos uma abordagem mais desafiadora e mais próxima dos trabalhos pioneiros realizado por Leonardo da Vinci e Leonhard Euler. Além disso é preciso considerar, ao menos do ponto de vista qualitativo, a influência do acabamento superficial dos corpos de provas, isto é, a tribologia das superfícies. Na prática, para algumas aplicações específicas, se faz necessário minimizar o atrito entre dois corpos, ou seja, reduzir a amplitude da rugosidade superficial. Isso ocorre, por exemplo, em problemas de lubrificação. Por outro lado, existem aplicações para as quais há interesse em aumentar a força de atrito entre componentes mecânicos, como no caso do projeto de freios, transmissões por correias e caixas de câmbio continuamente variável (CVT).

Do ponto de vista didático, existem problemas de interesse específicos em sala de aula, nos quais a força de atrito cumpre um papel fundamental, tais como, deslizamento de blocos sobre rampas e superfícies horizontais.

No que se refere aos laboratórios didáticos e suas propostas de atividades experimentais, os cenários relativos aos deslizamentos entre blocos e superfícies. Os procedimentos sugeridos são, completamente padronizados, deixando margem apenas para interpretações superficiais dos resultados obtidos. Conseqüentemente, os procedimentos experimentais e os respectivos cálculos são efetuados de maneira

mecânica e inconsciente, sem haver a preocupação com aspectos conceituais, tais como descrições dos cenários físicos realistas.

Além dos aspectos prático e educacional já mencionados, cabe aqui uma observação relevante sobre a propriedade física denominada coeficiente de atrito. Nas tabelas especializadas figura apenas um coeficiente de atrito por material, sem levar em conta o grau de acabamento superficial, isto é, a amplitude média da rugosidade. Assim, torna-se necessário estimar correlações entre essa grandeza e o respectivo coeficiente de atrito, para que se consiga obter uma serie de valores para essa propriedade em função da rugosidade superficial.

Uma forma viável de obter essas correlações consiste em medir a inclinação mínima de uma rampa, para qual um corpo sólido com rugosidade definida, começa a movimentar-se sobre a sua superfície. Tal procedimento é usualmente adotado nos laboratórios didáticos para a determinação do coeficiente de atrito entre duas superfícies sólidas. Para tal, utilizam-se diferentes materiais, sem levar em consideração os diferentes níveis de rugosidade.

Para superar essas limitações o produto educacional apresenta três objetivos específicos para suprir essas necessidades:

O primeiro deles é desenvolver uma sequência didática integradora da teoria e o experimento, que possa incentivar os alunos a realizar investigação científica.

O segundo objetivo, trata da abordagem de um tema específicos da física, relacionado ao coeficiente de atrito estático, e as limitações do modelo tradicionalmente utilizado. Para atingir os dois primeiros objetivos, foi necessário desenvolver um equipamento confiável capaz de realizar experimentos com as variáveis controladas (ângulo e velocidade de inclinação), para as quais os respectivos desvios estejam dentro de limites aceitáveis. Para tanto é conveniente dispor de uma rampa de inclinação regulável, cujo passo angular é extremamente reduzido.

De fato, será mostrado a seguir que o equipamento oferece a confiabilidade requerida. Trata-se de uma rampa automatizada com inclinação regulável, cujo motor de passo opera com uma resolução de $1,8^\circ$.

A detecção de movimento do objeto sobre a rampa ocorrerá a partir de um conjunto de diodo emissor e foto receptor. Esse sistema de foto detecção tem como função interromper a alimentação do motor de passo para fixar o ângulo da rampa, para o qual o coeficiente de atrito é determinado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Aspectos didáticos

A proposta de desenvolver uma sequência didática integradora entre a teoria-experimento, a qual possibilita ao professor ensinar física através da investigação científica, baseia-se em um conjunto de 6 passos, que visa incentivar a prática indutiva ao invés da mera execução mecânica de experimentos. Esses conjuntos de passos serão sumarizados a seguir:

- i) Observação e experimentação;
- ii) Generalização indutiva;
- iii) Formulação de hipóteses,
- iv) Teste da hipótese,
- v) Comprovação de hipótese
- vi) Obtenção de conhecimentos objetivos.

O roteiro proposto particulariza, em certo sentido, o próprio método científico para o cenário específico em estudo. Assim, a concepção de ciência é integração teoria experimento. (Uma crítica ao empirismo-indutivíssimo o pode ser encontrado, por exemplo, na referência) (SILVA, L.H de A.; ZANON, L.B.; 2000).

Além disso, o produto educacional também visa três objetivos secundários:

- 1) Oportunizar aos estudantes a manipulação dos equipamentos de maneira mais consciente e cuidadosa. Isso possibilita aos estudantes não apenas observar os eventos, mas também interpretá-los durante a própria execução do experimento;
- 2) Proporcionar aos estudantes a oportunidade de coletar uma série de dados, a fim de efetuar uma análise estatística que permita estimar valores típicos para as variáveis mensuradas.
- 3) Romper com uma diretriz especialmente inconveniente, oriunda da abordagem tradicional de ensino, que consiste em dissociar a teoria do experimento. Esse equívoco tem origem na crença bastante arraigada, segundo a qual o experimento serve apenas para comprovar ou refutar uma teoria proposta, ao invés de proporcionar uma oportunidade singular de aprendizagem. Esse ponto de vista é corroborado por (RAMOS, L.S.; ANTUNES, F; SILVA, L.H.A., 2010, p.8):

Para fortalecer a superação de algumas das visões simplistas predominantes no ensino de ciências é necessário que as aulas de laboratório contemplem discussões teóricas que se estendam além de definições, fatos, conceitos ou generalizações, pois o ensino de ciências, a nosso ver, é uma área muito rica para se explorar diversas estratégias metodológicas, no qual a natureza e as transformações nela ocorridas estão à disposição como recursos didáticos, possibilitando a construção de conhecimento científico de modo significativo (RAMOS, L.S.; ANTUNES, F; SILVA, L.H.A., 2010, p.8)

(FAGUNDES, Suzana M. K., 2007), tenta mostrar que a experimentação pode ser um meio, uma estratégia para aquilo que se deseja aprender ou formar, e não o fim. Dentro dessa mesma ideia de considerar a experimentação um meio no processo de aprendizagem, verifica-se com frequência que não é eficiente, do ponto de vista educacional, utilizar apenas um roteiro tradicional de experimentação, a título de padrão operacional. É preciso, acima de tudo, justificar as razões pelas quais os passos são recomendados. Além disso torna-se conveniente apresentar, alguns tópicos referentes ao planejamento do próprio experimento.

Para tanto é preciso estar a par de alguns detalhes experimentais que fundamentaram historicamente a formulação dos modelos de força de atrito.

Leonardo da Vinci (1452-1519), durante a execução dos experimentos, percebeu que a força de atrito entre duas superfícies apresentava dependência com a compressão entre o corpo e a superfície, não sendo dependente da área de contato.

Leonhard Euler (1707-1783) foi o primeiro pesquisador a fornecer uma definição analítica para a força de atrito, baseado nos experimentos de Da Vinci, ele acreditava que os fatores que intervinham no atrito era a rugosidade tanto da superfície quanto do objeto em contato com ela. Essa formulação analítica foi obtida a partir de experimentos realizados em um plano inclinado, em que Euler imaginava que a força de atrito dependia da força gravitacional, pois eram os imbricamentos existentes entre as superfícies que impediam o bloco de deslizar sobre o material de contato.

A partir de um plano inclinado Euler desenvolveu um modelo geométrico para compreender o problema dos imbricamentos entre os

dois corpos, concluindo que a inclinação do ângulo entre o plano inclinado e a horizontal deveria ser maior que o ângulo existente entre os imbricamentos, para poder haver movimento relativo entre as duas superfícies de contato. Assim, notou que quando o corpo estava na iminência de entrar em movimento sobre o bloco, o coeficiente de atrito é equivalente à tangente da inclinação entre o plano inclinado e a horizontal.

Sendo ele o primeiro a definir o coeficiente de atrito estático (μ_e) e coeficiente de atrito cinético (μ_c). (MENDONÇA, L.P., 2010)

Assim, foi Euler que propôs pela primeira vez um modelo microscópico para definir o atrito entre superfícies e mostrar que a força de atrito é diretamente proporcional ao módulo da força normal entre um corpo e a superfície de contato, segundo a Equação 1.

$$|\vec{F}_{at}| = \mu |\vec{N}| \quad (1)$$

Na próxima seção será demonstrado, a partir do modelo de Euler, que o coeficiente de atrito está relacionado com a inclinação da rampa, definida pela respectiva tangente do ângulo entre a sua superfície e a horizontal.

Alguns aspectos históricos relacionados ao estudo/investigação da força de atrito são considerados por (Palmer, F., 1949) em que também pode ser encontrado um sumário referente as “leis clássicas do atrito”, como usualmente apresentado nos livros didáticos, ou seja:

- 1) A força de atrito é diretamente proporcional a carga, isto é, a força total que atua normal a superfície deslizante.
- 2) A força de atrito para uma carga constante é independente da área de contato.
- 3) A força de atrito é independente da velocidade de deslizamento.
- 4) A força de atrito depende da natureza dos materiais em contato. (Palmer, F., 1949) (Tradução nossa).

Da referência (Hencher, S.R., 1977) extrai-se também que:

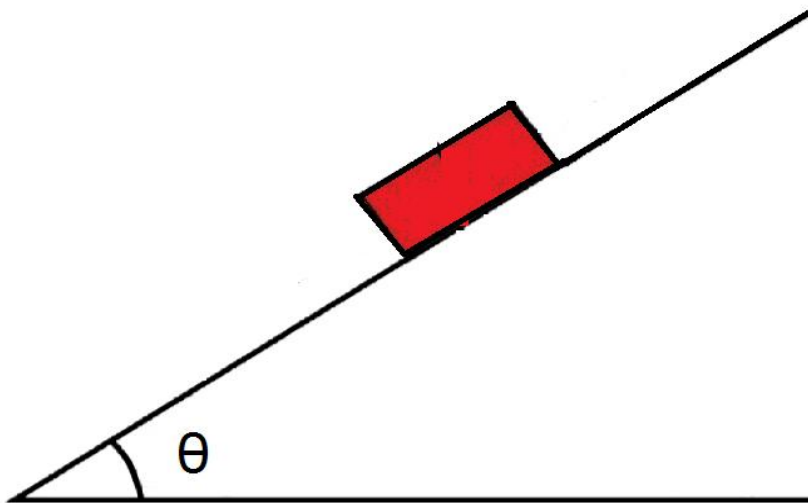
O coeficiente de atrito para superfícies de um dado material varia de acordo com o acabamento superficial das superfícies e para superfícies com acabamento superficial idêntico varia para diferentes materiais (Tradução nossa)

Os resultados acima são empíricos o que nos incentiva a olharmos com mais atenção para alguns aspectos voltados ao modelo matemático, o que será conduzido na sequência.

2.2. Aspectos relativos ao modelo matemático

Vamos passar agora ao estudo do coeficiente de atrito em função do ângulo de inclinação de uma rampa sobre o qual repousa um determinado objeto, como mostra a figura 1.

Figura 1 – Representação do plano inclinado



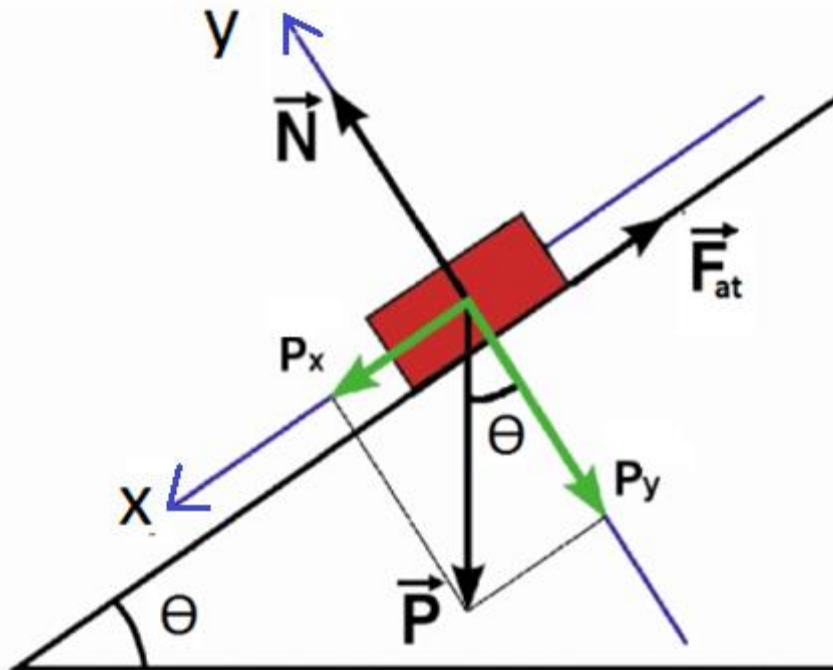
Fonte: O autor

A Representação do sistema bloco sobre um plano inclinado

Hipóteses iniciais do problema

- i) O laboratório é um referencial inercial
- ii) Sobre o bloco atuam três forças, força de atrito (entre as superfícies desconsiderar a força de resistência do ar), força normal (ortogonal ao plano) e a força peso (na terra)

Figura 2 – Representação do diagrama de forças



Fonte: O autor
A Representação da distribuição das forças no sistema.

Inicialmente se utiliza o artifício conhecido como diagrama do corpo livre para auxiliar na identificação/representação de todas as forças que atuam sobre um corpo, como mostra a figura 2. Posteriormente parte-se para a 2ª Lei de Newton na forma

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \quad (2)$$

para o equacionamento das forças. Para dar prosseguimento se faz necessário a escolha do sistema de coordenadas. Nesse sentido se discute que a escolha dos eixos ordenados e a sua orientação é completamente arbitrária e é uma atribuição do usuário da Lei Física. Ressalta-se ainda que todos os resultados que podem ser obtidos necessariamente independem dessa escolha. Entretanto, pode ser explicado de que “boas” escolhas podem facilitar o tratamento matemático para a resolução do problema. Uma dessas “boas” escolhas reside no fato de escolher o sistema de coordenadas em que o maior número de forças recaem sobre cada um dos eixos. Assim os estudantes podem ser levados a orientação dada na figura 2, isto é, o plano cartesiano seguindo a orientação do eixo das ordenadas ao longo da força normal (eixo y) e o eixo das abscissas (eixo x) paralelo ao plano inclinado e com o sentido

positivo na direção descendente. Com essa escolha obtém-se as expressões para a força peso e a força de atrito, respectivamente:

$$\vec{P} = P_x \hat{t} - P_y \hat{f} = |\vec{P}| \sin \theta \hat{t} - |\vec{P}| \cos \theta \hat{f} \quad (3)$$

$$\vec{F}_{at} = -\mu |\vec{N}| \hat{t} \quad (4)$$

Assim a equação (2) fica:

$$\vec{P} + \vec{F}_{at} + \vec{N} = m \vec{a} ;$$

O que, em termos de componentes, pode ser colocado na forma

$$P_x \hat{t} - P_y \hat{f} - \mu |\vec{N}| \hat{t} + |\vec{N}| \hat{f} = m(a_x \hat{t} + a_y \hat{f}) \quad (5)$$

Utilizando a condição de igualdade entre dois vetores recai-se no seguinte sistema de equações:

$$P_x - \mu |\vec{N}| = m(a_x) \quad (6)$$

$$-P_y + |\vec{N}| = m(a_y). \quad (7)$$

Pela análise das condições de realização do experimento podemos afirmar que não há aceleração ao longo do eixo y, ou seja, na eq. 7 podemos impor a condição de $a_y = 0$, o que resulta em

$$P_y = |\vec{N}| = mg \cos \theta. \quad (8)$$

Substituindo a eq. 8 na eq. 6 obtemos:

$$mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta = m(a_x).$$

Dividindo se toda a expressão por m obtém-se ¹

$$\mu g \cos \theta = -a_x + g \sin \theta$$

Isolando o μ na equação acima resulta em

$$\mu = \frac{-a_x}{g \cos \theta} + \frac{g \sin \theta}{g \cos \theta}$$

$$\mu = \frac{-a_x}{g \cos \theta} + \tan \theta \quad (9)$$

O coeficiente de atrito estático (μ_e) é determinado numa condição imediatamente anterior ao início do movimento, ou seja, na condição em que não há aceleração ao longo de x .

Para satisfazer essa condição impõe-se a restrição ($a_x = 0$). Sobre a equação (9), que implica em ($\mu_e = \tan \theta$), expressão clássica encontrada nas referências.

A equação (9) em sua forma completa fornece estimativa para o coeficiente de atrito dinâmico, que resulta menor que o estático uma vez que o de ($a_x \leq 0$). Essa definição analítica do coeficiente de atrito permite efetuar uma análise de sensibilidade desse parâmetro em relação ao ângulo θ (theta). Para tanto basta derivar a equação (9) em relação θ temos:

$$\frac{\partial \mu}{\partial \theta} = \frac{\partial}{\partial \theta} \left[\frac{-a_x}{g \cos \theta} + \tan \theta \right]$$

$$= \sec^2 \theta - \frac{a_x \sin \theta}{g \cos^2 \theta}$$

$$= \left(1 - \frac{a_x}{g} \sin \theta \right) \sec^2 \theta$$

$$d\mu = \left(1 - \frac{a_x}{g} \sin \theta \right) \sec^2 \theta d\theta \quad (10)$$

¹ Algumas vezes costuma-se dizer o a massa se cancela, aqui chamamos atenção que apenas podem ser tomadas decisões amparadas por regras matemáticas

Para pequenas inclinações, isto é condição em que $\theta \rightarrow 0$

$$\rightarrow \begin{cases} \text{sen}\theta \rightarrow \theta, \text{cos}\theta \rightarrow 1 \\ \text{sec}^2\theta \rightarrow 1 \end{cases} \quad (11) \text{ assim}$$

Substituindo (11) em (10) resulta:

$$d\mu = \left(1 - \frac{a_x}{g}\theta\right) d\theta \quad (12)$$

Essa equação informa que a incerteza no valor do coeficiente de atrito estático é igual a incerteza do próprio ângulo, ($d\mu_e = d\theta$). Entretanto a incerteza no coeficiente de atrito dinâmico aumenta com o próprio ângulo e não apenas com o seu incremento. Em outras palavras, a incerteza no coeficiente do atrito dinâmico depende da inclinação da rampa.

Assim caso seja necessário realizar estimativas para o coeficiente de atrito dinâmico, deve se ter o cuidado de utilizar pequenas inclinações para rampa. Na prática isso pode ser feito aumentando a massa do bloco

Um exemplo ilustrativo da ordem de grandeza do coeficiente de atrito estático pode ser obtido ao considerar ($\theta \sim d\theta$) na equação (12):

$$d\mu = \left(1 - \frac{a_x}{g}d\theta\right) d\theta$$

$$d\mu = d\theta - \frac{a_x}{g}d\theta^2 \quad (13)$$

Como o segundo termo da equação (13) é desprezível $d\mu \sim d\theta$.

Exemplo: suponha que incerteza no ângulo $d\theta \sim 1,8^\circ$

$$180^\circ \rightarrow \pi \text{rad}$$

$$1,8^\circ \rightarrow x \text{rad}$$

$$1,8^\circ = 0,03 \text{rad} = 3,0 \times 10^{-2} \text{rad}$$

Substituindo na equação (13)

$$d\mu = \left(1 - \frac{a_x}{g} d\theta\right) d\theta$$

$$d\mu = \left(1 - \frac{a_x}{g} 3,0 \times 10^{-2}\right) 3,0 \times 10^{-2}$$

$$d\mu = 3,0 \times 10^{-2} - \frac{a_x}{g} 9,0 \times 10^{-4}$$

$$\text{se } a_x = 1$$

$$d\mu = 3,0 \times 10^{-2} - 9,0 \times 10^{-5}$$

$$d\mu = 2,9 \times 10^{-2}$$

$$0 \leq \text{sen}\theta \leq 1 \rightarrow \rightarrow \rightarrow 0 \leq \frac{g}{a_x} \leq 1$$

$()g \leq a_x \rightarrow$ entretanto o valor máximo que a_x pode atingir é g , pois a força motriz é a própria força peso. Assim sendo a situação (13) só poderia ser satisfeita em seu limite inferior que ocorre com $\theta = 90^\circ$.

3 METODOLOGIA

Na tentativa de introduzir determinados tópicos de física de forma realista, o professor se depara com uma dificuldade de natureza prática: Como evitar abordagens demasiadamente idealizadas sem utilizar um formalismo excessivamente rigoroso? Como resposta a esse questionamento incentiva-se a utilização do roteiro iterativo de Feynman (FEYNMAN, Richard P). De maneira simples e resumida, este consiste na aplicação, por parte do estudante, de quatro passos principais:

- 1- Escrever sobre um assunto de interesse;
- 2- Ensinar para outra pessoa registrando suas reações e opiniões;
- 3- Consultar a literatura específica de forma crítica;
- 4- Simplificar a descrição original, eliminando redundâncias e pontos obscuros para, então, retornar o passo 1.

No que diz respeito à investigação da força de atrito é possível introduzir conceitos relativamente complexos de forma bastante acessível. Para tanto, basta lançar mão de uma série de situações práticas do cotidiano. Por exemplo, podemos questionar sobre a razão pela qual um pneu com alto grau de desgaste, em função de sua utilização, perde a aderência à com a pista de rolagem. A resposta mais esperada é de que “o pneu vai ficando careca”. Essa resposta, apesar de parecer trivial, revela que em geral as pessoas possuem uma noção bastante concreta sobre a influência do desgaste no acabamento superficial do pneu. Mas o pneu careca possui uma superfície lisa, enquanto que o pneu novo possui uma superfície irregular, o que proporciona uma maior aderência, tanto por efeito do atrito quanto da sucção produzida pelo sulcos e cavidades.

Essa noção bastante popular e intuitiva sobre os pneus, no que se refere ao coeficiente de atrito, quanto a sua dependência essencialmente da rugosidade superficial, é muito mais realista do que conteúdo da própria literatura. É surpreendente que mesmo nos textos mais rigorosos o coeficiente de atrito seja considerado dependente apenas do material em questão, ao invés do acabamento superficial. Ao abordar esse tema em sala de aula em que o foco está na aprendizagem necessitamos suplantar essas limitações da literatura, pois é importante ressaltar que:

Uma aprendizagem é significativa quando temos um processo de assimilação substantiva e não arbitrária do que se aprende a uma componente especificamente relevante da estrutura cognitiva. Especificamente sobre os pneus, os livros texto de Ensino Médio e Superior são omissos e desta forma os professores carecem de alguma referência bibliográfica sobre o tema. (WERLANG, Rafael. B, 2013)

Mesmo que intuitivamente, sabe-se que o desgaste do pneu não implica em nenhuma alteração na estrutura química da borracha. Além disso, blocos compostos por diferentes materiais, mas com o mesmo grau de polimento ou lixamento, se comportam essencialmente da mesma forma quando sujeitos a forças que provocam o seu deslocamento.

Em outras palavras, para o mesmo grau de acabamento superficial blocos de alumínio, ferro, cobre ou mesmo ligas metálicas, apresentam coeficientes de atrito relativamente semelhantes. Daí a importância de estudar o coeficiente em função da geometria superficial.

Visando recriar os passos na obtenção da expressão empírica da lei clássica de atrito, será empregada o roteiro iterativo de Feynman. Esse roteiro induz o aluno a efetuar práticas de investigação nas quais o conteúdo não é apenas revisado, mas também questionado, tal como em qualquer processo de pesquisa científica.

A abordagem teve início a partir do primeiro passo do roteiro iterativo de Feynman. Nessa etapa os alunos foram instigados a falar a respeito do assunto, a saber, sobre a força de atrito (Identificar a distribuição de forças no sistema).

Para isso, durante a aplicação do produto educacional, foi utilizado um recurso que estimulou a discussão, ou seja, um experimento que se constitui em uma versão simplificada, da rampa automatizada. Nesta etapa se incentiva o estabelecimento de hipóteses, com base na teoria força de atrito clássica, para que os alunos as possam testar durante a experimentação.

Em seguida os alunos deverão avançar para o segundo passo do roteiro. Esse passo consiste em compartilhar com os colegas as suas percepções sobre o experimento e a sua confrontação com as hipóteses criadas. Nesse momento é esperado que haja algumas divergências tanto nos resultados obtidos quanto na sua interpretação. Dessa troca de ideias, é esperado que surja naturalmente a necessidade de revisar conceitos, o que pode, eventualmente, levar a uma reformulação da hipótese inicialmente estabelecida. Essa revisão é efetuada no terceiro passo do roteiro, que

consiste em uma consulta crítica às referências disponíveis durante aplicação do produto educacional (SEARS, Francis, 1999), (HALLIDAY, David, 2008), (GASPAR, Alberto, 2003) e (TIPLER, Paul, A., 2006)

Durante essa consulta crítica e sistemática da literatura, surge a oportunidade de detectar falhas conceituais e quantitativas no modelo matemático, bem como de perceber as limitações do experimento em sua versão simplificada.

Nessa ocasião os alunos poderão constatar a dificuldade de obter resultados confiáveis através do uso do equipamento improvisado. Essa constatação justifica o emprego de uma versão mais sofisticada do equipamento, capaz de produzir resultados com uma menor dispersão em torno de um valor médio. Como consequência do uso do novo equipamento, os estudantes são estimulados a conceber formulações alternativas para o coeficiente de atrito estático, o que constitui a quarta etapa do roteiro de Feynman.

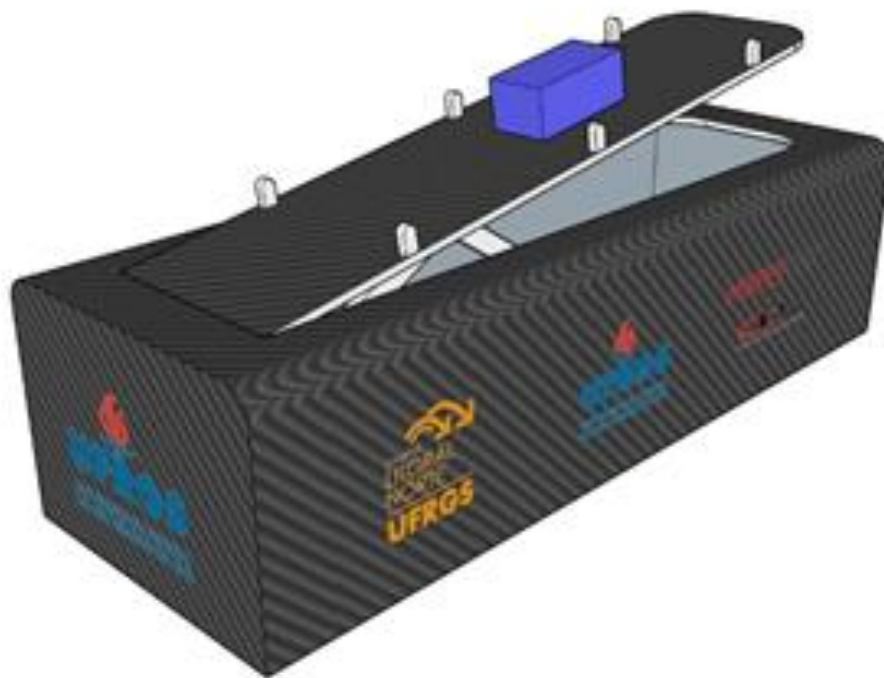
Na verdade, o roteiro não poderia ser aplicado sem o emprego da versão mais sofisticada do equipamento. O novo equipamento viabiliza o processo de refinamento dos conceitos das formulações iniciais, permitindo ao estudante retornar ao primeiro passo munido de uma concepção mais detalhada e fiel do cenário. Nesse sentido o equipamento se estabelece para suprir as falhas que a literatura pode eventualmente apresentar.

4 RELATO DA APLICAÇÃO

4.1 Descrição das ferramentas utilizadas no produto educacional

A implementação do produto educacional consistiu em aplicar uma sequência didática integradora de teoria-experimento (BORGES, A.T., 2002) propiciando aos alunos o estudo da física por meio da investigação científica. Acompanhadas de duas rampas, uma é o sistema bloco-rampa versão automatizada (SBR-A), como mostra a Fig. 01 e a outra uma versão manual (SBR-M), como pode ser visto na Fig. 02, além de instrumentos de medições demonstrados na Fig. 04.

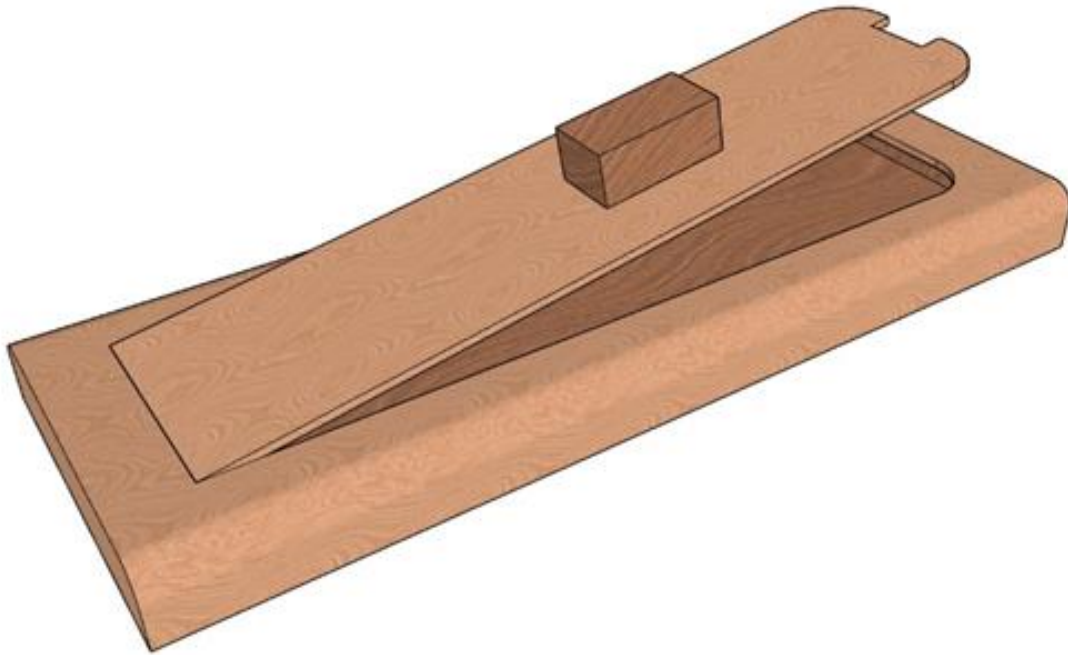
Figura 1 – SBR-A Sistema bloco-rampa versão automática



Fonte: O autor

Projeto do sistema rampa pivotada em uma das extremidades com operação automatizada.

Figura 2 – SBR-M Sistema bloco-rampa versão manual



Fonte: O autor

Projeto do sistema rampa pivotada em uma das extremidades com operação manual.

Independente da característica da rampa, seja SBR-M ou SBR-A, alguns acessórios utilizados serão os mesmos para ambas. Trata-se de um conjunto de superfícies, constituídas de materiais de diferentes naturezas, o sistema placa-bloco, Fig. 03, que podem ser utilizados na experimentação para a força de atrito. Além desses serão necessárias diferentes ferramentas para a medição de altura de elevação ou para determinar o ângulo de inclinação conforme descrito na Fig. 04.

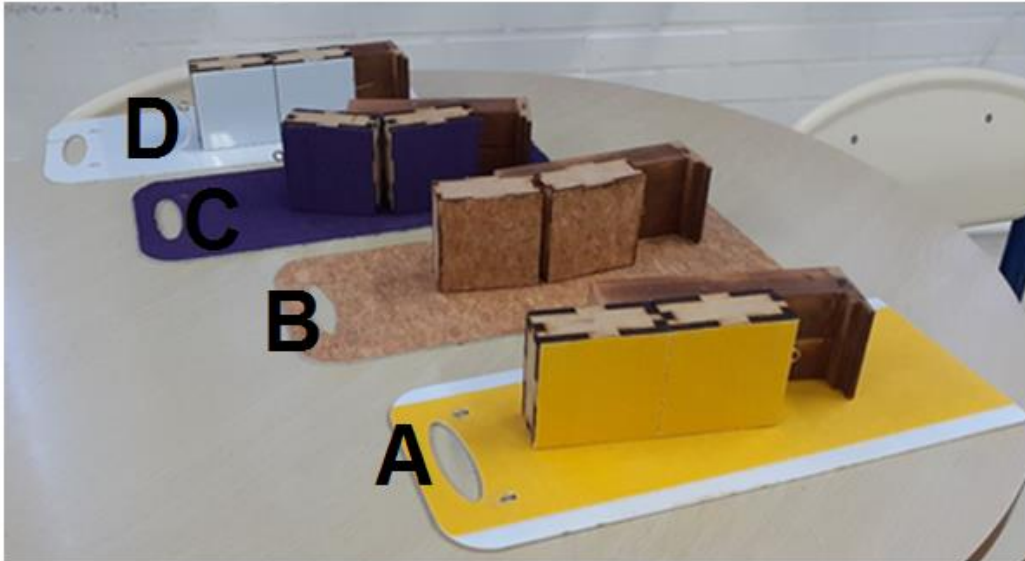
Tabela 01 – Superfícies de contato;

Identificação	Material	Identificação	Material
A	LIXA para madeira	C	EVA Camurça
B	Lâmina de cortiça	D	Acrílico Leitoso

Fonte: autor

Conforme pode ser visto na Fig. 03

Figura 03 – conjuntos de superfícies de contato placa-bloco



Fonte: O autor
Diferentes placas que serão acopladas na rampa de elevação.

Figura 04 – Materiais diversos para a medição



Fonte: O autor
Réguas, transferidor, esquadros, dinamômetro, trena, barbante, proveta, cadernetas e esquadro com transferidor acoplado

A articulação no bloco serve para possibilitar ao operador reduzir à metade a área de contato, conforme ilustrado na Fig.05B, ou dobrar a área de contato aparente sem alterar a sua massa, conforme demonstrado na Fig.05A adicionalmente os blocos possuem encaixes que permite o empilhamento de uns sobre os outros, Fig. 05D possibilitando assim o operador manter a área de contato dobrando a massa.

Imagem 05 – blocos articulados



Fonte: O autor

A – Bloco aberto; B – Bloco fechado; C - Imãs que auxiliam na abertura do bloco; D – Blocos empilhados

4.2 Implementação do produto educacional

Os encontros ocorreram na escola Marquês do Herval, na cidade de Osório no Rio Grande do Sul, no formato de curso de extensão promovido pela UFRGS, conferindo a cada participante um certificado de horas complementares. Participaram da atividade voluntariamente 9 (nove) alunos da turma do 1º ano do ensino médio que foram divididos em quatro grupos compostos por duplas e trios. A aplicação ocorreu nos dias 27(vinte sete) e 29 (vinte nove) de novembro 2019, em turno inverso das aulas, com duração de 4 (quatro) horas cada encontro.

A proposta da implementação utilizou uma abordagem didática que visava essencialmente 2 objetivos:

- Proporcionar ao aluno um contato preliminar com sistema de aquisição de dados;
- Apresentar, já no contato preliminar, um equipamento confiável, que permite gerar resultados reproduzíveis.

É importante ressaltar a relevância do emprego de um equipamento confiável nessa etapa da execução do roteiro, para possibilitar aos estudantes um aprimoramento nos testes das hipóteses.

Inicialmente foi disponibilizada um conjunto composto pela SBR-M, além de equipamentos diversos para as medições de alguns parâmetros como: força,

comprimento e inclinação. A justificativa para utilizar SBR-M reside na ideia de permitir aos estudantes uma familiarização com as diferentes etapas da experimentação, através da manipulação do equipamento. Isso se fez necessário, pois muitas vezes os estudantes revelam um certo receio em manipular equipamentos que consideram extremamente sofisticados.

Com o propósito de avaliar os conhecimentos prévios dos estudantes com relação a presença das forças no sistema bloco rampa, bem como para contextualização dos conceitos relacionados com o estudo da força de atrito, a atividade ocorreu a partir de temas geradores. Esses temas se referiam a situações do dia a dia dos alunos, sem perder de vista a vinculação entre as experiências cotidianas com o cenário Físico correspondente. Nesse sentido foram enfatizados tanto os aspectos positivos quanto os negativos acerca da existência da força de atrito estático. Foi observado como consequência dessa abordagem didática-pedagógica, a interação dos alunos com o tema, revelada muitas vezes com relatos pessoais. Assim, foram estabelecidas as condições favoráveis que determinaram o momento propício para iniciar a apresentação do material teórico, que enfatizava a importância da investigação científica. Além disso, foram questionados sobre alguns aspectos referentes aos próprios fundamentos da física.

Na apresentação teórica inicial foi mostrado aos alunos diversas definições acerca do conhecimento científico. Nessa abordagem foi enfatizada a importância de descrever um sistema e reconhecerem conceitos fundamentais em física clássica como, por exemplo, partícula, massa e força.

Durante esse diálogo inicial, foi reforçada a importância em desenvolver um modelo, como forma de representar uma simplificação da realidade, que atendesse de maneira mais realista possível o fenômeno em si. Também foi ressaltada a importância de o aluno capturar características essenciais desse modelo. Foram apresentadas às forças que atuam no sistema bloco/rampa.

Durante a introdução dos tópicos os alunos passaram a manipular a SBR-M sem terem recebido instrução prévia acerca dos procedimentos experimentais, mesmo assim era perceptível que eles interagiam intra e extra grupo para tentar realizar o experimento.

Era evidente que a SBR-M havia despertado interesse nos alunos, uma das razões que gerou tanta curiosidade se deu pelas diferentes superfícies de contatos que cada

grupo possuía. A situação constada neste relato indicava que a SBRM havia realmente despertado o interesse na turma.

Como o assunto era introdutório apresentava exemplos do cotidiano aplicados ao sistema rampa bloco. Isso de alguma forma serviu para nortear os alunos, pois eles já percebiam algumas alternativas que eles iriam adotar para dar início a experimentação. Como a ideia do produto educacional é ter um caráter integrador de teoria-experimento, o grande desafio seria desenvolver uma experimentação sem utilizar um roteiro, mas se basear a partir de perguntas norteadoras, oportunizando ao aluno um maior grau de liberdade de experimentar e retornar a teoria. Essa apresentação teórica inicial descrita anteriormente não encerrou no término da explanação, pois ela foi retomada paralelamente à execução da atividade experimental.

Foi fornecida uma caderneta para cada grupo de alunos, em que deveriam ser anotados as suas impressões sobre a atividade além dos dados medidos durante a experimentação. A finalidade do uso da caderneta seria compreender a linha de raciocínio adotado por cada grupo. Foi solicitado a eles, que durante a execução da atividade não fosse feita nenhuma exclusão de dado, por eles coletado, nessa primeira etapa a coleta de dados é de livre escolha dos estudantes, não receberam orientações para tal ação. É o momento para avaliar a autonomia dos estudantes frente aos desafios propostos.

Hipóteses iniciais

- i) O laboratório é um referencial inercial
- ii) Sobre o bloco atuam três forças, força de atrito (entre as superfícies desconsiderar a força de resistência do ar), força normal (ortogonal ao plano) e a força peso (na terra)
- iii) A rampa encontra-se na horizontal com o bloco sobre ela

Inicialmente, foram apresentadas 3 orientações para iniciar a atividade experimental:

4.3 Orientações para iniciar a experimentação

Identifique as forças presentes no sistema bloco-rampa;

Altere o equilíbrio dessas forças no bloco;

Descreva a estratégia adotada pelo grupo para alterar esse equilíbrio.

Identifique as forças presentes no sistema bloco-rampa:

A rampa encontrava-se na horizontal com o bloco em repouso sobre ela. Essa primeira orientação foi trabalhada em dois momentos com a turma, inicialmente serviu para que os grupos discutissem e identificassem a presença de forças que atuavam sobre o bloco, para que se pudesse considerar aspectos mais gerais no que se refere as Leis de Newton. No momento seguinte, a discussão passou a ser entre todos os grupos, sendo ela mediada pelo professor, lançando provocações ao grande grupo. O debate tinha como intenção chegar a um consenso a respeito de quais forças estavam presentes e como cada uma delas atuava além de fazer parte do que orienta o roteiro de estudo de Feynman. Para tanto, foi necessário recorrer a literatura para fornecer um suporte ao aluno para, a partir de então, avançarmos na atividade eliminando eventuais equívocos conceituais acerca da distribuição das forças.

Altere o equilíbrio dessas forças no bloco:

Após os grupos identificarem quais as forças que atuavam no bloco, foi solicitado a eles que alterassem o equilíbrio dessas forças. Para tal ação, não foi passada nenhuma orientação de como os grupos deveriam utilizar as ferramentas para a medição (régua, transferidor, esquadro, paquímetro e dinamômetro) e tampouco como deveriam ser empregadas, conforme a Fig.04. A ideia foi explorar tanto as potencialidades quanto a criatividade dos alunos frente ao desafio proposto.

Descrever a estratégia adotado pelo grupo para alterar esse equilíbrio?

Essa terceira orientação era um questionamento lançado para ser respondido a partir das ações de cada grupo frente ao desafio proposto. O relato a seguir descreve a execução da prática realizada por cada grupo, e neste será possível visualizar a estratégia que cada grupo adotou para alterar o equilíbrio das forças no sistema rampa/bloco.

4.4 Relatos das estratégias utilizadas por cada grupo durante a atividade:

4.4.1 Relatos do Grupo 01

Esse grupo realizou a atividade experimental com uma SBR-M que possuía as superfícies de contato constituída por cortiça. A estratégia adotada por eles foi utilizar um dinamômetro tanto para alterar o estado de equilíbrio estático quanto para determinar a intensidade da força aplicada. Isso foi realizado por meio da ação de uma força aplicada na mesma direção ao longo da linha horizontal. O grupo percebeu que era possível alterar o estado de equilíbrio e consequentemente determinaram a intensidade da força necessária para colocar o bloco em movimento, mas sem precisão. Um dos erros se deu por utilizarem o dinamômetro de maneira equivocada, pois ele não estava totalmente alinhado paralelamente à linha horizontal, conforme evidenciado na Fig. 6. Esse procedimento ilustra a introdução de efeitos espúrios tendo em vista que tal procedimento faz com que uma componente na força vertical diminui o módulo da força normal alterando, consequentemente o valor da força de atrito. Outro aspecto notório que deve ser mencionado é que mesmo se o grupo tivesse procedido de maneira correta (com o dinamômetro na horizontal) haveria dificuldade em determinar a leitura mais precisa. Esse procedimento impossibilitou a obtenção de resultado confiáveis. Cabe lembrar de que, em muitos kits experimentais didáticos o coeficiente de atrito é determinado seguindo a metodologia utilizada por esse grupo, como pode ser visto na Fig. 07.

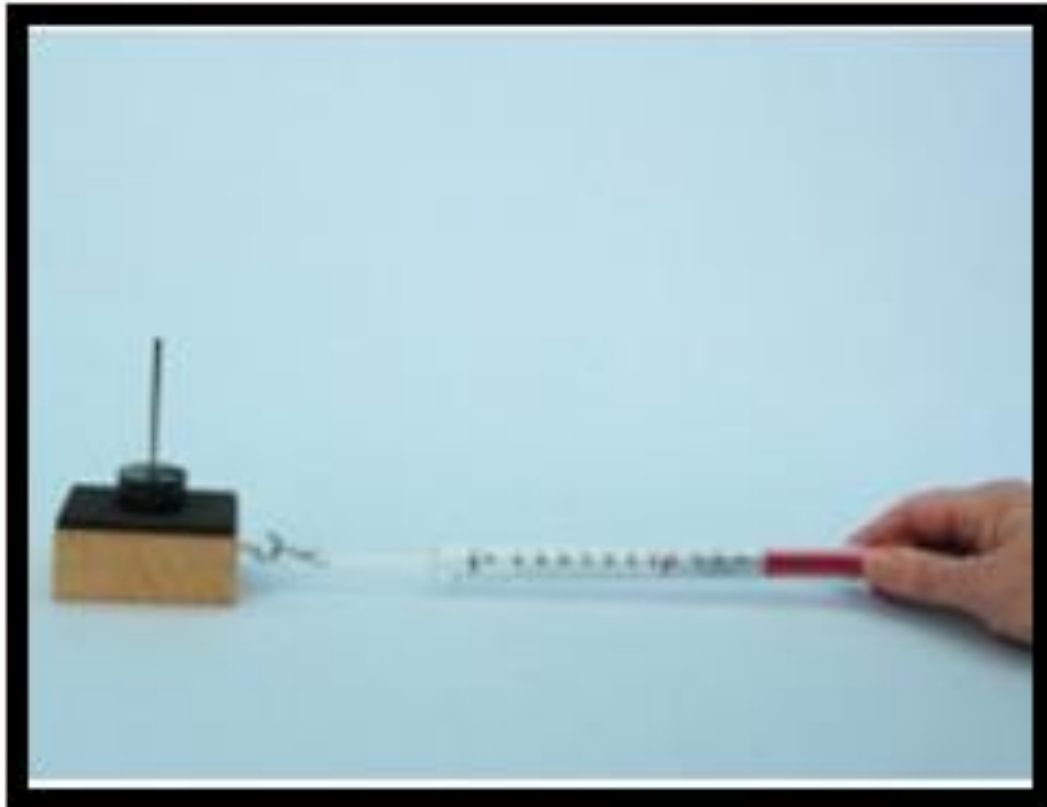
Figura 06 – Experimentação grupo 01



Fonte: O autor

Momento em que o grupo 01 realizou a medida da intensidade da força que alterou o equilíbrio.

Figura 07 experimentos do Kit da Phywe



Fonte: <https://www.phywe.com/en/coefficient-of-friction.html>

4.4.2 Relatos do Grupo 02

Este grupo avaliou a superfície constituída por lixas. Embora parecesse óbvio, pois a prática acontece sobre uma rampa pivotada, esse foi o único grupo dos quatro que adotou a estratégia de alterar o equilíbrio a partir de inclinação da rampa. No entanto, o grupo não conseguiu determinar o ângulo de inclinação adequado da rampa, pois, para realizarem essa medição direta, utilizaram um transferidor tradicional. A dificuldade do grupo consistiu em fixá-lo na origem, conforme a Fig. 08. Além disso, variações angulares foram introduzidas na tentativa de manter a rampa na posição fixa durante a medição, além da interrupção da elevação da rampa no momento exato em que o bloco principia o movimento. Como no caso anterior, alguns dos kits de laboratórios didáticos também trazem esses procedimentos para a determinação do coeficiente de atrito entre duas superfícies.

Figura 08 – Experimentação grupo 02



Fonte: O autor

Momento em que o grupo 02 apresentou sua estratégia para alterar o equilíbrio.

4.4.3 Relatos do Grupo 03

Este grupo analisou a superfície de EVA Camurça. O grupo iniciou a medição colocando em contato o EVA com o tecido, depois de alertados passaram a avaliar o contato entre as mesmas superfícies. Esse grupo utilizou duas estratégias, a primeira foi exercer uma tração através de um barbante conforme Fig. 09, mas logo perceberam que não havia condições de determinar a intensidade da força aplicada. A segunda estratégia foi utilizar um dinamômetro para determinar a intensidade. A superfície de EVA Camurça apresentou uma grande resistência para sair do repouso, fazendo com que a escala do dinamômetro fosse ultrapassada e inviabilizando a obtenção dos dados nessa etapa da atividade.

Figura 09 – Experimentação grupo 03



Fonte: O autor

Momento em que o grupo 03 apresentou a primeira de estratégias para alterar o equilíbrio.

Figura 10 – Experimentação grupo 03



Fonte: O autor

Momento em que o grupo 03 apresentou a segunda estratégia para alterar o equilíbrio.

4.4.4 Relatos do Grupo 04

O grupo analisou as superfícies de contato de Acrílico Leitoso, foi um grupo bem mais sucinto na investigação, pois não exploram as ferramentas de medições. Durante a experimentação, as tentativas para alterar o equilíbrio ocorreram através de perturbações mecânicas e empurrões no bloco que estava repousado sobre a superfície, sem preocupação com a determinação da intensidade da força aplicada, o grupo foi obter outros parâmetros referentes a prática, como medir a área de contato do bloco e determinar a massa.

Figura 11 – Experimentação grupo 04



Fonte: O autor

Momento em que o grupo 04, realizou a coleta de dados complementares a experimentação.

A SBR-M foi estrategicamente concebida para operar manualmente. Para operá-la necessita-se de pelo menos duas pessoas, uma para inclinar a rampa e de outra para medir e coletar os dados. Essa parte da atividade preconiza um contato efetivo com a experimentação, possibilitando uma maior interação entre os integrantes do grupo, fazendo que eles explorem e descubram as potencialidades SBR-M.

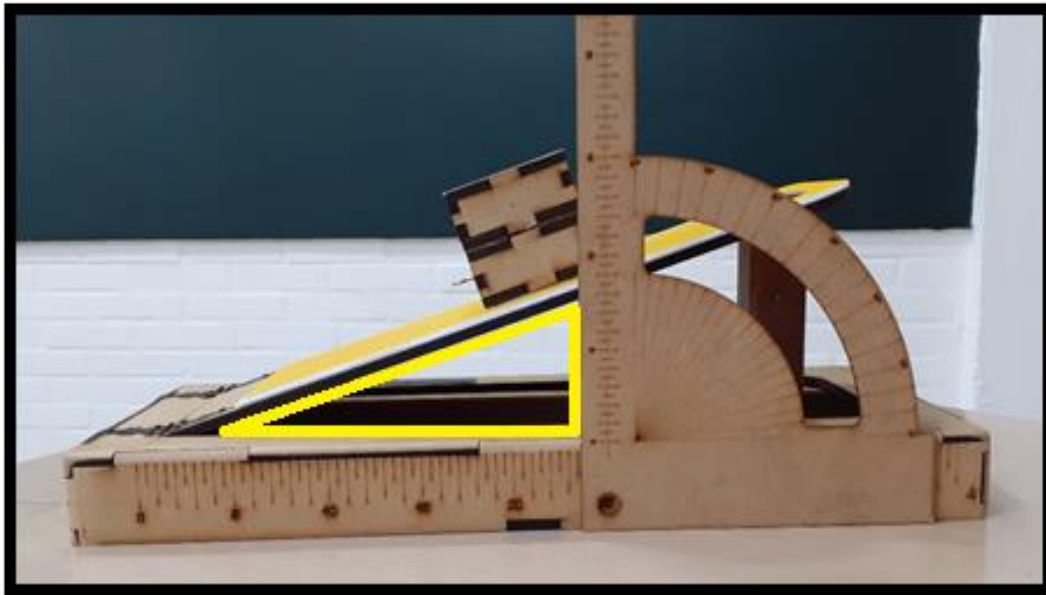
5 DISCUSSÃO DAS ESTRATÉGIAS ADOTADAS

Ao término da primeira parte da atividade prática, em que cada grupo executou as estratégias para alterar o equilíbrio do sistema, foi aberto espaço para discussão no grande grupo, foram questionados por que não conseguiram realizar as medições com as ferramentas fornecidas? Essa etapa inicial serviu como um exercício para os alunos refletirem a respeito das limitações de cada ferramenta por eles escolhida, e o quanto uma possível aquisição equivocada de dados pode interferir nos resultados, podendo assim, inclusive, falsear uma hipótese verdadeira, ou mesmo o contrário.

Para avançar na integração da teoria-experimento os alunos conseguirem obter os dados, foi apresentado para eles o esquadro com o transferidor acoplado, essa ferramenta realiza duas formas de medição: medição direta e indireta. Conforme o próprio nome diz, essa medição direta obtém-se a inclinação da rampa com o auxílio do transferidor acoplado junto ao esquadro, já a segunda mede a altura da inclinação a uma determinada distância da origem (pivô da rampa). Para utilizar a ferramenta a partir da determinação indireta, é preciso retomar temas abordados frequentemente em matemática, como as identidades trigonométricas. Agora a atividade experimental passa a integrar outros saberes oriundos de outras áreas do conhecimento. Nesse momento da experimentação, para os alunos determinarem indiretamente o ângulo de inclinação, terão de calcular a relação trigonométrica que define a tangente do ângulo de inclinação da rampa.

Adicionalmente a SBR-M pode ser aplicada na experimentação em matemática permitindo a consideração de conceitos relacionados a trigonometria, por exemplo, a rampa permite materialização do plano cartesiano. Se observar a Fig. 12, é possível notar que nas suas características construtivas, na base fixa da SBR-M existe uma graduação que está subdividida em centímetros, essa base pode exemplificar o eixo das abscissas desse plano. Quando o aluno inclinar a rampa irá projetar sobre essa base a representação do cateto adjacente, essa configuração forma um triângulo retângulo. Com relação ao esquadro, também graduado, ele exemplificará o eixo das ordenadas, pois sobre esse mesmo triângulo, no esquadro terá a projeção do cateto oposto. Com relação a superfície inclinável da rampa que está em contato com o bloco, essa matematicamente irá representar a hipotenusa desse triângulo.

Figura 12 – SBR-M- Determinando o ângulo com auxílio da trigonometria;



Fonte: O autor

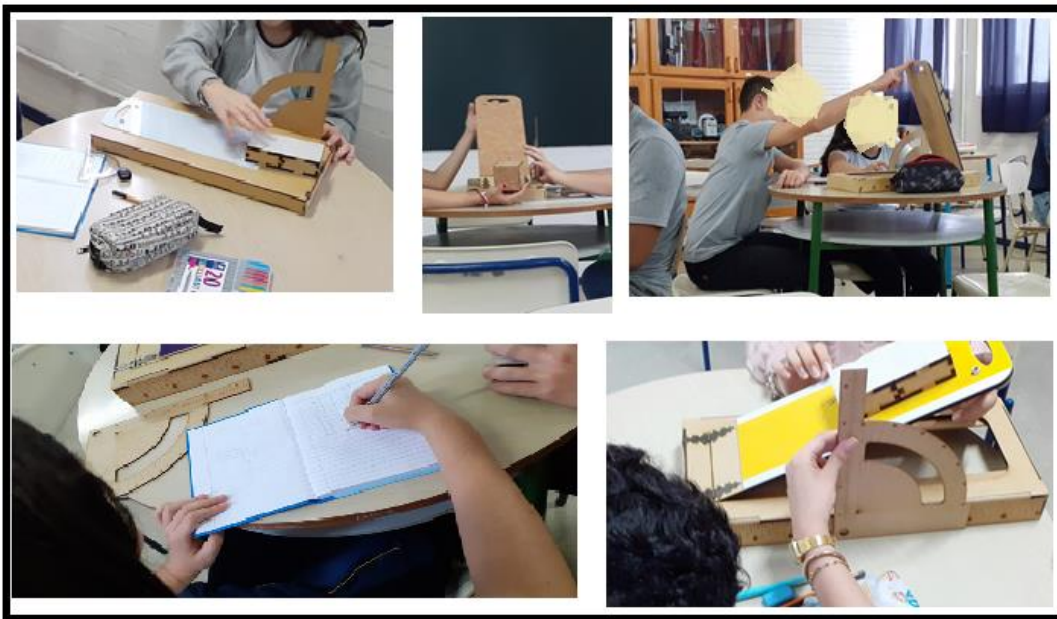
Medição indireta, no interior da rampa uma representação de um triângulo qualquer.

Nessa etapa os alunos estão conscientes que a melhor estratégia de obtenção de dados, na SBR-M se dará pela utilização do esquadro com o transferidor acoplado para realizar a medição indireta. Com isso os alunos passaram a utilizar o esquadro na coleta de dados. Com o objetivo de considerar aspectos relevantes no estudo da força de atrito e guiar os estudantes na execução do experimento, é que foram sugeridas algumas questões norteadoras, para a criação de pelo menos três questões, como por exemplo:

- i) qual o valor da força de atrito quando o bloco estiver com a área máxima de contato (bloco aberto)?
- ii) qual o valor da força de atrito numa situação em que a área do bloco é reduzida pela metade (bloco fechado)?
- iii) qual o valor da força de atrito numa situação com o bloco aberto e com o dobro da massa?

De certo modo, nessa etapa, os alunos apresentaram um comportamento inesperado, pois tiveram uma atitude focado puramente em processos mecânicos na obtenção de dados que era refletido na ausência de respostas a estímulos como, por exemplo, não conseguiram justificar discrepância dos valores obtidos. Foi um momento que passaram a preencher a caderneta com as informações extraídas do experimento, sem uma reflexão para tal ação.

Figura 13 – Coleta de dados experimentais;



Fonte: O autor

Momento em que os alunos passaram a realizar a experimentação com o uso do esquadro de MDF.

6 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS NA SBR-M

Nos quadros a seguir serão agrupadas as informações obtidas por cada grupo, descrevendo cada cenário avaliados por eles.

Quadros de resultados do Grupo 01

Quadro 6.1 – Superfície de contato Cortiça área máxima do bloco;

Medidas	Cateto adjacente	Cateto oposto	Tangente ângulo
01	5,0 cm	2,5 cm	0,50
02	10,0 cm	9,0 cm	0,90
03	20,0 cm	16,0 cm	0,80
04	22,0 cm	12,0 cm	0,55
05	5,0 cm	3,5 cm	0,70
06	30,0 cm	19,0 cm	0,63
07	10,0 cm	8,0 cm	0,80
08	15,0 cm	10,0 cm	0,67
09	25,0 cm	15,0 cm	0,60
MÉDIA			0,68

Fonte: O autor

Grupo 1- atividade experimental dados coletados com o bloco aberto sobre a rampa.

Quadro 6.2 – Superfície de contato Cortiça área mínima do bloco;

Medidas	Cateto adjacente	Cateto oposto	Tangente ângulo
01	15,0 cm	7,0 cm	0,47
02	11,0 cm	6,0 cm	0,55
03	15,0 cm	10,0 cm	0,67
04	25,0 cm	15,0 cm	0,60
05	27,0 cm	17,0 cm	0,63
06	30,0 cm	20,0 cm	0,67
07	8,0 cm	5,5 cm	0,69
08	20,0 cm	12,0 cm	0,60
09	10,0 cm	6,0 cm	0,60
MÉDIA			0,61

Fonte: O autor

Grupo 1- atividade experimental dados coletados com o bloco fechado sobre a rampa reduzindo a área pela metade.

Quadro 6.3 – Superfície de contato Cortiça área máxima com dois blocos

Medidas	Cateto adjacente	Cateto oposto	Tangente ângulo
01	10,0 cm	5,0 cm	0,50
02	15,0 cm	10,0 cm	0,67
03	5,0 cm	3,0 cm	0,60
04	20,0 cm	13,0 cm	0,65
05	25,0 cm	15,0 cm	0,58
06	20,0 cm	11,5 cm	0,60
07	8,0 cm	6,0 cm	0,75

08	30,0 cm	19,0 cm	0,63
09	25,0 cm	18,0 cm	0,72
MÉDIA			0,63

Fonte: O autor

Grupo 1- atividade experimental dados coletados com o bloco aberto sobre a rampa dobrando o valor da massa.

Quadros de resultados do Grupo 02

Quadro 6.4 – Superfície de contato Lixa área máxima do bloco;

Medidas	Cateto adjacente	Cateto oposto	Tangente ângulo
01	5,0 cm	3,5 cm	0,70
02	10,0 cm	7,5 cm	0,75
03	15,0 cm	9,5 cm	0,63
04	20,0 cm	12,5 cm	0,63
05	25,0 cm	16,5 cm	0,66
06	30,0 cm	19,5 cm	0,65
MÉDIA			0,67

Fonte: O autor

Grupo 2- atividade experimental dados coletados com o bloco aberto sobre a rampa.

Quadro 6.5 – Superfície de contato Lixa área mínima do bloco;

Medidas	Cateto adjacente	Cateto oposto	Tangente ângulo
01	20,0 cm	9,5 cm	0,48
02	5,0 cm	1,5 cm	0,30
03	10,0 cm	4,0 cm	0,40
04	15,0 cm	6,0 cm	0,40
05	20,0 cm	9,0 cm	0,45
06	25,0 cm	11,5 cm	0,46
07	30,0 cm	14,0 cm	0,47
08	35,0 cm	17,0 cm	0,49
09	5,0 cm	4,0 cm	0,80
MÉDIA			0,47

Fonte: O autor

Grupo 2- atividade experimental dados coletados com o bloco aberto sobre a rampa.

Quadro 6.6– Superfície de contato Lixa área máxima com dois blocos

Medidas	Cateto adjacente	Cateto oposto	Tangente ângulo
01	10,0 cm	4,5 cm	0,45
02	15,0 cm	6,5 cm	0,43
03	20,0 cm	9,0 cm	0,45
04	25,0 cm	11,0 cm	0,44
05	30,5 cm	13,5 cm	0,45
MÉDIA			0,44

Fonte: O autor

Grupo 2- atividade experimental dados coletados com o bloco aberto sobre a rampa dobrando o valor da massa.

Quadros de resultados do Grupo 03

Quadro 6.7 – Superfície de contato EVA área máxima do bloco;

Medidas	Cateto adjacente	Cateto oposto	Tangente ângulo
01	2,0 cm	6,0 cm	3,00
02	2,0 cm	11,0 cm	5,50
03	3,0 cm	13,0 cm	4,33
04	4,0 cm	15,0 cm	3,75
05	5,0 cm	14,0 cm	2,80
06	5,0 cm	15,0 cm	3,00
07	5,0 cm	17,0 cm	3,40
08	6,0 cm	19,0 cm	3,17
09	7,0 cm	21,0 cm	3,00
10	5,0 cm	17,0 cm	3,40
MÉDIA			3,24

Fonte: O autor

Grupo 3- atividade experimental dados coletados com o bloco aberto sobre a rampa.

Quadro 6.8 – Superfície de contato EVA área mínima do bloco;

Grupo 03 EVA Camurça área mínima do bloco			
Medidas	Cateto adjacente	Cateto oposto	Tangente ângulo
01	Indeterminado	Indeterminado	Indeterminado
MÉDIA			Indeterminado

Fonte: O autor

Grupo 3- atividade experimental com o bloco fechado não foi possível realizar o ensaio, o bloco sofria rotação antes de deslizar.

Quadro 6.9 – Superfície de contato EVA área máxima com dois blocos

Grupo 03 EVA Camurça área A, massa dobrada			
Medidas	Cateto adjacente	Cateto oposto	Tangente ângulo
01	1,0 cm	3,0 cm	3,00
02	2,0 cm	5,0 cm	2,50
03	3,0 cm	9,0 cm	3,00
04	3,0 cm	8,0 cm	2,67
05	3,0 cm	8,5 cm	2,83
06	4,0 cm	10,0 cm	2,50
07	5,0 cm	12,0 cm	2,40
MÉDIA			2,70

Fonte: O autor

Grupo 3- atividade experimental dados coletados com o bloco aberto sobre a rampa dobrando o valor da massa.

Quadros de resultados do Grupo 04

Quadro 6.10 – Superfície de contato Acrílico área máxima do bloco;

Medidas	Cateto adjacente	Cateto oposto	Tangente ângulo
01	15,5 cm	5,5 cm	0,35
02	20,0 cm	6,0 cm	0,30
03	20,0 cm	5,5 cm	0,28
04	15,0 cm	5,0 cm	0,33
05	25,0 cm	7,0 cm	0,28
06	20,0 cm	9,0 cm	0,45
07	10,0 cm	4,5 cm	0,45
08	15,0 cm	5,5 cm	0,37
09	10,0 cm	2,5 cm	0,25
10	20,0 cm	7,0 cm	0,35
MÉDIA			0,31

Fonte: O autor

Grupo 4- atividade experimental dados coletados com o bloco fechado sobre a rampa reduzindo a área pela metade.

Quadro 6.11 – Superfície de contato Acrílico área mínima do bloco;

Medidas	Cateto adjacente	Cateto oposto	Tangente ângulo
01	15,0 cm	6,5 cm	0,43
02	10,0 cm	3,0 cm	0,30
03	15,0 cm	5,0 cm	0,33
04	20,0 cm	8,0 cm	0,40
05	25,0 cm	8,5 cm	0,34
MÉDIA			0,36

Fonte: O autor

Grupo 4- atividade experimental dados coletados com o bloco aberto sobre a rampa.

Quadro 6.12 – Superfície de contato Acrílico área máxima com dois blocos

Grupo 04 Acrílico A, massa dobrada			
Medidas	Cateto adjacente	Cateto oposto	Tangente ângulo
01	5,0 cm	1,5 cm	0,30
02	10,0 cm	2,5 cm	0,25
03	15,0 cm	4,5 cm	0,30
04	20,0 cm	5,0 cm	0,25
MÉDIA			0,28

Fonte: O autor

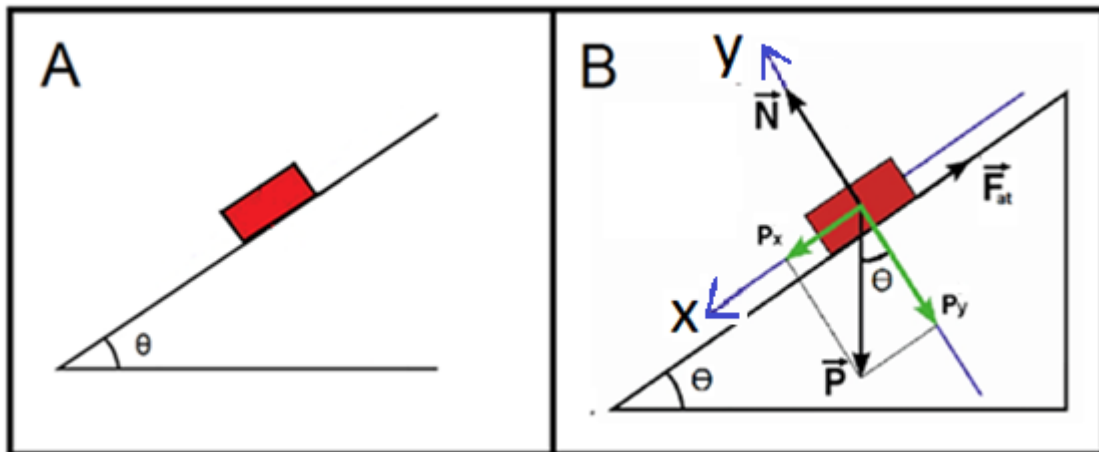
Grupo 4- atividade experimental dados coletados com o bloco aberto sobre a rampa dobrando o valor da massa.

As informações serão levadas para o segundo encontro para discutir criticamente, permitindo avançarmos para um novo estágio que é a determinação do coeficiente de atrito em uma SBR-A.

7 SEGUNDO ENCONTRO, UTILIZAÇÃO DA SBR-A:

No segundo encontro foi entregue para os alunos as tabelas, descritas anteriormente, que reunia todos os dados por eles coletados no primeiro encontro, e foi calculado o valor médio da medição de cada cenário analisado por eles. Nesse dia foi retomada a expressão que determina o módulo da força de atrito estático $|\vec{F}_{at}| = \mu|\vec{N}|$, que se trata de uma aproximação a partir de uma lei empírica. Para contextualizar retornamos à primeira demanda: “Identifique as forças presentes no sistema bloco-rampa”, a partir desse questionamento formalizamos no quadro a decomposição vetorial das forças, a partir de uma construção coletiva, conforme apresentado na Fig. 14.

Figura 14 – Representação do diagrama de forças



Fonte: O autor

A Representação do sistema massa bloco, B Representação da distribuição das forças no sistema.

Juntos fomos desenvolvendo uma linha de raciocínio a partir do equacionamento das forças partindo da Segunda Lei de Newton para finalmente impor a condição de equilíbrio das forças dada por $\sum \vec{F} = \vec{0}$.

Conforme está demonstrado na Fundamentação Teórica na seção 2.2

Ao término da dedução, gradativamente, os alunos começaram a perceber que na própria expressão a massa se cancelava, também se deram conta que a área dos blocos se quer era relacionada a dedução. Por fim, o que julgo de extrema relevância, os alunos visualizaram na expressão que o coeficiente de atrito de cada material é a própria tangente, o ângulo. Tomaram consciência da importância de determinar exatamente qual é o ângulo de inclinação da SBR-M e mais, puderam perceber que utilizando as relações trigonométricas quando calcularam a tangente do ângulo, ali na

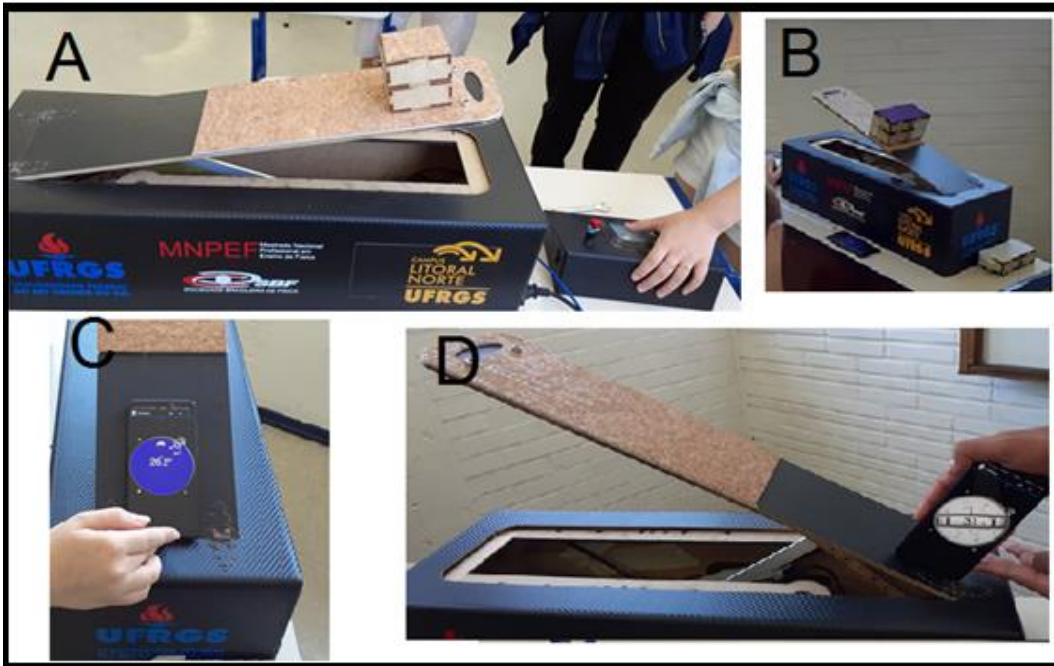
medição indireta do ângulo, conseguiram obter o valor do próprio coeficiente de atrito. Os alunos alcançaram um grau de entendimento da experimentação que permitiu a adoção da SBR-A. Esse foi um momento em que os alunos atingem um patamar de intimidade com a atividade experimental que possibilita autonomia para operam a SBR-A, sendo que esse apresenta uma menor dispersão dos resultados. Os alunos terão então condições para concentrar de fato suas atenções em testar hipótese, norteadas a partir de temas geradores relacionadas a força de atrito estático. Foi o momento em que os alunos tiveram a possibilidade de verificar o comportamento da força de atrito reduzindo a área de contato a metade, ou o comportamento da força de atrito dobrando a massa do bloco. Nesse estágio cada grupo voltou a utilizar as mesmas superfícies de contato analisada na SBR-M só que agora instalada SBR-A sem haver o rigor com a operação manual, uma vez que a SBR-A opera automatizada, demonstrada na Fig. 15, SBR-A possui comandos que permiti aos alunos um controle total do equipamento. A SBR-A foi manipulada pelos alunos com o auxílio de um joystick, desse modo os alunos tiveram autonomia para controlar todos os comandos do equipamento, sendo ele responsável por interromper a elevação da rampa, quando perceber o início de movimento do bloco. Essa operação tem como principal característica a detecção visual do evento pelo aluno, a saber o início do deslizamento do bloco.

Figura 15 – SBR-A



Fonte: O autor
Imagens diversas da SBR-A com as superfícies distintas

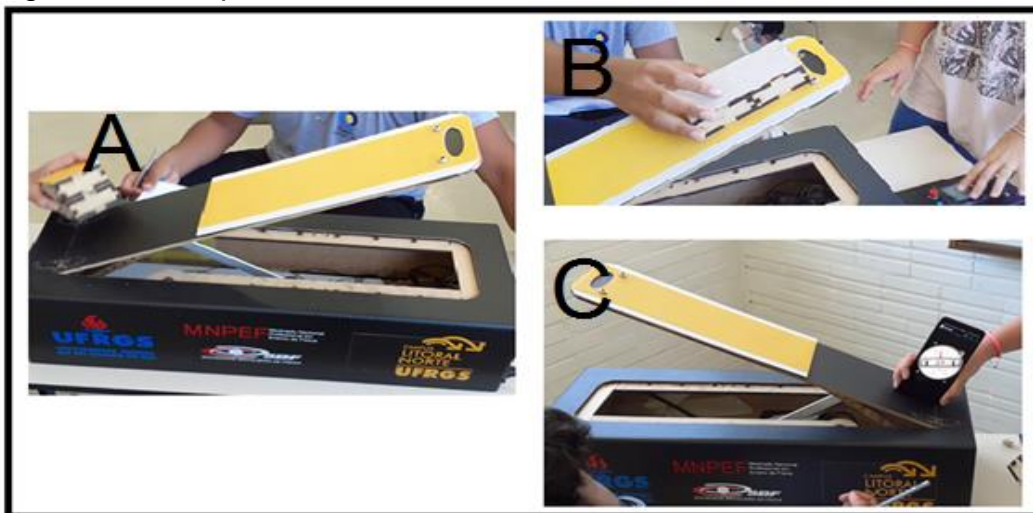
Figura 16 – Grupo 01 testando hipóteses para superfície -Cortiça



Fonte: O autor

A analisando com a área reduzida; -B massa duplicada; -C medindo o ângulo durante a elevação;-D Medindo ângulo após o bloco deslizar.

Figura 17 – Grupo 02



Fonte: O autor

A analisando com a área reduzida; -B área total; -C Medindo ângulo após o bloco deslizar.

Figura 18 – Grupo 03



Fonte: O autor

A visualização do sistema eletrônico interno da rampa; -B massa duplicada; -C Medindo ângulo após o bloco deslizar; -D área total.

8 RESULTADO E DISCUSSÃO

Para avaliar o desempenho da rampa foram realizadas 15 medições para cada cenário, em que os dados obtidos correspondem ao ângulo de inclinação da rampa com a horizontal, esses valores foram determinados no instante em que o bloco começa a deslizar sobre a superfície de contato. Esse processo de avaliação da rampa foi realizado num laboratório, fora das atividades escolares. Essas avaliações foram aplicadas em seis cenários os quais estão detalhados na tabela 01.

Os itens, a seguir, são as informações que compõe os cenários:

- a) Material: material de contato utilizado durante a experimentação;
- b) Área do Bloco: Bloco Aberto → área máxima (A máx.)
Bloco fechado → área mínima (A min);
- c) 1 Bloco: massa mínima (M min): 2 Blocos empilhados: massa máxima (M máx.)
- d) Velocidade de elevação da rampa: baixa² (Vr baixa) ou moderada³ (Vr Mod)

8.1 Resultados com a superfície de contato Acrílico - Acrílico

Tabela 01- Descrição dos cenários

Cenário	Material	Área do bloco	Massa do bloco	Velocidade de elevação
01	Acrílico	Mínima	Mínima	Baixa
02	Acrílico	Máxima	Mínima	Baixa
03	Acrílico	Máxima	Máxima	Baixa
04	Acrílico	Mínima	Mínima	Moderada
05	Acrílico	Máxima	Mínima	Moderada
06	Acrílico	Máxima	Máxima	Moderada

Fonte: Autor

² Velocidade de elevação da rampa controlada por um potenciômetro na posição 04.

³ Velocidade de elevação da rampa controlada por um potenciômetro na posição 08.

Tabela 02- Resultados dos experimentos nos diferentes cenários

Ensaio	Inclinação Cenário 01	Inclinação Cenário 02	Inclinação Cenário 03	Inclinação Cenário 04	Inclinação Cenário 05	Inclinação Cenário 06
01	19,6°	21,2°	22,1°	23,1°	22,1°	22,4°
02	21,1°	18,3°	17,9°	23,5°	24,2°	24,6°
03	21,8°	23,1°	22,1°	24,8°	25,8°	23,5°
04	18,1°	20,5°	19,6°	24,6°	24,6°	23,1°
05	20,0°	18,0°	23,1°	22,4°	23,8°	22,3°
06	20,8°	23,4°	18,8°	21,9°	22,5°	22,4°
07	19,9°	19,3°	21,5°	23,4°	24,7°	24,1°
08	21,7°	20,2°	19,5°	24,1°	22,3°	23,9°
09	23,1°	19,8°	20,3°	23,7°	21,9°	24,5°
10	20,3°	19,4°	21,5°	24,1°	24,5°	22,8°
11	22,3°	21,1°	19,8°	22,9°	23,9°	23,5°
12	23,1°	22,5°	22,7°	23,1°	23,4°	24,2°
13	18,5°	23,2°	22,9°	24,4°	22,7°	23,6°
14	18,9°	19,8°	18,7°	22,8°	23,1°	21,9°
15	19,3°	19,5°	18,9°	23,5°	24,1°	23,4°

Fonte: Autor

Tabela 03- Parâmetros estatísticos correspondentes aos dados coletados nos seis cenários

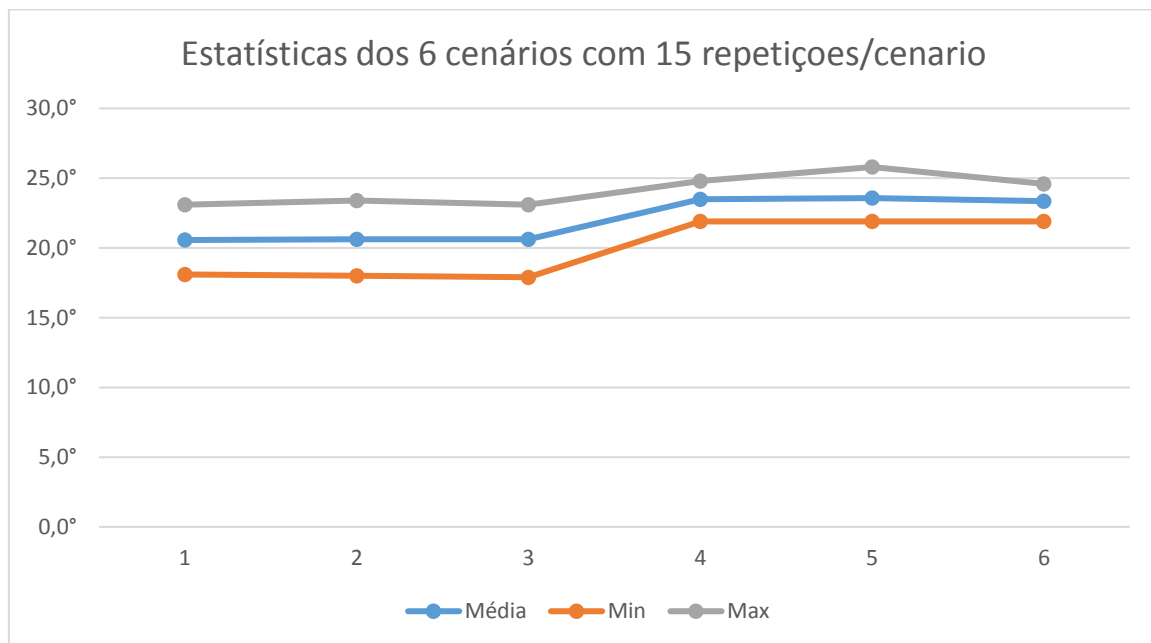
Ensaio	Valores Cenário 01	Valores Cenário 02	Valores Cenário 03	Valores Cenário 04	Valores Cenário 05	Valores Cenário 06
Valor Mínimo	18,1°	18,0°	17,9°	21,9°	21,9°	21,9°
Valor Médio	20,6°	20,6°	20,6°	23,5°	23,6°	23,3°
Valor Máximo	23,1°	23,4°	23,1°	24,8°	25,8°	24,6°

Variância	2,54	3,06	3,00	0,67	1,27	0,71
Desvio Padrão	1,59	1,75	1,73	0,82	1,13	0,84
Coef. de Var.	8%	8%	8%	3%	5%	4%

Fonte: Autor

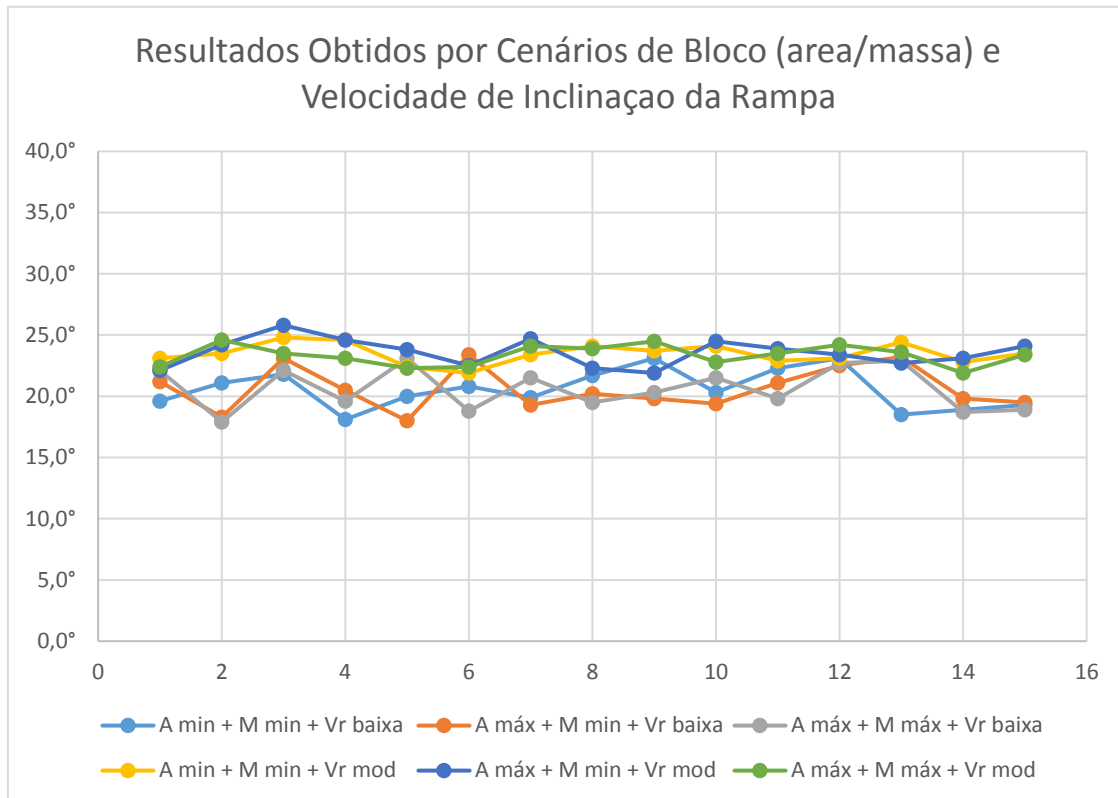
8.1.1 Gráfico dos Resultados por Cenário da superfície de contato Acrílico – Acrílico

Gráfico 8.1 - Estatísticas dos 6 cenários com 15 repetições cada



Fonte: Autor

Gráfico 8.2 - Resultados Obtidos por todos os Cenários



Fonte: Autor

8.2 Resultados com a superfície de contato Cortiça - Cortiça

Tabela 03- Descrição dos cenários

Cenário	Material	Área do bloco	Massa do bloco	Velocidade de elevação
01	Cortiça	Mínima	Mínima	Baixa
02	Cortiça	Máxima	Mínima	Baixa
03	Cortiça	Máxima	Máxima	Baixa
04	Cortiça	Mínima	Mínima	Moderada
05	Cortiça	Máxima	Mínima	Moderada
06	Cortiça	Máxima	Máxima	Moderada

Fonte: Autor

Tabela 04- Resultados dos experimentos nos diferentes cenários

Ensaio	Inclinação Cenário 01	Inclinação Cenário 02	Inclinação Cenário 03	Inclinação Cenário 04	Inclinação Cenário 05	Inclinação Cenário 06
01	35,6°	32,7°	33,7°	35,9°	36,2°	33,9°
02	32,9°	29,6°	34,4°	36,5°	37,1°	32,1°
03	34,9°	33,7°	35,1°	32,3°	35,9°	31,1°
04	31,5°	35,0°	34,2°	34,9°	36,3°	33,7°
05	35,9°	32,4°	35,1°	35,2°	37,5°	34,2°
06	36,1°	33,5°	33,6°	36,1°	36,2°	32,6°
07	35,6°	34,5°	34,1°	34,9°	35,4°	33,4°
08	34,8°	36,1°	35,2°	33,5°	33,9°	34,1°
09	36,0°	32,8°	33,4°	36,1°	35,8°	32,9°
10	35,8°	33,4°	36,1°	35,9°	36,2°	33,9°
11	35,7°	33,7°	34,5°	35,8°	36,4°	34,7°
12	34,4°	34,4°	34,0°	33,9°	35,6°	31,9°
13	36,3°	34,2°	35,4°	34,5°	33,8°	32,8°
14	35,8°	33,7°	33,9°	35,4°	35,7°	34,5°
15	35,9°	34,5°	35,4°	33,8°	36,1°	33,6°

Fonte: Autor

Tabela 05- Parâmetros estatísticos correspondentes aos dados coletados nos seis cenários

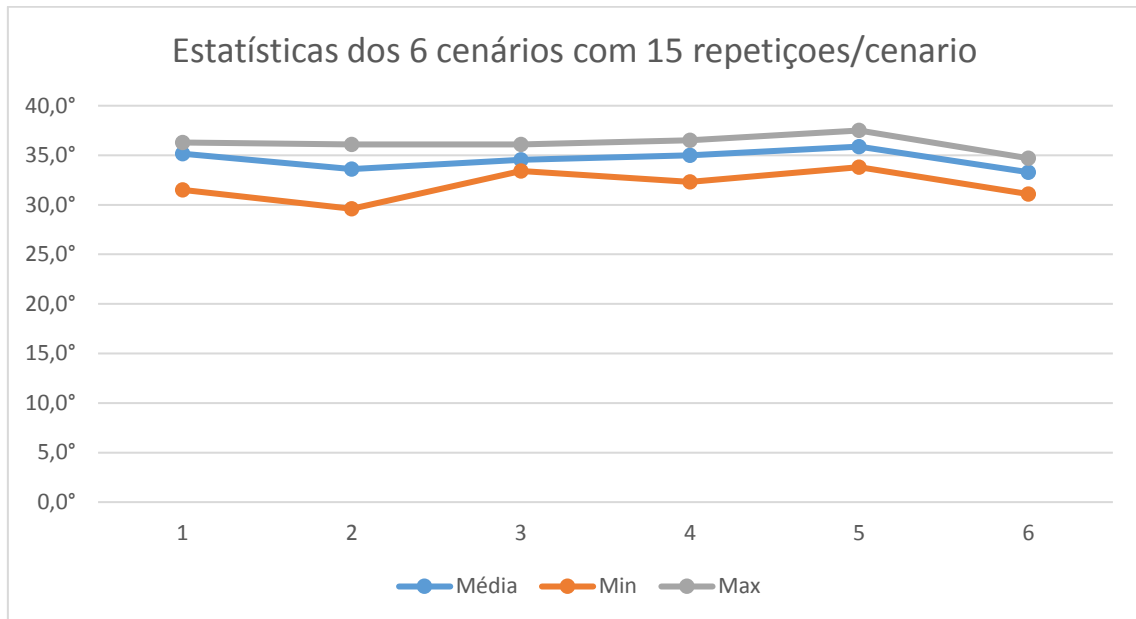
Ensaio	Valores Cenário 01	Valores Cenário 02	Valores Cenário 03	Valores Cenário 04	Valores Cenário 05	Valores Cenário 06
Valor Mínimo	31,5°	29,6°	33,4°	32,3°	33,8°	31,1°
Valor Médio	35,1°	33,6°	34,5°	35,0°	35,9°	33,3°
Valor Máximo	36,3°	36,1°	36,1°	36,5°	37,5°	34,7°
Variância	1,77	2,13	0,64	1,40	0,96	1,07
Desvio Padrão	1,33	1,46	0,80	1,18	0,98	1,03

Coef. de variação	4%	4%	2%	3%	3%	3%
-------------------	----	----	----	----	----	----

Fonte: Autor

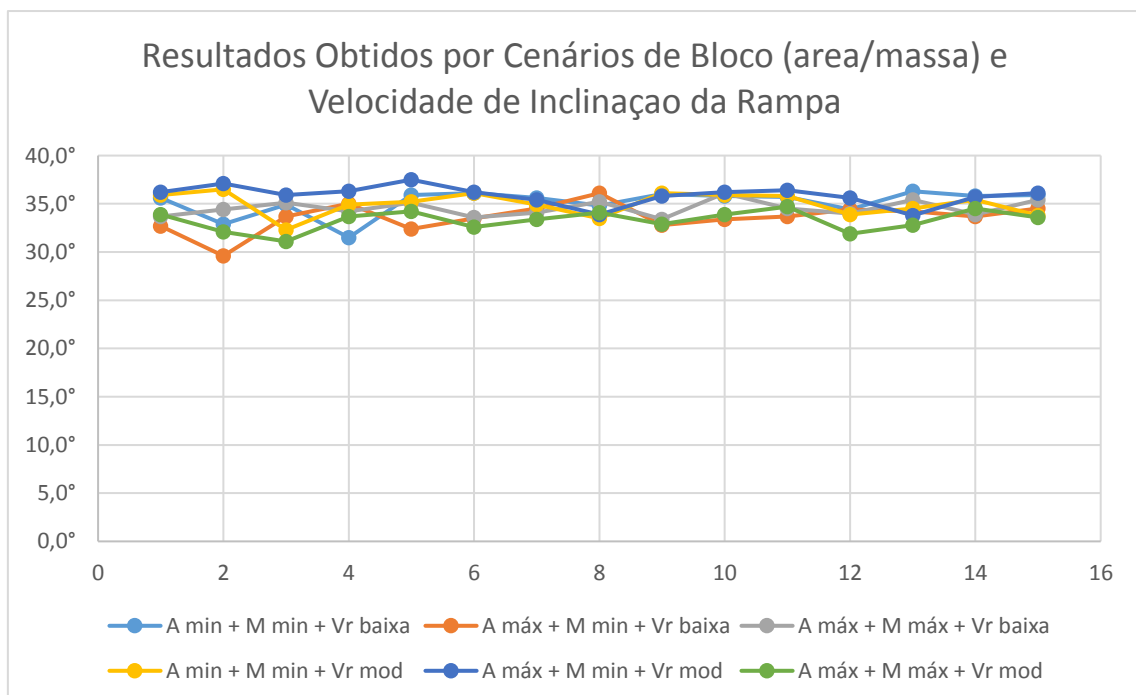
8.2.1 Gráfico dos Resultados por Cenário da superfície de contato Cortiça - Cortiça

Gráfico 8.3- Estatísticas dos 6 cenários com 15 repetições cada



Fonte: Autor

Gráfico 8.4 - Resultados Obtidos por todos os Cenários



Fonte: Autor

8.3 Resultados com a superfície de contato Lixa- Lixa

Tabela 07- Descrição dos cenários

Cenário	Material	Área do bloco	Massa do bloco	Velocidade de elevação
01	Lixa	Mínima	Mínima	Baixa
02	Lixa	Máxima	Mínima	Baixa
03	Lixa	Máxima	Máxima	Baixa
04	Lixa	Mínima	Mínima	Moderada
05	Lixa	Máxima	Mínima	Moderada
06	Lixa	Máxima	Máxima	Moderada

Fonte: Autor

Tabela 08- Resultados dos experimentos nos diferentes cenários

Ensaio	Inclinação	Inclinação	Inclinação	Inclinação	Inclinação	Inclinação
	Cenário 01	Cenário 02	Cenário 03	Cenário 04	Cenário 05	Cenário 06
01	31,5°	25,5°	25,8°	27,5°	26,1°	25,7°
02	27,8°	29,7°	28,1°	30,3°	29,2°	30,2°
03	32,9°	25,8°	25,7°	26,2°	24,2°	25,2°
04	26,7°	23,6°	28,5°	25,5°	24,7°	28,7°
05	23,8°	25,0°	25,3°	29,4°	28,4°	29,4°
06	30,6°	27,2°	28,3°	30,1°	27,7°	26,5°
07	25,7°	30,4°	26,9°	28,8°	30,1°	25,8°
08	24,5°	24,7°	26,9°	28,7°	31,2°	23,9°
09	28,0°	26,1°	26,1°	26,5°	28,2°	26,3°
10	31,9°	26,8°	25,6°	29,4°	24,9°	25,8°
11	31,9°	27,0°	25,5°	25,2°	27,5°	27,1°
12	25,6°	23,8°	23,8°	26,3°	23,9°	28,4°
13	26,9°	27,4°	29,8°	28,4°	24,5°	23,9°
14	25,9°	24,1°	28,5°	30,2°	24,8°	25,8°
15	23,9°	23,4°	26,8°	27,8°	25,7°	26,0°

Fonte: Autor

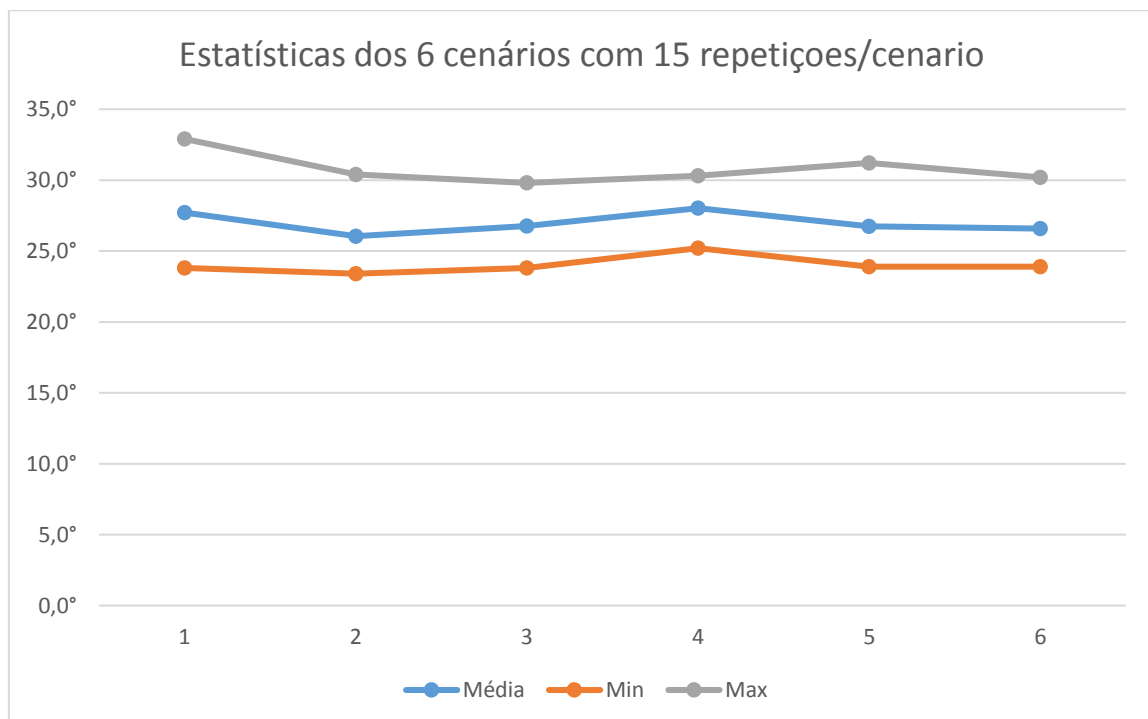
Tabela 09- Parâmetros estatísticos correspondentes aos dados coletados nos seis cenários

Ensaio	Valores	Valores	Valores	Valores	Valores	Valores
	Cenário 01	Cenário 02	Cenário 03	Cenário 04	Cenário 05	Cenário 06
Valor Mínimo	23,8°	23,4°	23,8°	25,2°	23,9°	23,9°
Valor Médio	27,7°	26,0°	26,8°	28,0°	26,7°	26,6°
Valor Máximo	32,9°	30,4°	29,8°	30,3°	31,2°	30,2°
Variância	8,94	4,40	2,56	3,04	5,43	3,46
Desvio Padrão	2,99	2,10	1,60	1,74	2,33	1,86
Coef. de Var.	11%	8%	6%	6%	9%	7%

Fonte: Autor

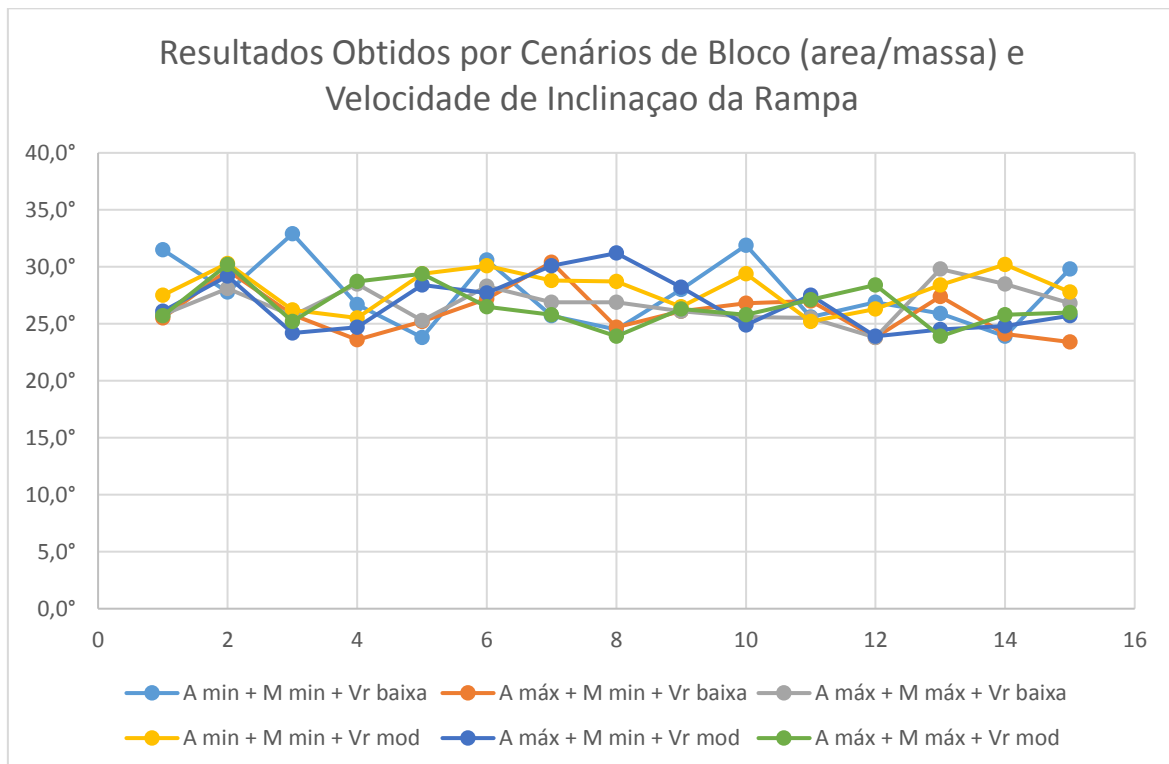
8.3.1 Gráfico dos Resultados por Cenário da superfície de contato Lixa- Lixa

Gráfico 8.5 - Estatísticas dos 6 cenários com 15 repetições cada



Fonte: Autor

Gráfico 8.6- Resultados Obtidos por todos os Cenários



Fonte: Autor

Observando as medições de ângulos efetuadas para diferentes materiais, constatou-se de imediato, que as maiores dispersões em torno dos respectivos valores centrais ocorrem quando se utiliza blocos revestidos com lixas. Isso ocorre basicamente por dois motivos. Em primeiro lugar os valores típicos de rugosidade da superfície da lixa são de ordens de grandezas superior aos dos demais materiais. Isso significa que a rugosidade superficial, deveria a princípio, figurar explicitamente na definição da força de atrito, entretanto nessa definição está presente apenas um coeficiente de atrito μ , cuja dependência com a rugosidade não é especificada. Em suma, o parâmetro μ depende apenas do material da superfície, e não do próprio grau de acabamento superficial.

Infelizmente, a inclusão da rugosidade como argumento adicional na definição da força de atrito não resultaria em uma melhoria significativa no modelo matemático. Ocorre que o aumento do valor médio da rugosidade também implica na maior dispersão entre os próprios valores locais dessa grandeza. Essa característica por si só já produz diferenças consideráveis entre os relevos de diferentes corpos de provas

cujos valores médios dessa propriedade são considerados idênticos. Resta, portanto, apenas padronizar os corpos de provas nesse sentido, isto é, atingir o maior grau de uniformidade entre os valores médios da rugosidade superficial para diferentes corpos de prova. Entretanto o principal inconveniente de fornecer um acabamento superficial uniforme reside no seguinte fato: esse procedimento não pode ser aplicado as próprias lixas, uma vez que isso descaracterizaria o material de teste. De fato, o inconveniente relativo a ausência explícita da rugosidade no modelo matemático, sempre motivou a refinar o acabamento superficial dos corpos de prova utilizados neste tipo de ensaio. Como exemplo, no século XV, Leonardo Da Vinci (1452-1519) efetuava um polimento cuidadoso em todas as superfícies a analisar, a fim de obter um coeficiente de atrito único para cada material empregado.

Em segundo a fragilidade do material que constitui a lixa provoca paulatinamente um processo de degradação que prejudica a repetição do experimento utilizando o mesmo corpo de prova. Entretanto, mesmo considerando a possibilidade de produzir dados atípicos ao utilizar corpos de prova revestidos com lixa, os resultados obtidos se revelaram bastante razoáveis no que diz respeito a reprodutibilidade esperada.

9 CONCLUSÃO

O procedimento experimental realizado durante a aplicação do produto educacional e a respectiva discussão podem ser sumarizados da seguinte maneira:

i) O fato de haver duas etapas de investigação, sendo uma delas referente a manipulação do modelo manual e a segunda envolvendo o emprego de um aparelho mais sofisticado, atingiu o objetivo de proporcionar duas formas complementares de interação entre os estudantes e o aparato. A primeira proporcionou familiaridade com equipamento manual, que por ser de baixo custo deixou os estudantes a vontade para gerar diversos cenários físicos. Nessa etapa se fez necessário a cooperação de vários elementos do grupo, uma vez que a versão manual do aparelho exige uma intensa e coordenada operação. Já na segunda etapa, com o emprego do equipamento automatizado, o foco principal se tornou mais investigativo, pois os alunos passaram a se concentrar em testar hipóteses, não havendo qualquer preocupação com detalhes operacionais do equipamento.

ii) Embora a rampa automatizada permitisse a obtenção de resultados cuja dispersão em torno de um valor típico resulta inferior ao desvio obtido via equipamento manual, convém ressaltar que o objetivo final da experimentação não consiste na criação de um equipamento de alta precisão, mas sim chamar a atenção dos alunos para a necessidade de obter medidas progressivamente mais confiáveis.

iii) Ao contrário da abordagem tradicional em laboratório, que em geral provoca constrangimento nos alunos por se depararem com equipamentos sofisticado e presumidamente caros, a sequência didática proposta prima pelo rompimento dessa barreira, fazendo com que abordagem preliminar se torne participativa, interativa e acima de tudo agradável. Assim, a execução da primeira etapa prepara o aluno de maneira natural para a segunda, estimulando a curiosidade dos participantes e os incentivando a prosseguir refinando sua forma de observar o mesmo fenômeno. Isso resulta numa análise mais criteriosa dos dados coletados do que na etapa anterior a qual constituía uma operação meramente mecânica.

A concepção de ambas as rampas sofreu influência considerável da breve análise histórica apresentada, bem como da dedução da expressão que define o coeficiente de atrito em termos do ângulo formado entre a superfície da rampa e a horizontal. Esses dois pré-requisitos fundamentais chamaram a atenção para o seguinte fato:

Estimar o valor do coeficiente de atrito, via medição do ângulo formado entre superfície da rampa e a horizontal, constitui uma forma intuitiva de integrar o conhecimento teórico já disponível com a verificação experimental direta. Entretanto o projeto e construção dos equipamentos foi também norteado por quatro diretrizes adicionais, de apreciável importância:

O grau de automação do equipamento, o baixo custo dos respectivos componentes, a versatilidade e portabilidade da rampa SBR-A.

No que diz respeito a versatilidade do equipamento, convém destacar que a SBR-A pode ser também utilizada em diversos outros ensaios:

- A) Avaliação da aceleração gravitacional;
- B) Experimentos envolvendo as três leis de Newton;
- C) Localização do centro de gravidade de corpos de prova;
- D) Estimação do momento de inércia de corpos sólidos de formato arbitrário;
- E) Decomposição de força em suas componentes normal e tangencial.

Com relação a portabilidade, a rampa pode ser facilmente transportada e instalada em qualquer sala cuja a área seja superior a 10m^2 , desde que provida de rede elétrica. Do ponto de vista educacional, as duas etapas de investigação que foram executadas em diferentes equipamentos, tiveram como objetivo integrar os pontos de vista analítico e intuitivo em uma única estrutura cognitiva indissociável. Na primeira etapa os alunos manipulam a rampa simplificada a fim de ganhar intuição visual e habilidade de manipulação, estimulando o hemisfério direito do cérebro, responsável basicamente pelo aspecto intuitivo da abordagem. Já na segunda etapa o foco principal do experimento é centrado em aspectos quantitativos e analíticos, correspondentes à atribuição essencial do hemisfério esquerdo do cérebro. Finalmente a análise da dispersão dos valores do coeficiente de atrito em função do ângulo formado entre a rampa e a horizontal proporciona uma conexão fundamental entre estes dois pontos de vista. Em resumo, esses procedimentos providos da conexão lógica fornecida pela análise dispersão proporcionam aos alunos a oportunidade de aprimorar o raciocínio lógico e a habilidade de manipulação de equipamentos. Isto evita que sejam formados alunos exclusivamente formalistas, que manipulam expressões matemáticas, sem plena consciência do seu significado, e bem como alunos meramente empirista, que muitas vezes adotam padrões operacionais sem qualquer preocupação com a minimização de erros.

REFERÊNCIAS

BORGES, A.T. NOVOS RUMOS PARA O LABORATÓRIO ESCOLAR DE CIÊNCIAS. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, V 19, n. 3, p. 291-313, São Paulo Novembro 2002.

FAGUNDES, Suzana M. K. Experimentação nas aulas de Ciências: um meio para a formação da autonomia? In: GALIAZZI, Maria do Carmo. **Construção curricular em Rede na Educação em Ciências**: uma proposta de pesquisa na sala de aula. Ijuí: UNIJUÍ, 2007.

FEYNMAN, Richard P. **As Lições de Física de Feynman**, Vol II

FEYNMAN, Richard P. **Aprendendo com a técnica de Feynman**. **Evernote/ <https://evernote.com>**. 21 de julho 2017 Disponível em: <https://evernote.com/blog/learning-from-the-feynman-technique/>. Acesso em: 07 de outubro 2020.

GASPAR, Alberto. **Física Mecânica**, 1ª Edição, São Paulo: Editora Ática. 2003.

HALLIDAY, David.; RESNICK, Robert.; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física, Volume 1- Mecânica**, 8ª Edição, Rio de Janeiro: Livros Técnico e Científicos Editora S.A. 2008.

Hencher, S.R.; **The effect of vibration on the friction between planar rock surfaces**. **PHD Thesis**, Imperial College London, 1977)

MENDONÇA, L.P.; **Força de Atrito: Um experimento didático com recursos de mídias**. Universidade Federal de São Carlos, 2010.

PALMER, F. 'What about friction?' **American Journal of Physics**. Vol.17, pp 181, (1949) <https://doi.org/10.1119/1.1989546> acesso em: 28 de março 2021

RAMOS, L.S.; ANTUNES, F.; SILVA, L.H.A. Concepções de professores de Ciências sobre o ensino de Ciências. **Revistada SBEnBio**, n.3, p.1666-1674, out. 2010.

SEARS, Francis.; ZEMANSKY, Mark W.; YOUNG, Hugh D. **Física Mecânica da Partícula e dos Corpos Rígidos**, 2ª Edição, Rio de Janeiro: Livros Técnico e Científicos Editora S.A. 1999.

SILVA, L.H. de A.; ZANON, L.B. **Experimentação no ensino de ciências**. In: SCHNETZLER, R.P.;

STUDART, Nelson F. Seção especial- Celebrando os 100 anos de nascimento de Richard P. Feynman. **Revista Brasileira Ensino de Física v 40, n. 4**, São Paulo 02 de julho 2018.

TIPLER, Paul. A.; MOSCA, Gene. **Física para Cientistas e Engenheiros**, 5ª Edição, Rio de Janeiro: Livros Técnico e Científicos Editora S.A 2006.

WERLANG, Rafael.B.; SILVEIRA, Fernando.L. A FÍSICA DOS PNEUMÁTICOS. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, V 30, n. 3, p. 614-627, São Paulo dezembro 2013.

APENDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL

PRODUTO EDUCACIONAL

**INTEGRANDO ASPECTOS TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE
FÍSICA ATRAVÉS DA INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA**

Deivid Luiz Pereira da Silva

Prof. Dr. Ederson Staudt
Orientador

Prof. Dr. Jorge Rodolfo Silva Zabadal
Coorientador

Tramandaí
Maio 2021

1 Objetivo do Produto Educacional:

O objetivo do produto educacional é constituir equipamento com adequado grau de precisão capaz de compor uma sequência didática que integra a teoria e a prática, de maneira que possa oportunizar ao estudante investigações tanto teóricas bem como experimentais em diferentes áreas de ensino da Física. No caso mais específico da presente aplicação do produto educacional reside em possibilitar aos estudantes alçar o máximo de consistência na interpretação da natureza da força de atrito.

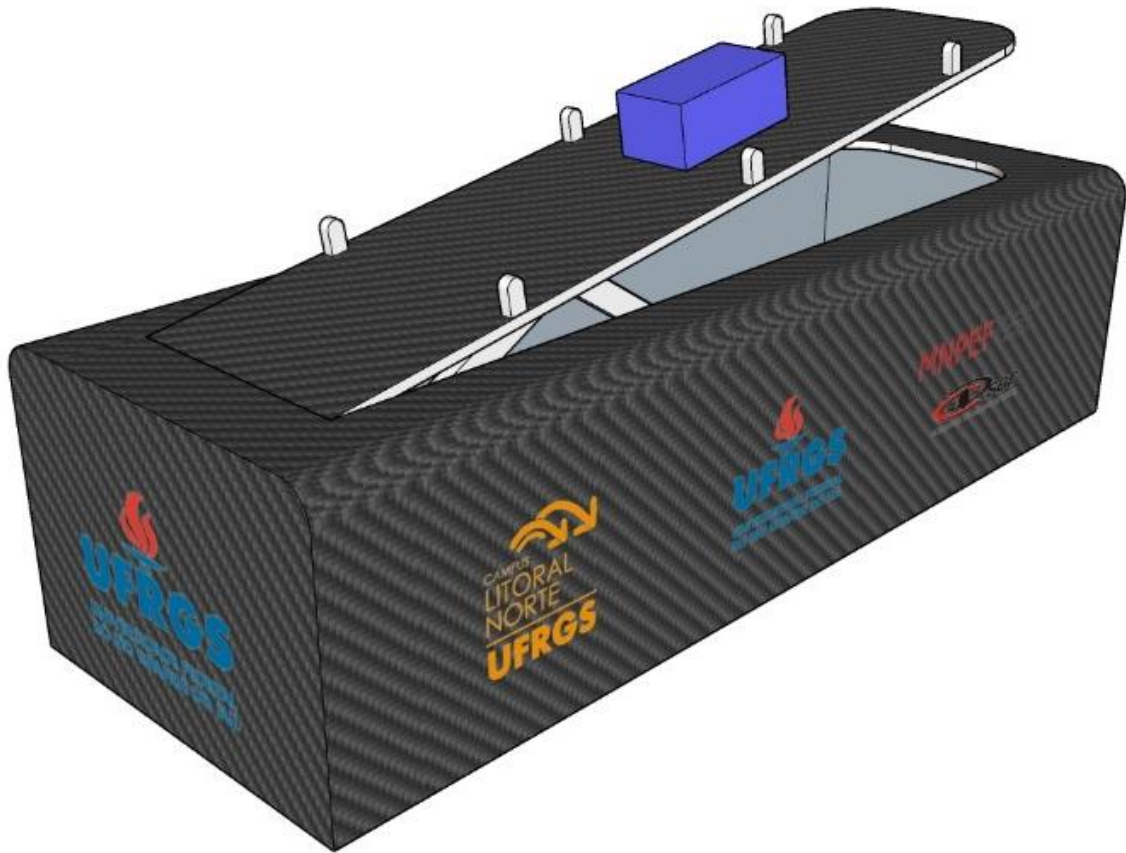
2 Descrição detalhada das ferramentas utilizadas na aplicação do produto educacional

Nesse sentido, passamos agora para a descrição detalhada dos equipamentos desenvolvidos. De partida, será considerada a versão automatizada no que se refere ao controle de sua inclinação, sendo um sistema bloco-rampa na versão automática (SBR-A). Na sequência veremos também a descrição do sistema bloco-rampa na versão manual (SBR-M), ou seja, que opera manualmente na sua totalidade e que, por sua vez, necessita de uma série de equipamentos auxiliares para a medição dos eventos presenciados pelos alunos.

2.1 Sistema Bloco-Rampa Versão Automatizada (SBR-A)

Essa versão do SBR-A descrita na Fig.01, irá operar a partir de botões de acionamento tanto no console quanto no controle remoto. Os comandos existentes permitirão o controle de elevação da rampa, através de sistemas de automação, capaz de acionar um motor de passo. Por exemplo, para que o eixo de elevação complete uma revolução, o motor recebe cerca de 200 pulsos elétricos o que então pode ser convertido para um número correspondente à altura de elevação. Já a detecção do evento, ou seja, o instante em que o bloco, disposto sobre a rampa, inicia o movimento, ocorrerá através do uso da radiação infravermelha, composto por um conjunto de diodo emissor-receptor, os quais serão descritos em detalhes posteriormente.

Figura 1 – Sistema bloco-rampa versão automatizada SBR-A

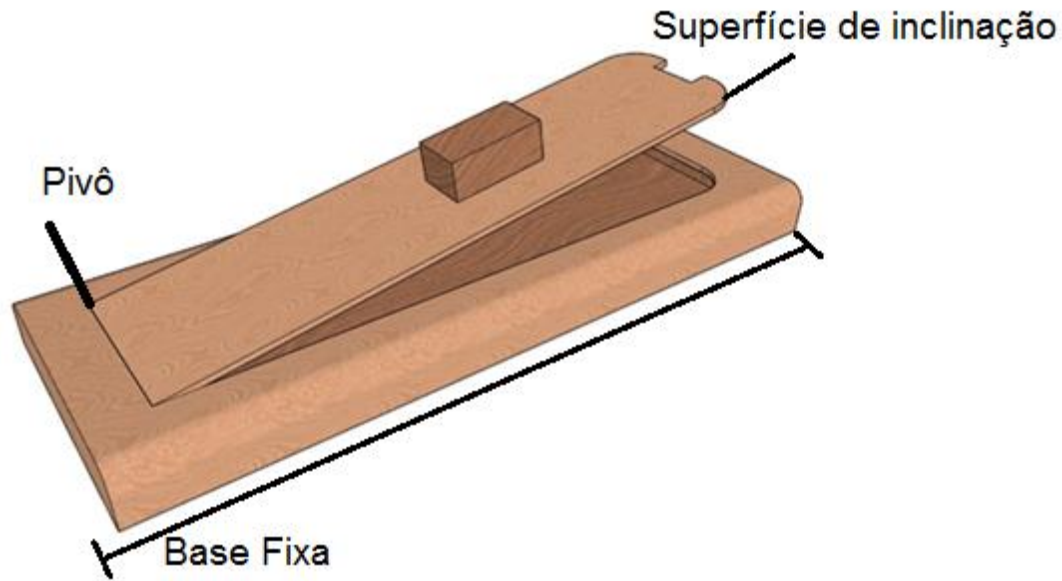


Fonte: O autor
SBR-A desenvolvida para utilização na experimentação

2.2 Sistema Bloco-Rampa Versão Manual (SBR-M)

SBR-M, é constituída basicamente de *medium density fiberboard* (MDF), e que se aproxima, de certo modo, ao modelo de atividades práticas utilizada tradicionalmente nos laboratórios de ensino de física, inclusive no nível de graduação. Entretanto, ela se diferencia substancialmente, pois a superfície de inclinação permite facilmente acoplar diferentes materiais, como pode ser visto na fig. 02 e 03, para fins de estudos de diferentes coeficientes de atrito entre distintos materiais.

Figura 2 – Sistema Bloco-Rampa Versão Manual (SBR-M)



Fonte: O autor

Rampa em MDF cortado a laser com base fixa com superfície de inclinação

2.3 Acessórios

Independente da característica da rampa, seja SBR-A ou SBR-M, alguns dos acessórios descritos a seguir, serão utilizados em ambas. Trata-se de um conjunto de superfícies/placas intercambiáveis, constituídas de materiais de diferentes naturezas, por exemplo, lixa, cortiça, EVA, camurça e acrílico leitos. Estes sistemas placa-bloco, que serão utilizados na experimentação para determinar parâmetro da força de atrito.

2.3.1 Placas intercambiáveis.

Para realizar atividade de investigação do coeficiente de atrito estático é recomendado que se disponha de superfícies de contato intercambiáveis com as seguintes naturezas:

Tabela 01 – Superfícies de contato;

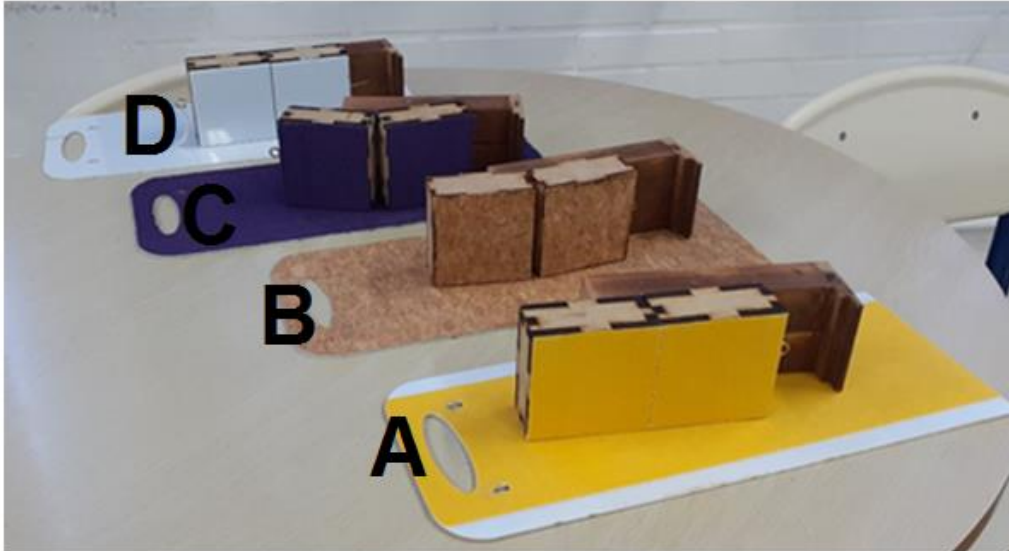
Identificação	Material	Identificação	Material
A	LIXA para madeira	C	EVA Camurça
B	Lâmina de cortiça	D	Acrílico Leitoso

Fonte: autor

Conforme pode ser visto na Fig. 03.

NOTA: estes materiais citados são de livre escolha dos professores que irão aplicar a o produto educacional.

Figura 3 – Conjuntos de superfícies de contato placa-bloco

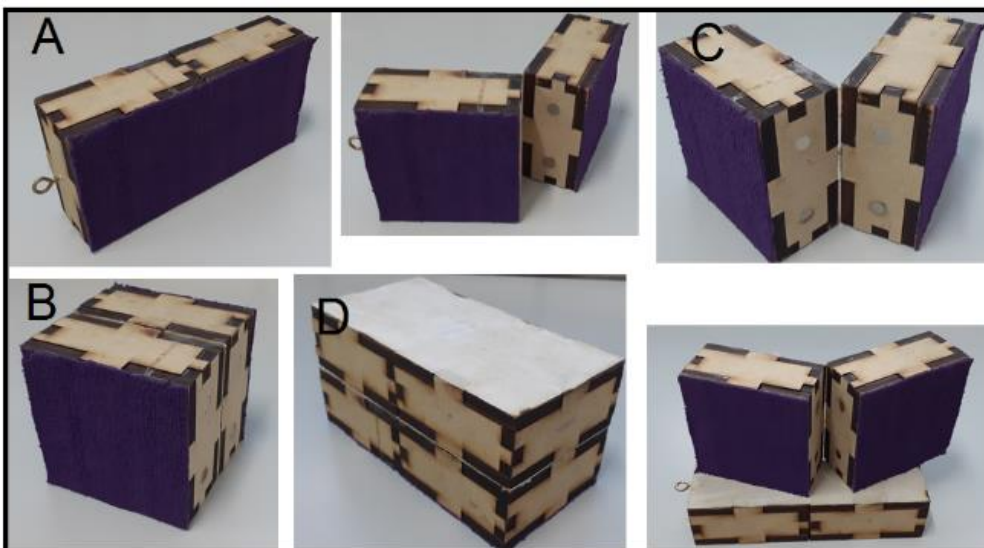


Fonte: O autor

2.3.2 Blocos articulados

Os blocos articulados são confeccionados em MDF. A articulação no bloco serve para possibilitar ao operador reduzir à área a metade ou duplicar a área de contato do bloco com a prancha, sem alterar a sua massa. Adicionalmente a este aspecto os blocos possuem encaixes que permitem o empilhamento deles, possibilitando assim o observador manter a área de contato dobrando a massa.

Figura 04 – blocos articulados



Fonte: O autor

A – Bloco aberto; B – Bloco fechado; C - Imãs que auxiliam na abertura do bloco; D – Blocos empilhados

2.3.3 Esquadro com transferidor acoplado

Juntamente com a SBR-M foi concebido um esquadro em MDF com transferidor acoplado, conforme mostrado na Fig. 5. Essa ferramenta possibilita ao estudante explorar diferentes aspectos no processo de medição, permitindo assim que a aquisição de dados seja mais facilitada.

Figura 05 – Esquadro com transferidor acoplado



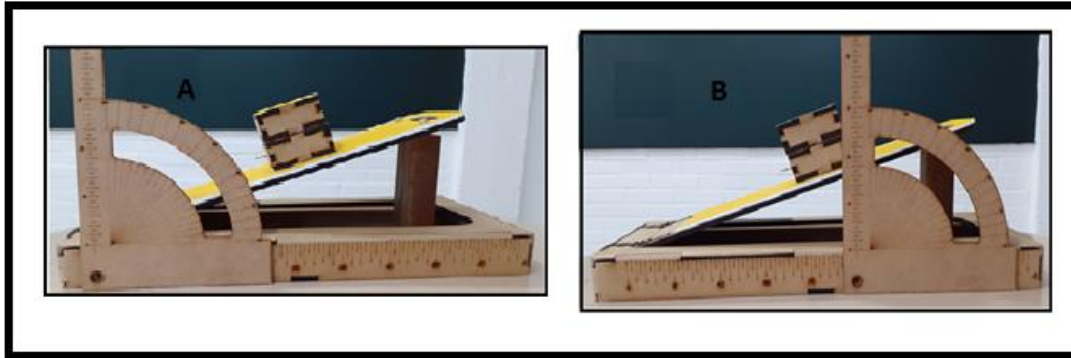
Fonte: O autor

A ferramenta pode ser utilizada de diferentes maneiras, uma delas permite ao estudante realizar a medição direta do ângulo, enquanto uma outra possibilita a determinação do ângulo indiretamente.

Para realizar a medição direta, o orifício localizado na base do esquadro deve ser fixado junto a origem da SBR-M, conforme descrito na Fig.6A, desse modo determinará o ângulo de inclinação da rampa, a escala de medição é subdividida em 5°.

O uso do esquadro também permite determinar o ângulo indiretamente, conforme mostrado na Fig.6B Nesse método de medição, o valor do ângulo é obtido através de relações trigonométricas. Essa medição indireta apresenta uma maior precisão na obtenção dos dados, comparado com a medição direta.

Figura 06 – Esquadro com transferidor acoplado



Fonte: O autor

A- Realizando a medição da inclinação direta, B- Realizando a medição Indireta,

3 Operação do equipamento

3.1 Operação da SBR-A:

A operação do equipamento automatizado ocorrerá de duas maneiras distintas: Modo local e Modo intermediário. Essas distinções do modo de operação possibilita um refinamento no uso de SBR-A para fins didáticos, possibilitando ao estudante perceber o erro aliado à parada do equipamento, no instante em que o bloco inicia o seu movimento relativo sobre a rampa, possibilitando ao aluno(a) um aprimoramento durante a realização da atividade.

3.1.2 Modo Local

Nesse modo os estudantes irão operar o equipamento controlando todos os comandos manualmente, com o auxílio de botões de acionamento, sendo eles responsáveis tanto pelo acionamento do motor, que inicia o processo de elevação, quanto pela parada do motor o qual cessa a elevação da rampa. Os estudantes deverão interromper a elevação da rampa, quando perceberem visualmente o início de movimento do bloco. Essa operação tem como principal objetivo a discussão dos possíveis erros de medida ou outras variáveis de interferência como, por exemplo, o tempo de reação e a dificuldade na detecção visual pelos estudantes do instante em que o bloco sai do repouso. Com relação a medida do ângulo de elevação da rampa, deverá ser realizada com o auxílio dos equipamentos auxiliares, um clinômetro ou um aplicativo no celular, *clinometer*. Essa operação constitui a maneira mais próxima de simular a versão simplificada.

3.1.3 Modo Intermediário

Esse modo permitirá aos estudantes terem o controle parcial do equipamento, ou seja, ainda requer intervenções manuais. A diferença entre o modo local e o modo intermediário, é a utilização do detector infravermelho que atuará finalizando o ensaio no momento em que o sinal for interrompido pelo movimento do objeto sobre a rampa conforme descrito na Fig. 07.

Ainda nesse modo os estudantes deverão proceder manualmente as medições dos ângulos de elevação.

Figura 07 – Conjunto para detecção de movimento diodo emissor-receptor

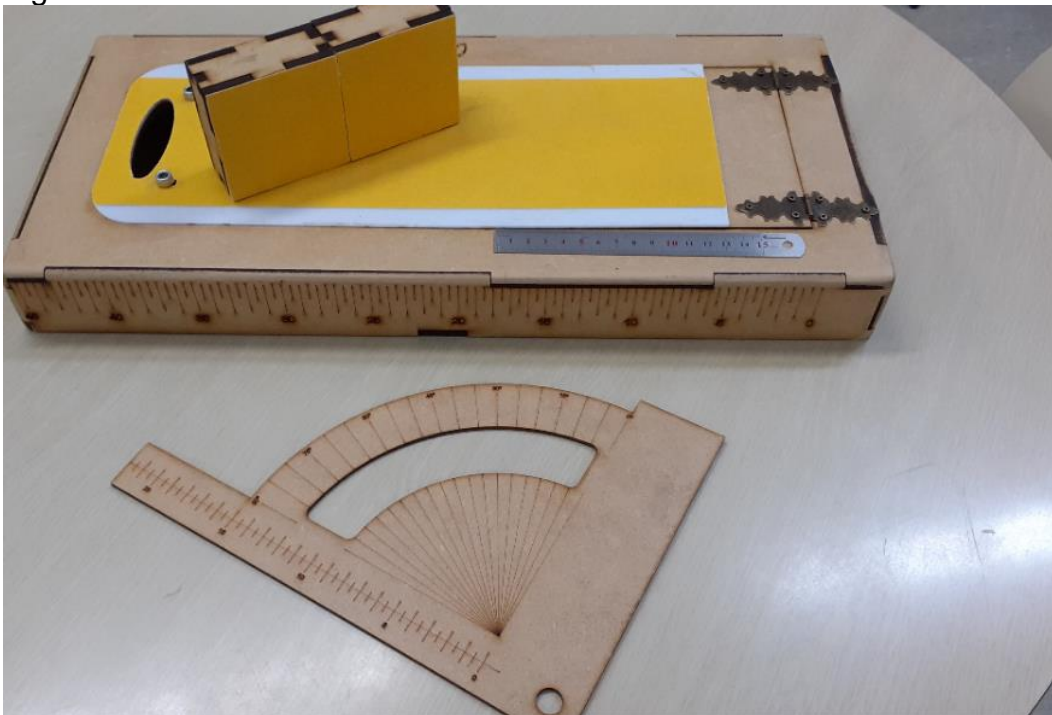


Fonte: O autor

3.2 Operação da SBR-M:

A operação da SBR-M será realizada com o auxílio de um esquadro com um transferidor acoplado, possibilitando aos estudantes realizarem as duas formas de medição para um mesmo estudo de caso. Poderão obter o ângulo de inclinação da rampa diretamente ou indiretamente.

Figura 08 – SBR-M



Fonte: O autor
Conjunto SBR-M com a placa intercambiável, bloco articulado e esquadro.

3.2.1 Obtenção do ângulo DIRETAMENTE:

Nesse modo é recomendado que pelo menos dois estudantes realizem essa atividade. O experimentalista deve posicionar o bloco sobre a rampa na posição inicial, na horizontal. A medida em que o estudante for inclinando a rampa, ele deverá cessar a elevação da mesma no instante em que o bloco iniciar o movimento relativo sobre a placa. O estudante responsável pela elevação, deve manter a rampa fixa na inclinação em que o bloco iniciou o movimento, enquanto que o outro participante deverá fixar o orifício do esquadro junto a origem da rampa, sendo essa coincidente ao pivô do sistema. Com isso será possível verificar o ângulo de inclinação da parte móvel da rampa, conforme ilustrado na Fig. 09

Figura 09 – SBR-M leitura direta



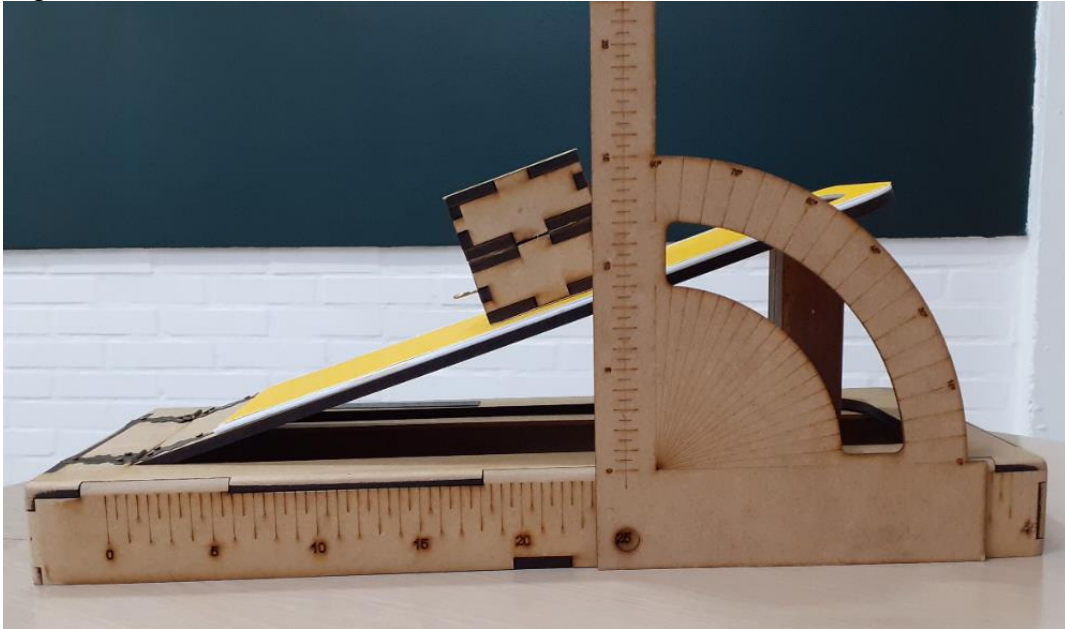
Fonte: O autor
Conjunto SBR-M com a placa intercambiável, bloco articulado e esquadro.

3.2.2 Obtenção do ângulo INDIRETAMENTE:

Nessa operação a quantidade mínima de estudantes é a mesma da determinação anterior. A obtenção indireta do ângulo de inclinação da parte pivotada da rampa acontecerá com o uso de trigonometria (referencial). Assim como na operação anterior, o/a estudante deverá cessar a elevação assim que o bloco deslizar sobre a rampa, o outro colega escolherá aleatoriamente um ponto para medir a altura e o orifício da base irá mostrar a distância da origem. Conforme a Fig. 10, em outras palavras, o esquadro representará o cateto oposto ao ângulo enquanto a base fixa da rampa representará o cateto adjacente a este ângulo. Com o uso de identidade

trigonométrica (identificar as identidades) os alunos obterão o ângulo de inclinação da rampa.

Figura 10 – SBR-M leitura indireta



Fonte: O autor

Conjunto SBR-M com a placa intercambiável, bloco articulado e esquadro.

4 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática corresponde a um plano de aula que auxilia o professor a aplicar uma ação integradora de teoria-experimento, num processo de iniciação a investigação científica, para aluno dos anos finais do ensino fundamental, bem como para alunos do ensino médio. Para uma boa integração da teoria-experimento é importante ressaltar, a relevância do emprego de um equipamento confiável nessa etapa da execução do roteiro. Portanto foram desenvolvidos alguns equipamentos para estes fins, os quais já foram descritos detalhadamente na seção anterior. Estes equipamentos possibilitarão aos estudantes testarem suas hipóteses num cenário em que apresentem resultados minimamente dispersos. O tema trabalhado nessa sequência didática trata de uma interpretação da força de atrito estático através da investigação científica.

4.1 Primeiro momento da atividade

Apresentar temas referentes a força de atrito estático, como forma de sondagem para compreender o grau de entendimento da turma. Para num segundo momento ampliar a discussão do tema trabalhado, sugere-se dividir a turmas em pequenos grupos de três a cinco alunos por rampas (SBR-M).

4.2 Apresentação de material a respeito da investigação científica

É recomendado realizar uma sondagem inicial a respeito de assuntos relacionados ao processo de investigação científica, munido de materiais teóricos a respeito desse assunto, preferencialmente com exemplos relacionando as forças presente no sistema rampa-bloco.

4.3 Contato inicial dos estudantes com a SBR-M

É o momento em que os grupos de estudantes fazem a escolha da superfície de contato que irão utilizar além do instrumento de medição (régua, transferido, esquadro, paquímetro e dinamômetro) todos esses instrumentos são de livre escolha dos estudantes.

Esta será a ocasião em que o professor possibilitará aos estudantes uma familiarização com o equipamento, além de propiciar uma maior interação entre os integrantes do grupo. É o momento que o professor tem para observar as ações dos

estudantes a partir da manipulação das ferramentas, presenciando assim a construção das ideias acerca do tema. Possibilitando ao professor verificar os conhecimentos prévios dos alunos referentes ao tema proposto.

4.4. Realizar a primeira determinação com o uso do SBR-M

Por se tratar de uma investigação científica, implementar a integração da teoria-experimento, nesse estágio não é aconselhado a utilização de um roteiro tradicional, o qual descreve o passo a passo, pois diminui o grau de liberdade dos estudantes durante a investigação dos fenômenos físicos presenciado por eles. A troca do roteiro tradicional se dará por temas geradores, norteando os estudantes no processo de investigação. Para uma melhor compreensão da atividade será necessário assumir algumas premissas iniciais, para o apropriado desenvolvimento da sequência didática.

Condições, hipóteses iniciais:

- i) O laboratório é um referencial inercial;
- ii) Sobre o bloco atua apenas força de atrito (entre as superfícies desconsiderar a força de resistência do ar), Força Normal e a força peso (da terra);
- iii) A rampa encontra-se na horizontal com o bloco sobre ela.

Essa atividade deve ocorrer a partir de temas geradores propostos por essa sequência didática:

4.4.1 Orientações para iniciar a experimentação

4.4.1.1 Identifique as forças presentes no sistema bloco-rampa.

No início da atividade a rampa encontra-se na horizontal com o bloco em repouso sobre ela. Essa primeira orientação deverá ser trabalhada em dois momentos com a turma, inicialmente serve para que os grupos discutam e identifiquem a presença de forças que atuavam sobre o bloco. No momento seguinte, a conversa deve ser entre todos os grupos, no momento dessa discussão é recomendado que o professor seja o mediador, lançando provocações à turma. O debate tem como propósito chegar a um consenso a respeito de quais forças estão presentes e como cada uma delas atuam e se distribuem nesse sistema. Para uma maior efetividade é necessário recorrer a literatura, para que de forma embasada com a teoria, o professor possa fornecer aos estudantes um suporte adequado, dando oportunidade para a turma ter condições de avançar na atividade, eliminando eventuais equívocos conceituais

discussão com toda turma, para que eles possam relatar qual a estratégia cada grupo adotou. É o momento em que os grupos relatam se obtiveram êxito ao realizar as medições com as ferramentas fornecidas. Devem ser realizados alguns questionamentos a respeito das características de cada ferramenta por eles escolhida:

- I) Quanto uma escolha equivocada de ferramenta interfere na obtenção das medições;
- II) Quais foram as limitações que a ferramenta escolhida apresentou;
- III) Se foi percebido pelos alunos se houve uma aquisição equivocada de dados;
- IV) Quanto essa aquisição equivocada pode interferir nos resultados final;
- V) Isso pode falsear uma hipótese verdadeira, ou mesmo o contrário.

São alguns exemplos de perguntas que podem ser feitas aos estudantes para seguir adiante na execução da sequência didática.

É esperado que nessa etapa inicial da atividade, os alunos tenham dificuldades para realizar a coleta de dados, devido às limitações das ferramentas fornecidas, pois esse momento, tem como objetivo oferecer aos estudantes condições de se aprimorarem quanto a importância do uso dos instrumentos adequados para cada determinação. Após esta etapa será apresentado para os alunos o esquadro com o transferidor acoplado, que foi desenvolvido para realizar medidas junto com a SBR-M.

4.6 Utilização do esquadro com o transferidor acoplado

De posse dessa ferramenta o professor deve explicar para os estudantes como podem utilizá-la. A ferramenta possibilita realizar duas formas de determinação, a medição direta e indireta. Conforme está descrito nos itens 3.2.1 e 3.2.2. Na determinação direta os alunos irão obter o ângulo de inclinação, já na determinação indireta será medida a elevação da rampa a uma determinada distância da origem, portanto serão realizadas duas medidas. Todas essas determinações devem ser anotadas na caderneta pelos estudantes, para avaliar qual a medição é a mais adequada.

4.7 Realização da atividade

Após os primeiros contatos dos estudantes com o equipamento, e já estarem ambientados com a ferramenta de medição, é a hora de começar a testar as hipóteses e realizarem a coleta do máximo de dados possível, para que esses valores possam ser discutidos em sala, dando oportunidade aos estudantes a uma interpretação dos resultados obtidos.

4.8 Utilização das identidades trigonométricas

Durante as instruções passadas para os estudantes referente ao uso do esquadro com o transferidor acoplado, foram instruídos a realizarem duas formas de medição: medição direta do ângulo de inclinação e a medição indireta. Nesta última atividade os alunos foram apenas orientados a medir a altura de elevação da rampa e a qual distância da origem foi medida essa altura. Chegou o momento de retomar assuntos de matemática relacionados a identidades trigonométricas, para que os alunos possam obter o ângulo de inclinação da rampa, podendo assim comparar com o valor do ângulo medido diretamente. É esperado que haja uma discrepância entre os dois valores, uma vez que a determinação direta tem uma baixa resolução, apresenta um intervalo de medida de 5° entre marcações no transferidor.

4.9 Encerramento do uso da SBR-M

Ao término do uso da SBR-M encerra o primeiro ciclo de investigação e é esperado que nessa etapa os alunos já estejam familiarizados com o experimento e devidamente integrados com os colegas do grupo. Durante a manipulação da versão manual exige uma intensa e coordenada operação do grupo. Gradativamente os alunos atingem um grau de intimidade com a atividade, em razão da manipulação e por gerarem diversos cenários físicos experimentais.

Ao adquirir experiência oriunda da manipulação do SBR-M, ocorre naturalmente uma mudança de foco por parte do aluno. Uma vez compreendida a relação entre a inclinação da rampa e o coeficiente de atrito, surgem novas questões de cunho analítico e investigativo.

Como exemplo, ao tomar conhecimento do fato de que coeficiente de atrito é igual a tangente do ângulo que define a inclinação da rampa, quando o objeto está na eminência de deslizar, surge naturalmente a seguinte questão: O $\mu(mi)$ depende apenas da inclinação, ou podem haver mais variáveis que determinem o seu valor numérico? Considerando a natureza dessas novas questões a rampa automatizada se torna um instrumento mais adequado ao novo foco da pesquisa. Apresenta-se um cenário adequado para iniciar a segunda etapa da investigação a partir do uso da SBR-A.

4.10 Operação da SBR-A

Com o uso da SBR-A inicia-se o segundo ciclo da investigação, neste estágio os estudantes já estão com uma visão empírica da natureza da força de atrito, visualizando a relação do coeficiente de atrito com o ângulo de inclinação da rampa. Nesse novo ciclo de investigação o estudante não tem a preocupação com a execução coordenada com os colegas, torna-se um momento propício para criarem hipótese acerca da força de atrito e testá-las na SBR-A, a fim de preencher eventuais lacunas existentes nos processos anteriores da investigação.

Esta é uma das principais razões da SBR-A, ser utilizada em conjunto com a SBR-M, pois ela complementa didaticamente os quatro passos do roteiro iterativo de Feynman. Os estudantes se aprimoram quanto ao uso das ferramentas de investigação e análise, tornando-se capazes e confiantes de operar um equipamento mais sofisticado e presumidamente mais caro, isso evita um constrangimento nos alunos, situação ocorrida frequentemente em abordagens tradicionais de laboratório.

4.11 Considerações finais

A aplicação da sequência didática atingiu a sua máxima eficiência somente após a utilização das duas rampas inclináveis, essas ferramentas se mostraram de fundamental importância como um recurso integrador entre teoria e experimento.

5 MANUAL DE MONTAGEM DA SBR-A

Para realizar a reprodução da rampa automatizada SBR-A será fornecido um material que auxilia na elaboração e montagem da rampa, esse manual será dividido em basicamente em 3 etapas:

- i) Instruções para a montagem da estrutura de MDF
- ii) Sistema mecânico de elevação da rampa
- iii) Placas de circuitos de controle

5.1 Montagem da estrutura da rampa em MDF

Lista de materiais para a montagem e pintura da rampa:

- a) 1 lixa para madeira (100)
- b) 1 pano
- c) 1 pince
- d) Fita crepe
- e) Cola de secagem rápida
- f) Fundo preparador prime branco para MDF
- g) Thinner nitro celulose
- h) Dobradiça pequena em latão

A estrutura de madeira é confeccionada em MDF com o acabamento cru, a espessura da chapa é de 6mm. Dada a precisão nos cortes das peças em função dos encaixes, nessa etapa se dispensa o uso de ferragens (pregos e parafusos), para garantir essa precisão nos cortes é recomendado que eles sejam realizados a laser. As partes constituintes da rampa o fundo e a parte superior estão descritos no Anexo A, com a descrição da proporção adequada para o corte. Já as laterais que completam a estrutura em MDF da rampa estão descritos no Anexo B.

Com as peças cortadas a laser, deve-se lixar o topo do MDF em que irá receber a cola removendo a superfície queimada pelo laser. Realizar a limpeza das peças com um pano umedecido com thinner.

Na etapa seguinte à limpeza procede-se a colagem da rampa, para essa ação é recomendado utilizar uma cola de secagem rápida, aplicando a cola somente em uma das duas superfícies que serão coladas, para ocorrer uma junção mais resistente. A

cola de secagem rápida demora em média 20 segundos para colar, mas para obter uma cura total da cola o tempo de secagem é de 24 horas, portanto é recomendado fixar junto a junção das peças fita crepe para manter a peça ancorada até a cura completa.

Figura 12 – Montagem da estrutura de MDF



Fonte: O autor

Por se tratar de um MDF com acabamento cru, em que a superfície é muito porosa, a qual absorve umidade propiciando assim uma deterioração e crescimento de fungos, os quais irão diminuir a vida útil do equipamento, para evitar isso, a rampa deve pelo menos receber a aplicação de um fundo preparador primer, para uma posterior pintura ou um envelopamento da peça, conforme a necessidade o usuário.

Figura 13 – Revestimento com fundo prime



Fonte: O autor

Ainda nessa etapa de montagem deve-se fixar uma dobradiça junto a rampa na estrutura superior.

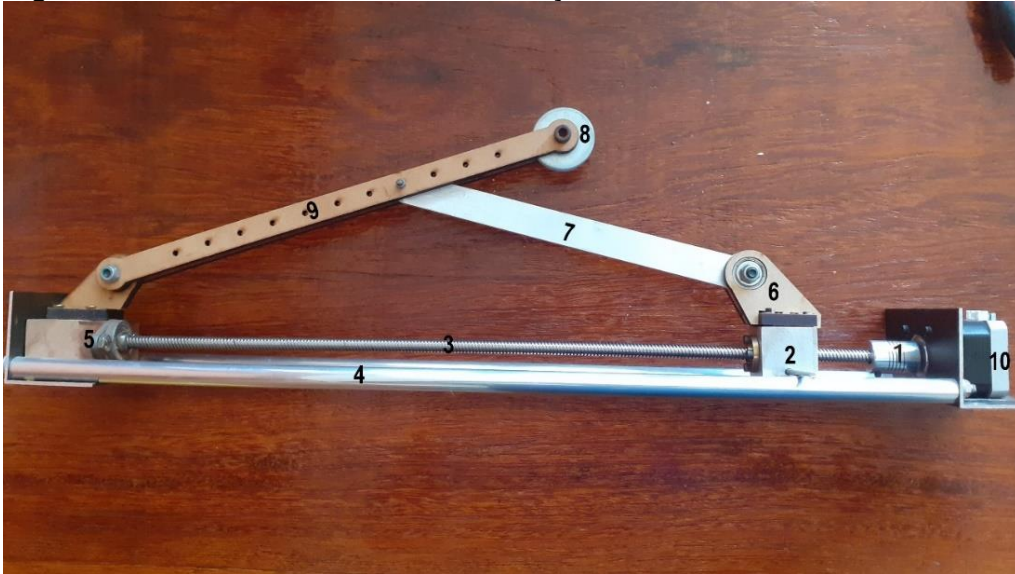
5.2 Sistema de elevação mecânica da rampa

Lista de materiais para a montagem do sistema de elevação, demonstrada no Anexo F

- 1) Acoplamento flexivo para o eixo do motor de passo
- 2) Bloco de alumínio e castanha em latão para rosca de 8mm
- 3) Sistema de fuso trapezoidal tr 8-8 de 50mm de comprimento
- 4) Par de guias em alumínio de 15mm para de cantoneira de alumínio de 75mm
- 5) Mancal de 8mm
- 6) Suporte de fixação para a haste de elevação
- 7) Haste de elevação em alumínio
- 8) Rodizio deslizante para elevação da rampa
- 9) Haste de elevação regulável em MDF
- 10) Motor de passo

Nota: os itens listados acima estão detalhados no anexo F

Figura 14- Sistema mecânico de elevação



Fonte: O autor

Inicialmente deve-se montar estrutura de alumínio que suportará a rosca sem fim. Ela é composta por duas guias de alumínio fixadas junto ao par de cantoneiras, posteriormente nas extremidades deve-se fixar no mancal. Na extremidade oposta será instalada uma rosca sem fim conectada a um acoplamento flexível. Esse acoplamento realiza a união da rosca sem fim ao motor de passo. A castanha rosqueada será fixada num bloco de alumínio sendo este conjunto instalado na barra rosqueada, conforme descrito na Fig.15

Figura 15- Conjunto de elevação em detalhes



Fonte: O autor

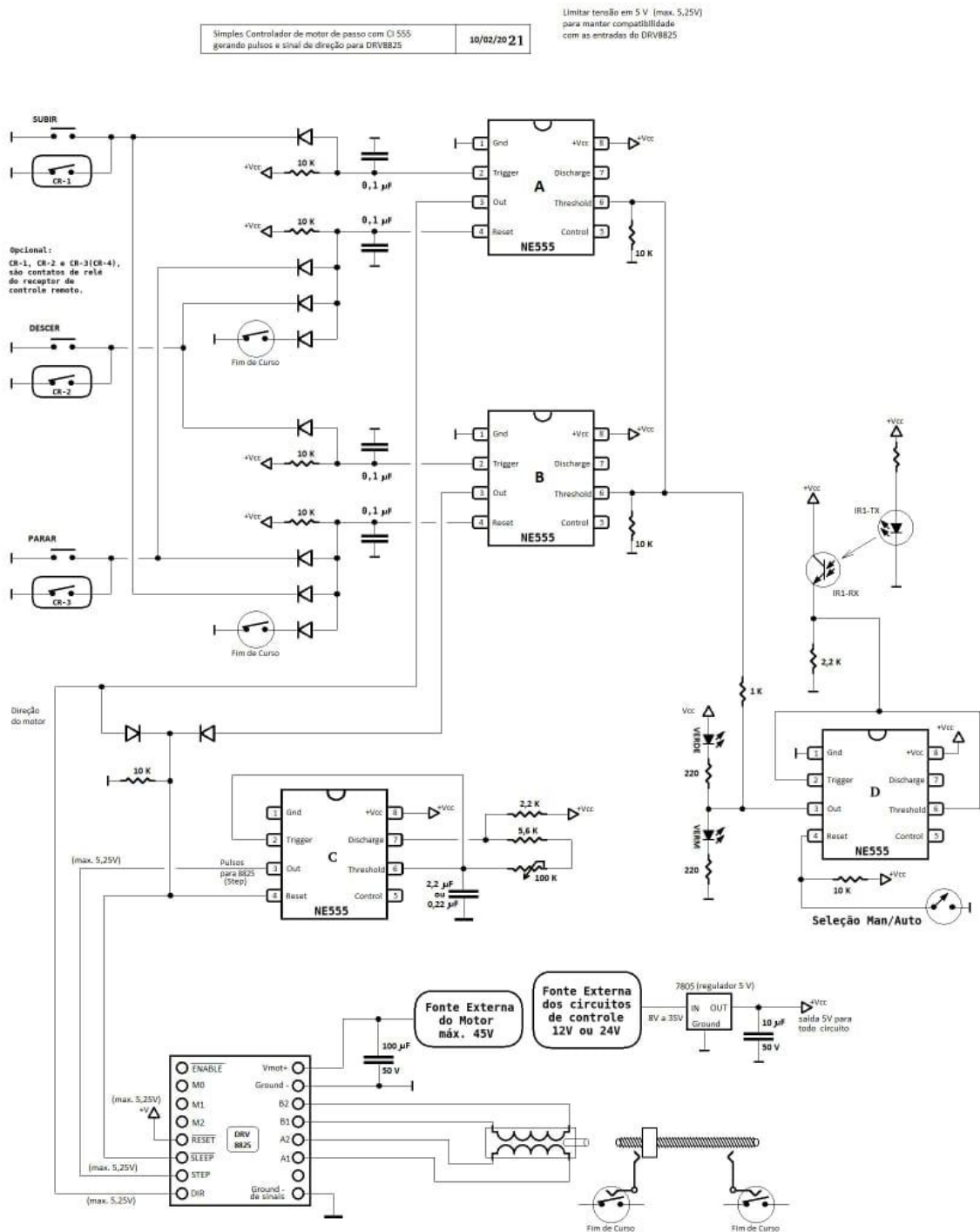
Este sistema é responsável pela elevação da parte móvel da rampa, sendo ele fixado internamente da SBR-A, na base interna bem ao centro do conjunto. O controle de elevação da rampa ocorrerá a partir de uma placa compostas por circuitos que serão descritos no tópico a seguir.

5.3 Placa de circuito de controle

A placa de circuito é responsável pelo controle do motor de passo, sendo ele encarregado tanto pela elevação da parte móvel da rampa quanto pela descida. Esse processo ocorre a partir de sinais elétricos, enviados para o driver do motor de passo, que tem como função fornecer energia ao motor na polaridade e sequência correta, permitindo que o eixo, a rosca sem fim, acoplada ao motor sofra revolução tanto no sentido horário quanto no sentido anti-horário, isso se converte em deslocamento da haste de elevação ou recolhimento da rampa.

A referida placa, além de receber comandos arbitrários para sua operação, dispõe de pelo menos dois dispositivos de parada automática, o primeiro trata-se de uma barreira eletrônica de infravermelho e a segunda são os comandos de “final de curso” exigidos pelos limites de movimentação para ambos os sentidos ao longo da barra roscada.

5.1 Esquema elétrico da placa

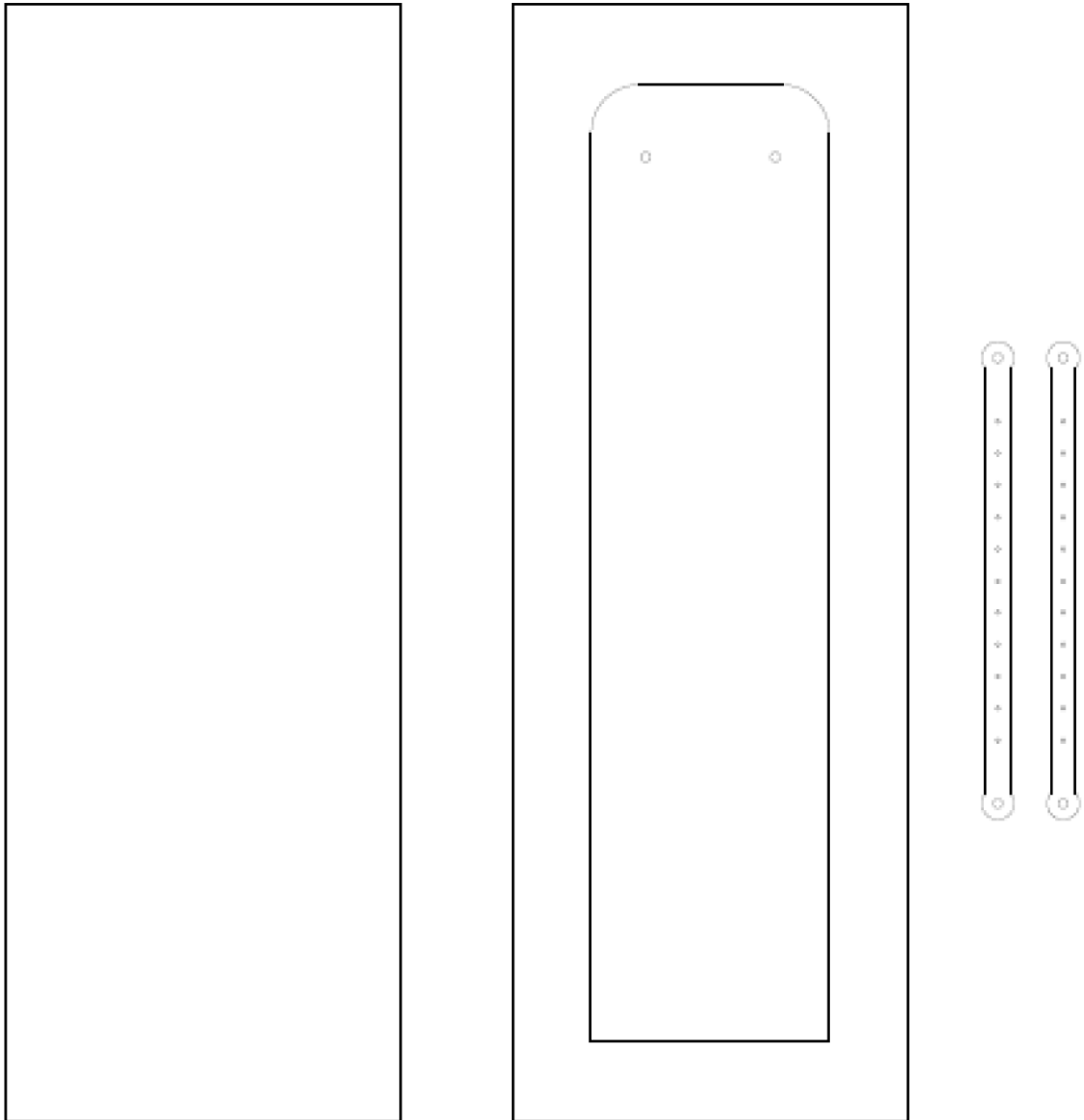


Fonte Vilmar Dias de Ávila

A Bloco de retenção do comando de subir - **B** Bloco de retenção do comando de descer - **C** Bloco de geração de pulso - **D** Bloco de barreira eletrônica, Infravermelho.

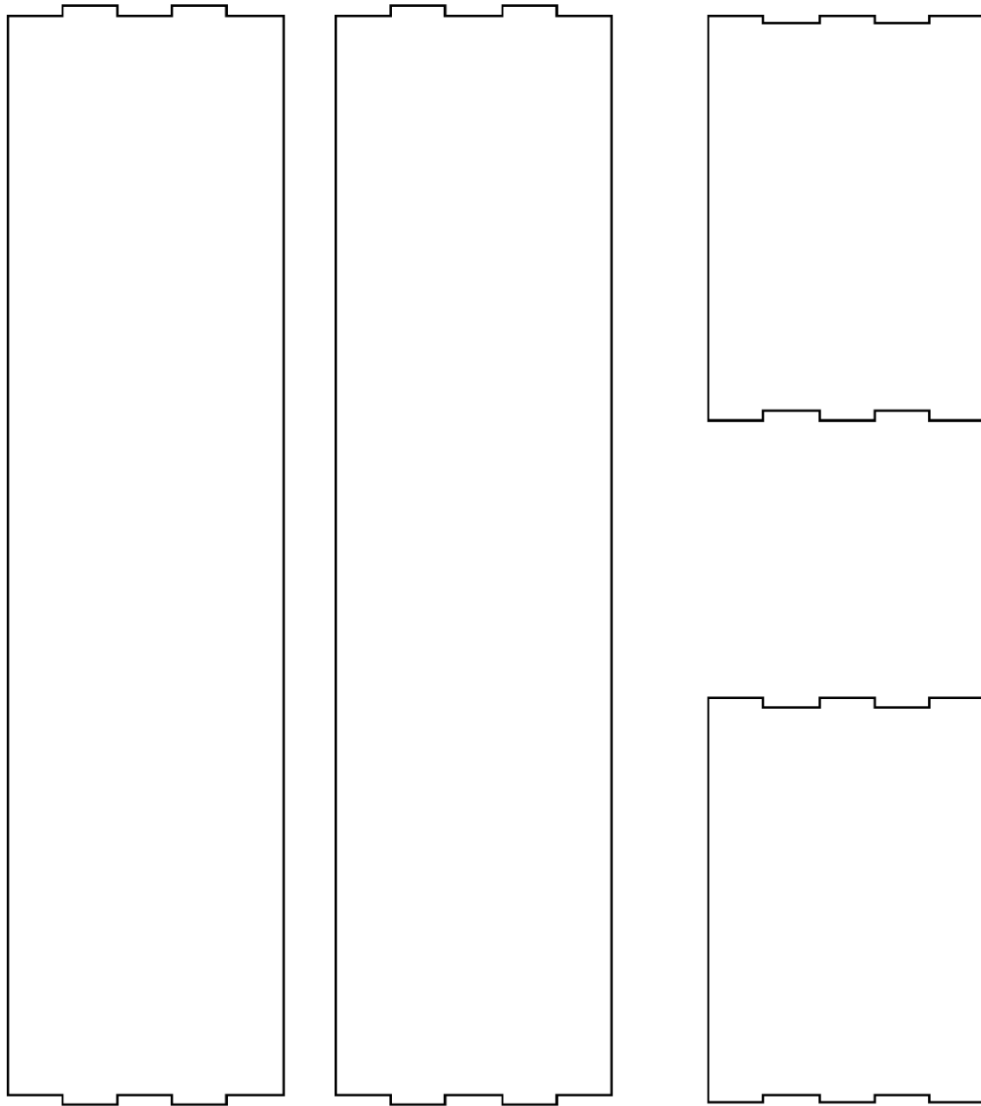
ANEXO A - Plano de corte a laser SBR-A parte-1

ESCALA 1:4



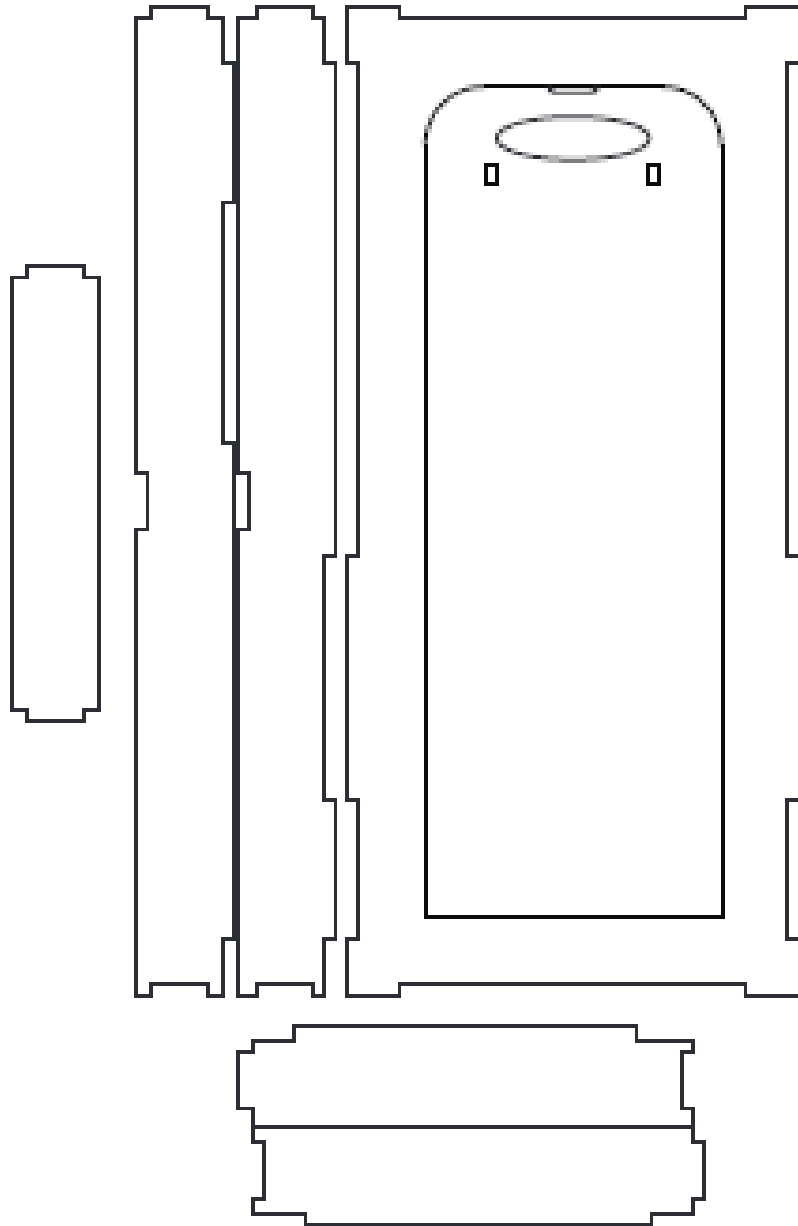
ANEXO B - Plano de corte a laser SBR-A parte-2

ESCALA 1:4



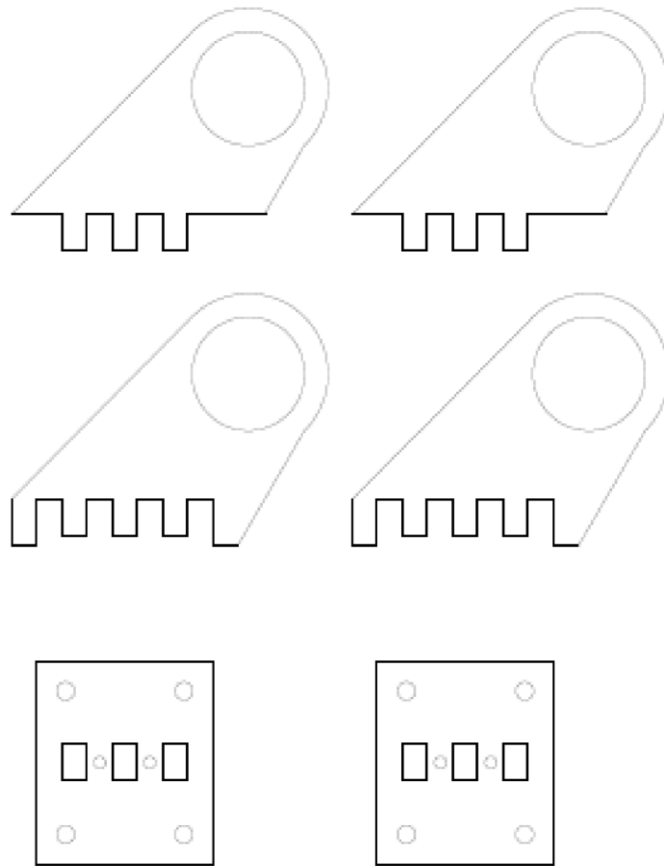
ANEXO C - Plano de corte a laser SBR-M

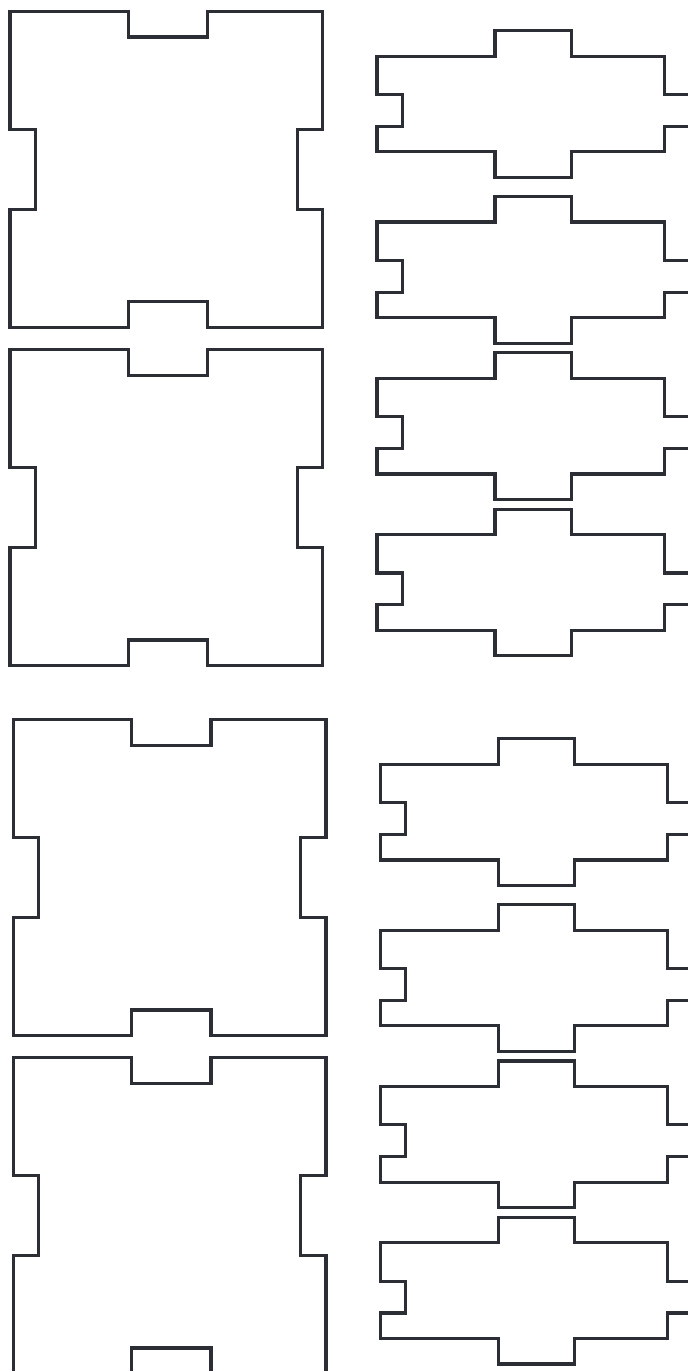
ESCALA 1:4



ANEXO D - Plano de corte a laser SBR-A parte-3

ESCALA 1:1



ANEXO E - Plano de corte a laser de um par de blocos articulados**ESCALA 1:2**

ANEXO F - Componentes do sistema de elevação da SBR-A

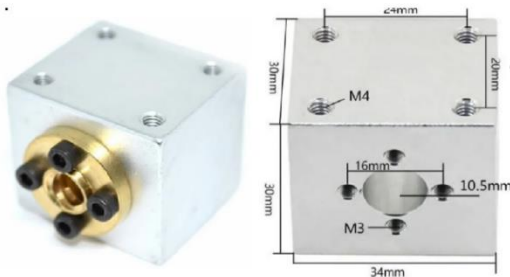
1-Acoplamento flexível ao motor de passo



5- Mancal 8mm



2- Bloco de alumínio e Castanha de latão



6- Suporte fixação haste de elevação



7-Haste de elevação em alumínio

8- Rodizio deslizante

9- Par de haste de elevação em MDF



3-Sistema de fuso trapezoidal Tr 8-8 50mm

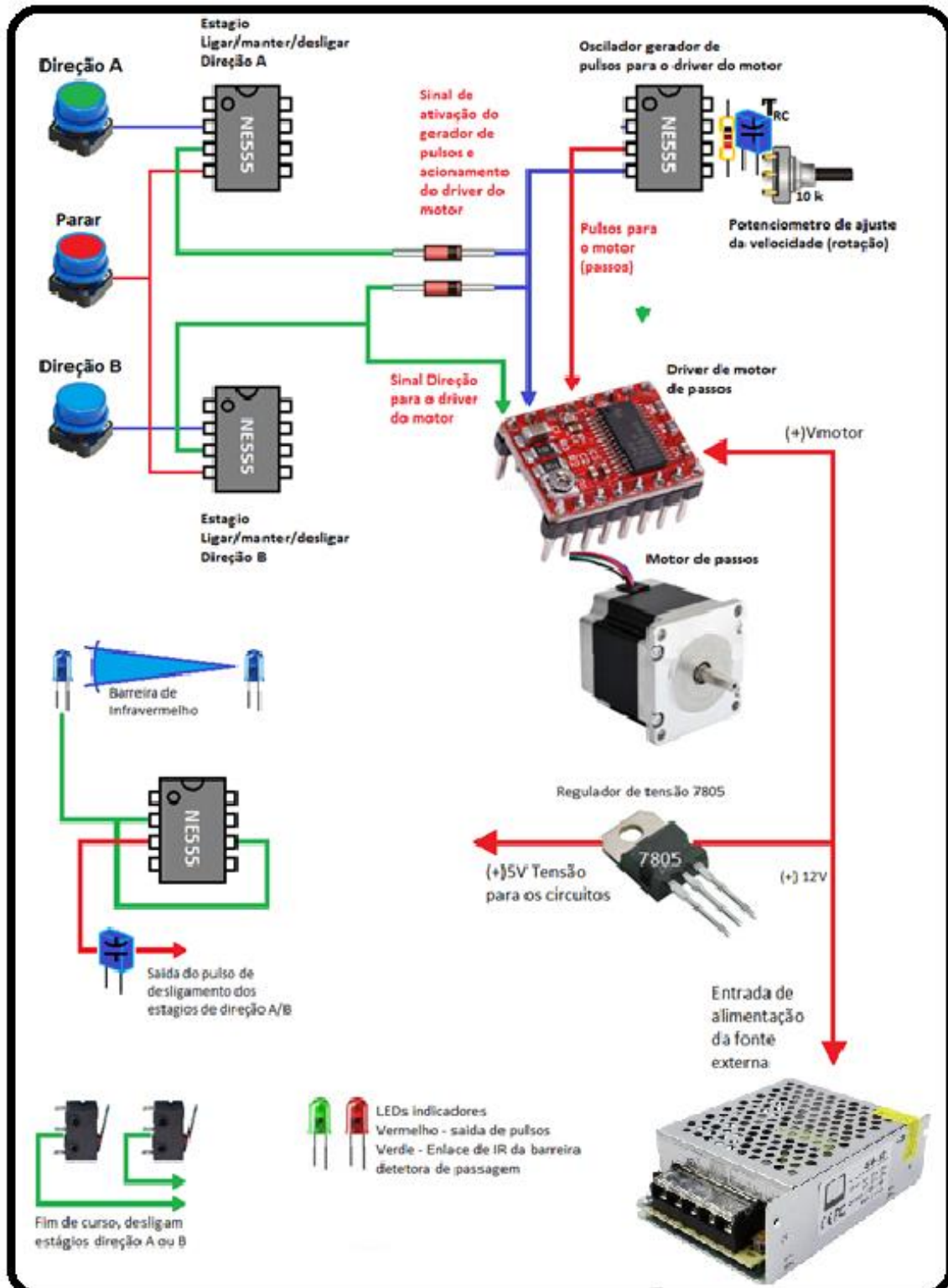


10- Motot de Passo



4-Par guias em alumínio

ANEXO G - Componentes do circuito eletrônico



ANEXO H - Plano de corte do esquadro com transferidor acoplado

ESCALA 1:1

