



**MNPEF** Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



Cassiana Alves de Souza

## **ESTUDO DO LANÇAMENTO OBLÍQUO UTILIZANDO RÉPLICAS DE ARMAS MEDIÉVAIS**

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. Marcio Gabriel dos Santos  
Orientador

Prof. Dr. Neila Seliane Pereira Witt  
Coorientadora

Tramandaí  
Janeiro de 2020

Cassiana Alves de Souza

**ESTUDO DO LANÇAMENTO OBLÍQUO UTILIZANDO RÉPLICAS DE ARMAS  
MEDIEVAIS**

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 08 de janeiro de 2020.

Prof. Dr. Márcio Gabriel dos Santos – MNPEF-UFRGS/CLN

Prof. Dr. Jorge Rodolfo Silva Zabadal – MNPEF-UFRGS/CLN

Prof. Dra. Liane Ludwig Loder – MNPEF-UFRGS/CLN

Prof. Dr. Roniere dos Santos Fenner - UFRGS/CLN

## FICHA CATALOGRÁFICA

### CIP - Catalogação na Publicação

Alves de Souza, Cassiana  
ESTUDO DO LANÇAMENTO OBLÍQUO UTILIZANDO RÉPLICAS DE  
ARMAS MEDIEVAIS / Cassiana Alves de Souza. -- 2020.  
182 f.  
Orientador: Marcio Gabriel dos Santos.

Coorientador: Neila Seliane Witt.

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,  
2020.

1. Ensino de Física. 2. Lançamento Oblíquo. 3.  
Aprendizagem Significativa. 4. Armas medievais. I.  
Gabriel dos Santos, Marcio, orient. II. Seliane Witt,  
Neila, coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os  
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

*Dedico esta conquista aos meus pais Adjalmo (in memoriam)*

*e Orlia, meus maiores incentivadores.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha família e amigos pelo incentivo e apoio incondicional para que esta conquista se tornasse possível.

Aos colegas de trabalho das escolas em que trabalho, Escola Municipal de Ensino Fundamental Manoel Mendes e Escola Estadual de Ensino Médio Albatroz, que por diversas vezes suprimiram minha falta para que pudesse participar das atividades do mestrado.

Aos professores do MNPEF – UFRGS pelos ensinamentos durante o curso.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcio Gabriel dos Santos e a minha coorientadora Profa. Dra. Neila Seliane Pereira Witt, pela confiança, ensinamentos e contribuições durante estes dois anos.

À UFRGS e SBF por proporcionar a realização deste curso aprimorando meus conhecimentos para o crescimento profissional.

Aos meus alunos, que foram extremamente importantes no desenvolvimento deste produto educacional. Por terem participado das aulas dando o seu melhor e tornando possível a conclusão deste trabalho. Vocês são fontes inspiradoras na minha vida profissional.

Enfim, o meu muito obrigado a todos!

## RESUMO

Neste trabalho foi desenvolvido um produto educacional para o ensino de alguns tópicos da Física relacionados à Mecânica. A Cinemática faz parte deste ensino, responsável pelo estudo dos movimentos, objetivando uma descrição matemática para os modelos observados. Porém, alguns aspectos podem ser considerados e dificultam à aprendizagem desses conteúdos, tais como a falta de experimentos realizados em aula pelos estudantes incapacitando ou dificultando a visualização concreta dos movimentos por parte dos estudantes, reduzindo, às vezes, sua aprendizagem a um conhecimento abstrato de um grande número de fórmulas e terminologias, sem correlação com a Natureza do fenômeno, tornando a aprendizagem mecânica. A fim de auxiliar na solução de alguns dos problemas mencionados, este trabalho propôs uma estratégia de ensino diferenciada, buscando despertar no estudante o interesse pelos fenômenos e estudo dessa ciência. Acredita-se que estratégias que relacionem as práticas cotidianas aos conceitos físicos, através da experimentação, da interação entre os estudantes, podem auxiliar nos processos de ensino e aprendizagem e promover uma aprendizagem significativa. O produto educacional aqui apresentado é uma sequência didática, utilizada como alternativa de ensino de tópicos de cinemática utilizando réplicas de armas medievais, como a *Catapulta* e o *Trebuche*, para a simulação dos movimentos. Essas réplicas foram construídas pelos estudantes. Com a aplicação do produto educacional, estudou-se o lançamento oblíquo através da experimentação com réplicas, contribuindo para a aprendizagem significativa dos estudantes e disponibilizou-se aos professores um material de fácil acesso como alternativa de ensino. Esta pesquisa teve como fundamentação teórica a aprendizagem significativa de David Ausubel, onde os conhecimentos prévios foram observados pelo professor e fizeram parte da construção dos novos conceitos. A aplicação do produto educacional ocorreu no primeiro semestre de 2019, durante nove aulas, em uma turma de primeiro ano do ensino médio em uma escola estadual no município de Osório, RS.

Palavras-chave: Ensino de Física. Lançamento Oblíquo. Armas Medievais. Aprendizagem significativa.

## **ABSTRACT**

In this work it was an educational product for the teaching of some topics of Physics related to Mechanics. Kinematics is part of this teaching, responsible for the study of movements, aiming at a mathematics description for the models observed. However, some aspects can be considered and make the learning of these contents more difficult, such as the lack of experiments made in class by students disabling or making it difficult the concrete visualization of movements by students, reducing, sometimes, their learning of abstract knowledge for a great number of formulas and terminologies, without linking with Nature of phenomenon, making the learning mechanical. In order to help in the solution of some problems mentioned, this work has proposed a different teaching strategy, trying to provoke in the student the interest for phenomena and study of this science. We believed that strategies which relate the everyday practices to physical concepts, by means of experiments, of students' interaction can help in the teaching and learning processes and promote a significant learning. The product presented here is a didactic sequence, used as an alternative for teaching of topics of kinematic using copies of medieval weapons, such as Catapult and Trebuché, for the simulation of movements. These copies were built by students. With the application of the educational product, it has been studied the oblique through by means of experiments with weapons copies, contributing for the students' significant learning and it made available for the teachers a material with easy access as alternative of study. This research had as its theoretical foundation the significant learning of David Ausubel, where the previous knowledge was observed by the teacher and made part of building of new concepts. The application of the educational product occurred in the first semester of 2019, during nine lessons, in a group of first grade of high school of a state school in the city of Osório, RS.

**Keywords:** Physics Teaching. Oblique throw. Medieval weapons. Significant Learning.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Experimento de Cavendish utilizado para comprovar o valor de $g$ .....	27
Figura 2 – Lançamento vertical .....	34
Figura 3 – A trajetória de um projétil, segundo a física aristotélica. ....	49
Figura 4 – A trajetória de um projétil, segundo Tartaglia.....	50
Figura 5 – Imagem de um cenário de guerra com Trebuchet.....	52
Figura 6 – Trebuchet miniatura construído com madeira (vista lateral).....	52
Figura 7 – Trebuchet miniatura construído com madeira (vista frontal). ....	53
Figura 8 – Imagem de uma Catapulta .....	54
Figura 9 – Catapulta construída de madeira (vista lateral).....	54
Figura 10 – Catapulta construída de madeira. ....	55
Figura 11 – Réplica de catapulta construída pelos estudantes do grupo A com madeira de demolição. ....	70
Figura 12 – Réplica de catapulta construída pelos estudantes do grupo B com papelão e revistas. ....	71
Figura 13 – Réplica de catapulta construída pelos estudantes do grupo C com taquara.....	71
Figura 14 – Réplica de catapulta construída pelos estudantes do grupo D com retalhos de MDF.....	72
Figura 15 – Réplica de catapulta construída pelos estudantes do grupo F com restos de madeira. ....	72
Figura 16 – Réplica de catapulta construída pelos estudantes do grupo G com papelão. ....	73
Figura 17 – Réplica de catapulta construída pelos estudantes do grupo H com restos de MDF.....	73
Figura 18 – Imagem do lançamento com vetores no “ <i>Projectile Motion</i> ”.....	77
Figura 19 – Imagem da tabela construída pelos estudantes com a análise do lançamento horizontal .....	79
Figura 20 – Desenvolvimento da questão dois pelo estudante B.....	80
Figura 21 – Desenvolvimento da questão três pelo estudante Y. ....	81
Figura 22 – Desenvolvimento da questão quatro pelo estudante P. ....	81
Figura 23 – Ilustração do estudante B para a questão sete.....	83
Figura 24 – Ilustração do estudante U para a questão sete.....	83

Figura 25 – Tabela construída pelo estudante S para análise de lançamento oblíquo. .....	84
Figura 26 – Resolução da questão dois pelo estudante N. ....	85
Figura 27 – Resolução da questão cinco dos exercícios de lançamento oblíquo pelo estudante P. ....	87
Figura 28 – Resolução da questão seis dos exercícios de lançamento oblíquo pelo estudante D. ....	88
Figura 29 – Imagem do simulador “ <i>Projectile Mottion</i> ” para lançamento oblíquo a 10° e 80° .....	89
Figura 30 – Apresentação da catapulta do grupo A. ....	91
Figura 31 – Apresentação dos resultados da catapulta do grupo A. ....	92
Figura 32 – Resposta dos estudantes para a questão 1 da avaliação da sequência didática. ....	93
Figura 33 – Resposta dos estudantes para a questão 1 da avaliação da sequência didática. ....	93
Figura 34 – Resposta dos estudantes para a questão 1 da avaliação da sequência didática. ....	93
Figura 35 – Resposta dos estudantes para a questão 1 da avaliação da sequência didática. ....	93
Figura 36 – Resposta dos estudantes para a questão 3 da avaliação da sequência didática. ....	94
Figura 37 – Resposta dos estudantes para a questão 3 da avaliação da sequência didática. ....	94
Figura 38 – Resposta dos estudantes para a questão 3 da avaliação da sequência didática. ....	94
Figura 39 – Descrição dos aspectos positivos e negativos da sequência didática....	95
Figura 40 – Imagem da apresentação do grupo da catapulta C.....	177
Figura 41 – Imagem da apresentação do grupo da catapulta G. ....	177
Figura 42 – Imagem da apresentação do grupo da catapulta D.....	177
Figura 43 – Imagem do desenvolvimento da aula1.....	178
Figura 44 – Imagem do desenvolvimento da aula 1.....	178
Figura 45 – Imagem do desenvolvimento da aula 5.....	178
Figura 46 – Imagem do desenvolvimento da aula 6.....	179
Figura 47 – Imagem do desenvolvimento da aula 7.....	179

Figura 48 – Imagem do desenvolvimento da aula 8.....	179
Figura 49 – Imagem do desenvolvimento das aulas na biblioteca da escola.....	180

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Variação de $g$ de acordo com a latitude .....	29
Tabela 2 – Variação de $g$ em relação à altitude (a $45^\circ$ de latitude).....	29

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – vetor posição $r$ da origem até o ponto P possui componentes $x$ , $y$ e $z$ . ..	30
Gráfico 2 – A velocidade média $v_m$ entre os pontos P1 e P2 possui a mesma direção e o mesmo sentido do vetor deslocamento $\Delta r$ . .....	31
Gráfico 3 – Os dois componentes da velocidade para um movimento no plano $x y$ ..	32
Gráfico 4 – Lançamento horizontal.....	36
Gráfico 5 – Movimento de um projétil.....	38
Gráfico 6 – Ângulo $\theta_0$ formado com o eixo horizontal $x$ .....	39
Gráfico 7 – Trajetória de um projétil e a decomposição das velocidades $v_x$ e $v_y$ .....	39
Gráfico 8 – Lançamentos no mesmo ponto de saída, porém com velocidades diferentes.....	43
Gráfico 9 – Respostas dos estudantes para a questão 1.....	62
Gráfico 10 – Respostas dos estudantes para a questão 6.....	66
Gráfico 11 – Respostas dos estudantes para a questão 8.....	68
Gráfico 12 – Respostas da questão cinco.....	82
Gráfico 13 – Resposta da questão três do questionário sobre lançamento oblíquo..	86

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
	<b>2.1 Teorias da Aprendizagem Significativa .....</b>	<b>18</b>
	<b>2.2 Queda livre .....</b>	<b>26</b>
	2.2.1 Vetor Posição e Vetor Velocidade .....	30
	2.2.2 Vetor aceleração .....	32
	2.2.3 Lançamento Vertical .....	34
	2.2.4 Lançamento Horizontal .....	36
	2.2.5 Lançamento de projétil.....	37
	2.2.5.1 Alcance Horizontal .....	42
	<b>2.3 A construção e o uso de réplicas de armas medievais no ensino de física</b>	<b>43</b>
	2.3.1 A construção de réplicas de armas medievais no contexto escolar	44
	2.3.2 Armas medievais como ferramentas de aprendizagem do lançamento oblíquo ou balístico .....	47
	2.3.3 Tipos de armas medievais .....	51
	2.3.3.1 Trebuchet .....	51
	2.3.3.2 Catapulta .....	53
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>56</b>
	<b>3.1 A proposta metodológica do MNPEF .....</b>	<b>56</b>
	<b>3.2 Instituição de ensino e sujeitos da aplicação do produto educacional.....</b>	<b>57</b>
	<b>3.3 A organização da aplicação do produto educacional .....</b>	<b>57</b>
	3.3.1 Planejamento das etapas do produto educacional: .....	58
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>61</b>
	<b>4.1 Identificação dos conhecimentos prévios.....</b>	<b>61</b>
	<b>4.2 Construção das réplicas .....</b>	<b>70</b>

4.3 Desenvolvimento dos conceitos de Movimento balístico e lançamento de projéteis .....	75
4.4 Análise do movimento oblíquo através de réplicas de armas medievais utilizando o <i>software Tracker</i> .....	90
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	96
BIBLIOGRAFIA .....	100
APÊNDICES .....	105
REFERÊNCIAS DOS ANEXOS.....	181

## 1 INTRODUÇÃO

No ensino de Física, a Cinemática faz parte dos conteúdos estudados em Mecânica, responsável pelo estudo dos movimentos, independente de suas causas, objetivando uma descrição matemática para os modelos observados. (NUSSENZVEIG, 1993).

Algumas características para o ensino destes conceitos são consideradas prejudiciais à aprendizagem, tais como: (1) tempo excessivo dedicado ao seu estudo, muitas vezes em detrimento do estudo de temas considerados mais importantes, como a Dinâmica e a Gravitação; (2) falta de experimentos realizados em aula pelos estudantes; (3) incapacidade ou dificuldade de visualização concreta dos movimentos por parte do estudante, reduzindo, às vezes, sua aprendizagem a um conhecimento abstrato de um grande número de fórmulas e terminologias, sem correlação com a natureza, tornando a aprendizagem mecânica. (NAPOLITANO e LARIUCCI, 2001)

O presente trabalho propôs uma estratégia de ensino, a fim de auxiliar na solução de alguns dos problemas mencionados. Nessa perspectiva, buscou-se por aulas que despertassem no estudante o interesse pelo ensino desta ciência, uma vez que as aulas tradicionais já não contemplam a atenção dos estudantes. Foram desenvolvidas algumas estratégias facilitadoras nos processos de ensino e aprendizagem as quais relacionaram as práticas cotidianas aos conceitos físicos, através da experimentação, da interação entre os estudantes, o que proporcionasse um ensino significativo.

No capítulo metodológico será apresentado o produto educacional, resultado de estudos realizados no curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), da UFRGS Campus Litoral Norte. A proposta é uma sequência didática, utilizada como alternativa de ensino e aprendizagem de alguns tópicos da cinemática. Para isso, foram utilizados experimentos com réplicas de armas medievais (*Catapulta* e o *Trebuchet*) para a simulação dos movimentos envolvidos no lançamento oblíquo.

Os objetivos deste trabalho são: o estudo do lançamento oblíquo através da experimentação com réplicas (lançamento horizontal, vertical, gravidade, velocidade e aceleração); construção de réplicas de armas medievais pelos estudantes com materiais reciclados e madeira de demolição; Contribuir para a aprendizagem

significativa dos estudantes; Disponibilizar aos professores um material de fácil acesso como alternativa de ensino.

A aplicação do produto educacional ocorreu em uma turma de primeiro ano do ensino médio, no município de Osório, em uma escola da rede pública estadual. Foram realizados nove encontros, cada um com duas horas/aula. Para a primeira aula foi aplicado um questionário de investigação dos conhecimentos prévios dos estudantes, a fim de observar o que o estudante sabe em relação aos conteúdos necessários para o desenvolvimento das demais aulas. A cada aula, a professora retomou os conceitos da aula anterior, através de questionamentos, anotações e debates com os estudantes, buscando auxiliar na compreensão dos conteúdos e que estes pudessem ser significativos. Foram utilizados alguns recursos didáticos como *data show*, simuladores “*Projectile Motion (HTML5)*”, *software Tracker*<sup>1</sup>, experimentos em sala de aula, vídeo, textos de apoio, exercícios sobre os conceitos físicos e matemáticos envolvidos.

Após as construções das réplicas, foram realizados lançamentos de diversos ângulos a fim de comparar e analisar velocidade inicial, distância, aceleração e resistência do ar. Além disso, conceitos que permeiam outras áreas do conhecimento, como a trigonometria (ângulos, por exemplo), conceitos de exatidão e precisão. Para as análises, os experimentos foram filmados através do celular e após anexados ao *software Tracker*, no qual foram gerados os gráficos referentes a trajetória do projétil arremessado através das réplicas. No encerramento da sequência didática, os estudantes apresentaram as réplicas construídas, bem como as análises realizadas.

Como fundamentação teórica desta proposta tem-se a aprendizagem significativa de David Ausubel, onde os conhecimentos prévios são observados pelo professor e farão parte da construção dos novos conceitos. Percebeu-se a importância desta observação, pois para a construção da sequência didática foram consideradas a existência de subsunçores, que são os conhecimentos prévios, podendo ser conceitos vistos anteriormente ou aprendizagens de acordo com suas vivências. A partir dos conhecimentos prévios, aliados às ferramentas facilitadoras

---

<sup>1</sup> O *Tracker* é um *software* livre destinado a análises através de vídeos e está disponível em: <<https://physlets.org/tracker/>> Acesso em: 19 Nov. 2019.

de ensino e interagindo com novos conceitos, pode-se ter uma aprendizagem significativa.

“A aprendizagem significativa se caracteriza pela interação entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos, e que essa interação é não-literal e não-arbitrária. Nesse processo, os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva.” (MOREIRA, 2011, p.14)

Amparados na teoria de aprendizagem significativa, analisamos a seguinte questão problema: Em que medida, a construção e utilização de réplicas de armas medievais como ferramentas pedagógicas contribuem para a melhora da aprendizagem de conceitos da física relacionados ao movimento balístico (lançamento de projéteis)?

A organização deste trabalho foi dividida em quatro capítulos, iniciando por esta introdução que expõe o assunto principal da pesquisa. No segundo capítulo será abordado o referencial teórico, no qual consta a aprendizagem significativa descrita por David Ausubel norteadora deste trabalho; a teoria do movimento oblíquo ou balístico e conceitos importantes para este estudo, como queda livre, lançamento vertical e horizontal; a construção e o uso de réplicas de armas medievais no ensino de Física e no contexto escolar e as armas medievais utilizadas como ferramentas de aprendizagens. No terceiro capítulo teremos a metodologia, onde será detalhada a proposta do MNPEF, a instituição de ensino e os sujeitos envolvidos, e a organização da aplicação do produto educacional, bem como as etapas de desenvolvimento da sequência didática. No quarto capítulo serão realizadas as análises e discussões referentes à aplicação do produto educacional.

Nos apêndices constam a sequência didática detalhada e os materiais utilizados, tais como questionário de conhecimentos prévios, textos de apoio, manual para construção das réplicas, manual de utilização do *Tracker*, listas de exercícios e questionário de avaliação da sequência.

A proposta de ensino em que os estudantes estejam envolvidos na construção dos experimentos busca promover o desenvolvimento da autonomia e a construção do conhecimento.

O desenvolvimento intergrupal e intragrupal, pode, no quadro de uma sempre prudente analogia com a comunidade científica, ajudar a simular aspectos sociológicos, particularmente interessantes. A crítica, a argumentação e o consenso dos pares constituem elementos de racionalidade científica que importa desenvolver conjuntamente –

estudantes e professores – partilhando e vivendo dificuldades inerentes à própria prática científica. (PRAIA, et al, 2002, p.259)

A partir dos experimentos e da troca de conhecimentos entre os estudantes e professor, permitirá uma aprendizagem significativa e efetiva, além de incentivar a interação entre as partes.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Teorias da Aprendizagem Significativa**

Há diferentes teorias de aprendizagem, das quais fazem parte, teorias behavioristas, cognitivistas e construtivistas. As teorias behavioristas apresentam uma aprendizagem centrada no professor, na qual o estudante é reproduzidor de teorias expostas pelo professor. Pode-se citar a aprendizagem de forma mecânica em que o estudante vê os conceitos isolados, sem um elo entre um e outro.

As teorias de abordagem cognitivistas e construtivistas mostram que o desenvolvimento dos processos de ensino e de aprendizagem está centrado nos estudantes, bem como, nas construções que eles fazem juntamente com o professor e dentre estas teorias, destaca-se a da aprendizagem significativa.

Aprendizagem significativa é aquela em que ideias expressas simbolicamente, interagem de maneira substantiva e não arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. Quando se fala em substantiva ou não literal, quer dizer que a interação não é com qualquer ideia prévia, mas sim, com algum conhecimento relevante já existente na estrutura cognitiva do estudante. (MOREIRA, 2011)

A teoria proposta por David Ausubel pressupõe que novos conceitos e novas informações podem ser desenvolvidos de acordo com os conhecimentos pré-existentes, de forma clara na estrutura cognitiva do aprendiz. Esses conhecimentos pré-existentes são denominados por Ausubel como “conhecimentos prévios”, e estes desempenham papel de subsunçor.

Segundo os estudos de Moreira (2011) sobre a teoria de Ausubel, subsunçor é denominado como um conhecimento específico, existente na estrutura cognitiva do indivíduo. O entendimento inicial permite que o educando dê significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto. Esse subsunçor servirá como âncora aos novos conhecimentos.

A aprendizagem só faz sentido para o educando se ele conseguir relacionar o que ele já conhece (subsunçores) com o que está sendo apresentado a ele (novos conhecimentos). Segundo Moreira (2012), a organização da estrutura cognitiva na aprendizagem significativa se caracteriza por dois processos principais, a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora. Quando buscamos dar

novos significados a um subsunçor incluindo uma nova informação a conceitos ou proposições, chamamos de diferenciação progressiva.

Na teoria da aprendizagem significativa, os conceitos mais amplos de um determinado conteúdo devem ser apresentados inicialmente, através de sucessivas interações ocorrendo a diferenciação progressiva gradualmente, adquirindo novos significados. A cada passo da diferenciação progressiva, o estudante vai aprimorando seus conhecimentos, aprofundando as ideias que servirão de ancoradouro para a aprendizagem dos novos conceitos.

Após este processo, segundo a teoria ausubeliana, há a necessidade de recombinar, explorar, integrar significados fazendo superordenações. Esta etapa é denominada por reconciliação integradora. Portanto, é preciso que haja os dois processos simultaneamente para que se tenha a aprendizagem significativa.

Pensando-se na abordagem cognitivista da aprendizagem significativa, em cada etapa de implementação do produto educacional buscou-se identificar os subsunçores dos estudantes através do questionário de conhecimentos prévios. Após as análises destas informações, as aulas puderam ser planejadas, levando em consideração os conhecimentos prévios dos estudantes, objetivando-se aliar subsunçores aos novos conceitos a ser aprendidos, havendo a diferenciação progressiva.

De acordo com a teoria ausubeliana, a interação dos novos conceitos e os conhecimentos preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz é necessária. Contudo, o aprendiz pode não apresentar subsunçores necessários para a aprendizagem de determinados conteúdos, nestes casos não haverá ancoragem do subsunçor com o que o estudante está conhecendo.

Não havendo subsunçores é necessária a utilização de um organizador prévio, que auxiliará na aprendizagem dos novos conceitos. Um texto, por exemplo, pode ser um material introdutório que auxiliará a aprendizagem do novo conteúdo e deverá ser elaborado de forma generalizada, sem aprofundamento de conceitos específicos, uma vez que estes servirão como ancoradouros para o que o estudante irá conhecer. Segundo Moreira, os organizadores prévios,

[...] podem tanto fornecer 'ideias-âncora' relevantes para a aprendizagem significativa do novo material, quanto estabelecer relações entre ideias, proposições e conceitos já existentes na estrutura cognitiva e aqueles contidos no material de aprendizagem. (MOREIRA, 2011, p.105)

Portanto, um organizador prévio deve trazer elementos que mostre uma ideia daquilo que será estudado, buscando assimilar significativamente os novos conhecimentos.

Os conhecimentos prévios são essenciais para que haja uma aprendizagem significativa, mas, segundo Moreira (2011) é necessário duas condições para que de fato a aprendizagem significativa aconteça, são elas: o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo; e em segundo, o aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender.

Na primeira condição, os materiais a serem utilizados devem trazer um significado para o estudante, isto é, eles devem ser planejados de acordo com os seus conhecimentos prévios e dessa forma dar sentido aos novos conceitos a serem aprendidos. É importante ressaltar que não é o material em si que será significativo, mas sim a maneira com que este fará que o estudante relacione os significados que serão aprendidos com as suas concepções previamente estabelecidas.

Já na segunda condição, o estudante deve estar predisposto a relacionar e interagir com os novos conhecimentos e com os conhecimentos que existem em sua estrutura cognitiva, partindo do seu querer aprender.

Neste produto educacional é apresentada uma sequência didática que está de acordo com a utilização de materiais potencialmente significativos. Nela, utilizou-se uma abordagem de ensino através da utilização de atividades experimentais.

Segundo afirmam os autores Leiria e Mataruco (2015),

[...] para a realização das atividades experimentais é importante que se leve em consideração o conhecimento prévio dos estudantes, suas atitudes e seus métodos, o que pode fazer com que se precise de uma prática metodológica adequada para a atividade que será proposta, para que então possa atingir o objetivo principal de sua atividade. (LEIRIA ; MATARUCO, 2015, p.6)

Há a necessidade de o professor adaptar as atividades experimentais de acordo com os subsunçores, e a cada etapa, analisar quais os conhecimentos adquiridos e em quais pontos estes foram falhos, a fim de melhorar este aprendizado (LEIRIA; MATARUCO, 2015).

No desenvolvimento das atividades experimentais é possível que os estudantes elaborem conceitos através de hipóteses que possam ser testadas e verificadas, aprendendo com o que podem observar. A experimentação, como prova

física, tende a ser conduzida para o mundo real ou para “mundos possíveis”. (SANTOS e PRAIA, 1992)

O estudante aqui passa de receptor a construtor do seu saber. Há uma ligação entre as análises dos experimentos e os estudos teóricos, no qual podem refletir o porquê acontecem determinados fenômenos, por exemplo. A aprendizagem se dá através de uma construção em conjunto, onde depende de diversos elementos.

Na utilização das réplicas de armas medievais, que foi o enfoque deste trabalho, os estudantes participaram de todas as etapas até chegar de fato ao experimento propriamente dito, para o estudo do lançamento de projéteis. Eles construíram as suas réplicas e realizaram análises para o funcionamento ideal. Para isso, houve a necessidade da pesquisa e da troca de conhecimentos entre os colegas e o professor. A construção em conjunto favorece, além da aprendizagem, a socialização, o desenvolvimento intelectual, interação entre os sujeitos envolvidos.

As réplicas de armas medievais que os estudantes construíram serão apresentadas e explicadas a partir da seção 2.3.

De acordo com investigação realizada em bibliotecas e publicações de estudos online, acervos de universidades, já foram realizadas outras pesquisas com o uso de réplicas, porém as propostas encontradas são diferentes desta apresentada neste produto. Em muitas delas o objetivo era o estudo apenas histórico, outras utilizadas para competição esportiva entre equipes, sem a observação dos conceitos físicos.

A proposta do MNPEF se constitui em desenvolver um produto educacional que possa ser utilizado em aulas de física em qualquer realidade escolar, a fim de colaborar com esta aprendizagem uma metodologia de ensino diferenciada, auxiliando professores em sua docência.

Nas aulas tradicionais, os conteúdos trabalhados costumam ter pouca contextualização com a realidade, na sua maioria com listas de exercícios repetitivos e diversas equações matemáticas.

Segundo Vieira (2014),

É consensual no campo da educação que métodos tradicionais de ensino apresentam baixa eficiência no que se refere à aprendizagem dos estudantes. Tais métodos são predominantemente baseados em aulas expositivas monológicas, com conteúdos expressos tais e quais nos livros didáticos, sendo as interações entre professor e estudantes, e destes entre

si, pouco exploradas no processo de ensino-aprendizagem. (VIEIRA, 2014, p.13)

As atividades experimentais trazem um novo sentido para a aprendizagem na área das ciências, onde o estudante possa ver e realizar análises de determinados fenômenos, validando assim a teoria.

Na utilização de experimentos como metodologia de ensino, há também a integração entre os estudantes, onde estes passam a ser autônomos, contrariando as metodologias em que o professor é o narrador. Don Finkel (2008 *apud* Moreira 2010), afirma que as aulas no modelo de ensino clássico são narradas pelo professor, no qual o conhecimento é transmitido por este ato narrativo, não havendo preocupação com as concepções cognitivas dos estudantes. Neste modelo, o ensinar é o centro do processo e o aprender é consequência.

Quando falamos em ensino centrado no estudante, o professor terá o papel de mediador neste processo, auxiliando, questionando, propondo questões desafiadoras, com o objetivo de estimular a criatividade para investigar as causas, a elaboração e teste de hipóteses para formular e resolver situações-problema relacionadas aos fenômenos, o raciocínio lógico, bem como a alfabetização científica.

Quando falamos em alfabetização científica no ensino de física, estamos relacionando os conceitos físicos à cultura do aluno, aos conhecimentos adquiridos anteriormente de maneira consciente e apropriada. Para os autores Machado e Sasseron (2012), a alfabetização científica é

um ensino que permite aos estudantes interagirem com uma nova cultura, com uma nova forma de ver o mundo e seus acontecimentos, podendo modificá-lo e a si próprio através da prática consciente propiciada por sua interação cercada de saberes, de noções e conhecimentos científicos, bem como das habilidades associadas ao fazer científico. (MACHADO; SASSERON, 2012, p.5)

A partir da alfabetização científica que se dá a compreensão dos fenômenos, e conseqüentemente, esta auxiliará na construção dos experimentos.

Percebe-se a importância da construção do experimento pelo estudante, onde este participará de todas as etapas. É importante que o estudante saiba utilizar os experimentos, mas que também saiba criá-los. A criação proporciona ao estudante uma visão sobre todas as etapas de construção do experimento, onde poderão perceber outros conceitos que estão envolvidos. Além desses aspectos, tem-se a

necessidade de estimular a criatividade, o senso crítico e a investigação através das análises e principalmente, a autonomia. Sabe-se que há a necessidade da participação ativa dos estudantes nos processos de ensino e aprendizagem e sobre os métodos onde o professor é o detentor do conhecimento, destaca Moreira (2010),

é preciso dar opções aos estudantes trabalhar os conteúdos através de situações que façam sentido para eles, que sejam relevantes. São sempre eles que decidem se querem aprender algum conhecimento de modo significativo. (MOREIRA, 2010, pg. 5)

Considerando a proposta de possibilitar opções de abordagem de conteúdos aos estudantes, propôs-se a construção de experimentos, como estratégia diferenciada de ensino para despertar o interesse dos envolvidos. O uso de experimentos na área da ciência não é algo novo, pois há muito é utilizado pelo professor para demonstração de fenômenos. O que se propôs foi a construção dos experimentos pelos alunos, onde eles sejam os protagonistas na investigação e construção.

Segundo Gallina (2007), o uso de experimentos é um encontro do estudante,

[...] com particularidades do objeto, perceptíveis pela subjetividade de cada sujeito, intermediado pelos aspectos da experimentação e dos conhecimentos prévios ao compreendermos que 'as faculdades operam a partir dos conflitos, pois é neles que se evidencia o papel criador ou inovador da relação' (GALLINA, 2007, p.141).

Partindo dessa noção, as atividades experimentais buscam envolver o estudante em todas as etapas, desde a construção até a da análise do experimento. É importante que o trabalho prático faça parte do desenvolvimento conceitual, enfatizando todo o processo da construção.

De acordo com Hodson (1990), alguns professores utilizam o laboratório sem uma adequada reflexão, acreditando que o experimento possa ensinar aos estudantes sobre o que é ciência e sua metodologia de maneira pronta. Neste pensamento, não se inclui a importância do desenvolvimento conceitual e cognitivo dos estudantes, muito menos a importância da interação entre eles e o experimento, e que este faça parte da construção do próprio saber.

Relativo à construção da aprendizagem, não só a realização do experimento é importante, mas sim a participação em todas as etapas. Partindo do interesse do

estudante pelo assunto, a realização do trabalho coletivo e a troca de conhecimentos pressupõem a elaboração de hipóteses, às análises, entre outros aspectos relevantes para a constituição da aprendizagem.

De acordo com os autores Suart e Marcondes (2008) é necessário que o estudante ultrapasse a concepção da experimentação pela experimentação, direcionando os objetivos para o desenvolvimento conceitual e cognitivo, permitindo assim evidenciar fenômenos e construir conhecimentos.

O conhecimento científico pode ser visto como o resultado da construção e reconstrução de forma interpretativa dos fenômenos observados, de modo a compreender e saber quais relações se estabelece entre o conhecimento e o objeto. A compreensão do fenômeno com base no conhecimento científico pode possibilitar uma redefinição das concepções anteriores dos sujeitos (SUART; MARCONDES, 2008).

As metodologias ativas situam-se neste contexto onde a partir da prática possa se aprender a teoria, em que o estudante possa ter maior participação na construção do conhecimento. A participação dos estudantes se torna efetiva na sala de aula, pois exige deles ações e construções mentais variadas, tais como: leitura, pesquisa, comparação, observação, imaginação, obtenção e organização dos dados, elaboração e confirmação de hipóteses, classificação, interpretação, crítica, busca de suposições, construção de sínteses e aplicação de fatos e princípios a novas situações, planejamento de projetos e pesquisas, análise e tomadas de decisões (SOUZA; IGLESIAS; PAZIN-FILHO, 2014).

Quando utilizados experimentos em sala de aula, esta teoria se enfatiza, pois está relacionada à prática.

As metodologias voltadas para a aprendizagem consistem em uma série de técnicas, procedimentos e processos utilizados pelos professores durante as aulas, a fim de auxiliar a aprendizagem dos estudantes. O fato de serem ativas está relacionado com a realização de práticas pedagógicas para envolver os estudantes, engajá-los em atividades práticas nas quais eles sejam protagonistas da sua aprendizagem. (BACICH; MORAN, 2017, p. 3)

Segundo BACICH e MORAN (2017), esta metodologia é também conhecida por método invertido de ensino, por se tratar do conhecimento a partir dos experimentos, das vivências dos estudantes, e não a partir de aulas expositivas em que o professor ministra o conteúdo.

Outro aspecto importante é motivar os estudantes para o estudo da ciência, onde estes possam interagir trocando ideias entre eles e que sejam protagonistas na apropriação do conhecimento solidamente constituído. Desafiá-los para a construção das réplicas e instigar para a curiosidade física no exercício das etapas constituintes do método científico<sup>2</sup>, poderá auxiliar nos processos de ensino e aprendizagem. Os estudantes deverão explicar com os modelos de réplicas criadas por eles, o conteúdo anteriormente trabalhado de forma teórica.

O uso das tecnologias digitais aqui será para auxiliar nas medições. Para isto, utilizamos o software de livre distribuição “*Tracker Video Analysis and Modeling Tool*” – ligado ao projeto *Open Source Physics*. O software *Tracker* possibilita a coleta de dados experimentais, que dificilmente seriam captados pela medição tradicional, permite também realizar a análise de vídeos, possibilitando o estudo de diversos tipos de movimentos a partir de filmes feitos com câmeras digitais ou webcams e computadores comuns. (OLIVEIRA, 2011)

Com o uso destas ferramentas será possível problematizar questões que raramente são abordadas em livros didáticos e em sala de aula, como por exemplo, a resistência do ar. Nos exercícios de livros e apostilas didáticas é considerado o vácuo, onde as componentes de velocidade não tiveram influências com a resistência do ar. Nos experimentos realizados ao ar livre deve ser observada essa resistência do ar, que causará diferença nos cálculos de velocidade inicial e final do movimento.

Adotarei um exercício de livro didático de RAMOS (2013) sobre lançamento oblíquo para exemplificar esta afirmativa.

*Uma bola de pingue - pongue rola sobre uma mesa com velocidade constante de 0,20m/s. Após sair da mesa, cai, atingindo o chão a uma distância de 130 cm dos pés da mesa. Considerando  $g = 10 \text{ m/s}^2$  e a resistência do ar desprezível, determine:*

*a) A altura da mesa:*

*b) O tempo gasto pela bola para atingir o solo:*

Pode-se perceber que neste exercício, a resistência do ar é desprezível. Caso fosse observada uma bola de pingue – pongue ao ar livre, seria necessário analisar

---

<sup>2</sup> Método Científico: é o conjunto das normas básicas que devem ser seguidas para a produção de conhecimentos que têm o rigor da ciência, ou seja, é um método usado para a pesquisa e comprovação de um determinado conteúdo. (RUIZ, 1986)

a resistência do ar que influenciaria nas respostas das questões sugeridas no exercício, ou seja, não seriam as mesmas.

O uso das réplicas também foi importante para a problematização dos exercícios de livros didáticos, fazendo comparações entre a prática e a teoria. Além disso, o fato dos estudantes participarem da construção das réplicas possibilita a interação e a troca de conhecimentos entre eles.

## 2.2 Queda livre

Para iniciarmos os estudos de lançamento de projéteis, há a necessidade de introduzirmos os conceitos sobre queda livre, uma vez que está ligado diretamente ao fenômeno da força gravitacional, força esta que atua sobre todos os corpos próximos à superfície terrestre.

Comumente, em nosso cotidiano usamos a expressão queda livre para referenciar algo que está caindo no vazio, quando se leva em consideração apenas a força gravitacional e se desconsidera a presença de forças resistivas.

Mas sabemos que na queda de um corpo há resistência do ar e que em algumas situações é fundamental, como por exemplo, na queda de um paraquedista. (CARRON, GUIMARÃES, 2002)

O movimento vertical de qualquer corpo que se move nas proximidades da superfície da Terra, sob a influência unicamente da sua força peso, que é a relação entre a massa do objeto e a força gravitacional exercida pela Terra, é chamado movimento de queda livre. (GEF – UFSM, 2010)

O lançamento de uma partícula, nas imediações da Terra sofre influência desta e também do ar que oferece resistência a esse movimento. Assim, um movimento de queda livre só ocorre no vácuo<sup>3</sup>, isto é, quando desprezíveis os efeitos do ar. (WERLANG, 2011)

No vácuo, todos os corpos soltos simultaneamente de uma mesma altura chegam ao solo ao mesmo tempo e com mesma velocidade, independente das suas massas, seus formatos ou matérias de que são feitos. (CARRON, 2002)

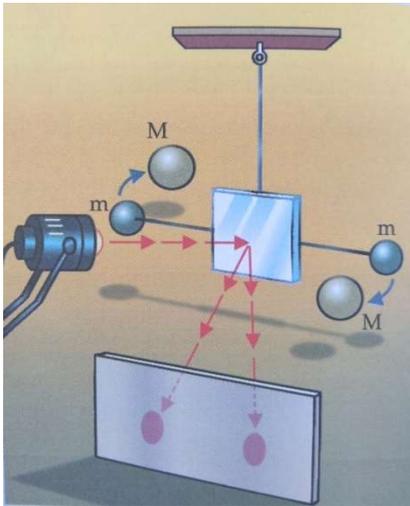
---

<sup>3</sup> Vácuo – não ocupado nem preenchido por coisa alguma; vazio: um espaço vácuo. Espaço ou ambiente que não contém ar. (BECHARA, 2011)

Ao atirmos um corpo para cima ou para baixo, a sua velocidade varia. Na subida a velocidade diminui e na descida, aumenta. No ponto mais alto da trajetória, a velocidade do corpo é nula, onde ele para e depois desce. Podemos assim concluir que há uma aceleração que influencia na queda dos corpos na Terra. A esta aceleração damos o nome de aceleração da gravidade  $g$ , onde primeiramente, seu valor foi determinado experimentalmente pelo inglês Henry Cavendish, em 1798.

Cavendish usou como experimento para comprovar o valor de  $g$ , duas bolas de massa  $m$  unidas por uma barra de massa desprezível, suspensa por uma fibra de quartzo. Um pequeno espelho está preso na barra. Uma lâmpada emite um feixe de luz que se reflete no espelho e atinge uma tela distante. Aproximando duas bolas de grandes massas iguais a  $M$ , as forças de atração entre as bolas provocarão uma pequena rotação da barra, a qual pode ser medida pelo deslocamento do ponto de luz na tela. Tendo este deslocamento e usando a teoria do movimento de rotação (que não é nosso estudo no momento), Cavendish conseguiu determinar o valor de  $g$ . Sabendo o valor de  $g$  é possível obter o valor de massa da Terra (ver figura 1). (SAMPAIO, CALÇADA, p.14, 2005)

Figura 1 – Experimento de Cavendish utilizado para comprovar o valor de  $g$ .



Fonte: SAMPAIO, CALÇADA, 2005.

Quando dizemos que a velocidade aumenta durante a queda de um objeto, estamos afirmando que a aceleração da queda é constante, na qual se chama aceleração da gravidade. Usualmente, a aceleração da gravidade terrestre é  $9,8 \text{ m/s}^2$ , presente em diversas literaturas de ensino médio a fim de facilitar o cálculo

matemático. Em outros astros celestes, a aceleração da gravidade tem intensidade diferente, como por exemplo, em Júpiter, onde  $g = 26,5 \text{ m/s}^2$ , ou na Lua  $g = 1,6 \text{ m/s}^2$ . (CARRON, 2002)

O valor da aceleração da gravidade terrestre possui uma dependência com a latitude local de acordo com a expressão:

$$g_{\varphi} \cong 9,7805 (1 + 0,00529 \text{ sen}^2_{\varphi}) \text{ m/s}^2 \quad (1)$$

Ou seja, utiliza-se  $g$  como  $9,80665 \text{ m/s}^2$  aproximadamente, pois há uma variação de acordo com a localização. Se estiver ao nível do mar e a latitude de  $45^\circ$  usa-se  $9,80665 \text{ m/s}^2$ . A aceleração da Terra varia pouco, devido a diferentes altitudes, variações na latitude e distribuição de massas do planeta. (LOPES, 2008)

No equador, os valores variam de  $9,789 \text{ m/s}^2$ , e nos pólos até  $9,823 \text{ m/s}^2$ . Isto devido à rotação da Terra, que impõe uma aceleração adicional no corpo em relação à aceleração da gravidade. O corpo atraído gravitacionalmente sente uma força centrífuga atuando para cima, reduzindo o seu peso. (LOPES, 2008)

Outra razão que explica este fenômeno é a forma não tão esférica da Terra, podendo-se dizer mais achatada nos polos, também causada pela força centrífuga. Sendo assim, o raio da Terra é maior no equador do que nos polos. Como a atração gravitacional entre os dois corpos varia inversamente entre o quadrado da distância entre eles, objetos no equador possuem gravidade menor do que nos polos.

O resultado da combinação dos dois efeitos é que  $g$  é  $0,052 \text{ m/s}^2$  maior, então a força da gravidade sobre um objeto é 0,5% maior nos polos do que no equador. Se o local estiver ao nível do mar, usamos a expressão (1), onde  $g_{\varphi}$  é a aceleração em  $\text{m/s}^2$  a latitude  $\varphi$ . (STACEY, 1977)

A tabela 1 apresenta a variação de  $g$  de acordo com a latitude local, demonstrando assim que  $9,8 \text{ m/s}^2$  é um valor de aproximação utilizado nos cálculos.

Tabela 1– Variação de  $g$  de acordo com a latitude

Latitud	$g$ ( $m/s^2$ )
0°	9,78
20°	9,786
27° a	9,79
40°	9,802
60°	9,819
80°	9,831
90°	9,832

Fonte: WERLANG, 2011. Adaptada pelo autor.

Em relação à altitude ( $h$ ), a aceleração da gravidade diminui de acordo com a equação:

$$g = \frac{GM}{(R+h)^2} \quad (2)$$

Onde  $G$  é a constante de gravitação universal e vale:

$$6,67 \times 10^{-11} \cdot \frac{N \cdot m^2}{kg^2} \quad (3)$$

Onde,

$M$  é a massa da Terra;

$R$  é o raio da Terra;

$h$  é a altura do ponto considerado em relação à superfície da Terra.

Tabela 2 – Variação de  $g$  em relação à altitude (a 45° de latitude).

Altitude ( $km$ )	$g$ ( $m/s^2$ )
0	9,81
20	9,75
40	9,69
60	9,63
80	9,57
100	9,51
200	9,22

Fonte: WERLANG, 2011. Adaptada pelo autor.

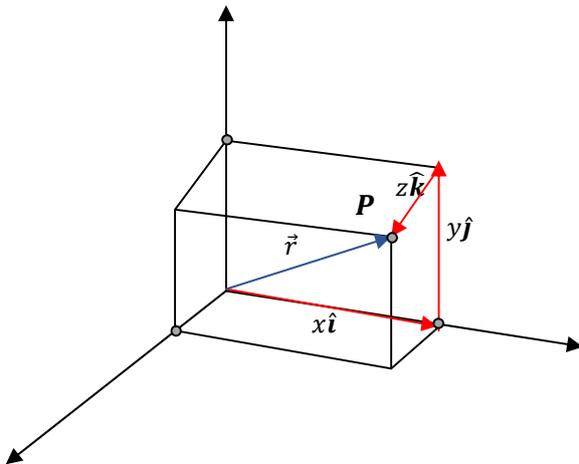
### 2.2.1 Vetor Posição e Vetor Velocidade

Ao realizar um lançamento com uma catapulta como irá descrever este movimento? O que determina onde o objeto lançado irá cair? Qual o tempo de queda do objeto lançado?

Para descrever o movimento oblíquo de uma catapulta precisa-se descrever a posição do objeto a ser lançado. Considerando o ponto  $P$  a localização do objeto, o vetor  $\vec{r}$  é o vetor que vai da origem das coordenadas até o ponto  $P$ . As coordenadas  $x$ ,  $y$  e  $z$  do ponto  $P$  são componentes  $x$ ,  $y$  e  $z$  do vetor  $\vec{r}$ , conforme gráfico 1. (YANG e FREEDMAN, 2003).

$$\vec{r} = x\hat{i} + y\hat{j} + z\hat{k} \quad (4)$$

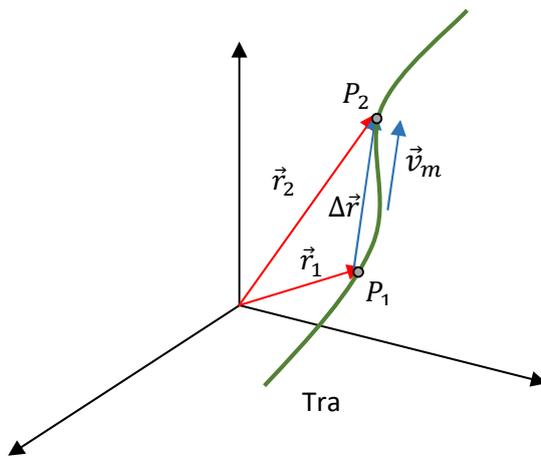
Gráfico 1 – vetor posição  $\vec{r}$  da origem até o ponto  $P$  possui componentes  $x$ ,  $y$  e  $z$ .



Fonte: YOUNG E FREEDMAN, (2003). Adaptada pelo autor.

Quando o objeto se desloca no espaço, a trajetória descrita é uma curva, conforme mostra o gráfico 2. Durante um intervalo de tempo  $\Delta t$  o objeto se move do ponto  $P_1$ , onde o vetor posição é  $\vec{r}_1$  até o ponto  $P_2$ , onde o vetor posição é  $\vec{r}_2$ . A variação da posição neste intervalo de tempo é  $\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$  (vetor deslocamento). (TIPLER, 1985)

Gráfico 2 – A velocidade média  $\vec{v}_m$  entre os pontos  $P_1$  e  $P_2$  possui a mesma direção e o mesmo sentido do vetor deslocamento  $\Delta\vec{r}$ .



Fonte: YOUNG E FREEDMAN, (2003). Adaptada pelo autor.

Define-se como velocidade média, a razão entre o vetor deslocamento  $\Delta\vec{r}$  e o intervalo de tempo transcorrido neste deslocamento  $\Delta t = t_2 - t_1$ :

$$\vec{v}_m = \frac{\vec{r}_2 - \vec{r}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} \quad (5)$$

Define-se como velocidade instantânea, o limite da velocidade média quando o intervalo de tempo  $\Delta t$  tende a zero, sendo igual à taxa de variação do vetor posição com o tempo.

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad (6)$$

Segundo Young e Freedman (2003), o vetor velocidade instantânea pode ser calculado usando componentes. Durante qualquer deslocamento  $\Delta\vec{r}$  as variações  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  e  $\Delta z$  das três coordenadas da partícula são os componentes de  $\Delta\vec{r}$ . Assim, pode-se concluir que os componentes da velocidade instantânea  $v_x$ ,  $v_y$  e  $v_z$  da velocidade instantânea  $\vec{v}$  são as derivadas das coordenadas  $x$ ,  $y$  e  $z$  em relação ao tempo.

Sendo assim, as componentes da velocidade instantânea são:

$$v_x = \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt}, \quad v_z = \frac{dz}{dt} \quad (7)$$

Também pode ser obtido este resultado derivando a equação (4), onde os vetores  $\hat{i}$ ,  $\hat{j}$ ,  $\hat{k}$  possuem módulo, direção e sentido constantes, logo suas derivadas são nulas, e encontramos:

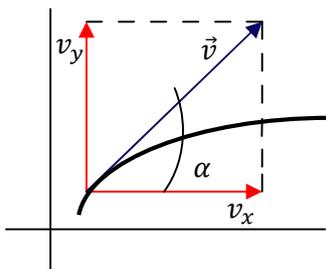
$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\hat{i} + \frac{dy}{dt}\hat{j} + \frac{dz}{dt}\hat{k} \quad (8)$$

A velocidade escalar é dada em termos dos componentes  $v_x$ ,  $v_y$  e  $v_z$  através do teorema de Pitágoras (ver apêndice C):

$$|\vec{v}| = v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (9)$$

No decorrer das próximas seções, quando mencionado velocidade, estaremos se referindo à velocidade instantânea  $\vec{v}$  (ao invés do vetor velocidade média). Lembrando que velocidade é uma grandeza vetorial que possui módulo, direção e sentido.

Gráfico 3 – Os dois componentes da velocidade para um movimento no plano  $x y$ .



Fonte: YOUNG E FREEDMAN, (2003). Adaptada pelo autor.

### 2.2.2 Vetor aceleração

Segundo Yang e Freedman (2003) considera-se a aceleração de uma partícula que se move no espaço em um movimento retilíneo, a variação da

velocidade. A aceleração média é definida como a razão entre a variação do vetor velocidade instantânea  $\Delta v$  e o intervalo de tempo  $\Delta t$ :

$$\vec{a}_m = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \quad (10)$$

A aceleração média é uma grandeza vetorial que possui mesma direção e sentido do vetor  $\Delta \vec{v}$ .

Quando falamos em aceleração instantânea, esta é definida como a derivada do vetor velocidade em relação ao tempo: (TIPLER, 1985)

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} \quad (11)$$

Durante uma trajetória curvilínea, por exemplo, em um lançamento de projéteis, a aceleração do projétil é sempre diferente de zero, mesmo quando sua velocidade escalar for constante. Essa definição se dá quando dizemos que houve qualquer variação no vetor velocidade, incluindo apenas variação da direção deste vetor, sem variação da velocidade escalar, ou variação simultânea da direção e da velocidade escalar. (YOUNG e FREEDMAN, 2003)

Na aceleração instantânea, os componentes vetoriais são definidos pela derivada do respectivo componente do vetor velocidade:

$$a_x = \frac{dv_x}{dt}, \quad a_y = \frac{dv_y}{dt}, \quad a_z = \frac{dv_z}{dt} \quad (12)$$

Para vetores unitários teremos:

$$\vec{a} = \frac{dv_x}{dt} \hat{i} + \frac{dv_y}{dt} \hat{j} + \frac{dv_z}{dt} \hat{k} \quad (13)$$

De acordo com Young e Freedman (2003), a componente da derivada é dada pela derivada da respectiva coordenada da posição, descrevendo os componentes  $a_x$ ,  $a_y$  e  $a_z$  teremos:

$$a_x = \frac{d^2x}{dt^2}, \quad a_y = \frac{d^2y}{dt^2}, \quad a_z = \frac{d^2z}{dt^2} \quad (14)$$

E para o vetor da aceleração  $\vec{a}$ :

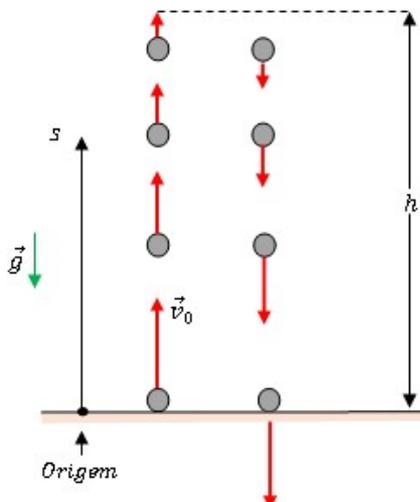
$$\vec{a} = \frac{d^2x}{dt^2}\hat{i} + \frac{d^2y}{dt^2}\hat{j} + \frac{d^2z}{dt^2}\hat{k} \quad (15)$$

### 2.2.3 Lançamento Vertical

Chamamos de lançamento vertical, o movimento de um projétil lançado verticalmente para cima. O lançamento vertical se difere da queda livre pelas condições iniciais, pois a velocidade inicial não é nula. A aceleração da gravidade será sempre negativa, adotando o eixo de coordenadas vetoriais positivas, pois o sentido da aceleração não muda orientado sempre para baixo. No ponto mais alto onde a velocidade é nula, a aceleração permanece a mesma. (GASPAR, 2005)

Durante a subida, o corpo se movimenta no mesmo sentido da orientação do referencial, fazendo com que as velocidades sejam sempre positivas. A esta fase de subida, dizemos que o movimento é retardado, onde os sinais da velocidade e da aceleração são contrários. Já no movimento de descida, o corpo se move no sentido contrário do referencial, sendo assim, as velocidades são negativas. Na descida, dizemos que o movimento é acelerado, ou seja, os sinais da velocidade e da aceleração são iguais. Em relação ao tempo, este é o mesmo na subida e na descida devido a aceleração do objeto ser constante. (WERLANG, 2011)

Figura 2 – Lançamento vertical



Fonte: CARRON, 2002. Adaptada pelo autor.

A figura 2 mostra o lançamento vertical de um projétil, a sua trajetória de subida e de descida, uma ao lado da outra, porém apenas para ilustrar o movimento, pois o trajeto é o mesmo.

As equações do lançamento vertical são correspondentes às do MRUV, porém  $a$  é substituído por  $-g$ . (CARRON, 2002)

Ou seja:

$$s = s_0 + v_0 t - \frac{gt^2}{2} \quad (16)$$

$$v = v_0 - gt \quad (17)$$

$$v^2 = v_0^2 - 2g \Delta s \quad (18)$$

Às equações acima denominamos de *função horária do espaço* (16), *função horária da velocidade* (17) e *equação de Torricelli* (18).

A altura máxima pode ser calculada pela equação abaixo, considerando que a velocidade no ponto mais alto é nula e substituindo  $v = 0$  na equação de Torricelli, obtemos:

$$h_{m\acute{a}x.} = \frac{v_0^2}{2g} \quad (19)$$

Quando o projétil retorna ao ponto de saída, o deslocamento é nulo  $\Delta s = 0$ , porém a distância percorrida não é nula no intervalo de tempo considerado.

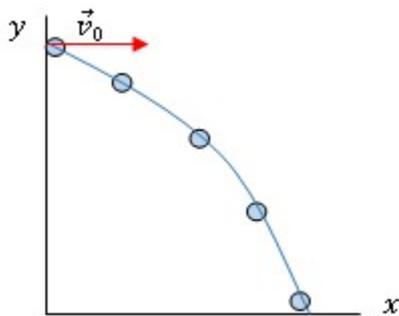
Para o cálculo do tempo total do percurso soma-se o tempo de subida com o tempo de descida. Utiliza-se a seguinte equação para o tempo de subida ou descida, considerando que os tempos são iguais entre si:

$$t = \frac{v_0}{g} \quad (20)$$

### 2.2.4 Lançamento Horizontal

Quando um corpo é lançado horizontalmente a partir de uma altura  $h$ , acima do solo, esse descreve um trecho de trajetória parabólica até atingir o solo. Na direção horizontal deste movimento temos a velocidade constante e não nula ( $v_x$ ), o que define um movimento retilíneo e uniforme (MRU) que é independente do movimento na direção vertical. (CARRON, 2002)

Gráfico 4– Lançamento horizontal.



Fonte: CARRON, 2002. Adaptada pelo autor.

Na direção horizontal, conforme demonstra a figura acima, o movimento é uniforme, e na direção vertical é variado uniforme.

Para a função horária em MRU, sendo  $|\vec{v}_x| = |\vec{v}_0|$ , temos:

$$s = s_0 + vt \quad (21)$$

$$x = v_0 t \quad (22)$$

Na equação (22),  $x$  representa o alcance horizontal. Na vertical, o movimento é retilíneo acelerado uniformemente, onde a velocidade uniformemente com o tempo e seu módulo é dado por:

$$y = \frac{gt^2}{2} \quad (23)$$

Para a equação da trajetória da coordenada  $y$  em função da coordenada  $x$ , isola-se  $t$  na equação (22) e substituiu na equação (23). Sendo assim, temos:

$$y = \frac{g}{2v_0^2} \cdot x^2 \quad (24)$$

### 2.2.5 Lançamento de projétil

Definiremos projétil<sup>4</sup> como um corpo lançado com uma velocidade inicial que segue em uma trajetória curvilínea, no qual é determinada pela aceleração da gravidade, já mencionada na seção 2.2.1 e pela resistência do ar.

Para a análise deste movimento iremos desprezar a resistência do ar, a curvatura e rotação da Terra. Como já mencionado anteriormente, estes fatores influenciam no movimento de um projétil que percorre grandes distâncias, porém aqui analisaremos o movimento realizado através do uso de réplicas de armas medievais, portanto, serão desprezados estes efeitos.

O movimento de um projétil ocorre em duas dimensões: vertical e horizontal. Para análise, adotaremos o eixo  $y$  para o movimento vertical e o eixo  $x$  para o movimento horizontal. O componente  $x$  da aceleração é igual a zero, o componente  $y$  é constante e igual a  $-g$ . Considera-se, portanto, “*um movimento de projétil como uma combinação de um movimento horizontal com velocidade constante e um movimento vertical com aceleração constante.*” (YOUNG e FREEDMAN, p.66, 2003)

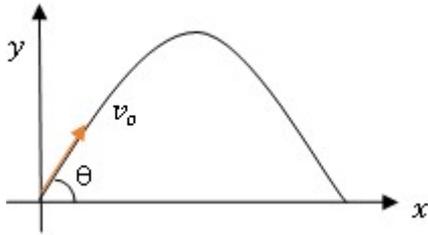
Desta forma, o lançamento oblíquo é a composição do movimento de queda livre na direção vertical e de MRUV na direção horizontal.

O alcance máximo de um projétil e sua altura máxima depende da sua velocidade inicial e do ângulo de saída (ângulo formado entre o eixo  $x$  e o eixo  $y$ ). Na direção vertical, o corpo faz o movimento uniformemente variado para a velocidade inicial  $v_{0y}$  e a gravidade  $g$ . Já na direção horizontal, o projétil realiza um movimento uniforme com velocidade  $v_{0x}$ . Considerando um lançamento de projétil na superfície da Terra, com velocidade  $v_0$ , que forma um ângulo  $\theta$  com a horizontal, representado de acordo com a figura 5.

---

<sup>4</sup> Qualquer corpo lançado por impulsão de alguma força para atingir uma ou um grupo de pessoas ou coisas. (FERREIRA, 2010)

Gráfico 5 – Movimento de um projétil



Fonte: Nussenzveig, (2013), adaptada pelo autor.

Segundo Yung e Freendman, (2003) podemos então decompor movimento, separando os componentes vertical e horizontal, onde o movimento efetivo do projétil é a superposição destes movimentos. Para a aceleração teremos as componentes:

$$a_x = 0, \quad a_y = -g \quad (25)$$

Dada a equação da velocidade em MRUV:

$$v = v_0 + at \quad (26)$$

E a equação de posição:

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (27)$$

Considerando o movimento no eixo  $O_x$ , substituindo  $v$  por  $v_x$ ,  $v_0$  por  $v_{0x}$  e para  $a$  por 0, na equações (26) e (27), teremos:

$$v_x = v_{0x} \quad (28)$$

$$x = x_0 + v_0 t \quad (29)$$

No eixo  $O_y$ , substituindo  $x$  por  $y$ ,  $v$  por  $v_y$ ,  $v_0$  por  $v_{0y}$  e  $a$  por  $-g$ , temos:

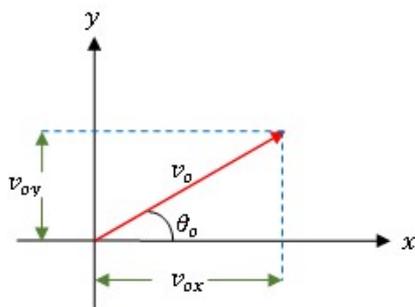
$$v_y = v_{0y} - gt \quad (30)$$

$$y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (31)$$

Se a aceleração é constante, os movimentos  $x$  e  $y$  podem ser descritos separadamente, conforme acima apresentado em conjunto com as equações do MRUV.

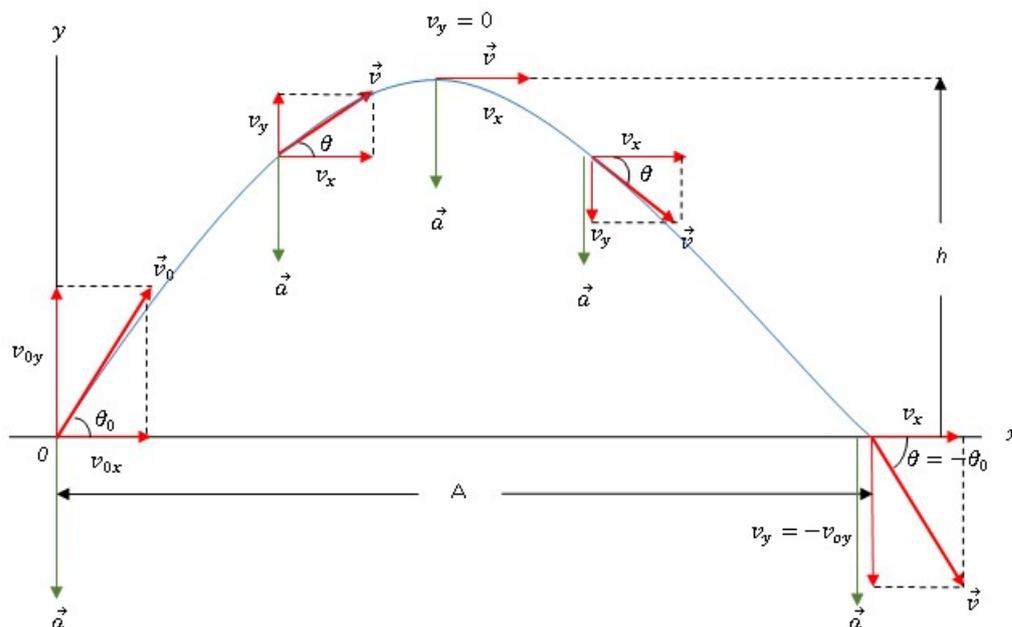
De acordo com o gráfico 4, o vetor velocidade faz um ângulo  $\theta_0$  com o eixo horizontal e para a decomposição do vetor velocidade usa-se as razões trigonométricas (ver apêndice C), visto que forma-se um triângulo retângulo entre as componentes  $v_{0x}$  e  $v_{0y}$ , conforme demonstrado no gráfico abaixo:

Gráfico 6—Ângulo  $\theta_0$  formado com o eixo horizontal  $x$



Fonte: TIPLER, 1985. Adaptada pelo autor.

Gráfico 7 – Trajetória de um projétil e a decomposição das velocidades  $v_x$  e  $v_y$



Fonte: SAMPAIO e CALÇADA (2005). Adaptada pelo autor.

No gráfico acima vimos a trajetória de um projétil, que inicia o movimento na origem em um dado instante  $t = 0$ , lançado com velocidade inicial  $\vec{v}_0$  formando um ângulo  $\theta_0$  acima da horizontal, desprezando a resistência do ar. Os componentes da posição, velocidade e aceleração, são para o mesmo intervalo de tempo. Considere-se  $v_x$  constante, pois a componente  $x$  da aceleração é igual a zero. A componente  $y$  da aceleração é constante e não nula, onde  $v_y$  varia de quantidades iguais em intervalos de tempo iguais no ponto mais alto da trajetória  $v_y = 0$ . A distância  $A$  é o alcance horizontal e  $h$  é a altura máxima. (YOUNG e FREENDMAN, 2003)

Analisando os componentes da velocidade  $v_{0x}$  e  $v_{0y}$  e substituindo nas equações trigonométricas (apêndice C), teremos:

$$v_{0x} = v_0 \cos \theta \quad (32)$$

$$v_{0y} = v_0 \text{sen} \theta \quad (33)$$

No movimento oblíquo, não há aceleração horizontal e o movimento horizontal e o vertical são independentes. Analisando este movimento através de uma catapulta medieval, observaremos através de medições e análises com equações matemáticas que, durante a subida do objeto lançado, a velocidade vertical  $v_{0y}$  diminui, enquanto na descida aumenta. O alcance máximo atingido pelo objeto entre o ponto de lançamento e o ponto da queda se dará em  $y = 0$ .

De acordo com Halliday (2013), utilizando a função horária da velocidade (26), em MRUV, desde que  $a$  seja substituído por  $-g$  e o eixo  $x$  pelo eixo  $y$ , conforme demonstrado abaixo:

$$y - y_0 = v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (35)$$

Substituindo pela equação 33 temos:

$$y - y_0 = (v_0 \text{sen}\theta_0)t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (36)$$

Onde a componente vertical da velocidade inicial  $v_0$  foi substituída pela expressão equivalente  $v_0 \text{ sen } \theta_0$ .

$$v_y = v_0 \text{ sen } \theta_0 - gt \quad (37)$$

$$v_y^2 = (v_0 \text{ sen } \theta_0)^2 - 2g(y - y_0) \quad (38)$$

A componente vertical se comporta exatamente como a de uma bola lançada verticalmente para cima. No ponto mais alto da trajetória, o módulo da velocidade é zero, após, a componente vertical da velocidade muda de sentido e aumenta com o passar do tempo até o final da trajetória. (HALLIDAY, 2013)

Na componente horizontal, este movimento  $v_x$  e  $v_0$  permanece igual ao valor inicial, pois não existe aceleração.

$$x - x_0 = v_{0x}t \quad (39)$$

Se substituirmos  $v_x$  por  $v_0 \text{ cos } \theta_0$ , temos:

$$x - x_0 = (v_0 \text{ cos } \theta_0)t \quad (40)$$

Quando o projétil retorna a mesma horizontal, conforme o gráfico 7, o movimento é simétrico em relação à altura máxima, portanto o tempo de subida é o mesmo tempo de descida. (CARRON, 2002)

$$t_{subida} = t_{descida} = \frac{v_0 \cdot \text{sen } \theta}{g} \quad (41)$$

O tempo total da trajetória será a soma do tempo de subida com o tempo de descida, desde que o projétil retorne a mesma horizontal.

Para a determinação da altura máxima ( $h_{m\acute{a}x.}$ ), aplica-se a equação de Torricelle:

$$h_{m\acute{a}x.} = \frac{(v_0 \cdot \text{sen } \theta)^2}{2g} \quad (42)$$

### 2.2.5.1 Alcance Horizontal

É a distância medida no eixo horizontal do ponto de lançamento ao ponto final da trajetória. Chamaremos alcance horizontal de  $A$ , que será determinado por substituições na equação (40), onde  $x - x_0 = A$ , e  $y - y_0 = 0$  na equação (36), ambas já apresentadas anteriormente. (HALLIDAY, 2013)

$$A = (v_0 \cos \theta_0)t \quad (43)$$

$$0 = (v_0 \sin \theta_0)t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (44)$$

Eliminando  $t$ , teremos:

$$A = \frac{2v_0^2}{g} \sin \theta_0 \cos \theta_0 \quad (45)$$

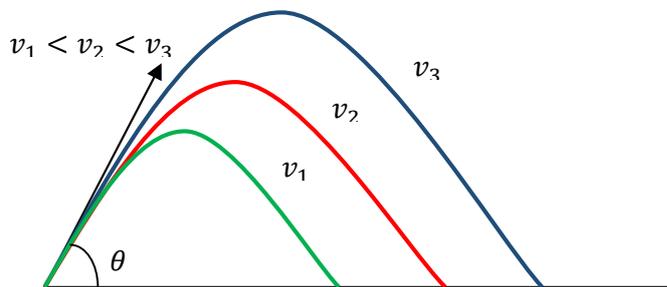
Usando a trigonometria que diz que  $\sin 2\theta_0 = 2\sin \theta_0 \cos \theta_0$ , têm-se:

$$A = \frac{v_0^2}{g} \sin 2\theta_0 \quad (46)$$

Nesta equação,  $A$  atinge o valor máximo para  $\sin 2\theta_0 = 1$ , que corresponde a  $2\theta_0 = 90^\circ$  ou  $\theta_0 = 45^\circ$ . (Halliday, 2013).

Para o mesmo ângulo de lançamento, quanto maior a velocidade, maior será o alcance. Observe o gráfico abaixo de vários lançamentos de mesmo ângulo, porém com velocidades crescentes. (CARRON, 2002)

Gráfico 8 – Lançamentos no mesmo ponto de saída, porém com velocidades diferentes.



Fonte: CARRON, 2002. Adaptada pelo autor.

Podemos observar que a distância percorrida pelo projétil é igual ao produto entre a componente horizontal da velocidade inicial  $v_{0x}$  e o tempo em que o projétil permanece no ar, o qual por sua vez é proporcional a  $v_{0y}$ . O alcance máximo em relação ao ângulo formado entre a horizontal e o lançamento, ocorre quando essas componentes são iguais.

Em alguns casos, como por exemplo, no lançamento de projéteis por uma catapulta medieval, deve ser considerada a resistência do ar, pois esta reduz o alcance para um dado ângulo de projeção. No caso de mísseis balísticos, que percorrem longas distâncias, outro fator de influência no movimento é a rotação da Terra. O movimento não se passa no plano definido pela vertical e pelo vetor velocidade inicial. Analisando a rotação da Terra teremos um pequeno deslocamento para a direita, no hemisfério norte, e para a esquerda no hemisfério sul. Esse movimento se deve ao *efeito Coriolis*, que é provocado em virtude de a superfície da Terra estar acelerada em consequência do movimento de rotação do globo.

### 2.3 A construção e o uso de réplicas de armas medievais no ensino de física

A Física é uma ciência que utiliza atividades experimentais para o estudo dos fenômenos naturais. Até mesmo os cientistas, que em algumas situações não conseguem fazer o uso de materiais para experimentos concretos para determinados fenômenos, realizavam experimentações mentais. Para os alemães

*Gedankenexperiment*, significava experimento no pensamento, isto é, imagina-se o que irá ocorrer em certa situação e analisa-se o resultado. (HAMBURGER, 1984)

Portanto, com a construção de réplicas de armas medievais atende-se uma das propostas do ensino de física, uma vez que as referidas armas serão utilizadas como recurso experimental para o estudo dos fenômenos, como a força gravitacional, aceleração, velocidade e distância percorrida ao longo do tempo de um lançamento oblíquo. O conhecimento através da experimentação estará aliado às teorias da mecânica clássica.

Com a utilização das réplicas, a partir da construção pelos estudantes, pretende-se envolvê-los em atividades de interação, socialização, estimulando a criatividade, bem como um desafio para aplicar o conhecimento adquirido em sala de aula, aliado a teoria, além de estimular a curiosidade científica.

Esta proposta foi colocada na perspectiva com a teoria ausubeliana, pois o professor será o facilitador ao proporcionar base teórica e mediação para o desenvolvimento da investigação e de habilidades que levem à facilidade da compreensão do tema estudado.

Segundo Moreira (2011),

O professor (medição humana) é quem já domina os significados aceitos no âmbito da matéria de ensino e o aprendiz é aquele que busca captar tais significados. Cabe ao professor apresentar, das mais diversas maneiras, e várias vezes se necessário, esses significados que está captando. Ao estudante compete verificar se os significados que está absorvendo são aqueles aceitos no contexto da matéria de ensino. (MOREIRA, 2011, p. 163)

Assim, nesta proposta, a partir do uso das ferramentas facilitadoras de ensino, o professor busca promover uma aprendizagem em que o conhecimento tenha significado para o estudante e que este possa compreender os conteúdos trabalhados.

### **2.3.1 A construção de réplicas de armas medievais no contexto escolar**

Considera-se que a construção de réplicas como ferramentas facilitadoras de ensino utilizando matérias acessíveis e de baixo custo, pode propiciar aos estudantes a aprendizagem de conceitos que estão além da física, como por exemplo, a sustentabilidade, a consciência sobre a reutilização de materiais e sua

importância para a preservação e conservação do planeta. Nesta proposta, os estudantes devem utilizar materiais reciclados ou madeira de demolição na construção das réplicas. Além das questões mencionadas acima, o produto educacional poderá ser aplicado em outras realidades escolares, sendo acessível a qualquer estudante, cumprindo assim uma das exigências do MNPEF.

Conforme afirmam os autores, Santos, Piassi e Ferreira (2008), a experimentação, sobretudo quando realizada com materiais simples que o estudante tem condições de manipular e controlar facilita o aprendizado dos conceitos, desperta o interesse e suscita uma atitude indagadora por parte dos envolvidos neste processo.

Experimentos onde o estudante faça parte da construção, que possa manusear, proporcionam a visualização das etapas permitindo o surgimento de questões relacionadas ao funcionamento do experimento, assim como os conceitos envolvidos, despertando a curiosidade científica. Esse tipo de experimento de forma manipulativa vem sendo utilizado com maior frequência por professores, buscando a interação entre os estudantes, uma vez que os trabalhos serão realizados em grupos e que a troca de conhecimentos poderá estar presente entre eles.

De acordo com Carvalho, et. al. (2010)

As interações dos estudantes com o material experimental podem ser somente visuais, quando a experiência é feita pelo professor, em aulas que denominamos de demonstração; ou de forma manipulativa, quando, em pequenos grupos, os estudantes trabalham em laboratório. (CARVALHO, et. al. 2010, p.53)

Nesta proposta de produto educacional, os experimentos serão réplicas de armas medievais construídos pelos estudantes em sala de aula. Em relação aos aspectos cognitivos, o trabalho coletivo auxilia a integração e o pensamento crítico.

O uso das réplicas também poderá proporcionar a curiosidade e o interesse pelos novos conceitos onde o estudante terá participação ativa em todas as etapas de ensino. Propostas onde os estudantes estejam envolvidos em todos os processos de ensino e aprendizagem é conhecida por “ensino centrado no estudante”, conforme afirma Moreira (2010, p. 4), o estudante deve ser ativo, não passivo. Ela ou ele tem que aprender a interpretar, a negociar significados; tem que aprender a ser crítica (o) e aceitar a crítica.

Através das réplicas podem ser trabalhados diversos conceitos de mecânica, como por exemplo, lançamento oblíquo, velocidade, aceleração e gravidade, que

são os objetivos desta proposta. Poderiam ser analisados outros aspectos como torque, força elástica, trigonometria a partir das angulações formadas nos lançamentos, medidas de tempo e distância.

Há alguns trabalhos publicados que utilizarão experimentos com catapultas medievais, porém com outros objetivos e outros tipos de materiais utilizados na construção, diferentes desta proposta. Na maioria das publicações pesquisadas, a construção tinha por finalidade competições esportivas em atividades da disciplina de educação física. Nas publicações em que a construção das catapultas era realizada nas aulas de física, o objetivo era a visualização do movimento oblíquo, porém os modelos utilizados eram levados e construídos pelo professor. (ANTUNES, 2016)

Portanto, são propostas de experimentos demonstrativos, diferentes da apresentada neste estudo que prevê o envolvimento dos estudantes desde a construção até a sua utilização.

Antunes (2016) propôs a construção utilizando cabos de vassoura e vigas de madeira, onde o professor construiu através de um modelo padrão uma catapulta medieval e os estudantes participaram apenas dos testes. Para os testes foram medidos com régua a distância em que o projétil atingia o solo, após foram realizados os cálculos da velocidade a partir de equações matemáticas do lançamento oblíquo. Na proposta apresentada aqui será utilizado o *Tracker* para as medições da distância, e os estudantes irão construir as réplicas em tamanhos diferentes.

Outros autores apresentaram uma proposta de construção para fins de competição entre equipes, como na escola La Salle Santo Antônio (Porto Alegre, RS), que organizou uma espécie de batalha medieval. Segundo o professor e organizador do projeto, Oliveira (2012) diz que além da competição foram resgatados aspectos históricos sobre guerras medievais que utilizaram Trebuchet.

Na proposta deste trabalho, serão abordados alguns aspectos históricos em nível de conhecimento, como objetivo principal de contextualizar os estudos sobre os movimentos envolvidos no lançamento oblíquo. Não será realizada competição entre os grupos, visto que vai à contramão desta proposta de ensino que visa um trabalho colaborativo.

### 2.3.2 Armas medievais como ferramentas de aprendizagem do lançamento oblíquo ou balístico

O lançamento oblíquo e também conhecido por lançamento balístico é o estudo do movimento de corpos lançados ao ar livre, sendo que a força gravitacional, considerada constante é a única atuante sobre o projétil. Geralmente relacionado ao lançamento de projéteis, como por exemplo, um chute de uma bola ou um disparo com uma arma de fogo, que faz um ângulo em relação a um referencial, na maioria das vezes considera-se o solo. Outros exemplos são as catapultas medievais utilizadas em guerras nos anos 400 a.C., utilizadas para lançamentos contra o território inimigo. Sobre a criação dessas armas, sabe-se que,

As primeiras catapultas apareceram na Europa, em épocas gregas tardias (400 a.C. – 300 a.C.), Inicialmente adotadas por Dionísio de Siracusa e Onomarchus da Fócida. Foi inventada para ser usada como artilharia no campo de batalha ou durante cercos. Alexandre, o Grande, introduziu a ideia de usá-las para promover cobertura no campo de batalha em conjunto ao seu uso durante cercos. (SANTOS, D. et al. 2010, p. 16)

Relacionando aos estudos sobre os movimentos, dois importantes matemáticos e físicos estão envolvidos, Galileu e Newton.

Sábio italiano, Galileu nasceu em Pisa em 1564, seu pai Vincenzo Galilei, membro da pequena nobreza, era músico e mercador, homem de cultura respeitada e um espírito contestador das idéias conservadoras da época. Na sua juventude, Galileu estudou Medicina, mas abandonou este curso e se dedicou aos estudos da Física e da Matemática. Isto na cidade de Florença, onde conviveu com os intelectuais que frequentavam a casa de seu pai, o que enriqueceu muito seus saberes filosóficos e literais. Galileu foi professor de matemática em Pisa e Pádua, onde descobriu as leis de queda dos corpos. O estudo da física com base em observações e experimentações iniciou-se com Galileu e por isso ele é considerado o criador da física moderna. (UENO, 2006)

Galileu, físico, matemático, astrônomo e filósofo iniciou seus estudos pela lei da Inércia, e por último estudou o lançamento de projéteis. Também teve seus estudos sobre a gravidade, onde observou que a aceleração durante a queda livre de um objeto era impossível ser medida com precisão, pois a aceleração era maior em relação ao tempo de queda. (NUSSENZVEIG, 2013).

Newton nasceu em 1642, mesmo ano da morte de Galileu. Estudou na Universidade de Cambridge, onde cursou Matemática. Aos 26 anos, foi nomeado professor desta mesma universidade e aos 30 anos foi eleito membro da Real Academia de Ciências de Londres, uma das mais importantes da Inglaterra. Criou e desenvolveu as bases do cálculo integral e diferencial, formou as leis da gravitação, estabeleceu as leis da dinâmica, que se tornariam a base fundamental da mecânica clássica, entre outros estudos. (UENO, 2006)

Antes de Galileu, Aristóteles havia afirmado que o estado natural de um corpo era em repouso e que só haveria movimento se uma força atuasse sobre ele. Defendia a teoria de que um objeto lançado com angulações menores que  $90^\circ$  movimentava-se com velocidade numa trajetória retilínea e que sua queda seria uma reta na vertical. (NUSSENZVEIG, 2013).

Esta teoria foi aceita até que Galileu realizou uma experiência na torre de Pisa, segundo o que a literatura física apresenta, mas ainda há dúvidas sobre a veracidade deste fato. Para este experimento, Galileu deixou cair dois corpos, com massas diferentes, da mesma altura, e os dois objetos caíram ao mesmo tempo ao solo, indo contra a teoria aristotélica. Galileu pensou que o movimento da queda era em duas direções: horizontal e vertical. Na vertical, a força da gravidade, e na horizontal, o movimento seria uniforme e a velocidade constante. (TIPLER, 2013)

Galileu realizou estudos e observações sobre uma bala de canhão que se move em linha reta até esgotar seu impulso e depois cai verticalmente, e provou que, a trajetória formaria uma parábola. Durante seus estudos percebeu que para um o alcance máximo de um projétil é preciso que o ângulo formado entre o eixo e o lançamento, seja de aproximadamente  $45^\circ$ , tendo a Terra como referencial inercial. (TIPLER, 2013)

As amplitudes das parábolas descritas por projéteis disparados com a mesma velocidade, mas com ângulos de elevação acima e abaixo de  $45^\circ$  e equidistantes de  $45^\circ$  são iguais entre si. Para obter estes resultados, Galileu desprezou a resistência do ar, que tende a diminuir o alcance e alterar o caráter do movimento. (NUSSENZVEIG, 2013).

No estudo do lançamento oblíquo analisa-se a decomposição deste movimento, em relação ao eixo  $x$  e  $y$ . Para  $x$  analisa-se o movimento de queda livre, movimento retilíneo uniforme (MRU) onde a velocidade é constante. Já para  $y$

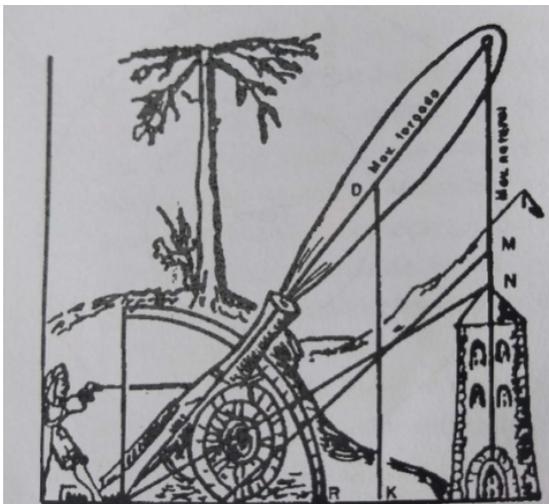
analisa-se o movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV), com aceleração constante. O resultado é uma trajetória parabólica. (NUSSENZVEIG, 2013).

Como o tema desta dissertação faz parte do estudo de Mecânica, torna-se relevante definirmos a sua etimologia: mecânica vem do grego *mechaniké*, “arte de construir uma máquina” que, traduzido para o latim tem-se *mechanica*. Mecânica é a ciência que investiga os movimentos e as forças que os produzem. A partir dessas definições concluímos que o termo originalmente significava técnica e teoria de construção das máquinas. (ROCHA, 2015)

De acordo com Rocha (2015), Aristóteles foi um dos primeiros a tratar sobre os estudos dos movimentos. Para ele havia dois tipos distintos de movimentos, o produzido por causas internas e os violentos, produzidos por causas externas, que se opõem aos naturais. As causas externas dos movimentos violentos podem ser uma pedra atirada para cima, que se afastará de seu lugar natural, mas em seguida irá cair quando a força for esgotada voltando ao seu lugar natural. Para Aristóteles, não existia inércia, pois ao cessar a causa o corpo deverá parar.

Segundo a Mecânica aristotélica, um corpo só pode ter um único movimento de cada vez, de forma que um projétil que seja arremessado obliquamente terá uma trajetória retilínea ascendente até que a ação inicial acabe e então, o corpo passa a cair verticalmente. Aristóteles também acreditava que corpos mais pesados cairiam mais rapidamente, o que Galileu comprovou em seus estudos posteriores que independia da massa do objeto. (ROCHA, 2015)

Figura 3 – A trajetória de um projétil, segundo a física aristotélica.



Fonte: ROCHA, 2015.

Tartaglia, um italiano, previu em um tratado em 1551 trajetórias curvas para uma bola de canhão arremessada obliquamente. Suas previsões são contrárias às de Aristóteles, pois segundo ele os movimentos sucedem independentemente e sem superposições.

Figura 4– A trajetória de um projétil, segundo Tartaglia.

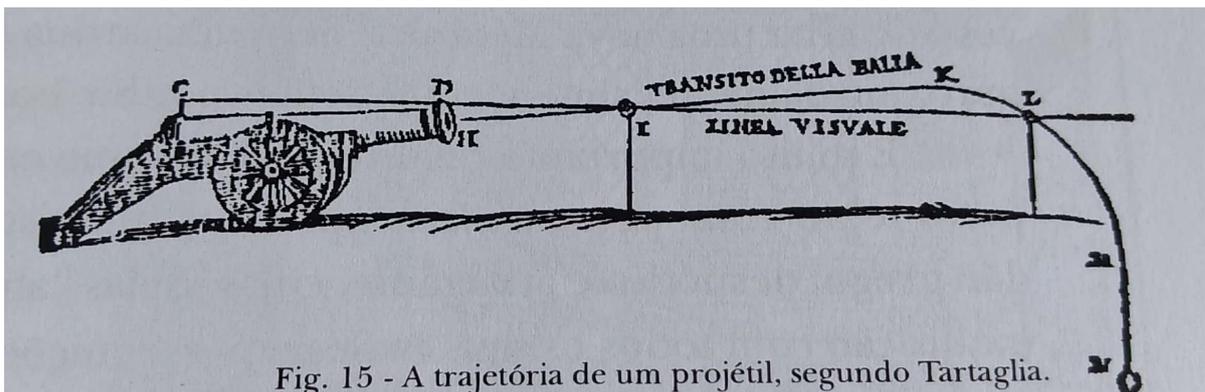


Fig. 15 - A trajetória de um projétil, segundo Tartaglia.

Fonte: ROCHA, 2015.

Alguns especialistas em balística que observavam o curso parabólico de uma bala de canhão, sabiam que a visão aristotélica havia controvérsias, pois as balas não caem verticalmente sobre seus alvos, havendo assim problemas no princípio de separação dos movimentos. (BEM-DOV, 1996)

O lançamento de projéteis foi visto por muito tempo em cenários de guerras através das armas medievais. Duas destas armas serão aqui apresentadas para o estudo de lançamento de projéteis, a *Catapulta* e o *Trebuchet*.

A *Catapulta* é um mecanismo que foi muito utilizado em guerras medievais. Segundo relatos históricos foi criada pelos gregos no reinado de Dionísio I, utilizada para lançamento de pedras e objetos a longa distância. Romanos projetaram as armas por volta de 400 a.C. com a finalidade de destruir muralhas e castelos, também usados em campo aberto para destruir formação inimiga. (GUEDES, PEIXOTO, NUNES, 2016)

O *Trebuchet* foi criado na China entre os anos III e V a.C. para destruir paredes ou lançar projéteis. Há outras armas medievais também com o mesmo objetivo que a catapulta, como o *Traction*, usada no ano 200 d. C. que utilizava uma alavanca para aumentar a força de saída. (GUEDES, PEIXOTO, NUNES, 2016)

A *Manganela* é um modelo de catapulta medieval, que atirava cerca de 400 metros de distância. Depois das catapultas, foram criados os *Bodoques*, construídos com um arco de madeira e duas cordas paralelas e entre elas uma rede presa pra apoiar uma pedra redonda. (GIANTORM, 2012)

Com o passar do tempo, as armas evoluíram até o desenvolvimento de canhões e armas de fogo, aumentando o poder e a força dos objetos lançados por elas.

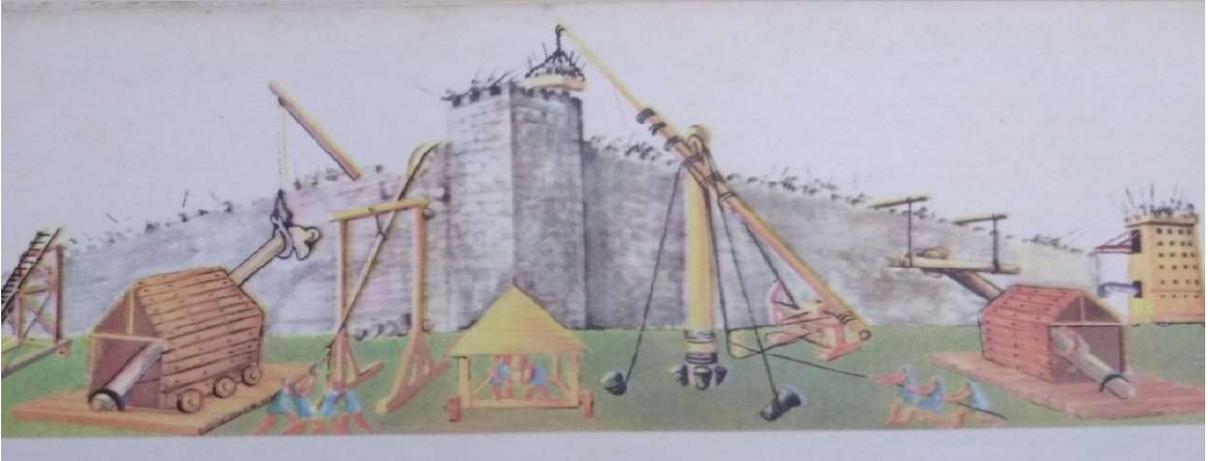
### **2.3.3 Tipos de armas medievais**

Nesta seção serão descritos os tipos de armas medievais que serão utilizadas no produto educacional desta dissertação.

#### **2.3.3.1 Trebuchet**

De acordo com a história das armas medievais, o Trebuchet é uma das armas mais potente e eficaz (figura 5). Foi inventado no Oriente Médio e utilizado na guerra da Europa durante tempos medievais. Na Inglaterra ficou conhecida por "*ingenuim*". Acredita-se que mesmo após a descoberta da pólvora, o Trebuchet continuou a ser utilizado. Enquanto outras armas, como a catapulta, geram a força para o lançamento a partir de cordas, o Trebuchet utiliza o contrapeso. Segundo Brito (1917), ela atuava com um enorme peso, ao invés da elasticidade como na balista, formado por um grande cavalete na qual girava sobre um eixo de munhões horizontais e um grande braço de madeira na extremidade. Na outra extremidade era amarrada uma funda. Este era utilizado para o lançamento de pedras, bolas de fogo, entre outros objetos. As pedras poderiam ser de 100 a 200 kg. De acordo com Brito (1917), calcula-se que um engenho deste deveria ter um braço de 15 metros e um contrapeso de 9 toneladas para atirar 300 metros um projétil de 130 kg.

Figura 5 – Imagem de um cenário de guerra com Trebuchet.



Fonte: HALÉVY, 1963.

A partir dos estudos possibilitados por essa arma, pensou-se no uso para demonstração de experimentos em ambientes escolares. Para isso, foi elaborado um modelo de réplica em madeira com tamanho de 25 cm de acordo com as figuras 6 e 7 (apêndice C).

Figura 6 – Trebuchet miniatura construído com madeira (vista lateral).



Fonte: Própria autora.

Figura 7–Trebuchet miniatura construído com madeira (vista frontal).



Fonte: Própria autora.

### **2.3.3.2 Catapulta**

A Catapulta foi criada entre 400 a.C. e 300 a.C., na Grécia. Para a construção teve como base o arco e a funda (figura 8). Foi muito utilizada no Império Romano e na Idade Média, onde o seu uso era para derrubar muros e acertar adversários que estavam atrás. A munição utilizada eram pedras e animais mortos, mas há relatos de que também eram utilizados cadáveres humanos. A catapulta foi a primeira arma de guerra e foi utilizada até o surgimento da pólvora e também foi utilizada na Primeira Guerra Mundial para lançar granada. Segundo Brito 1917, a maior catapulta pesava de 4 a 5 toneladas e atirava 400 metros pedras de 26 kg.

Figura 8—Imagem de uma Catapulta



Fonte: HALÉVY, 1963.

Considerando os estudos possibilitados por essa arma, elaborei um modelo de réplica que foi construído em madeira, com tamanho de 44 cm de acordo com as figuras 9 e 10 para uso em sala de aula (apêndice D).

Figura 9 – Catapulta construída de madeira (vista lateral).



Fonte: Própria autora.

Figura 10 – Catapulta construída de madeira.



Fonte: Própria autora.

A diferença entre estas armas consistia em que a balista era mais manejável que a Catapulta, montada sobre rodas que facilitava seu movimento de um campo de batalha para outro. O Trebuchet era uma arma mais pesada e fixa.

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 A proposta metodológica do MNPEF**

O Mestrado Nacional Profissional em Ensino de física (MNPEF) é um curso de nível nacional, direcionado a professores de Física da Educação Básica e professores formados em diversas áreas do conhecimento que lecionam a disciplina de Física. Este curso tem por objetivo aprimorar, melhorar, recuperar e atualizar o ensino de Física no Brasil, capacitando professores para o título de mestrado. O curso originou-se através da Sociedade Brasileira de Física e tem apoio de várias Instituições de Ensino Superior que atuam como polos do MNPEF. A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), fundação esta que está vinculada ao Ministério da Educação (MEC) do Brasil, também é incentivadora deste curso, onde fornece algumas bolsas de estudos aos estudantes matriculados que contemplem os critérios necessários para esta.

Segundo MOREIRA (2016), o ensino de Física na Educação Básica precisa passar por mudanças significativas, pois está desatualizado em termos de conteúdos e metodologias. Ainda tem-se como conteúdo principal a Física Clássica e pouco se vê a Física Moderna, tanto para o ensino fundamental como para o ensino médio. Embora os conteúdos de Física Moderna e Contemporânea constem nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's), estes muitas vezes não são abordados pelos professores em sala de aula, e continuam trabalhando apenas com conteúdos do século XIX. Quando falamos em metodologia de ensino, estas são majoritariamente, aulas tradicionais expositivas com listas de resolução de exercícios, com aprendizagem mecânica, onde não é incorporado métodos de ensino inovadores e significativos. (Idem)

O MNPEF visa contribuir com o ensino de Física apresentando conteúdos mais atualizados e o uso das tecnologias de informação e comunicação, mídia eletrônica, experimentação e demonstrações de diferentes fenômenos físicos, a fim de motivar, inovar e facilitar o ensino desta ciência.

De acordo com o regimento do MNPEF, a proposta do programa não está em desenvolver pesquisas acadêmicas sobre o ensino de Física, mas sim em criar novas estratégias facilitadoras através de um produto educacional, que possa ser utilizado ou adaptado em diversas realidades escolares. Um produto educacional

pode ser um experimento, uma sequência didática, um guia, um aplicativo ou outros métodos para o ensino de física.

### **3.2 Instituição de ensino e sujeitos da aplicação do produto educacional**

A aplicação do produto educacional aqui apresentado ocorreu em uma escola pública estadual, localizada no litoral norte do Rio Grande do Sul, no município de Osório, RS. A escola fica localizada em um bairro da periferia da cidade, com muitas famílias carentes. Os estudantes da escola são oriundos deste bairro e de outros próximos.

Atualmente, a instituição possui em média 800 estudantes matriculados nos níveis de ensino fundamental, médio e EJA (Educação de Jovens e Adultos). A estrutura compreende salas de aula, um auditório, um laboratório de ciências, biblioteca equipada com computadores para pesquisa, secretaria, sala dos professores, refeitório, espaço para recreação, quadra esportiva e praça de recreação.

A instituição possui 11 funcionários e 50 professores. O quadro de professores é diversificado, graduados em licenciatura e alguns possuem especialização na área da educação e dois são mestres.

Esta escola é incentivadora de projetos que envolvam os estudantes, como o grupo de teatro, dança, banda, atletismo e outros esportes. A direção costuma fazer reuniões com os pais, estudantes, professores e funcionários, buscando trabalhar em conjunto com todos os membros envolvidos no Projeto Político Pedagógico.

A aplicação do produto ocorreu em uma turma de primeiro ano do ensino médio, do turno da manhã, que possuía 30 estudantes matriculados, com faixa etária de 14 a 17 anos. A disciplina de física, no primeiro ano do ensino médio possui 2h/aula semanais e durante a aplicação do produto educacional houve alternância do número de estudantes, devido às faltas, transferências e cancelamentos de matrícula, resultando em 25 estudantes na última aula.

### **3.3 A organização da aplicação do produto educacional**

Nas próximas seções será descrito a proposta de aplicação do produto educacional, bem como suas etapas. O produto educacional foi aplicado após o

exame de qualificação, no segundo trimestre do ano letivo de 2019. Para este, foram necessárias nove semanas, num total de dezoito horas/aula.

### 3.3.1 Planejamento das etapas do produto educacional:

**1ª Aula:** Identificação dos conhecimentos prévios e apresentação da proposta, orientando os estudantes sobre a construção das réplicas. (2 períodos).

**2ª Aula:** Retomada do questionário de conhecimentos prévios da aula anterior e uso do simulador “*Projectile Motion*”<sup>5</sup> como apoio para os organizadores prévios. (2 períodos).

**3ª Aula:** Construção das réplicas de armas medievais. (2 períodos)

**4ª, 5ª, 6ª e 7ª Aula:** Apresentação dos conteúdos a serem abordados. (8 períodos).

**8ª Aula:** Análise do movimento oblíquo através das armas medievais construídas utilizando o software *Tracker* (2 períodos).

**9ª Aula:** Finalização com apresentação das réplicas de armas medievais produzidas pelos estudantes e avaliação da sequência didática (2 períodos).

Na primeira aula, o principal objetivo era de identificar os conhecimentos prévios dos estudantes através de um questionário (apêndice B) sobre conteúdos necessários para o estudo de lançamento oblíquo. Este questionário também pretendeu-se identificar os subsunçores necessários para o desenvolvimento da sequência didática. Foram abordadas noções que remeteram à compreensão de conceitos como: Queda livre, lançamento vertical e horizontal, velocidade e gravidade. Após a aplicação deste questionário apresentou-se a proposta do produto educacional. A turma foi dividida em seis grupos de cinco ou seis estudantes cada, onde cada um recebeu um roteiro para a construção das réplicas de armas medievais, Catapulta e Trebuchet (apêndice C e D). Neste roteiro consta o passo a passo da construção das duas réplicas iguais as que a professora construiu, porém os estudantes construíram as suas de tamanhos diferentes e com materiais de baixo custo ou recicláveis. A professora levou suas réplicas já construídas para fazer uma demonstração.

---

<sup>5</sup> Simulador gratuito disponível em: <[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulations/category/physics](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/category/physics)> Acesso em 19 nov. 2019.

Na segunda aula, foi retomado o questionário de conhecimentos prévios, debatendo as questões de acordo com as respostas dos estudantes, analisadas previamente pelo professor. Após, utilizamos como organizador prévio o texto de apoio “Aspectos históricos sobre a história da física” (apêndice E), que descreve a evolução da ciência, bem como alguns físicos, matemáticos e filósofos importantes para esse estudo. Após a leitura foi realizado um debate sobre o texto.

Na terceira aula, os estudantes levaram suas construções das réplicas iniciadas em casa para que o professor pudesse acompanhar e auxiliar neste processo. Os grupos tiveram a oportunidade de tirar dúvidas e concluir a construção em sala de aula. Esta estratégia teve por objetivo aliar as teorias de lançamento oblíquo com a prática, onde o público-alvo desta pesquisa conseguiu aplicar seus conhecimentos, realizando a análise do movimento parabólico, quando concluída a construção. Nesta etapa também foi discutida a história das armas medievais como a Catapulta e o Trebuchet, bem como, a origem do estudo do movimento balístico. Para isso, utilizamos o texto de apoio “História das armas medievais” (apêndice F).

As aulas 4, 5, 6 e 7 tiveram por objetivo aprofundar os conceitos sobre movimento balístico e lançamento de projéteis. De acordo com os apontamentos e discussões das aulas anteriores, foram apresentados elementos importantes para o desenvolvimento da teoria relacionada aos conteúdos abordados nesta sequência didática. Para este, utilizou-se conceitos referentes às equações de queda livre, lançamento vertical, lançamento horizontal, velocidade, aceleração, gravidade, resistência do ar e ângulo de lançamento. Para o desenvolvimento dos conceitos de movimento oblíquo foram necessárias quatro aulas com dois períodos cada. Utilizamos o *data show* para apresentação teórica, exemplos do cotidiano, experimentos em sala de aula, exercícios de interpretação e exercícios que envolviam cálculo com as equações de lançamento oblíquo (apêndice G e H). Os estudantes assistiram ao vídeo “Queda livre na gravidade da Terra sem resistência do ar”<sup>6</sup>, com duração de 2 minutos e 34 segundos, disponível no canal do *You Tube*. Também foi utilizado o simulador “*Projectile Motion (HTML5)*”, para as atividades destes lançamentos.

Na oitava aula, os estudantes levaram as réplicas construídas para serem testadas. Os testes foram realizados no pátio da escola e na sala de aula. Os

---

<sup>6</sup> Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=JcmqfzGFhqQ>> Acesso em: 25 Jul. 2019.

estudantes realizaram os lançamentos com ângulos variados, filmando o movimento através do celular. Após a filmagem utilizaram o *software Tracker*, para as medições e análises. Para o uso do *software Tracker*, a professora entregou um manual a cada grupo (apêndice I). Os grupos foram orientados a elaborar uma apresentação sobre a sua arma, explicando o lançamento realizado por ela, constando a filmagem e os dados obtidos através do *Tracker*.

Na última aula, para a finalização da sequência didática, os grupos apresentaram os resultados analisados através do *Tracker*, demonstrando os conceitos envolvidos no lançamento através do uso das réplicas. Neste momento, o professor mediou as apresentações retomando os conteúdos abordados durante a sequência didática. Após realizou-se um debate entre os estudantes para o relato de suas experiências durante a aplicação do produto, buscando analisar os pontos positivos e negativos. Ao final, os estudantes responderam um questionário para a avaliação do produto educacional (apêndice K).

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Neste capítulo, serão apresentadas as análises e resultados obtidos após a implementação do produto educacional. Também serão realizadas algumas discussões de acordo com os dados obtidos a partir das produções e questionários realizados pelos estudantes.

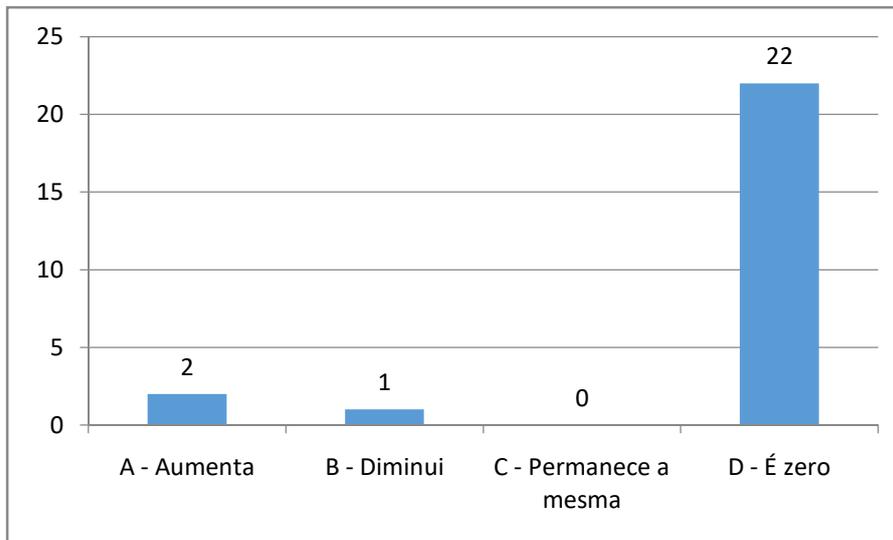
### **4.1 Identificação dos conhecimentos prévios**

Na primeira aula foi aplicado um questionário (apêndice B) e nele procurou-se identificar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre alguns conceitos relacionados à Mecânica, mais especificamente do Lançamento Oblíquo, como queda livre, lançamento vertical e horizontal, velocidade e gravidade.

Partindo da teoria de aprendizagem significativa que pressupõe que novos conceitos podem ser desenvolvidos de acordo com os conhecimentos pré-existentes dos educandos, buscaram-se identificar quais eram estes conhecimentos prévios (MOREIRA, 2011). Para isto, foram respondidas oito questões que envolveram situações do cotidiano em que possibilitou identificar como os estudantes percebem a ocorrência do lançamento oblíquo, força, gravidade, aceleração, resistência do ar, queda livre, entre outros conceitos. Responderam a este questionário 25 estudantes do primeiro ano do ensino médio.

Na primeira questão, analisaram o lançamento vertical de uma bola, marcando a alternativa em que descrevesse a velocidade no ponto mais alto da trajetória. Objetivou-se identificar os conceitos de velocidade durante o lançamento vertical. O gráfico 9 representa as respostas da questão 1.

Gráfico 9 – Respostas dos estudantes para a questão 1.



Fonte: Dados da pesquisa.

A maioria dos estudantes respondeu que no ponto mais alto da trajetória a velocidade da bola é zero e justificaram a resposta dizendo que “*durante o movimento de subida, a bola irá perder a velocidade de acordo com a altura e depois irá cair pela lei da gravidade*” (Estudante U)<sup>7</sup>. Observaram também que há influência da gravidade e que por esse motivo, acontece a queda da bola.

Dois estudantes responderam que a velocidade aumentaria, pois entendiam que a gravidade “*puxaria para baixo*” e conseqüentemente aumentaria a velocidade. Um único estudante marcou a opção que diminui a velocidade, não soube explicar o porquê.

Na segunda questão, os estudantes analisaram a queda livre de dois objetos, uma pedra e uma folha de papel aberta na horizontal, identificando qual chegaria primeiro ao solo<sup>8</sup>. Todos responderam que a pedra chegaria primeiro e as justificativas foram relacionadas à gravidade, resistência do ar e massa dos objetos. Para estes estudantes, as justificativas foram de que a resistência do ar e o formato dos objetos interferem no movimento de queda dos corpos. Segundo alguns estudantes:

<sup>7</sup>A fim de preservar a identidade dos participantes da sequência didática, os estudantes serão identificados pelas letras do alfabeto.

<sup>8</sup>Questão utilizada pelo autor SANTOS (2019), colega do curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física – UFRGS.

- *A pedra chegará primeiro, pois quando jogamos a folha de papel aberta, a resistência do ar é maior.*(Estudante N)

- *Devido aos efeitos da resistência do ar ser mais influente na folha de papel do que na pedra, esta chega primeiro ao solo.*  
(Estudante P)

- *A pedra, porque a folha resiste ao ar, caindo como um paraquedas, descendo mais lento.*(Estudante S)

Analisando as justificativas acima, percebe-se que há uma compreensão de acordo com as ideias de Galileu, nas quais os corpos de massas diferentes chegarão ao solo no mesmo instante, somente se estiverem no vácuo. Na queda dos corpos de diferentes massas onde há resistência do ar, o corpo de maior massa cairá primeiro, desde que, esta influência seja mesma para os dois objetos.

Dois estudantes responderam de acordo com o pensamento aristotélico, no qual diz que a queda dos corpos depende somente das suas massas, onde o corpo de maior massa irá cair primeiro ao solo.

-*Porque a pedra tem mais massa e peso do que o papel.*  
(Estudante D)

- *Porque sua massa é maior que a da folha.* (Estudante O)

Nestas observações, considerou-se a necessidade de demonstrar outras formas de explicar os fenômenos de queda livre, discutindo as ideias aristotélicas e galileanas.

Na terceira questão, os estudantes analisaram o mesmo exemplo da questão 2, porém a folha de papel foi amassada, formando uma bolinha. Deveriam comparar as quedas com as folhas nos dois formatos e a analisar, neste segundo caso, qual cairia primeiro. Todos os estudantes responderam que as duas caíam juntas, porém as justificativas das respostas tiveram algumas divergências.

Alguns entenderam que não haveria nenhuma resistência do ar e que por esse motivo, cairiam juntas. Outros disseram que a resistência seria a mesma para os dois objetos:

- *Não terá resistência do ar e chegarão ao mesmo instante.*  
(Estudante K)

- *Terão a mesma resistência e chegarão ao mesmo tempo.*  
(Estudante N)

Percebeu-se a importância de retomar estes conceitos sobre a resistência do ar e a massa dos objetos.

Os demais justificaram que a queda dos corpos é independente das massas, pois não estão no vácuo e que o fato da folha aberta cair depois, na questão anterior, se dá pela influência da resistência do ar.

- *Os dois caíram juntos porque a resistência do ar será a mesma para os dois objetos.* (Estudante M)

A quarta questão relata o salto de um paraquedista que almeja chegar ao oeste da cidade, mas que não conseguiu devido a algumas interferências. Objetivou-se que os estudantes analisassem quais seriam as possíveis interferências que prejudicaram a descida.

Alguns estudantes atribuíram o acontecimento devido ao vento, mas a maioria respondeu que a resistência do ar poderia ter mudado a direção do paraquedas.

- *Devido a resistência do ar, o paraquedas é mais amplo para a entrada do vento e devido a mudança do vento ele foi para outra direção.* (Estudante P)

- *A velocidade do vento na descida, o ângulo da descida e a resistência do ar.* (Estudante Z)

Conforme os relatos acima houve uma mistura de conceitos para a explicação do que ocorreu com o paraquedas. Aqui se percebeu a necessidade de explicar a diferença entre resistência do ar e do vento, que para alguns pareciam ser e ter o mesmo significado. Todas as abordagens sobre as questões foram realizadas na aula 2.

Na quinta questão, os estudantes descreveram com suas palavras, sem a exigência de conceitos específicos, os fenômenos relacionados a um chute a gol realizado do meio do campo de futebol. Além de descrever estes fenômenos, desenharam o movimento. Nesta questão objetivou-se identificar a relação entre a teoria e o movimento observado pelos estudantes durante um lançamento oblíquo. Todos os estudantes descreveram o movimento, porém apenas dez construíram o desenho de acordo com um lançamento oblíquo, formando uma parábola. Os demais estudantes desenharam um chute em linha reta, como se o movimento fosse um chute somente horizontal, sem o movimento vertical.

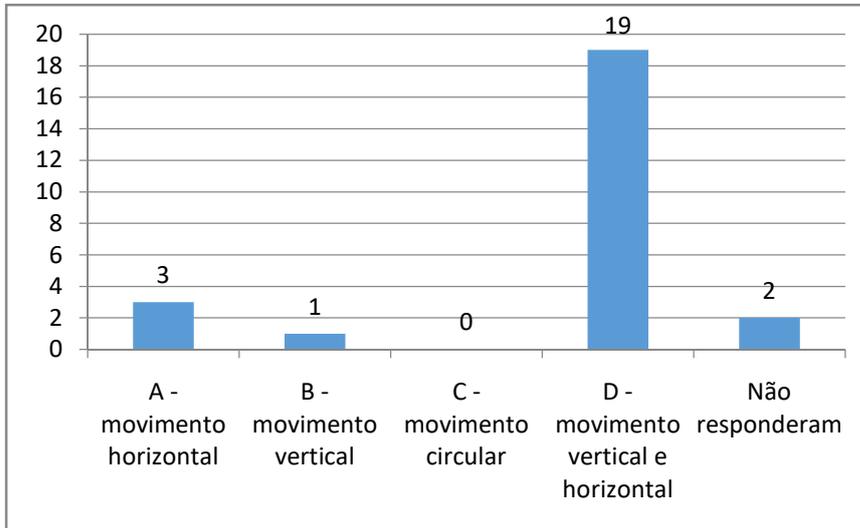
Os fenômenos atribuídos pelos estudantes em geral relacionados a este movimento foram: força, velocidade, lançamento vertical, lançamento horizontal, gravidade, ângulo de lançamento da bola e resistência do ar. Analisando estas descrições, percebe-se que há uma compreensão dos conceitos envolvidos, porém não há uma compreensão visual do movimento, uma vez que a maioria não soube representar, através do desenho, o movimento da bola.

Uma das maiores dificuldades de compreensão dos conceitos físicos pelos estudantes se dá pela falta de visualização do fenômeno envolvido. Percebe-se aqui a importância da experimentação aliada aos conceitos e fenômenos para que os estudantes possam realizar associações necessárias entre teoria e prática, compreendendo o fenômeno como um todo e não somente a teoria envolvida. A visualização tem grande importância para a compreensão de diversos conceitos físicos onde se possa estabelecer um vínculo entre a teoria e a prática, além de incentivar o interesse pela aprendizagem significativa.

Na questão seis, objetivou-se que os estudantes analisassem e identificassem quais os movimentos envolvidos durante um salto de um prédio ao outro de um dublê, levando-se em consideração a distância entre os dois prédios, sendo que o segundo prédio era mais baixo que o primeiro. A questão apresenta uma ilustração do movimento e são dadas quatro alternativas de respostas.

Dezenove estudantes marcaram a alternativa “D” que trata que os movimentos envolvidos são verticais e horizontais, conforme o gráfico abaixo.

Gráfico 10 – Respostas dos estudantes para a questão 6.



Fonte: Dados da pesquisa.

Os estudantes que marcaram a alternativa “A” justificaram sua resposta relatando que o dublê corre na direção horizontal e que cai devido à gravidade e não consideraram o movimento vertical envolvido. O estudante que marcou a alternativa “B” descreveu que o dublê cairia em queda livre e não observou a ilustração do movimento onde envolvia o lançamento oblíquo. Dois estudantes não responderam esta questão por não saberem identificar os movimentos envolvidos.

Os estudantes que responderam a alternativa “D” justificaram sua resposta relatando que, para este tipo de movimento é necessário que haja a composição dos movimentos horizontal e vertical, de acordo com os relatos abaixo:

- *O dublê corre horizontalmente, pegando impulso, quando salta faz um movimento vertical até o outro prédio. (Estudante T)*
- *Corre fazendo o movimento horizontal e quando estiver caindo, faz o movimento vertical. (Estudante S)*

A questão sete fala sobre a força que presenciamos no dia a dia. Aqui teve por objetivo, identificar qual conceito de força os estudantes têm a partir de uma situação em que uma pessoa empurra a outra. Aqui relacionamos as leis de Newton que conceituam força, ação e reação de um determinado móvel, leis estas que são importantes para o estudo dos movimentos dos corpos.

Os estudantes responderam que, quando uma força é maior, o impacto causado é maior, e que conseqüentemente, quanto menor a força, menor será o impacto causado. Também disseram que a força está relacionada com a aceleração e a gravidade, mas que estas dependiam da massa do corpo empurrado.

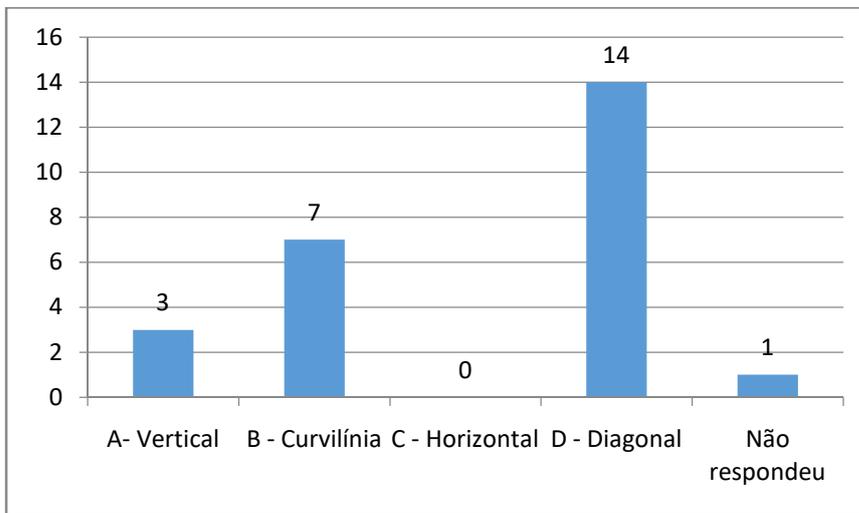
*- Na primeira situação a força é maior, causando maior impacto, já na segunda situação a força é menor, assim o impacto será menor também. (Estudante B)*

*- Quando o empurrão é mais forte, o corpo se desloca de uma maneira mais brusca e toma certa velocidade. Já o empurrão mais fraco, não causa muito impacto, pois a força é mais fraca. Mas isso depende da massa do corpo, pois quanto mais pesado, maior será a força. (Estudante J)*

Ainda que a maioria dos estudantes entendesse os conceitos de força, há alguns que não souberam descrever e relataram que um corpo se movimenta apenas pela intensidade da força, não importando a massa do corpo e a aceleração da gravidade.

A questão oito trata sobre um menino que tenta atravessar um rio a nado. Os estudantes devem responder como será a trajetória da travessia do menino, sabendo que há correnteza. Aqui, o objetivo é identificar a resultante das forças envolvidas, o que define e qual a trajetória percorrida pelo menino. As respostas são dispostas em quatro alternativas e após deverá ser justificada a escolha. O gráfico abaixo demonstra o número de respostas para cada alternativa.

Gráfico 11 – Respostas dos estudantes para a questão 8.



Fonte: Dados da pesquisa.

Os estudantes que responderam a alternativa “A” justificaram suas respostas dizendo que o menino conseguiria atravessar na vertical, mesmo que houvesse correnteza. Para estes, a correnteza não foi considerada uma força, por isso responderam de maneira errônea. Os que responderam a alternativa “B” descreveram que a correnteza fez movimentos circulares no meio da travessia ou que o menino nadaria em curvas tentando fugir da correnteza. Aqui percebe-se que os estudantes analisaram que a força estava presente no movimento, porém não houve compreensão da composição de forças. Já os demais que responderam a alternativa “D” descreveram que o menino nadará na diagonal, pois a corrente do rio o empurrará para a direção horizontal, enquanto que ele estará fazendo uma força vertical para a travessia.

*- Nadará na diagonal porque será empurrado pela correnteza no sentido horizontal. (Estudante C)*

*- Ao tentar atravessar o rio, o menino aplica uma força vertical que em conjunto com a correnteza, forma uma trajetória diagonal. (Estudante S)*

Evidenciou-se aqui a necessidade de diferenciar força vertical e força perpendicular à correnteza. Analisando os conhecimentos prévios dos estudantes, de acordo com este questionário, identificou-se que os subsunçores para alguns são mal definidos, por isso a necessidade da retomada de alguns conceitos.

Nesta primeira aula foram feitas as orientações referentes ao desenvolvimento da sequência didática. Uma delas era que eles deveriam se organizar em grupos de cinco ou seis pessoas para a construção das catapultas, tendo como prazo de quinze dias para mostrarem o desenvolvimento desta construção à professora. Nesta aula, foram levadas as réplicas construídas pela professora afim de demonstração para as possíveis construções, porém o desafio proposto aos estudantes é que fossem construídas réplicas de tamanho diferentes das apresentadas. Para a construção, foram instruídos que utilizassem materiais reciclados e de baixo custo.

Ao final da aula puderam manusear as catapultas fazendo alguns lançamentos com objetos que estavam na sala de aula, como borrachas e bolinhas de diferentes tamanhos. Neste momento, os estudantes debateram sobre a influência da massa dos objetos lançados, pois para o funcionamento do Trebuchet precisaram de um objeto de maior massa. Objetos mais leves não eram lançados com o trebuchet, caindo antes do lançamento. Este foi um momento de troca de informações entre os estudantes e observação para as futuras construções das réplicas.

Após analisar todas as respostas do questionário de conhecimentos prévios, foi preparada a segunda aula com o objetivo de esclarecer as dúvidas pertinentes dos conteúdos envolvidos. Nesta aula, os estudantes sentaram-se em círculo para que todos pudessem debater as questões do questionário. A professora mediou o debate, além de esclarecer as dúvidas aprofundando os conhecimentos de conceitos relacionados à Mecânica, proporcionando a diferenciação progressista. Após este momento, foi entregue um texto utilizado como organizador prévio que relata os aspectos históricos do estudo dos movimentos. O texto foi lido e cada parágrafo analisado e discutido. Durante a leitura, alguns estudantes fizeram contribuições exemplificando e relacionando alguns aspectos do texto a situações vistas em outras disciplinas, como na história e na geografia. Também fizeram associações aos filmes de guerra medieval, onde já viram lançamentos oblíquos.

Esta aula foi importante para o desenvolvimento da sequência didática, na qual os estudantes puderam esclarecer as dúvidas, bem como identificar e aprimorar os conceitos que antes eram mal definidos, através das discussões e da troca de conhecimento entre os envolvidos.

## 4.2 Construção das réplicas

Na terceira aula, conforme acordado com os estudantes, eles deveriam trazer as construções das réplicas, mesmo que ainda não estivessem concluídas para que a professora acompanhasse o desenvolvimento e auxiliasse nesta etapa do desenvolvimento. Porém, todos os grupos trouxeram as réplicas prontas, superando as expectativas quanto à construção.

Foram apresentadas oito réplicas, uma de cada grupo, todas catapultas. Dentre as construções, utilizaram diversos materiais, como taquara, restos de madeira, papelão, revistas e jornais para a estrutura principal. Para o cesta de arremesso, local onde é colocado o objeto a ser lançado, utilizaram embalagens como copo de iogurte, tampa de desodorante, embalagem de ovos de páscoa, entre outros. Para a funcionalidade da haste de arremesso utilizaram manguito hospitalar, borracha de lona e elástico de costura. Abaixo temos estas construções.

Figura 11 – Réplica de catapulta construída pelos estudantes do grupo A com madeira de demolição.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 12 – Réplica de catapulta construída pelos estudantes do grupo B com papelão e revistas.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 13 – Réplica de catapulta construída pelos estudantes do grupo C com taquara.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 14 – Réplica de catapulta construída pelos estudantes do grupo D com retalhos de MDF.



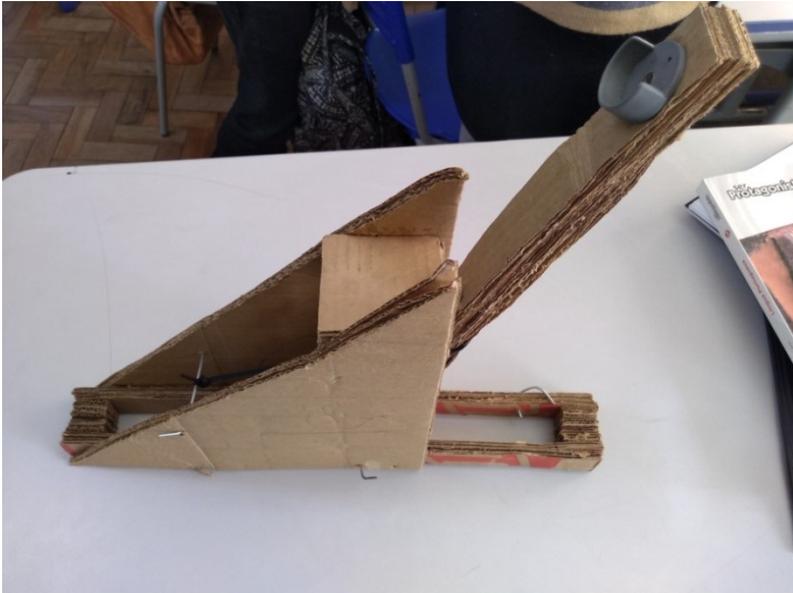
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 15 – Réplica de catapulta construída pelos estudantes do grupo F com restos de madeira.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 16 – Réplica de catapulta construída pelos estudantes do grupo G com papelão.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 17 – Réplica de catapulta construída pelos estudantes do grupo H com restos de MDF.



Dados: Fonte da pesquisa.

Todos os grupos cumpriram o que foi acordado na primeira aula, contemplando os critérios para a construção das réplicas. Todas foram construídas com material de baixo custo ou reciclável e com medidas diferentes do passo a passo entregue.

Porém, nenhum grupo havia construído réplica de Trebuchet. Ao questionar os estudantes o motivo pelo qual só escolheram catapultas para reproduzir, estes justificaram que acharam “mais difícil” a construção, tendo em vista que o Trebuchet há um braço de alavanca com contrapeso. Foi proposto um desafio para que os grupos construíssem um trebuchet e apresentassem na próxima aula.

Para os primeiros testes de funcionalidade das réplicas utilizamos o refeitório da escola, onde há mesas grandes e maior espaço. Alguns grupos realizaram os testes no pátio da escola. Todas as réplicas obtiveram bom desempenho, sem a necessidade de grandes ajustes, apenas a adaptação de alguns materiais utilizados. Houve um questionamento entre os estudantes e o professor, pois a menor réplica, conforme mostra a figura 12, fez o lançamento com a maior distância. Já as réplicas maiores, como mostram as figuras 13 e 14 fizeram o menor lançamento. A partir destas análises foi questionado a eles o que influenciaria para que um objeto atingisse a maior distância? A partir deste questionamento, realizaram outros lançamentos, com objetos de massas diferentes, percebendo que este era um dos fatores importantes para a velocidade e a distância. Porém, aqui não tínhamos o objetivo de determinar todos os conceitos envolvidos no lançamento oblíquo, mas sim analisar os primeiros passos da construção e as primeiras observações com relação aos movimentos envolvidos.

Para a finalização desta aula, foi entregue aos estudantes um texto que relata a história e evolução das armas medievais. Realizamos a leitura em conjunto e debatemos alguns pontos que eles acharam relevantes, fizeram questionamentos e contribuíram com alguns comentários relacionados aos aspectos históricos já conhecidos. Muitos deles já tinham conhecimento a respeito do contexto histórico das armas, pois viram em filmes de era medieval. Fizeram alguns questionamentos em relação à força de lançamento que as armas utilizadas em guerras medievais possuíam. Discutimos aqui sobre o tamanho das armas, elas eram maiores, a fim de lançar objetos de maior peso, como por exemplo, animais mortos e grandes rochas. Vimos aqui a importância do diálogo e da troca de conhecimentos entre estudantes e professor, o que possibilita a construção de conhecimentos para uma aprendizagem significativa.

### **4.3 Desenvolvimento dos conceitos de Movimento balístico e lançamento de projéteis**

Nas aulas 4, 5, 6 e 7, foram apresentados os principais conceitos referentes ao movimento balístico, bem como os necessários para o desenvolvimento destas aulas, como queda livre, lançamento vertical, lançamento horizontal e a composição destes movimentos que gera o próprio lançamento oblíquo.

Na aula quatro foram apresentados os conceitos de queda livre, retomando algumas questões do questionário de conhecimentos prévios a fim de proporcionar uma diferenciação progressiva, de acordo com a teoria ausubeliana. Para dar início à aula foi questionado aos estudantes se a queda dos corpos depende da sua massa? Alguns deles responderam que os objetos de maior massa caem mais rápido do que os objetos de menor massa. Alguns responderam que os dois cairiam simultaneamente.

Para demonstrar a queda de corpos de massas diferentes, a professora utilizou um livro e uma folha de papel A4. Foram realizados três tipos de demonstrações: a primeira com o livro e a folha de papel aberta; a segunda com o livro e a folha de papel amassada, formando uma bolinha; e a terceira com a folha de papel sobre o livro.

Na primeira demonstração observaram que o livro caiu primeiro. Questionou-se qual o motivo pelo qual a folha caiu por último. Os estudantes relacionaram a queda da folha com um paraquedas, uma vez que esta ficou flutuando no ar até atingir o chão. Alguns relacionaram as influências da gravidade e da resistência do ar.

Na segunda demonstração, observaram que os dois caíram ao mesmo tempo. Neste momento surgiram questionamentos e comparações em relação à primeira demonstração. Por que as quedas foram diferentes e quais foram as influências? Após algumas discussões, entenderam que na folha amassada a resistência do ar era menor e que por este motivo os dois objetos caíram juntos.

A terceira demonstração tinha por objetivo exemplificar a existência do vácuo entre dois objetos. Foi colocada a folha aberta sobre o livro e soltos ao mesmo tempo. Neste exemplo, os objetos caem juntos, demonstrando assim que corpos em queda livre de uma mesma altura no vácuo chegam ao solo ao mesmo tempo, com a mesma velocidade.

Ao final das demonstrações, puderam concluir que a massa não é o fator determinante para que os objetos cheguem ao solo ao mesmo tempo, mas sim a resistência do ar e o vácuo. Todos os estudantes descreveram em seus cadernos o que foi observado e o conceito sobre queda livre.

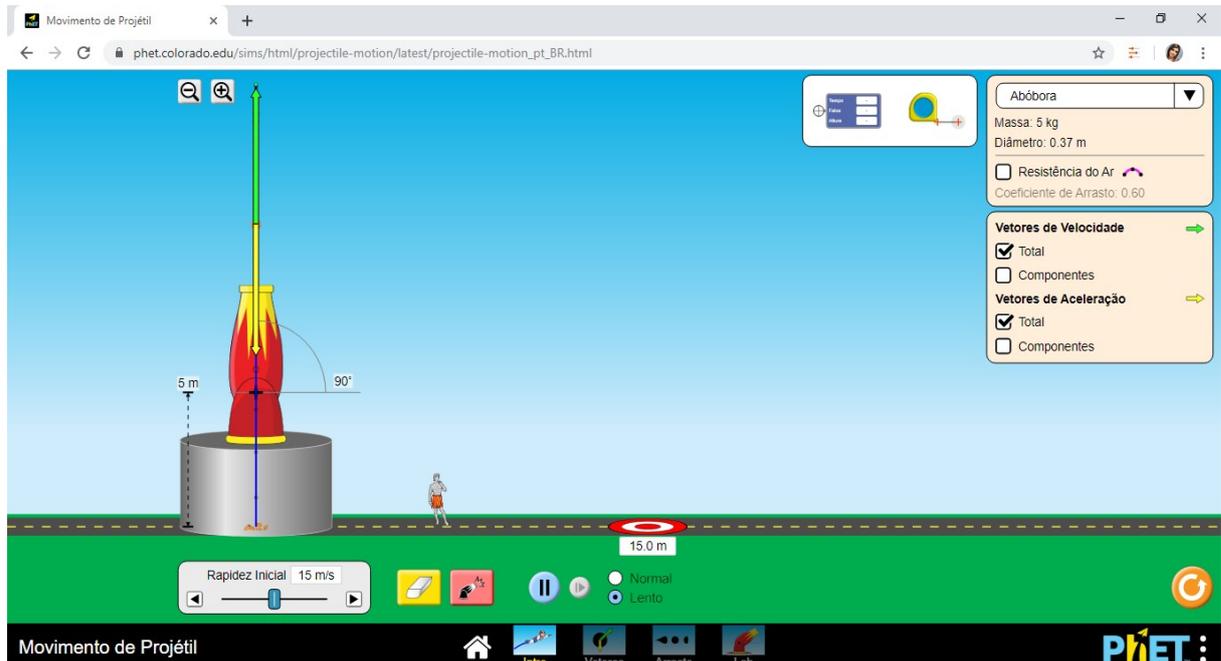
Após as análises, os estudantes foram levados até a biblioteca da escola para assistir um pequeno vídeo sobre queda livre, com demonstração no vácuo. A escola não possui laboratório de informática, mas há apenas cinco computadores com internet na biblioteca que são disponibilizados para uso. Em todas as aulas em que houve a necessidade de computador, foi utilizado este espaço.

Iniciamos a aula 5 retomando alguns conceitos de queda livre observados na aula anterior. Após, utilizamos o simulador "*Projectile Motion*" para análise do lançamento vertical. Esta aula ocorreu na biblioteca da escola, onde os estudantes utilizaram os computadores disponíveis para que os mesmos pudessem fazer as alterações dos parâmetros e observações em relação ao movimento estudado. Este simulador apresenta um canhão de lançamento de fogo, podendo ser alterado os parâmetros relacionados à velocidade, aceleração, angulação de lançamento, massa do objeto e altura.

Os estudantes se reuniram em pequenos grupos para realizar as análises de velocidade e aceleração em um lançamento vertical. O professor orientou as etapas da atividade e disponibilizou impresso quatro perguntas que foram respondidas após a realização das simulações. Para estas simulações foi orientado que os ângulos dos lançamentos fossem de  $90^\circ$ , determinando assim um lançamento vertical. Cada simulação teve uma altura diferente (5 metros, 10 metros e 15 metros).

Após as análises, os envolvidos desta pesquisa responderam o que observaram em relação à velocidade no ponto mais alto da trajetória. Na questão 1, que abordava o que ocorreria com a velocidade no ponto mais alto da trajetória, concluíram que um objeto lançado verticalmente possui velocidade igual a zero. Nas questões 2 e 3, deveriam observar o que ocorre com a velocidade e a aceleração na subida e na descida. Para esta observação, o botão "vetores de velocidade e aceleração" deve estar marcado na caixa de diálogo do lado direito do simulador, conforme mostra a figura 18. Descreveram que durante a subida do projétil, a velocidade diminui e na descida aumenta, e quanto a aceleração, esta é constante.

Figura 18 – Imagem do lançamento com vetores no “Projectile Motion”.



Fonte: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/projectile-motion](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/projectile-motion) Acesso em 28 de outubro de 2019.

Na questão 4, o botão “resistência do ar” do simulador deve ser fixado para a análise da velocidade e da aceleração quando há resistência do ar, comparando com os dados obtidos anteriormente. Os estudantes D, X e I descreveram:

*- Observamos que com a resistência do ar, a bala de canhão tem menos impulsão para subir e sem a resistência do ar, ela tem mais impulsão e velocidade iguais independente da sua massa.*

A maioria dos estudantes descreveu que quando há resistência do ar, a altura e a velocidade diminuem. Mediram também a altura alcançada pelo objeto nos dois casos e perceberam que quando há resistência do ar, o alcance é menor.

No segundo momento desta aula a professora apresentou as equações de lançamento vertical no quadro, relacionando com os dados obtidos através do simulador. Assim, pode-se comprovar matematicamente estes resultados, aliando os conceitos físicos às observações realizadas através do simulador.

Na sexta aula abordamos os conceitos de lançamento vertical e oblíquo. Para exemplificar o lançamento horizontal foi retomado a questão 6 do questionário de conhecimentos prévios, em que um dublê salta de um telhado para o outro. Para

demonstração deste movimento, a professora levou uma bolinha de tênis e empurrou de cima de uma mesa. Os estudantes observaram a queda da bolinha de duas formas: na primeira ficaram sentados, no qual puderam ver o movimento oblíquo; na segunda observaram olhando em pé, de cima da mesa, visualizando o movimento horizontal. Desta forma, analisaram o movimento vertical separado do movimento horizontal.

Foi entregue aos estudantes um questionário com quatro perguntas a cada grupo, porém cada uma delas foi discutida em conjunto antes de ser respondida no caderno. Na primeira, descreveram sobre a aceleração observada pelo movimento da bolinha, se ela aumentava, diminuía ou era constante. Alguns entenderam que a aceleração aumentava quando a bolinha caía. Outros descreveram que a aceleração era a mesma.

Na segunda questão, deveriam analisar de acordo com a resposta da primeira, se a velocidade possuía variação durante o movimento. Nesta, todos responderam que a velocidade aumenta durante a descida.

Na terceira questão analisaram se a velocidade do lançamento interferiria no alcance do objeto. Aqui, todos responderam que sim, que quanto maior a velocidade, maior o alcance do objeto.

Depois que responderam as questões, a professora elaborou, em conjunto com os estudantes, os conceitos de lançamento horizontal. Definimos neste momento que, de acordo com a demonstração deste movimento através da bolinha, o lançamento horizontal é um movimento uniforme, com velocidade constante e que, portanto, não há aceleração, esclarecendo a questão 1, na qual houve divergência das respostas entre os grupos. Já no movimento vertical, temos o movimento uniforme variado, portanto, há aceleração da gravidade. Neste caso, comparamos com os estudos de queda livre de acordo com o que foi visto no simulador da aula anterior.

Após as análises, a professora fez o seguinte questionamento: “Usando uma arma de *Paintball* para o disparo de uma bolinha (a arma estará apontada na direção horizontal sem inclinação) e ao mesmo tempo um dispositivo que apenas solte uma bolinha igual a anterior, porém na vertical, qual das duas bolinhas chegará primeiro ao solo?”.

Como já havíamos debatido as questões anteriores, aqui todos responderam que chegariam ao mesmo tempo ao solo.

Após os estudantes responderem, foi explicado que o tempo de queda é o mesmo, e que as duas bolinhas caem juntas. O movimento da horizontal é independente da vertical. Em relação à distância percorrida, quanto maior a velocidade de lançamento da arma, maior a distância, porém o tempo será o mesmo da queda vertical.

Utilizamos o simulador “*Projectile Motion*” para a representação visual deste movimento. Para a primeira análise, o canhão deverá ser colocado a  $0^\circ$  (sem angulação) e a 5 metros de altura. Foram realizados três disparos com velocidades diferentes, 10 m/s, 15m/s e 20m/s. Em cada caso foi observado e analisado o tempo e a distância percorrida pelo objeto. Para esta análise, os estudantes construíram uma tabela de dados no caderno, comparando os resultados obtidos de acordo com a figura abaixo.

Figura 19– Imagem da tabela construída pelos estudantes com a análise do lançamento horizontal

$0^\circ$	10	15	20
T	1,2	1,2	1,2
D	10m	15m	20m

$90^\circ$	0	10	15	20
T	0,32	0,40	0,38	0,24
D	0m	0m	0,06m	0m

Fonte: Dados da pesquisa.

Para a segunda análise foram realizados lançamentos, porém com o canhão a  $-90^\circ$ , verificando o lançamento vertical e a queda livre. Por se tratar de um lançamento vertical, a velocidade e aceleração inicial foram marcadas em zero. Foi verificado o tempo desta trajetória e comparado ao anterior.

Para finalização dos conceitos, a professora realizou demonstrações utilizando as equações de lançamento vertical e horizontal, mencionadas no capítulo 2. Utilizamos as equações 16 a 24, que são de queda livre e lançamento horizontal a nível de ensino médio. Para as demonstrações utilizamos os parâmetros encontrados através do simulador, comprovando as análises e conceitos envolvidos.

Utilizamos uma lista de exercícios (apêndice G), na qual os estudantes iniciaram nesta aula e deveriam concluir em casa, para correção no próximo encontro.

Na aula 7, iniciamos pela correção dos exercícios da aula anterior, porém alguns estudantes tiveram problema na compreensão das questões. A dificuldade encontrou-se na interpretação e nas etapas do cálculo matemático. Retomamos aqui as explicações, buscando esclarecer as dúvidas pertinentes com as correções no quadro com os estudantes. No total, 19 estudantes responderam a este questionário, porém três destes, responderam apenas as questões objetivas.

A primeira questão retomava o conceito de queda livre, descrevendo a queda de dois objetos com massas diferentes abandonados da mesma altura. Havia cinco alternativas de resposta e todos marcaram a alternativa E que traz que dois objetos caem com a mesma velocidade em cada instante e com mesma aceleração. Evidenciou-se aqui que houve compreensão dos principais conceitos de queda livre.

Na questão dois calcularam a altura máxima e a velocidade atingida por uma pedra lançada verticalmente para cima que retorna ao solo após 6 segundos. Aqui utilizaram a equação horária da velocidade e equação de Torricelli (equações 17 e 18) para a resolução, conforme demonstrado na figura 20 pelo estudante B.

Figura 20 – Desenvolvimento da questão dois pelo estudante B.

$t = 6s$	$v = v_0 + a \cdot t$	$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot d.s$
$g = 9,8 \text{ m/s}^2$	$v = 0 + 9,8 \cdot 3$	$(29,4)^2 = 0^2 + 2 \cdot 9,8 \cdot d.s$
$v_0 = ? 0$	$v = 0 + 29,4$	$864,36 = 0 + 19,6 \cdot d.s$
$m = ? 44,1 \text{ m}$	$v = 29,4$	$864,36 = 19,6 \cdot d.s$
		$\frac{864,36}{19,6} = d.s$
		$d.s = 44,1$

Fonte: Dados da pesquisa.

Todos os estudantes conseguiram chegar ao mesmo resultado na resolução desta questão.

A questão três está relacionada aos conceitos de queda livre, na qual calcularam a velocidade de um parafuso que cai do alto de um prédio de 40m até o solo. Para o desenvolvimento desta, foi utilizada apenas a equação de Torricelli (equação 18). Nesta questão não houve dificuldade dos estudantes. A figura 21 representa a resolução do estudante Y.

Figura 21 – Desenvolvimento da questão três pelo estudante y.

Handwritten student work for question 3:

$$\begin{aligned} \textcircled{3} \quad g &= 9,8 \text{ m/s}^2 & V^2 &= 0^2 + 2 \cdot 9,8 \cdot 40 \\ \Delta S &= 40 \text{ m} & V^2 &= 0 + 19,6 \cdot 40 \\ V_0 &= 0 & V^2 &= \sqrt{784} \\ V &= 28 \text{ m/s} & V &= 28 \end{aligned}$$

Fonte: Dados da pesquisa.

A questão quatro refere-se ao lançamento vertical de um corpo que é lançado para cima, a partir do solo, com velocidade inicial de 20 m/s. Aqui também foi utilizada a equação de Torricelli, porém para calcular a altura máxima atingida pelo corpo, diferente da questão três, em que calcularam a velocidade. Nesta, dezessete estudantes responderam a alternativa B (20m) e dois responderam a alternativa C (30m). Os estudantes que responderam a alternativa C não apresentaram o desenvolvimento da questão. A figura 22 demonstra o desenvolvimento pelo estudante P.

Figura 22 – Desenvolvimento da questão quatro pelo estudante P.

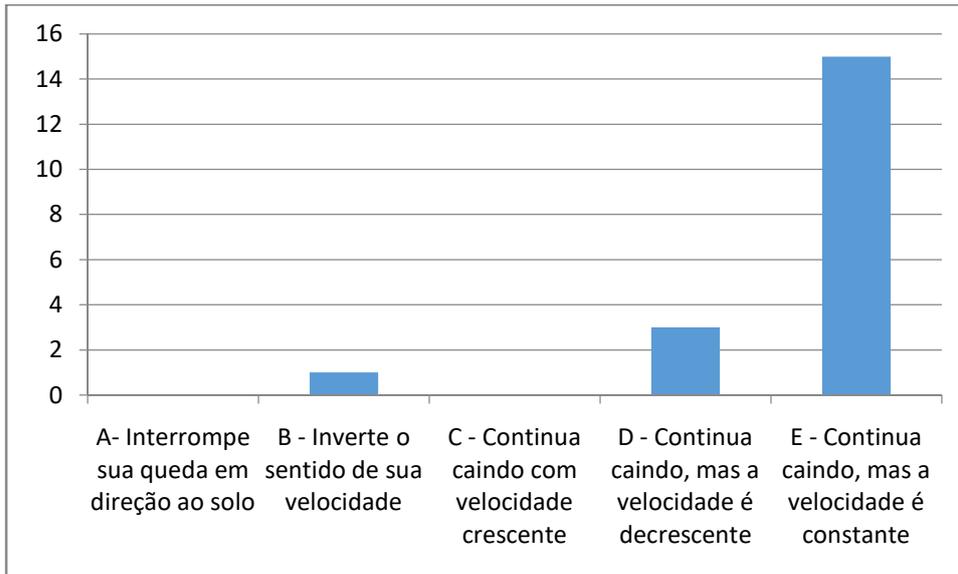
Handwritten student work for question 4:

$$\begin{aligned} 4) \quad V^2 &= V_0 + 2 \cdot a \cdot \Delta S \\ 0 &= 20 + 2 \cdot 10 \cdot \Delta S \\ 0 &= 400 + 20 \cdot \Delta S \\ 400 &= 20 \cdot \Delta S \\ \frac{400}{20} &= \Delta S \\ 20 & \quad \Delta S = 20 \end{aligned}$$

Fonte: Dados da pesquisa.

A questão cinco era objetiva e de análise de queda livre “à medida que a velocidade de um objeto aumenta enquanto cai em linha reta em direção ao solo, aumenta também a força de atrito com o ar, até que, em determinado instante, torna-se nula a força sobre esse objeto.” A partir deste instante do movimento, os estudantes responderam o que ocorreu com o objeto em relação à queda e à velocidade. Analisaremos as respostas de acordo com o gráfico abaixo:

Gráfico 12 – Respostas da questão cinco.



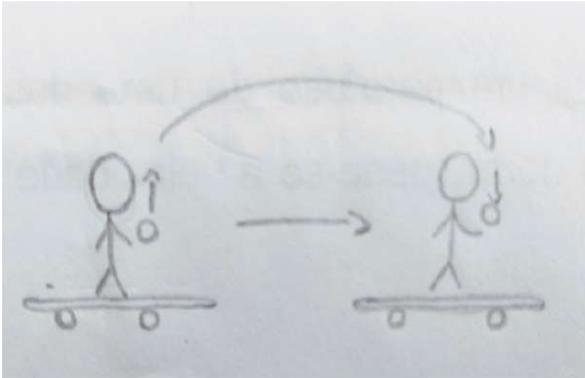
Fonte: Dados da pesquisa.

Os estudantes que responderam a alternativa E, observaram que a velocidade no ponto mais alto da trajetória é zero. Outro que marcou a alternativa B, não descreveu a justificativa, já os que marcaram a alternativa D, justificaram suas respostas evidenciando que, por causa do atrito do ar a velocidade diminui. A estes foram retomados os conceitos de queda livre durante a correção, lembrando que a velocidade é sempre constante.

A questão seis descreve um menino que anda de skate em linha reta com velocidade constante. Em uma das mãos carrega uma bola de gude que lança verticalmente para cima. Os estudantes analisaram o movimento da bola, desprezando o atrito do ar. Esta era uma questão objetiva com cinco alternativas que relaciona as constantes de movimento, lançamento vertical e horizontal. Todos responderam a alternativa B, dizendo que a bola cairia nas mãos do menino, independente da velocidade do skate.

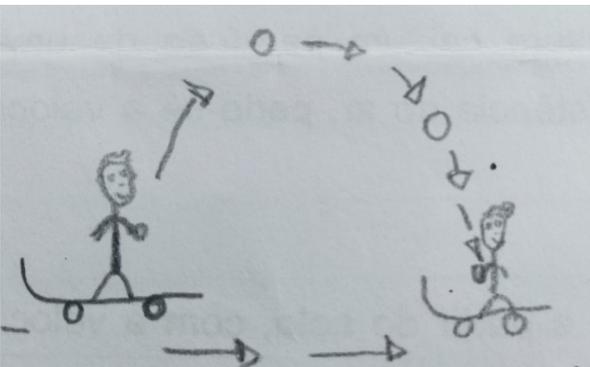
A questão sete complementava a questão seis, pois os estudantes deveriam representar, através de um desenho, o movimento da bolinha com as componentes envolvidas, representadas por vetores. Abaixo temos algumas das ilustrações.

Figura 23 – Ilustração do estudante B para a questão sete.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 24 – Ilustração do estudante U para a questão sete.



Fonte: Dados da pesquisa.

Na última questão, os estudantes calcularam e analisaram a situação de uma bola de tênis, arremessada a 2m de altura, e a velocidade de  $144 \text{ m/s}$  adquirida em direção horizontal. Sabendo que o comprimento da quadra é de  $23,8 \text{ m}$ , e admitindo que a bolinha não sofreu desvio em direção às laterais, a bolinha vai cair dentro ou fora da quadra do adversário?

Para a resolução utilizaram a equação de Torricelli (equação 18) verificando que a distância encontrada era maior que o tamanho da quadra, portanto a bola cairia fora. Ao analisar as respostas dos estudantes foi verificado que nove não responderam a questão, pois tiveram dificuldades no desenvolvimento do cálculo. Os demais estudantes responderam que a bola caiu fora da quadra, isso devido à velocidade, que quanto maior, maior a distância.

Após a correção deste questionário iniciamos os estudos de lançamento oblíquo. Para a introdução da aula, a professora questionou qual o movimento que uma bola de vôlei faz durante o saque (trajetória retilínea ou curva)?

Como nas aulas anteriores já havíamos discutido sobre lançamento vertical e horizontal, aqui todos compreenderam que neste caso há um lançamento oblíquo, onde há uma trajetória curvilínea.

Utilizamos o simulador “*Projectile Motion*” para fazer análises de lançamentos em  $20^\circ$ ,  $45^\circ$  e  $60^\circ$  com a mesma velocidade. Os estudantes realizaram a atividade em grupos e elaboraram uma tabela de dados com os parâmetros de velocidade, distância e tempo. Descreveram que no ângulo de  $45^\circ$ , a distância percorrida foi maior. Abaixo temos a tabela construída pelo estudante S.

Figura 25 – Tabela construída pelo estudante S para análise de lançamento oblíquo.

	$20^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$
distância	13,31 m	13,87 m	11,12 m
velocidade	20 m/s	20 m/s	20 m/s
tempo	1,42 s	1,96 s	2,22 s

O canhão estava em 5 m de altura

Fonte: Dados da pesquisa.

Através dos dados obtidos pelo simulador, perceberam que no ângulo de  $60^\circ$  a distância percorrida em relação ao eixo x é menor do que nos demais ângulos, porém o tempo de queda é maior.

Após as análises, a professora lembrou os conceitos matemáticos relacionados à trigonometria, como seno, cosseno e tangente de um ângulo, tendo em vista que para o cálculo do lançamento oblíquo utilizamos as razões trigonométricas de um triângulo retângulo. Foi entregue impresso aos estudantes o apêndice J com as equações de trigonometria e explicado no quadro as demais equações utilizadas no lançamento oblíquo referente à altura máxima (equação 42) e alcance máximo (equação 46) atingido pelo objeto, já apresentadas no capítulo.

Foi entregue uma lista de exercícios (apêndice H) para resolução em duplas. Para a correção, os estudantes resolveram as questões no quadro e a professora auxiliou explicando quando havia dúvidas. Discutiremos a resolução das questões.

A questão um, relata o lançamento de um foguete da Terra que descreve uma trajetória parabólica, devendo ser analisado o ponto em que a velocidade é nula. Havia cinco alternativas de resposta, no qual todos responderam a alternativa B, que diz que o deslocamento na vertical é máximo neste ponto. Verificou-se que todos os estudantes compreenderam o conceito relacionado à velocidade e ao deslocamento vertical.

A questão dois representava um chute de uma bola com angulação de  $60^\circ$  com a horizontal. Foi dado como velocidade máxima  $20 \text{ m/s}$  e pedia-se para calcular a velocidade inicial. Aqui todos responderam a alternativa C,  $40 \text{ m/s}$ . Utilizaram para a resolução a equação da velocidade em relação ao eixo  $x$ , que envolve as razões trigonométricas (equação 32).

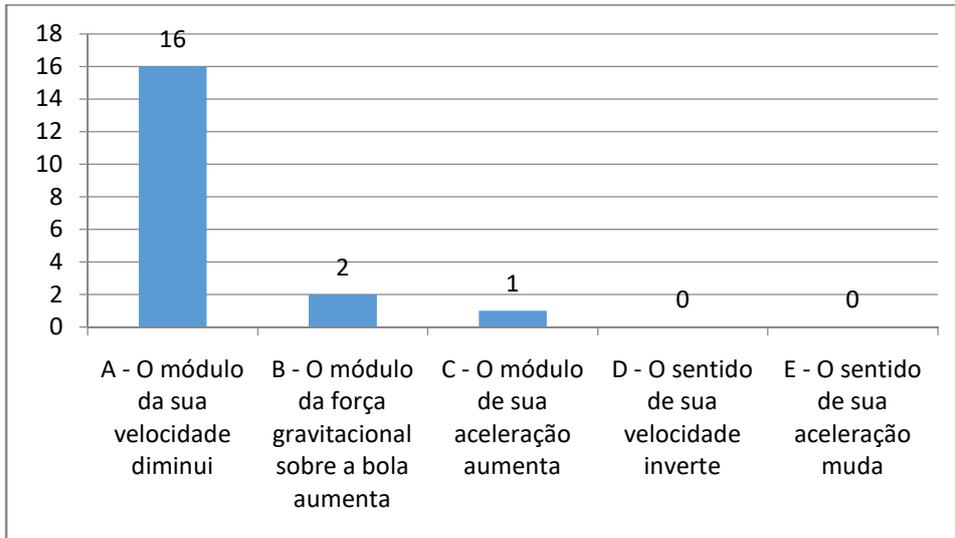
Figura 26 – Resolução da questão dois pelo estudante N.

$$\begin{array}{ll}
 2) v = 20 \text{ m/s} & 20 = \cos. 60^\circ \cdot v \\
 v_0 = ? & 20 = 0,5 \cdot v \\
 v_x = \cos \theta \cdot v & \frac{20}{0,5} = v \\
 & v = 40 \text{ m/s}
 \end{array}$$

Fonte: Dados da pesquisa.

Na questão três, os estudantes analisaram os conceitos envolvidos no lançamento vertical de uma bola de vôlei, responderam conforme mostra o gráfico 13.

Gráfico 13 – Resposta da questão três do questionário sobre lançamento oblíquo.



Fonte: Dados da pesquisa

Aos estudantes que responderam a alternativa A, as justificativas de respostas foram que a velocidade diminui durante a subida até chegar à zero no ponto mais alto da trajetória, conforme relato dos estudantes X e M.

*- Quando lançamos a velocidade vai diminuindo até chegar à zero no ponto mais alto, por causa da gravidade. (Estudante X)*

*- Porque de acordo com que ela vai subindo, tem-se nela o efeito da gravidade e ela vai perdendo a velocidade até cair. (Estudante M)*

Percebeu-se que a maioria dos estudantes compreendeu os conceitos que envolvem gravidade e velocidade em um lançamento vertical. Os estudantes que responderam a alternativa B justificaram:

*- A força da gravidade vai aumentando conforme a bola sobe. (Estudante O)*

Retomaram-se os conceitos referentes à gravidade, a fim de esclarecer que durante a trajetória, a gravidade é a mesma. O estudante que respondeu a alternativa C, não descreveu a justificativa da resposta.

A questão quatro descreve um movimento de rotação da Terra, onde um arqueiro, no Equador, de frente para o sentido de rotação da Terra, lança uma flecha verticalmente para cima. Perguntou-se onde a flecha, ao retornar, cairá e a que conceito físico é atribuído este movimento. Havia cinco alternativas de resposta e todos responderam a alternativa E, que diz que a flecha cairá na posição do arqueiro devido à inércia, evidenciando a compreensão deste conceito.

A questão cinco envolvia o cálculo da velocidade no ponto mais alto da trajetória de um objeto lançado obliquamente, sendo a velocidade inicial  $14 \text{ m/s}$  e o ângulo de lançamento  $60^\circ$ . Para a resolução foi utilizada a equação da velocidade em relação ao eixo  $y$  (equação 33). Todos resolveram esta questão e chegaram ao mesmo resultado, conforme mostra a figura 27.

Figura 27 – Resolução da questão cinco dos exercícios de lançamento oblíquo pelo estudante P.

5)  $v_y = v_0 \cdot \sin \theta$   
 $v_y = 14 \cdot 0$   
 $v_y = 0$

Fonte: Dados da pesquisa.

Na questão seis, os estudantes calcularam a altura máxima atingida por um projétil em um lançamento oblíquo com velocidade inicial de  $200 \text{ m/s}$  em um ângulo de  $37^\circ$ . Para a resolução foi utilizada a equação da altura máxima (equação 19). Não houve dificuldades na resolução desta questão, portanto todos conseguiram chegar ao resultado correto. A figura 28 representa a resolução pelo estudante D.

Figura 28 – Resolução da questão seis dos exercícios de lançamento oblíquo pelo estudante D.

$$H_{\text{máx}} = \frac{(V^0 \sin(\theta))^2}{2 \cdot g}$$

$$H_{\text{máx}} = \frac{(200^2 \cdot (0,60)^2)}{2 \cdot 10}$$

$$H_{\text{máx}} = \frac{(40.000 \cdot 0,36)}{20}$$

$$H_{\text{máx}} = \frac{14.400}{20}$$

$$H_{\text{máx}} = 720 \text{ metros}$$

Fonte: Dados da pesquisa.

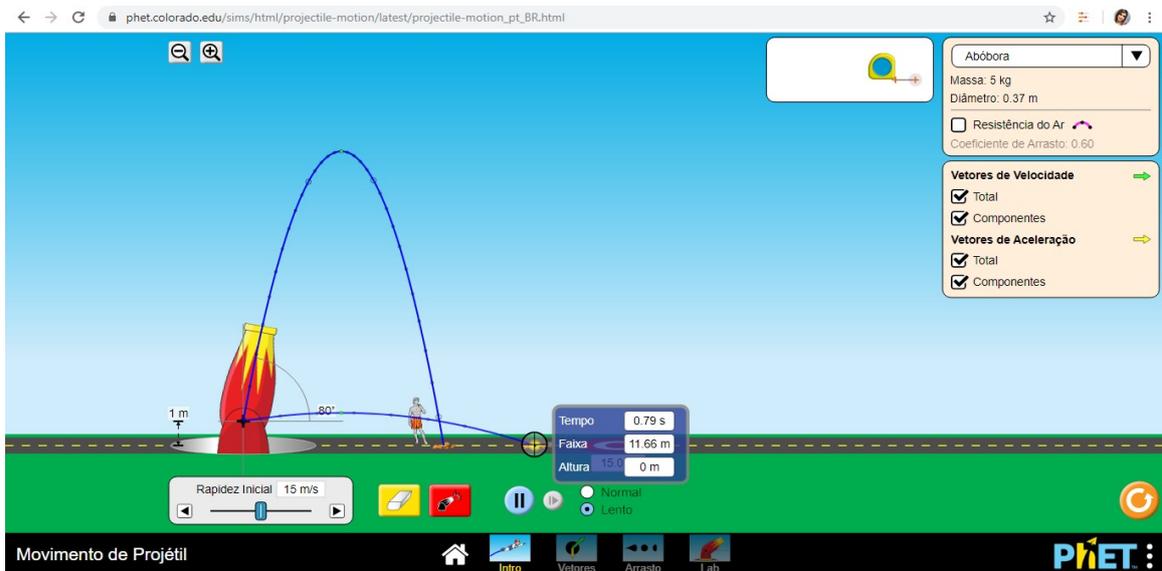
A questão sete remetia-se ao lançamento através de uma Catapulta medieval. Os estudantes analisaram o lançamento a  $10^\circ$  e a  $80^\circ$ , respondendo qual teria o maior alcance e qual o objeto ficaria mais tempo no ar. Todos responderam que a  $10^\circ$  o alcance é maior. Enquanto debatiam esta questão, percebemos que os estudantes relembrou os testes realizados com as catapultas e relacionaram também ao uso do simulador “*Projectile Motion*”. Em relação ao tempo, a maioria dos estudantes identificou que no ângulo de  $80^\circ$  é maior, pois o objeto atinge maior altura, permanecendo mais tempo no espaço. Abaixo, temos a justificativa do estudante M:

*-  $10^\circ$  é o maior alcance e o que permanece mais tempo no espaço é o de  $80^\circ$ . A catapulta é um instrumento para lançar objetos e em seu funcionamento, quanto mais você puxa a ponta de onde está o objeto, maior vai ser o ângulo de lançamento. O que vai ficar mais tempo no espaço é o de  $80^\circ$  porque o objeto vai para cima e sem muito alcance e depois cai, diferente do ângulo de  $10^\circ$  que o objeto tem mais alcance, mas cai mais rápido. (estudante M)*

A justificativa acima representa a compreensão referente à angulação do lançamento oblíquo, bem como os conceitos de tempo e velocidade da trajetória

percorrida. Comprovamos estes conceitos utilizando o simulador “*Projectile Motion*” de acordo com a figura abaixo.

Figura 29 – Imagem do simulador “*Projectile Motion*” para lançamento oblíquo a  $10^\circ$  e  $80^\circ$ .



Fonte: Dados da pesquisa.

A questão oito descreve um saque durante uma partida de vôlei, em quadra aberta, no Japão. Perguntou-se se haveria alguma diferença se o mesmo fosse dado em São Luís, capital do Maranhão. Aqui, os estudantes deveriam analisar o conceito de gravidade para responderem a questão. Todos responderam que não haveria interferência no saque, pois a gravidade seria a mesma nas duas regiões.

Na questão nove, os estudantes calcularam o tempo que um gafanhoto permaneceu em voo, em um salto com ângulo de  $45^\circ$  e altura máxima de 0,8m. Para o cálculo utilizaram a equação de tempo (equação 41) e durante a execução da resolução houve dificuldade no desenvolvimento matemático. A professora auxiliou na resolução, realizando a correção no quadro.

No desenvolvimento desta aula, a professora buscou esclarecer as dúvidas referentes ao lançamento oblíquo. Com já havíamos trabalhado nas aulas anteriores o lançamento vertical e horizontal, percebeu-se que as dificuldades diminuíram e que a maioria dos estudantes conseguiu responder todas as perguntas do questionário.

Identificou-se que os estudantes conseguiram estabelecer uma relação entre os conceitos e os lançamentos realizados com as catapultas, pois durante a

realização dos exercícios discutiram as questões comparando as informações com o movimento observado nos lançamentos.

Lembraram também dos testes realizados através do “*Projectile Motion*”, das variáveis envolvidas e do movimento realizado conforme o lançamento era realizado. Houve articulação entre a teoria e a prática, tornando a aprendizagem significativa.

#### **4.4 Análise do movimento oblíquo através de réplicas de armas medievais utilizando o *software Tracker***

Para as análises do movimento oblíquo, os estudantes levaram as réplicas construídas. Foram realizados vários lançamentos com cada réplica, alternado a angulação e trocando os objetos a serem lançados.

A construção das réplicas possibilitou a reconciliação integradora, pois auxiliou na aprendizagem através visualização dos fenômenos, da interação entre os conceitos e as concepções prévias sobre o lançamento oblíquo.

Durante estes testes puderam verificar os conceitos vistos nas aulas anteriores referentes ao movimento oblíquo, visualizando a teoria através da prática. Os estudantes se ajudaram durante as construções e também na compreensão dos movimentos, pois se percebeu que durante os testes os grupos trocaram conhecimentos, através de um diálogo integrador sobre o assunto.

Houve uma grande curiosidade em saber qual das réplicas conseguiria atingir o maior alcance, então colocaram todas na mesma linha horizontal e realizaram os lançamentos. Ficaram surpresos ao perceber que a réplica de menor tamanho (construída pelo grupo A) atingiu a maior distância. A professora questionou por que foi essa réplica que teve maior alcance e descobriram que nesta, o lançamento era de aproximadamente  $45^\circ$  e que as demais tinham angulações maiores e por isso o alcance era menor, além da massa do objeto lançado.

No início da aula foi entregue o manual do *software Tracker* (apêndice I) que foi utilizado para a análise dos dados. Cada grupo realizou as filmagens dos lançamentos com as réplicas através do celular e anexou ao *software Tracker* para as análises. Como na primeira aula foi mencionado que usaríamos este *software*, os estudantes ficaram curiosos e fizeram pesquisas e testes em casa antes desta aula, portanto, não tiveram dificuldades para a utilização. Pequenas dúvidas em relação à funcionalidade foram esclarecidas durante este encontro.

O primeiro passo no uso do *Tracker* foi a calibragem do tempo do vídeo, determinando o início e o fim do movimento do lançamento. Para o segundo passo, os estudantes fizeram marcações das posições do objeto para análise. Após, no lado direito da tela aparece o gráfico com esses pontos. Fizeram alterações das variáveis do gráfico visualizando tempo e distância. Observaram também a tabela de dados com estas variáveis, comparando o tempo para a distância percorrida.

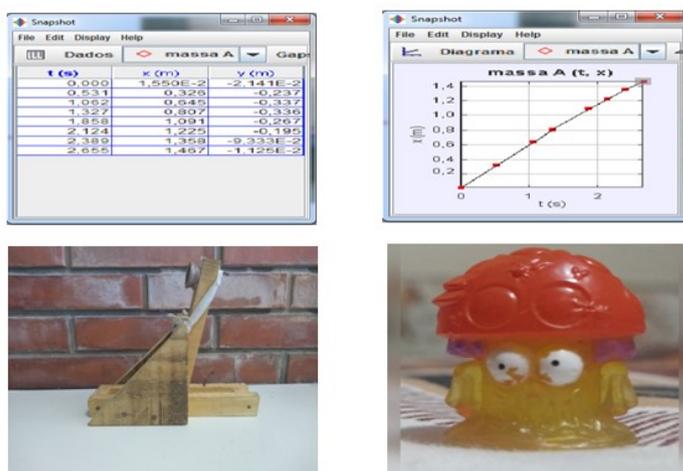
A partir destas observações, utilizaram os parâmetros de distância e tempo obtido pelo *software* para o cálculo da velocidade através das equações do lançamento oblíquo.

Foi elaborado por cada grupo uma apresentação das réplicas, na qual constam as análises realizadas pelo *software* comparadas aos cálculos realizados e foi apresentado na última aula (Apêndice L).

Nesta aula foi possível perceber indicativos de que desenvolveram uma aprendizagem significativa, onde os conceitos físicos estiveram presentes durante os experimentos realizados com as réplicas.

Na última aula, os grupos apresentaram à turma as réplicas construídas, bem como as análises realizadas através do *Tracker*. Este foi um momento da troca de experiências e aprendizagem entre os estudantes, importante para a socialização dos conhecimentos. Demonstraram a compreensão da composição dos movimentos vertical e horizontal para o lançamento oblíquo, bem como os principais conceitos envolvidos, como a velocidade, gravidade, resistência do ar, distância percorrida e tempo. A figura abaixo representa a apresentação do grupo da catapulta A.

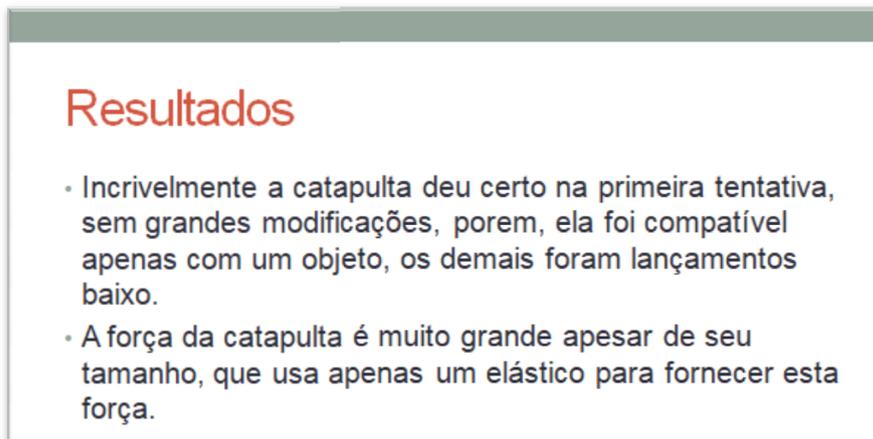
Figura 30 – Apresentação da catapulta do grupo A.



Fonte: Dados da pesquisa.

Na figura 30, foram apresentados os dados obtidos através do *Tracker*, a construção da catapulta e objeto que utilizaram para lançamento (bonequinho de borracha).

Figura 31 – Apresentação dos resultados da catapulta do grupo A.



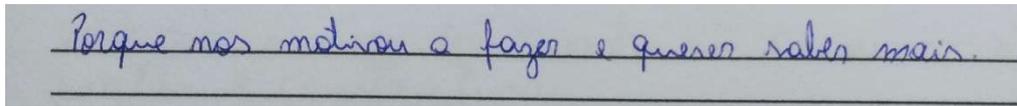
Fonte: Dados da pesquisa.

A figura 31 relata os resultados obtidos e onde escreveram que a catapulta foi “compatível apenas com um objeto”, referem-se que ao realizarem testes com objetos mais leves, os lançamentos foram menores. Comprovaram que a massa do objeto interfere também no alcance. As demais apresentações constam no apêndice L.

Após a apresentação foi entregue aos estudantes um questionário de avaliação da sequência didática, na qual havia quatro perguntas. Responderam a este questionário vinte e três estudantes. A professora pediu que não houvesse identificação dos estudantes nas respostas, preservando a identidade de cada um.

A primeira questão perguntou se os recursos didáticos utilizados nas aulas tornaram as aulas mais interessantes e todos responderam que sim. Na justificativa das respostas surgiram argumentos referentes aos experimentos realizados, ao uso do *software Tracker* e a motivação dos estudantes. Alguns relatos serão apresentados abaixo.

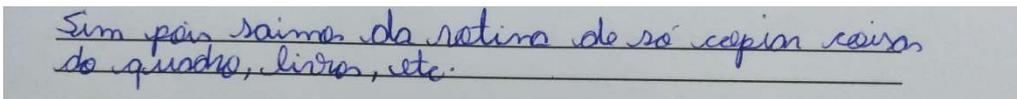
Figura 32 – Resposta dos estudantes para a questão 1 da avaliação da sequência didática.



Porque nos motivou a fazer e queremos saber mais.

Fonte: Dados da pesquisa.

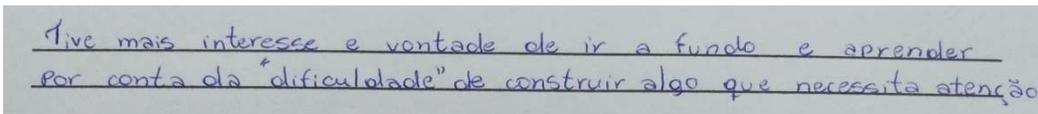
Figura 33 – Resposta dos estudantes para a questão 1 da avaliação da sequência didática.



Sim pois saímos da rotina de só copiar coisas do quadro, livros, etc.

Fonte: Dados da pesquisa.

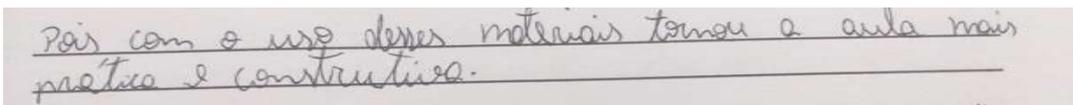
Figura 34 – Resposta dos estudantes para a questão 1 da avaliação da sequência didática.



Tive mais interesse e vontade de ir a fundo e aprender por conta da "dificuldade" de construir algo que necessita atenção

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 35 – Resposta dos estudantes para a questão 1 da avaliação da sequência didática.



Pois com o uso desses materiais tornou a aula mais prática e construtiva.

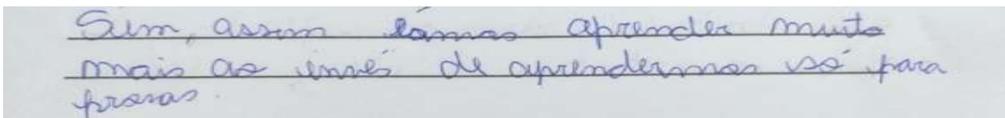
Fonte: Dados da pesquisa.

A questão dois perguntava se, com o uso das réplicas, os estudantes haviam compreendido os conceitos de lançamento oblíquo. Cinco estudantes responderam que parcialmente e os demais responderam que sim. Destes que responderam parcialmente, justificaram ter dificuldades de aprendizagem, não só na disciplina de física. Os demais, disseram que houve um pouco de dificuldade no cálculo matemático, mas que conseguiram aprender ao final das aulas. Aqueles que responderam que sim, não escreveram as justificativas.

A terceira questão perguntou se os estudantes gostariam de ter outras aulas de física que utilizassem experimentos. Apenas um estudante respondeu que não, pois sentiu falta das provas do método tradicional de ensino e os demais relataram

ter gostado das experiências. As justificativas levaram em consideração a aprendizagem dos estudantes, a construção realizada por eles, a troca de experiências, ao fato das aulas se tornarem mais interessantes, como mostra as figuras abaixo.

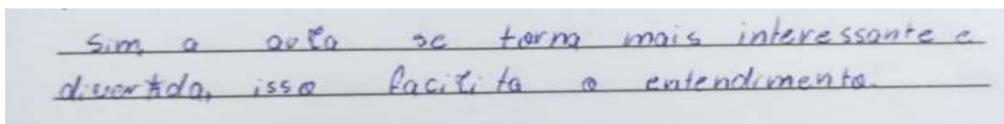
Figura 36 – Resposta dos estudantes para a questão 3 da avaliação da sequência didática.



Sim, assim damos aprender muito mais as vezes de aprendermos só para frases.

Fonte: Dados da pesquisa.

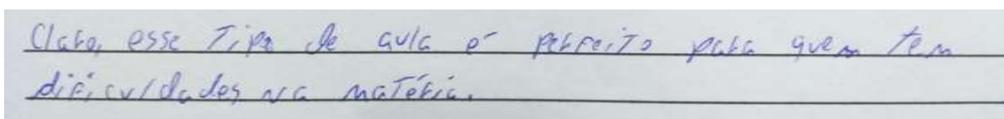
Figura 37 – Resposta dos estudantes para a questão 3 da avaliação da sequência didática.



Sim, a aula se torna mais interessante e divertida, isso facilita o entendimento.

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 38 – Resposta dos estudantes para a questão 3 da avaliação da sequência didática.



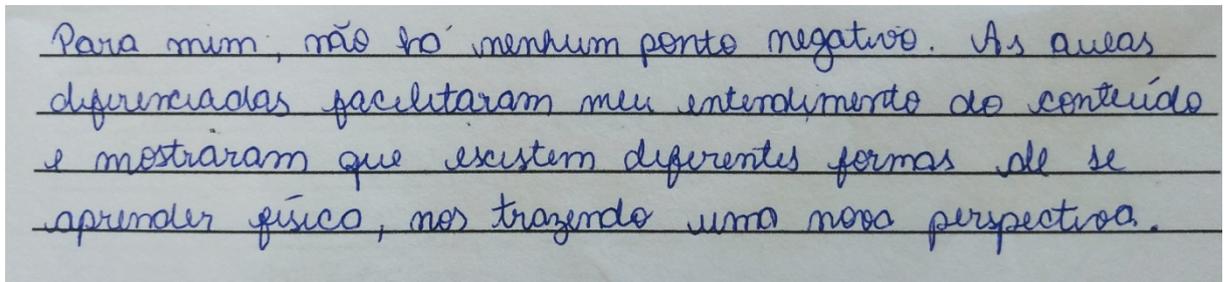
Claro, esse tipo de aula é perfeito para quem tem dificuldades na matéria.

Fonte: Dados da pesquisa.

Através destes relatos, evidenciou-se que grande parte dos estudantes gostou das aulas com o uso das réplicas e acharam os experimentos facilitaram a compreensão dos conceitos, auxiliando nos processos de ensino daqueles que possuíam maior dificuldade.

Na última questão, perguntou-se sobre os aspectos positivos e negativos do decorrer das aulas. Dez estudantes atribuíram somente aspectos positivos, relatando que as aulas foram diferenciadas e facilitaram a aprendizagem, trazendo uma nova perspectiva para o ensino de física.

Figura 39 – Descrição dos aspectos positivos e negativos da sequência didática.



Para mim, não há nenhum ponto negativo. As aulas diferenciadas facilitaram meu entendimento do conteúdo e mostraram que existem diferentes formas de se aprender física, nos trazendo uma nova perspectiva.

Fonte: Dados da pesquisa.

Em relação à aprendizagem, relataram sobre os conceitos físicos compreendidos com o uso das catapultas, além dos aspectos históricos envolvidos. O uso dos experimentos construídos pelos estudantes e os *softwares* utilizados, em conjunto, facilitaram a compreensão dos fenômenos envolvidos.

Em relação aos aspectos negativos, um dos grupos atribuiu a falta de comprometimento de alguns colegas para a execução das tarefas, bem como desentendimento entre os componentes do grupo. Os demais relataram que poderia ter maior tempo de aula para a construção das réplicas e para os testes.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresenta um produto educacional que tematiza o ensino de lançamento oblíquo para alunos do 1º ano do ensino médio, em uma escola do litoral norte, no município de Osório, Rio Grande do Sul.

Retomando o embasamento teórico deste trabalho, a aprendizagem significativa de David Ausubel descreve a importância dos conhecimentos prévios dos estudantes e para que estes sirvam de ancoragem para novos conhecimentos. A partir disso, foi elaborado um produto educacional a fim de contribuir com a aprendizagem dos estudantes de maneira significativa, bem como disponibilizar aos professores um material que possa ser aplicado em outras realidades escolares.

De acordo com algumas dificuldades encontradas para o ensino de lançamento oblíquo, tais como pouco tempo para este assunto, falta de experimentos realizados pelos estudantes e a dificuldade de visualização dos fenômenos, foi proposta uma sequência didática a fim de auxiliar o professor nesses processos.

A partir da proposta do produto educacional foram construídos pelos estudantes réplicas de armas medievais para a análise de lançamento oblíquo. O objetivo principal era que os estudantes visualizassem, através de experimentos os fenômenos envolvidos no lançamento oblíquo, aliando os conceitos pré-existentes aos novos, possibilitando a construção de conhecimentos.

Entre as produções dos estudantes, destacam-se os vídeos elaborados a partir das filmagens dos lançamentos realizados com as réplicas para a análise utilizando o *software Tracker*. As comparações, observações e análises, os levaram a concluir que o lançamento oblíquo é uma composição de movimentos, que inclui o movimento vertical e horizontal de um projétil.

Foi observado também, as relações que eles estabeleceram com outros importantes conceitos atribuídos ao lançamento oblíquo, como a gravidade, resistência do ar, ângulo de lançamento, velocidade e massa do projétil, resultando na reconciliação integradora. Estes conceitos foram relacionados a atividades observadas no dia a dia dos estudantes. Pensamos que esse momento de compartilhamento de exemplos pessoais contribuiu para um grau de compreensão mais complexo, pois durante as aulas foram resgatados e estudados na relação com cada um dos conceitos.

O público-alvo desta pesquisa percebeu a importância de associar os conceitos físicos aos matemáticos, bem como à prática. Para o correto funcionamento das réplicas havia a necessidade da compreensão do fenômeno e dos cálculos para a construção, observando o ângulo de lançamento para obter o maior alcance.

Ao relacionar os aspectos históricos das catapultas medievais aos conceitos físicos, pode-se trabalhar de forma interdisciplinar, ou seja, dialogando com outras áreas do conhecimento para tentar despertar o interesse dos estudantes para os fatos importantes na evolução da construção das armas medievais, ressaltando a importância histórica.

Pode-se trabalhar com as percepções dos estudantes sobre a importância de práticas sustentáveis, uma vez que foram utilizados materiais de baixo custo e de descarte na construção das réplicas. Assim, demonstramos também que estes experimentos podem ser construídos em distintas realidades escolares, pois não requerem materiais de custo elevado.

Em relação às atividades experimentais, estas proporcionaram, além da compreensão dos fenômenos e conceitos envolvidos, a interação entre os estudantes. Através das atividades realizadas em grupos, houve a troca do conhecimento, importante para construção da aprendizagem, socialização, desenvolvimento intelectual e integração entre eles.

Os experimentos e *softwares* foram utilizados como instrumentos facilitadores de aprendizagem e também como motivadores. O uso de uma metodologia diferenciada proporcionou aulas mais atrativas, envolvendo os estudantes nas etapas de construção do conhecimento e facilitando os processos de ensino e aprendizagem. Isto se evidenciou nas falas dos estudantes na avaliação da sequência didática, pois relataram que as aulas foram mais divertidas, que haviam saído do modelo de aula tradicional em que só copiam, fazem exercícios e prova. Relataram que aprenderam com mais facilidade ao construir as réplicas, pois conseguiram visualizar o lançamento.

Percebeu-se que, mesmo que os estudantes não costumem realizar exercícios destinados a tarefa fora do espaço e horário escolar (os famosos deveres de casa) neste caso, foi notório o envolvimento deles, pois se mobilizaram a investigar e construir coletivamente as réplicas. Isso demonstra que o professor não precisa ficar inseguro com relação à perda de controle da aula e demonstra o quanto

eles gostam de participar e de assumir o protagonismo, eles construíram de forma coletiva, com alguém, mas não reproduziram como alguém.

Houve também a participação da família na construção de algumas das réplicas, onde os pais auxiliaram na montagem e na busca dos materiais. De acordo com o Projeto Político Pedagógico da escola, a participação dos pais nas atividades escolares é importante para o desenvolvimento dos estudantes, pois estes se sentem seguros, valorizados, motivados e incentivados a participarem das atividades escolares.

De acordo com os relatos e resoluções de exercícios mencionados no capítulo de resultados e discussões, vimos que os objetivos em relação ao ensino dos conceitos de lançamento oblíquo foram alcançados.

Observamos que houve crescimento conceitual nas etapas da sequência didática, onde os estudantes tiveram a consolidação dos conceitos estudados de forma gradativa. Em cada etapa buscou-se ancorar os novos conhecimentos aos conhecimentos prévios promovendo a diferenciação progressiva retomando as concepções dos estudantes e esclarecendo as dúvidas, trazendo esses novos conceitos na reconciliação integradora. A utilização de situações-problema e exemplos do dia a dia auxiliaram neste processo. Ao final de cada encontro, houve a reconciliação integradora com uma reestruturação das concepções cognitivas.

A partir dos estudos, das aulas do mestrado e da realização deste trabalho e refletindo sobre minha docência, na maneira como desenvolvo as aulas, houve aprendizagens significativas enquanto estudante e professora. A elaboração deste trabalho possibilitou ver outros aspectos em relação à aprendizagem dos estudantes, bem como às novas concepções de ensino.

Percebeu-se que aulas em que os estudantes são protagonistas na construção da aprendizagem, como por exemplo, as construções das réplicas aqui apresentadas, podem despertar o interesse pelo ensino. O uso de experimentos possibilitou uma reflexão em relação à prática pedagógica em sala de aula, percebendo a evolução da aprendizagem dos estudantes e a melhor compreensão dos conceitos a partir desta metodologia utilizada. A partir destas observações e experiências mudaram-se as práticas de sala de aula, adotando o uso de experimentos no planejamento.

Os eventos em que participei levando esta proposta de sequência didática como EREC (Encontro Regional de Ensino de Ciências – UFRGS, 2018), a V e VI

Escola Brasileira de Física (SBF, 2018 e 2019) e Encontro Regional Sul do MNPEF (FURG, 2019), proporcionaram a vivência de novas experiências e a visão de uma nova perspectiva enquanto aluna e professora. A troca de conhecimentos com outros colegas e professores, as sugestões, opiniões e críticas, fortaleceram a construção deste trabalho e também foram importantes para meu aprendizado e crescimento profissional.

Estas vivências, juntamente com a construção deste trabalho modificaram meu pensamento enquanto professora de física, buscando por atividades que despertem o interesse dos estudantes e que estas tenham significado. A aprendizagem significativa passou a fazer parte dos meus planejamentos de aula após a aplicação deste produto educacional.

De acordo com a proposta do MNPEF, que visa o ensino de Física através da experimentação e uso das tecnologias a fim de motivar, inovar e facilitar o ensino, este produto educacional percebeu ter atingido os objetivos propostos, contribuindo para possibilitar a aprendizagem significativa dos estudantes.

## BIBLIOGRAFIA

ANTUNES, M. L. P. **Engenhocas: Catapulta**. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. São Paulo, 2016.

AUSUBEL, D. P., **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Plátano Edições Técnicas: Lisboa, 2003.

BACICH, L; MORAN, J; **Metodologias Ativas para uma Educação Inovadora: Uma Abordagem Teórico Prática**. Penso Editora. 2017.

BECHARA, E. – **Dicionário escolar da Academia Brasileira de Letras: língua portuguesa**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2011.

BEM-DOV, Y. **Convite à física**; tradução, Maria Luiza X. de A. Borges; Rio de Janeiro: Jorge Zahar. Ed, 1996.

BONJORNO, J.R. *et al.* **Física: mecânica**. 1º ano. 2. ed. São Paulo: FTD, 2013.

BRASIL. **Reestruturação curricular ensino fundamental e ensino médio**. SEDUC-RS, 2016.

BRITO, C. C. **Armas de arremesso anteriores ao Fogo**. Revista Militar. 5. ed. Lisboa:Tipografia Universal,1917.

CARRON, W. GUIMARÃES, O. **As faces da Física**. Volume único. – 2. ed. São Paulo: Moderna, 2002.

CARVALHO, A. M.P. *et al.* **Ensino de Física**. São Paulo: Cengage Learning, 2010. – Coleção ideias em ação.

DANTE, L. R. **Matemática, ensino médio**. Volume único. São Paulo: Ática, 2005.

FERREIRA, A. B. H. **Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa**. 8. ed. Curitiba: Positivo, 2010.

GALLINA, S. F. S. Deleuze e Hume: **experimentação e pensar**. *Philosophos*, v. 12, n. 01, p. 123-144, 2007.

GASPAR, A. **Física**. Volume único. 1. ed. São Paulo: Ática, 2005

GEF – UFSM. **Cinemática e Dinâmica**. Cadernos de Física. Grupo de Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2010.

GIANTORM, P. **Conhecem o bodoque?** Arco Brasil. 2012. Disponível em [www.arcosbrasil.com](http://www.arcosbrasil.com) Acesso em: 05 fev de 2019.

GUEDES, G. L., PEIXOTO, H. F., NUNES, R.G. V. **Modelagem Matemática: construção de estilingue e catapulta**. XXI Ciência Viva. Minas Gerais, 2016.

HALÉVY, D. **História das armas e dos soldados**. Tradução de Hilton J. Gadret. Livraria Freitas Bastos. 1963. Paris, França.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física**. 9. ed. Vol1. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2009.

HAMBURGER, E.W. **O que é física**. São Paulo: Editora Brasiliense, 1984.

HODSON, D. **A critical look at practical work in school science**. School Science Review 71, p. 33-40, 1990.

LEIRIA, T. F.; MATARUCO, S. M. C.; **O papel das atividades experimentais no processo ensino-aprendizagem de física**. Formação de Professores e Profissionalização Docente. PUC-PR. 2015.

LOPES, W. **Variação da aceleração da gravidade com a latitude e altitude**. Guarulhos: Departamento de Física, 2008. Universidade de Guarulhos/SP.

MACHADO S. V. F. E SASSERON L. H. **As interações discursivas no ensino de física: a promoção da discussão pelo professor e a alfabetização científica dos estudantes**. Ciência & Educação (Bauru), vol. 18, núm. 3, 2012, pp. 593-611 Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. SP, Brasil.

MOREIRA, M. A. **Abandono da narrativa, ensino centrado no estudante e aprender a aprender criticamente**. Conferência proferida no II Encontro Nacional de Ensino de Ciências da saúde e do ambiente. Rio de Janeiro. 2010.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa**. A Teoria e Textos Complementares. 1. ed. São Paulo. Livraria da Física: 2011.

MOREIRA, M. A. **O que é afinal aprendizagem significativa?** Aula Inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT, 23 de abril de 2010. Publicação, *Qurriculum*, La Laguna, Espanha, 2012.

NAPOLITANO, H. B.; LARIUCCI, C. **Alternativa para o ensino da cinemática**. Inter-Ação; Rev. Fac. Educ. UFG, 26 (2): 119-129, jul./dez. 2001.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica, 1: mecânica** 5. ed. São Paulo: Blucher, 2013.

OLIVEIRA, L. P. et al. **Divulgando e ensinando análise de vídeo em sala de aula: experimentos de mecânica com o software Tracker**. Simpósio Nacional de Ensino de Física, XIX, Manaus, 2011. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xix/sys/resumos/T0094-1.pdf>. Acesso em outubro de 2017.

POLITO, A. M. M., **A construção conceitual da física clássica**. São Paulo: Livraria da Física, 2016. - (Série mestrado nacional profissional em ensino de física; v.2.)

PRAIA, J. CACHAPUZ, A. GIL-PÉREZ, D. **A hipótese e a experiência científica em educação em ciência: contributos para uma reorientação epistemológica**. Ciência e Educação, v.8, n. 2, p. 253-262, 2002.

RAMOS, C.M, et.al. **Física: mecânica**. 1º ano. 2. ed. São Paulo : FTD, 2013. SÓ FÍSIC A. Movimento Oblíquo.

ROCHA, José Fernando M. **Origens e Evolução das Ideias da Física**. 2. ed. Salvador: EDUFBA, 2015. 374 p.; il.

RUIZ, J. A. **Metodologia Científica**. 2ª Edição. São Paulo: Editora Atlas, 1986

SAMPAIO, J. L. CALÇADA, C. S. **Universo da física, 2: Hidrostática, Termologia, Óptica**. 2. ed. São Paulo: Atual, 2005.

SANTOS, A. B. **A teoria da relatividade restrita em uma sequência de ensino potencialmente significativa com o uso de história em quadrinhos**. Dissertação – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Campus Litoral Norte. Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional em Ensino de Física. Tramandaí, BR – RS, 2019.

SANTOS, D. et al. **Projeto integrador de lançamento oblíquo**. Universidade Nove de Julho. São Paulo, 2010.

SOUZA, C. S.; IGLESIAS, A. G.; PAZIN-FILHO, A. **Estratégias inovadoras para métodos de ensino tradicionais – aspectos gerais**. Medicina, v. 47, n. 3, p. 284-292, 2014.

STACEY, F.D. **Physics of the Earth**. 2. ed. New York: John Willey & Sons, 1977.

SUART, R.C; MARCONDES, M. E. R. **As habilidades cognitivas manifestadas por estudantes do ensino médio de química em uma atividade experimental investigativa**. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências Vol. 8 Nº 2, 2008.

TIPLER, P. A. 1933- **Física para cientistas e engenheiros**. Volume 1: mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica / Paul A. Tipler, Gene Mosca; Tradução e revisão técnica Paulo Machado Mors. Rio de Janeiro: LTC, 2013. il. – (Física para cientistas e engenheiros; v.1)

TIPLER, P. A. **Física**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1985. Traduzido por Horacio Macedo.

UENO, P. **Física**. Série novo ensino médio. Volume único. 1. ed. São Paulo: Ática, 2006.

VIEIRA, A. S. **Uma alternativa didática às aulas tradicionais: engajamento interativo obtido por meio do uso do método *PeerInstruction* (Instrução pelos colegas)**. 2014. 235f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

VIEIRA, M. **Estudantes testam teorias da física e da matemática na Capital.** Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2012/06/estudantes-testam-teorias-da-fisica-e-da-matematica-na-capital-3807387.html> Acesso em: 10 jan de 2019.

WERLANG, R. V. **Física: mecânica dos sólidos.** 13. ed. Tapera, LEW, 2011.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, A. ROGER. **Física 1 - Mecânica** / Tradução Sonia Midori Yamamoto; revisão técnica Adir Moysés Luiz. 12. ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008.

## APÊNDICES

**APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL**



**MNPEF** Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



## APÊNDICE A - PRODUTO EDUCACIONAL

### ESTUDO DO LANÇAMENTO OBLÍQUO UTILIZANDO RÉPLICAS DE ARMAS MEDIEVAIS

Cassiana Alves de Souza

Prof. Dr. Márcio Gabriel dos Santos  
Orientador

Prof. Dr. NeilaSeliane Witt  
Coorientador

Tramandaí  
Janeiro de 2020

## SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE O ESTUDO DO LANÇAMENTO OBLÍQUO UTILIZANDO RÉPLICAS DE ARMAS MEDIEVAIS<sup>9</sup>

Prof. Cassiana Alves de Souza<sup>10</sup>

Prof. Dr. Marcio Gabriel dos Santos<sup>11</sup>

Prof.<sup>a</sup> Dra. Neila Seliane Pereira Witt<sup>12</sup>

### INTRODUÇÃO

No ensino de Física, a Cinemática faz parte dos conteúdos estudados em Mecânica, responsável pelo estudo dos movimentos, independente de suas causas, objetivando uma descrição matemática para os modelos observados. (NUSSENZVEIG, 1993).

Algumas características para o ensino destes conceitos são consideradas prejudiciais à aprendizagem, tais como: (1) tempo excessivo dedicado ao seu estudo, muitas vezes em detrimento do estudo de temas considerados mais importantes, como a Dinâmica e a Gravitação; (2) falta de experimentos realizados em aula pelos estudantes; (3) incapacidade ou dificuldade de visualização concreta dos movimentos por parte do estudante reduzindo, às vezes, sua aprendizagem a um conhecimento abstrato de um grande número de fórmulas e terminologias, sem correlação com a natureza, tornando a aprendizagem mecânica. (NAPOLITANO e LARIUCCI, 2001)

O presente trabalho propôs uma estratégia de ensino, a fim de auxiliar na solução de alguns dos problemas mencionados. Nessa perspectiva, há também a busca por aulas que despertem no estudante o interesse pelo ensino desta ciência, uma vez que as aulas tradicionais já não contemplam a atenção deles. A proposta do trabalho consistiu no desenvolvimento de estratégias facilitadoras nos processos de ensino e aprendizagem que relacionaram as práticas cotidianas aos conceitos físicos, através da experimentação, da interação entre os estudantes, tornando possível um ensino significativo.

---

<sup>9</sup> Trabalho desenvolvido no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF-UFRGS/CLN.

<sup>10</sup> Professora da rede Municipal de Imbé e Estadual em Osório – RS.

<sup>11,9</sup> Professores do Departamento Interdisciplinar – UFRGS/CLN.

Foi apresentado um produto educacional, resultado de estudos realizados no curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), da UFRGS Campus Litoral Norte. A proposta é uma sequência didática, utilizada como alternativa de ensino e aprendizagem de alguns tópicos da cinemática. Para isso, foram utilizados experimentos com réplicas de armas medievais (*Catapulta* e o *Trebuchet*) para a simulação dos movimentos envolvidos no lançamento oblíquo.

Os objetivos deste trabalho foram: o estudo do lançamento oblíquo através da experimentação com réplicas; construção de armas medievais pelos estudantes com materiais reciclados e madeira de demolição; contribuir para a aprendizagem significativa dos estudantes; disponibilizar aos professores um material de fácil acesso como alternativa de ensino.

A aplicação do produto educacional ocorreu em uma turma de primeiro ano do ensino médio, no município de Osório, em uma escola da rede pública estadual. Foram realizados nove encontros, cada um com duas horas/aula. Para a primeira aula, foi realizado um questionário de investigação dos conhecimentos prévios dos estudantes, a fim de observar o que o estudante sabe em relação aos conteúdos necessários para o desenvolvimento das demais aulas. A cada aula, a professora retomou os conceitos da aula anterior, através de questionamentos, anotações e debates com os estudantes, buscando auxiliar na compreensão dos conteúdos e que estes fossem significativos. Utilizamos alguns recursos didático, como data show, simulador "*Projectile Motion (HTML5)*", *software Tracker*, experimentos em sala de aula, vídeo, textos de apoio, exercícios sobre os conceitos físicos e matemáticos.

Após as construções das réplicas, foram realizados lançamentos de diversos ângulos a fim de comparar e analisar velocidade inicial, distância, aceleração e resistência do ar. Para essas análises, os estudantes realizaram filmagens dos experimentos através do celular ou câmera digital e após anexaram ao *software Tracker*, no qual gerou gráficos referentes à trajetória do projétil arremessado através das réplicas. No encerramento da sequência didática, os estudantes apresentaram as réplicas construídas, bem como as análises realizadas.

Como fundamentação teórica desta proposta teve-se a aprendizagem significativa de David Ausubel, onde os conhecimentos prévios são observados pelo professor e fazem parte da construção dos novos conceitos. Vê-se a importância desta observação, pois para a construção da sequência didática foi considerado os

chamados subsunçores, que são os conhecimentos que os estudantes trazem consigo, podendo ser conceitos vistos anteriormente ou aprendizagens de acordo com suas vivências. A partir dos conhecimentos prévios, aliados às ferramentas facilitadoras de ensino e interagindo com novos conceitos, pode-se ter uma aprendizagem significativa.

“A aprendizagem significativa se caracteriza pela interação entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos, e que essa interação é não-literal e não-arbitrária. Nesse processo, os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva.” (MOREIRA, 2011, p.14)

Amparados na teoria de aprendizagem significativa, analisamos a seguinte questão problema: Em que medida, a construção e utilização de réplicas de armas medievais como ferramentas pedagógicas, contribuem para a melhora da aprendizagem de conceitos da física relacionados ao movimento balístico (lançamento de projéteis)?

Nos apêndices constam a sequência didática detalhada e os materiais utilizados, tais como questionário de conhecimentos prévios, textos de apoio, manual para construção das réplicas, manual de utilização do *Tracker*, listas de exercícios e questionário de avaliação da sequência.

A proposta de ensino onde os estudantes estejam envolvidos na construção dos experimentos busca promover o desenvolvimento da autonomia e a construção do conhecimento.

O desenvolvimento intergrupal e intragrupal, pode, no quadro de uma sempre prudente analogia com a comunidade científica, ajudar a simular aspectos sociológicos, particularmente interessantes. A crítica, a argumentação e o consenso dos pares constituem elementos de racionalidade científica que importa desenvolver conjuntamente – estudantes e professores – partilhando e vivendo dificuldades inerentes à própria prática científica. (PRAIA, et al, 2002, p.259)

A partir dos experimentos e da troca de conhecimentos entre os estudantes e professor, poderá permitir uma aprendizagem significativa e efetiva, além de incentivar a interação entre as partes.

## PLANEJAMENTO DAS ETAPAS DO PRODUTO EDUCACIONAL

### **AULA 1: Identificação dos conhecimentos prévios, apresentação da proposta com orientação da construção das réplicas**

**Carga horária:** 2 horas-aula

**Objetivo:**

- Identificar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre queda livre, MRU, MRUV e lançamento oblíquo, bem como suas concepções sobre estes conteúdos;
- Orientar os estudantes para a construção das réplicas de armas medievais explicando a proposta da sequência didática.

**Recursos didáticos:**

- Questionário de conhecimentos prévios; (Apêndice B)
- Material impresso com o passo a passo para a construção de réplicas medievais; (Apêndice C e D)

**Metodologia:**

Foi aplicado o questionário de identificação dos conhecimentos prévios, no qual abordou questões que remetam a compreensão de conceitos como: Queda livre, lançamento vertical e horizontal, velocidade e gravidade, necessários para o estudo posterior do lançamento oblíquo.

No segundo momento desta aula, a professora apresentou à turma a proposta de aplicação do produto educacional, explicando aos estudantes sobre a construção de réplicas de armas medievais, que os estudantes construiriam. Foram apresentados dois modelos de réplicas levadas pela professora, uma Catapulta e um Trebuchet.

A turma foi dividida em seis grupos de cinco estudantes cada. Cada grupo recebeu um roteiro (passo a passo) para a construção das réplicas de armas medievais (Catapulta e Trebuchet). Neste roteiro constava o passo a passo da construção das duas réplicas iguais as que a professora construiu, porém os

estudantes deveriam construir as suas de tamanhos diferentes das apresentadas e com materiais de baixo custo ou recicláveis.

## **AULA 2: Aspectos históricos do estudo dos movimentos**

**Carga horária:** 2 horas-aula

### **Objetivo:**

- Retomar o questionário da aula anterior explicando as questões e debatendo de acordo com as respostas dos estudantes;
- Utilizar o texto sobre aspectos históricos do estudo dos movimentos (apêndice E) como organizador prévio sobre aspectos históricos da física, que servirá como suporte para as demais aulas;
- Apresentar os estudos a Física como ciência que ainda está em processo de construção permanente;
- Iniciar um debate sobre onde podemos perceber o lançamento de projéteis no cotidiano.

### **Recursos didáticos:**

- Texto organizador prévio: “Aspectos Históricos do estudo dos movimentos” (apêndice E)
- Data show

### **Metodologia:**

A professora levou o questionário de conhecimentos prévios respondido pelos estudantes e retomou cada questão, debatendo com eles as diversas respostas obtidas nas questões, a fim de sanar dúvidas e esclarecer os conceitos envolvidos para dar prosseguimento na sequência didática. Também foi questionado aos estudantes onde eles vêem no seu dia-a-dia lançamento de projéteis, lançamento horizontal, lançamento vertical, queda livre, buscando uma relação com as respostas

obtidas no questionário de conhecimentos prévios, porém não foi aprofundado os conceitos de cada teoria.

No segundo momento da aula foi entregue um texto impresso utilizado como organizador prévio, “Aspectos históricos do estudo dos movimentos” (apêndice E), no qual relatou a evolução da ciência, bem como alguns físicos, matemáticos e filósofos importantes para esse estudo. Tendo em vista que os organizadores prévios devem ser utilizados como material introdutório para os novos conceitos a serem estudados, este material não aprofundou nenhuma teoria, pois estas foram trabalhadas posteriormente. Foram apresentados alguns aspectos relacionados à evolução no ensino de física, no qual são importantes para a compreensão da origem das teorias e conceitos a serem estudados. O mesmo texto foi projetado pelo professor com o uso do *Data Show* e lido coletivamente. Após a leitura foi realizado um debate em que os estudantes puderam realizar seus questionamentos e dúvidas sobre os assuntos abordados no texto. A professora mediou o debate problematizando os questionamentos, fazendo com que os envolvidos neste estudo repensem de acordo com seus conhecimentos prévios e suas vivências, instigando-os pela curiosidade no ensino desta ciência e esclarecendo as supostas dúvidas, procurando sempre aliar os conhecimentos prévios aos novos conhecimentos, buscando sempre por estratégias que possibilitem a aprendizagem significativa.

### **AULA 3: Construção das réplicas**

**Carga horária:** 2 horas-aula

**Objetivo:**

- Auxiliar na construção das réplicas de armas medievais;
- Acompanhar a construção das réplicas sanando possíveis dúvidas;
- Introduzir através de um texto de apoio os aspectos históricos sobre as armas medievais.

**Recursos Didáticos:**

- Texto de apoio “História das armas medievais” (apêndice F).

### Metodologia:

Nesta aula os estudantes levaram os materiais que utilizaram para a construção das réplicas, bem como parte da construção já iniciada em casa. A maioria dos grupos levou as réplicas já construídas. O professor aqui auxiliou e acompanhou as construções, sanando as dúvidas, possibilitando que aos estudantes que concluíssem a construção em sala de aula.

As próximas figuras ilustram as réplicas construídas pelos estudantes.

Figura 1 - Réplica de catapulta construída pelos estudantes do grupo A com madeira de demolição.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 2 - Réplica de catapulta construída pelos estudantes do grupo B com papelão e revistas.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 3 - Réplica de catapulta construída pelos estudantes do grupo C com taquara.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 4 - Réplica de catapulta construída pelos estudantes do grupo D com retalhos de MDF.



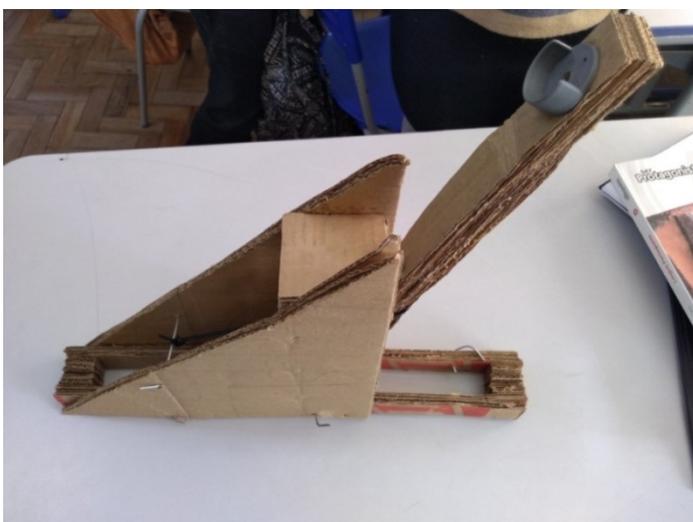
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 4 - Réplica de catapulta construída pelos estudantes do grupo F com restos de madeira.



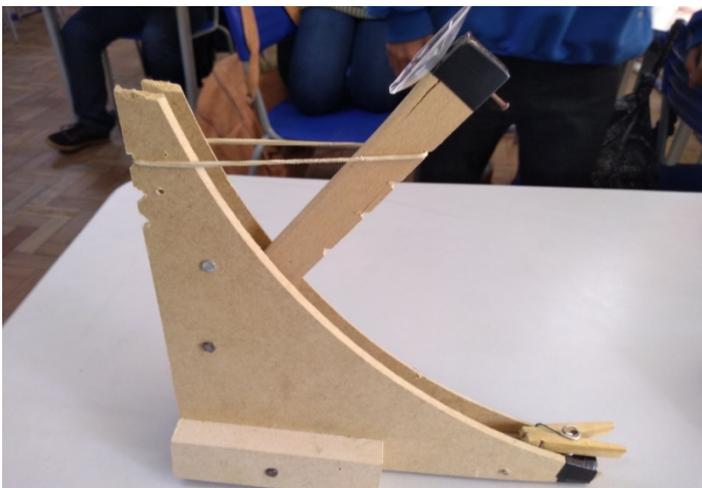
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 5 - Réplica de catapulta construída pelos estudantes do grupo G com papelão.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 6 - Réplica de catapulta construída pelos estudantes do grupo H com restos de MDF.



Dados: Fonte da pesquisa.

Esta estratégia teve por objetivo aliar a teoria com a prática, onde os estudantes puderam testar seus conhecimentos, realizando a análise do movimento parabólico após construção. Nesta etapa também foi discutida a história das armas medievais como Catapulta, Trebuchet e a origem do estudo do movimento balístico. Para isso, utilizamos o texto de apoio “História das armas medievais”, entregue impresso a cada estudante. Este foi lido coletivamente, onde cada um pode ler um parágrafo e o professor intermediou a leitura ressaltando os aspectos mais importantes, questionando os estudantes sobre alguns pontos já vistos por eles nas disciplinas de história e até mesmo em filmes de era medieval.

#### **AULA 4, 5, 6, 7: Estudo do Movimento balístico e lançamento de projéteis**

**Carga horária:** 2 horas-aula cada, num total de 8 horas-aula.

#### **Objetivo:**

- Estudar o movimento de um corpo em queda livre;

- Compreender que para o lançamentos de projétil existem dois movimentos envolvidos, lançamento horizontal e lançamento vertical;
- Analisar os componentes envolvidos no lançamento horizontal e vertical;
- Aprofundar os conceitos sobre movimento balístico e lançamento de projéteis.
- Compreender sobre o ângulo de lançamento e a distância obtida ao final do movimento;
- Perceber a influência da resistência do ar no lançamento de projéteis.

**Recursos didáticos:**

- Folhas de papel A4
- Um livro ou caderno
- Data show
- Vídeo sobre queda livre
- Simulador “*Projectile Motion (HTML5)*”
- Uma bolinha de tênis
- Lista de exercícios sobre queda livre, lançamento vertical, horizontal (apêndice G)
- Lista de exercícios sobre lançamento oblíquo (apêndice H)

**Metodologia:****4ª AULA: Apresentação dos conceitos de queda livre**

No primeiro momento, o professor apresentou aos estudantes os principais conceitos sobre queda livre baseando-se nas respostas obtidas pelo questionário de conhecimentos prévios. Para dar início à aula será levantada a seguinte pergunta: “Será que a queda dos corpos depende da massa?”

Após as respostas, a professora fez algumas demonstrações de queda livre com materiais diferentes, para que a partir das observações, os estudantes possam compreender como se comporta a queda dos objetos.

Para a primeira análise foi utilizado um livro e uma folha de papel aberta na horizontal, ambos soltos da mesma altura, no mesmo instante, separados um do outro. Na segunda análise um livro e uma folha de papel amassado soltos no mesmo instante, na mesma altura, separado um do outro. E por último, um livro e uma folha de papel, porém um sobre o outro, para demonstrar uma queda no vácuo.

Os estudantes anotaram no caderno alguns aspectos observados nas três quedas, tais como, quem caiu primeiro, quais as influências durante a queda, quais as diferenças observadas entre uma queda e outra, entre outros. Ao final, o professor pediu para que eles respondessem a pergunta lançada no início da aula e entregassem um relatório dos experimentos observados.

Foram explicados aos estudantes que no vácuo, todos os corpos soltos simultaneamente de uma mesma altura chegam ao solo ao mesmo tempo e com mesma velocidade, independente das suas massas, seus formatos ou matérias de que são feitos. Porém, quando vemos eventos de queda em nosso dia a dia, temos a resistência do ar, que causa interferência ao movimento.

Após foi passado o vídeo de um experimento que simula a queda de uma grande esfera de ferro e de algumas penas, para o fechamento da explicação sobre gravidade. O vídeo tem duração de 2 minutos e 34 segundos, disponível no *youtube* e será projetado com data show pelo professor. (<https://www.youtube.com/watch?v=JcmqfzGFhqQ>). Neste vídeo, o estudante poderá ver as diferenças durante as duas quedas, no vácuo e no ar.

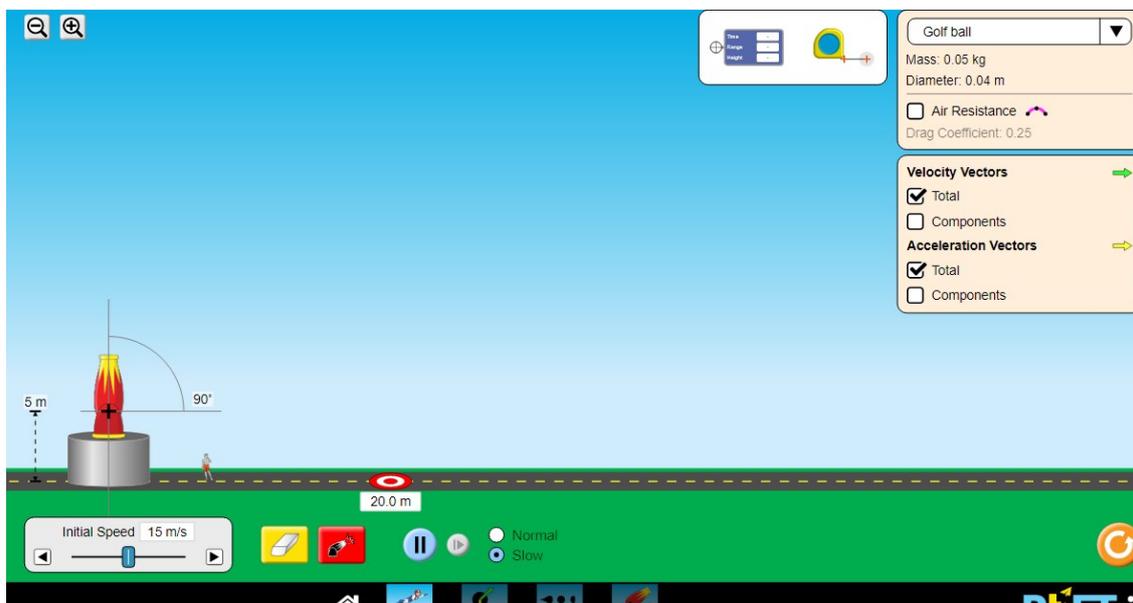
### **5ª AULA: Estudo do lançamento vertical**

O professor retomou os conceitos obtidos na aula anterior, fazendo anotações no quadro sobre os pontos mais relevantes. Nesta aula, o objetivo foi o estudo da velocidade e do tempo em um lançamento vertical.

Foi utilizado o simulador “*Projectile Motion (HTML5)*”, disponível no site [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/](https://phet.colorado.edu/pt_BR/). Para a utilização do simulador, os estudantes foram levados para a biblioteca da escola, onde ficam os computadores.

O simulador apresenta um canhão de lançamento de fogo, no qual podem ser alterados os parâmetros de angulação, altura, marcação de vetores de velocidade, aceleração entre outros.

Figura 1 – Simulador “Projectile Motion (HTML5)”



Fonte: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/](https://phet.colorado.edu/pt_BR/) Acesso em 06/01/2019.

Esta foi uma atividade de observação direcionada pelo professor com orientação do passo a passo para a utilização do simulador. Esta atividade foi realizada em grupos de quatro a cinco estudantes. Para a análise da velocidade e da aceleração foi fixado no simulador o quadro de vetores, possibilitando a visualização na subida e descida do movimento. O canhão de lançamento foi posicionado no ângulo de  $90^\circ$ .

Foram realizadas três simulações, cada uma com a altura de lançamento diferente: 5 metros, 10 metros e 15 metros. Os estudantes devem observar e responder as seguintes questões, que serão disponibilizadas impressas pelo professor:

1. No ponto mais alto do lançamento o que acontece com a velocidade?
2. Relacionando a velocidade e a aceleração da subida, o que você observa?
3. Relacionando a velocidade e a aceleração da descida, o que você observa?

4. Agora fixe o botão de resistência do ar. De acordo com os aspectos observados anteriormente, houve alguma alteração em relação à velocidade e a aceleração? Cite o que você observou.

Cada grupo respondeu o questionário e entregou ao professor ao final da aula. Quando todos terminaram a atividade, o orientador pediu para que cada grupo realizasse a leitura e explicação das respostas, havendo um diálogo entre os demais grupos para que houvesse a troca das informações, discutindo entre os colegas suas opiniões e pontos de vista.

Em seguida, o professor apresentou as equações de lançamento vertical no quadro, relacionando com os experimentos realizados através do simulador. Os mesmos dados utilizados no simulador foram aplicados nas equações, comprovando assim matematicamente o que foi observado. Os estudantes realizaram os cálculos de cada simulação e entregaram junto com o questionário.

### **6ª AULA: Estudo do lançamento horizontal**

Foram abordados os conceitos de lançamento horizontal e o lançamento oblíquo. Relembrando a questão 6 dos conhecimentos prévios em que o dublê salta de um telhado de um prédio para outro, teremos um exemplo de lançamento horizontal. Outro exemplo, a professora colocou uma bolinha de tênis sobre a mesa e empurrou para que rolar até cair ao chão. Os estudantes observaram este movimento da queda de duas formas diferentes. Uma delas sentado em sua cadeira e outra em pé, analisando o movimento de cima. Na análise, sob a primeira perspectiva, os estudantes perceberam que na descida a bolinha fez o movimento em curva e na análise em pé, observaram o movimento horizontal, em linha reta. A professora fez as seguintes perguntas:

Analisando o movimento horizontal responda:

1. Neste movimento, você pode observar e dizer se a aceleração aumenta, diminui ou é constante? Justifique a resposta.
2. De acordo com a resposta da questão 1, em relação a velocidade horizontal, ela possui variação? Justifique a resposta.
3. A velocidade do lançamento interfere na distância em que o objeto irá cair?

4. Faça um desenho que represente este movimento horizontal indicando as componentes envolvidas através de vetores.

Estas perguntas foram entregues impressas aos estudantes e cada um respondeu no caderno. Após todos responderem, foram discutidas entre eles e a professora, as respostas. De acordo com as respostas, a professora auxiliou na elaboração do conceito de lançamento horizontal, explicando que este é um movimento uniforme, onde velocidade é constante, não havendo aceleração.

Para a análise deste experimento observaram o movimento horizontal separado do vertical. No vertical, tem-se o movimento uniformemente variado, onde há a aceleração da gravidade, que é a mesma análise de queda livre, visto na aula anterior.

A professora, através de um questionamento problematizador feito aos alunos envolvendo queda livre, lançamento horizontal e vertical, perguntou:

“Usando uma arma de *Paintball* para o disparo de uma bolinha (a arma estará apontada na direção horizontal sem inclinação) e ao mesmo tempo um dispositivo que apenas solte uma bolinha igual a anterior, porém na vertical. Qual das duas bolinhas chega primeiro ao solo?”

A partir deste questionamento e das respostas obtidas, foi explicado que o tempo de queda é o mesmo, e que as duas bolinhas caem juntas. O movimento da horizontal é independente da vertical. Em relação à distância percorrida, quanto maior a velocidade de lançamento da arma, maior a distância, porém o tempo será o mesmo da queda vertical.

Para a demonstração visual da teoria apresentada utilizamos o simulador “*Projectile Motion (HTML5)*”, em que os estudantes farão os lançamentos colocando o canhão em angulação de  $0^\circ$ , a 5 metros de altura e realizando os disparos nas velocidades de 10 m/s, 15m/s e 20m/s, observando o tempo e a distância percorrida. Os estudantes elaboraram uma tabela para anotar os dados de cada lançamento e um relatório para entregar no final da aula. Para a medição do tempo foi necessário arrastar a caixa de texto azul sobre o ponto onde a bola toca o chão. Nesta caixa apareceu a medida do tempo, distância e altura. Depois realizaram o lançamento com o canhão voltado para baixo ( $- 90^\circ$ ). Para este lançamento foi importante

ressaltar que queríamos observar o lançamento vertical e queda livre, portanto não pode haver aceleração inicial. O campo que marcava a velocidade foi colocado zero, já que a análise era de queda livre. Após o lançamento, verificaram qual o tempo da trajetória, comprovando que será o mesmo.

Após estes dois testes, os estudantes deveriam descrever o que compreenderam sobre lançamento vertical, horizontal e queda livre, salientando a diferença entre eles.

A professora descreveu no quadro, através das equações do lançamento vertical e horizontal, utilizando os mesmos parâmetros do simulador, a fim de comprovar matematicamente o que se pode observar. Foi utilizada uma lista de exercícios para a aplicação destas equações (Apêndice G).

### **7ª AULA: Estudo do lançamento oblíquo**

Nessa aula estudamos sobre o lançamento oblíquo. Para este estudo analisamos a compreensão dos estudantes sobre os conceitos de lançamento vertical e horizontal, uma vez que a união destes dois resulta para a análise do lançamento de projéteis.

Utilizando exemplos do cotidiano, como um chute a gol, um disparo de arma de fogo, entre outros, foram questionados:

1. Em um saque de uma bola de vôlei, a bola faz uma trajetória em linha reta ou curva?
2. De acordo com o que estudamos nas aulas anteriores, relacione quais conceitos estão envolvidos para o saque da questão 1?

Estas perguntas foram colocadas no quadro e os estudantes responderam oralmente, debatendo entre os colegas, e a professora fez as anotações das respostas no quadro.

Utilizando o simulador "*Projectile Motion (HTML5)*" os estudantes se reuniram em grupos de 4 a 5 pessoas e realizaram lançamentos em  $20^\circ$ ,  $45^\circ$  e  $60^\circ$ , com a mesma velocidade, elaborando uma tabela de dados, na qual deveriam anotar a velocidade, distância e o tempo. A professora devolveu os relatórios da aula anterior, para que pudessem comparar os lançamentos. Através destas observações, a

professora explicou utilizando os dados obtidos com o uso do simulador através das equações de lançamento oblíquo. Também foram demonstrados no quadro as razões trigonométricas utilizadas neste estudo, seno, cosseno e tangente.

Nesta aula foi retomado a questão 1 dos conhecimentos prévios, em que responderam sobre a velocidade no ponto mais alto de um lançamento oblíquo, de acordo com o que foi estudado e observado durante as últimas aulas.

Os estudantes resolveram em grupos de 4 a 5 uma lista de exercícios que foi impressa pelo professor. Para a correção, cada grupo resolveu uma questão no quadro e a professora acompanhou o desenvolvimento explicando as possíveis dúvidas.

**8ª Aula:** Análise do movimento oblíquo através de réplicas de armas medievais utilizando o *software Tracker* (2 períodos).

**Carga horária:** 2horas-aula

**Objetivo:**

- Analisar lançamento de projéteis utilizando réplicas de armas medievais;
- Observar o movimento do lançamento oblíquo através do *software Tracker*;
- Compreender os conceitos de lançamento oblíquo por experimentos.

**Recursos didáticos:**

- Réplicas das armas construídas pelos estudantes
- Aparelho de telefone celular
- *SoftwareTracker*
- Manual do *software Tracker* (apêndice I)

**Metodologia:**

Nesta aula, os estudantes levaram as réplicas construídas por eles para fazer os testes dos lançamentos em sala de aula. Realizaram lançamentos com diferentes

angulações e filmaram o experimento utilizando o celular. Para as filmagens, a professora orientou-os a posicionar o celular perpendicularmente à réplica, mantendo imóvel enquanto foi realizada a filmagem.

Foi entregue a cada grupo o manual para o uso do *software Tracker* (apêndice I) onde realizaram as análises dos lançamentos, observando os gráficos gerados, os parâmetros de velocidade, alcance atingido e o tempo.

Durante o processo de análise foi realizado capturas da tela para o uso na apresentação final dos trabalhos.

Utilizando as equações das aulas anteriores, foi solicitado que eles calculassem a velocidade, utilizando a distância obtida pelo *software*. Elaboraram uma apresentação em forma de *slides* no *Powerpoint*, explicando os materiais utilizados na construção da réplica, quais angulações foram realizadas os lançamentos, qual a distância atingida e a velocidade obtida, para apresentação na aula seguinte.

### **9ª Aula: Apresentação das armas construídas, análises realizadas através do *software Tracker* e avaliação da sequência didática**

**Carga horária:** 2 horas-aula

**Objetivo:**

- Socialização do conhecimento;

**Recursos didáticos:**

- *Data show*
- Réplicas construídas pelos estudantes
- Questionário de avaliação da sequência didática (apêndice K)

**Metodologia:**

Realizamos um seminário no qual cada grupo apresentou a turma como foi construída a sua arma medieval, informado quais materiais foram utilizados, quais conceitos foram observados no lançamento, mostrando através dos slides as

capturas de tela obtidas com o *software Tracker*. Também apresentaram os cálculos realizados na atividade da aula anterior.

Nesta aula ocorreu a socialização de todos os grupos, onde os estudantes puderam aprender através da troca de conhecimentos, interagindo com seus colegas, além da aprendizagem através dos experimentos realizados.

Para a finalização, foi entregue um questionário de avaliação para que os estudantes pudessem expressar suas opiniões, sugestões e observações sobre todos os processos de desenvolvimento da sequência didática.

## **APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS**

**Questionário para identificação dos conhecimentos prévios****Nome:** \_\_\_\_\_ **Data:** \_\_\_\_\_

*Leia com atenção as questões e responda com suas palavras, de forma clara e objetiva.*

**Questão 1:**

Se você atirar uma bola para cima, ela subirá até determinada altura e após irá cair. No ponto mais alto da trajetória a velocidade:

- (a) aumenta
- (b) diminui
- (c) permanece a mesma
- (d) é zero

Justifique sua resposta:

---

---

**Questão 2:**

Deixa-se cair de uma mesma altura e no mesmo instante uma pedra e uma folha de papel aberta na horizontal. Qual chega primeiro ao solo? Justifique sua resposta.

---

---

**Questão 3:**

Na questão número dois, caso a folha de papel utilizada seja amassada, formando uma “bolinha”, altera a chegada ao solo? Justifique sua resposta.

---

---

**Questão 4:**

Um paraquedista decide saltar de asa delta da rampa de voo livre situada no morro da Borússia, em Osório. O ponto de chegada que o paraquedista almeja pousar é nas margens da Lagoa do Marcelino, situada a oeste da rampa. Porém,

quando realizou o salto, não percebeu que haveria algumas influências e acabou decolando a leste, próximo a rodovia Free Way. Quais fatores podem ter influenciado nesta descida que impediram que o paraquedista descesse no local planejado? Justifique sua resposta.

---

---

**Questão 5:**

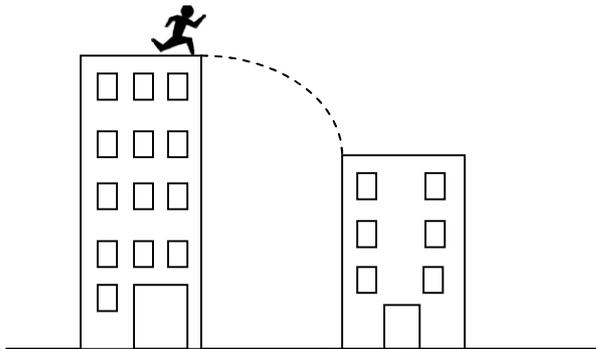
Um jogador de futebol faz um chute a gol do meio do campo. Faça um desenho demonstrando a trajetória percorrida pela bola. Descreva com suas palavras quais os fenômenos envolvidos a partir do chute para que a bola atinja o gol.

---

---

**Questão 6:**

Para saltar de um prédio a outro, na cena de um filme, o dublê corre pelo telhado do prédio e salta para chegar ao telhado de outro prédio. Há certa distância que separam os dois prédios conforme mostra a figura abaixo. Além disso, o segundo prédio é mais baixo que o primeiro em 6 metros.



Analisando esta façanha, quais os movimentos que estão envolvidos?

- (a) movimento horizontal
- (b) movimento vertical
- (c) movimento circular
- (d) movimento vertical e horizontal

Justifique sua resposta:

---

---

**Questão 7:**

Em nosso dia a dia, a palavra força tem diversos significados. Pode ser usada quando falamos de esforço muscular, um puxão ou empurrão. Pensando na força e no movimento podemos ter reações diferentes. Por exemplo, quando alguém nos empurra com muita força, reclamamos, mas quando é só um empurrãozinho, as vezes não damos importância. Explique o que acontece nas duas situações.

---

---

**Questão 8:**

Um menino tenta atravessar a nado o rio Tramandaí, sempre nadando para frente. Sabendo-se que o rio possui uma correnteza e que o nadador tenta chegar do outro lado da margem, você acha que ele chegará percorrendo uma trajetória em:

- (a) vertical
- (b) curvilínea
- (c) horizontal
- (d) diagonal

Justifique sua resposta:

---

---

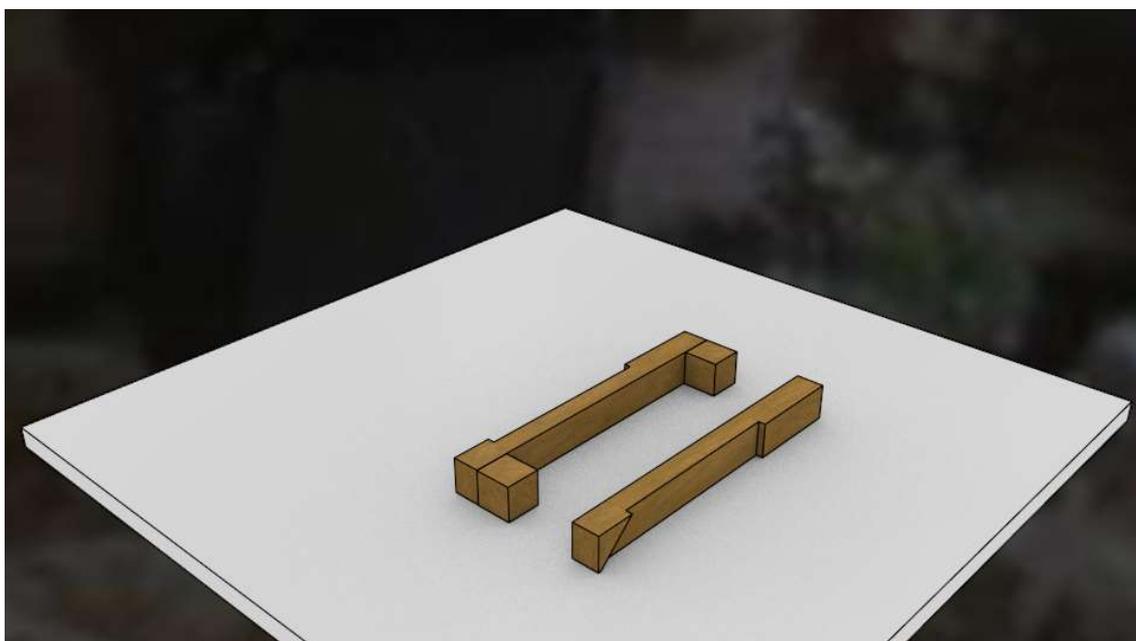
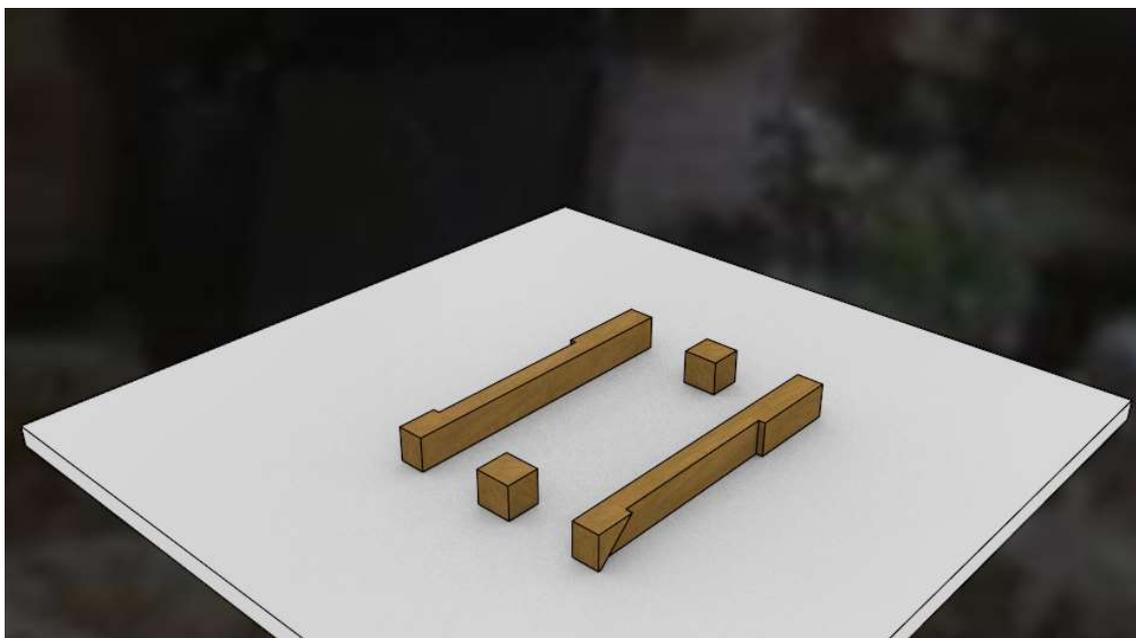
## **APÊNDICE C – PASSO A PASSO CATAPULTA**

## Passo a passo para a construção de uma catapulta

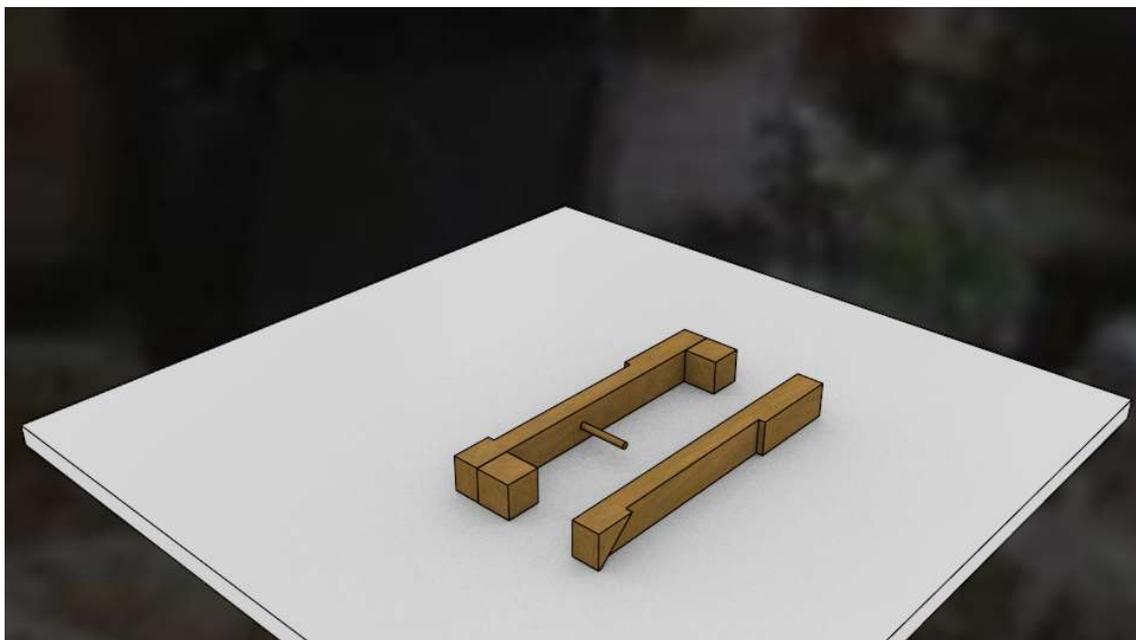
### Materiais:

- Madeira (poderá ser madeira de demolição, pinus, MDF...)
- Elástico ou manguito de borracha
- Pregos
- Cola para madeira

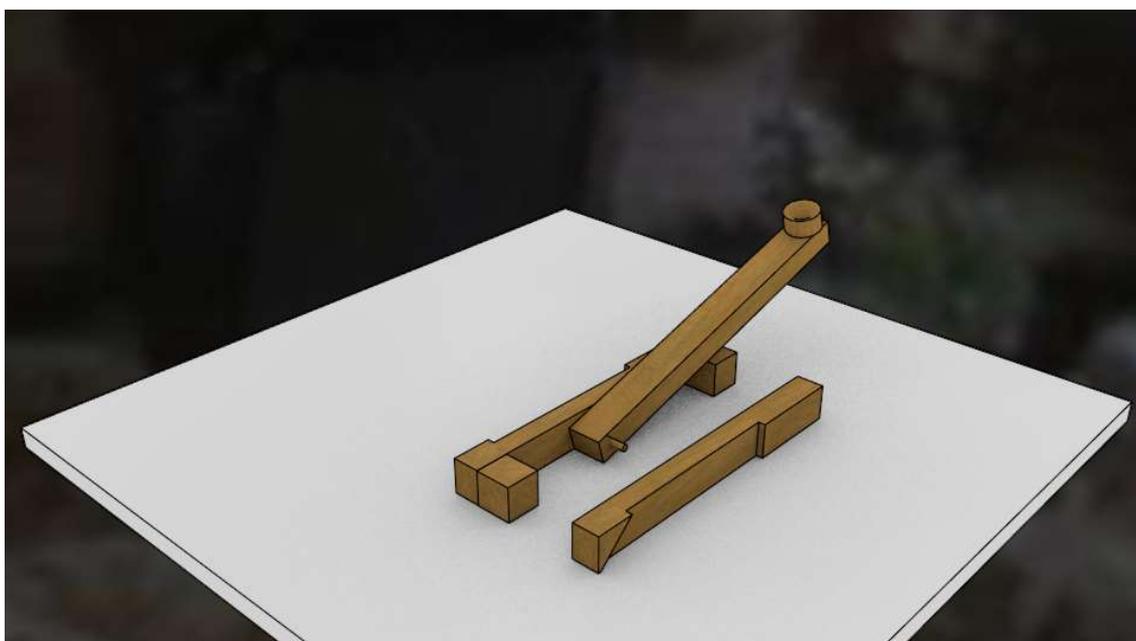
1) Uma base retangular construída com duas barras de 30cm e duas menores de 3cm que formarão a plataforma de sustentação.

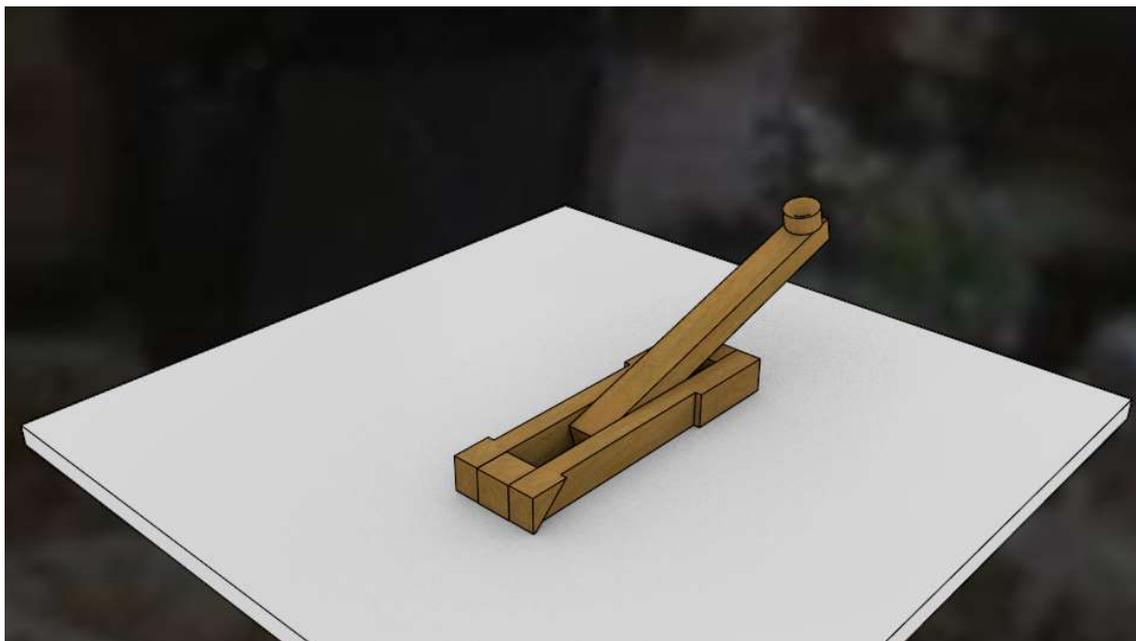


2) Um pino circular de ferro (poderá ser um prego ou parafuso de 6cm) que será utilizado pra fixar a haste de arremesso.

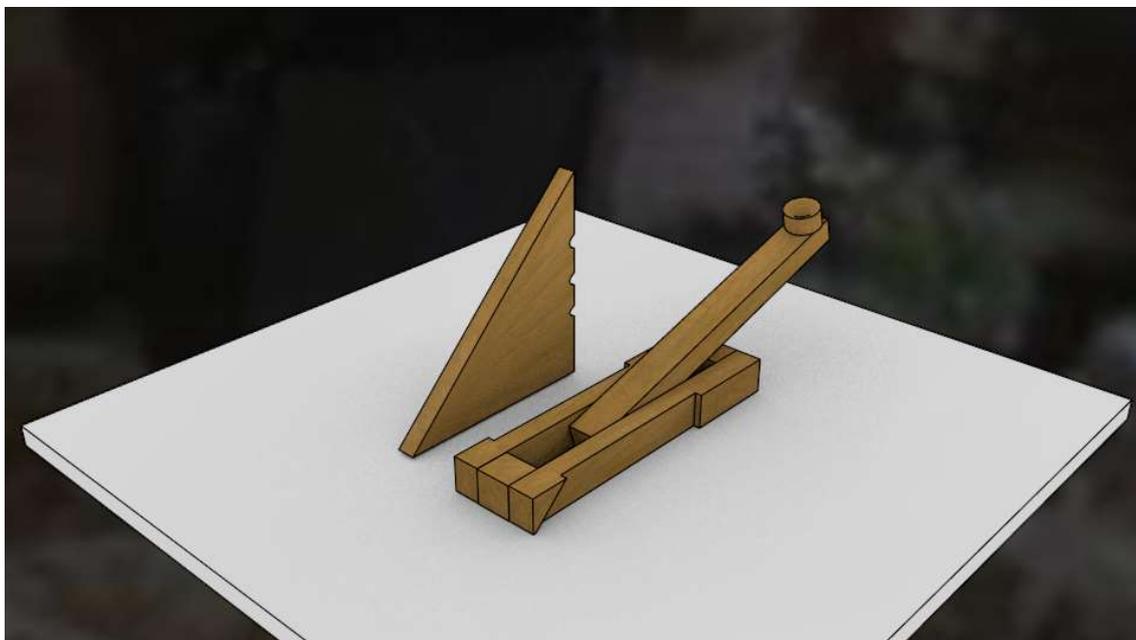


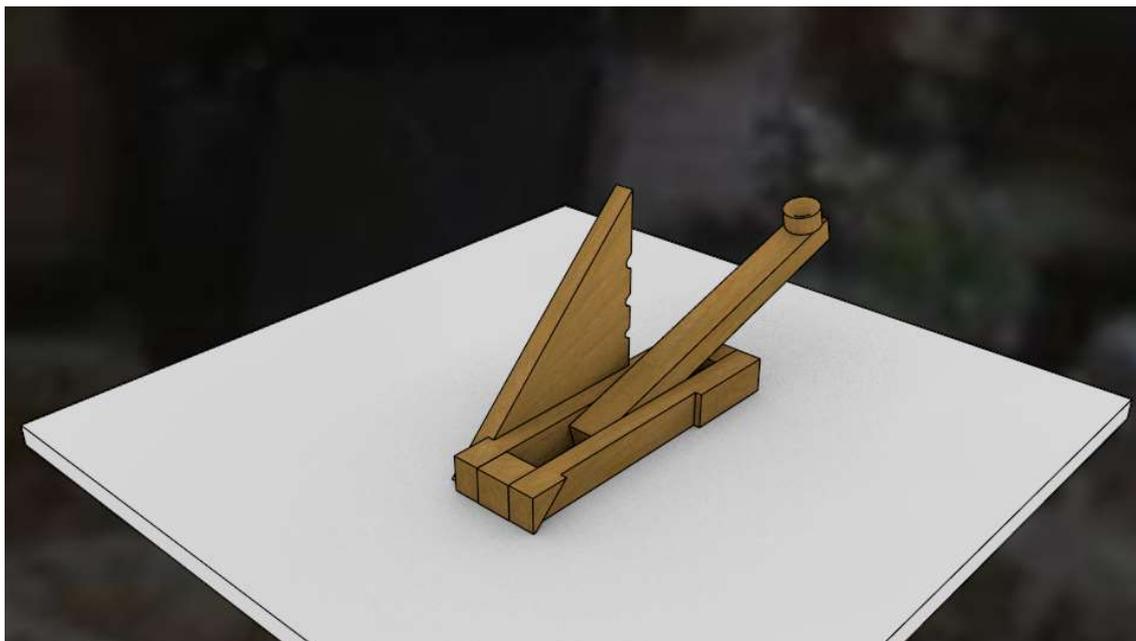
3) Uma haste retangular de 28cm de comprimento, com um cesto de arremesso de 3cm de diâmetro de forma côncava que será o suporte para o objeto a ser lançado. O tamanho do cesto pode variar de acordo com o tamanho do objeto de lançamento.



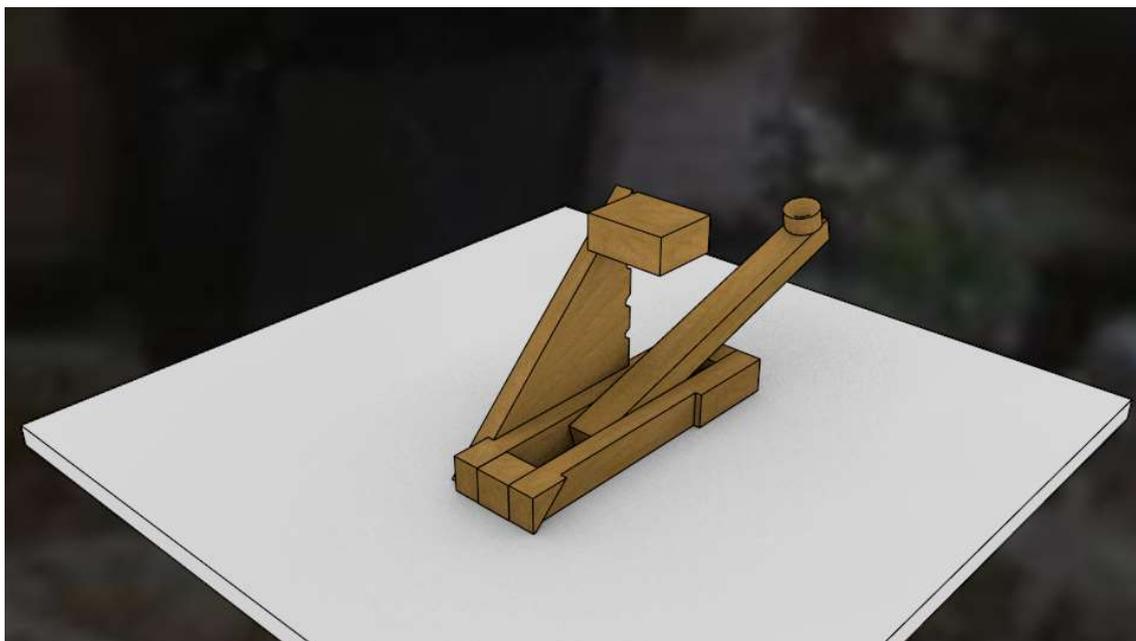


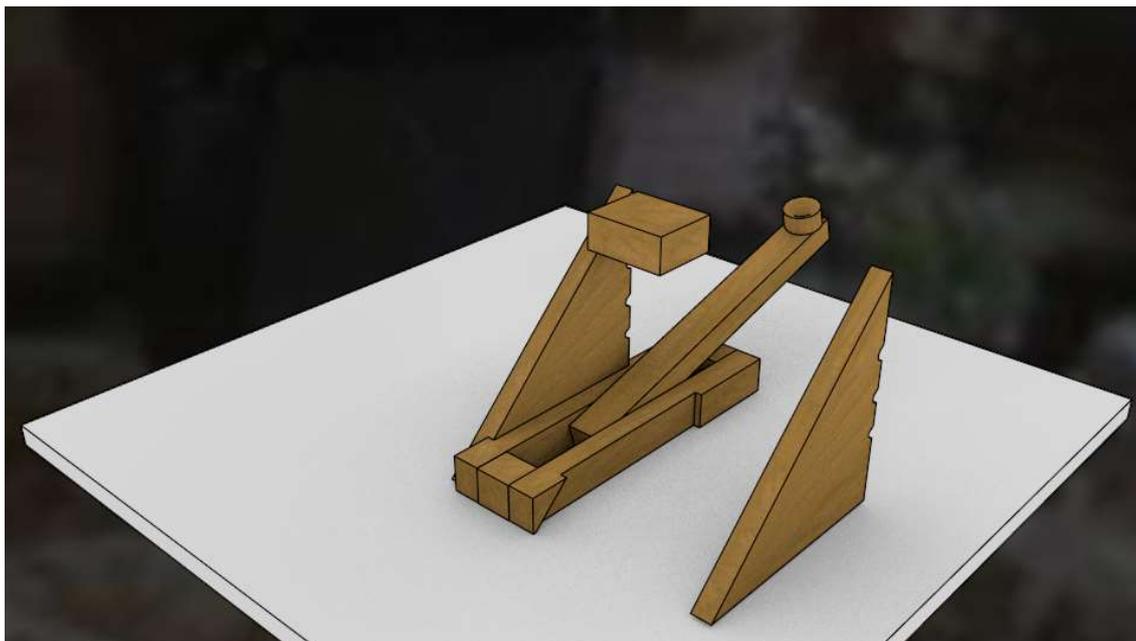
4) Para apoio da base serão necessários dois triângulos. Para o recorte destes triângulos será utilizada uma chapa de madeira quadrada com 17cm de lado e cortar na diagonal. Fixar com pregos um triângulo de cada lado da base de sustentação.



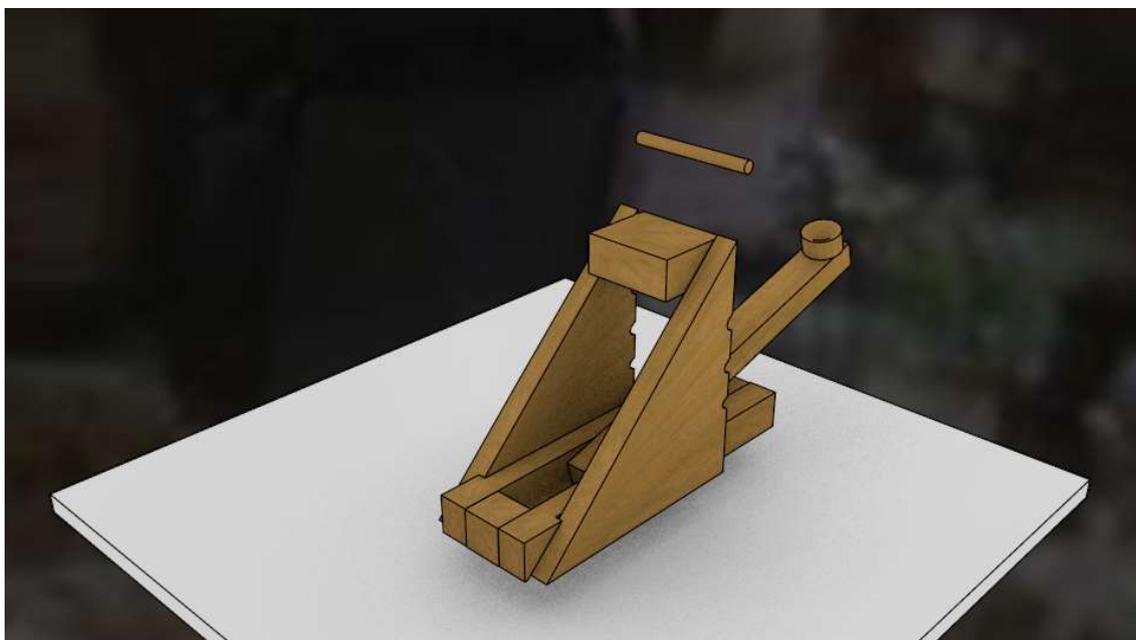


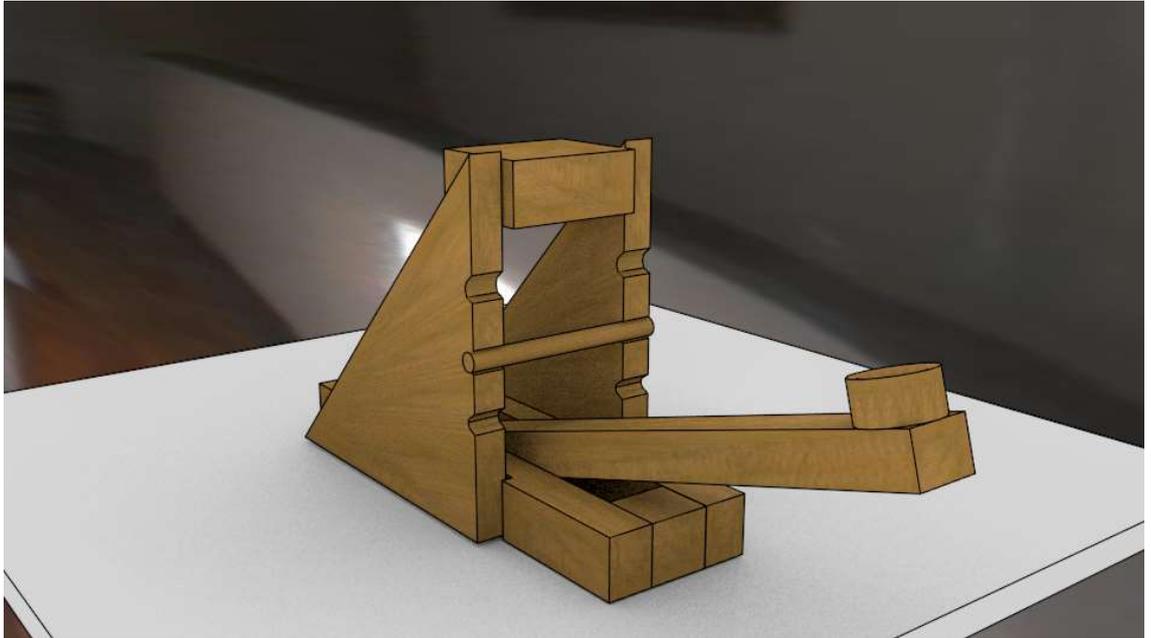
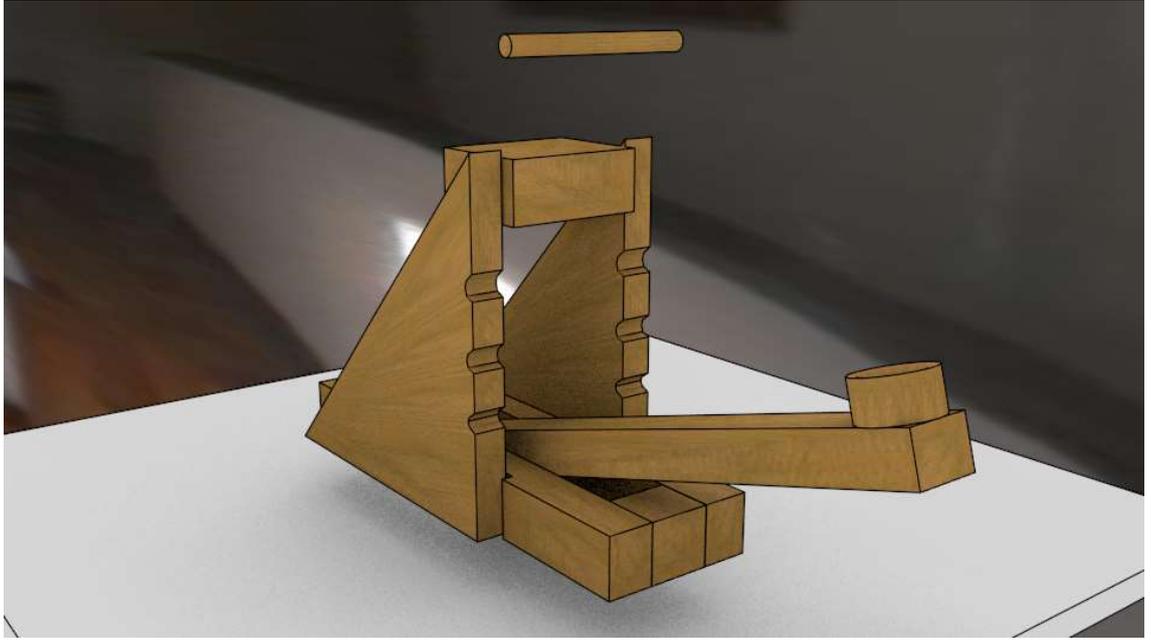
5) Para a trave da haste de arremesso será utilizado uma pequena barra de 4,5cm por 3cm fixado com pregos na extremidade superior dos triângulos.

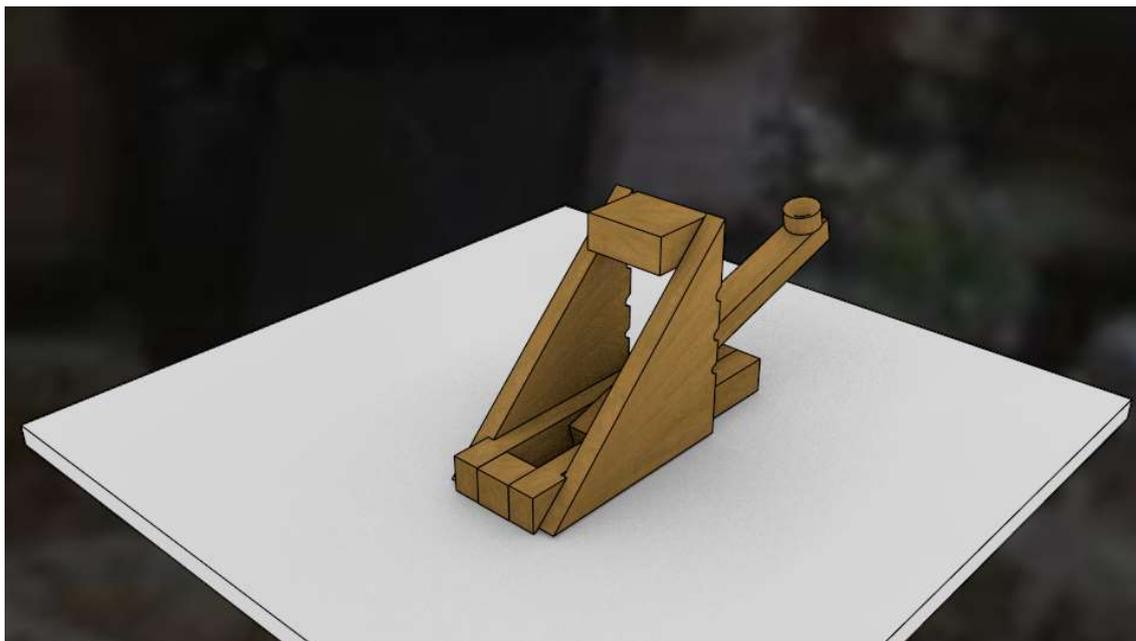




6) Para medição de ângulos diferentes, fazer três marcações (cunhas) nos triângulos para encaixar a trave da haste de arremesso. A trave será de 9cm no formato cilíndrico, de forma que se encaixe nas marcações.







7) Para que haja o movimento da haste de arremesso, será colocado uma borracha ou manguito fixada uma ponta da extremidade da haste e a outra em uma barra cilíndrica (9cm).





Link de acesso para o passo a passo: <https://youtu.be/gJWQMn9kqaY>

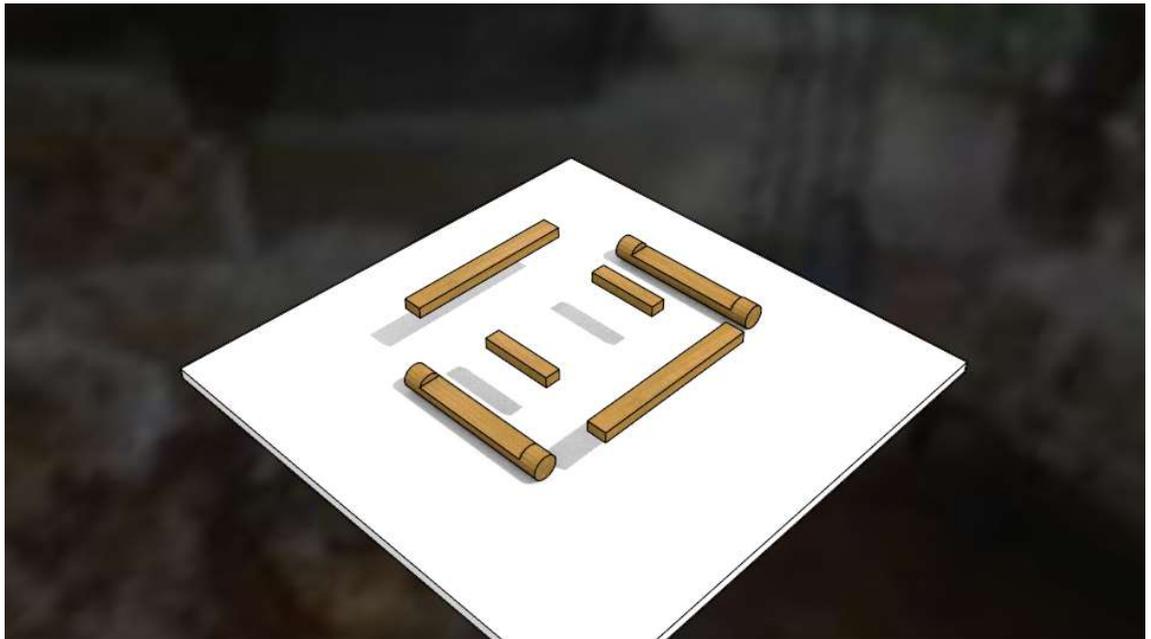
## **APÊNDICE D – CONTRUÇÃO TREBUCHET**

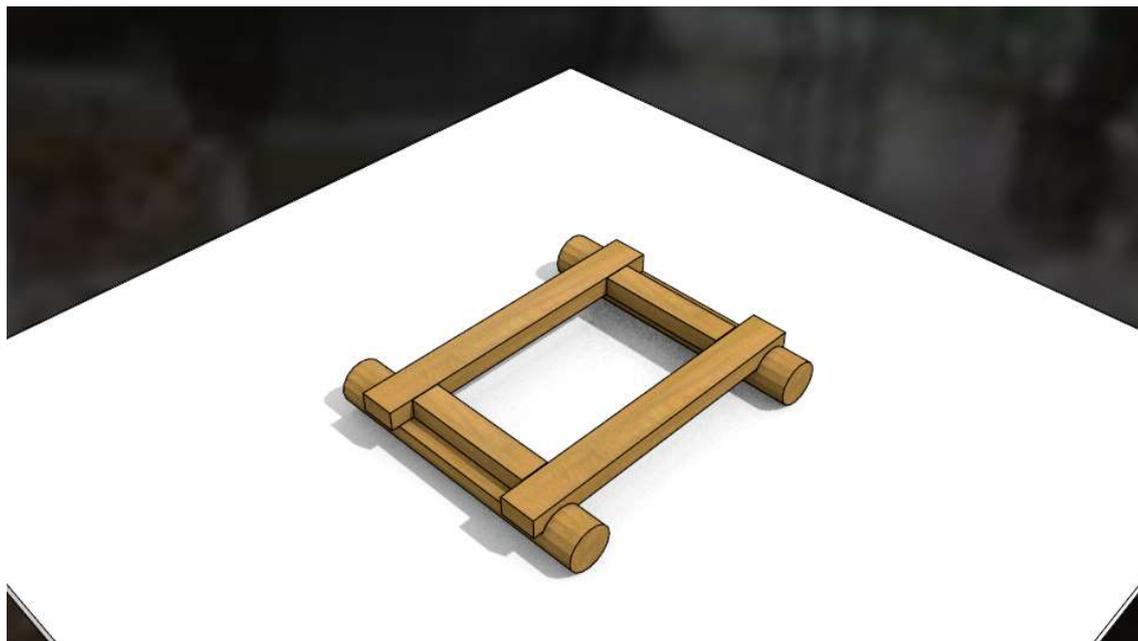
## Passo a passo para a construção de um trebuchet.

### Materiais:

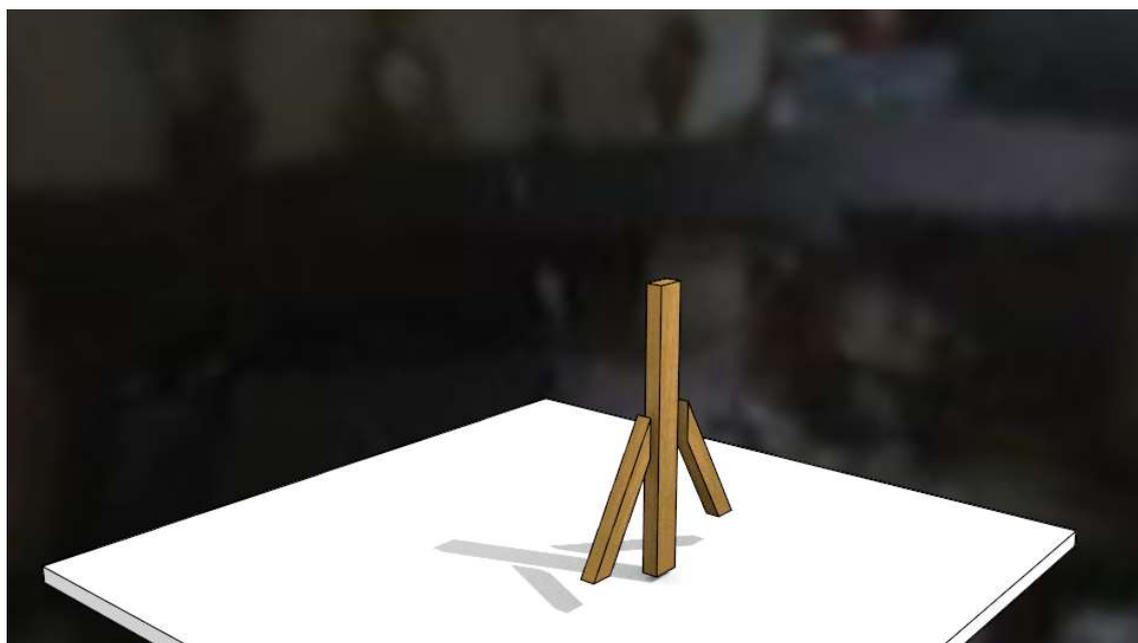
- Madeira (poderá ser madeira de demolição, pinus, MDF...)
- Barbante
- Um pequeno pedaço de couro ou tecido
- Pregos
- Cola para madeira

1) Construção da base de sustentação com duas barras retangulares de 29cm, duas barras retangulares de 10,5cm e duas barras cilíndricas de 20cm que servirão de apoio para a base de sustentação (podem ser todas retangulares, neste caso não há interferência no funcionamento da réplica). Duas barras pequenas para reforço da base. Todas as partes fixadas com cola de madeira e pregos.





2) Duas barras verticais de 25 cm e quatro peças de apoio diagonal de 20cm.





3) Fixar na base de sustentação e entre as partes verticais, colocar uma barra cilíndrica de 14cm onde será fixada a alavanca de lançamento. Esta barra cilíndrica será encaixada e colada nas barras verticais. Fixar primeiro um dos lados, e só fixar a outra após o encaixe do braço oscilante.





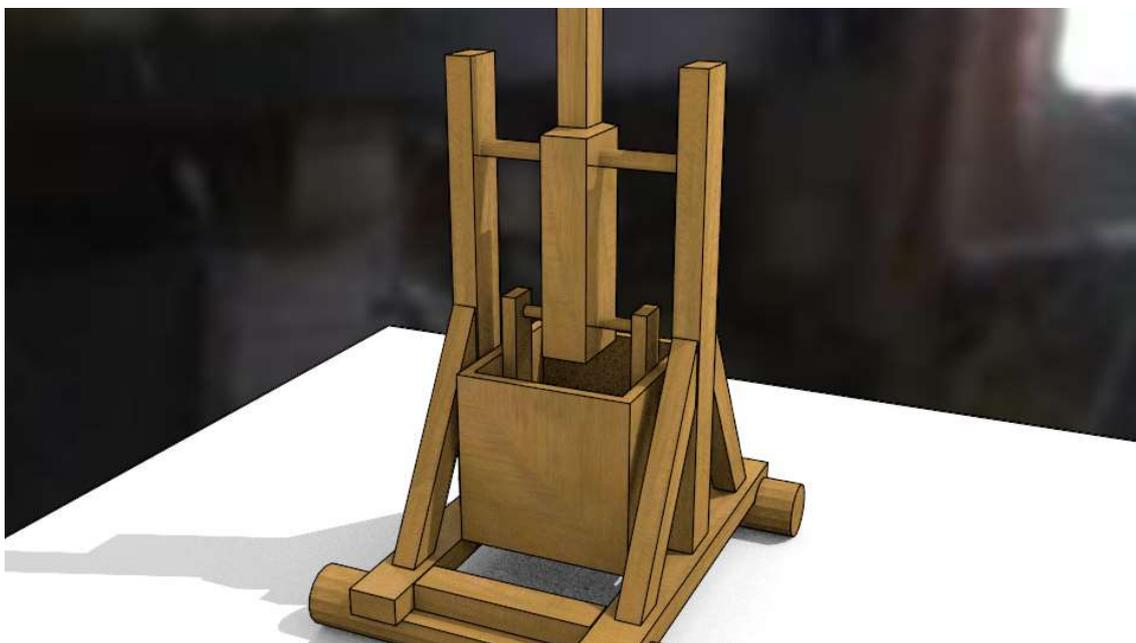
4) Braço oscilante de 34cm de comprimento. Este foi feito com a parte inferior (3 cm) mais larga que a superior (1cm), porém pode ser construído com a mesma medida para toda a haste sem que ocorra interferências no funcionamento.



5) O braço oscilante deve ser perfurado na extremidade mais larga para ser encaixado no pino circular.



6) Caixa contra peso: para construção da caixa contra peso, utilizou-se cinco quadrados de 8cm, colados e pregados, formando uma caixa. Para ser pendurado ao braço oscilante usou-se duas barras finas de 13cm e uma barra cilíndrica de 9cm. A caixa deve ser encaixada no braço oscilante e deverá ser móvel, e não colada, para que haja o movimento durante o lançamento.





7) Para a funda do arremesso, utilizar um tecido forte ou couro. Amarrar nas pontas um barbante. Uma das pontas do barbante deve ser fixada no braço oscilante. A outra deve ser feito um laço, de forma que se desprenda ao realizar o lançamento.





## **APÊNDICE E – ORGANIZADOR PRÉVIO**

## **Aspectos históricos do estudo dos movimentos**

A Física é a ciência que estuda diversos fenômenos da natureza expressos em diversas vezes por uma linguagem matemática. Até hoje, muitos fenômenos ainda são analisados à procura de uma explicação científica. Nestes estudos há diversos físicos, filósofos e matemáticos envolvidos, alguns já conhecidos nas literaturas da ciência como Galileu, Aristóteles, Einstein, Newton, Descartes, Copérnico... Dentro de um processo evolutivo, podemos destacar a física “antiga” e de lá, citamos o filósofo grego Aristóteles e suas contribuições. A ciência grega estudava os fenômenos da natureza considerando o maior número de elementos integrantes deste fenômeno, ou seja, através da observação, várias peças compunham o quebra-cabeças que era a análise e formulação de princípios que descrevessem a natureza. (BEN-DOV, 1996)

Na visão aristotélica, um movimento retilíneo uniforme pode-se manter no tempo e no espaço, sem que seja necessária a ação de uma força atuando sobre o corpo em movimento, e que o efeito de uma força reflete-se na variação da velocidade e não no valor da velocidade em si. Esta afirmativa foi de suma importância para a revolução científica que ocorreu nos séculos XVI e XVII. Para Aristóteles (384-322 A.C.), o conceito de movimento era essencial, sendo entendido como mudança geral. (BEN-DOV, 1996)

De acordo com Rocha (2015), Aristóteles foi um dos primeiros a tratar sobre os estudos dos movimentos. Para ele, havia dois tipos distintos de movimentos, o produzido por causas internas e os violentos, produzidos por causas externas, que se opõem aos naturais. As causas externas dos movimentos violentos podem ser uma pedra atirada para cima, que se afastará de seu lugar natural, mas em seguida irá cair quando a força for esgotada, voltando ao seu lugar natural. Para Aristóteles, não existia inércia, pois ao cessar a causa, o corpo deverá parar.

Aristóteles também acreditava que corpos mais pesados caíam mais rapidamente, o que Galileu comprovou em seus estudos posteriores, que independia da massa do objeto. (ROCHA, 2015)

Galileu confiava em dados experimentais para a comprovação dos fenômenos, discordando das teorias de Aristóteles. Galileu funda-se no princípio da inércia, onde um corpo conserva um movimento se uma força externa não atua

sobre ele. E ao contrário do pensamento de Aristóteles, Galileu admitia a composição de movimentos. Também teve seus estudos sobre a gravidade, onde observou que a aceleração durante a queda livre de um objeto, era impossível ser medida com precisão, pois a aceleração era maior em relação ao tempo de queda e logo após estudou sobre o lançamento de projéteis. (NUSSENZVEIG, 2013).

Ao próximo período da Física, chamamos de Física “clássica” onde Newton teve grande importância com seus estudos. Responsável pelos estudos de mecânica clássica ou mecânica Newtoniana, que teve grande influência para esta ciência até o século XIX.

Newton nasceu em 1642, mesmo ano da morte de Galileu. Criou e desenvolveu as bases do cálculo integral e diferencial, formou as leis da gravitação, estabeleceu as leis da dinâmica, que se tornariam a base fundamental da mecânica clássica, entre outros estudos. (UENO, 2006)

Em 1687, Newton publicou a sua obra “Princípios matemáticos da filosofia natural”, reconhecido como um dos mais importantes livros científicos, no qual apresentou as três leis do movimento, as chamadas “Leis de Newton”. A primeira lei é da inércia, a segunda, sobre o princípio da dinâmica e a terceira, sobre o princípio da ação e reação.

Após a física clássica, ao final do século XIX, inicia o período da física moderna, no qual Einstein transformou alguns conceitos, questionando as teorias antes apresentadas na física clássica. Até então, parecia que todas as teorias apresentadas anteriormente estavam solidamente confirmadas, porém, há sempre quem pense que a ciência é um estudo inacabável, com vários ramos a serem estudados e questionados.

A chegada da física moderna não desvaloriza ou ignora as teorias da física clássica, as duas se complementam, uma vez que nos estudos sobre altas velocidades e distâncias astronômicas é preciso considerar a relatividade envolvida. (CARRON, 2002)

A física do século XX tem como base a teoria da relatividade, que apresenta a teoria necessária para o estudo e compreensão do Universo em escala macroscópica (estrelas, galáxias...) e também a Mecânica Quântica que apresenta a estrutura teórica para a compreensão do Universo em escala microscópica (partículas, elementos, átomos...). Estas duas teorias se completam, uma análise extremamente grande e a outra extremamente pequena. (CARRON, 2002)

Os estudos da física estão em constante evolução e põe em questionamento as teorias apresentadas até então.

**APÊNDICE F- TEXTO DE APOIO “HISTÓRIA DAS ARMAS MEDIEVAIS”**



## História das armas medievais

O lançamento de projéteis foi visto por muito tempo em cenários de guerras através das armas medievais. Existem diversas armas medievais como arco, funda, catapulta, trebuchet, balista, entre outros.

Do século V ao século XV, considerada a idade média, havia diversas formas para vencer os cenários de guerra. Os cercos eram mais comuns do que as batalhas campais, onde havia muralhas de tijolos e pedras, fossos ou valas secas. Guerrilheiros utilizavam de diversas armas para tentar romper com esses obstáculos. Faziam túneis abaixo das muralhas na tentativa de chegar ao outro lado, ou ateavam fogo nos túneis a fim de derrubar o que acima estava.

Como você já deve ter visto em filmes de guerra medieval, os cavaleiros utilizavam armaduras de ferro ou coletes para proteção das espadas e das flechas. Com o passar do tempo a *besta* foi sendo utilizada para derrubar estes cavaleiros, já que a flecha não os atingia mais.

Figura 1- *Besta*



Fonte: <https://medievalimago.org/2016/04/27/besta-balesta-ou-balestra-mortifera-com-qualquer-designacao/> Acesso em 30/01/2019

A artilharia começa então a ser construída por gregos e romanos que fizeram uma combinação das flechas, arcos, fundas com alavancas, rodas dentadas, talhas, roldanas, dando origem a *catapulta* e o *trebuchet*.

Muito antes da chegada dos mísseis, a *catapulta* e o *trebuchet* chegaram para derrubar castelos e muros. Estas eram armas de cerco utilizadas para grandes lançamentos. Eram lançadas pedras, explosivos, pessoas e animais mortos, inclusive doentes para que a peste fosse transmitida ao inimigo.

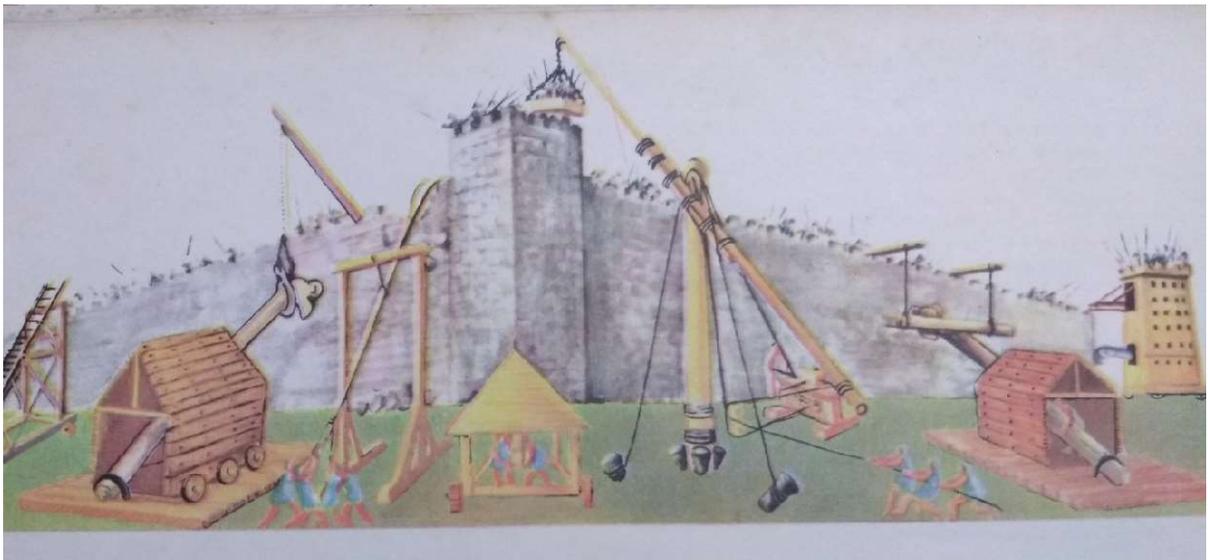
As primeiras catapultas lançavam em curva cerca de 125 metros de distância, com pedras de 150kg, porém a pontaria ainda não era ideal.

A *Balista* era mais precisa por arremessar mais horizontal, acertando com mais facilidade o alvo. Eram utilizados dardos de 5 metros de comprimento que alcançavam três vezes mais que as flechas disparadas à mão.

De acordo com a história das armas medievais, o Trebuchet é uma das armas mais potente e eficaz. Foi inventado no Oriente Médio e utilizado na guerra da Europa durante tempos medievais. Na Inglaterra, ficou conhecida por “*ingenuim*”. Acredita-se que mesmo após a descoberta da pólvora, o Trebuchet continuou a ser utilizado. Enquanto outras armas como a catapulta geram a força para o lançamento a partir de cordas, o Trebuchet utiliza o contrapeso. Segundo Brito (1917), atuava com um enorme peso ao invés da elasticidade como na balista, formado por um grande cavalete na qual girava sobre um eixo de munhões horizontais e um grande braço de madeira na extremidade. Na outra extremidade era amarrada uma funda<sup>13</sup>.

Este era utilizado para o lançamento de pedras, bolas de fogo, entre outros objetos. As pedras poderiam ser de 100 a 200 kg. De acordo com Brito (1917), calcula-se que um engenho deste deveria ter um braço de 15 metros e um contrapeso de 9 toneladas para atirar 300 metros um projétil de 130 kg.

Figura 2 - Imagem de um cenário de guerra com Trebuchet.



Fonte: HALÉVY, 1963.

<sup>13</sup> Funda: arma de arremesso constituída por uma correia, ou corda dobrada, em cujo centro é colocado o objeto que se deseja lançar; atiradeira, catapulta, estilingue, fundíbulo. (FERREIRA, 2010)

A Catapulta foi criada entre 400 a.C. e 300 a.C. na Grécia. Para a construção, teve como base o arco e a funda. Foi muito utilizada no Império Romano e na Idade média, onde o seu uso era para derrubar muros e acertar adversários que estavam atrás. A munição utilizada era pedras e animais mortos, mas há relatos de que também eram utilizados cadáveres humanos. A catapulta foi a primeira arma de guerra e foi utilizada até o surgimento da pólvora. Também foi utilizada na Primeira Guerra Mundial para lançar granada. Segundo Brito 1917, a maior catapulta pesava de 4 a 5 toneladas e atirava a uma distância de 400 metros, pedras de 26 kg.

Figura 3- Imagem de uma Catapulta



Fonte: HALÉVY, 1963.

**APÊNDICE G – LISTA DE EXERCÍCIOS SOBRE QUEDA LIVRE, LANÇAMENTO VERTICAL E HORIZONTAL**

## EXERCÍCIOS SOBRE QUEDA LIVRE, LANÇAMENTO VERTICAL E HORIZONTAL

Nome: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

Leia e responda as questões, de forma clara e objetiva de acordo com os assuntos estudados nas aulas anteriores.

1. Dois objetos de pesos diferentes são abandonados no mesmo instante e na mesma altura. Desprezando a resistência do ar, podemos dizer que:
  - a) Os dois objetos caem com a mesma velocidade em cada instante, mas com acelerações diferentes.
  - b) O objeto de menor volume chegará antes ao solo.
  - c) O objeto mais pesado chegará antes ao solo.
  - d) O objeto mais pesado chegará ao solo depois do outro.
  - e) Os dois objetos caem com a mesma velocidade em cada instante e com a mesma aceleração.
2. Uma pedra é lançada verticalmente para cima e após 6 segundos retorna ao solo. Desprezando o atrito do ar e considerando  $g = 9,8m/s^2$ , calcule a altura máxima atingida pela pedra, em metros e a velocidade inicial do lançamento.
3. Do alto de um prédio de 40 metros de altura cai um parafuso de uma das janelas. Admitindo  $g = 9,8m/s^2$  e desprezando a resistência do ar, pede-se a velocidade com que o parafuso toca o solo.
4. Um corpo é atirado verticalmente para cima, a partir do solo, com a velocidade inicial de  $20 m/s$ . Considerando a aceleração gravitacional  $g = 10 m/s^2$ , desprezando a resistência do ar, a altura máxima, em metros, alcançada pelo corpo é:
  - a) 15
  - b) 20
  - c) 30
  - d) 60

e) 75

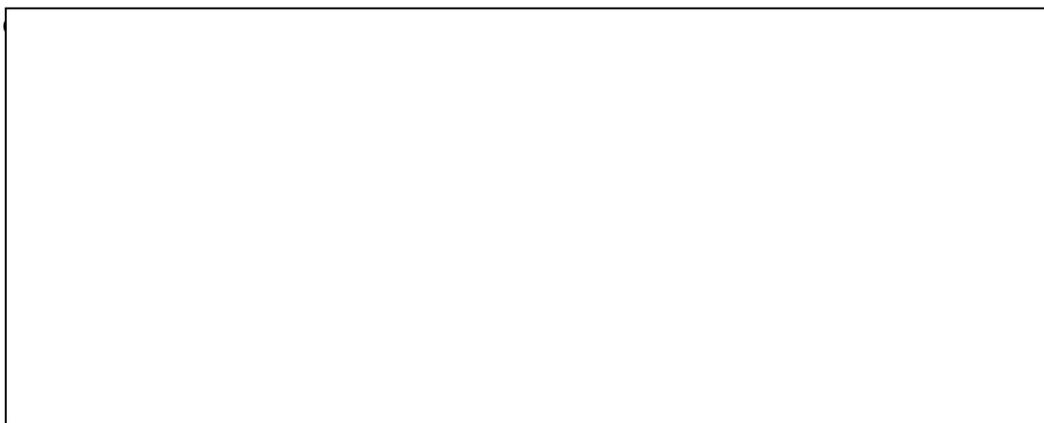
5. À medida que a velocidade de um objeto aumenta enquanto cai em linha reta em direção ao solo, aumenta também a força de atrito com o ar, até que, em determinado instante, torna-se nula a força resultante sobre esse objeto. A partir deste instante, o objeto:
- a) Interrompe sua queda em direção ao solo.
  - b) Inverte o sentido de sua velocidade.
  - c) Continua caindo com velocidade crescente.
  - d) Continua caindo, mas a velocidade é decrescente.
  - e) Continua caindo, mas a velocidade é constante.

Justifique sua resposta:

---

---

6. Um menino anda de skate na beira mar, se movendo em linha reta com velocidade constante. Em uma das mãos carrega uma bola de gude que lança verticalmente para cima. Com relação ao movimento da bola e desprezando o atrito com o ar, é correto afirmar que:
- a) Ela cairá no chão, atrás do skate, se a velocidade deste for grande.
  - b) Ela cairá nas mãos do menino, qualquer que seja a velocidade do skate.
  - c) Em relação à estrada, a pedra tem movimento retilíneo.
  - d) Em relação ao skate, o movimento da pedra é curvilíneo.
  - e) Em relação ao menino, a trajetória da pedra é um arco de parábola.
7. Construa um desenho representando o movimento da bola de gude da



8. Um jogador de tênis, posicionado imediatamente atrás da linha de fundo de uma quadra, faz um saque jogando a bolinha para cima e batendo nela com a

raquete. No instante da raquetada, a bolinha está a 2m de altura, e a velocidade que ela adquire tem direção horizontal de  $144 \text{ m/s}$ . Sabendo que o comprimento da quadra é de  $23,8 \text{ m}$ , e admitindo que a bolinha não sofre desvio em direção as laterais, responda: A bolinha vai cair dentro ou fora da quadra do adversário? Despreze a resistência do ar e justifique a resposta.

## **APÊNDICE H – LISTA DE EXERCÍCIOS SOBRE LANÇAMENTO OBLÍQUO**

## EXERCÍCIOS SOBRE LANÇAMENTO OBLÍQUO

Nome: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

Leia e responda as questões, de forma clara e objetiva de acordo com os assuntos estudados nas aulas anteriores.

1. Um foguete é lançado da Terra descrevendo uma trajetória parabólica. Em um determinado ponto, a componente vertical de sua velocidade é nula. Podemos afirmar que, nesse ponto:
  - a) O deslocamento na horizontal é máximo.
  - b) O deslocamento na vertical é máximo.
  - c) O deslocamento na vertical é nulo.
  - d) A componente horizontal da velocidade é nula.
  - e) A componente horizontal da velocidade é variável.
  
2. Um menino chuta uma bola para cima em uma direção que forma um ângulo de  $60^\circ$  com a horizontal, conforme mostra a figura abaixo:



Sabendo que a velocidade final é de  $20 \text{ m/s}$  pode-se afirmar que a velocidade de lançamento da bola é:

Considere  $\text{sen } 60^\circ = 0,86$   $\text{cos } 60^\circ = 0,50$

- a)  $10 \text{ m/s}$
  - b)  $20 \text{ m/s}$
  - c)  $40 \text{ m/s}$
  - d)  $23 \text{ m/s}$
  - e)  $17 \text{ m/s}$
- 
3. Uma bola de vôlei é lançada verticalmente para cima. Pode-se afirmar que na subida:
    - a) O módulo da sua velocidade diminui;

- b) O módulo da força gravitacional sobre a bola aumenta;
- c) O módulo de sua aceleração aumenta;
- d) O sentido de sua velocidade inverte;
- e) O sentido da sua aceleração muda.

Justifique sua resposta:

---

---

4. A Terra apresenta um movimento de rotação em torno de um eixo imaginário que passa por seus Polos. Um arqueiro, no Equador, de frente para o sentido de rotação da Terra, lança uma flecha verticalmente para cima. A flecha, ao retornar, cairá \_\_\_\_\_ pois compartilha o movimento da Terra. Esse fato é atribuído à \_\_\_\_\_.

Assinale a alternativa que completa corretamente as lacunas.

- a) atrás do arqueiro - inércia
  - b) na frente do arqueiro - 2ª lei de Newton
  - c) na posição do arqueiro - lei da Ação e Reação
  - d) atrás do arqueiro - 2ª lei de Newton
  - e) na posição do arqueiro – inércia
5. Um objeto é lançado obliquamente com uma velocidade de 14 m/s, formando um ângulo de  $60^\circ$  com a horizontal. Qual a velocidade do objeto no ponto mais alto da trajetória? Considere  $\text{sen } 60^\circ = 0,86$  e  $\text{cos } 60^\circ = 0,50$ .
6. Um projétil lançado obliquamente num ângulo de  $37^\circ$  com a horizontal e com velocidade inicial de 200 m/s. Despreze a resistência do ar e adote  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . Determine a altura máxima e o alcance do projétil. Considere  $\text{sen } 37^\circ = 0,60$  e  $\text{cos } 37^\circ = 0,80$ .
7. Com a mesma velocidade efetuam-se dois lançamentos com uma Catapulta medieval. Um, com ângulo de  $10^\circ$  e outro com ângulo de  $80^\circ$  com a

horizontal. Em qual deles o projétil tem maior alcance? Em qual deles o projétil permanece mais tempo no espaço? Justifique sua resposta.

8. O alcance atingido por um saque durante uma partida de vôlei, em quadra aberta, no Japão, teria alguma diferença se o mesmo fosse dado em São Luís, capital do Maranhão? Justifique sua resposta.
9. Um gafanhoto adulto pode saltar até  $0,8m$  com um ângulo de lançamento de  $45^\circ$ . Desprezando a resistência do ar e a força de sustentação aerodinâmica sobre o gafanhoto, calcule quantos décimos de segundo ele permanecerá em voo.

**APÊNDICE I – MANUAL DE UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE TRACKER**

## Manual para a utilização do *Software Tracker*

Este é um *software* livre destinado a vídeo, análises quadro a quadro que permite o estudo de diversos tipos de movimentos. Para as filmagens poderão utilizar celular ou câmeras digitais. O *Tracker* foi desenvolvido em parceria com o *Open SourcePhysics* (OSP), comunidade que desenvolve recursos para o ensino de física e de modelagem computacional (JESUS, 2014).

Para a utilização do *Tracker*, é necessário ter instalado previamente o *Java* e o programa *Quick Time*. O *download* está disponível nos seguintes links:

[http://www.java.com/pt\\_BR/download/](http://www.java.com/pt_BR/download/)

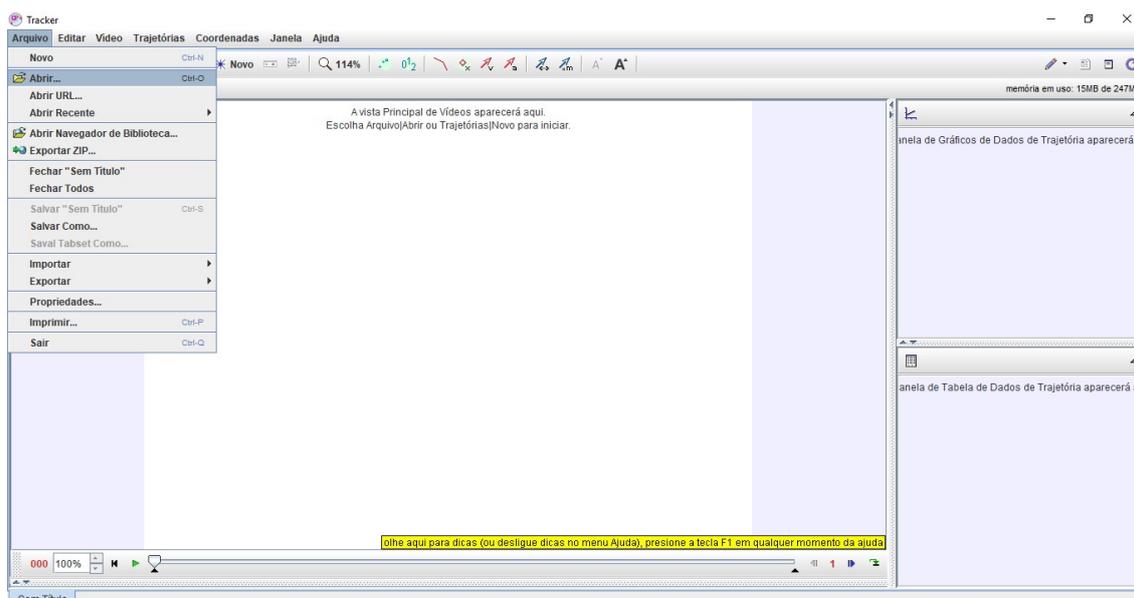
<http://www.apple.com/quicktime/download/>

Para instalar o *Tracker*, acessar a página abaixo e executar o download:

<https://physlets.org/tracker/>

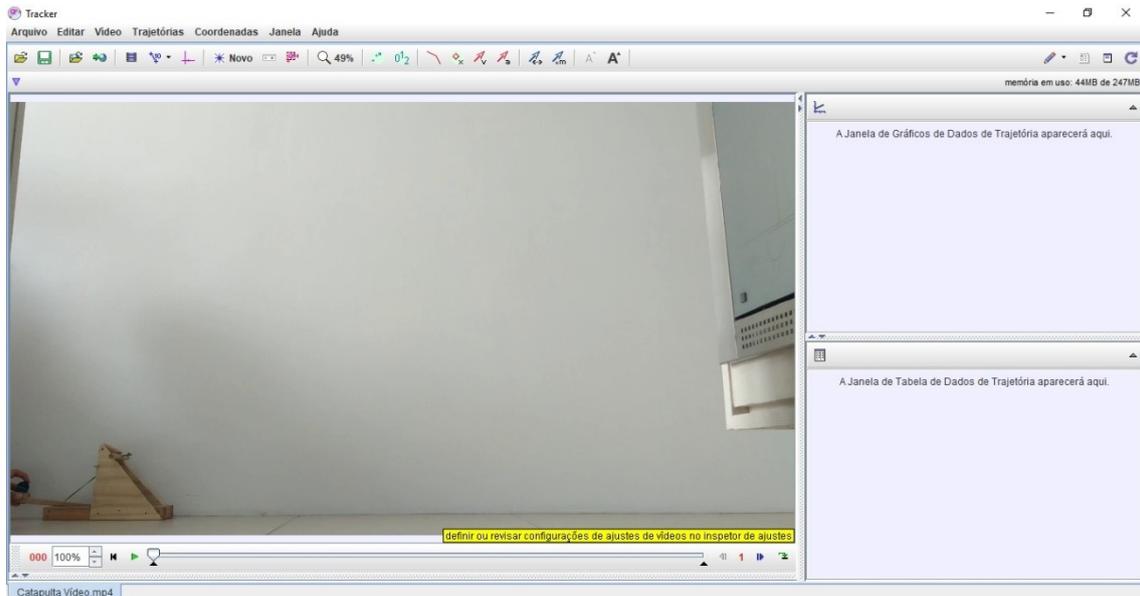
Para anexar o vídeo ao programa, clique em “arquivo” e após em “abrir” conforme a figura 1. Deverá ser selecionado o arquivo do vídeo dentro das pastas do computador. O vídeo aparecerá conforme a figura 2.

Figura 1: Janela inicial do *Tracker*



Fonte: Captura de tela do software Tracker (2019).

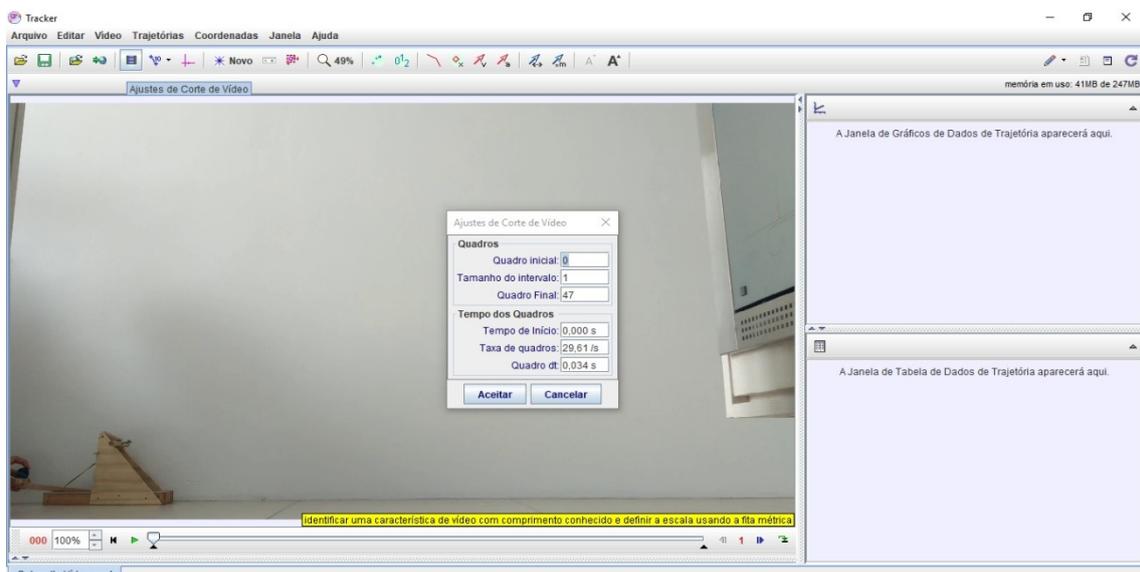
Figura 2 – Tela do *Tracker* com o vídeo já anexado.



Fonte: Captura de tela do software Tracker (2019).

Antes da análise do vídeo, é necessário calibrar o quadro ou tempo onde começa e onde termina o experimento. Para isto, clicar na parte superior em *Clip Setting*, onde abrirá a caixa de diálogo, conforme mostra a figura 3. Nesta caixa deverá ser definido o quadro de início e fim da análise e também o número de quadros. No ícone “Fita Métrica” com o “Transferidor” deverá ser calibrado, sabendo a distância entre dois pontos, para isso pode-se usar as medidas da altura da catapulta, por exemplo.

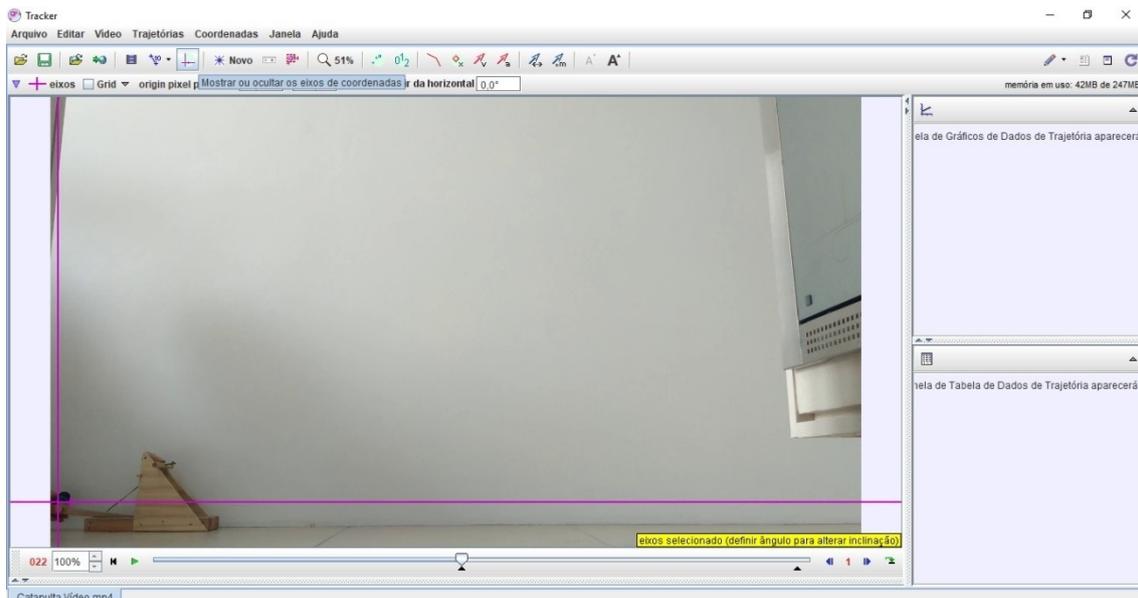
Figura 3 – Ajustes do vídeo.



Fonte: Captura de tela do software Tracker (2019).

Após o corte e definição do vídeo, devem-se calibrar os eixos de coordenadas e a escala do vídeo, para que assim possam ser feitos os gráficos pelo programa. Na parte superior da janela, clicar no botão “Mostrar ou ocultar eixos de coordenadas” e posicionar o eixo das coordenadas cartesianas sobre o vídeo, de acordo com a figura 4.

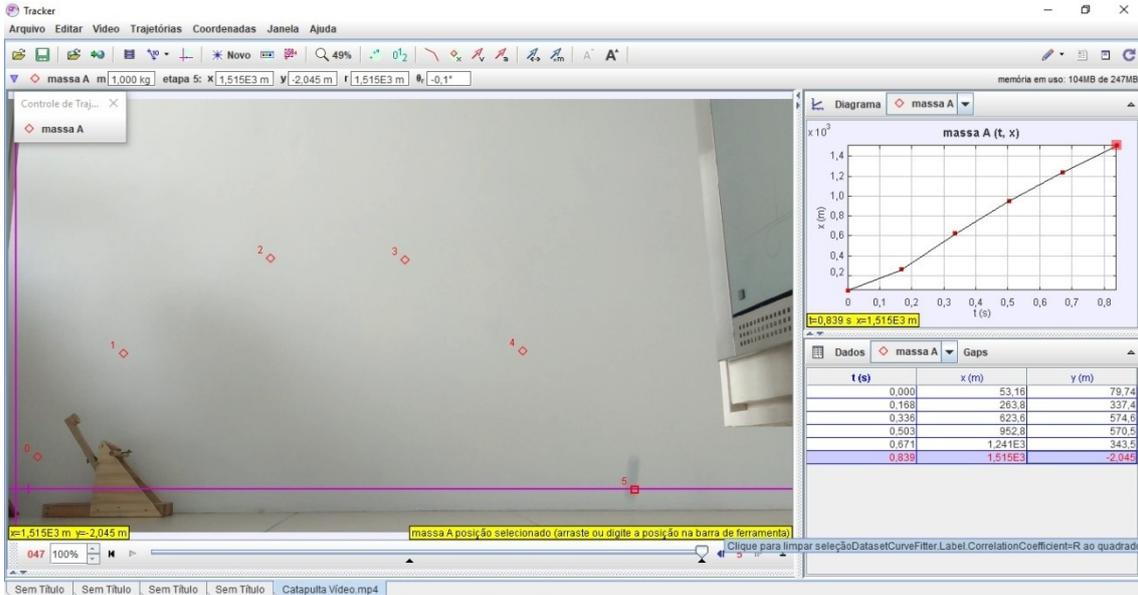
Figura 4 – Eixos de coordenadas.



Fonte: Captura de tela do software Tracker (2019).

O próximo passo será marcado as posições do objeto, cujo movimento deseja-se analisar. Clique no botão “Novo” e em seguida em “Ponto de Massa” (figura 5). Mantenha pressionada a tecla *Shift* do teclado ao clicar em “Ponto de Massa” e marque, em cada quadro as posições do objeto de análise, neste caso a bolinha. Depois do primeiro clique, o programa passa para o próximo quadro automaticamente.

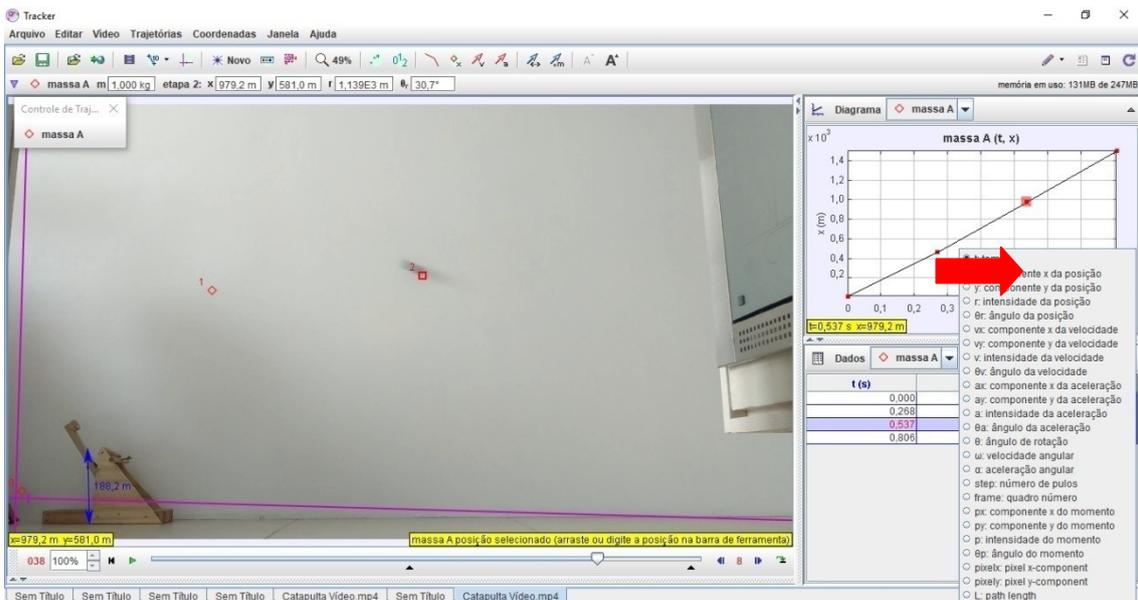
Figura 5 – Definição de ponto de massa.



Fonte: Captura de tela do software Tracker (2019).

Note que um gráfico aparece no canto superior direito, com os pontos marcados e abaixo deste, uma tabela de dados. O programa *Tracker* permite visualizar o gráfico em função do tempo ou qualquer outra variável. Para alterar as variáveis de análise, basta dar um duplo clique sobre ela e aparecerá uma lista com outras grandezas (figura 6).

Figura 6 – Alteração das grandezas envolvidas no gráfico.



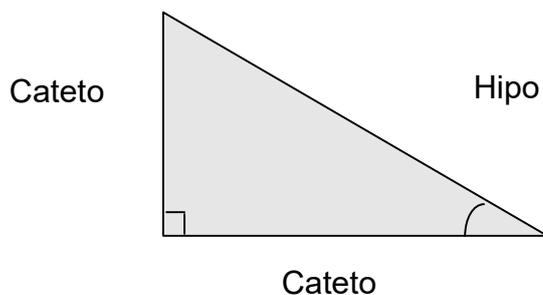
Fonte: Captura de tela do software Tracker (2019).

Com os gráficos obtidos e os dados da tabela, será possível a análise do movimento.

## **APÊNDICE J – RAZÕES TRIGONOMÉTRICAS**

## Trigonometria no triângulo retângulo

Dado o triângulo retângulo abaixo, tem-se como hipotenusa a medida do lado maior e oposto ao ângulo reto. Os outros dois lados chamam-se catetos. Considera-se cateto oposto, o lado oposto ao ângulo e adjacente, o cateto oposto a hipotenusa.



De acordo com Dante (2005), temos:

$$\text{sen } \theta = \frac{\textit{cateto oposto}}{\textit{hipotenusa}} \quad (1)$$

$$\text{cos } \theta = \frac{\textit{cateto adjacente}}{\textit{hipotenusa}} \quad (2)$$

$$\text{tg } \theta = \frac{\textit{cateto oposto}}{\textit{cateto adjacente}} \quad (3)$$

**APÊNDICE K – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA SEQUÊNCIA  
DIDÁTICA**

**“ESTUDO DO LANÇAMENTO OBLÍQUO UTILIZANDO RÉPLICAS DE  
ARMAS MEDIEVAIS”**

**Avaliação da sequência didática:**

1) Os recursos didáticos utilizados nas aulas como vídeos, software, experimentos, tornaram as aulas de física mais interessantes?

( ) Sim

( ) Não

Justifique sua resposta:

---

2) Com a construção das réplicas, você conseguiu compreender os conceitos de lançamento oblíquo?

( ) Sim

( ) Não

( ) Parcialmente

Se sua resposta for não ou parcialmente, explique quais as dificuldades apresentadas:

---

3) Você gostaria de ter outras aulas de física que utilizassem experimentos para a compreensão dos conceitos?

---

4) Descreva os aspectos positivos e negativos que você observou no decorrer das aulas:

---

---

---

---

## **APÊNDICE L – IMAGENS DO DESENVOLVIMENTO DAS AULAS**

Figura 40 – Imagem da apresentação do grupo da catapulta C.



Fonte : Dados da pesquisa.

Figura 41 – Imagem da apresentação do grupo da catapulta G.



Fonte : Dados da pesquisa.

Figura 42 – Imagem da apresentação do grupo da catapulta D.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 43 – Imagem do desenvolvimento da aula1.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 44 – Imagem do desenvolvimento da aula 1.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 45 – Imagem do desenvolvimento da aula 5.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 46 – Imagem do desenvolvimento da aula 6.



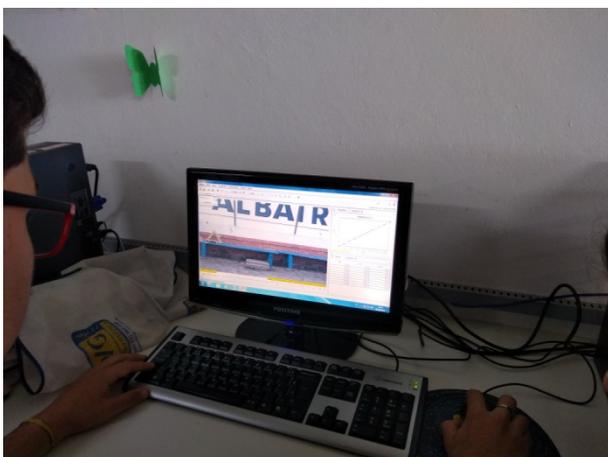
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 47 – Imagem do desenvolvimento da aula 7.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 48 – Imagem do desenvolvimento da aula 8.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 49 – Imagem do desenvolvimento das aulas na biblioteca da escola.



Fonte: Dados da pesquisa.

## REFERÊNCIAS DOS ANEXOS

BEM-DOV, Y. **Convite à física**. Tradução, Maria Luiza X de A. Borges; Rio de Janeiro: Jorge Zahar. ed. Ciência e Cultura, 1996.

BONJORNO, J.R. *et al.* **Física: mecânica**. 1º ano. 2. ed. São Paulo: FTD, 2013.

BRITO, C. C. **Armas de arremesso anteriores ao Fogo**. Revista Militar. 5. ed. Lisboa: Tipografia Universal, 1917.

CARRON, W. GUIMARÃES, O. **As faces da Física**. Volume único. – 2. ed. São Paulo: Moderna, 2002.

GERMANO, C. F. **O ensino da conservação de energia mecânica mediada pelo uso de metodologias ativas de aprendizagem**. 2018. 75f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tramandaí.

HALÉVY, D. **História das armas e dos soldados**. Tradução de Hilton J. Gadret. Livraria Freitas Bastos. 1963. Paris, França.

JESUS, V.L.B. **Experimentos e vídeo análise – dinâmica**. ed. 1- São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica, 1: mecânica 5**. ed. São Paulo: Blucher, 2013.

ROCHA, J. F. M. **Origens e Evolução das Ideias da Física**. 2. ed. Salvador: EDUFBA, 2015. 374 p.; il.

UENO, P. **Física**. Série novo ensino médio. Volume único. 1. ed. São Paulo: Ática, 2006.

WERLANG, R. V. **Física: mecânica dos sólidos**. 13. ed. Tapera, LEW, 2011.