

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS EXATAS

MAX LUIZ DE OLIVEIRA SANTOS

**EXPERIMENTO DE GALILEU DO PLANO INCLINADO  
EM SALA DE AULA**

**SÃO CARLOS**

**2013**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS EXATAS

MAX LUIZ DE OLIVEIRA SANTOS

**EXPERIMENTO DE GALILEU DO PLANO INCLINADO  
EM SALA DE AULA**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-  
Graduação em Ensino de Ciências Exatas como  
requisito para à obtenção do título de mestre  
em Ensino de Ciências Exatas.**

*Orientador: Prof. Dr. Nelson Studart*

**SÃO CARLOS  
2013**

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

S237eg

Santos, Max Luiz de Oliveira.

Experimento de Galileu do plano inclinado em sala de aula / Max Luiz de Oliveira Santos. -- São Carlos : UFSCar, 2014.

170 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2013.

1. Física - estudo e ensino. 2. Galilei, Galileu, 1564-1642.  
3. Ciência - história. I. Título.

CDD: 530.07 (20ª)

## Banca Examinadora:

*N. Studart*

---

**Nelson Studart Filho**  
DF - UFSCar, orientador

*W. W. Caluzi*

---

**Prof. Dr. João José Caluzi**  
DF - UNESP

*Ducinei Garcia*

---

**Profa. Dra. Ducinei Garcia**  
DF - UFSCar

## Dedicatória

Dedico este trabalho a todos aqueles queridos amigos e familiares que sempre me apoiaram e confiaram em mim e em minha força de superação. À minha querida tia Neide e às inesquecíveis amigas Neide e Angelina, que sempre me deram palavras reconfortantes nos momentos mais importantes.

Dedicação especial aos colegas do mestrado que sempre se mantiveram firme, ajudando-se mutuamente durante os dois anos que estivemos juntos, mesmo nos momentos mais difíceis.

## **AGRADECIMENTOS**

À Margareth Yuri Takeuchi que nos anos de convivência, muito me ensinou, contribuindo para meu crescimento científico, pessoal e intelectual.

Ao Prof. Dr. Nelson Studart, pela atenção e apoio durante o processo de definição e orientação.

À Escola E.E de São Paulo, por colocar à disposição suas dependências para a realização da atividade de mestrado.

Aos alunos da Escola E.E de São Paulo, que participaram ativamente e voluntariamente na realização das atividades.

“Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua produção ou a sua construção. Quem ensina aprende ao ensinar e quem aprende ensina ao aprender”.

**Paulo Freire**

## RESUMO

Este trabalho objetiva fazer uma reprodução adaptada do experimento clássico do plano inclinado, atribuído a Galileu Galilei. A intenção é a criação de situações de aprendizagem para serem aplicadas em turmas do ensino médio, pretendendo que as mesmas possam vir a ser um elemento motivador para que estes alunos aprendam conceitos ligados à física, bem como tenham condições de melhor perceber o caráter subjetivo que existe por trás da ciência e do seu processo de construção.

Pretende-se com a realização do experimento, e com o direcionamento dado às atividades, que os estudantes possam melhor visualizar o conhecimento científico como fruto de uma construção humana, bem como suas limitações intrínsecas, percebendo que este se solidifica baseado na construção de modelos e hipóteses, que são modificados com o decorrer do tempo.

A discussão e averiguação das hipóteses feitas pelo grande físico, na elaboração da teoria da queda dos corpos, bem como a validade das mesmas, poderá ser fruto de ricas discussões sobre o desenvolvimento científico. Os alunos poderão discutir sobre a possibilidade da adoção e aceitação de ideias equivocadas na ciência e as implicações que as mesmas teriam para a elaboração das teorias científicas.

O trabalho pretende analisar a medição dos tempos de rolamentos de esferas sobre o plano inclinado, avaliando os métodos que Galileu poderia ter utilizado para efetuá-los e suas conclusões a respeito deste tipo de movimento, bem como fazer uma releitura apresentando métodos mais modernos, como por exemplo, a medição destes tempos com o gravador de som de um microcomputador, e a posterior discussão sobre ambas as formas, confrontando aspectos históricos e modernos na elaboração da ciência. Aplicadas as atividades, finalizaremos o trabalho com os resultados do projeto, e sua conclusão, perspectivas de continuidade, avaliando a viabilidade de sua utilização como um produto educacional que possa servir como ferramenta no processo de ensino aprendizagem em nível médio e utilizado por outros professores em outros contextos.

**Palavras-chave:** Experimento de Galileu. História da Ciência. Ensino de Física.

## ABSTRACT

This work aims to make a suited reconstruction from the classic experiment of the inclined plane, attributed to Galileo Galilei. The intention is to apply it to high school classes, claiming that it might motivate these students to learn concepts related to physics, and should be able to better understand the subjective nature of what is behind the science and its construction process.

It is intended to perform the experiment and guide the activities in order that the activities that students can better understand scientific knowledge as a result of human construction, as well as its inherent limitations, realizing that the science development is based on model making and experimentation, among others, which can be modified along the time. The discussion and investigation of the assumptions made by the great physicist, in the elaboration of the theory of falling bodies, and their validity, may result in rich discussions of scientific development. Students may discuss the possibility of adoption and acceptance of misconceptions in science, and what implications these have for the development of scientific theories.

The work analyzes the measurement of time of ball bearings on the inclined plane, evaluating the primitive methods that Galileo could have used to reach its conclusions regarding this type of movement. The dissertation also approaches modern methods, as for example, the measurements of falling objects using a tape recorder of a microcomputer, and finally both time measurement procedures are discussing emphasizing historical and modern discussion of both forms, comparing historical and modern aspects in the development of science. Performed activities, finalize the work with the results of the project and its completion, prospects of continuity, assessing the feasibility of its use as an educational product that can serve as a tool in the process of teaching and learning in high school and used by other teachers in other contexts

**Keywords:** Galileo's experiment. History of Science. Teaching of Physics.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Demonstração do Teorema da velocidade média.....	25
Figura 02	Experimento atribuído a Galileu.....	30
Figura 03	Transcrição da folha 116.....	31
Figura 04	Plano inclinado construído por Straulino.....	33
Figura 05	A bureta utilizada como relógio.....	33
Figura 06	Vista lateral, frontal e superior do experimento.....	34
Figura 07	Plano inclinado em diferentes ângulos.....	38
Figura 08	Bolas de bilhar utilizadas no experimento.....	38
Figura 09	Bola de bilhar deslizando no plano inclinado.....	39
Figura 10	Medição de tempo entre dois ruídos consecutivos utilizando o software Audacity.....	39
Figura 11	Gráfico da Posição em função do tempo.....	43
Figura 12	Foto da escola estadual de São Paulo.....	45
Figura 13	Ilustração feita em lousa que visa demonstrar a semelhança de triângulos.....	88
Figura 14	Alunos fazendo medições no plano inclinado.....	90
Figura 15	Gráfico da distância em função do tempo no Excel.....	96
Figura 16	Ajuste com polinômio do segundo grau para os dados experimentais.....	96

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Situações problemas e níveis de investigação correspondentes.....	16
Quadro 2	Valores encontrados no experimento do plano inclinado.....	41
Quadro 3	Medidas efetuadas e valores encontrados para as grandezas derivadas no experimento do plano inclinado.....	42
Quadro 4	Exemplo utilizado em sala de aula na descrição de um movimento uniforme.....	58
Quadro 5	Movimento 2: Exemplo utilizado em sala de aula para descrever um movimento uniformemente variado.....	59
Quadro 6	Distância percorrida, tempo gasto e quadrado do tempo gasto.....	62
Quadro 7	Tabela elaborada pelo grupo 1, para descrição do primeiro movimento.....	64
Quadro 8	Tabela elaborada pelo grupo 2 para descrição do primeiro movimento.....	64
Quadro 9	Tabela elaborada pelo grupo 2 para descrição do segundo movimento.....	65
Quadro 10	Segunda tabela elaborada pelos grupos 1 e 2 para descrição do segundo movimento.....	65

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	01
2. O ENSINO DE FÍSICA NUMA VISÃO CONTEMPORÂNEA.....	08
2.1 ENSINO MÉDIO: A NECESSIDADE DE NOVAS ABORDAGENS DE ENSINO DE FÍSICA NUM CURRÍCULO POR COMPETÊNCIAS.....	09
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
3.1 O LABORATÓRIO INVESTIGATIVO COMO UMA POSSIBILIDADE NA ABORDAGEM DE FENÔMENOS FÍSICOS: NOVAS PRÁTICAS NO LABORATÓRIO DE FÍSICA.....	14
3.2 A UTILIZAÇÃO DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE FÍSICA.....	17
4. O EXPERIMENTO GALILEANO DO PLANO INCLINADO.....	21
4.1 GALILEU, UM CIENTISTA DE MÚLTIPLAS FACETAS.....	21
4.2 A DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO .....	24
4.3 A UTILIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS DE GALILEU NO ENSINO DE FÍSICA.....	30
5. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO.....	36
5.1 A PESQUISA QUALITATIVA EM EDUCAÇÃO. ....	36
5.2 A ELABORAÇÃO DAS ATIVIDADES: A CONSTRUÇÃO DO PLANO INCLINADO E AS SITUAÇÕES DE APRENDIZAGEM .....	37
5.3 A ESCOLA .....	44
5.4 O PÚBLICO ALVO DA PESQUISA: ALUNOS DO ENSINO MÉDIO PÚBLICO .....	45
5.5 AS DIFICULDADES DO ESTUDO DE CASO DAS SITUAÇÕES DE APRENDIZAGEM.....	46
5.6 APLICAÇÃO DO LEVANTAMENTO PRÉVIO .....	48
6. ELABORAÇÃO DAS SITUAÇÕES DE APRENDIZAGEM.....	51
6.1 DISCUSSÃO DA SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 1.....	51
6.2 DISCUSSÃO DA SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 2 .....	55
6.3 DISCUSSÃO DA SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 3 .....	57

7. AS ATIVIDADES DO PLANO INCLINADO DE GALILEU GALILEI.....	68
7.1 A SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 4.....	68
7.2 A SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 5.....	70
7.3 A APLICAÇÃO DA ATIVIDADE.....	72
7.4 A APLICAÇÃO DA SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 4.....	73
7.5 A APLICAÇÃO DA SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 5.....	86
7.6 ANÁLISE DA ATIVIDADE PELOS ALUNOS .....	97
8. CONCLUSÕES E PERSPECTIVA DE CONTINUIDADE.....	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
ANEXO A.....	106
ANEXO B.....	113
ANEXO C.....	118
ANEXO D.....	120
ANEXO E.....	123
ANEXO F.....	125
ANEXO G.....	132
ANEXO H.....	139
ANEXO I.....	147
ANEXO J.....	162

## 1. INTRODUÇÃO

Em minha prática educativa como professor de física ao longo de seis anos na rede estadual do estado de São Paulo, e através das constantes trocas de experiências com demais colegas da área, noto que o ensino desta disciplina, em sua grande totalidade, ainda é marcado por uma visão meramente memorística e desprovida de sentido para muitos dos nossos alunos.

Este fato me causa certo incomodo, pois em minha observação, percebo que a grande maioria destes alunos ao concluírem o ensino médio acaba levando consigo uma visão completamente distorcida desta ciência e geralmente a mantém por toda sua vida. Seria interessante sob nosso ponto de vista que esses alunos vissem a física sob uma nova perspectiva. Nesta nova ótica com uma visão mais amadurecida, a física seria considerada uma tentativa humana de explicação para os fenômenos naturais de nosso universo e não uma certeza absoluta, sendo passível de erros e com toda a subjetividade que lhe é peculiar, assim como qualquer outro empreendimento humano.

É desejável que nossos alunos percebam que a física não lida apenas com resoluções de equações, mas é uma ciência viva e investigativa, que demanda muita curiosidade e vontade de entende o funcionamento do universo. Que notem ainda que esta ciência tem mais relação com seus cotidianos do que eles podem imaginar. Afinal de contas, não é necessário ser um especialista em física para entender minimamente o funcionamento de um aparelho de telefone ou entender como a ciência vê e analisa a questão do aquecimento global, suas contradições e suas possíveis consequências, ou ainda o porquê é necessário economizar energia mesmo sabendo que esta é uma grandeza que se mantém constante no universo.

É desejável ainda que esses alunos compartilhem a ideia da física como um grande empreendimento humano na busca do saber. Que esta se trata apenas de um modelo explicativo, que evolui lenta e progressivamente, de forma não linear, que não vem de forma alguma determinar verdades absolutas sobre a natureza, mas sim dar uma luz ao seu entendimento. Geralmente nossos alunos com a prática de uma postura extremamente tradicional de ensino, não conseguem vislumbrar e compreender questões dessa magnitude, tendo geralmente uma visão mítica da ciência, achando que esta é uma verdade absoluta, inquestionável, elaborada de modo linear, racional e totalmente objetivo. Sob nossa concepção, o abandono desta visão enriqueceria sobremaneira suas formas de pensar e agir sobre o mundo.

Nossos alunos, em sua grande maioria, aprendem unicamente a associar um fenômeno a uma fórmula matemática, resolvendo inúmeros exercícios num processo repetitivo, sem raciocinar sobre estes conteúdos, seu caráter conjectural e principalmente sobre o papel que esta disciplina representou e representa historicamente para a sociedade.

Pouco é comentado ou discutido em sala de aula sobre os complexos processos do desenvolvimento desta ciência, e de seus edificadores, os cientistas.

Esta visão desarticulada e fragmentada do conhecimento científico, sob nosso ponto de vista, é um dos motivos entre tantos outros que fogem ao âmbito deste trabalho, que justificariam o enorme fracasso escolar que se estabeleceu no ensino de ciências no contexto educacional nacional.

Penso que um ensino desarticulado, e que não leve em conta o caráter epistemológico e histórico da ciência, acaba fazendo com que o aluno não veja sentido em muito daquilo que lhe é ensinado, não consiga claramente fazer associações e generalizações, prejudicando-o em sua capacidade de tornar-se um cidadão mais consciente e até mesmo dificultando sua capacidade de tomar decisões de forma articulada, multidisciplinar e generalizante como assim se exige na sociedade contemporânea e tecnológica atual, habilidades estas também preconizadas pelos atuais parâmetros curriculares nacionais. Os parâmetros curriculares nacionais norteiam a maneira pela qual o ensino dos diversos componentes curriculares poderia seguir rumo a uma aprendizagem mais significativa.

Isto porque os procedimentos tradicionalmente adotados prezam pela decoreba e pela repetição de procedimentos, sem que o aluno reflita sobre o que lhe está sendo ensinado.

A abordagem deste trabalho não visa trazer nenhuma fórmula mágica para se ensinar ciências, apenas tenta contribuir para que o conhecimento científico possa vir a ter mais sentido para quem o está estudando, em relação à forma tradicional como geralmente este é tratado, com a possibilidade de resultados mais animadores para quem os ensina e para quem os aprende.

A escolha de abordagens de ensino mais globais, em contraponto a práticas classicamente adotadas, foi de suma importância para a realização do trabalho.

Optamos por utilizar então novas tecnologias como softwares computacionais, experimentos com uma prática de laboratório investigativo e elementos da história e filosofia da ciência, tudo isso com o intuito de tornar o conteúdo ensinado mais interessante e agradável aos alunos.

Sob nossa ótica e experiência pessoal, a utilização de elementos de história e filosofia da ciência é muito importante para o processo de ensino aprendizagem de ciências.

Acreditamos que sempre que iremos estudar um determinado assunto, faz-se necessário contextualizá-lo historicamente. Sendo assim, as pessoas que entram em contato com o desenvolver histórico e filosófico de um dado conhecimento tem mais possibilidade de perceber que todo tipo de saber, inclusive o científico é um processo contínuo, não linear e gradual do desenvolvimento humano. Pode-se aceitar então, que a ciência não é um proceder mágico feito apenas por mentes privilegiadas que repentinamente elaboram teorias explicativas acerca do mundo que nos circunda. Muito pelo contrário, o conhecimento científico é uma enorme construção, que vai sendo consolidada passo a passo, de degrau em degrau, elaborada por centenas de pessoas que se dispuseram a fazer questionamentos e obter respostas sobre o mundo em que habitam no decorrer dos séculos da existência humana. Desta forma temos uma visão mais humanizada da ciência, inclusive de seus criadores, os cientistas.

A utilização do laboratório didático investigativo em nosso trabalho objetivou fazer com que o aluno vivenciasse e entrasse em contato com o grandioso processo da construção do conhecimento científico e suas teorias.

Colocar as atividades de laboratório como situações problemas, pode propiciar que o aluno tente resolvê-las e encontre possíveis soluções, e isto irá aproximá-lo um pouco mais da efetiva prática científica, onde ele poderá se capaz de elaborar hipóteses, testá-las, e por fim tentar encontrar um modelo explicativo para o fenômeno que observa.

Desta forma, acreditamos que este aluno poderá perceber mais claramente o papel de um modelo em uma teoria científica, avaliando inclusive seu poder preditivo, como também suas limitações intrínsecas.

A proposta inicial deste trabalho requer a utilização de algum experimento científico clássico, com adaptações se necessário, para que de forma direcionada os alunos reproduzissem tal experimento, e com as devidas intervenções e discussões, pudessem ter uma melhor compreensão dos conceitos físicos ali presentes, como também do próprio processo do desenvolvimento científico, diferentemente do que ocorre numa aula tradicional de física.

A escolha recaiu sobre o experimento do plano inclinado descrito pelo físico Galileu Galilei em sua obra *Discursos e demonstrações matemáticas acerca de duas novas ciências a respeito da mecânica e dos movimentos locais*, conhecido simplesmente como *Dois Novas Ciências*.

Na descrição deste experimento clássico, Galileu Galilei teria conseguido no século XVII a confirmação experimental indireta que o movimento de queda livre na gravidade

terrestre é do tipo uniformemente variado. A descrição minuciosa deste experimento será detalhada no capítulo 4 deste trabalho.

A escolha do próprio Galileu Galilei também foi muito importante em nosso trabalho. Antes mesmo de escolhermos o experimento, queríamos encontrar um personagem que ao mesmo tempo fosse conhecido pelo grande público como um ideal de cientista, pudesse mostrar também as múltiplas facetas que estão envolvidas por trás de todo o conhecimento científico, inclusive seu caráter intrinsecamente subjetivo.

Galileu em nossa análise pode representar a grande arte que é fazer ciência. As disputas que até hoje perduram em torno de seu nome, e do trabalho que teria ou não realizado, suas hipóteses, genialidade, criatividade e contradições fazem com que este cientista sob nosso ponto de vista possa servir de estímulo para que os alunos do ensino médio compreendam melhor sua obra e ao mesmo tempo percebam o processo da descoberta científica. Conhecendo o cientista e um pouco de sua obra, os alunos podem assim ter assim uma melhor aprendizagem do conhecimento científico e seu complexo processo de elaboração.

A escolha do experimento do plano inclinado também foi de suma importância em nosso trabalho, afinal de contas queríamos encontrar um experimento que pudesse mostrar a grande arte que é fazer ciência, incluindo suas contradições e subjetividades intrínsecas, além da aparente facilidade em sua reprodução.

Sabe-se que, mesmo após inúmeros processos investigativos e discussões bastante acaloradas entre os historiadores e epistemólogos da ciência, que analisaram minuciosamente os documentos existentes referentes à realização daquele experimento, não foi possível chegar a uma conclusão definitiva acerca de sua realização por Galileu Galilei.

Ou seja, ainda hoje não é possível concluir com certeza se Galileu realmente executou ou não este experimento que é descrito em sua obra.

Um dos grandes motivos desta discussão é a classificação de qual seria a filosofia do trabalho de Galileu e o papel que a experimentação desempenhou em seu trabalho. Afinal de contas, Galileu era um cientista mais racionalista ou mais experimentalista? Diversos argumentos se colocam a favor de ambas proposições.

Por muitos anos o relato de Galileu sobre este experimento publicado em seu livro *Duas Novas Ciências*, foi aceito e considerado como um dos marcos do papel da experimentação e na elaboração da nova mecânica, sendo esta a visão mais comum geralmente ensinada nas escolas.

Entretanto, de acordo com Thuillier (1994), alguns filósofos e historiadores da

ciência começaram a criticar duramente esta visão no século XX. Um dos principais defensores desta crítica foi Alexandre Koyré, autor do livro *Estudos Galilaicos*, onde desenvolve a ideia que Galileu muito diferente do que se imaginava até então, não teria recorrido às experiências para elaborar sua mecânica. O autor levanta muitas dúvidas e questiona seriamente o papel que a experimentação teve nos trabalhos de Galileu. Koyré acredita ainda que as experiências que Galileu descreve teriam sido apenas idealizadas em sua mente e não tiveram cunho empírico algum, mas sim racional.

Ao analisar o experimento do plano inclinado, Koyré acredita que a execução do experimento não ficaria à altura da ideia. O epistemólogo argumenta que a medição dos tempos, utilizando os procedimentos descritos por Galileu estava sujeito a enormes e inúmeros erros e incertezas. Como seria possível aferir corretamente a medição de um tempo utilizando um relógio de água como cronômetro? As imprecisões seriam imensas. Este e outros argumentos serviram para desmoronar a visão simplória de um Galileu totalmente experimentalista, que teria elaborado sua mecânica apenas por meio da simples observação e experimentação de bolas e outros objetos.

Outros cientistas também dispostos a investigar a possibilidade da realização deste experimento nas condições que Galileu possuía, reproduziram-no, seguindo o mais fielmente possível as descrições dadas pelo grande físico.

Thomas B. Settle e Stillman Drake foram dois cientistas que refizeram alguns dos experimentos galileanos a partir da década de 60, em condições muito semelhantes às descritas por Galileu, e obtiveram resultados condizentes com o relatado pelo físico. Segundo estes, seria possível sim que Galileu tivesse realizado experimentos com resultados satisfatórios. Abriu-se então um grande leque para diversos argumentos e discussões entre as partes envolvidas, no caso as alas racionalistas e empiristas da ciência. De um lado estão cientistas e pensadores que acreditam que o que realmente produz e traz resultados na ciência é o pensamento e as ideias. Já por outro lado existe a ala dos cientistas e pensadores experimentalistas que alegam que os experimentos e a observação são o que podem ser fundamentais na elaboração das teorias científicas.

Muitas visões filosóficas distintas podem ser atribuídas a Galileu, devido a seu comportamento contraditório. Por vezes o físico assume-se ferrenho defensor do experimentalismo, porém em outros momentos percebemos o mesmo tendo atitudes dignas do platonismo, demonstrando assim não incoerências, mas o complexo e contraditório processo que é o de fazer ciência e a dificuldade de enquadrar o cientista num determinado arquétipo

específico. É claro que toda esta contradição, não é só do personagem, mas também faz parte de todo o processo científico de maneira geral.

A reprodução adaptada deste experimento, bem como as discussões que sua execução poderá provocar, poderá fazer com que a atividade seja um elemento motivador para que os alunos possam compreender não apenas o conceito de queda livre e suas equações características, mas que também consigam perceber o caráter subjetivo que existe por trás do desenvolvimento científico de maneira global. Afinal, se considerarmos que Galileu realmente executou o experimento, temos que levar em conta que o mesmo teve que lidar com inúmeras limitações experimentais, pois os instrumentos de medida de sua época eram muito rústicos e considerados imprecisos comparados aos atuais. Entender a maneira como ele lidou com estes fatos, questionar se seus resultados podiam ser confiáveis e quais as possíveis limitações de seu trabalho, pode tornar a discussão bastante enriquecedora. Evidenciar ainda os impasses e as concepções que os historiadores da ciência possuem sobre a obra de Galileu poderá levar os alunos a terem uma nova percepção da ciência e seu processo de construção, fazendo-os questionar seriamente a visão mística que a maioria das pessoas possui acerca de seu desenvolvimento, que geralmente é considerado racional e frio.

Nosso trabalho pretende analisar a medição dos tempos de rolamentos de esferas no plano inclinado, avaliando os métodos que Galileu usou ou poderia ter utilizado, entretanto apresentando métodos mais modernos, como por exemplo, a medição destes tempos por meio do microfone de um microcomputador e a posterior discussão sobre ambas as formas de medição, confrontando aspectos históricos e tecnológicos na elaboração da ciência.

O projeto consiste na reconstrução do plano inclinado de Galileu, sendo que poderemos fazer algumas adaptações didáticas quando necessário, e inclui ainda a elaboração de situações de aprendizagem, direcionadas à compreensão de alguns conceitos de queda livre e epistemologia da ciência. As situações de aprendizagem objetivam permitir aos alunos fazer questionamentos e perguntas, elaborar modelos explicativos e fazer previsões acerca do fenômeno da queda livre e do desenvolvimento do trabalho científico como um todo.

A pesquisa consiste então na reconstrução do plano inclinado, na elaboração de situações de aprendizagem e na efetiva aplicação destas com alunos regulares do ensino médio público. Analisaremos ainda os resultados da aplicação destas atividades, detalhando todas as etapas deste processo.

Para fazermos a avaliação sobre a contribuição que este trabalho teve na aprendizagem dos alunos, iremos aplicar um levantamento prévio que questionará sobre possíveis concepções que estes possam ter sobre o fenômeno da queda livre, e depois da

atividade aplicada, avaliaremos as possíveis mudanças nas concepções que estes alunos obtiveram acerca do fenômeno estudado, bem como suas impressões pessoais sobre as atividades. Faremos ainda o relato detalhado das observações feitas durante todo o processo de aplicação das atividades.

Finalizaremos o trabalho com os resultados do projeto, e sua conclusão, perspectivas de continuidade, avaliando a viabilidade de sua utilização como um produto educacional que possa servir como ferramenta no processo de ensino aprendizagem em nível médio e utilizado por outros professores em outros contextos.

Tal produto educacional pode ser entendido como o produto final do trabalho de mestrado profissional, que é dedicado à melhoria do ensino de nossas disciplinas específicas. Em nosso caso, o produto final será o modelo em escala do experimento de Galileu e a elaboração de propostas de aplicações de atividades destinadas a professores do ensino médio, que se interessados podem utilizar-se destas atividades em sua prática pedagógica valendo-se assim das experiências aqui realizadas e de seus resultados obtidos.

Através de nosso produto educacional, acreditamos que o professor poderá ter mais elementos para diversificar suas aulas. Ele tanto poderá utilizar-se das propostas de aplicação de atividades aqui existentes, como poderá inspirado pelas mesmas criar novas situações de aprendizagem que possam resultar em práticas pedagógicas mais dinâmicas e interessantes para si e para seus alunos.

O capítulo 2 de nosso trabalho nos mostra que o novo ensino médio requer a necessidade de novas abordagens no ensino de física, substituindo o ensino estritamente tradicional por novas metodologias mais inovadoras. No capítulo 3, encontramos a fundamentação teórica de nosso trabalho, ou seja, referenciais teóricos que fundamentam a necessidade de novas abordagens metodológicas no ensino de física e o motivo para suas escolhas. No capítulo 4, detalhamos o experimento realizado por Galileu Galilei, as contadições intrínsecas de seu trabalho e também relato de outros trabalhos que utilizaram com sucesso abordagens metodológicas semelhantes a que iremos utilizar em nossa pesquisa.

No capítulo 5, abordaremos a metodologia de desenvolvimento de nossa pesquisa, que será de cunho qualitativo por lidar com pessoas interagindo em processos de ensino-aprendizagem. No capítulo 6 e 7 de nosso trabalho mostraremos o desenvolvimento das situações de aprendizagem que iremos utilizar com nossos alunos, desde sua criação até a aplicação e os resultados obtidos com as mesmas.

Finalmente no capítulo 8, faremos a conclusão de nossa pesquisa, avaliando seus métodos e resultados, bem como vislumbrando perspectivas de sua continuidade no futuro.

## 2. O ENSINO DE FÍSICA NUMA VISÃO CONTEMPORÂNEA

Acreditamos que o ensino de ciências em nível médio, deva propiciar ao jovem uma formação que lhe permita ao mesmo tempo entender aspectos da realidade, como também adquirir elementos para transformá-la. Vivemos numa sociedade altamente tecnológica, em que ciência e tecnologia andam de mãos dadas, transformando sobremaneira a forma com a qual os indivíduos se relacionam, e sabemos que a física teve papel decisivo em muitas dessas transformações que ocorreram ao longo da história. Nossos alunos são cidadãos do mundo, e estão vivenciando e atuando neste contexto de transformação. Conhecer e entender os fundamentos desta incessante produção científico-tecnológica, bem como suas possíveis implicações, é sem dúvida algo essencial na vida cotidiana moderna.

O conhecimento de física tem permitido ao homem uma compreensão profunda das estruturas do universo, desde o mundo atômico até a investigação de galáxias gigantes e muito afastadas. É inegável que para que possamos ter um melhor entendimento dos elementos que nos rodeiam, precisamos estudar física. A física fornece uma gama de conhecimentos e saberes que se estendem sobremaneira aquela que temos pela mera percepção inicial de nossos sentidos.

De acordo com os PCN+ o ensino de física deve:

...apresentar-se, portanto, como um conjunto de competências específicas que permitam perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos, presentes tanto no cotidiano mais imediato quanto na compreensão do universo distante, a partir de princípios, leis e modelos por ela construídos... Ao mesmo tempo, a Física deve vir a ser reconhecida como um processo cuja construção ocorreu ao longo da história da humanidade, impregnada de contribuições culturais, econômicas e sociais, que vem resultando no desenvolvimento de diferentes tecnologias e, por sua vez, por elas impulsionado. (BRASIL,1999, p.2).

O ensino de física num contexto contemporâneo deve, portanto, fazer com que os jovens melhor compreendam o mundo, tomando decisões de forma consciente, agindo assim em sua transformação.

Sendo desta forma, cabe aos professores e aos especialistas de ensino a busca de estratégias de ensino que possam ser mais condizentes com essa visão desejável de apreensão

dos conhecimentos de física, tornando-os mais humanos e presentes no cotidiano da sociedade.

## 2.1 ENSINO MÉDIO: A NECESSIDADE DE NOVAS ABORDAGENS DE ENSINO DE FÍSICA NUM CURRÍCULO POR COMPETÊNCIAS.

Mudanças no contexto educacional brasileiro revelam a necessidade da adoção de novas práticas educativas referentes ao ensino de física, buscando adequá-lo as novas necessidades educacionais. No texto dos PCN+, encontramos que:

“O ensino de Física vem deixando de concentrar-se na simples memorização de fórmulas ou repetição automatizada de procedimentos, em situações artificiais ou extremamente abstratas, ganhando consciência de que é preciso dar-lhe um significado, explicitando seu sentido já no momento do aprendizado, na própria escola média”. (BRASIL, 1999, p.2).

A busca por situações que possam ser mais motivadoras no ensino-aprendizagem de física vem sendo amplamente debatida e pesquisada. O Grupo de reelaboração do ensino de física (GREF) fez parte de um projeto ligado a Universidade de São Paulo, cujo objetivo foi a elaboração de uma proposta de ensino de física mais contextualizada e com situações que estejam presentes no cotidiano do aluno. O GREF objetivou elaborar propostas de ensino mais integradas, em que o cotidiano do aluno possa ser fonte de estudo sobre o conhecimento físico, tornando-o mais atrativo para este. A física sob este contexto adquire o status de um instrumento de compreensão e atuação social.

Percebe-se assim que existem esforços dos especialistas na elaboração de programas de estudos que possam ser mais significativos, onde o aluno possa vivenciar e entender a física de forma contextualizada e como parte de seu cotidiano, e não como um conjunto de códigos matemáticos sem valor ou significado.

Assim também foi com o trabalho da elaboração do novo currículo de física para o ensino público do Estado de São Paulo. Inicialmente implantado no ano de 2008 e ainda em caráter de proposta curricular, o novo currículo apresentou muitas inovações. As atividades propostas neste novo currículo adquiriram um caráter mais investigativo e dinâmico com menos ênfase no aspecto matemático.

A proposta teve a possibilidade de ser avaliada e debatida com os docentes do estado, para que assim fosse elaborado no ano de 2010 o novo currículo de física do Estado de São Paulo. Na proposta curricular do estado de São Paulo para o ensino de física encontramos que:

“(…) o exercício puro e simples dos instrumentos matemáticos, como funções algébricas, equações e recursos geométricos, não garante o domínio das competências necessárias pra tratar matematicamente o mundo físico; os alunos devem ser capazes de interpretar os fenômenos físicos antes de pretender expressá-los fazendo uso das estruturas oferecidas pela matemática. (SÃO PAULO, 2008, p. 45-46).”

Em nossa prática escolar, sabemos o quanto o ensino de física é marcado pela visão acima descrita. É dada grande ênfase na parte matemática que envolve esta disciplina, nos modelos prontos e acabados sem que esta realmente venha a ter um verdadeiro significado para o aluno que a está aprendendo.

O estudante decora uma equação e então a associa a um fenômeno, mas muitas vezes é incapaz de generalizar este conhecimento na resolução de um problema prático. Um exemplo simples disto que estamos falando é o estudo das dilatações térmicas. Muitas vezes os alunos sabem as equações e resolvem os problemas matemáticos propostos, mas são incapazes de pensar numa maneira de resolver o problema de abrir mais facilmente um pote de tampa metálica, utilizando este conhecimento. Outros não entendem a parte matemática, não conseguindo fazer nenhum tipo de ligação com a apreensão que tem do mundo e se sentem desestimulados a aprender a disciplina.

A visão de uma física ideal que descreve perfeitamente o mundo em um modelo que não é passível de erros, muitas vezes também é estimulada no imaginário do aluno. Os exercícios apontam apenas para uma alternativa correta, não consideram a análise dos modelos matemáticos ali empregados e suas limitações, tão pouco a questão de erros experimentais e efeitos de aparato da formulação e testes de hipóteses. Tudo isso faz parte do trabalho do cientista e poderia ser utilizado para que a física fosse mais atraente e agradável para o aluno do que apenas os estudos das equações a ela associadas.

Citamos a afirmativa de Zabala: “Para ser significativa, a aprendizagem deve ser resultado de um verdadeiro processo de elaboração e construção pessoal do conceito” (ZABALA, 1998, p. 205).

Isto significa que para aprender verdadeiramente o aluno precisa entender o significado do que está estudando, para que possa generalizar este conhecimento e saber reconhecer e utilizar em situações mais globais. Ainda de acordo com Zabala (1998), só podemos admitir que o aluno aprendeu o significado de um determinado conteúdo, se ele conseguir utilizá-lo numa situação posterior em que este conhecimento seja solicitado.

Para exemplificar a situação irei utilizar um excerto retirado de um livro didático destinado ao ensino médio no ano de 2012 que trata da definição para o conceito de queda livre vertical para este nível de ensino:

**“Movimento vertical de um móvel nas proximidades da superfície terrestre**

O movimento vertical de um móvel nas proximidades da superfície terrestre, quando se despreza a resistência do ar, é um MUV, pois ele ocorre com aceleração constante que é a aceleração gravitacional ( $g$ ). O valor de  $g$  é de aproximadamente  $9,8\text{m/s}^2$ ”. (TORRES et al, 2010, p. 83).

Como podemos perceber o texto acima descreve de maneira fria e descontextualizada o movimento de queda livre na superfície da Terra, não citando antes ou depois nenhuma informação sobre sua descoberta, tão pouco as hipóteses envolvidas para chegar a estes resultados.

A natureza histórica da construção do conhecimento é suprimida, e logo em seguida os alunos começam a utilizar as equações do movimento em exercícios de fixação.

Sendo assim o aluno acaba decorando apenas um algoritmo matemático, sem que este seja compreendido ou faça algum sentido para si. Sob nosso ponto de vista, novas propostas para o ensino de ciências em particular da física merecem ser consideradas, para que este ensino possa ser mais atrativo e ter maior significado para o aluno, como é sugerido pelos parâmetros curriculares nacionais.

Para termos um dimensionamento quantitativo de como se situa o ensino de ciências em nível global e brasileiro, analisamos os dados divulgados pelo projeto PISA (Programme for International Student Assessment) em 2009. Este projeto que é filiado a OECD (Organisation for Economic cooperation and Development) faz uma avaliação dos sistemas de ensino em grande parte do mundo, testando as habilidades e conhecimentos, de estudantes a partir 15 anos de idade.

A pretensão do PISA é avaliar o quanto os alunos perto do final da educação obrigatória adquiriram dos conhecimentos e habilidades que são essenciais para a plena

participação na sociedade. A prova objetiva ainda avaliar o domínio da leitura e os domínios das linguagens matemática e científica, não apenas em termos de domínio do currículo escolar, mas em termos de conhecimentos e competências necessárias à vida adulta.

Os resultados das avaliações aplicadas pelo projeto PISA são extremamente desanimadores para o contexto educacional brasileiro. Os dados estatísticos que traduzem o desempenho dos estudantes brasileiros em relação ao ensino de ciências estão muito aquém do esperado, mesmo quando comparado com muitos países em nível de desenvolvimento menor que o nosso.

Ao todo foram 65 países avaliados e depois de realizadas as avaliações, foi elaborado e disponibilizado no site da OECD um ranking, comparando os resultados entre os países participantes. A revista *Veja*<sup>1</sup> também disponibiliza online tal ranking.

Para uma maior clareza, vamos analisar alguns resultados deste ranking divulgado no site da revista, baseado nos dados também divulgados no site da OECD, referentes à aplicação do projeto Pisa no ano de 2009.

Ao todo foram 65 países avaliados, e segundo os dados fornecidos pelo projeto os países que obtiveram notas superiores a 504 estão acima da média das notas gerais. Países com notas entre 498 e 503, estão situados na média da ODE, e países com notas inferiores a 497, estão abaixo da média das notas gerais.

A nota atingida pelo Brasil é de 405 pontos na avaliação do ensino de ciências, o que significa um desempenho bem inferior a média da OECD. No ranking geral, onde se levam em conta todas as áreas de conhecimento, o Brasil ocupa a 53ª posição, ficando a frente apenas de 12 países, dos 65 analisados.

Sob esta perspectiva tão desanimadora, podemos interpretar em um primeiro momento que o ensino de ciências no Brasil não está sendo eficaz em sua proposta. Os programas de ensino não estão conseguindo desenvolver as competências e habilidades requeridas para o conhecimento científico dos estudantes.

Não é a proposta de nosso trabalho tentar encontrar todas as soluções para este grave problema de tão grandes dimensões. Trata-se de um problema extremamente complexo e sem soluções a curto prazo. Acreditamos que suas soluções permeiam diversas instâncias, tanto no âmbito político, como econômico e ideológico de um amplo contexto educacional, sendo ainda motivos de profundas discussões e frutos de pesquisas na atualidade.

---

<sup>1</sup> A revista *Veja* é uma publicação semanal da editora Abril, publicada desde 1968. Na versão online da revista é possível acessar edições anteriores e ter acesso a conteúdos exclusivos da publicação.

Pensamos, entretanto, que este trabalho possa vir a fornecer ideias e experiências para uma pequena contribuição no sentido da adoção de novas práticas e posturas visando à melhoria no ensino e na aprendizagem de ciências no contexto educacional brasileiro.

Nossa proposta visa à utilização de abordagens alternativas e complementares no ensino de física, para um melhor rendimento dos alunos quanto à compreensão dos fenômenos estudados, fazendo que estes percebam o processo de desenvolvimento científico de uma maneira mais articulada e curiosa.

Nosso foco será a utilização do laboratório experimental investigativo e o uso da história da ciência como elementos motivadores no estudo de um tópico de física. Acreditamos que tanto as atividades experimentais investigativas como a inserção de episódios da história e filosofia da ciência podem ser de fundamental importância para o desenvolvimento cognitivo do aluno auxiliando assim a aquisição das competências e habilidades requeridas pelos parâmetros curriculares nacionais, podendo trazer assim melhorias no processo de ensino aprendizagem de ciências, em especial do ensino e aprendizagem de física.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 O LABORATÓRIO INVESTIGATIVO COMO UMA POSSIBILIDADE NA ABORDAGEM DE FENÔMENOS FÍSICOS: NOVAS PRÁTICAS NO LABORATÓRIO DE FÍSICA

No decorrer das últimas décadas, muito tem-se debatido sobre a real necessidade da utilização de experimentos no ensino de ciências como uma possibilidade para a melhoria de seu ensino e uma aprendizagem mais significativa por parte do educando. Projetos que incentivaram esta prática foram implementados em diversos países, como foi o caso do PSSC (Physical Science Study Committee) produzido pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT) nos Estados Unidos na década de 50, e que posteriormente também vieram a ser adotados no Brasil.

Muitos professores acreditam que a simples utilização de experimentos em sala de aula poderia ser a solução para muitos dos problemas no ensino de ciências. Antes de entrarmos no mérito da questão propriamente dita, faz-se necessário destacar a evolução de algumas ideias sobre a prática e as crenças que cercam a utilização dos laboratórios experimentais e suas possíveis implicações para o ensino.

É necessário destacar inicialmente que práticas tradicionais de laboratório não necessariamente garantem um melhor aprendizado por parte dos alunos. De acordo com Borges (2002), temos que:

...no que é denominado laboratório tradicional o aluno realiza atividades práticas, envolvendo observações e medidas, acerca de fenômenos previamente determinados pelo professor. [...], Em geral, os alunos trabalham em pequenos grupos e seguem as instruções de um roteiro. O objetivo da atividade prática pode ser o de testar uma lei científica, ilustrar idéias e conceitos aprendidos nas 'aulas teóricas', descobrir ou formular uma lei acerca de um fenômeno específico, 'ver na prática' o que acontece na teoria, ou aprender a utilizar algum instrumento ou técnica de laboratório específica. (BORGES, 2002, p. 296).

A crítica à adoção exclusiva desta prática laboratorial reside de que todos os procedimentos de captação de dados e resolução do problema já estão à disposição dos alunos. Estes não refletem sobre o procedimento, tão pouco sobre o próprio significado do

experimento, seus erros e nem o que eles representam. Apenas reproduzem mecanicamente as instruções de um roteiro.

O laboratório tradicional é criticado ainda quanto a concepções errôneas acerca de sua fundamentação epistemológica. A prática do laboratório tradicional pode embutir uma ideia errônea sobre a concepção da natureza e da própria ciência. Sob esta visão o aluno poderia assumir que o conhecimento científico é a verdade provada ou descoberta que tem origem no acúmulo de observações cuidadosas de algum fenômeno por uma mente livre de pré-concepções e sentimentos, que aplica o método científico para chegar a generalizações cientificamente válidas.

Esta visão geralmente é denominada como uma visão empirista-indutivista, e poderia ser fortalecida com a adoção exclusiva de uma prática de laboratório tradicional, que poderia ao menos em tese mais atrapalhar do que ajudar o processo de ensino de ciências.

Deve-se, portanto, buscar novas alternativas ao laboratório prático, visto que a simples manipulação de objetos, e a realização de um experimento não necessariamente pode fazê-lo vir a aprender mais.

É importante destacar ainda que inúmeras pesquisas indicam a existência das concepções alternativas dos alunos, para a explicação dos fenômenos, que estão ligadas a sua apreensão do mundo. Estes alunos já trazem tais concepções antes de sua educação científica formal. Ela é obtida em suas experiências pessoais e interação com o mundo.

Segundo Peduzzi, Zylbersztajn e Moreira (1992) temos que:

“... A mente do aluno não é um quadro em branco que o professor pode (ou pensa que pode) preencher como quer. As interações que este indivíduo com o mundo que o cerca habilitam-no a construção de esquemas explicativos, que lhe possibilitam fazer previsões e mesmo “explicar” diversos fenômenos físicos do seu dia-a-dia.”

(PEDUZZI; ZYLBERSZTAJN; MOREIRA, 1992, p. 240 ).

Os autores analisam que os alunos, mesmo sem uma educação científica, possuem seu sistema físico de explicação do mundo, e muitas vezes mesmo com a educação científica muitas destas concepções ainda permanecem.

A educação científica pode oferecer dispositivos para que estes alunos possam ter mais independência e planejar determinadas situações, colocando em cheque muitas destas concepções alternativas, que geralmente conflitam com as concepções científicas.

A adoção de práticas que visem à resolução de problemas por meio da utilização de situações mais “abertas” pode ser uma alternativa viável para as atividades práticas de laboratório, na possível superação das concepções alternativas e da visão empirista-indutivista.

Ainda de acordo com Borges (2002), tais práticas consistem em estruturar as atividades de laboratório como investigações ou problemas práticos mais abertos, que seria a possibilidade dos alunos resolverem determinado problema sem a direção imposta por um roteiro fortemente estruturado ou por instruções verbais do professor.

Uma situação problema, ao invés de um exercício clássico, pode ser um problema sem solução imediata, que deverá ser discutido e averiguado. Sua resolução não pode ser obtida com a aplicação sistemática de algum algoritmo. É uma situação que pode mobilizar diversas áreas do conhecimento e assim se torna desafiadora para o aluno.

O objetivo é estudar os fenômenos e não apenas comprovar leis e teorias. Não existe um compromisso com o resultado, mas um compromisso com sua investigação.

Os níveis de investigação das situações problemas podem variar. Existem desde situações com problemas extremamente fechados, que são denominadas práticas tradicionais de laboratório, onde a elaboração da atividade, procedimentos e conclusões cabem totalmente ao professor, até aquelas totalmente abertas onde o aluno é responsável por toda a elaboração e resolução do problema.

Abaixo segue o quadro 1, que tenta relacionar os níveis de investigações possíveis no laboratório de ciências ainda de acordo com Borges (2002).

Quadro 1 - Situações problemas e níveis de investigação correspondentes

Nível de investigação	Problemas	Procedimentos	Conclusões
Grau 0	São dados	São dados	São dados
Grau 1	São dados	São dados	Em aberto
Grau 2	São dados	Em aberto	Em aberto
Grau 3	Em aberto	Em aberto	Em aberto

Fonte: Borges (2002, p. 306).

No grau zero estão as atividades em que o professor é totalmente responsável pela elaboração do processo. No grau três estão as atividades onde os alunos são responsáveis pela elaboração e procedimentos de toda a atividade.

Cabe ao professor ter a percepção de qual atividade experimental e qual nível de investigação poderá trabalhar, lembrando que este critério é por vezes subjetivo, sendo o quadro 1 apenas uma referência teórica. Os alunos que não têm o hábito de utilizar atividades experimentais inicialmente poderão ter bastante dificuldade em elaborar e resolver situações problemas. Porém a utilização dessas situações problemas no laboratório didático pode propiciar uma prática que se aproxima mais do próprio desenvolvimento científico, despertando mais interesse e motivação, sendo assim de grande valia no processo de ensino-aprendizagem de ciências.

A adoção de atividades abertas requer mais tempo, mais dedicação e maior necessidade de estudo tanto por parte do aluno quanto por parte dos professores. Muitas questões poderão não ter uma solução imediata, ou levar a outras questões que necessitarão de uma nova investigação, mas tudo isso é parte do processo de descoberta.

É necessário ter em mente que este é um trabalho que requer determinação e persistência para a obtenção dos frutos desejados, na expectativa de um ensino de ciências mais agradável e entusiasmante para os professores e para os alunos.

### 3.2 A UTILIZAÇÃO DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE FÍSICA.

A prática pedagógica revela que por diversos motivos a maioria dos professores de ciências ainda releva a importância da utilização de elementos da filosofia e história da ciência como partes fundamentais no processo de ensino aprendizagem de suas disciplinas, colocando estas últimas em segundo plano ou mesmo negligenciando-as.

Grande parte dos professores não teve em sua graduação disciplinas com enfoque em história e filosofia da ciência, e isso faz com que estes não reconheçam a importância deste tipo de abordagem, o que gera dificuldade na adoção de tal prática em sua sala de aula.

Atualmente percebe-se que nos cursos de formação, mesmo de nível médio, a real necessidade da inserção de elementos históricos e filosóficos no ensino de ciências, para que seu próprio conteúdo venha a ter mais significado para quem o está estudando. Os elementos

históricos podem humanizar a ciência, tornando-a mais compreensível e também passível de questionamentos, assim como todo conhecimento humano.

Existe então uma tendência de reaproximação entre os campos do conhecimento científico e sua história e filosofia, visto que um não pode ser dissociado do outro. Isso pode ser claramente visualizado quando analisamos as reformas educacionais ocorridas ao longo dos anos em diversos países, e a necessidade de incorporar tais elementos nas salas de aula de ciências.

Segundo Matthews:

“Há muitos elementos envolvidos nessa reaproximação. Porém, o mais importante deles é a inclusão de componentes de história e de filosofia da ciência em vários currículos nacionais, o que já vem ocorrendo na Inglaterra e no País de Gales; nos Estados Unidos, através das recomendações contidas no Projeto 2061 concernente ao ensino de ciências da 5ª série do primeiro grau até a 3ª série do segundo; no currículo escolar dinamarquês; e na Holanda, nos currículos do PLON. Não se trata aqui da mera inclusão de história, filosofia e sociologia (HFS) da ciência como um outro item do programa da matéria, mas trata-se de uma incorporação mais abrangente de temas de história, filosofia e sociologia da ciência na abordagem do programa e do ensino dos currículos de ciências que geralmente incluíam um item chamado de A natureza da ciência . Agora, dá-se atenção especial a esses itens e, paulatinamente, se reconhece que a história, a filosofia e a sociologia da ciência contribuem para uma compreensão maior, mais rica e mais abrangente das questões neles formuladas. Os tão difundidos programas de Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), tanto nas escolas como nas universidades, representam uma abertura importantíssima para as contribuições histórico-filosóficas para o ensino de ciências. Tais avanços têm implicações relevantes para o treinamento do profissional de educação.” ( MATTHEWS, 1995, p. 165-166).

No contexto brasileiro, a utilização da história e filosofia da ciência também é considerada de fundamental importância e preconizada nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), norteadores nacionais do currículo brasileiro, dadas as competências que estes presumem que o aluno adquira ao término do ensino médio. Abaixo relacionamos tais competências ligadas a história e filosofia da ciência, contidas nos PCN:

- Compreender a construção do conhecimento físico como um processo histórico, em estreita relação com as condições sociais, políticas e econômicas de uma determinada época.
- Compreender, por exemplo, a transformação da visão de mundo geocêntrica para a heliocêntrica, relacionando-a às transformações sociais que lhe são contemporâneas, identificando as resistências, dificuldades e repercussões que acompanharam essa mudança.
- Compreender o desenvolvimento histórico dos modelos físicos para dimensionar corretamente os modelos atuais, sem dogmatismo ou certezas definitivas.
- Compreender o desenvolvimento histórico da tecnologia, no desenvolvimento da tecnologia e a complexa relação entre ciência e tecnologia ao longo da história. Muitas vezes a tecnologia foi precedida pelo desenvolvimento da Física, como no caso da fabricação de lasers, ou, em outras, foi a tecnologia que antecedeu o conhecimento científico, como no caso das máquinas térmicas. (BRASIL, 1999, p.14).

É inegável afirmar que para atingir tais competências o professor necessita inserir em suas aulas alguns aspectos históricos do desenvolvimento científico, para que o aluno venha a perceber não apenas os resultados finais do atual conhecimento científico, mas como se deu o processo de evolução deste conhecimento. Afinal, o arcabouço de conhecimento científico não é algo que se desenvolveu repentinamente ou está concluído, mas está em constante transformação.

Questionar como a ciência se desenvolveu e como se desenvolve, quais são seus métodos de pesquisa e quais ideias que não são mais aceitas atualmente, mas que já foram aceitas faz com que o aluno tenha um conhecimento muito mais amplo do processo de desenvolvimento científico.

Este aluno pode vir inclusive a colocar em xeque e questionar suas próprias concepções espontâneas que muitas vezes podem ser iguais àsquelas de pessoas que viveram em um determinado momento histórico, ou mesmo concepções que já serviram de explicação para os fenômenos durante uma determinada época, mas que agora foram superadas.

A história da ciência pode ajudar e muito a tornar a física mais humana, sendo assim mais atrativa. A contextualização histórica dos acontecimentos pode fazer com que as pessoas percebam que a ciência não é apenas fruto de mentes geniais que repentinamente encontram a solução para os problemas que se propuseram a resolver, mas como um longo processo de

contribuições individuais que se desenvolve lenta e progressivamente, sujeita a erros, sendo condicionada por fatores psicológicos e subjetivos assim como qualquer outro empreendimento humano por excelência.

Segundo Matthews (1994), a utilização da filosofia e história das ciências:

“(...) podem humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade; podem tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste modo, desenvolvimento do pensamento crítico; podem contribuir para um entendimento mais integral de matéria científica, isto é, podem contribuir para a superação do mar de falta de significação que se diz ter inundado as salas de aula de ciências, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam; podem melhorar a formação do professor auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e mais autêntica, ou seja, de uma maior compreensão da estrutura das ciências bem como do espaço que ocupam no sistema intelectual das coisas.”

(MATTEWS, 1995, p. 165).

É importante ressaltar que a inserção de elementos da história da ciência, não deve ser feita como uma disciplina em separado, mas que esta possa em todo momento ser resgatada, e fazer parte do processo como um todo. Não se trata de substituir o ensino clássico de ciências, mas complementá-lo com episódios que podem mostrar as relações pertinentes entre ciência, tecnologia e sociedade tornando o processo de aprender ciências ainda mais natural e agradável.

A utilização da história e filosofia da ciência mostra-se necessário, e pode contribuir sobremaneira no interesse e no aprendizado dos alunos nas aulas de ciências.

## 4. O EXPERIMENTO GALILEANO DO PLANO INCLINADO

### 4.1 GALILEU, UM CIENTISTA DE MÚLTIPLAS FACETAS

Galileu Galilei contribuiu de forma significativa à física e desenvolveu inúmeros trabalhos na área da astronomia e dos fundamentos da mecânica. Galileu é considerado quase sempre como um dos criadores do método experimental adotado na ciência. Esta concepção é muito bem conhecida, e de fato tem seus fundamentos, pelo fato do próprio físico relatar e descrever os experimentos que teria realizado. Alguns cientistas, contudo, começaram a lhe impor certas dúvidas. Estes cientistas acreditam que as experiências de Galileu tiveram papel secundário na elaboração de sua mecânica. Eles sugerem que com os instrumentos de medida que Galileu possuía, jamais poderia ter realizado experiências eficazes.

Até o início do século XX, Galileu era considerado o pai da ciência experimental, sendo que os historiadores davam bastante crédito aos relatos dos experimentos que ele disse ter realizado. Daremos ênfase ao experimento do plano inclinado, relatado por Galileu em seu livro *Dois Novas Ciências*.

Neste experimento, considerado clássico e que será descrito em detalhes ainda neste capítulo, Galileu utiliza uma esfera de bronze para rolar ao longo de um plano inclinado e com um recipiente que vaza água, ele mede o tempo de sua queda em trechos deste mesmo plano. Quanto maior a massa de água coletada, maior seria o tempo de percurso. Dessa forma ele teria conseguido experimentalmente mostrar que o movimento no plano corresponde a um movimento uniformemente variado, medindo distâncias e tempos de percursos.

A grande disputa dos historiadores da ciência se deu em relação às medidas experimentais relativas ao tempo de percurso da esfera de bronze no referido plano inclinado.

Alexandre Koyré, em sua obra *Estudos galilaicos*, acredita que as bases da nova ciência foram criadas pela transformação da maneira do homem vislumbrar a natureza e assim poder descrevê-la matematicamente e não experimentalmente como era então considerado.

Koyré “(...) acha que há uma tendência exagerada a crer que este grande físico descobriu seus principais esquemas teóricos graças à observação e à experiência”. (THUILLIER, 1994, p.121).

O epistemólogo acredita ainda que devido aos instrumentos de medidas e as condições nas quais o experimento do plano inclinado foi realizado na época, não teria sido possível a obtenção dos resultados que Galileu disse ter conseguido. Segundo ele é inaceitável

alguém fazer medições de qualidade utilizando um relógio de água como o descrito pelo grande físico. As fontes de erros e incertezas seriam imensas.

Ainda segundo a visão deste epistemólogo, Galileu elaborou sua mecânica do ponto de vista racionalista, sendo este e outros experimentos secundários ou mesmo irrelevantes em seu trabalho. Ele acredita ainda que muitos dos experimentos descritos por Galileu foram imaginados, ou seja, são experimentos de pensamento e estão longe de terem sido realizados na prática.

Thuillier (1994) descreve também a concepção de outra corrente de historiadores da ciência, antagônica a de Koyré, e embasada principalmente nos trabalhos de Thomas B. Settle em 1961, e posteriormente pelos trabalhos do professor Stillman Drake no início dos anos 70, que acreditam num Galileu mais experimentalista. Para tanto estes cientistas reproduziram alguns experimentos do grande físico em condições semelhantes às descritas no livro *Duas Novas Ciências*, obtendo resultados muitos condizentes com os relatados por Galileu.

Os resultados de Settle confirmando a possibilidade da realização do experimento do plano inclinado por Galileu são descritos em Thuillier (1994):

“Segundo Settle, em todo caso, os resultados foram excelentes; mesmo ao experimentar sem grandes minúcias, verificava ser possível confirmar eficazmente certos “teoremas” de Galileu por meio de um método praticamente idêntico ao que este havia indicado. A medição do tempo (grande tema das disputas!) não parecia apresentar maiores dificuldades. As médias das medidas obtidas para cada distância correspondiam perfeitamente às predições” teóricas (as diferenças sendo, no máximo, da ordem de 1 ou 2%).” (THUILLIER, 1994, p. 124).

Relatando sobre outros trabalhos de verificação do experimento do plano inclinado e também de outros experimentos galileanos, Thuillier (1994) ainda afirma:

“Outro historiador, Stillman Drake, professor da Universidade de Toronto, investigou, no início dos anos 70, os manuscritos inéditos de Galileu da Biblioteca Nacional de Florença e refez as experiências que Galileu teria realizado. Mencionemos ainda James MacLachlan, que por várias vezes praticou este tipo de controle. As conclusões são idênticas: de modo geral, Galileu foi um experimentador muito mais eficiente do que dizia Koyré.”  
(THUILLIER, 1994, p.124)

Mostra-se assim a possibilidade de que Galileu tenha realmente realizado o experimento do plano inclinado.

A análise da obra de Galileu é rica e suscita o debate. Qualquer conclusão definitiva acerca do caráter científico e comportamental de Galileu pode ser destituída de valor. Estamos de acordo com Zylbersztajn (1988) quando diz que:

“O que distingue o tratamento que Galileu dá ao problema da queda dos corpos no “Duas Novas Ciências” é a apresentação da célebre experiência do plano inclinado. Trata-se aqui, sem dúvida, de uma contribuição original de Galileu, visto que pela primeira vez se buscava comprovar empiricamente um desenvolvimento teórico cujas origens remontavam ao Século XIV. Reconhecer a importância desta contribuição não implica em aceitar a tese empirista, segundo a qual Galileu teria chegado à lei da queda dos corpos experimentalmente”. (ZYLBERSZTAJN, 1988, p.39).

Percebemos que de acordo com Zylbersztajn (1998) os historiadores da ciência encontraram assaz complexidade ao analisar o trabalho de Galileu, sendo impossível enquadrá-lo num determinado arquétipo. Existem diversas concepções e interpretações dadas às obras galileanas. O plano inclinado pode ter sido de extrema importância na confirmação das hipóteses de Galileu, porém isto não quer dizer necessariamente que ele teria elaborado a lei dos corpos totalmente de maneira experimental.

Galileu é um personagem contraditório. O físico é visto a partir de concepções que consideram que seu trabalho tenha sido quase de cunho totalmente empirista, passando por um Galileu herdeiro de concepções da física medieval, que sendo assim já havia rompido em parte com as ideias aristotélicas, até concepções de um Galileu quase que totalmente platônico, onde a experimentação teria sido totalmente irrelevante em sua obra.

Este enorme debate é enriquecedor e sem dúvida nos faz refletir sobre o processo de desenvolvimento científico ser algo bem menos trivial e muito mais subjetivo do que é propagado pelo método científico. Como professores, podemos fornecer a nossos alunos o acesso ao conhecimento das múltiplas versões do cientista italiano.

É importante ressaltar que a visão essencialmente empirista do cientista, ainda é a versão geralmente adotada em sala de aula, o que sem dúvida empobrece a discussão da obra do grande físico, pois limita sobremaneira diversos aspectos do comportamento científico de Galileu, e isto deve ser considerado.

Em nosso trabalho, decidimos realizar uma adaptação do experimento do plano inclinado citado na obra *Duas Novas Ciências*, visto que os estudos realizados por diversos cientistas demonstram que Galileu poderia sim ter realizado este experimento, sem deixar de considerar as críticas que lhe foram impostas, afinal de contas mesmo que seja pouco provável é sim possível que o experimento do plano inclinado tenha sido um exemplo do forte poder imaginativo e de argumentação que Galileu demonstrava possuir, podendo nunca ter sido realizado na prática.

Utilizaremos o experimento com fins didáticos e investigativos, sempre tentando chamar atenção para as discussões epistemológicas que o cercam, comentando sobre a grande controvérsia existente entre os historiadores da ciência que analisaram a possibilidade de Galileu ter ou não realizado na prática este experimento.

#### 4.2 A DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

Em sua obra *Duas novas ciências*, Galileu utiliza-se da conversa entre três personagens para explicar suas proposições. Os personagens são Simplicio, Sagredo e Salviati.

Simplicio é o personagem que possui as concepções aristotélicas acerca do movimento dos corpos, Sagredo se mostra um homem ávido pelo saber e bastante curioso, já Salviati serve como porta-voz do próprio Galileu Galilei. Nesta obra ele sistematiza toda sua pesquisa sobre o movimento dos corpos. O livro é dividido em quatro diálogos. Os dois primeiros diálogos tratam dos temas que hoje conhecemos como resistência dos materiais e estática. Os dois últimos diálogos relatam seus estudos sobre o movimento dos corpos.

Galileu em sua obra dá uma definição formal para os movimentos uniforme e uniformemente variado, tirando conclusões e propriedades acerca destes tipos de movimento. Ele utiliza-se de inúmeras demonstrações, teoremas e corolários com argumentos matemáticos- geométricos em sua grande maioria, para comprovar suas proposições.

É importante mencionar que Galileu salientou que em sua definição de movimento uniformemente variado, a velocidade do movimento seria proporcional ao tempo transcorrido e não à distância percorrida, como ele chegou a acreditar por um tempo, e esta correção foi muito importante para a posterior e correta descrição do movimento.

O movimento uniformemente variado é definido como sendo aquele em que o corpo partindo do repouso, adquire em intervalos de tempos iguais, incrementos iguais de

velocidades. A partir desta definição Galileu demonstra diversos teoremas e corolários sobre este tipo de movimento.

O teorema 1 de Galileu sobre o movimento uniformemente variado afirma que:

“O tempo no qual um determinado espaço é percorrido por um móvel que parte do repouso com um movimento uniformemente acelerado é igual o tempo no qual aquele mesmo espaço será percorrido pelo mesmo móvel uniforme, cujo grau de velocidade seja a metade do maior e último grau de velocidade alcançado no movimento uniformemente acelerado.” (GALILEI, 1988, p. 170).

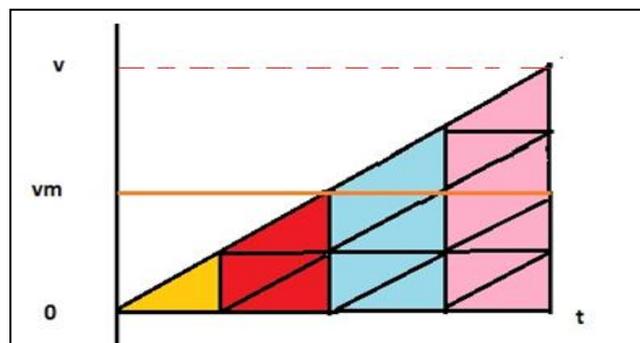
Este teorema era bem conhecido na Europa medieval e foi demonstrado em 1350 por Nicole Oresme<sup>2</sup>, entre outros. Foi desenvolvido seguindo a ideia de que o deslocamento do móvel em movimento poderia ser encontrado como sendo a área sob a curva num gráfico de velocidade em função do tempo.

É bem provável que Galileu tenha tido acesso a estes resultados, já que de acordo com Zylbersztajn (1988), ele cita autores medievais em um dos seus primeiros manuscritos, conhecido como *Juvenilia*, porém não o faz em seu *Duas Novas Ciências*. Um dos motivos disto poderia ser que não existia a obrigatoriedade deste tipo de citação na época.

Acreditamos assim que as obras dos autores medievais podem ter influenciado sobremaneira Galileu em sua própria demonstração.

Na figura 1, fazemos uma representação atualizada da demonstração do teorema:

Fig. 1. Demonstração atual do teorema da velocidade média.



<sup>2</sup> Nicole Oresme ( 1325-1382), bispo católico e matemático.

O gráfico apresentado na figura 1 mostra um movimento uniformemente variado, onde a velocidade varia de zero até um valor genérico  $v$ . Este movimento se inicia no instante zero e demora um tempo  $t$  para ocorrer.

A velocidade média  $v_m$  corresponde à velocidade que o móvel deveria seguir em movimento uniforme para percorrer a mesma distância no mesmo tempo que no movimento uniformemente variado.

Denominaremos por  $\Delta Sa$  a distância percorrida pelo móvel em movimento uniformemente variado e  $\Delta Sb$  a distância percorrida pelo móvel em movimento uniforme,  $v$  como sendo a velocidade final atingida, e por  $t$  o tempo transcorrido no movimento.

Impomos por fim a condição desejada, ou seja, que estes deslocamentos sejam iguais, e como as distâncias percorridas podem ser calculadas como a área sob a curva, e observando a figura chega-se a:

$$\Delta Sa = \Delta Sb \quad (1)$$

$$\frac{v \cdot t}{2} = v_m \cdot t \quad (2)$$

$$v_m = \frac{v}{2} \quad (3)$$

Demonstra-se assim o teorema 1 de Galileu. Que a velocidade média de um movimento uniformemente variado é metade da maior velocidade atingida para um corpo partindo do repouso.

Demonstrado este teorema, Galileu prossegue e enuncia ainda seu teorema 2 sobre o movimento uniformemente variado:

“Se um móvel partindo do repouso cai com um movimento uniformemente acelerado, os espaços por ele percorridos em quaisquer períodos de tempo pelo mesmo móvel estão entre si numa razão dupla desses mesmos períodos de tempo, a saber, como quadrado desses mesmos tempos.”

(GALILEI, 1988, p.171).

Partindo de um raciocínio simples e moderno iremos demonstrar também o segundo teorema:

$$v_m = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (4)$$

De acordo com o teorema 1:

$$v_m = \frac{v}{2}$$

$$\frac{v}{2} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (5)$$

Pela definição de aceleração média:

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (6)$$

Mas no movimento uniformemente variado a aceleração média é a própria aceleração do movimento. Fazendo  $v_o = 0$ :

$$a = \frac{v}{\Delta t} \quad (7)$$

Substituindo a Equação 7 na Equação 5, obtemos:

$$\frac{\Delta s}{\Delta t^2} = \frac{a}{2} \quad (8)$$

$$\frac{\Delta s}{\Delta t^2} = k \quad (9)$$

Ou seja, a distância percorrida é proporcional ao quadrado do tempo gasto para percorrê-la. O valor da metade da aceleração foi denominado por uma constante chamada k. Ou seja, a distância percorrida pelo móvel é diretamente proporcional ao quadrado do tempo gasto para realizar o percurso.

Em determinado momento o personagem Simplício levanta a seguinte questão sobre as demonstrações acerca das propriedades do movimento uniformemente variado, sendo prontamente respondido por Salviati:

“ Simplício: (...) estou plenamente convencido de que as coisas se passam assim, uma vez enunciada e aceita a definição do movimento uniformemente acelerado. Mas, se essa é a aceleração da qual se serve a natureza no movimento de queda dos graves, tenho no momento minhas dúvidas. Parece-me, pelo que diz respeito a mim e a outros que pensam como eu, que teria sido oportuno neste lugar apresentar uma das muitas experiências que, em diversos casos, concordam com as conclusões demonstradas.

Salviati: Como verdadeiro homem de ciência, sua exigência é muito razoável; pois é assim que convém proceder nas ciências, que aplicam as demonstrações matemáticas aos fenômenos naturais. (...) Pelo que se refere às experiências, o autor não deixou de fazê-las; e para assegurar-se de que a aceleração dos graves, que caem de modo natural, acontece na proporção acima afirmada, encontrei-me muitas vezes em sua companhia, procurando tal prova da seguinte maneira.

Numa ripa ou, melhor dito, numa viga de madeira com um comprimento aproximado de doze braças, uma largura de meia braça num lado a três dedos do outro, foi escavada uma canaleta neste lado menos largo com um pouco mais de um dedo de largura. No interior desta canaleta perfeitamente retilínea, para ficar bem polida e limpa, foi colada uma folha de pergaminho que era polida para ficar bem lisa; fazíamos descer por ele uma bola de bronze duríssima perfeitamente redonda e lisa. Uma vez construído o mencionado aparelho, ele era colocado numa posição inclinada, elevando-se sobre o horizonte uma de suas extremidades até a altura de uma ou duas braças, e se deixava descer a bola pela canaleta, anotando como exporei mais adiante o tempo que empregava para uma descida completa; repetindo esta experiência muitas vezes para determinar a quantidade de tempo, na qual nunca se encontrava uma diferença nem mesmo da décima parte de uma batida de pulso. Feita e estabelecida com precisão tal operação, fizemos descer a mesma bola apenas a quarta parte do comprimento total da canaleta; e, medido o tempo de queda, resultava ser rigorosamente igual a metade do outro. Variando a seguir a experiência e comparando o tempo requerido para percorrer todo o comprimento com o tempo requerido para percorrer a metade, ou dois terços ou três quartos, ou qualquer outra fração, por meio de experiências repetidas mais de cem vezes, sempre se encontrava que os espaços percorridos estavam entre si com os quadrados dos tempos e isso em todas as inclinações do plano, ou seja, da canaleta, pela qual se fazia descer a bola. Observamos também que os tempos de queda para as diferentes

inclinações mantinham exatamente entre si aquela proporção que, como veremos mais adiante, foi encontrada e demonstrada pelo autor. No que diz respeito à medida do tempo, empregávamos um grande recipiente cheio de água, suspenso no alto, o qual por um pequeno orifício feito no fundo, deixava cair um fino fio de água, que era recolhido num pequeno copo durante todo o tempo que a bola descia pela canaleta ou por suas partes. As quantidades de água assim recolhidas eram a cada vez pesadas com uma balança muito precisa, sendo as diferenças e proporções entre os pesos correspondentes às diferenças proporções entre os tempos; e isto com tal precisão que, como afirmei estas operações, muitas vezes repetidas, nunca diferiam de maneira significativa.

Simplício:Teria sido grande a satisfação em presenciar tais experiências; contudo, estando certo do seu zelo em efetuá-las e de sua fidelidade em relatá-las, não tenho escrúpulo em aceitá-las como verdadeiras e certas”.  
(GALILEI, 1988, p. 174-176).

O relato de Galileu é muito detalhado e nos parece bastante convincente. Mostra como ele usou sua criatividade para tentar superar a dificuldade de medir tempos em quedas livres verticais, traspondo a situação para uma bola rolando num plano inclinado. Segundo o relato, teria repetido inúmeras vezes o experimento num procedimento perfeitamente compatível com o método científico moderno, tentando eliminar os erros associados aos processos de medições.

Este experimento foi considerado como um dos dez experimentos científicos mais belos de todos os tempos, segundo pesquisa realizada pela revista *Physics World*<sup>3</sup> em Setembro de 2002.

Este fato sob nosso ponto de vista pode ajudar ainda mais na reprodução deste experimento em sala de aula, pois quando souberem que estão reproduzindo um experimento considerado tão importante, os alunos poderão ficar mais estimulados, querendo entender e seguir os passos de Galileu Galilei.

---

<sup>3</sup> A revista *Physics World* é uma publicação do instituto de física do Reino Unido (IOP).

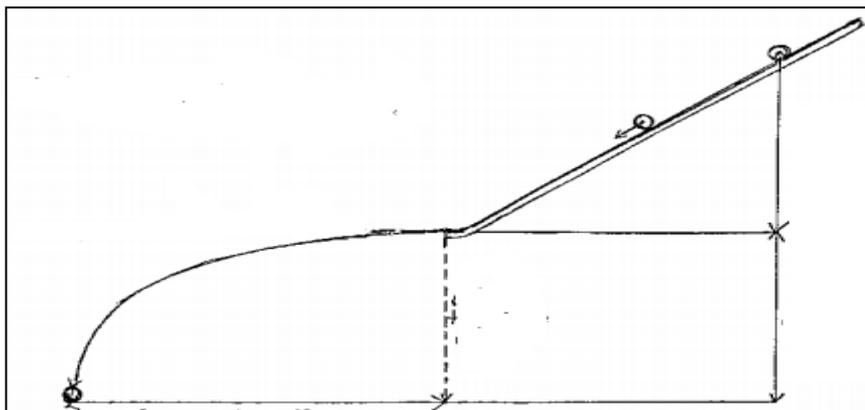
#### 4.3 A UTILIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS DE GALILEU NO ENSINO DE FÍSICA.

Atividades de cunho pedagógico com resultados positivos na aplicação dos experimentos de Galileu e suas adaptações vem sendo relatadas em alguns artigos e trabalhos acadêmicos dentro e fora do âmbito nacional. Os relatos dos trabalhos que utilizaram o experimento do plano inclinado e suas adaptações como ferramenta para o ensino de ciências apontam que os mesmos foram em grande parte enriquecedores e puderam ser explorados em diferentes circunstâncias com diferentes finalidades didático-pedagógicas no ensino de física, melhorando assim seu aproveitamento. Em seu artigo, Theichmann (1999) defende a utilização de um experimento atribuído a Galileu, bem similar ao experimento do plano inclinado com fins pedagógicos no ensino da mecânica.

Este experimento é baseado no estudo de uma folha manuscrita por Galileu no século XVII, que só veio a ser analisada no início de 1970. Essa folha ficou conhecida como folha 116.

O “experimento” contido na folha 116 consiste em fazer uma esfera rolar um plano inclinado, que possui ao final uma superfície defletora, fazendo a esfera seguir uma trajetória retilínea, sendo lançada horizontalmente. A figura 2 ilustra com mais clareza o experimento proposto:

Fig.2. Experimento Atribuído a Galileu.



Fonte: Adaptado de Theichmann, p. 127.

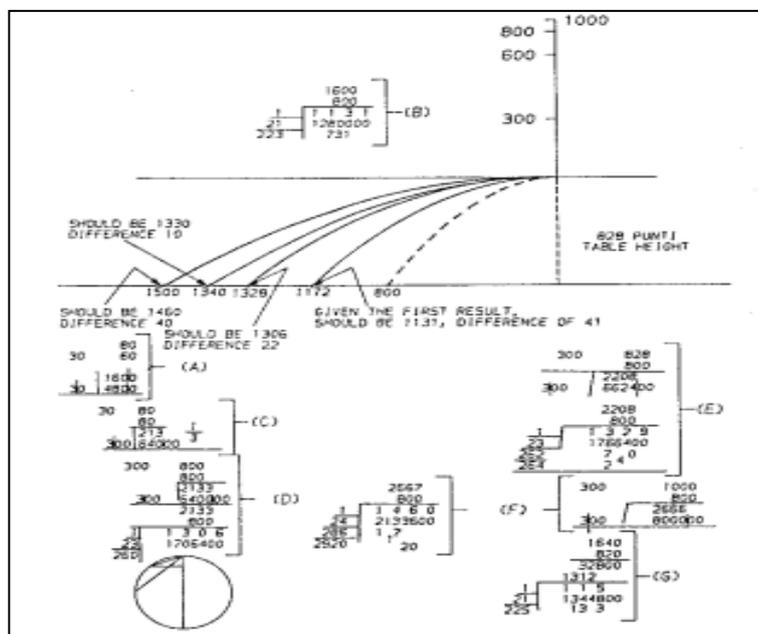
A análise deste documento histórico, ainda é motivo de enorme discussão no que tange se Galileu teria ou não realizado experimentos em sua atividade científica.

O manuscrito possui inúmeros valores, cálculos e desenhos, que segundo a interpretação de alguns historiadores, incluindo Stillmann Drake, indicam claramente a

adoção da prática experimental nos trabalhos galileanos. Na folha constam medidas e valores que Galileu poderia ter medido experimentalmente para comparar com possíveis valores teóricos calculados, porém existem outras interpretações. Outros historiadores justificam os valores na folha 116, a possíveis cálculos teóricos sem a necessidade de experimentos que os corroborem. É de se considerar que o argumento destes também tem sua validade.

A figura 3 foi reproduzida da transcrição da folha 116, encontrada em Theichmann (1999), para um melhor entendimento:

Figura 3. Transcrição da folha 116.



Fonte: Theichmann, 1999, p. 124.

A folha mostra o que seria um possível experimento que Galileu realizou. Temos diversos cálculos e valores anotados, que poderiam indicar as medidas experimentais obtidas por ele. Theichmann (1999) sugere, portanto, que a utilização deste experimento pode fazer com que os alunos se tornem grandes investigadores, e que possam tentar analisar os valores e descrições ali contidas, reproduzindo o experimento que teria sido proposto pelo grande físico.

Ao refazer uma adaptação do experimento com estudantes, o autor revela claramente que tal atividade pode ser utilizada como elemento motivador para a discussão da natureza epistemológica da ciência, ou seja, com a realização deste experimento os alunos tiveram melhor oportunidade de entender e questionar os processos que levam a elaboração do conhecimento científico, bem como a compreensão de conceitos de física.

Segundo Theichmann, os próprios paradoxos referentes ao trabalho de Galileu Galilei puderam servir de grande estímulo a este estudo. Um experimento simples como este pode despertar uma teia de considerações conceituais que vão desde questões filosóficas a questões de habilidades experimentais.

Os alunos fizeram medições e puderam comparar seus valores com os fornecidos pela teoria, bem como com os próprios valores atribuídos por Galileu na realização do experimento, sendo que os motivos das eventuais discrepâncias, que com certeza existirão, podem ser investigados e discutidos.

O que Galileu Galilei pretendia com a realização deste experimento? A que conclusões ele poderia ter chegado? Os valores experimentais que teriam sido obtidos por ele são passíveis de questionamento? Por que ele não discutiu seus resultados em algum tipo de comunidade científica da época? São questões que podem surgir na realização do experimento, e que devem ser utilizadas pelos professores, para encaminhar as discussões.

Ainda de acordo com o autor, o experimento veio fomentar a análise destas indagações e enriquecer sobremaneira a discussão sobre o processo de desenvolvimento de uma teoria científica, a elaboração de modelos, a habilidade experimental, sendo possível discutir ainda os aspectos que diferem os processos de fazer ciência no passado e fazer ciência na modernidade.

Concluimos assim que de acordo com Theichmann, é possível por meio da reprodução de um experimento clássico, e das devidas intervenções obter discussões muito ricas acerca do desenvolvimento científico, tornando as aulas de física mais dinâmicas e mais interessantes para os alunos como também para os professores.

Outro artigo de grande interesse foi apresentado na revista *Physics Education*<sup>4</sup>, e publicado por Straulino (2008). O artigo analisa a elaboração, a aplicação e os resultados de uma atividade utilizando uma reprodução adaptada do experimento do plano inclinado de Galileu. A atividade desenvolvida pelo autor foi realizada com jovens de catorze a dezoito anos no departamento de física da Universidade de Florença na Itália. O trabalho pretendia utilizar o experimento como estímulo à aprendizagem de conceitos físicos e questionar determinados aspectos do desenvolvimento científico.

Utilizando um plano inclinado (com cerca de metade do tamanho daquele utilizado por Galileu) e uma bureta com água, que serviria como medidor de tempo.

---

<sup>4</sup> A revista *Physics Education* é uma revista internacional de publicação do IOP ( Institute of Physics), voltada para todos os envolvidos com o ensino de física nas escolas e faculdades.

Straulino conseguiu junto com seus alunos mostrar dentro de uma margem de erro aceitável, que o movimento de descida de uma esfera metálica pelo plano inclinado obedece a lei matemática em que a distância percorrida pela esfera é proporcional ao quadrado do tempo de sua queda, que foi proposição feita por Galileu ainda no século XVII.

As figuras 4 e 5 mostram a montagem e os instrumentos de medida utilizados nesse trabalho:

Figura 4- Plano inclinado construído por Straulino.



Fonte: Straulino, 2008 p. 318.

Figura 5- A bureta utilizada como relógio.



Fonte: Straulino, 2008, p. 319.

A experiência se mostrou muito satisfatória e seus resultados interessantes, no que diz respeito a aprendizagem dos conceitos de física e história da ciência. Straulino sugere que a atividade pode fazer com que os alunos percebessem melhor o contexto histórico do experimento e o papel da experimentação no trabalho científico.

No caso de Galileu, pode-se explorar que ele teria elaborado um experimento para tentar responder alguns questionamentos que possuía sobre a queda dos corpos, confirmando ou não suas hipóteses iniciais. Outro aspecto motivador citado é o interesse dos alunos pela atividade da reprodução de um experimento clássico. Segundo o autor, seus alunos gostaram

de refazer os passos do grande cientista, participando ativamente do processo de elaboração e reprodução de seu grande experimento.

Aspectos da história da ciência ligados à biografia de Galileu puderam ser utilizados, propiciando uma visão mais humanizada do cientista e do próprio processo de se fazer ciência.

As medições envolvidas no experimento podem dar ainda sustentação à discussão do papel dos experimentos e das medições na física, suas incertezas, culminando até num possível tratamento matemático das mesmas, dependendo dos objetivos desejados. Em geral, o aluno de ensino médio desconhece o fato que uma medida não pode ser aferida com exata precisão e que existem incertezas a elas associadas.

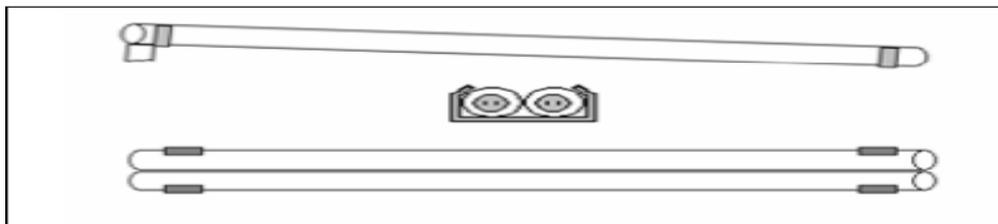
Pode-se concluir assim que o experimento realizado por Straulino (2008), também corrobora a ideia da reprodução do experimento galileano com resultados positivos de aplicação em sala de aula.

Em outro artigo, Neves et al (2008) mostram uma série de argumentos sobre a real possibilidade de Galileu ter realizado o experimento do plano inclinado, como também uma proposta de reprodução adaptada deste experimento para ser utilizada em sala de aula.

Os autores deste artigo construíram seu plano inclinado adaptado, utilizando materiais simples como lâmpadas fluorescentes, querendo demonstrar a real possibilidade de levar esta discussão para a sala de aula.

Eles uniram duas lâmpadas fluorescentes e assim faziam uma pequena esfera rolar na interface entre ambas, medindo seu tempo de queda. A figura 6, abaixo exemplifica melhor o procedimento por eles adotado.

Figura 6: Vista lateral, frontal e superior do experimento.



Fonte: Neves et al., 2008, p. 236.

Em sua adaptação do experimento, os autores fizeram a medição do tempo de rolamento da esfera com diversos instrumentos tais como um relógio d'água feito com uma garrafa pet que escoava água, através da medição do pulso cardíaco, utilizando um pêndulo

simples e acionando um cronômetro digital. Apesar de terem encontrados os melhores resultados com a medição feita com o cronômetro, eles mostraram que os outros métodos de medição também são compatíveis com a lei do quadrado dos tempos para a queda livre, embora de maneira aproximada.

Ainda de acordo com os autores, ao invés de ser um empecilho, as aproximações utilizadas no procedimento experimental como também suas limitações podem ser utilizadas para despertar o interesse e a criticidade em relação às medições físicas e as aproximações que podem acontecer em um modelo explicativo. É sugerido que os professores se utilizem destes elementos para enriquecer suas aulas, evocando principalmente o caráter epistemológico da ciência.

Conclui-se que o experimento proposto por Neves et al (2008), também foi bastante positivo e mostrou que a adaptação do experimento galileano pode ser utilizada em diferentes contextos, com resultados animadores para utilização no contexto educacional.

Acreditamos por fim que a análise dos artigos acima relacionados demonstra resultados positivos na aplicação dessas atividades por parte dos autores. Percebe-se que tais atividades com o correto direcionamento e que venham a utilizar experimentos clássicos de Galileu Galilei do plano inclinado ou adaptações deste, podem ser de grande valia na aprendizagem do processo de fazer ciência e que sendo assim a utilização desse experimento e suas adaptações pode vir a contribuir sobremaneira na melhoria do ensino de física e na aquisição das competências necessárias que o estudo desta disciplina deve propiciar, conforme citam os parâmetros curriculares nacionais.

## 5. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

### 5.1 A PESQUISA QUALITATIVA EM EDUCAÇÃO

A ampla utilização da pesquisa qualitativa em educação surgiu da percepção da existência de uma profunda relação de subjetividade entre o sujeito e o mundo. Este tipo de abordagem parte do pressuposto que qualquer pesquisa que objetive estudar o ser humano e suas relações com o mundo, não poderá se nortear unicamente por critérios quantitativos. Tão rica relação estabelecida entre o sujeito humano e o mundo, não é algo que seja possível de ser aferido com números.

Neste tipo de abordagem a interação entre o pesquisador e o ambiente de aplicação da pesquisa é de vital importância. É neste ambiente de rica interação, que surgirão as observações, os dados para seu estudo e suas conclusões a respeito do tema proposto.

De acordo com Ludke (1986), a pesquisa qualitativa pode apresentar cinco características básicas:

1. A pesquisa qualitativa tem o ambiente natural como sua fonte direta de dados e o pesquisador como seu principal instrumento. (p.11)
2. Os dados coletados são predominantemente descritivos. (p.12)
3. A preocupação com o processo é maior que com o produto. O interesse do pesquisador ao estudar um determinado problema é verificar como ele se manifesta nas atividades, nos procedimentos e nas interações cotidianas. (p.12)
4. O 'significado' que as pessoas dão às coisas e à sua vida são focos de atenção especial pelo pesquisador. (p.12)
5. A análise dos dados tende a seguir um processo indutivo. (p.13).

Partindo dos pressupostos acima mencionados que serão norteadores de nossa pesquisa, optamos por realizar um estudo de caso. O estudo de caso trata de estudar um caso singular, porém bem delimitado e que tenha seu arcabouço completamente estruturado ao longo do estudo.

Nosso estudo de caso contará então com a idealização e aplicação de uma sequência de atividades didáticas voltadas para o ensino de física, bem como análise e reflexão dos resultados que ela trouxer.

A observação direcionada será então uma das maneiras de colher dados para nossa pesquisa. A intenção do pesquisador é ser um participante observador.

O participante observador de acordo com Ludke (1986), não oculta completamente as suas intenções, porém revela apenas parte delas. A intenção é de não tentar causar bruscas mudanças no comportamento do grupo analisado.

Nossa observação utilizará diversos instrumentos descritivos tais como a caracterização dos sujeitos e do local envolvido na pesquisa, questionários de levantamento prévio e avaliação da atividade, o registro de um diário de bordo contendo informações e percepções detalhadas de todo o processo de pesquisa, além de registros fotográficos das atividades envolvidas, para que assim consigamos capturar da melhor maneira possível todos os aspectos que forem pertinentes à pesquisa, mas para que também possamos fazer uma rica análise e reflexão sobre o conteúdo destes registros e das situações ali descritas, avaliando a possibilidade de utilização da atividade proposta, bem como a necessidade de possíveis alterações e reformulações na mesma.

## 5.2 A ELABORAÇÃO DAS ATIVIDADES: A CONSTRUÇÃO DO PLANO INCLINADO E DAS SITUAÇÕES DE APRENDIZAGEM.

Optamos por confeccionar um plano inclinado, semelhante ao sugerido por Straulinno (2008). Utilizamos, porém dimensões diferentes das utilizadas no referido artigo, a fim de ser possível maior mobilidade do aparato experimental.

Foi necessária a ida a um marceneiro especializado para sua construção. Após acertado e mostrado fotos de como seria o protótipo do experimento o marceneiro o entregou em cerca de uma semana após a contratação do serviço.

Feito de madeira, ele possui 2,10 metros de comprimento e é apoiado numa base de sustentação. Devido ao sistema de encaixe entre o plano inclinado e a base de sustentação, a altura que este fica posicionado na vertical é totalmente regulável com o auxílio de uma presilha metálica ajustável, sendo que a sua altura inicia-se com dezoito centímetros de comprimento e pode ser aumentada em mais cinquenta centímetros.

A seguir temos a figura 7, que apresenta registros fotográficos do plano inclinado em diversos ângulos.

Figura 7- Plano inclinado visto de diferentes ângulos.



Deve-se notar que no encaixe existe um furo que pode ser atravessado por um parafuso, fixando o plano inclinado em inclinações cada vez maiores, se necessário.

A canaleta foi cavada nas dimensões suficientes para o rolamento de uma bola de bilhar. Escolhemos a bola de bilhar por ter uma superfície bastante lisa e polida.

Segundo pesquisa realizada nas lojas especializadas, existem no mercado dois possíveis tamanhos de bola de bilhar, uma um pouco maior e outra ligeiramente menor como vemos na figura 8, sendo que ambos os tamanhos são possíveis de serem utilizados neste plano inclinado após testes realizados no mesmo. A figura 8 mostra as bolas de bilhar utilizadas no experimento.

Figura 8: Bolas de bilhar utilizadas no experimento



A Figura 9 nos mostra o sistema de deslizamento da bola no plano inclinado.

Fig. 9: Bola de bilhar deslizando o plano inclinado.

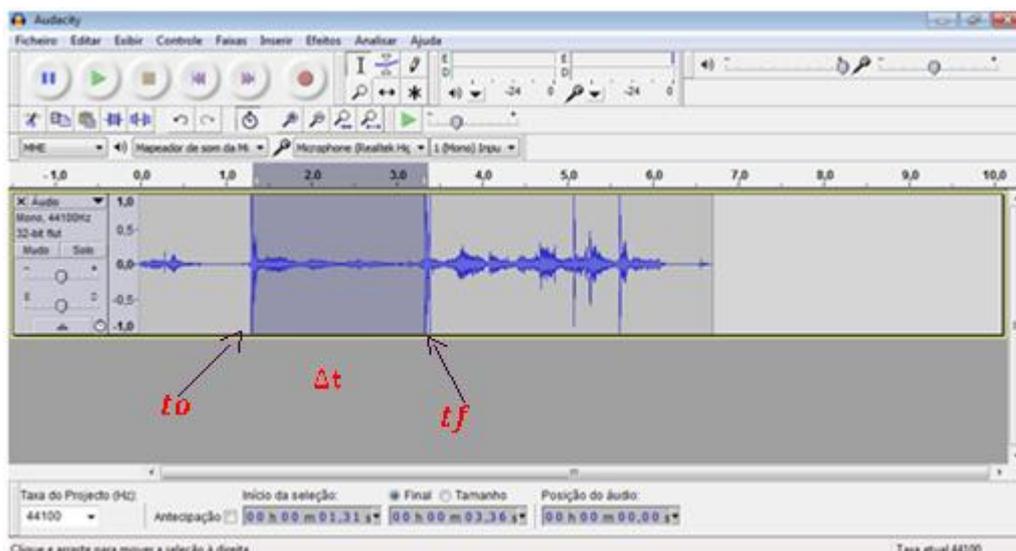


O próximo passo seria então realizar o experimento no plano inclinado. O objetivo do experimento é medir os deslocamentos efetuados pela(s) bola(s) de bilhar e seu(s) respectivo(s) tempo(s) de queda, tentando descobrir se o movimento no plano inclinado corresponde a um movimento uniformemente variado ou não.

É necessário selecionar instrumentos para medição de distância e de tempo. Quanto ao instrumento de medição de tempo, selecionamos o software de edição de áudio Audacity<sup>5</sup>, que é distribuído gratuitamente na grande rede mundial.

Utilizamos o procedimento sugerido por Aguiar (2011), que utiliza o microfone do computador para captar a onda sonora e registrá-la sob a forma de pulsos neste software. A figura 10 abaixo mostra o layout do programa Audacity em execução.

Figura 10: Medição de tempo entre dois ruídos consecutivos utilizando o software Audacity.



O primeiro pulso representa um primeiro ruído, e o segundo pulso um segundo ruído, ambos captados pelo próprio microfone interno do netbook Samsung modelo N150-JP01BR que foi utilizado no experimento.

Um cronômetro progressivo está presente no software, e mede os instantes de tempo iniciais e finais referentes à criação de ambos os ruídos. Como vemos na figura, o tempo inicial marcado para o primeiro ruído foi de 1,31s e o tempo final 3,36s. O intervalo de tempo transcorrido entre esses acontecimentos de foi de 2,05s.

Podemos assim calcular com bastante precisão que pode ser ajustada para décimos ou centésimos de segundos o intervalo de tempo entre acontecimentos que emitam sons, mesmo que estes ocorram muito próximos uns dos outros, devido a grande precisão fornecida pelo software.

Para gerar o som necessário nos instantes iniciais e finais do movimento da bola de bilhar, utilizamos o seguinte procedimento: elevamos suavemente a bola de bilhar no topo do plano inclinado, e a soltamos levemente na canaleta, gerando o ruído inicial. Já para o segundo ruído, utilizamos um anteparo qualquer para deter a bola em seu movimento, desde que o choque gere um novo ruído que possa ser captado. Experimentalmente descobrimos que podemos utilizar um anteparo metálico, ou de madeira.

A realização do experimento foi feita anteriormente por nós, e possibilitou elaborar de maneira mais adequada as situações de aprendizagem que aplicamos aos alunos, visto que tentamos vislumbrar antecipadamente algumas das dificuldades e limitações que a mesma poderia apresentar durante o decorrer de sua aplicação.

Dividimos um trecho do plano inclinado em oito partes iguais de 25 cm cada uma. Consideramos para a medição, o tempo que a parte frontal da esfera leva para percorrer as distâncias de 25 cm, 50 cm, 75 cm, 100cm, 125cm, 150cm,175cm e 200cm, respectivamente. Nossa intenção é medir o tempo que a esfera leva para percorrer referidas distâncias e encontrar uma relação matemática entre as distâncias percorridas e os tempos gastos para percorrê-las.

Decidimos por bem estimar a incerteza na precisão do tempo utilizando o software Audacity como sendo 0,03s, pois na leitura do tempo que efetuamos utilizando o mesmo, qualquer mínima variação da posição do cronômetro gerava uma variação de cerca de 0,03s no tempo medido. O instrumento de medida do deslocamento foi uma régua cuja menor divisão é 1mm.

Utilizamos, porém, uma incerteza no valor de 0,5cm, que é maior que a metade da menor divisão da escala, devido ao deslocamento do anteparo ao se chocar com a bola de

de bilhar e a impossibilidade de mantê-lo perfeitamente nesta mesma posição durante o choque. No quadro 2 estão os resultados encontrados em nosso experimento do plano inclinado:

Quadro 2: Valores encontrados no experimento do plano inclinado.

Tempo gasto	Distância percorrida
1,05±0,03s	25,0cm ±0,5cm
1,49±0,03s	50,0,0cm ±0,5cm
1,80±0,03s	75,0cm ±0,5cm
2,09±0,03s	100,0cm ±0,5cm
2,39±0,03s	125,0cm ±0,5cm
2,63±0,03s	150,0cm ±0,5cm
2,82±0,03s	175,0cm ±0,5cm
3,01±0,03s	200,0cm ±0,5cm

Sabemos que num movimento uniformemente variado, com velocidade inicial igual a zero, a distância percorrida é proporcional ao quadrado do tempo gasto para percorrê-la, obedecendo a lei matemática  $S = k \cdot t^2$ , onde  $S$  é a distância percorrida,  $t$  o tempo gasto e  $k$ , uma constante que depende do tipo de movimento, conforme Galileu demonstrou em seu livro *Diálogo Sobre Duas Novas Ciências*, utilizando porém argumentos geométricos.

Nosso objetivo foi tentar reproduzir de forma moderna os procedimentos adotados por Galileu na elaboração da hipótese que o movimento no plano inclinado, quando consideramos pequenas inclinações é do tipo uniformemente variado. Tentamos então verificar se as distâncias percorridas pela bola de bilhar são proporcionais ao quadrado do tempo gasto para percorrê-las durante todo o trajeto do plano inclinado.

O nosso objetivo foi, então, tentar medir se quando dividíamos o deslocamento pelo quadrado do tempo gasto, sempre encontraríamos a mesma constante, como assim teríamos se o movimento for do tipo retilíneo uniformemente variado:

$$\frac{\Delta s_1}{\Delta t_1^2} = \frac{\Delta s_2}{\Delta t_2^2} = \frac{\Delta s_3}{\Delta t_3^2} = \frac{\Delta s_4}{\Delta t_4^2} = k \quad (10)$$

Elaborarmos um quadro, e encontrarmos as incertezas da grandeza  $k$ , utilizamos os elementos da teoria de propagação de erros conforme mencionados em Fraganito e Cruz (1997).

O objetivo é obter um valor experimental para a constante  $k$  obtida pela divisão do deslocamento realizado pelo quadrado do tempo gasto.

A constante  $k$  depende do deslocamento efetuado e do tempo gasto, ou seja,  $k$  é uma função do tempo e do deslocamento. Temos assim  $k(S,t)$ . Como toda medição possui uma incerteza associada, e temos duas grandezas distintas precisamos utilizar a propagação de erros para achar a incerteza no valor da constante  $k$ .

Com os valores das incertezas das medidas de tempo ( $\Delta\bar{T}$ ) e das incertezas das medidas do deslocamento ( $\Delta\bar{S}$ ), obtemos a incerteza da grandeza  $k$  utilizando a expressão abaixo, que se trata uma função para cálculo de incerteza combinada:

$$\Delta\bar{k} = \sqrt{\left(\frac{\partial k}{\partial T}\right)^2 \cdot (\Delta\bar{T})^2 + \left(\frac{\partial k}{\partial S}\right)^2 \cdot (\Delta\bar{S})^2} \quad (11)$$

Temos que  $k = \frac{S}{T^2}$ , aplicando na função obtemos:

$$\Delta\bar{k} = \sqrt{\frac{4S^2}{T^6} \cdot \Delta\bar{T}^2 + \frac{1}{T^4} \cdot (\Delta\bar{S})^2} \quad (12)$$

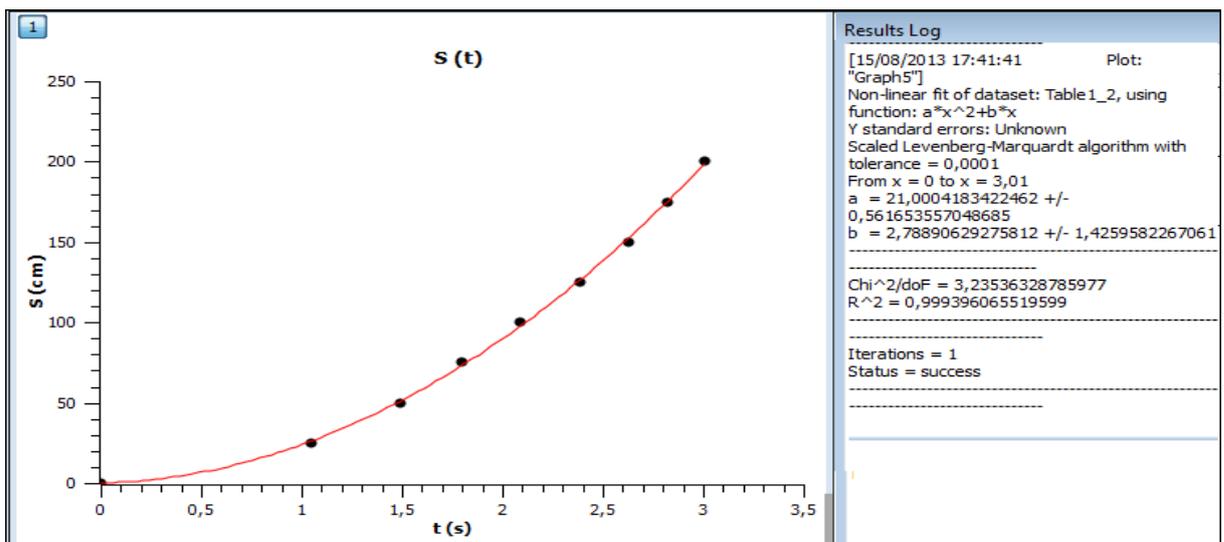
Aplicando a Equação 12, encontrada em Fraganito e Cruz (1997), e utilizando uma planilha eletrônica, encontramos os valores de  $k$  e  $\Delta\bar{k}$ , que se encontram no quadro 3. Podemos observar que dentro dos limites experimentais a constante  $k$  se manteve constante durante o movimento ao longo do plano inclinado, o que corrobora nossa hipótese que este movimento pode ser considerado como um movimento uniformemente variado. É interessante relatar que Galileu se preocupava com as incertezas e segundo relato de seu livro, repetia inúmeras vezes o experimento encontrando, diminuindo assim as incertezas relativas as medições realizadas.

Quadro 3: Medidas efetuadas e valores encontrados para as grandezas derivadas no experimento do plano inclinado.

Tempo	Deslocamento					
T(s)	S(cm)	T <sup>2</sup>	k = S/T <sup>2</sup>	incerteza S	incerteza T	incerteza k (cm/s <sup>2</sup> )
1,05	25,0	1,10	22,68	0,05	0,03	0,92
1,49	50,0	2,22	22,52	0,05	0,03	0,64
1,80	75,0	3,24	23,15	0,05	0,03	0,55
2,09	100,0	4,37	22,89	0,05	0,03	0,46
2,39	125,0	5,71	21,88	0,05	0,03	0,39
2,63	150,0	6,92	21,69	0,05	0,03	0,35
2,82	175,0	7,95	22,01	0,05	0,03	0,33
3,01	200,0	9,06	22,07	0,05	0,03	0,31

Fizemos ainda a análise gráfica deste movimento plotando um gráfico da posição da esfera em função do tempo, utilizando o software de análise gráfica Scydavis<sup>6</sup>, também disponibilizado gratuitamente na grande rede de computadores.

Figura 11 – Exemplo de tela em que se gera o gráfico da posição em função do tempo.



<sup>6</sup> Software de edição e análise de áudio, é distribuído de forma gratuita no seguinte endereço eletrônico:

<http://audacty.sourceforge.net>.

Percebemos que o gráfico apresenta um bom ajuste quando associado a um polinômio do segundo grau, o que corrobora nossa hipótese da dependência quadrática da posição em função do tempo, como já tínhamos visto anteriormente.

Podemos assim reafirmar agora por meio de uma análise gráfica que o movimento no plano inclinado pode ser considerado como um movimento uniformemente variado, obedecendo à lei que a distância percorrida é proporcional ao quadrado do tempo gasto para percorrê-la.

Não encontramos grandes problemas nas medições. O uso do software Audacity facilita a medição do tempo e diminui significativamente a incerteza associada ao processo de medição, principalmente a incerteza relativa à medição do tempo.

Na realização do experimento do plano inclinado, concluímos que os processos de medição são simples e de fácil execução, assim acreditamos que os alunos não encontrarão grandes dificuldades em reproduzir este experimento, e terão plenas condições de realizá-lo dentro das perspectivas previstas no projeto.

### 5.3 A ESCOLA

Todo nosso projeto foi desenvolvido na escola estadual de São Paulo, onde ministro aulas como professor efetivo desde 2008. Os alunos participantes fazem parte de algumas das segundas e terceiras séries do ensino médio desta instituição.

A Escola Estadual São Paulo, originalmente denominada Ginásio do Estado de São Paulo, é uma tradicional escola pública brasileira, administrada pela Secretaria da Educação do Estado de São Paulo e localizada no centro da capital paulista, junto ao Parque Dom Pedro II. Fundada em 1894, e possui grande importância na história do ensino público no estado.

Foi o primeiro ginásio instalado na cidade de São Paulo e, por muito tempo, referência nacional no ensino secundário, tendo sido responsável pela formação de um grande contingente de líderes políticos, intelectuais, cientistas e empresários de destaque na sociedade brasileira. O ingresso, como nos demais ginásios do estado, deu-se por muitas décadas por meio de concurso.

Segundo informações da fundação Mário Covas, obtidas na rede mundial de computadores, a escola ocupou diversas instalações, entre elas o edifício da Pinacoteca do Estado, e sofreu mudanças substanciais em sua metodologia, em função das diversas adaptações do ensino público registradas no país a partir da década de 1960. Atualmente,

oferece ensino fundamental e médio a aproximadamente 2700 estudantes, distribuídos por 72 classes nos períodos matutino, vespertino e noturno.

É interessante ressaltar ainda que a Escola estadual de São Paulo, não é uma escola exclusiva de alunos da comunidade local. A escola abriga alunos oriundos de diversas áreas da cidade de São Paulo, em especial alunos vindos da zona leste da cidade. O acesso é facilitado, em virtude da escola está localizada ao lado da estação Pedro II do metrô paulistano. O perfil do alunado vem sendo modificado a partir de 2012, quando o governo do estado de São Paulo implantou o sistema de matrícula eletrônica, onde o aluno é matriculado automaticamente de acordo com seu código de endereçamento postal (Cep).

Figura 12. Foto da fachada da Escola Estadual de São Paulo



A escola é dividida em dois grandes blocos, possui quadra de esportes e um grande teatro, onde acontecem apresentações, eventos e atividades realizadas pelos alunos.

Os laboratórios de física e química existem, porém possuem poucos instrumentos e a maioria está em péssimo estado de conservação. Sendo que o espaço físico dos mesmos não comporta uma sala com 35 alunos, como temos atualmente, o que acaba dificultando sua utilização.

#### 5.4 O PÚBLICO ALVO DA PESQUISA: ALUNOS DO ENSINO MÉDIO PÚBLICO.

A ideia inicial do projeto era aplicar a atividade em sala de aula regular, com a participação de todos os alunos do ensino médio do período matutino, compondo um total de doze turmas. Porém, percebi a inviabilidade de tal intuito. Devido a alguns aspectos relativos à atividade e também devido a aspectos de ordem administrativa, a ideia inicial necessitou ser modificada. Entre os principais empecilhos encontrados citamos o grande número de alunos em sala de aula (cerca de trinta e cinco alunos por sala), bem como o tempo disponível para a

atividade na escola, que é insuficiente para sua realização. No Estado de São Paulo têm-se duas aulas de física semanais com cerca de cinquenta minutos cada. Existe a necessidade da movimentação de alunos para a troca de aulas, e também ainda a necessidade de se fazer uma chamada oral para verificar a presença ou ausência dos alunos e organizar a sala antes do início da aula, o que sem dúvida diminui seu tempo útil. Outro empecilho é a necessidade da reprodução em larga escala de cópias das situações de aprendizagem, pois pela quantidade de alunos, são necessárias muitas cópias, sendo que a escola não tem como arcar com este custo, e é proibida na legislação vigente a cobrança de qualquer valor para realização de atividades no ensino público.

Como a atividade requeria tempo, e possui caráter investigativo, optei por elaborá-la como uma atividade extracurricular e de caráter optativo, para alunos que se interessarem pela mesma. A opção inicial foi trabalhar com um grupo que tivesse cerca de dez alunos. Nas salas de aula que leciono, comentei sucintamente sobre o projeto e minha proposta de trabalhar com experimentos, perguntando nestas salas se havia alguém com interesse em participar. Anotei então os nomes dos interessados, e posteriormente fui conversar com cada aluno para verificar suas disponibilidades de horários para a realização da atividade. Houve cerca de trinta alunos interessados, de um total de 510 alunos, sem que a participação no projeto estivesse vinculada a alguma nota na disciplina regular de Física. Isto foi importante sob nosso ponto de vista para demonstrar o real interesse do aluno em realizar a atividade.

A atividade seria realizada após as aulas regulares, no horário vespertino. Destes trinta interessados, vinte tinham disponibilidade de horário no período escolhido para realizar a atividade. Selecionei através de sorteio inicialmente treze nomes. Os demais poderiam participar da atividade que poderia ser repetida posteriormente ao longo do ano. Limitei a treze pessoas, pela ausência de espaço físico na escola para a condução das atividades, visto que todas as salas de aula são utilizadas ao mesmo tempo nos períodos matutino e vespertino. Não existe sala de aula ociosa na escola. No anexo A, temos o questionário que utilizamos para catalogar o perfil dos alunos selecionados, tabelando dados de interesses e atividades que realizam fora da Escola Estadual de São Paulo, caracterizando estes estudantes e criando um perfil de identificação deste grupo de treze alunos inicialmente analisado.

##### 5.5 AS DIFICULDADES DO ESTUDO DE CASO DAS SITUAÇÕES DE APRENDIZAGEM.

Os alunos da escola E.E de São Paulo, não possuem o hábito de realizar atividades experimentais, o que sem dúvida poderia dificultar imensamente a aplicação das mesmas. O

laboratório se encontra com pouca quantidade de material, e este está em mal estado de conservação. O número de alunos por sala também é um impeditivo para sua utilização, visto que o espaço não comporta esta quantidade de alunos de uma única vez. Também não existem profissionais que possam preparar os experimentos, o que caberia ao professor fazer antes do horário das aulas sem nenhum tipo de remuneração para isso, ou tendo que chegar bem mais cedo, o que acaba se tornando inviável. Os experimentos que realizamos são em sua maioria de caráter demonstrativo, utilizando materiais de baixo custo na própria sala de aula.

Como estes alunos não estão acostumados a manipular equipamentos ou adotar qualquer tipo de prática experimental, poderiam sentir bastante dificuldade em relação à elaboração de hipóteses e com o processo experimental de modo geral, que seria um dos objetivos de nosso projeto.

Decidimos então, se necessário, elaborar situações de aprendizagem preparatórias para que estes adquiram certa prática na manipulação de experimentos e na elaboração de hipóteses, deixando o experimento do plano inclinado como uma atividade final de todo este processo. Tais situações de aprendizagem serão descritas e detalhadas mais adiante.

As atividades tiveram início em meados de Novembro de 2011. Os alunos assistiriam normalmente às aulas no período matutino e uma vez por semana, participariam da atividade no período vespertino, que tinha previsão de uma hora de duração. Devido às férias escolares, que começam no início do mês de Dezembro, tive de reiniciar a atividade no ano seguinte, com o retorno do ano letivo.

A maioria dos alunos que iniciaram o projeto em Novembro de 2011, estavam matriculados na segunda série do ensino médio, e acabaram desistindo de retornar ao projeto no início de 2012, pois assumiram novos compromissos no horário vespertino, como cursinhos pré-vestibulares e atividades remuneradas que os impediriam de retornar a participação no projeto. Dos treze inicialmente inscritos, restaram em 2012 apenas sete alunos. Um destes sete começou a fazer um curso no período da tarde, e não chegou a concluir todas as atividades, realizando-as apenas parcialmente. Do total de treze alunos inicialmente participantes, apenas seis conseguiram concluir todas as atividades previstas.

Pensamos em convocar os demais alunos que não haviam sido selecionados inicialmente para aumentar o grupo, porém alguns problemas começaram a surgir. Existiria um descompasso entre o ritmo dos que já haviam iniciado as atividades e os que começariam a fazê-la. A disponibilidade de dias e horários destes novos alunos também foi um impeditivo, visto que cada um tinha uma diferente disponibilidade.

Outro fator que atrapalhou o andamento das atividades foi o fato de existir muitos feriados nas datas da atividade, e a aplicação de avaliações internas e externas também ocorreram, onde os alunos são dispensados mais cedo caso terminem tais avaliações, o que impossibilitou muitas vezes a realização das atividades nos dias previstos, pois se o aluno terminasse suas provas às 10h da manhã, fica inviável esperar até as 13h para a realização da atividade, o que acabou prolongando a mesma além dos limites de tempo inicialmente estabelecidos. Esporadicamente alguns alunos faltavam, e houve então a necessidade destes reporem a atividade perdida num outro dia de sua disponibilidade, evitando descompassos entre eles.

Embora tenhamos trabalhado com um grupo reduzido de alunos, foi possível sob nosso ponto de vista um melhor aproveitamento da atividade, um maior entrosamento entre eles, e minha observação das atividades acabou sendo mais próxima. Mesmo sendo um grupo pequeno, acredito que os objetivos gerais da atividade não foram prejudicados e puderam ser contemplados.

#### 5.6 APLICAÇÃO DO LEVANTAMENTO PRÉVIO.

Decidimos aplicar um levantamento prévio, ou seja, um conjunto de questões que pretendiam identificar alguns dos conhecimentos prévios e possíveis concepções espontâneas dos alunos em relação aos conceitos que seriam abordados durante as atividades, para tentar captar posteriormente as possíveis mudanças nas concepções desses alunos acerca destes mesmos conceitos. Optamos por realizar um levantamento prévio bem sucinto, que pudesse levantar questões fundamentais. No anexo B deste trabalho, seguem todas as respostas dadas pelos alunos as questões deste levantamento. Abaixo, temos as quatro questões utilizadas e uma breve discussão sobre as mesmas em relação às respostas fornecidas pelos estudantes, que foram aleatoriamente identificados por números de 1 a 13.

#### QUESTÕES UTILIZADAS NO LEVANTAMENTO PRÉVIO:

*P1. Segundo Aristóteles os corpos tendem ao seu lugar natural que é o solo. Os corpos “mais pesados” tendem a chegar mais rapidamente ao chão, pois tendem com mais urgência retornar ao seu lugar natural. Segundo ele, corpos “mais pesados” caem mais rapidamente que corpos “mais leves”. Você concorda com Aristóteles?*

*P2. Temos duas folhas de papel exatamente iguais. Você sabe explicar porque uma folha de papel amassada em formato de bolinha cai mais rápido do que em uma folha aberta? E porque ao amassarmos ambas, elas caem praticamente juntas?*

*P3. Quando um objeto cai na superfície da Terra, você acredita que ela caia sempre com a mesma velocidade ou sua velocidade aumenta com o tempo de queda?*

*P4. O que significa dizer que a aceleração gravitacional é de  $9,8\text{m/s}^2$ ?*

Deve-se ressaltar, conforme consta no anexo B, que não foram efetuadas correções ortográficas ou de qualquer gênero na escrita dos alunos, sendo que foram transcritas de modo o mais fiel possível.

Em relação à primeira pergunta ( P1), percebemos que alguns dos alunos já possuem uma noção sobre o conceito de tempo de queda dos corpos e sua independência em relação à massa do objeto. Alguns alunos deste grupo estavam estudando este assunto no mesmo momento da atividade em suas salas de ensino médio regular, o que pode ter facilitado suas respostas neste momento. Outros deram respostas distintas e explicações diferentes, sendo que o aluno 2 se equivocou bastante em sua explicação e atribuiu ao ar uma influência sobre a gravidade. Já o aluno 6, ainda apresenta uma concepção aristotélica sobre a queda dos corpos, atribuindo uma dependência da massa em relação ao tempo de queda dos objetos. Os alunos 7, 8 e 10 citam corretamente a existência de forças distintas e, portanto, uma justificativa correta do tempo de queda ser o mesmo para ambos os corpos. Segundo estes alunos, quanto maior o “peso” do objeto maior força a gravidade exerce. O aluno 11 escreveu uma resposta completamente desconexa. O aluno 13 cita a interferência do ar, mas ainda acredita que a força gravitacional seja a mesma para todos os corpos.

Inicialmente eles tentavam em todos os momentos observar as respostas dos demais, para tentar compará-las. Percebendo isso, eu pedi que eles interrompessem a atividade e intervi explicando que não havia importância sobre o fato das respostas estarem corretas ou não, que apenas queria que eles respondessem segundo suas próprias ideias, e que durante as atividades estas perguntas poderiam ser respondidas de forma mais adequada. A atividade não valeria uma nota, mas sim uma oportunidade para que aprendessem um pouco mais sobre física. Assim eles se sentiram mais tranquilos para responder as questões, e desta forma se propuseram a continuar a atividade sem observar as respostas dos demais.

Na segunda pergunta (P2), todos os alunos parecem reconhecer a existência e a influencia do ar no movimento de queda da folha de papel aberta. Os alunos 3, 4 e 5 citam

ainda a concentração de moléculas de ar em regiões diferentes nas folhas abertas e amassadas, e atribuindo a este fato o maior ou menor tempo de queda dos corpos em questão. Com exceção do aluno 11, que não cita nada a respeito, todos parecem concordar que o ar exerce influência na queda dos objetos citados.

Na terceira pergunta (P3), os alunos 4, 5 e 12 acreditam que os objetos caem na superfície da Terra com a mesma velocidade, já os demais com exceção do aluno 11, que ofereceu uma resposta desconexa acreditam que a velocidade muda com o passar do tempo, mas não citando nenhum aspecto particular dessa mudança, a não ser os alunos 9 e 10. O aluno 9 cita um aumento gradativo da velocidade a cada segundo de queda, já o aluno 10 cita ainda que a velocidade aumenta com a proximidade do centro da Terra.

A quarta pergunta (P4), apresentou grande dificuldade aos alunos, mesmo alguns já estando no segundo ano do ensino médio. Os alunos 1 e 11 deixaram em branco a questão. Os alunos 2, 6 e 8, disseram não saber a resposta e os demais que tentaram responder, confundem a grandeza aceleração com as grandezas força ou velocidade.

Tendo em vista o resultado do levantamento prévio, identifiquei que alguns destes alunos ainda possuem uma visão aristotélica sobre a queda dos corpos, e a maioria ainda não reconhece que a queda livre se trata de um movimento acelerado, e tampouco conseguem definir o conceito de aceleração. Isto me pareceu bastante preocupante, visto que a atividade requer realizar estudos sobre a aceleração da gravidade terrestre.

A ideia então foi realmente reprogramar a atividade, e realizar atividades complementares, que visassem retomar alguns conceitos fundamentais de física e ao mesmo tempo habituar esses alunos com alguns procedimentos experimentais simples, antes da aplicação do experimento do plano inclinado de Galileu, objetivando assim um melhor aproveitamento do mesmo.

## 6. A ELABORAÇÃO DAS SITUAÇÕES DE APRENDIZAGEM.

Tentamos elaborar as situações de aprendizagem complementares segundo os princípios da prática de laboratório mais investigativo. Tomamos o cuidado de perceber que estes alunos ainda se encontram num patamar em que ainda não podem ser totalmente independentes em sua investigação acerca dos fenômenos físicos, e seguindo a classificação utilizada por BORGES (2002), optamos por utilizar atividades de nível de investigação de nível 0, nível 1 e nível 2, caso seja possível.

Essas situações de aprendizagem foram elaboradas tentando sempre que possível utilizar experimentos que pudessem elucidar os fenômenos envolvidos, bem como instigar um processo de investigação por conta dos alunos. Foram ao todo elaboradas cinco situações de aprendizagem. Sendo que três eram atividades complementares e as duas últimas se referiam diretamente ao experimento do plano inclinado de Galileu Galilei.

Faremos a descrição e uma breve discussão das três primeiras atividades complementares, e em seguida daremos ênfase às duas últimas atividades envolvendo o plano inclinado, que são o foco principal deste trabalho.

### 6.1 DISCUSSÃO DA SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 1.

A primeira atividade complementar pretende trabalhar com os alunos os conceitos de velocidade média, e também habituá-los com o uso do software Audacity, que será utilizado posteriormente como cronômetro no experimento do plano inclinado.

A atividade consistia no procedimento descrito por Aguiar (2011), para a medição da velocidade média adquirida por uma bola de futebol ao ser chutada.

Tentamos com a atividade familiarizar os alunos com os processos de medição de distância, e principalmente de tempos muito curtos com o uso da tecnologia propiciada pelo referido software. Realizaram esta atividade nove alunos dos treze inicialmente selecionados, os demais faltaram.

No Anexo C, temos a situação de aprendizagem 1 utilizada na atividade. Abaixo discutimos os resultados de sua aplicação:

Os alunos inicialmente sentiram muita dificuldade em entender a proposta da atividade, mesmo sabendo como calcular a velocidade média algebricamente por meio da equação que aprenderam durante o ensino médio. Inicialmente não conseguiam elaborar um procedimento experimental para medir esta velocidade. Percebe-se que embora eles

possuísem o conceito de velocidade média, tinham dificuldade em aplicá-lo a uma situação prática em seu cotidiano, como pedia a atividade 1. Este fato pode ao menos parcialmente ser explicado como uma provável consequência de posturas mais tradicionais de ensino, que desvinculam a física como ferramenta para resolver situações práticas na vida cotidiana do aluno.

Para a realização da atividade, eu separei réguas de madeira com comprimento de um metro, disponíveis na sala dos professores da escola, trouxe meu netbook pessoal que possui o software Audacity instalado e consegui uma bola de futebol com uma professora de educação física da escola.

Propus a atividade, perguntando se alguém sabia dizer como poderíamos fazer para medir a velocidade adquirida por uma bola de futebol ao ser chutada. Eles inicialmente alegavam que não sabiam realizar tal medição. Antes de lhes entregar a folha com a situação de aprendizagem 1, eu lhes perguntei o que era necessário para medirmos a velocidade média de um objeto, independente de ser uma bola ou um carro. Eles disseram que seria necessário medir “ $\Delta S$ ” e “ $\Delta t$ ”. Eu lhes mostrei uma régua de madeira que havia trazido, dizendo a eles que esta possui um metro de comprimento. Perguntei em seguida, como eles poderiam medir o tempo de um acontecimento. Um deles disse que poderiam usar um cronômetro de celular.

Foi então que depois de algum tempo um dos alunos percebeu que seria necessário medir uma distância, a distância que a bola percorre, e o tempo que ela levou para percorrer esta mesma distância.

Perguntei se no caso de uma bola em alta velocidade, poderíamos usar um cronômetro como instrumento de medição. A maioria disse que sim, porém alguns acreditavam que não, pois segundo estes o chute seria muito rápido e o tempo para acionar o botão poderia não ser suficiente.

Pedi que refletissem sobre o assunto. Houve então um impasse: alguns acreditavam que o cronômetro poderia ser utilizado na medição e outros achavam que não era possível sua utilização.

Foi então que resolvi apresentar-lhes o software Audacity e mostrei seu funcionamento. Fiz a apresentação do software por meio de um projetor ligado ao meu netbook, numa sala que estava disponível neste dia. Efetuei duas batidas de palmas, e eles perceberam que o software captava o som, transformando-os em pulsos na tela de projeção. Um dos alunos achou incrível a engenhosidade do software, e após uma breve discussão eles decidiram que poderiam utilizá-lo para medir o tempo do chute da bola de futebol, com uma precisão melhor do que a fornecida pelo cronômetro do telefone celular. Sabendo que

deveriam medir as grandezas distância e tempo, e com os instrumentos em mãos, eles deveriam agora elaborar o procedimento que iriam adotar na medição, escrevendo-o no texto de suas situações de aprendizagem que foram entregues em seguida.

Os alunos foram separados em grupos de dois ou três componentes. A discussão se tornou polêmica em relação a qual distância deveriam tomar para efetuar a medição. Alguns alegaram que quanto maior a distância mais fácil seria medir o tempo do movimento da bola. Outros achavam que a distância deveria ser pequena, pois o software possuía uma excelente precisão, conforme demonstrado. Visto que havia um novo impasse, resolvi questioná-los se a trajetória adotada pela bola influenciaria alguma coisa. Eles imediatamente não entenderam a questão, mas algum tempo depois disseram que se a distância fosse grande a bola poderia “curvar” e não mais ir em linha reta. Alguns citaram o atrito com o chão, como agente que iria reduzindo a velocidade da bola, sendo isto também um impeditivo para a adoção de grandes distâncias, já que mudaria muito a velocidade da bola.

Sugeri que eles fizessem testes. Após chutar de diferentes distâncias e verificar a trajetória seguida pela bola, eles resolveram usar em seu experimento uma distância equivalente a duas régua. Esta distância não seria nem tão pequena, nem tão grande a ponto de mudar demais a trajetória da bola. Isto seria equivalente então a uma distância de dois metros de comprimento, já que a régua possui um metro de comprimento.

Questionei ainda como eles teriam certeza que a bola seguiria a trajetória mais reta possível. Após pensarem um deles resolveu utilizar um papel de bala junto à parede como marcador. Após alguns chutes eles mesmos perceberam que com o movimento da bola este papel acabava deslocando-se. Daí, eles resolveram então utilizar um pedaço de giz para marcar a trajetória. Com o uso de um pedaço de giz, o grupo fez um risco no chão e uma espécie de alvo na parede, onde deveriam acertar a bola.

Utilizei ainda um microfone com fio ligado ao computador, pelo fato deste conseguir ficar próximo à bola e facilitar a captação do som, evitando então que o computador tivesse que ficar tão próximo à bola, e correr o risco de sofrer algum tipo de avaria.

Nas primeiras medições eu os ajudei, eles ainda não estavam acostumados com o software Audacity, porém logo eles se familiarizaram com o mesmo, e efetuaram as medidas seguintes. Eles apenas me mostravam para que eu verificasse.

Evitei ajudá-los excessivamente, apenas expliquei que era muito fácil fazer a medição, bastando atenção na hora de ajustar o marcador do software.

Um aluno por grupo fazia as medições de tempo e os outros chutavam a bola. Os meninos tiveram mais facilidade em chutá-la mantendo a trajetória, já as meninas tiveram mais dificuldade em chutar a bola em linha reta.

Eles anotaram as medidas efetuadas, e em seguida subimos até a sala de aula do laboratório, a qual eu mesmo havia limpado e organizado, para que respondessem às questões contidas na situação de aprendizagem 1.

A primeira questão da situação de aprendizagem 1 foi resolvida de forma aparentemente simples pelos alunos, com exceção de alguns que ainda possuíam dificuldades em transformações de unidades.

Abaixo temos um exemplo de resposta dada pelos grupos para a primeira questão da atividade:

***Qual a relação matemática para o cálculo da velocidade média de um objeto? Elabore e descreva o procedimento que você adotou para a medição da velocidade da bola de futebol e os resultados obtidos. Expresse os valores na unidade m/s e km/h.***

*Grupo: “A relação matemática para o cálculo da velocidade média é  $v_m = \frac{\Delta S}{\Delta t}$ .*

*O nosso procedimento para a medição da velocidade da bola é primeiramente com o auxílio de uma régua medir a distância que a bola percorrerá, e usando o software Audacity calcular o tempo que a bola leva para chegar ao local indicado.*

*Depois com os resultados dividimos a distância pelo tempo, para obter a velocidade média. Os resultados obtidos com a distância de 2 metros foram o tempo de 0,25 centésimos de segundos.  $v_m = \frac{2}{0,25} = 8m/s$  Resultado em km/h 28,8km/h ”*

Percebemos que o grupo analisado entendeu a proposta de medição e conseguiu transcrever corretamente seu raciocínio, embora na hora de escrever a unidade de tempo o fez de maneira incorreta, seria 25 centésimos de segundos ou simplesmente 0,25s.

Com relação à segunda pergunta eles tiveram mais dificuldade em responder, pois é a parte que questiona quanto à existência de possíveis erros das medidas. Perguntei-lhes oralmente se existiam fatores de erros associados a suas medições. A maioria não soube responder. Alguns resolveram arriscar, falando sobre o atrito com o chão e o atrito com ar, agentes que segundo eles poderiam influenciar o movimento da bola. Outro aluno citou os

ruídos externos como fontes de erros, visto que fizemos o experimento próximo à cantina da escola, e ao lado existia uma avenida bastante movimentada onde passavam carros emitindo diversos ruídos.

Os alunos não possuem conhecimentos sobre as incertezas relativas aos próprios instrumentos de medida. Foi necessário então comentar sobre tais erros e a inexistência de uma medida perfeita. Comentei que sempre existirá uma incerteza associada a uma medição e que qualquer medida só é realizada dentro de um determinado intervalo. Uma interessante questão foi colocada pelos alunos. Eles questionaram se mesmo com o uso da tecnologia esses erros existiriam.

Respondi que sim, embora a tecnologia ajudasse a diminuí-los, seria impossível eliminá-los por completo. Fiz questão de frisar que em todo experimento científico mais rigoroso, toda medida só poderia ser fornecida com sua respectiva incerteza.

Eles tentaram então responder à segunda questão da atividade. Abaixo, temos um exemplo de resposta dada a esta questão após a pequena explanação:

***Existem desvios associados a estas medições? Tente descrevê-los.***

*Grupo: “Sim, pois é impossível saber ao certo estes valores e a experiência prova que cada grupo obteve um resultado, pela influência do ar e a força do chute. Não existe medidas perfeitas, por mais tecnológico que seja um aparelho de medição sempre haverá um erro”.*

A resposta fornecida pelos alunos se baseou na explicação que tiveram sobre as incertezas nos processos de medição, que eles desconheciam totalmente. Pelo exemplo da resposta fornecida, acredito que eles tiveram um início de entendimento sobre o assunto.

Penso que a atividade cumpriu seu papel no que tange à correta utilização do software Audacity, e também na breve introdução de uma discussão sobre o papel das incertezas nos experimentos científicos. Ambos aspectos trabalhados serão de grande importância no experimento do plano inclinado de Galileu Galilei, que será o foco principal de nosso trabalho. É importante salientar que os alunos me confidenciaram que gostaram bastante da atividade, e que estavam ansiosos para realizar as demais, o que de fato achei surpreendente e ao mesmo tempo entusiasmante.

Esta atividade tem como intenção, esclarecer melhor o significado de velocidade média, diferenciá-la do conceito de velocidade instantânea, bem como trabalhar com algumas situações problemas, que para serem resolvidas necessitam reflexões, cálculos e transformações de unidades de medidas. A ideia aqui é relembrar conceitos já estudados anteriormente. Fizeram esta atividade, nove alunos, dos treze inicialmente selecionados. Eu os separei em três trios.

No anexo D, temos a reprodução da situação de aprendizagem 2, e abaixo as discussões de sua aplicação com o grupo de alunos.

Os alunos tiveram relativa facilidade em responder às duas primeiras questões. A primeira delas envolvia um cálculo simples de velocidade média, e a segunda perguntava se a velocidade do veículo permanecia o tempo todo constante, considerando-se uma situação de um movimento real.

Os estudantes não conseguiram responder adequadamente à pergunta que questionava sobre o significado físico da velocidade média, embora, eles soubessem calculá-la. Após esperar algum tempo, e percebendo que eles não conseguiam responder esta questão, resolvemos utilizar uma analogia com as suas médias escolares, familiarizando-os com o conceito. Foi perguntado se um aluno tivesse como valor sete sua média escolar, se isso significaria que em todas as atividades ele havia tirado nota sete. Eles prontamente disseram que não, que o aluno poderia ter tirado várias notas sendo que sua média escolar ainda assim tivesse valor sete. Eu dei um exemplo onde um aluno hipotético fez três avaliações, todas com o mesmo “peso”, e necessitamos calcular sua média aritmética. Na primeira avaliação este aluno tirou nota nove, na segunda tirou nota oito, e na terceira tirou nota quatro. Sua média aritmética seria sete. Concluí então dizendo que se o aluno tivesse tirado sete em todas as provas sua média final também seria sete. Essa nota sete constante surte o mesmo efeito que as demais anteriores para a nota final do aluno.

Foi aí então que eu tive a oportunidade de explicar melhor o conceito de velocidade média, comentando a diferença entre ela e a velocidade instantânea. Terminei por fim dizendo que em cada ponto a velocidade poderia ter um determinado valor, mas que em algumas situações é interessante saber a média do percurso. Um aluno conseguiu perceber que se numa situação ideal o carro mantivesse realmente a mesma velocidade o tempo todo, a velocidade média seria igual à velocidade instantânea em qualquer ponto, assim como um aluno que tira sete em todas as provas e sua média também seria sete.

Confesso que fiquei bastante satisfeito com tal percepção, que geralmente é difícil ocorrer nas aulas tradicionais.

Abaixo, vamos analisar um exemplo de resposta dada por um dos grupos sobre o conceito de velocidade média:

***Afinal, qual o significado de velocidade média?***

*Grupo: “Significa dizer que quando você sai de um ponto para o outro, se for mantida a velocidade você chegará no mesmo tempo que numa situação que não mantivesse, pois nunca se sabe o que pode ocorrer no caminho”*

Percebemos que embora escrito de uma forma simples, o grupo em questão conseguiu um correto entendimento da questão proposta. Para as demais questões as dificuldades foram mais operacionais, como a dificuldade em trabalhar com transformações de unidades e efetuar cálculos com frações. Com algumas pequenas sugestões e a ajuda mútua entre os próprios alunos, todos os grupos conseguiram realizar com sucesso as questões propostas na situação de aprendizagem, embora alguns tivessem bastante dificuldade, visto que a parte matemática da física ainda é de difícil entendimento para eles.

Os alunos trabalharam com transformações de unidades de medida de distância e tempo, e relembrou a regra prática da transformação de velocidades da unidade m/s para a unidade km/h, a famosa regra do 3,6. Fiz questão de mostrar matematicamente, de que forma surge esta regra de transformação.

Podemos considerar a atividade como positiva, pois a mesma pretendia apenas rever o conceito de velocidade média e velocidade instantânea, e trabalhar com uma parte matemática de transformações de unidades de medidas. Era uma atividade mais tradicional sem a utilização de experimentos, porém mostrou-se válida, pois os alunos conseguiram retomar conceitos e lembrar métodos de cálculos que haviam esquecido, e que também serão utilizados na atividade do plano inclinado de Galileu Galilei.

### 6.3 DISCUSSÃO DA SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 3

O objetivo desta atividade é retomar o conceito de aceleração escalar média, com foco no movimento uniformemente variado, em que a aceleração é constante e esta coincide com a aceleração escalar instantânea.

É fundamental reconhecer que nosso alunado apresenta grande dificuldade em diferenciar os conceitos que envolvem velocidade e aceleração. Sempre tive bastante

dificuldade em conseguir fazer com que eles entendessem estes dois conceitos nas salas de aula regulares nestes seis anos de magistério.

Assim sendo, o texto desta situação de aprendizagem irá explorar que o movimento uniforme é uma idealização, pois na verdade em situações práticas sempre existe algum tipo de mudança na velocidade dos objetos. Há um exemplo com a figura de um carro que altera sua velocidade com o passar do tempo. O texto explora ainda que a velocidade pode mudar em qualquer valor, a qualquer momento, mas que sendo assim o movimento se torna imprevisível. É ressaltado um tipo especial de mudança na velocidade, ou seja, aquela que ocorre sempre da mesma forma. Nesta situação, a velocidade sempre varia na mesma proporção com o passar do tempo, seja numa taxa de aumento ou de redução.

Foi realizada então a definição matemática da aceleração escalar média, como a variação média na velocidade de um objeto com o passar do tempo, e o motivo de sua unidade no sistema internacional de unidades ser o  $m/s^2$  e não  $m/s$ , salientando que se tratam de grandezas muito diferentes. Uma coisa é a velocidade do movimento e a outra se trata da mudança desta velocidade. O módulo da velocidade em si, seria a rapidez do movimento e a aceleração estaria associada com a taxa com a qual a velocidade se altera. Em outros termos a aceleração seria a velocidade com a qual a velocidade se altera.

Após uma aula explicativa, os alunos afirmaram ter relembado e entendido esta diferença. É importante ressaltar que o menor número de alunos em sala facilitou sobremaneira a compreensão de muitos conceitos explicados. Esta aula contava com a presença de seis alunos.

A atividade em si, envolvia a formulação matemática dos movimentos uniforme e uniformemente variado. Sabendo da dificuldade matemática que nossos alunos possuem, resolvi fazer um exercício simples antes. Passei um quadro na lousa com movimentos hipotéticos, em que tínhamos a respectiva posição e o instante de tempo medido para um determinado objeto:

Quadro 4: Exemplo utilizado em sala de aula na descrição de um movimento uniforme.

S(m)	0	50	100	150	200	250
t(s)	0	1	2	3	4	5

Foi indagado aos alunos se o movimento em questão era uniforme, variado ou uniformemente variado. Eles disseram ser uniforme, pois o objeto percorre distâncias iguais

em tempos iguais, conforme já havíamos estudado anteriormente. A cada 1s ele aumenta sua distância em 50m, ou seja a velocidade era sempre 50m/s para todos os intervalos de tempo. Logo se tratava de um movimento uniforme, eles responderam. Se a trajetória fosse retilínea seria um movimento retilíneo uniforme, assim concluíram.

Foi passado um novo quadro com novos dados para que eles analisassem novamente o novo tipo de movimento envolvido.

Quadro 5: Movimento2: Exemplo utilizado em sala de aula para descrever um movimento uniformemente variado.

S(m)	0	5	20	45	80
t(s)	0	1	2	3	4

Neste novo quadro eles logo identificaram que o movimento não poderia ser uniforme, visto que as distâncias aumentam para um mesmo intervalo de tempo. Logo se tratava de um movimento variado.

Eu os parabenei, dizendo que agora cabia a eles decidir se o movimento era uniformemente variado ou simplesmente variado. Eles tiveram dificuldade em entender como fazer isso. Deixei-os pensar por alguns minutos, mas como não obtive resposta alguma resolvi ajudar-lhes. Na verdade eles não lembravam qual era a definição de um movimento uniformemente variado. Expliquei então que neste tipo de movimento a velocidade se altera, porém a alteração ou mudança ocorre sempre da mesma forma. A velocidade pode aumentar ou diminuir, porém sempre na mesma taxa.

Eu lhes disse que se eles soubessem a velocidade em cada instante poderiam saber se ela estava aumentando da mesma forma ou não. Porém, sabendo da dificuldade de se determinar isto, visto que a velocidade aumenta continuamente, sugeri que calculassem então a velocidade média nos respectivos trechos.

No primeiro trecho a velocidade média calculada foi de 5m/s, no segundo trecho foi de 15m/s, no terceiro trecho é de 25m/s e no quarto trecho é de 35m/s. Após pensarem um pouco, dois alunos concluíram corretamente que a velocidade média sofre sempre um aumento de 10m/s. Eu lhes disse que a informação estava incompleta, visto que não basta saber o quanto a velocidade está aumentando, mas o tempo que esta leva para aumentar.

Após insistir neste ponto, eles concluíram que a velocidade média aumentava 10m/s a cada 1s, e que sua aceleração média seria 10m/s a cada 1s, ou apenas 10m/s<sup>2</sup>, como tínhamos visto anteriormente. Embora a velocidade não aumente de maneira súbita a cada intervalo de tempo considerado, considerar o aumento da velocidade média foi mais tranquilo e fácil deles conseguirem perceber.

Ambos os quadros ainda estavam na lousa quando eu lhes fiz um novo desafio. Interroguei-lhes sobre como prever onde o objeto estará num futuro distante, ou seja, como prever matematicamente a posição do objeto com o passar do tempo.

Perguntei-lhes em que posição os objetos cujos movimentos eram representados nos quadros estariam após transcorridos 20s. Queríamos saber a posição do objeto com o passar do tempo.

No primeiro quadro que representava o movimento uniforme, eles facilmente concluíram que bastaria ir somando cinquenta metros, vinte vezes. Ou seja, cinquenta vezes vinte, que seriam 1000 metros. Eu lhes disse que estava perfeito, e o raciocínio era este mesmo. Fiquei surpreso com a facilidade que tiveram para responder, pois em salas de aula regular, exercícios de movimento uniforme costumam ser confusos para eles.

Eu lhes disse que geralmente os físicos gostam de generalizar situações, e sugeri que encontrássemos uma função matemática que relacionasse o deslocamento e o tempo gasto, e esta função ou fórmula como eles estavam acostumados a chamar, serviria para qualquer tempo e não apenas um tempo específico.

Para tanto, eu perguntei então, quanto valia o primeiro deslocamento  $\Delta s_1$ . Eles disseram que valia cinquenta metros. Perguntei quanto valia o primeiro intervalo de tempo  $\Delta t_1$ , e eles disseram um segundo. E assim sucessivamente com os demais intervalos de distância e tempo, denominados  $\Delta s_2, \Delta s_3, \Delta t_2$  e  $\Delta t_3$ .

Eu os questionei se não existe nenhuma relação matemática entre as grandezas deslocamento e tempo gasto. Eles inicialmente encontraram dificuldade em entender o que eu havia proposto.

Dei então outros exemplos que não utilizavam distâncias e tempos. Citei um exemplo onde usava o preço gasto na compra de uma quantidade de livros. Um livro custava R\$ 20,00, dois livros R\$ 40,00, e assim sucessivamente. O preço pago seria então, o número de livros comprados vezes o valor de um apenas, ou seja, o preço pago é igual ao número de livros vezes o valor de R\$20,00. Matematicamente foi escrito na lousa:

$$P = n \cdot 20 \quad (13)$$

Após pensarem por alguns instantes, eles disseram que o deslocamento era sempre cinquenta vezes o tempo gasto. Eu os parabeneizei e disse estar correto. Porém achava interessante que eles me dissessem isso de outra forma. Se eu dividir o primeiro deslocamento pelo primeiro intervalo de tempo quanto temos? O segundo deslocamento pelo segundo intervalo de tempo? Eles perceberam que sempre resulta cinquenta. Falei que iria escrever em linguagem matemática o que eles haviam dito, ou seja:

$$\frac{\Delta s}{\Delta t} = 50 \quad (14)$$

Completei por fim que neste movimento qualquer valor de deslocamento dividido pelo intervalo de tempo gasto resultaria sempre no mesmo valor cinquenta, que é a velocidade média do movimento. De outra forma, o deslocamento é sempre cinquenta vezes o valor do intervalo de tempo, como disseram anteriormente.

Assim achamos uma função matemática que relaciona posição e tempo, utilizando um raciocínio simples. Foi explicado que caso nós conheçamos a informação de uma das grandezas, encontraremos a outra. E isto vale para qualquer movimento uniforme de maneira geral. Sendo que o valor da divisão (a velocidade média) mudaria de movimento para movimento e também dependeria das unidades de medida utilizadas para as grandezas.

Eles aparentemente compreenderam e aceitaram com facilidade este raciocínio. Foi aí que resolvi finalizar o estudo com o movimento uniformemente variado. Minha intenção era estabelecer também uma maneira de relacionar o deslocamento e o intervalo de tempo para o movimento uniformemente variado que constava do quadro na lousa.

Inicialmente eles tentaram dividir o deslocamento pelo tempo sem encontrar relação alguma, visto que a divisão não se mantinha constante, mas aumentava. Eu os deixei fazerem tentativas. Porém eles não conseguiram estabelecer nenhum tipo de relação entre as grandezas deslocamento e tempo. Eles conseguiram apenas perceber que o valor da divisão aumentava proporcionalmente. Sabendo da dificuldade que encontrariam em achar tal relação, resolvi intervir, dizendo que às vezes as relações estão “escondidas”, e que mesmo que não houvesse nenhuma relação direta entre o deslocamento e o tempo, poderia existir relações entre variações destas grandezas. Completei o quadro onde agora eu incluí uma terceira linha que continha os valores não dos intervalos de tempo, mas do quadrado de seus valores.

A novo quadro ficou assim:

Quadro 6: Distância percorrida, tempo gasto e quadrado do tempo gasto.

S(m)	0	5	20	45	80
t(s)	0	1	2	3	4
t <sup>2</sup> (s <sup>2</sup> )	0	1	4	9	16

Pedi que tentassem encontrar uma relação entre o deslocamento e o quadrado do tempo gasto. Diante desta nova linha d quadro eles conseguiram enxergar a relação existente. Um aluno disse:

“Quando dividimos o deslocamento pelo tempo elevado ao quadrado dá sempre cinco, professor”.

Pedi que verificassem se isso sempre dava certo. Após verificarem para todos os valores eles afirmaram corretamente que sim. Eu disse que faria a mesma coisa que havia feito anteriormente, e escreveria em linguagem matemática o que eles haviam me falado, obtendo a seguinte relação:

$$\frac{\Delta s}{\Delta t^2} = 5 \quad (15)$$

Então também achamos uma relação para o movimento uniformemente variado. Propus que calculássemos como sugerido inicialmente qual seria a posição do objeto após vinte segundos transcorridos. Eles fizeram corretamente o cálculo encontrando o valor de 2000 metros.

Dei por terminada a parte expositiva desta atividade. A proposta da situação de aprendizagem 3, visava retomar os conhecimentos aprendidos nesta aula teórica. Para tanto os alunos deveriam analisar três movimentos. Para representar tais movimentos fiz marcações em uma folha pautada que representariam a posição de um dado objeto. O intervalo de tempo entre cada posição sucessiva seria sempre uma unidade de tempo, que consideramos como 1 segundo para facilitar os cálculos. A ideia aqui era representar uma espécie de fotografia estroboscópica de alguns movimentos, para que os alunos pudessem reconhecer de qual tipo de movimento se tratava, e escrever suas funções matemáticas características, caso existissem.

No anexo E, temos a situação de aprendizagem 3 utilizada nesta aula, e abaixo a discussão relativa a mesma.

Dividi os alunos em dois grupos de três componentes cada. As duas situações de aprendizagem distribuídas aos grupos apresentariam alguns resultados diferentes, visto que a distância entre as linhas eram distintas. O primeiro grupo fez a medição das distâncias entre as pautas encontrando o valor de 15mm. Mediram então a velocidade média dos respectivos movimentos. Para o primeiro movimento encontraram durante todo o movimento a velocidade média de 15mm/s. Conseguiram sem grandes dificuldades identificar que o movimento era retilíneo uniforme.

O segundo grupo fez a medição das distâncias entre as pautas encontrando o valor de 3cm. Os valores das distâncias entre as pautas realmente estavam diferentes para os dois grupos. O segundo grupo mediu então a velocidade média do respectivo movimento. Para o primeiro movimento encontraram durante todo o movimento a velocidade média de 3cm/s. Este grupo também conseguiu sem grandes dificuldades identificar que o movimento era retilíneo uniforme.

No segundo movimento analisado, o primeiro grupo viu que a velocidade média aumentava, porém de maneira constante. No primeiro intervalo de tempo seu valor era de 5mm/s, no segundo intervalo 15mm/s, no terceiro intervalo 25mm/s, no quarto intervalo 35mm/s, no quinto intervalo 45mm/s e no sexto intervalo 55mm/s, constatando assim que embora a velocidade média aumente ela sempre aumenta da mesma forma. Eles concluíram que o movimento era do tipo retilíneo uniformemente variado.

No segundo movimento analisado, o segundo grupo também percebeu que a velocidade média aumentava, porém de maneira constante. No primeiro intervalo de tempo seu valor era de 5mm/s, no segundo intervalo 15mm/s, no terceiro intervalo 25mm/s, no quarto intervalo 35mm/s, no quinto intervalo 45mm/s e no sexto intervalo 55mm/s, constatando assim que embora a velocidade média aumente ela sempre aumenta da mesma forma. Eles também concluíram que o movimento era do tipo retilíneo uniformemente variado, e que o segundo tipo de movimento por eles analisado era igual ao do primeiro grupo, diferentemente do primeiro movimento.

Já no terceiro movimento em cada trecho foi encontrado um valor diferente para a velocidade média. Ou seja, era um movimento retilíneo variado. A velocidade ora aumenta, ora diminuía, sem qualquer regularidade. Ambos os grupos chegaram à mesma conclusão a esse respeito.

Por fim eles deveriam encontrar uma função matemática para descrever os diferentes tipos de movimento. Eles tiveram um pouco de dificuldade nesta parte, porém sugeri que montassem um quadro, assim como a que tínhamos feito minutos atrás na lousa.

Os alunos construíram então os quadros que relacionavam deslocamentos e intervalos de tempo, e seguiram o mesmo raciocínio de encontrar relações entre o deslocamento e o tempo do movimento.

Para o primeiro movimento, o primeiro grupo de alunos chegou à conclusão que dividindo o deslocamento por uma mesma unidade de tempo o valor se mantinha constante. O quadro que utilizaram será reproduzida abaixo:

Quadro 7: Quadro elaborado pelo grupo 1, para descrição do primeiro movimento.

S(mm)	0	15	30	45	60	75
T(s)	0	1	2	3	4	5

Eles chegaram à conclusão que a distância percorrida sempre aumentava 15 unidades a cada um segundo e escreveram em forma de equação:

$$\frac{\Delta s}{\Delta t} = 15 \text{ ou } \Delta s = 15 \cdot \Delta t \quad (16)$$

O deslocamento realizado será 15 vezes o valor do intervalo de tempo gasto.

Para o primeiro movimento, o segundo grupo de alunos chegou à conclusão que dividindo o deslocamento por uma mesma unidade de tempo o valor se mantinha constante. Eles também montaram um quadro, abaixo representado:

Quadro 8: quadro elaborado pelo grupo 2, para descrição do primeiro movimento.

S(cm)	0	3	6	9	12	15
T(s)	0	1	2	3	4	5

Analisando os dados do quadro, chegaram à conclusão que:

$$\frac{\Delta s}{\Delta t} = 3 \text{ ou } \Delta s = 3 \cdot \Delta t \quad (17)$$

O deslocamento realizado será 3 vezes o valor do intervalo de tempo gasto. Esta foi a resposta fornecida pelo segundo grupo.

O segundo movimento analisado era igual para os dois grupos e ambos anotaram as distâncias e os valores dos intervalos de tempo gasto, montando o quadro abaixo:

Quadro 9: Quadro elaborado pelo grupo 1, para descrição do segundo movimento

S(mm)	0	5	20	45	80	125
T(s)	0	1	2	3	4	5

Eles perceberam que o movimento não era uniforme. Decidiram testar a possibilidade de o movimento ser uniformemente variado, verificando a possível dependência quadrática do tempo. Para tanto ambos os grupos incluíram uma nova linha no quadro anterior.

Quadro 10: Novo quadro elaborado pelos grupos 1 e 2, para descrição do segundo movimento

S	0	5	20	45	80	125
t	0	1	2	3	4	5
t <sup>2</sup>	0	1	4	9	16	25

Ambos os grupos conseguiram perceber que a divisão do deslocamento pelo quadrado da distância, produzia sempre um mesmo valor. Essa característica do movimento define um movimento uniformemente variado. Ambos os grupos chegaram a esta conclusão, e a equação obtida para ambos os grupos foi:

$$\frac{\Delta s}{\Delta t^2} = 5 \quad \text{ou} \quad \Delta s = 5 \cdot \Delta t^2 \quad (18)$$

O deslocamento realizado será sempre cinco vezes o quadrado do intervalo de tempo gasto. Pedi ainda que eles testassem para todos os valores disponíveis, e eles confirmaram que a equação era válida. Embora estivessem em dois grupos distintos, eles trabalharam de maneira articulada.

Quanto ao terceiro movimento os alunos de ambos os grupos acreditaram ser impossível encontrar uma relação matemática, pois não existia nenhum tipo de regularidade aparente.

Eu disse a eles que o raciocínio deles estava em parte correto. Muitas vezes um comportamento pode aparentar ser irregular e mesmo assim apresentar algum tipo de regularidade, podendo ser definido por meio de equações mais complexas. Muitas vezes as relações podem estar escondidas nos fenômenos e por desconhecimento ou falta de instrumentos matemáticos, podemos não percebê-las imediatamente. Expliquei então que sendo assim existe a necessidade de muita pesquisa e estudo sobre os fenômenos naturais. Às vezes anos são necessários para que algum cientista consiga perceber uma regularidade matemática num fenômeno físico. Expliquei que o astrônomo Kepler, por exemplo, se valeu dos dados de Thyco Brahe observados por uma vida toda para enfim conseguir elaborar suas leis do movimento planetário, conseguindo encontrar uma regularidade matemática no movimento planetário.

Depois de elaborado, um modelo matemático pode prever situações físicas ainda não observadas, como foi a previsão da existência do planeta Netuno por meio da matemática newtoniana .

Concordei por fim que na última situação que estavam analisando, eles estavam corretos, e que neste caso o movimento era totalmente aleatório e impossível de ser equacionado matematicamente. Dei então por finalizada as discussões desta atividade, devido ao horário que já se estendia além dos limites previstos.

Esta atividade também teve cunho um pouco mais teórico, porém sob nossa concepção tornou-se necessário, pois os alunos precisavam identificar equações para os movimentos uniformes e uniformemente variados, que seriam de vital importância para o trabalho sobre o plano inclinado de Galileu, já que eles não conseguiam anteriormente identificar as equações características de um movimento uniforme e de um movimento uniformemente variado.

Esta foi a maneira mais simples encontrada para abordar o assunto mediante os resultados obtidos no levantamento prévio e a grande dificuldade matemática apresentada pelos mesmos.

A atividade se mostrou interessante, pois gerou discussões, e os alunos demonstraram conseguir entender minimamente os conceitos de movimento retilíneo uniforme e movimento retilíneo uniformemente variado, encontrando funções matemáticas simples que os definem.

Acreditamos que agora os alunos tenham condições de desenvolver a atividade do plano inclinado, objetivo final deste trabalho.

## 7. AS ATIVIDADES DO PLANO INCLINADO DE GALILEU

Finalmente com a execução das atividades preliminares, foi possível a aplicação da atividade do plano inclinado de Galileu Galilei, o objetivo principal deste trabalho. Os alunos passaram por atividades preparatórias para que pudessem conhecer os conceitos físicos minimamente necessários para realização desta atividade.

A atividade foi dividida em duas partes, sendo que a primeira parte (situação de aprendizagem 4) , irá explorar um pouco da biografia de Galileu Galilei, e também a contextualização histórica de seu experimento clássico. Já na segunda parte (situação de aprendizagem 5), o foco será dado na execução do experimento propriamente dito, bem como na sua análise por parte dos alunos.

A intenção é que os estudantes possam entender qual teria sido a ideia de Galileu ao propor o experimento do plano inclinado, e como ele teria sido útil em sua intenção de lidar com o problema da queda livre na superfície da Terra. Será necessário também levantar dúvidas acerca da realização deste experimento nas condições as quais Galileu dispunha em sua época, colocando-os em contato com as várias visões dos historiadores da ciência que analisaram este e outros experimentos do grande físico italiano.

### 7.1 A SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 4

A situação de aprendizagem 4 aborda uma breve biografia de Galileu, focada em curiosidades sobre sua vida, algumas de suas descobertas e também uma parte histórica que mostra brevemente os problemas que este teve com a igreja católica com relação a divulgação de suas ideias. O foco do texto é humanizar a figura do cientista, tornando-o um personagem mais acessível, que é um dos objetivos de nosso projeto, como visto anteriormente.

Segue no anexo F, a situação de aprendizagem 4, utilizada na atividade. A primeira questão da situação de aprendizagem 4, tenta resgatar o que os alunos acharam de mais interessante na biografia do físico, criando-se assim uma empatia entre estes e o próprio Galileu.

A segunda questão da situação de aprendizagem 4 trata ainda sobre a biografia de Galileu, e pede que os alunos expliquem se entenderam a diferença entre heliocentrismo e geocentrismo. A ideia aqui é que estes entrem em contato com a realidade da época e que possam vislumbrar o contexto social ao qual Galileu estava inserido. A disputa que existia entre essas duas maneiras de explicar o universo e o rompimento com as ideias aristotélicas

são questões que permearam toda a vida do físico e que influenciaram assim todo seu trabalho sendo assim importante ser conhecida pelos estudantes.

A terceira questão da situação de aprendizagem 4 objetiva fazer com que os alunos entendam qual era o objetivo de Galileu ao idealizar o experimento do plano inclinado. Faz-se necessário dizer que o objetivo de Galileu na verdade era o estudo da queda livre vertical, porém devido à falta de aparelhos que medissem tempos tão curtos, ele não possuía como estudar diretamente este tipo de movimento. Daí a idealização do experimento do plano inclinado. A ideia aqui é tentar fazer os estudantes perceberem que sob a visão de Galileu o movimento no plano inclinado corresponderia ao mesmo tipo que acontecia na queda livre, porém um pouco mais lento, devido a sua inclinação. Ou seja, a ideia assumida por Galileu é que o plano inclinado retardaria o tempo da queda do objeto, mantendo o mesmo tipo de movimento.

A quarta questão visa sondar qual é o pensamento dos alunos sobre o tempo de queda dos corpos na superfície terrestre. A ideia é verificar se após as aulas de física do ensino médio, se eles ainda mantêm uma concepção aristotélica sobre a queda de objetos. A questão versa sobre o abandono de duas bolas de bilhar de massas diferentes no topo do plano inclinado, sendo que uma possui massa maior e a outra possui massa menor. É indagado sobre qual esfera chegará primeiro ao final do plano inclinado, se a mais “pesada”, ou a mais “leve”.

A quinta questão, objetiva fazer com que os alunos rompam com a ideia aristotélica, caso ainda a possuam, que os corpos mais “pesados” caem mais rapidamente que os corpos “menos pesados”, e inicia a experimentação com o plano inclinado. A ideia é que eles abandonem duas esferas (bolas de bilhar) de diferentes massas e que efetivamente meçam os tempos de suas quedas, utilizando o software Audacity. Como o software oferece grande precisão na medição do tempo, espera-se que as medidas dos tempos de quedas para ambas sejam praticamente idênticos. Esta questão visa comprovar experimentalmente a concepção galileana sobre o tempo de queda dos corpos na superfície terrestre. Embora não conste do roteiro propriamente dito, é interessante aqui discutir também sobre o mítico experimento da torre de Pisa na Itália, onde Galileu tentando afirmar suas preposições sobre a queda dos corpos teria abandonado corpos do alto da desta torre, mostrando que eles chegam praticamente juntos mesmo tendo massas diferentes, enriquecendo ainda mais a discussão histórica sobre o assunto. Apesar de este ser o experimento mais famoso atribuído a Galileu, muito mais conhecido que o do plano inclinado é muito provável que ele nunca o tenha realizado, segundo seus historiadores.

A sexta questão propõe que os alunos reflitam sobre os equipamentos de medida existentes na época de Galileu. Como ele poderia medir o tempo de uma esfera rolando o plano inclinado se não havia cronômetros digitais como temos hoje, e tampouco o software Audacity que eles dispõem. É possível fazê-los perceber a grande evolução tecnológica, que se deu através dos séculos posteriores. Esta questão faz com que os alunos reflitam e utilizem sua imaginação e criatividade. A figura inicial do texto mostra o procedimento que teria sido utilizado por Galileu, que teria utilizado um relógio de água como cronômetro. A ideia não é fazer com que os alunos acertem a questão propriamente dita, mas que possam reviver historicamente o contexto experimental do século XV, e sentir a dificuldade que Galileu tinha na comprovação de suas teses devido aos rústicos equipamentos de medida, e como através de muita criatividade os cientistas podem superar muitos obstáculos que lhe são apresentados.

Finalmente a sétima questão visa retomar os conceitos sobre o movimento uniformemente variado já estudado anteriormente na situação de aprendizagem anterior. Esta questão pede que o aluno defina o que é um MRUV e quais são suas principais características.

## 7.2 A SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 5

A segunda parte da atividade de Galileu Galilei (situação de aprendizagem 5), objetiva que os alunos conheçam o experimento do plano inclinado, e que efetivamente realizem tal experimento, entendendo o contexto histórico em que ele foi inserido e qual foi o objetivo de Galileu ao propô-lo. A finalidade do experimento é que os alunos possam reproduzi-lo, e assim chegar a alguma conclusão sobre o tipo de movimento que ocorre no plano inclinado, assim como teria feito Galileu.

A situação de aprendizagem se inicia com a breve apresentação da obra “Discurso Sobre Duas Novas Ciências”, descrevendo seu conteúdo geral e mencionando o grande interesse do físico em entender e tratar matematicamente os diversos tipos de movimentos, em especial o fenômeno da queda livre vertical na superfície da Terra.

O texto traz a informação que Galileu cita em sua obra que o movimento de queda livre na superfície da Terra segue a lei harmoniosa de um movimento retilíneo uniformemente variado, que segundo ele é um dos movimentos mais simples, onde a cada instante de tempo o corpo ganharia o mesmo acréscimo em sua velocidade. Porém não tendo como verificar diretamente este fato devido o movimento de queda livre ocorrer assaz rapidamente, ele nos

relata uma forma sobre a qual como poderia mostrar indiretamente que a queda livre obedece este tipo de movimento, apresentando-nos então um engenhoso equipamento experimental para testar sua proposição.

A situação de aprendizagem traz então a descrição detalhada contida no livro de Galileu sobre o experimento que este teria feito chegar à sua conclusão a respeito do movimento de queda livre vertical. Esta situação de aprendizagem traz ainda sete questões reflexivas, que devem ser respondidas pelos alunos, após sua leitura.

A situação de aprendizagem 5, encontra-se no anexo G deste trabalho. A primeira questão tenta fazer com que o aluno entenda qual era o objetivo de Galileu ao propor este experimento. Ela visa que o aluno entenda qual foi o raciocínio galileano na elaboração deste experimento como um possível teste para sua hipótese inicial.

Será necessário explicar ao aluno a ideia de Galileu de transpor a dificuldade da análise do movimento de queda livre vertical para o movimento no plano inclinado, e qual a sua justificativa para que isso fosse possível. Somente assim o estudante poderá entender a importância deste experimento clássico.

A segunda questão trata de uma conversão de unidades de medidas, visto que o texto da situação de aprendizagem apresenta as medidas do plano inclinado utilizado por Galileu na unidade braça, fiel à descrição contida na tradução de seu livro. O aluno deve então converter as unidades para dimensionar o tamanho do plano inclinado utilizado por Galileu e o plano inclinado que ele utilizará nesta reprodução experimental adaptada. É proposto que o aluno analise a questão da escala, se uma possível diminuição do tamanho do plano inclinado não poderia afetar os resultados, inviabilizando o experimento. É muito importante ressaltar a questão da escala, visto que esta é uma grande dificuldade apresentada em sala de aula pelos estudantes.

A terceira e a quarta expõe mais claramente o objetivo de Galileu ao realizar o experimento do plano inclinado, e propõe aos alunos seguir os passos utilizados pelo físico. Ou seja, a ideia é que eles testem a hipótese de que o movimento de uma esfera rolando no plano inclinado é do tipo uniformemente variado. Colocada a situação problema, é indagado como eles irão realizar tal feito. Que grandezas eles deverão medir, que procedimentos deverão ser utilizados. Mais uma vez o aluno é aproximado da prática científica, propondo de maneira mais autônoma a elaboração de procedimentos para testes de hipóteses científicas. É

claro que existe certo direcionamento dado pela própria descrição do experimento, porém não é algo tão rigoroso como um roteiro de laboratório clássico. A ideia aqui é que o aluno deva ler, pensar, e tentar propor sua própria maneira de elaborar os procedimentos, e não apenas seguir fielmente as descrições de um roteiro fortemente estruturado.

Na quinta questão, espera-se que após bem definido o que deverá ser feito e qual procedimento será adotado, que o aluno possa utilizar os instrumentos de medidas que dispõe para a realização de seu experimento. Nesta fase eles deverão realizar as medidas relativas ao experimento e anotar os devidos cuidados que tiveram, bem como os dados encontrados para posterior análise. É a parte experimental propriamente dita.

A sexta questão por sua vez questiona o papel do erro no experimento científico, assunto que já foi tratado em uma situação de aprendizagem anterior, porém agora é retomada com um pouco mais de profundidade. A questão pede que os alunos analisem se houve erros relativos ao processo de medição que utilizaram, e que tentem identificá-los. É questionado se foi necessário realizar aproximações, que cuidados foram necessários para minimizar erros, e se foi necessário repetir o experimento para uma melhor confirmação dos resultados obtidos.

A sexta questão pede ainda que o aluno analise as dificuldades que Galileu teria enfrentado, devido aos seus rústicos equipamentos de medição, comparando ainda os instrumentos de medidas utilizados por Galileu e os instrumentos de medidas que eles estão utilizando, analisando as diferentes tecnologias de diferentes épocas.

Nesta questão podemos iniciar uma discussão epistemológica sobre o experimento galileano, colocando, por exemplo, as críticas feitas por Alexandre Koyré à realização deste, baseada nos argumentos dos erros nos processos de medição, e a posição de outros epistemólogos da ciência que têm uma visão diferente, como Stillman Drake por exemplo.

Por fim, a sétima questão pede que o aluno sistematize suas observações e chegue a uma conclusão sobre o experimento que realizou. É necessário que ele conclua se o movimento de queda no plano inclinado é ou não do tipo uniformemente variado. Ou seja, baseado em uma hipótese, seguida de um experimento, eles irão inferir algo sobre o comportamento de um sistema físico, da mesma forma como se supõe que Galileu tenha feito, e como geralmente ocorre num processo científico mais geral.

O experimento de Galileu se mostrou uma atividade bastante motivadora para os alunos. Desde o começo, estes estavam bastante interessados em realizá-la, ainda mais quando souberam que tal experimento chegou a ser considerado como um dos mais importantes experimentos científicos de todos os tempos, segundo a revista britânica *Physics World* em 2002. A condução das atividades foi bastante tranquila, e ocorreu com os seis alunos que conseguiram permanecer e assim concluir todas as atividades propostas.

Evitamos ao máximo interferir na condução das atividades do plano inclinado dando respostas ou soluções acabadas, tentando fazer assim com que pudessem agir da maneira mais autônoma possível. Percebemos que os alunos se sentiam um tanto perdidos nas atividades, provavelmente devido à ausência do forte direcionamento que geralmente lhes é dado nas aulas tradicionais. Apesar de existir uma situação de aprendizagem com questões para que eles respondessem, tais questões eram mais abertas e geralmente não possuíam uma resposta imediata, e não eram resolvidas com a utilização de algum algoritmo matemático. Era necessário muitas vezes parar e pensar para entender e propor soluções a tais questões, sendo que muitas vezes eles não sabiam “o que era para ser feito”.

#### 7.4 APLICAÇÃO DA SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 4

Os alunos formaram um único grupo de seis pessoas para a realização da atividade. Destes seis alunos, havia cinco rapazes e uma moça.

Na situação de aprendizagem 4, que corresponde à primeira parte do experimento, pedi que um dos alunos lesse em voz alta o texto sobre a biografia de Galileu Galilei, contida nesta situação de aprendizagem. Fiz breves comentários sobre algumas palavras contidas no texto, desconhecidas por eles.

Depois de lido o texto, pedi que eles tentassem responder as questões propostas. Abaixo apresentamos as questões e as respectivas respostas dada pelo grupo de alunos para as questões contidas nesta situação de aprendizagem 4, e as respectivas discussões que conduziram a estas respostas:

**1. O que mais interessante você achou da pequena biografia de Galileu que terminou de ler?**

Grupo: *“O que mais impressiona foi o tempo que demoraram para admitir a injustiça que cometeram à Galileu em relação a sua visão do modelo heliocêntrico”*

Os alunos mostraram perplexidade ao descobrir que Galileu só foi absolvido séculos após sua condenação, bem como sobre a proibição que lhe foi imposta de divulgar suas ideias.

Eles demonstraram perceber como a sociedade foi se modificando com o passar dos anos, aceitando melhor as diferentes formas de pensar e como o pensamento científico foi se consolidando e aos poucos se desvinculando da influência religiosa. Abaixo algumas frases citadas pelos alunos durante a atividade:

“Hoje nós temos mais liberdade para expressar nossas ideias, sem correr o risco de sermos presos ou queimados, como ocorria na inquisição”.

“Não deve ter sido fácil viver na época de Galileu”.

“Hoje é tão comum as pessoas dizerem que a Terra gira em torno do Sol, porque eles tinham tanta dificuldade em aceitar isso” ?

Eu questionei se eles sabiam explicar por que não percebemos o movimento da Terra se admitimos que ela está se movimentando. Após certo tempo pensando um deles explicou usando o exemplo do elevador que eu havia dado em sala de aula no ano anterior. Ele explicou que caso você esteja dentro de um elevador que possua velocidade constante terá a impressão que você está em repouso, pois o elevador se move junto com você com a mesma velocidade. Todos lembraram o exemplo admitindo que não percebem o movimento da Terra pois se movem juntamente com ela. Eu o parabeneizei pela excelente memória e entendimento da questão e complementei que como não existiam elevadores na época que Galileu viveu, ele utilizou o exemplo de um navio que se navegasse por águas tranquilas e mantivesse velocidade constante, seus tripulantes não poderiam distinguir se estavam em repouso ou em movimento. Ou seja, para Galileu o movimento uniforme era equivalente ao repouso.

Acreditamos que a questão 1 pode propiciar aos alunos enxergarem as dificuldades encontradas pelos cientistas em diferentes momentos de nossa história, e principalmente a

grande dificuldade de maneira geral da aceitação de novas ideias, principalmente aquelas que desafiam o senso comum.

Em dado momento um dos alunos disse:

“É professor realmente não é fácil mudar o pensamento das pessoas do dia para a noite”.

Eu lhes disse ainda que realmente ele estava correto, que é muito difícil mudar a ordem estabelecida, até por que o pensamento grego que era dominante na época, já perdurava mais de 1500 anos, mesmo com algumas críticas que já haviam lhe sido feitas. E que na verdade é muito difícil querer mudar algo que já está estabelecido há tanto tempo, e é tido como verdade. Os seres humanos são extremamente conservadores. E que neste caso existiam ainda outros motivos envolvidos também, visto que a mudança do sistema geocêntrico para o sistema heliocêntrico não representava apenas uma mudança na maneira de ver o mundo, mas também poderia influenciar o poder que a igreja católica possuía na época. A visão heliocêntrica poderia contrapor as noções de céu e inferno adotadas pela igreja e isto poderia lhe ser prejudicial a curto, médio e longo prazo.

Perguntei-lhes se eles concordavam que a mudança de pensamento era algo difícil, e todos disseram que sim. Eles de comum acordo chegaram à conclusão que na maioria das situações a mudança brusca de pensamento não é algo facilmente aceitável. Mudanças bruscas não são bem-vindas, até porque é mais fácil lidar com o que já é conhecido e familiar.

O fechamento da discussão da questão 1 se deu com a elaboração da ideia de que de modo geral a sociedade é muito conservadora, e isto não é exceção na comunidade científica que também é e se mostra muito reticente à adoção de novas ideias, principalmente se existem interesses econômicos ou de poder envolvidos. Embora ainda indignados com a injustiça sofrida por Galileu, os alunos perceberam o quanto foi difícil para a sociedade da época aceitar as novas ideias que seu pensamento trazia. Fiz questão por fim de lembrar que o modelo heliocêntrico não era de autoria de Galileu, ele apenas o defendia. Existem relatos históricos da existência do modelo heliocêntrico na própria Grécia Antiga, mas este foi realmente considerado por Nicolau Copérnico apenas no século XVI.

**2. O que você entende por modelo geocêntrico e heliocêntrico? Como podemos admitir que a Terra está em movimento de translação, você percebe este movimento?**

Grupo : *“O modelo geocêntrico diz que a terra esta no centro do universo e os outros planetas estão girando em torno da terra. O modelo heliocêntrico diz que os planetas giram em torno do sol. Não percebemos o movimento da terra pois estamos em movimento constante juntamente com ela”.*

Os alunos reconheceram as diferenças entre os modelos geocêntrico e heliocêntrico, dando argumentos a favor do segundo, como a justificativa para a Terra está se movendo sem percebermos. Eles mostraram ainda compreender a grande dificuldade que foi a passagem da visão geocêntrica do mundo para a visão heliocêntrica , conhecendo os problemas que Galileu teve com a igreja católica por causa disso.

Juntando com alguns conhecimentos que eles já possuíam das aulas de filosofia, eu pude lhes dizer que o abandono da visão geocêntrica foi muito difícil, pois esta visão se apresentava desde a Grécia antiga uma maneira de enxergar o mundo e do ser humano se posicionar no universo. Com o heliocentrismo, o homem não era mais o centro do mundo num lugar privilegiado, mas sim um planeta como outro qualquer a girar em torno do Sol. Era uma mudança radical na maneira das pessoas se enxergarem no mundo, e as implicações que esta nova abordagem acarretaria profundas mudanças filosóficas e religiosas na sociedade como um todo.

“Nossa professor realmente não deve ter sido fácil para as pessoas depois de tanto tempo mudarem sua ideia a respeito da Terra e de seu lugar no universo” um dos estudantes argumentou.

Eles ficaram pensativos e acharam um absurdo a condenação de Galileu, sendo o mesmo só absolvido postumamente pela igreja católica no papado de João Paulo II, apenas no século XX.

Um dos alunos disse:

“Em minha opinião cada um deve ter o direito de acreditar no que acha mais correto, se cada um colocar suas ideias e defender estas ideias, com certeza a melhor vai vencer”.

Percebe-se que este aluno acredita num modelo de ciência onde o debate é o foco principal. Nesta visão de ciência, argumentos são colocados e discutidos, e a comunidade chega a uma conclusão acerca de um determinado objeto de estudo.

Entretanto eu lhes disse que muitas vezes a ideia que prevalece pode ser a de quem tem maior poderio econômico ou político no momento, e por mais incrível que pareça, isto acontece na ciência também, assim como nos demais setores de nossa sociedade. A escolha de uma teoria A ou B pode ser sim influenciada pelas relações de poder que existem na própria sociedade e comunidade científica.

Um aluno colocou:

“Nossa professor eu pensei que pelo fato da ciência ser algo exato, ou era provado ou não era, não existisse isso. Então como alguém pode convencer os outros de suas ideias apenas usando dinheiro ou política?”

Eu disse que a dúvida era muito pertinente, e dei um exemplo dizendo que podem existir duas ou mais teorias sobre o mesmo fenômeno físico. Ambas conseguem explicar os fenômenos com um bom grau de precisão, mas que a adoção desta ou de outra ideia pode ser influenciada ética e religiosamente.

Expliquei ainda que segundo um epistemólogo chamado Imre Lakatos, toda teoria científica é formada por um núcleo duro e um cinturão que a envolve. O caroço duro é a ideia central da teoria, já o cinturão envolve muitas hipóteses e conceitos secundários em relação ao caroço duro e podem ser de alguma forma flexibilizados sem que a teoria toda venha a sucumbir. Ou seja, muitas ideias “ad-hoc” podem ser incorporadas para tentar manter a teoria viva e coerente.

Expliquei ainda como funciona o método científico como ideal de desenvolvimento da ciência. O método científico idealiza que você observe um fenômeno acontecer, realize experimentos e tente daí extrair uma teoria que possa descrevê-lo. Porém na prática este método não pode ser seguido copiosamente, devido à subjetividade inerente que existe por trás da ciência e das pessoas que a constroem. Citei que a teoria da relatividade geral é um exemplo disso. Einstein acreditava na beleza e harmonia do universo, e propôs a relatividade geral em 1915, sendo que sua teoria só veio a ser confirmada alguns anos após num eclipse solar.

Um aluno comentou:

“Nossa a ciência não é lá tão exata, assim não é mesmo professor ? ”

Eu lhes disse que na verdade não é. E infelizmente a maioria das pessoas tem uma ideia distorcida do que é a ciência, do papel que ela representa e quais são seus limites de validade. Terminei a discussão dizendo que não é interessante negarmos a ciência pois ela é uma forma legítima de entendermos o mundo que nos circunda, mas que deveríamos ver que

seu campo de ação é mais limitado do que realmente parece e que a mesma possui suas limitações e incoerências inerentes a todo processo humano de construção de conhecimento.

Destaquei que é importante ver a ciência como uma luz de entendimento sobre o mundo, mas não a verdade absoluta.

Um deles disse:

“É verdade, uma teoria que vale hoje, daqui cem anos pode não valer mais”.

Os alunos não demonstraram dificuldades neste ponto, visto que eu já havia trabalhado este tema nas aulas iniciais de nosso curso de física. Um deles questionou se eu achava que algum dia a ciência conseguiria explicar tudo, e eu respondi que devido à imensidão de nosso universo se isto acontecesse, seria num futuro muito, mais muito distante mesmo, e que existem muitas coisas ainda por nós totalmente desconhecidas.

Finalizei dizendo que o papel da ciência é de tentar explicar da melhor maneira possível com suas teorias o funcionamento do universo. Uma teoria sobrevive enquanto consegue explicar adequadamente uma série de fenômenos observáveis e predizer outros, mas nada garante que seja eterna, a qualquer momento ela pode ser substituída por uma outra, mais generalizadora ou mais simples.

**3. Analizando o propósito do experimento de Galileu. *Galileu em seus estudos sobre a gravidade quis estudar a queda livre vertical, porém acabou por utilizar um plano inclinado em seu lugar. Em sua opinião, qual a motivação de Galileu em fazer isso?***

Grupo : “ *O movimento de queda livre ocorre muito rapidamente, logo não haveria como medir o tempo de queda de um objeto na vertical. No plano inclinado segundo Galileu o movimento seria o mesmo alterando somente a velocidade*”.

Os alunos tiveram dificuldade de entender esta questão e chegar à resposta acima. Inicialmente eles não conseguiam perceber qual tinha sido o objetivo de Galileu em usar o plano inclinado. Tive então que fazer uma intervenção para ver se eles conseguiam perceber tal motivo.

Eu lhes disse então que Galileu na verdade gostaria de estudar a queda livre vertical, e testar a hipótese que este tipo de movimento poderia ser uniformemente variado, mas que devido ao fato deste movimento acontecer muito rapidamente era realmente impossível fazer qualquer tipo de medição de tempo de queda por exemplo. Peguei o plano inclinado e deixei

na posição vertical, e pedi a eles que imaginassem uma bola caindo lateralmente acompanhando da sua extensão, sem tocá-lo. Perguntei então que tipo de movimento seria este.

Um deles disse se tratar de uma queda livre, pois a bola caía livremente ao lado do plano inclinado. Eu o parabenei. Logo em seguida peguei a bola e segurando-a com uma das mãos coloquei-a no topo do plano, encostando-a neste, dando-lhe uma leve inclinação. Eu lhes disse que caso eu soltasse a bola ela iria descer o plano inclinado, por toda sua extensão, só que apoiando-se nele agora, e não mais numa trajetória paralela ao mesmo. A bola estaria apoiada agora no plano inclinado, porém esta não iria tão rápido devido à inclinação da rampa. Continuei e disse que se eu fosse cada vez mais diminuindo a inclinação dada, a bola continuará percorrendo toda a extensão do plano inclinado e o fará cada vez mais lentamente.

Todos concordaram que quanto menor a inclinação dada ao plano inclinado mais tempo a bola levaria para percorrer sua extensão. Fui inclinando cada vez mais o plano inclinado, mostrando que a bola continuaria percorrendo toda a extensão do plano inclinado, porém com tempos cada vez maiores. Eu os indaguei se o fato de inclinar o plano mudaria o tipo de movimento que estava acontecendo.

Um deles disse acreditar que sim, pois o movimento não era mais o mesmo. O grupo ficou dividido entre os que achavam que o movimento permanecia do mesmo tipo e aqueles que achavam que ele sofria alteração.

Eles não conseguiam chegar a uma conclusão sobre o assunto. Um aluno chegou a dizer que o movimento era uma espécie de “queda livre deitada”, e outro disse que o movimento era diferente, visto que a bola cai, mas ao mesmo tempo ia para frente, sugerindo uma combinação de movimentos.

Resolvi aproveitar a ideia da “queda livre deitada”, e perguntei se a gravidade era quem puxava a bola tanto na situação vertical quanto na situação inclinada, e todos concordaram que realmente era a gravidade. Informei que Galileu também não tinha certeza sobre se o movimento era do mesmo tipo, mas fez essa hipótese que se mostrou correta depois. O movimento de queda livre seria equivalente ao movimento no plano inclinado, porque o agente que causa o movimento seria o mesmo, a gravidade terrestre neste caso.

Eu os informei ainda que Galileu acreditava que o tipo de movimento (uniformemente variado, segundo ele) se manteria pois o papel da inclinação seria apenas

diminuir o valor da aceleração, mas o tipo de movimento seria o mesmo. Logo se de alguma maneira fosse possível medir esses novos tempos de queda, seria possível a verificação que o movimento uniformemente de fato existiria e poderia ser medido na natureza, e generalizando este pensamento o MRUV também corresponderia à queda livre, que seria a inclinação limite.

Os alunos ficaram admirados com a genialidade de Galileu neste momento, e disseram que jamais pensariam em algo assim. Eu os disse que se eles se deparassem com um problema que quisessem resolver, muito que provavelmente depois de algum tempo pensando sobre o assunto quase que certamente encontrariam formas de resolvê-lo, assim como o fez Galileu.

A ideia aqui foi entender qual teria sido o raciocínio galileano, para superar a dificuldade de medir tempos muito curtos no fenômeno da queda livre. Os alunos compreenderam bem a ideia, portanto, achei por bem não mencionar sobre o movimento de rotação adquirido pela bolinha quando a queda não era vertical neste primeiro momento. Galileu não citou nada sobre a rotação da esfera em seus trabalhos, e neste momento não seria interessante fazer tal distinção, devido à dificuldade matemática ao se trabalhar com rotações no ensino médio. Iremos considerar apenas o movimento de translação da esfera em nosso trabalho.

#### **4. Algumas ideias de Galileu. Rolando no plano inclinado. O mais pesado cai mais rápido?**

*Em sua opinião, caso você faça deslizar do topo do plano inclinado duas esferas de “pesos” distintos, qual chegará primeiro ao final? Por quê?*

Grupo: *“Estudamos nas aulas de física que chegam ao mesmo tempo, pois a gravidade exerce forças diferentes nos dois corpos. No mais pesado mais força e no mais leve menos força.”*

Esta questão visava questionar as concepções espontâneas dos alunos sobre a queda de objetos de diferentes massas. Porém mesmo sem ter feito qualquer experimento, quatro deles disseram que após os conhecimentos obtidos nas aulas teóricas do ano anterior, sabiam que sem a influência do ar todos chegariam juntos. A gravidade aplica forças diferentes no

diferentes corpos. Os que têm grande massa sofrem forças maiores, e os que têm pequena massa sofrem forças menores, a fim de que todos consigam chegar juntos. Um deles citou ainda o vídeo que assistiu pela internet, sugerido em sala de aula que mostrava o astronauta David Scott, que ao chegar à Lua soltou uma pena de falcão e um martelo, percebendo que ambos chegaram juntos ao solo lunar, confirmando as ideias de Galileu fora do planeta Terra.

Dois deles achavam que o mais pesado cai mais rápido, mas foram convencidos pelos demais que isso só ocorria pela existência do ar.

Dei por encerrada a discussão desta questão, visto que a próxima questão complementar a mesma.

**5. Faça o teste e meça o tempo da maneira que achar mais conveniente da queda das duas bolas de bilhar de “pesos” distintos. Qual chega mais rápido ao final da rampa?**

*Grupo: “As duas bolas de bilhar chegaram ao mesmo tempo, em cerca de 3,12 s”*

Utilizando o software Audacity eles abandonaram duas bolas de bilhar de tamanhos e massas diferentes do topo do plano inclinado. A intenção seria confirmar o que eles haviam escrito na questão número 4.

Eles mediram o tempo de queda das esferas, sendo que este foi exatamente igual para ambas, mesmo as bolas possuindo visivelmente diferentes massas. Eles gostaram de ver o fenômeno acontecendo e mediram novamente, desta vez encontrando uma diferença de 0,01s entre os tempos. Como a diferença era mínima eles atribuíram tal diferença a algum tipo de erro ou resistência do ar, e confirmaram que o tempo de queda era realmente o mesmo para objetos de diferentes massas, e que eles assim como Galilei estavam realmente corretos em suas análises.

Para concluir, dei o exemplo de empurrarmos um carro e uma bicicleta, que utilizo em sala de aula. Se aplicarmos a mesma força e empurrarmos um carro e uma bicicleta eles irão acelerar de maneira diferente. Porém se aplicar uma força maior no carro e uma força menor na bicicleta poderá existir uma situação que os dois acelerem da mesma forma. Expliquei que a gravidade faz o mesmo, ela aplica forças proporcionais às massas dos objetos, para que todos cheguem ao mesmo tempo ao solo. Caso não cheguem é porque outras forças, como a resistência do ar fizeram isto acontecer.

Um dos alunos que achava que os objetos mais pesados caem mais rápido, falou que uma pena cai mais devagar que uma pedra e que estava confuso. Os demais já um pouco bravos disseram que era culpa do ar, que se não existisse ar isso não ocorreria assim como o experimento feito na Lua por David Scott.

Após o experimento e a discussão entre os alunos parece que todos acabaram se convencendo que ambas as bolas, e conseqüentemente todos os objetos chegam juntos ao solo, caindo da mesma altura se não houver resistência do ar.

**6. Se Galileu quisesse medir o tempo de queda da esfera rolando o plano inclinado, como ele poderia ter feito isso, sendo que não havia relógios digitais como atualmente?**

*Grupo: “Utilizando um recipiente transparente ele coletava a água que caía de uma torneira, medindo assim o tempo de queda do objeto com a quantidade de água no recipiente. Após isso ele pesava a massa de água e as comparava para obter as diferenças de tempo dos trajetos”*

Os alunos inicialmente não souberam resolver este problema, sendo que um chegou a sugerir que ele usou uma ampulheta. Eu o questionei perguntando como ele faria ao usar tal ampulheta, sendo que mesmo acontecendo mais lentamente que na queda livre vertical o tempo de queda da bola no plano inclinado ainda assim era muito rápido.

Os alunos não souberam pensar numa maneira de medir o tempo e um impasse se estabeleceu na sala. Foi quando eu sugeri que eles olhassem a figura ilustrativa da situação de aprendizagem. A figura em questão mostra Galileu fazendo seu experimento, e o procedimento que teria sido adotado.

Um aluno perguntou:

“Ele utilizou um recipiente com água?”.

Eu disse que segundo o relato descrito em seu livro, ele teria utilizado sim. Eles ficaram surpresos, e tentaram imaginar a forma que ele poderia ter utilizado a água como relógio.

Outro aluno afirmou:

“ Ele poderia ligar a torneira enquanto a bola descia, e desligar quando a bola tivesse parado ”.

Perguntei se haveria tempo suficiente para que isso acontecesse, e um deles respondeu que dependendo do tamanho do plano inclinado poderia ser que desse tempo sim.

Alguém sugeriu que ele poderia usar o dedo para interromper o fluxo de água, se este fosse bem fino. Foi então que finalizei dizendo que a ideia de Galileu foi exatamente essa, medir o tempo usando água. Quanto mais água maior o tempo.

Um dos alunos questionou:

“Mas como ele iria fazer apenas olhando para a água saber se havia muita ou pouca diferença? ” Este aluno alegou que não conseguiria perceber diferença, ainda mais se esta fosse pequena.

Parabenizei este aluno pela sua excelente percepção, e perguntei então como fazemos para saber diferenciar o valor de duas massas muito parecidas. Os alunos disseram que o único jeito seria “pesando-as” numa balança. Foi então que eu disse que Galileu teve a mesma ideia, e que mesmo no século XVII, já existiam balanças bastante precisas para este tipo de medição. Mais uma vez eles se impressionaram e disseram que Galileu era muito inteligente para conseguir imaginar um fio de água sendo utilizado como relógio.

Expliquei que segundo o relato de seu próprio livro, ele teria utilizado uma espécie de balde, e através deste ele coletava um fino fio de água que escoava de algum recipiente. Coletando esta massa de água seria possível medir o tempo de forma indireta. Para ter uma precisão deste tempo, as massas de água seriam aferidas numa balança muito precisa. As diferenças entre as massas seriam proporcionais às diferenças entre os tempos.

Foi então que comentei com os alunos sobre a grande discussão entre os epistemólogos da ciência, que divergem sobre a possível realização deste experimento por Galileu. Uma ala acredita que com os instrumentos galileanos era impossível medições eficientes e que ele não poderia ter alcançado os resultados que disse ter obtido. Já outra ala de cientista refez os experimentos e julgou ser possível sim nas condições da época que Galileu tivesse conseguido realizar este experimento com resultados satisfatórios.

Os alunos queriam saber se Galileu teria conseguido ou não realizar o experimento, e eu tive que informar que era impossível dar essa resposta, mas que acreditava que sim, que ele foi capaz de fazê-lo, embora não possa afirmar com certeza.

Eles ficaram pensativos e eu disse que mesmo que os resultados não possam ter sido muito precisos, a idealização do experimento por si só demonstra a grande capacidade imaginativa do grande físico. Os alunos acabaram discutindo entre eles e acabaram concluindo que Galileu deve sim ter conseguido realizar o experimento, com muita persistência e dedicação.

Finalizei a discussão dizendo que na ciência muitas vezes só encontramos as soluções para alguns problemas, pensando muito sobre eles e sendo criativos. Galileu usou a criatividade para superar uma dificuldade tecnológica de sua época. A ciência requer investigação e curiosidade.

Os alunos disseram que parece ser muito interessante ser cientista, pensando desta forma, e que acharam fantásticas as ideias que Galileu teve, e que realmente ele poderia ser considerado uma mente brilhante para sua época.

### **7. Relembre o que é um MRUV, quais são suas características ?**

Grupo : *“É um movimento uniformemente variado. O MRUV é um movimento no qual um objeto percorre um trajeto reto tendo variações constantes em sua velocidade, ou seja a velocidade aumenta ou diminui sempre da mesma forma”*

Esta questão visava retomar o conhecimento da situação de aprendizagem 3. Os alunos teriam que escrever uma definição de movimento retilíneo uniformemente variado, que não estivesse baseado em equações.

Eles citaram corretamente a definição do movimento, parecendo ter compreendido perfeitamente o conceito. Não houve maiores discussões acerca da questão 7, visto que ela já havia sido comentada nas atividades anteriores. Foi elucidado apenas que definir o movimento uniformemente variado, não quer dizer que de fato ele exista na natureza. Sendo assim pedi que eles pensassem se faria sentido os cientistas estudarem um fenômeno hipotético que possa não existir, ou não ter sido presenciado de fato na natureza.

Dois deles disseram acreditar que não faria muito sentido, visto que deveríamos estudar apenas coisas que existem ou foram presenciadas na natureza, e não haveria motivo para se preocupar com coisas que aparentemente “não existem”. Os outros alunos ficaram reticentes em responder a pergunta, não concordando nem discordando.

Eu não quis dar uma resposta definitiva a esta questão, até porque acredito que esta possa não existir. Eles ficaram discutindo se a ciência deveria apenas se limitar a estudar coisas que existem. Eu lhes disse que por muito tempo a ideia de átomo não foi aceita, e que na verdade apenas no início do século XX este modelo ficou bem estabelecido. Teoricamente os químicos e físicos estudavam coisas que “não existiam”, pois não eram vistas diretamente, mas que depois de muito tempo fez sentido em acreditar em sua existência por experiências indiretas.

Aproveitando o trabalho de minha monografia apresentada numa disciplina do PPGECE, comentei sobre a discussão atual que existe sobre a teoria das supercordas, que é um estudo teórico sobre nosso universo, e que pretende criar uma teoria de “tudo”, mas que ainda não possui evidências experimentais que a confirmem. Disse que a matemática desta teoria é muito elegante, mas ela faz afirmações estranhas como a que vivemos num universo de muitas dimensões, entre outras.

Os alunos demonstraram interesse nesta discussão, e perguntaram se algum dia alguém não poderia confirmar essa tal teoria das supercordas com algum tipo de experimento. Eu disse que a possibilidade até existe, porém até hoje não houve avanços significativos neste sentido, e que uma verificação direta seria extremamente improvável com a tecnologia que dispomos hoje. Pedi então que eles pensassem se os cientistas deveriam continuar se empenhando em estudar esta teoria, ou se deveriam abandonar a ideia. Dois disseram que eles deveriam continuar e outros dois disseram que não deveriam. Os outros dois alunos não se pronunciaram, dizendo não ter uma posição definida sobre o assunto.

Comentei para finalizar a discussão que a ciência por vezes pode investigar ou criar teorias sem uma confirmação experimental imediata, embora isto também não queira dizer que num futuro haverá uma confirmação desta mesma teoria. Podem existir teorias que demorarão anos para se confirmar e outras que talvez nunca sejam confirmadas. E a confirmação de uma teoria hoje não quer dizer que não possa ser substituída por outra mais adiante.

Os alunos demonstraram interesse, e um deles chegou a dizer:

“Já pensou você estudar uma vida toda, elaborar uma teoria e não conseguir resultados para comprová-la?”.

Eu lhe disse que isso sim poderia acontecer, mas que tudo isso faz parte do papel do cientista e de seu trabalho de desvendar o universo. Citei ainda o exemplo de Einstein que passou longos anos de sua vida obcecado e tentando criar sua teoria do campo unificado, onde juntaria gravitação e eletromagnetismo, mas que fracassou em sua tentativa.

Expliquei-lhes que embora existisse um estudo teórico sobre o movimento uniformemente variado desde a idade média, não existiam provas que este movimento de fato existia na natureza e tampouco que este descreveria a queda livre na superfície da Terra, porém isto foi constatado muito tempo depois. Muitas vezes uma teoria nasce antes dos dados que possam descrevê-las ou vice-versa, não há uma ordem extremamente lógica que possa ser aplicada em todos os casos.

Expliquei por fim que o papel de uma teoria científica é fornecer uma explicação momentânea para uma ampla gama de fenômenos observáveis, até que outra teoria mais simples ou mais generalizadora possa ser encontrada, substituindo-a e englobando-a. Finalizei assim a discussão da questão número 7.

É interessante ressaltar que os alunos se interessaram em conhecer melhor a teoria das supercordas numa outra aula.

#### 7.5 A APLICAÇÃO DA SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 5.

A segunda parte da atividade objetivava a reprodução propriamente dita do experimento galileano. Os alunos iriam utilizar a situação de aprendizagem 5 como instrumento de discussão para sua realização. A situação de aprendizagem se inicia com um texto falando do livro *Discurso sobre Duas Novas Ciências* de Galileu, e descreve o experimento do plano inclinado teoricamente realizado por ele. Após a leitura os alunos deveriam responder as questões propostas. Abaixo relacionamos as questões e as respectivas respostas dadas pelos alunos, como também a discussão que levaram as mesmas.

**1. Em sua opinião, qual era o objetivo de Galileu ao fazer o experimento do plano inclinado?**

Grupo: *“O objetivo de Galileu era comprovar sua tese que o movimento no plano inclinado era um MRUV e conseqüentemente também seria em queda livre”*

Vemos que o grupo entendeu a proposta de Galileu, e o seu objetivo ao realizar o experimento do plano inclinado. Eles compreenderam por meio da situação de aprendizagem anterior que Galileu transporia uma situação complicada de ser analisada, como a queda livre para um problema mais simples, como o movimento no plano inclinado. Segundo Galileu o tipo de movimento permaneceria, apenas o tempo seria diferente. A discussão já havia sido detalhada na situação de aprendizagem anterior.

**2. Pesquise a relação que existe entre a unidade braça e o metro. O plano inclinado que você possui é igual ao de Galileu? Se não for isto poderia afetar os resultados?**

Grupo : *“ Uma braça é equivalente a 1,83 metros. O plano inclinado não é igual mais o resultado continua sendo o mesmo pois só se altera a escala não alterando o tipo de movimento ”*

Os alunos acessaram a internet de meu computador pessoal e encontraram uma relação entre as unidades de medidas braça e metro. Eles fizeram alguns cálculos e pela descrição dada por Galileu, descobriram que seu plano inclinado possuía 12 braças de comprimento, o que equivaleria a mais de 14 metros em nossa unidade de medida usual.

Inicialmente eles ficaram em dúvida se o tamanho do plano inclinado poderia afetar ou não os resultados. Eu pedi que eles pensassem no tipo de movimento. Perguntei se o fato de soltarmos uma pedra de uma altura um pouco maior comparado com o fato de soltarmos outra de uma altura um pouco menor, poderia alterar o tipo de movimento.

Eles disseram que não, que ambos os movimentos eram similares. Eu questionei então, sobre o que seria diferente então.

Eles disseram que o tempo seria diferente, mas o tipo de movimento seria o mesmo, uma queda livre. Perguntei se as características do movimento se manteriam, e eles confirmaram que sim.

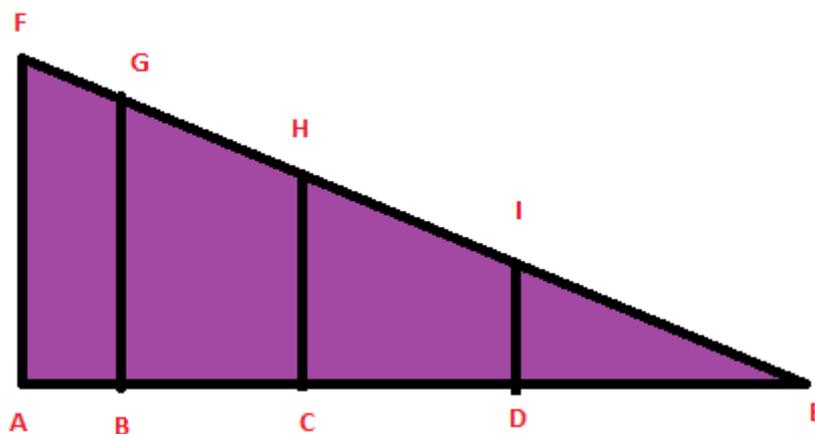
Nesta mesma linha de raciocínio, eles próprios conseguiram concluir que usando um plano inclinado menor, o tipo de movimento seria equivalente, segundo eles a “bola rolando sendo puxada pela gravidade”, mas o tempo seria menor, e que Galileu teria que usar um plano inclinado muito grande, pois ele não dispunha de um software como o Audacity em sua época. Quanto maior o tamanho do plano, maior o tempo de queda da bolinha. Assim com seu relógio d’água seria mais fácil fazer as medições num plano inclinado de maior tamanho.

Um aluno questionou se a inclinação fosse diferente, se os resultados seriam diferentes. Eu então pedi que eles mesmos tentassem responder a questão. Após alguns minutos, eles chegaram à conclusão que o movimento continuaria sendo do mesmo tipo, porém uma diferente inclinação corresponderia a uma velocidade diferente. Quanto menor a inclinação menor a velocidade.

Concluimos juntos que se a inclinação fosse a mesma, o movimento seria exatamente do mesmo tipo, só levaria mais tempo, pois a distância seria maior. Pedi que eles relembassem das aulas de matemática e das discussões sobre semelhança de triângulos.

Na lousa fiz um desenho para explicar a situação:

Fig. 13: Ilustração feita em lousa que visa demonstrar a semelhança de triângulos.



Os triângulos IED, HEC, GEB e FEA são semelhantes, e mantêm assim uma mesma proporção entre a razão de seus lados. Como a inclinação é a mesma, o tipo de movimento irá se manter, apenas o tempo será diferente, assim também ocorre no plano inclinado.

Acreditamos que após esta discussão, os alunos puderam obter um correto entendimento com relação ao uso de diferentes escalas nos experimentos científicos.

Parece ter ficado claro que um mesmo experimento pode ser reproduzido em uma escala menor, desde que sejam mantidas as mesmas condições sem afetar os resultados. Acreditamos assim que a questão alcançou o objetivo desejado.

**3. Você irá seguir os passos de Galileu e irá refazer este experimento. Seu objetivo é testar a hipótese que o movimento na descida do plano inclinado é uniformemente variado. Como fazer as medições? Que grandezas vocês irão medir?**

Grupo: *“As medições foram feitas desta forma : dividimos o plano inclinado em quatro partes iguais e fizemos a bolinha rolar diferentes distâncias anotando o tempo do seu percurso para cada uma destas distâncias.”*

Percebemos que os alunos entenderam o procedimento que deveria ser adotado nas medições no plano inclinado.

Inicialmente eu os questionei sobre o que seria necessário medir para sabermos as características de um dado movimento. Lembrando-se das aulas anteriores quatro alunos concordaram entre si que seria necessário medir distâncias e tempos de trajetos. Eu os questionei como eles fariam isso no caso do plano inclinado, e eles disseram que da mesma forma que Galileu teria feito na descrição do seu livro, ou seja, dividir o plano inclinado em quatro partes iguais e medir o tempo que a bolinha levaria para percorrer estas distâncias. Eu comentei que realmente o procedimento poderia ser este, mas eu perguntei ainda se poderíamos dividir o plano inclinado apenas em quatro partes, ou se ele poderia ser dividido em um maior número, ou ainda em um menor número de partes.

Pensativos por alguns instantes dois alunos disseram que quanto maior o número de partes, mais informações teríamos para montar o quadro que relaciona distância e tempo, e que talvez fosse melhor dividir em muitas partes.

Porém, eles disseram que dividiriam em quatro partes, pois Galileu tinha feito desta forma e eles seguiriam seu raciocínio. Resolvi não intervir e concordei com a decisão por eles tomada.

A próxima questão irá detalhar o procedimento que eles adotaram nas medições.

**4. Você agora deverá elaborar um procedimento, semelhante ao de Galileu para conseguir através de um plano inclinado tentar provar que a queda livre é um movimento uniformemente variado. Explique abaixo em detalhes o procedimento que irá adotar.**

Grupo: *“Dividimos o plano inclinado em quatro partes iguais de 50cm cada. Fizemos a bolinha rolar o trajeto de 50cm e a paramos com uma chapa de metal, medindo o tempo que ela gastou para percorrer o trajeto. Em seguida fizemos a bolinha rolar 1m e medimos o tempo do percurso, sempre acrescentando 50 cm até chegar a 2m, sempre medindo o tempo do trajeto. Consideramos a parte da frente da bolinha para compensar o espaço que ela ocupava. A medição de tempo foi feita 2 vezes para comprovação da afirmação, sendo que uma medimos 3 vezes, pois da primeira para a segunda houve uma diferença significativa.”*

Os alunos fizeram ao seu modo um relato do experimento que realizaram. Eles possuem dificuldade de escrita e geralmente são muito breves em suas respostas. Eu pedi que eles detalhassem o procedimento, sendo que alguém que não estivesse lá pudesse entender o que havia se passado.

Na figura 14 apresentamos uma figura dos alunos fazendo medições no plano inclinado:

Figura 14: Alunos fazendo medições no plano inclinado.



Embora ainda sem muito rigor, eles relataram de forma clara o procedimento adotado, demonstrando uma iniciação na prática experimental e grande melhoria na escrita de um texto, em especial uma descrição de um experimento de um fenômeno físico.

Inicialmente os alunos não haviam percebido que o tamanho da bolinha poderia influenciar no movimento sendo que ela não é uma partícula. Inicialmente dividiram o plano inclinado em quatro partes iguais, sem levar este fato em consideração. Eles utilizaram uma régua e um pedaço de giz para fazer as marcações no plano inclinado. Quando iam iniciar o experimento eu lhes perguntei se o tamanho da bolinha poderia alterar alguma coisa. Eles ficaram confusos. Eu lhes perguntei qual parte da bolinha iria percorrer os 50 cm. Eles responderam que a frente da bolinha. Eu lhes disse que não era verdade visto que a frente da bolinha não estava na posição zero das divisões que eles fizeram. Como eles não conseguiram entender o que eu havia explicado, eu disse que colocando a bolinha na posição zero, sua parte frontal ficava um pouco mais a frente, ou seja, no primeiro trajeto a parte frontal da bolinha percorreria apenas 45cm e não 50cm. Eles concordaram que deviam então marcar a posição zero a partir da parte frontal da bolinha.

Para marcar o novo ponto zero do trajeto eles colocaram uma régua na frente da bolinha e marcaram com giz este ponto. Decidiram apagar todas as marcações anteriores e refazer as novas marcações.

Foi então que eles mediram a posição inicial a partir da bolinha situada no plano, e os 50 cm após esta posição inicial. Eles quiseram saber por que eu não os havia avisado antes sobre este fato, e eu respondi que esperava que eles percebessem por conta própria o erro que iriam cometer, pois todos os detalhes de um experimento são muito importantes e que um simples descuido como este poderia arruinar as medidas, levando a um resultado falso. Eles ficaram surpresos e impressionados com a quantidade de detalhes e cuidados que um experimento aparentemente simples como este requer.

**5. Faça as medições que achar necessárias para a averiguação de sua hipótese. Alguns instrumentos de medida estarão disponíveis com seu professor, caso vocês solicitem. Anote todas suas medidas e as observações que acharem pertinentes.**

Grupo: *“Fizemos a medida e elaboramos o quadro abaixo:*

<i>cm</i>	<i>Tempo em segundos</i>		
<u>50</u>	<u>1,48</u>	<u>1,49</u>	
<u>100</u>	<u>2,35</u>	<u>2,15</u>	<u>2,15</u>
<u>150</u>	<u>2,69</u>	<u>2,67</u>	
<u>200</u>	<u>3,13</u>	<u>3,11</u>	

*Fizemos uma outro quadro com a média dos tempos.*

<i>cm</i>	<i>média</i>
50	1,485
100	2,15
150	2,68
200	3,12

*Para confirmarmos se o movimento é um MRUV, vamos dividir a distância percorrida pelo quadrado do tempo gasto, ou seja  $\frac{\Delta s}{\Delta t^2}$*

$\Delta s$	50	100	150	200
$\Delta t^2$	2,19	4,6	7,18	9,73

$$\frac{\Delta S_1}{\Delta t^2_1} = \frac{50}{2,19} = 22,83$$

$$\frac{\Delta S_2}{\Delta t^2_2} = \frac{100}{4,6} = 21,73$$

$$\frac{\Delta S_3}{\Delta t^2_3} = \frac{150}{7,18} = 20,89$$

$$\frac{\Delta S_4}{\Delta t^2_4} = \frac{200}{9,73} = 20,55$$

O grupo não teve grandes dificuldades nas medições. Eles não sabiam como fazer o ruído inicial, para ser captado pelo software. O ruído final seria a batida da bola contra uma pequena chapa metálica que outro aluno seguraria. Um deles sugeriu gritar a palavra “já”, quando soltasse a bola. O software ficaria ligado antecipadamente. Um aluno soltava a bola

gritando “já”, outro deteria a bola na posição indicada com o auxílio da chapa metálica, outros dois analisariam os ruídos no software, e os outros dois anotariam os dados para análise.

Começaram então a efetuar as medidas. Realizaram apenas uma medida para cada trecho. Quando iam finalizar a última medida, eu lhes perguntei se eles acreditavam que apenas uma tomada de medidas seria suficiente para a realização do experimento. Um deles disse que repetiria as medições para verificar se os valores encontrados não eram muito diferentes. Eles perceberam que três das medidas estavam muito próximas uma das outras, o que para eles de certa forma comprovaria que haviam medido corretamente. Apenas uma das medidas teve uma diferença significativa e eles resolveram medir três vezes, sendo que desprezaram a medida discrepante, já que as duas outras foram muito próximas uma da outra.

Acharam por bem anotarem seus valores em quadros, para posterior visualização, e assim efetuaram os cálculos para chegar a uma conclusão sobre o tipo de movimento envolvido no plano inclinado. Eles utilizaram uma maneira muito parecida com a trabalhada nas situações de aprendizagem anteriores, demonstrando assim que estas foram úteis.

Por conta própria adotaram a utilização de uma média aritmética nas medidas do tempo, pois perceberam que elas não eram exatamente iguais para as duas diferentes medições, introduzindo intuitivamente a ideia do erro no experimento, e isto foi importante, pois em nossas discussões concordamos que mesmo com instrumentos muito precisos de medições sempre haverá algum tipo de erro associado ao experimento. Comentei ainda que o tratamento matemático dos erros num experimento é muito mais complexo do que simplesmente efetuar a média aritmética e adotar esse valor como o mais correto, e que na prática utilizamos um método um pouco mais sofisticado, mas que para o intuito de nosso experimento isso não seria necessário. As medidas se situam num valor médio, acrescido de uma respectiva incerteza.

**6. Existem erros relativos aos processos de medição que você propôs? Explique todos os erros que você percebeu durante as medições. Que aproximações necessitou realizar? Galileu lidou com os mesmos problemas que você? Justifique.**

Grupo: *“Sim, existem muitos erros. A medição da distância que a bolinha percorria era sempre aproximada, usamos uma trena, e marcávamos com um giz esta distância. Na hora de colocar a chapa de metal para deter a bolinha este sempre podia ficar um pouco acima ou um pouco abaixo da marcação que já era aproximada. A própria medição do*

*tamanho da bolinha envolve algum tipo de erro. Em relação ao tempo mesmo utilizando o software Audacity, é quase impossível medir com extrema precisão, porque as medidas nunca são exatamente iguais, mas bem próximas umas das outras. Galileu deve ter encontrado muitas dificuldades, e nós pensamos que mesmo usando um plano inclinado maior deve ter sido difícil fazer estas medidas, ele deveria precisar de ajudantes. Qualquer pequena mudança no tempo por exemplo muda bastante o resultado. Galileu deve ter enfrentado muitas dificuldades ao realizar este experimento”.*

Nesta questão é interessante notar que os alunos reconhecem a existência de muitas fontes de incertezas em seu experimento, e que num laboratório é impossível realizarmos uma medida com perfeita exatidão. O mais interessante é que eles conseguiram comparar seu aparato experimental com o utilizado por Galileu e que percebem que o grande físico teria enfrentado grandes dificuldades na realização do mesmo experimento devido aos rústicos equipamentos de medição que possuía na época. Mais uma vez a ideia do erro experimental é sedimentada, o que pode vir a facilitar a compreensão que a física é uma ciência experimental por natureza, e que os dados e valores que trabalhamos em exercícios são sempre valores aproximados num modelo idealizado. Completei ainda que embora eles não estivessem lembrando que ainda tínhamos com outras fontes de incertezas que desprezamos como o atrito de rolamento entre a bolinha e o plano inclinado, e a resistência do ar.

A discussão foi finalizada quando concluí que não é possível englobar todas as variáveis existentes, logo a física tem que lidar com um modelo simplificado do universo, onde conseguimos desprezar na medida do possível algumas variáveis que em dadas condições não são muito relevantes, e que este modelo pode se aproximar bastante da descrição da realidade que almejamos para nosso objeto de estudo.

Um aluno chegou a mencionar:

“Realmente é impossível considerar tudo que afeta um experimento, na verdade fazemos uma boa aproximação do que está acontecendo...”

Concordei com ele, e disse que trabalhamos com modelos idealizados, mas claro que tais modelos têm que possuir uma correspondência com o mundo real, nem que seja de maneira aproximada, e finalizei dizendo que apesar da descrição não ser completamente fiel, o entendimento de uma situação idealizada pode ajudar a compreender o funcionamento da situação real, e que obviamente os modelos podem ser aperfeiçoados para uma descrição cada vez mais detalhada, e que fazer ciência é sem dúvida algo muito criativo, entusiástico, e que a ciência é um ramo fascinante do conhecimento humano.

**7. Quais conclusões você pode obter a respeito do experimento do plano inclinado. Este realmente pode ser descrito como um movimento uniformemente variado? Galileu teria tido condições de ter mostrado isso?**

Grupo: *“É um MRUV, pois as diferenças são pequenas mediante os erros que foram cometidos durante a experiência. Acreditamos que Galileu tinha condições de ter afirmado isso caso usasse um plano inclinado maior e se refizesse a experiência muitas e muitas vezes, para ter mais certeza sobre os resultados”.*

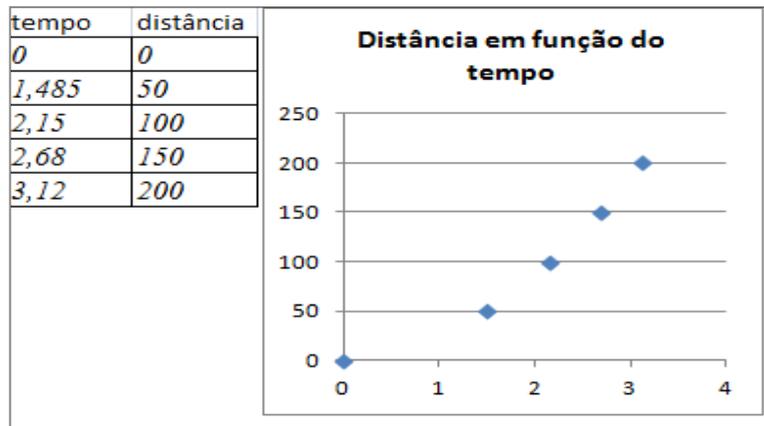
Aqui os alunos foram solicitados a emitirem uma conclusão sobre o experimento que realizaram, ou seja, eles deveriam dizer se o mesmo se tratava de um movimento retilíneo uniformemente variado ou não. Inicialmente com os dados obtidos e os cálculos eles acharam que o movimento não era uniformemente variado, visto que a divisão do deslocamento da bolinha pelo quadrado do tempo gasto não proporcionava um valor exatamente constante durante o percurso da bola. Porém a dúvida surgiu, pois embora os valores não fossem exatamente iguais, eles eram bem próximos uns dos outros.

Eles ficaram indecisos entre considerar o movimento como uniformemente variado ou não. Eu então lhes disse novamente que os valores tanto do deslocamento como do tempo não eram exatamente aqueles utilizados. Eles possuíam uma determinada variação, que estava associada às incertezas do experimento que tínhamos comentado anteriormente. E pedi que não esquecessem que na prática deixamos de considerar muitos fatores nas medições, idealizando o experimento como também tínhamos conversado anteriormente.

Foi então que sugeri que construíssemos um gráfico no computador para decidirmos se os dados que eles obtiveram determinavam uma relação do segundo grau entre distância e tempo. Pois se a distância realmente dependesse do quadrado do tempo, quando fizéssemos a construção deste gráfico, este deveria corresponder aproximadamente ao gráfico de uma parábola, que é a curva característica de uma função do segundo grau.

Os alunos não sabiam utilizar planilhas eletrônicas para construir um gráfico. Eu os ensinei os comandos básicos, e eles acharam interessante pelo fato de não haver a necessidade de ficar usando régua ou traçando pontos ou mesmo utilizar papel quadriculado, como faziam nas aulas de matemática. Construimos o gráfico do deslocamento em função do tempo. Eles logo acreditaram se tratar de uma parábola, mas ainda não tínhamos traçados nenhuma “linha de tendência” para este gráfico, como mostra figura15.

Figura 15: Gráfico da distância em função do tempo no Excel.

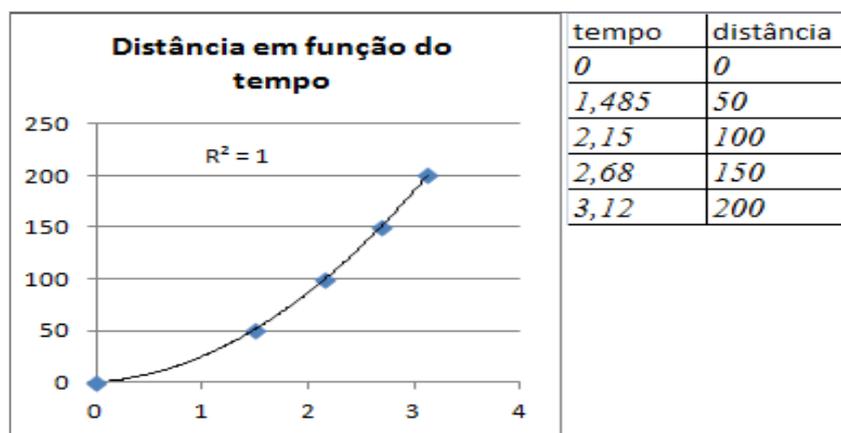


Sem entrar em detalhes, eu comentei que o software possui um recurso chamado “adicionar linha de tendência” que utiliza os dados do gráfico para desenhar curvas. Nós podemos escolher o tipo de curva, e através de um tratamento matemático o Excel nos diz se a curva escolhida se ajusta bem aos dados ou não. Um valor denominado  $R^2$ , nos daria o grau de concordância e ajuste de 0 a 1. Quanto mais próximo de 1 melhor o ajuste da curva, quanto mais próximo de zero, pior seria o ajuste. Escolhemos então um polinômio do primeiro grau como um possível ajuste inicial. O valor do  $R^2$  obtido foi de 0,93, porém a reta obtida não englobava adequadamente os dados segundo comentários dos próprios alunos.

Um dos alunos comentou que aqueles pontos não formavam de forma alguma uma linha reta.

Decidimos ajustar então agora os dados com uma linha de tendência de um polinômio do segundo grau. Qual não foi a surpresa dos alunos, senão que o ajuste resultou em um valor de  $R^2$  igual a 1. Ou seja, a parábola se adequava com bastante perfeição aos dados. A figura abaixo ilustra a situação obtida pelos alunos:

Figura 16. Ajuste com polinômio do segundo grau para os dados experimentais.



Os alunos puderam finalmente dizer então que o movimento analisado por eles no plano inclinado poderia ser considerado como um movimento uniformemente variado, pois a curva gerada pelo gráfico da posição em função do tempo representava com bastante perfeição uma função do segundo grau, concluindo assim o experimento do plano inclinado de Galileu Galilei. Concluí então a aplicação da situação de aprendizagem 5.

#### 7.6 ANÁLISE DA ATIVIDADE PELOS ALUNOS

Para conseguirmos realizar uma breve avaliação da atividade sob a ótica dos estudantes, aplicamos um pequeno questionário com doze questões para que respondessem anonimamente, evitando assim constrangimentos ou respostas tendenciosas, com a intenção de ao mesmo tempo em que eles pudessem colocar suas impressões sobre a atividade, pudessem também demonstrar a compreensão física de alguns conceitos trabalhados na própria atividade.

As questões utilizadas pretendiam também verificar uma possível mudança nas concepções espontâneas apontadas no levantamento prévio, realizado antes das atividades.

O questionário consta do anexo H, e seu resultado mostra que 100% dos alunos que realizaram a atividade, gostaram de fazê-la, o que é algo bastante positivo. Cerca de 67% deles consideraram a atividade entre ótima e muita boa. O percentual de 33% considerou a atividade boa. Nenhum aluno considerou a atividade como ruim.

Continuando a avaliação temos que cerca de 67% dos alunos disseram que a atividade facilitou bastante a compreensão de conceitos de física, e 33% disseram que a atividade facilitou a compreensão de conceitos de física, mostrando assim que sob a ótica dos alunos a atividade os ajudou a compreender melhor conceitos de física. Nenhum aluno disse que a atividade ajudou pouco ou não ajudou a compreender conceitos de física.

Quanto à utilização da história da ciência, 67% dos alunos disseram que conhecer a história de vida do cientista e o contexto onde ele estava inserido despertou bastante interesse no aprendizado dos conteúdos. Os outros 33% disseram que os conteúdos de história da ciência despertaram um pouco de interesse, e nenhum aluno disse que os conteúdos de história na ciência não despertaram interesse algum.

Em relação ao interesse na atividade comparando-se as atividades tradicionais em sala de aula, 67% dos alunos disseram que a atividade foi muito mais interessante que as atividades de sala de aula tradicionais. Cerca de 17% disse que a atividade foi mais

interessante que as atividades tradicionais em sala de aula, e 17% disse que foi igualmente interessante. Nenhum aluno mencionou que a atividade foi menos interessante do que as realizadas tradicionalmente em sala de aula.

Em relação à velocidade de queda dos objetos na superfície da Terra, a totalidade dos alunos disseram que a velocidade sempre aumenta da mesma forma, reconhecendo o movimento uniformemente variado na queda livre. Tal resultado foi bem animador.

Quanto ao tempo de queda dos objetos na superfície da Terra, 83% acertaram que o tempo de queda será o mesmo para todos os objetos desde que a resistência do ar seja desprezível. Apenas 17% disseram que cairão ao mesmo tempo em qualquer circunstância.

Em relação à explicação do motivo por que geralmente uma pena cai mais lentamente que uma pedra, 83% dos alunos acertaram que o motivo para tal é o fato que o ar influencia muito mais o movimento da pena do que o da pedra. Apenas 17% disseram que o motivo é pelo fato dos corpos serem feitos de diferentes materiais.

E finalmente foi questionado aos alunos sobre o que significa dizer que a aceleração da gravidade ter o valor de  $10\text{m/s}^2$ . Do total de alunos que responderam, 83% escolheram a alternativa correta afirmando que a aceleração ter valor de  $10\text{m/s}^2$  significa que a velocidade de queda de um objeto aumenta  $10\text{m/s}$  a cada  $1\text{s}$  de movimento. Apenas 17% afirmaram que a velocidade de queda é sempre a mesma com valor de  $10\text{m/s}$ .

## 8. CONCLUSÕES E PERSPECTIVA DE CONTINUIDADE.

A análise das respostas dadas nas situações de aprendizagem, nas questões da avaliação da atividade, bem como as discussões desenvolvidas durante a aplicação das mesmas sugerem indicadores de aprendizagem efetiva durante a atividade do plano inclinado de Galileu Galilei. Parece bastante claro que os alunos compreenderam a diferença entre movimento uniforme, movimento uniformemente variado e como realizar procedimentos para verificar e classificar esses dois tipos de movimento, destacando suas características principais. Eles conseguiram ainda utilizando tais procedimentos verificar que o movimento no plano inclinado era do tipo uniformemente variado, entrando em contato com a parte histórica deste experimento clássico, vendo como Galileu teria feito para realizá-lo, as dificuldades que ele enfrentou e conheceram ainda a controvérsia existente entre os historiadores da ciência que debateram se o grande físico teria efetivamente conseguido realizar este experimento.

Na atividade os alunos entraram em contato com um tópico de física, puderam formular hipóteses para resolver uma situação problema, conheceram a questão das incertezas e erros nos experimentos científicos e analisaram alguns aspectos subjetivos inerentes ao processo do desenvolvimento científico.

É possível inferir que o uso da tecnologia associada com uma postura de prática de laboratório mais investigativa e a inserção de tópicos de história da ciência foram relevantes para despertar o interesse e melhorar a compreensão dos conceitos físicos na atividade avaliada. A tecnologia propiciada pelo software Audacity despertou interesse no grupo, porque é um recurso que faz parte do cotidiano de nosso alunado, afinal de contas eles estão imersos em uma sociedade informatizada e se sentem muito à vontade quando lidam com tais recursos. A prática de laboratório mais investigativa por sua vez colocava-os para pensar e tentar resolver uma situação problema, o que sem dúvida torna a atividade mais dinâmica e com caráter científico, sendo que o aluno tem papel principal em todo o processo. Já a abordagem histórica do conhecimento humaniza a figura dos cientistas tornando-os mais próximos da realidade dos estudantes. Todos esses fatores foram relevantes sob nosso ponto de vista e fizeram com que a atividade trouxesse resultados positivos no processo de aprendizagem deste tópico de física.

É inegável que estes alunos durante a aplicação das atividades ainda não possuíam total independência na elaboração de hipóteses e na resolução de situações problemas, dependendo ainda fortemente da figura do professor para avançarem, mas é necessário

ressaltar que eles efetuaram progressos notáveis na superação destas dificuldades, visto que esta foi a primeira vez que realizaram uma atividade com este tipo de abordagem. Realmente foram surpreendentes muitas das discussões ocorridas, e acreditamos que a continuidade de tais práticas poderia levá-los a um patamar cada vez mais elevado de independência com relação a práticas investigativas, alcançando grau máximo no ensino de ciências.

Também não podemos deixar de considerar que a atividade obteve melhores resultados quando comparada com uma aula expositiva tradicional. Durante grande parte do tempo da atividade eles perguntavam e questionavam apontamentos, diferentemente do que ocorre numa aula tradicional, onde o professor acaba sendo a figura central do processo de aprendizagem, falando quase que a totalidade do tempo.

A diferença foi significativa, levando-se em conta que durante as aulas expositivas tradicionais os alunos quase nunca fazem perguntas e questionamentos, geralmente o que se percebe é o professor explicando o conteúdo programático e grande parte dos alunos em estado de apatia ou então muito inquietos, demonstrando desinteresse e desestímulo pelo conteúdo ensinado.

É importante salientar o sucesso ainda quando citamos o fato de tratarmos com um público provindo de alunos do ensino médio público estadual, que na prática do cotidiano escolar demonstram pouco interesse por física e possuem bastante dificuldade em lidar com a linguagem matemática e científica de maneira geral.

Sabemos, contudo, que alguns problemas atribuídos ao atual sistema de ensino (falta de espaço específico para a realização das atividades, carga horária extensa, falta de material para a realização de experimentos, grande número de alunos por sala de aula ), especialmente são fatores determinantes para a falta de sucesso na aplicação de atividades como a realizada neste projeto, mas que mesmo assim é possível inovar.

Mesmo considerando tais dificuldades, é necessário ressaltar que diferentes abordagens de ensino podem ser mais enriquecedoras, e mais proveitosas, trazendo discussões e resultados mais agradáveis durante as aulas de ciências de um modo geral se comparado às atividades tradicionais de resolução de exercícios pura e simplesmente. Muitas vezes devido aos empecilhos acima citados, não é possível utilizar conjuntamente todas as formas de abordagem utilizadas no trabalho, mas podemos inserir elementos de uma ou de outra em maior ou menor profundidade em nossas aulas cotidianas, despertando assim mais interesse e melhorando seu desempenho.

Se não for possível realizar um experimento, nós professores podemos utilizar elementos da história da ciência, ou preparar uma aula com caráter mais investigativo. É sempre possível fugir de um esquema extremamente tradicional de ensino.

Sob nosso ponto de vista um dos grandes desafios do professorado que leciona ciências é a necessidade de cursos de aperfeiçoamento, para que possam conhecer estas novas ferramentas e modalidades de ensino aprendizagem. O uso de novas tecnologias, a utilização da história da ciência, a modelagem matemática de situações problemas são ferramentas poderosas para que nossos alunos consigam assim mobilizar diversos conhecimentos e ferramentas em uma prática mais articulada com as atuais necessidades educacionais, construindo assim uma aula mais dinâmica com a elaboração de situações de aprendizagem mais enriquecedoras.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais norteiam a necessidade da formulação de uma nova abordagem em nossa concepção de ensino. Nesta abordagem o aluno passa a ter papel mais ativo na construção de seu conhecimento comparado a abordagem tradicional, onde o professor fala e o aluno apenas ouve. Sob esta nova concepção, o professor se torna o mediador de uma situação de aprendizagem e não mais o único detentor do saber, como ocorre no ensino tradicional clássico.

Sabe-se que este processo de mudança não é algo fácil, e que as resistências são inúmeras, mas o papel da escola mudou e a sociedade necessita que ele seja cumprido. O professor é o integrador da escola com a comunidade, sendo o mediador de todo o processo de aprendizagem. O foco do ensino aprendizagem sai do professor e passa a ser a interação entre este, o aluno e a comunidade.

A perspectiva de continuidade deste trabalho é a de partilhar tal estudo com os professores de ciências, em especial os professores da rede pública, para que estes possam ter novas ideias e elementos motivadores em sua prática educativa.

Estes professores poderão criar e recriar novas situações de aprendizagem em diferentes contextos, podendo utilizar-se das metodologias propostas neste trabalho, no desenvolvimento das competências e habilidades requeridas no ensino de ciências num contexto mais global.

O produto deste trabalho se apresenta como uma possibilidade da aplicação de uma sequência didática que utiliza um experimento clássico associado a uma diferente abordagem metodológica. Em hipótese alguma o trabalho está fechado, e isto quer dizer que absolutamente nada impede que tais situações de aprendizagem possam ser modificadas pelos professores que delas venham utilizar-se. É possível adequá-las a realidades distintas de

alunados. Os professores podem aprofundar os conteúdos estudados, dependendo do público que estão trabalhando. É possível, por exemplo, em turmas mais avançadas introduzir o conceito de momento de inércia e fazer a análise do estudo do papel da rotação da esfera no plano inclinado, problema real que Galileu teve que enfrentar na realização deste experimento. É possível ainda para o professor trabalhar com mais rigor a questão das incertezas experimentais, pedindo que os alunos façam uma análise detalhada destas incertezas, o que seria assaz interessante. Ou seja, o produto educacional aqui apresentado dá uma ideia de como trabalhar um tópico de física de uma maneira mais dinâmica e que esteja venha de encontro às novas necessidades educacionais preconizadas pelas novas diretrizes educacionais, mas está longe de ser algo fechado ou que deva ser reproduzido copiosamente.

Melhorias podem e devem ser realizadas, novas situações de aprendizagem podem surgir e novas ideias podem ser agregadas as aqui existentes. O professor é um ser criativo por excelência, e é também conhecedor de sua realidade, e assim sendo poderá utilizar-se destas ideias iniciais para criar novas possibilidades e novas situações de ensino aprendizagem mais condizentes com sua realidade e sua prática.

Isto não é apenas desejável, como esperamos que realmente ocorra. Como bem sabemos uma simples ideia pode motivar uma série de novas outras.

Se este trabalho puder contribuir minimamente como um elemento motivador na adoção de novas práticas por meio dos professores de ciências, podemos considerar que este terá alcançado plenamente seus objetivos.

O que sem dúvida deseja-se aqui é levar um ensino de ciências mais dinâmico e atraente para os alunos, com melhores resultados em sua aprendizagem, e que este possa ter real significado em seus cotidianos para que assim nossos alunos possam agir sobre o mundo de forma mais autônoma e consciente, despertando assim a curiosidade e a formação de novos cientistas.

Constam nos anexo I e J deste trabalho nosso produto educacional, que consta de um pequeno manual de aplicação da atividade do plano inclinado dedicado a professores que tenham interesse em utilizá-la em suas turmas. Como já dissemos, o manual é apenas uma referência, servindo de guia de orientação na aplicação da atividade, sendo o professor livre para fazer as adaptações que julgar conveniente em suas turmas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, C. E. M.; PEREIRA, M. M. O computador como cronômetro. In: XIX SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA , 2011. Manaus. Anais do XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2011.

AMORIM, H.; BARROS, S.; DIAS, M. Produção de fotografias estroboscópicas sem lâmpadas estroboscópicas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.26, n.3, p.492-513, 2009.

BORGES, A. T. Novos Rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n.3, p.291-313, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino Médio**. Brasília, 1999.

CAFFARELLI, R.V. **Galileu Galilei and motion**: a reconstruction of 50 years of experiments and discoveries. Pisa: Springer, 2009.

CENTRO DE REFERÊNCIA EM EDUCAÇÃO MARIO COVAS. Disponível em: <[www.crmariocovas.sp.gov.br/neh.php?t=001di](http://www.crmariocovas.sp.gov.br/neh.php?t=001di)>. Acesso em: 15/06/2012.

CRAWFORD, F.S. Rolling and Slipping Down Galileo's Inclined Plane: Rythms of the Spheres. **American Journal of Physics**, v.64, n.5, p. 541-546, 1996.

FRAGNITO, H. L.; CRUZ, C. H. B. **Guia para Física Experimental**. Campinas: DFI – UNICAMP, 1997.

GALILEI, G. **Duas novas ciências**. São Paulo: Nova Stella, 1988.

GRAF disponível em : <http://www.if.usp.br/graf>. Acesso em 05 ago 2012.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. 9 .ed. São Paulo: Perspectiva, 2009.

LUDKE, M.; ANDRÉ, M. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: E.P.U,1986. 99 p.

MATTEWS, M. História, Filosofia e ensino de ciências: A tendência de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

NEVES et. al. Galileu fez o experimento do plano inclinado?. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v.07, n. 01, p. 226-242, 2008.

PEDUZZI, L.; ZYLBERSZTAJN, A.; MOREIRA, M. As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história da ciência numa sequencia de conteúdos em mecânica: o referencial teórico e a receptividade de estudantes universitários à abordagem histórica da relação força e movimento. **Revista brasileira de ensino de física**, vol.14, n. 04, p. 239-246, 1992.

PIRES, A. **Evolução das ideias da física**. São Paulo: Livraria da física, 2008.

POPPER, K. R. **A Lógica da Pesquisa Científica**. 6.ed. São Paulo: Cultrix, 2000.

PROJECTO FÍSICA . Lisboa: Fundação Caloust Gulbenkian, 1980.

SÃO PAULO. Secretaria Estadual de Educação. **Proposta Curricular do Estado de São Paulo**. São Paulo, 2008.

SEGRE, M. O papel dos experimentos na física de Galileu. **Caderno de Física da UEFS**, v.06, n.1-2, p.87-114, 2008.

STRAULINO, S. Reconstruction of Galileo Galilei's experiment: the inclined plane. **Physics Education**, v.43, n.03, p.316-321, 2008.

TEICHMANN, J. Studying Galileo at Secondary School: A Reconstruction of His 'Jumping-Hill' Experiment and the Process of Discovery. **Science and Education**, v.8, n.02, p.121– 136,1999.

TORRES, C. et al. **Física ciência e tecnologia**. São Paulo: Moderna, 2010. v.1.

THULLIER, P. **De Arquimedes a Einstein**: a face oculta da invenção científica. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1994.

ZABALA, A. **A prática educativa- como ensinar**. Porto Alegre: Atrmed, 1998.

ZYLBERSZTAJN, Arden. Galileu, um cientista em várias versões. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.5, n. especial, p. 36-48, jun, 1998.

**ANEXO A- PERFIL DOS ALUNOS PARTICIPANTES****1. QUESTIONÁRIO E TABULAÇÃO DE DADOS****PERFIL DOS ESTUDANTES**

Turma: \_\_\_\_\_ Ano: \_\_\_\_\_

1) Possui computador em casa?

( ) Sim

( ) Não.

Acessa computador em outro local? ( ) Sim. Onde? \_\_\_\_\_

( ) Não. (Pular questões 2, 3 e 4)

2) Possui acesso a Internet banda larga em casa?

( ) Sim

( ) Não.

Acessa Internet banda larga em outro local?

( ) Sim. Onde \_\_\_\_\_

( ) Não. (Pular questão 4)

3) Quais atividades mais desenvolve no computador ? Cite as três que mais desenvolve.

( ) Trabalhos escolares (pesquisas, relatórios...)

( ) Jogos

( ) Sites de relacionamento (orkut...)

( ) Bate-papo (Chat, MSN...)

( ) Baixar filmes e músicas

( ) Navegar na Internet (notícias, youtube...)

( ) Outros. Especifique

---

4) Lembra, de memória, o nome de algum site de pesquisa na Internet?

Qual? \_\_\_\_\_

5) Que tipo de atividade, além do computador (caso use), faz em seu tempo livre? Assinale as três que mais desenvolve.

- (    ) Assistir filmes.
- (    ) Ouvir música.
- (    ) Praticar esportes.
- (    ) Ler livro.
- (    ) Assistir televisão.
- (    ) Passear. Onde?
- (    ) Outros.

6) Em que tipo de escola foi o seu Ensino Fundamental?

- (    ) Totalmente em escola particular.
- (    ) Totalmente em escola da rede pública municipal
- (    ) Totalmente em escola da rede pública estadual
- (    ) Em escolas da rede pública municipal e estadual
- (    ) Em escolas públicas e particulares.

7) Fez algum curso complementar (inglês, informática, natação...) antes de entrar no ensino médio?

- (    ) Não
  - (    ) Sim. Qual (is)?
- 

8) Faz algum curso juntamente com o ensino médio?

- (    ) Não
  - (    ) Sim. Qual(is)?
- 

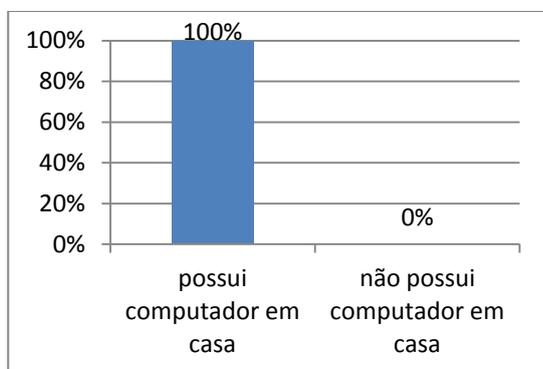
9) Pretende cursar o ensino superior (faculdade)?

- ( ) Não  
( ) Sim. Em qual área?

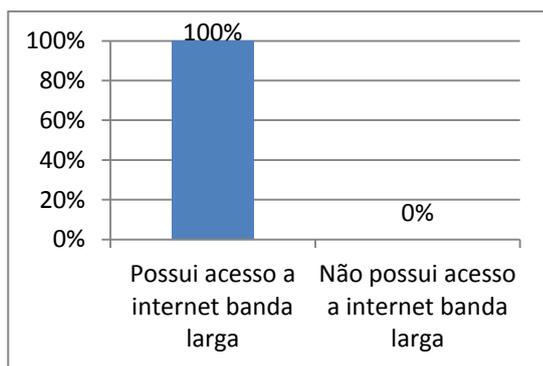
## ANÁLISE DO PERFIL DOS ESTUDANTES

Total de alunos entrevistados: 13 alunos

### 1) Possui computador em casa?

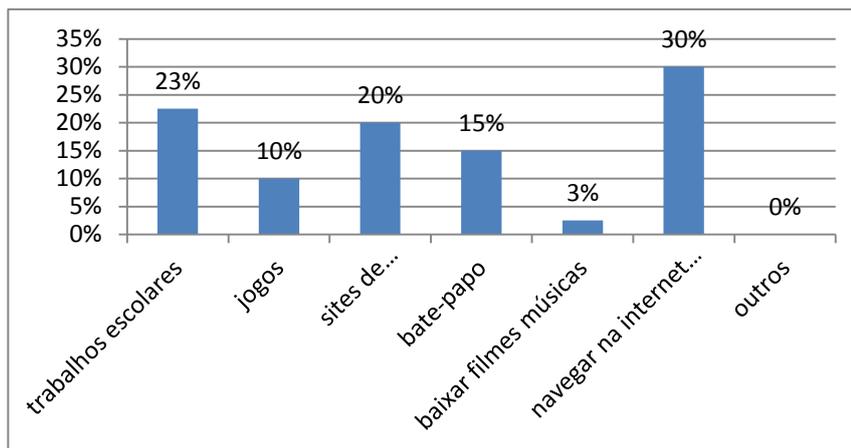


### 2) Possui acesso a banda larga em casa?

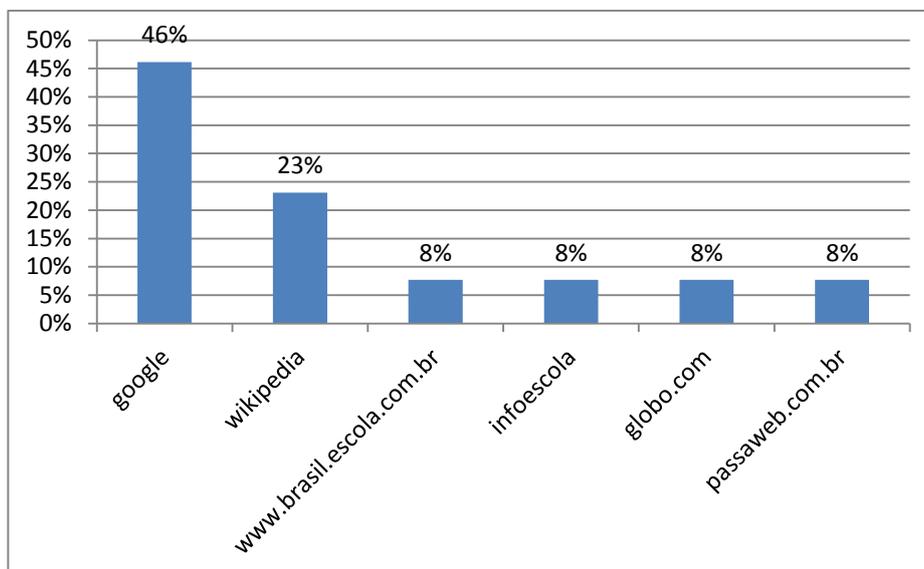


### 3) Quais atividades mais desenvolve no computador? Cite as três que mais desenvolve.

As atividades mais citadas por ordem de preferência foram:



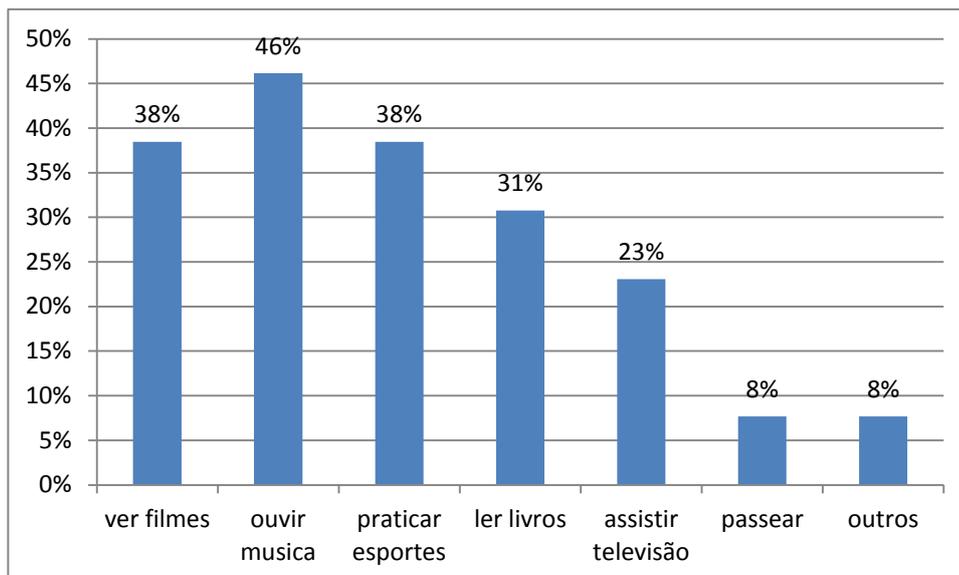
4) Lembra de memória, o nome de algum site de busca na internet? Qual?



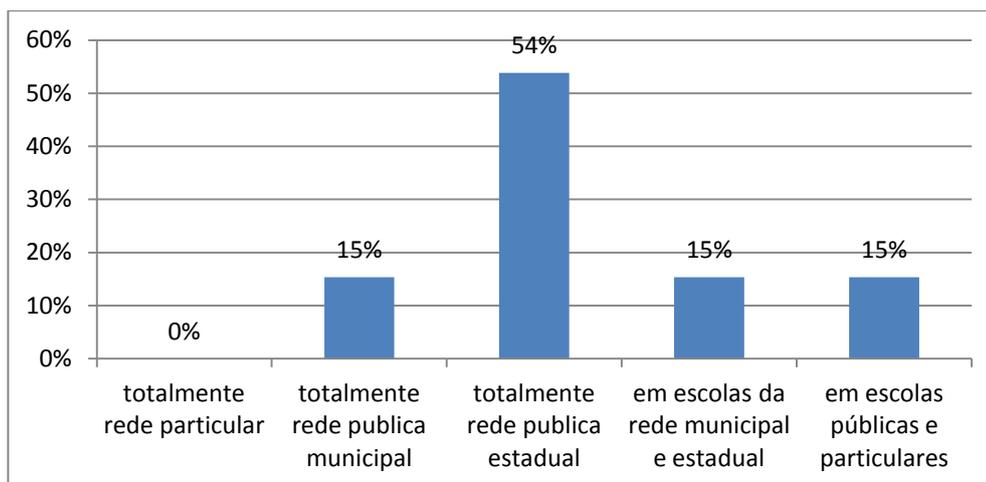
5) Que tipo de atividade, além do computador (caso use), faz em seu tempo livre?

Cite as três mais praticadas.

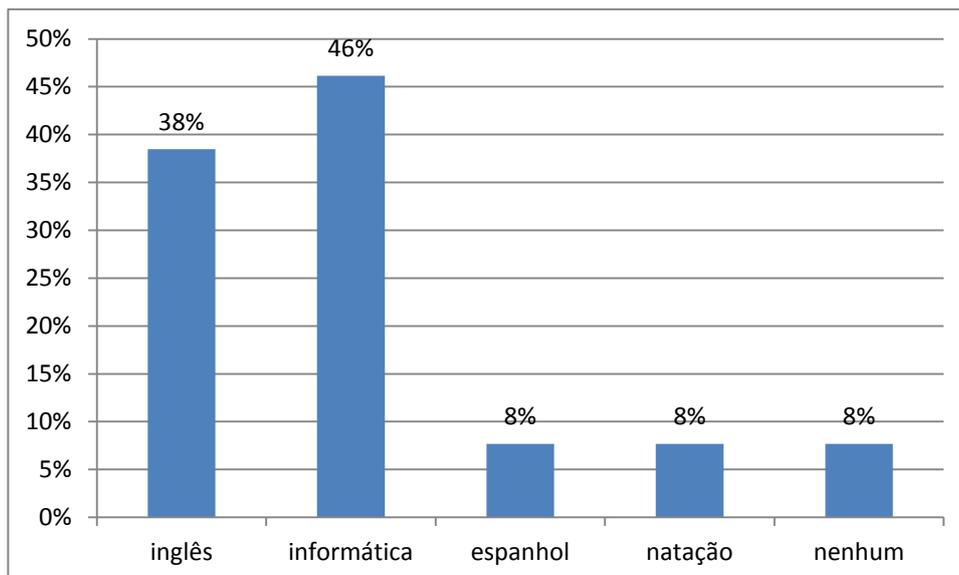
Dentre as mais citadas prevaleceram:



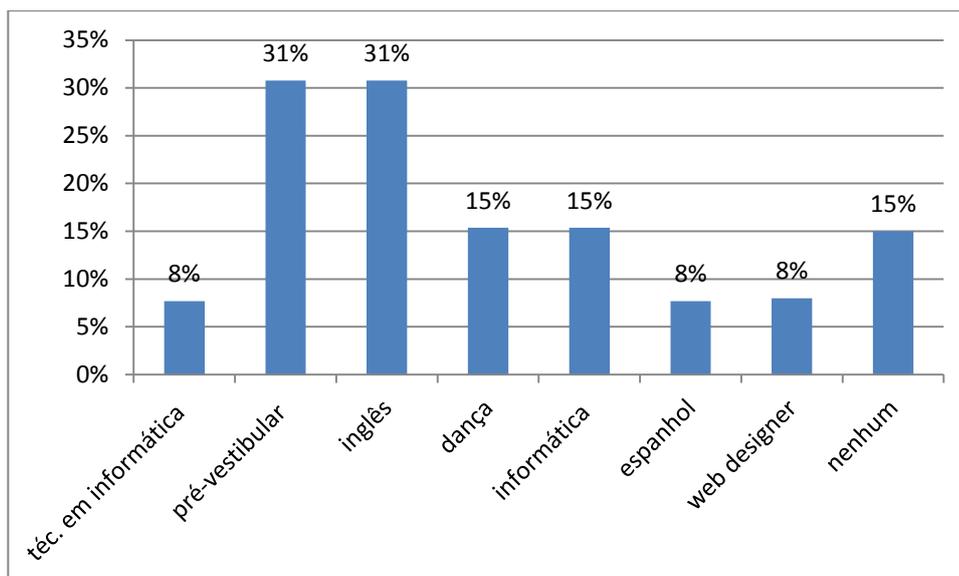
6) ) Em que tipo de escola foi o seu Ensino Fundamental?



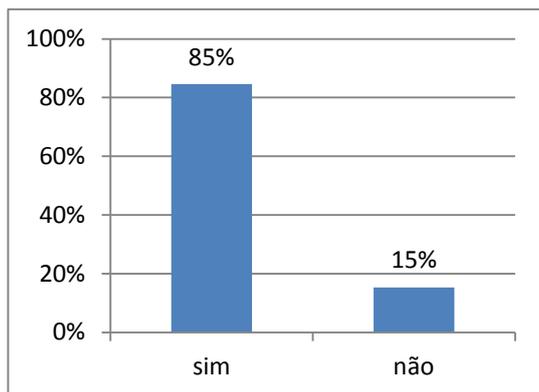
7) Fez algum curso complementar ( inglês, informática, natação...) antes de entrar no ensino médio?



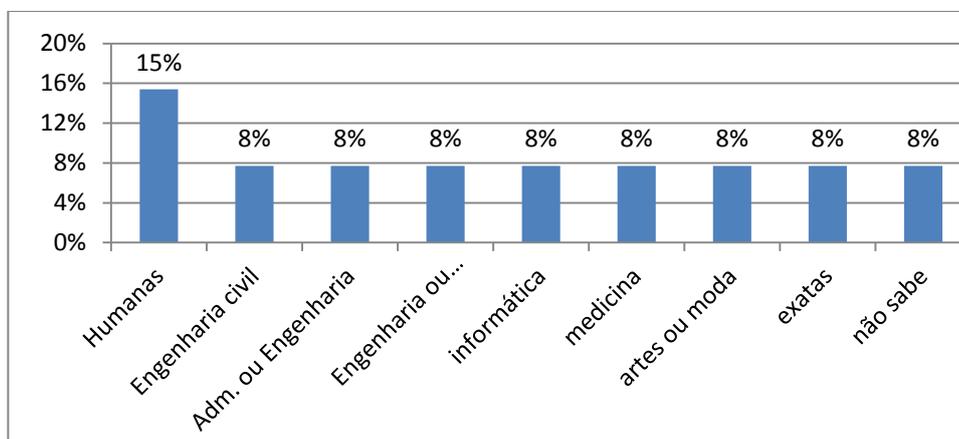
8) Faz algum curso juntamente com o ensino médio?



9) Pretende cursar o ensino superior ?



Em qual área?



## ANEXO B- RESPOSTA DADAS PELOS ALUNOS AO LEVANTAMENTO PRÉVIO

*Pl. Segundo Aristóteles os corpos tendem ao seu lugar natural que é o solo. Os corpos “mais pesados” tendem a chegar mais rapidamente ao chão, pois tendem com mais urgência retornar ao seu lugar natural. Segundo ele, corpos “mais pesados” caem mais rapidamente que corpos “mais leves”. Você concorda com Aristóteles?*

Aluno 1: *“Não, pois Galileu já comprovou que corpos com diferentes pesos também caem no mesmo tempo, ao não ser se o corpo mais leve for uma pena ou uma folha, algo do tipo, porque se for o ar pode atrapalhar na queda e fazer com que o corpo mais pesado caia primeiro”.*

Aluno 2: *“Em parte sim, pois alguns corpos o ar interfere na gravidade”*

Aluno 3: *“Não já faz tempo que foi provado que objetos de pesos diferentes caem ao chão ao mesmo tempo. Quando isso não acontece muitos ocorre pela influencia do ar”.*

Aluno 4: *“Quando não temos a presença do ar, o objeto mais pesado irá cair mais rápido porem sem o ar ambos cairiam ao mesmo tempo”.*

Aluno 5: *“Quando não há a presença do ar o corpos caíram ao mesmo tempo, pois a gravidade distribui forças diferentes, então levando em conta a presença do ar o corpo mais pesado cai mais rapidamente e sem o ar os dois caem juntos, por uma lado concordo, por outro não.”*

Aluno 6: *“Sim, sempre acreditei na ideia que um corpo pesado tende a chegar mais rápido ao chão do que um corpo leve”*

Aluno 7: *“Não porque se colocarmos dois corpos ex: corpo A e corpo B sendo A mais leve que o B eles caíram ao mesmo tempo pois a gravidade exerce forças diferentes em cada corpo.*

Aluno 8: *“Não. Porque independente do peso ambos devem cair juntos pois são empurrados com forças diferentes mas que se equivalem ( o corpo mais pesado é empurrado com menor quantidade de força gravitacional e o mais pesado é empurrado com uma força maior fazendo assim que se equivalam”.*

Aluno 9: *“Não, pois o motivo de um objeto mais pesado cair mais rápido que o objeto mais leve é que há uma interferência do ar que diminui a velocidade do objeto mais leve e pouco interfere na velocidade do objeto mais pesado”.*

Aluno 10: “ *Não. A gravidade aplica forças diferentes para cada objeto independente do seu peso.*”

Aluno 11: “ *Tem a gravidade que tende puxar o corpo a terra ex: o imã ele tem a função de puxar o objeto como por ele: parafuso*”

Aluno 12: “ *Sim, pois objetos mais pesados tem à tendência de cair rapidamente por consequência da gravidade que puxam o objeto para o chão*”.

Aluno 13: “ *Sim, pois a força gravitacional da Terra puxa os corpos com a mesma força, mas os corpos mais pesados não são atingidos pelo atrito do ar como os corpos leves.*”

P2. Temos duas folhas de papel exatamente iguais. Você sabe explicar porque uma folha de papel amassada em formato de bolinha cai mais rápido do que um folha aberta? E porque ao amassarmos ambas, elas caem praticamente juntas?

Aluno1: “*Sim, porque quando amassamos o papel o ar não interfere diretamente não tanto quanto com uma folha aberta, pois estando assim o ar interfere mais pois o peso estar distribuído os gases impurram a folha para cima evitando que ela caia no mesmo tempo que a bolinha*”.

Aluno 2: “*Uma folha de papel amassada cai mais rápido que a aberta pela influência do ar no ambiente, já que com as duas folhas amassadas elas caem juntas pois tem o mesmo peso e tamanho*”.

Aluno 3: “*Porque a folha aberta tem influencia do ar, sendo que o ar bate na parte de baixo da folha dificultando na caída ao chão, mas quando as duas folhas estão amassadas, a influencia do ar e menor, e ambas podem cair ao mesmo tempo*”

Aluno 4: “*Por que as moléculas de ar se espalham por toda a folha aberta já com a amassada essas mesmas moléculas se concentram na mesma região fazendo com que a amassada caia mais rápido.*”

Aluno 5: “*Porque ao amassar uma bolinha de papel as moléculas de ar se concentram em um só lugar fazendo com que essa “bolinha” caia mais rápido, já na folha aberta as moléculas de são distribuídas em toda a folha deixando mais tempo voando.*”

Aluno 6: “*A folha de papel aberta cai mais devagar por influencia do vento. Se não houver vento ela consegue cair ao mesmo tempo que a bolinha de papel*”.

Aluno7: *“A folha de papel aberta é afetada pelo ar. A folha de papel amaçada não sofre interferência do ar. Logo se colocarmos duas folhas amaçadas elas caíram ao mesmo tempo.”*

Aluno 8: *“ Por que a folha amassada sofre menor resistência do ar do que a folha aberta. Porque como ambas estão amassadas ambas sofrem menor resistência do ar assim caem praticamente juntas.*

Aluno 9 *“Por que a sua forma amassada possui menos influencia do ar diferente da folha de papel tem mais influencia do ar demorando mais cair.*

*Ao amassarmos as duas elas possuem a mesma influencia do ar fazendo as duas caírem juntas”*

Aluno 10: *“Porque uma folha aberta recebe forças nos 4 lados e então demora mais a cair. Se amassarmos ambas, a Terra irá exercer forças para caírem juntas.*

Aluno 11: *“ Praticamente as duas folhas temem o mesmo peso não depende da forma se ela ta em formato de uma bolinha.”*

Aluno 12: *“ Com a folha aberta ela cai levemente pois saem cortando o ar, como se estivesse “boiando”. Já a amassada cai de forma mais rápida pois não há nada que a deixe “boiando” ”.*

Aluno 13: *o atrito do ar afeta mais a folha aberta do que a folha amassada. E se as duas forem amassadas, o atrito afetaria as duas igualmente.*

P3. Quando um objeto cai na superfície da Terra, você acredita que ela caia sempre com a mesma velocidade ou sua velocidade aumenta com o tempo de queda?

Aluno 1: *“ Sim acho que quanto mais auto tiver o objeto maior vai ser sua velocidade”.*

Aluno 2: *“ A sua velocidade aumenta com o tempo de queda, pois com o tempo de queda o corpo vai percorrer uma distância diferente em um tempo diferente, por esse motivo a velocidade aumenta.*

Aluno 3: *“ Não, o objeto cai e com o tempo da queda e a distância, a velocidade aumenta.”.*

Aluno 4: *“Sempre vão cair na mesma velocidade porque a força de atração da Terra é sempre a mesma”*

Aluno 5: *“ Acredito que caia com a mesma velocidade, pois acho que com a velocidade que você jogue, é a mesma velocidade que cai.”*

Aluno 6: “*Acredito que sua velocidade aumente com o tempo de queda. Quanto mais tempo o objeto demorar para cair, mais rápido é sua velocidade, tipo “pegar impulso”.*”

Aluno 7: “*Com a mesma velocidade seria se o tempo fosse igual, então difere, pois o tempo de queda também pode mudar*”

Aluno 8: “*Aumenta com o tempo de queda*”

Aluno 9: “*Não acredito, porque a velocidade aumenta gradativamente a cada segundo que o objeto está caindo*”.

Aluno 10: “*Aumenta a velocidade por que mais próximo do centro da Terra, aumenta a força gravitacional*”

Aluno 11: “*Não depende de como o objeto cai por ex: uma queda de baixe e diferente da queda do 8º andar*”

Aluno 12: “*Creio que a velocidade é a mesma*”

Aluno 13: “*Sua velocidade aumenta, mas as vezes a distancia da superfície da terrestre com o objeto é tão pequena que não percebemos sua aceleração a olho nu.*”

P4. O que significa dizer que a aceleração gravitacional é de  $9,8\text{m/s}^2$ ?

Aluno 1: O aluno deixou em branco a questão.

Aluno 2: “*Não tenho a menor ideia.*”

Aluno 3: “*Significa dizer que a força que nosso planeta atrai um objeto para sua superfície. Outros planetas tem acelerações gravitacionais maiores e menores, devido ao tamanho do planeta, lembrando da teoria que massa atrai massa, quanto maior a massa maior a aceleração.*”

Aluno 4: “*É a velocidade que os objetos são atraídos pela terra.*”

Aluno 5: “*Quer dizer que a velocidade de um objeto quando cai na Terra é de  $9,8\text{m/s}^2$ .*”

Aluno 6: “*Não faço a menor ideia*”

Aluno 7: “*Quer dizer que a cada 1 segundo o objeto segue a aceleração de  $9,8\text{m}$ .*”

Aluno 8: “*Não sei.*”

Aluno 9: “*Significa que a força de um objeto caindo a cada segundo que se passa.*”

Aluno 10: “*É a força que a Terra exerce sobre os corpos*”

Aluno 11: O aluno deixou em branco a questão.

Aluno 12: “*Quer dizer que a Terra tem a gravidade puxando com 9,8m/s.*”

Aluno 13: “*É a força com que a Terra atrai os corpos.*”

## ANEXO C- SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 1

### Situação de aprendizagem 1

Nome: \_\_\_\_\_ nº \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_ nº \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_ nº \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_

Professor : Max Santos

### **Velocidade média**

A velocidade de um corpo mede a rapidez com ele se locomove. Intuitivamente este conceito é bem enraizado em nosso cotidiano, um objeto é mais veloz que outro sempre que percorrer a mesma distância num tempo menor. Abaixo temos um quadro que mostra alguns veículos, bem as distâncias que percorreram e os tempos que gastaram neste trajeto. Tente elaborar uma maneira de classificar os quatro veículos com relação as suas velocidades médias. Qual é o mais veloz?

Veículo	Distância percorrida	Tempo gasto	Velocidade média
A	200 km	4h	
B	180 km	3h	
C	330 km	6h	
D	104 km	2h	

### **Experimento:**

#### **Medindo a velocidade de uma bola de futebol.**

Ao assistirmos jogos de futebol, por muitas vezes é passado à velocidade que a bola atingiu após ser chutada pelo pé do jogador.

Como é possível medir a velocidade de uma bola de futebol? Não pode ser diferente da definição de velocidade média ensinada nas aulas de física!

Utilizando o software Audacity, é possível fazer uma boa medição do tempo de um evento qualquer.

Cada grupo de aluno fará uma medição da velocidade de seu chute. O procedimento é simples. Um aluno chuta a bola contra a parede, e posteriormente com medidas experimentais seu colega irão medir a “velocidade que a bola ganhou” com este mesmo chute.

Responda as questões abaixo:

1. Qual a relação matemática para o cálculo da velocidade média de um objeto? Elabore e descreva o procedimento que você adotou para a medição da velocidade da bola de futebol, e os resultados obtidos. Expresse os valores na unidade m/s e km/h.

---

---

---

---

---

---

---

---

2. Existem erros associados a estas medidas? Tente descrevê-los.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**ANEXO D- SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 2**

## Situação de Aprendizagem 2

Nome: \_\_\_\_\_ nº \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_ nº \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_ nº \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_

Professor : Max Santos

**Calculando a velocidade média e entendendo seu significado.**

Um ônibus vai de São Paulo à São Carlos, gastando cerca de 3,5h. Qual a velocidade média deste ônibus. Sabe-se que a distancia aproximada de São Paulo à São Carlos são 250km.

---

---

---

---

---

---

---

Isto significa dizer que o ônibus permaneceu o tempo todo com esta velocidade?

---

---

---

---

---

---

---

Afinal, qual o significado da velocidade média?

---

---

---

---

---

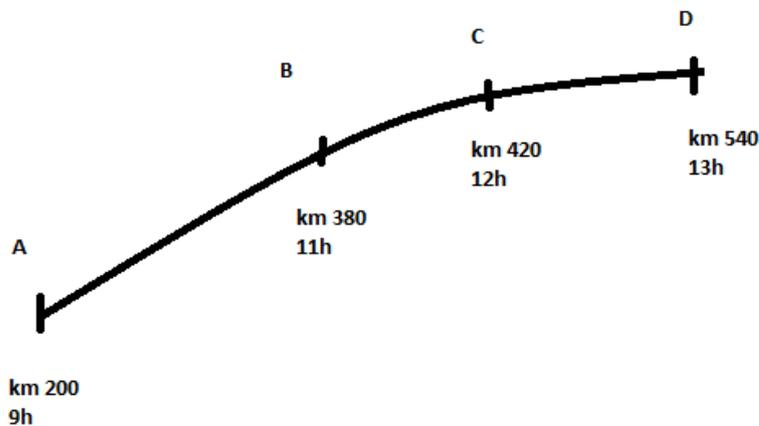
---

---

---

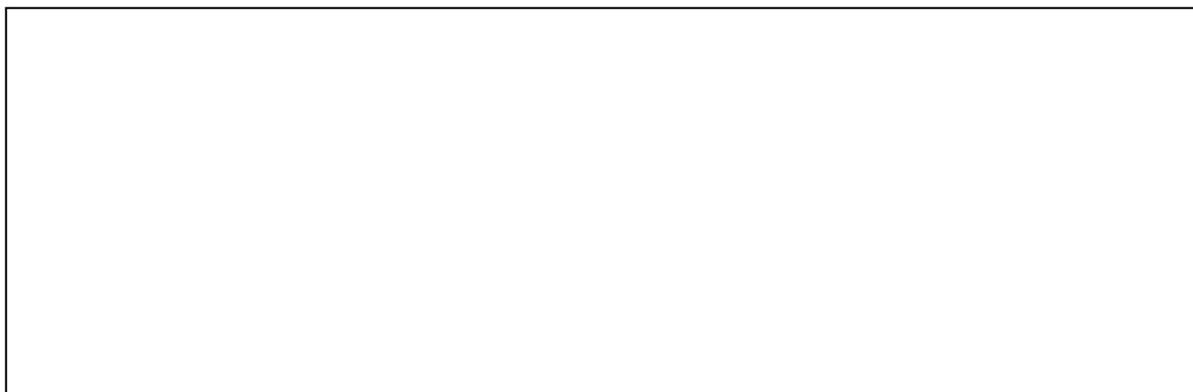
### Exercícios.

- 1) Um veículo se desloca da cidade A até a cidade D, conforme trajeto abaixo.

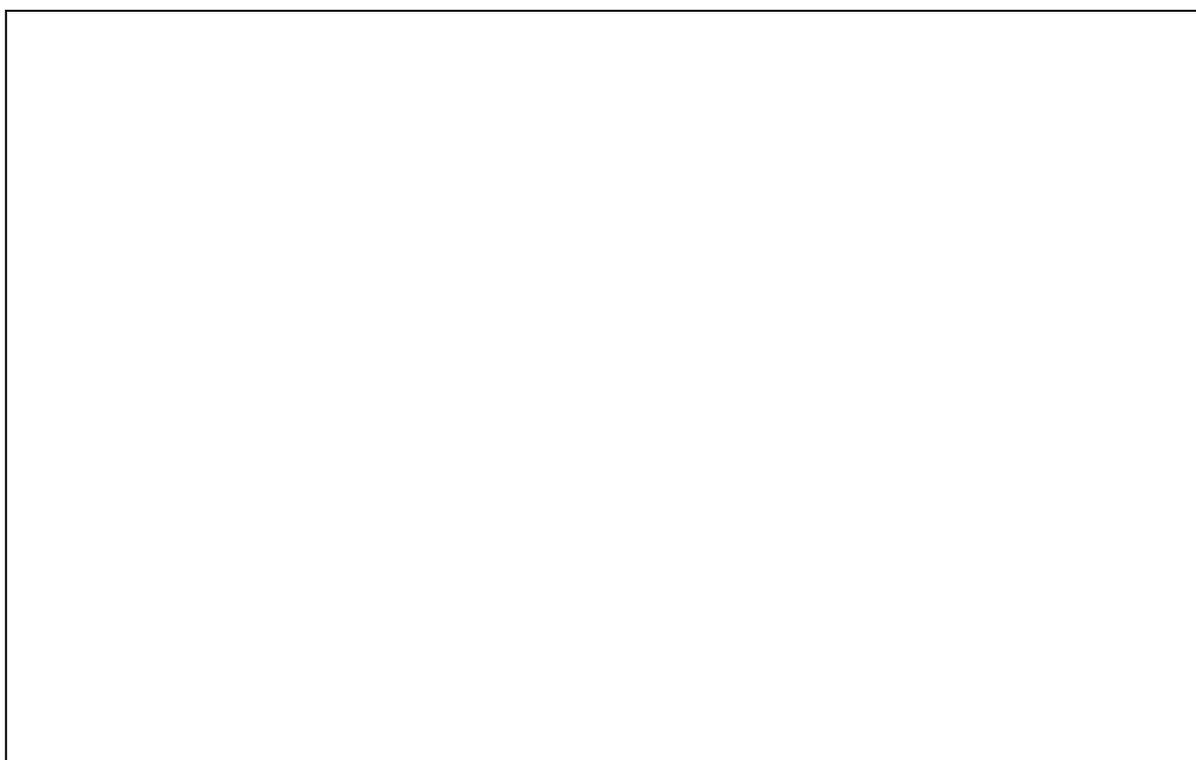


Pede-se:

- A velocidade média no trecho AB
  - A velocidade média no trecho BC
  - A velocidade média no trecho CD
  - A velocidade média no percurso inteiro
- 2) Em uma rodovia os radares estão quebrados, então os policiais decidem medir a velocidade dos veículos por um antigo método. Para isso, um policial se posiciona no Km 71 da rodovia e por rádio avisa o colega que se situa no Km 73 mesma rodovia, assim que um veículo suspeito passa por ele. O segundo policial marca o tempo que o carro leva de seu colega até passar por ele.
- Supondo que o limite de velocidade da estrada seja 120km/h, e que um carro demorou 45s para passar pelos dois policiais, ele deverá ser multado. Justifique sua resposta.



b) Qual o menor tempo de travessia para que não haja multa no trajeto?



### ANEXO E-SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 3

Nome: \_\_\_\_\_ nº \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_

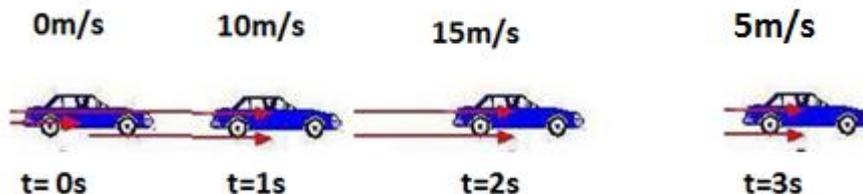
Nome: \_\_\_\_\_ nº \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_ nº \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_

#### *Aceleração média*

O movimento uniforme é uma idealização. Dificilmente um móvel mantém constante sua velocidade com o passar do tempo. Geralmente os móveis alteram sua velocidade com o passar do tempo. A aceleração é a grandeza que mede a variação da velocidade com o passar do tempo.

Vejamos o exemplo abaixo:



No instante  $0s$  o carro está em repouso. Um segundo depois sua velocidade aumenta para  $10m/s$ , no segundo seguinte a velocidade aumenta  $5m/s$ , no terceiro segundo a velocidade reduz em  $3m/s$ .

A aceleração média é definida como a variação da velocidade com o passar do tempo

$$a_m = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

A aceleração neste caso não é constante, ela varia com o passar do tempo.

Calcule a aceleração média do movimento nos intervalos entre  $0s$  e  $1s$ ,  $1s$  e  $2s$  e  $2s$  e  $3s$  na figura acima.

---



---



---



---

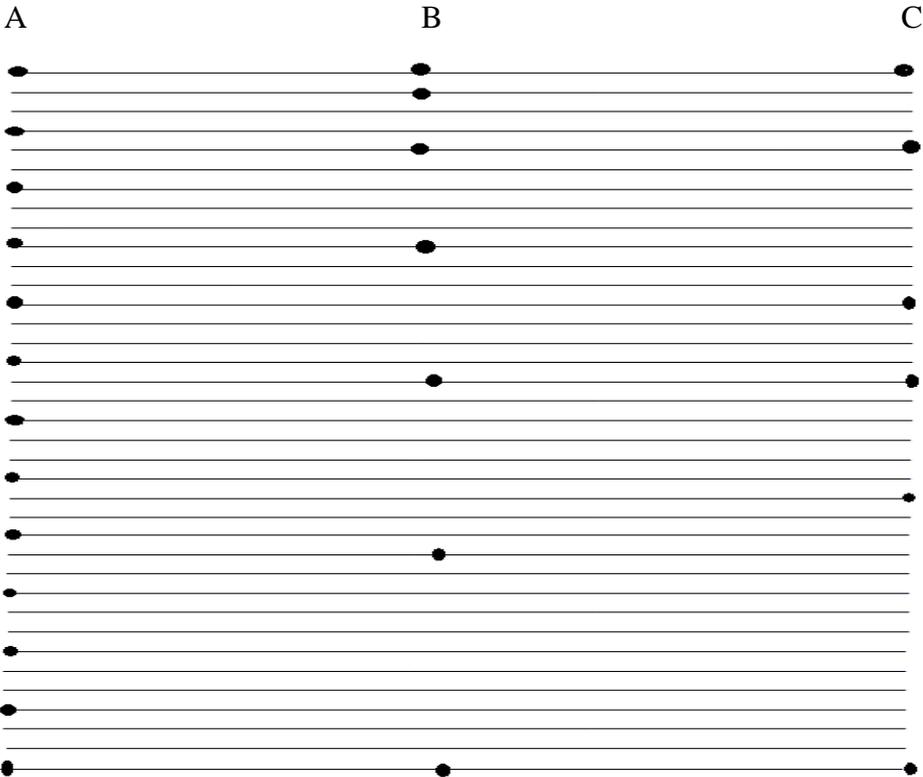


---

Quando a velocidade não muda , dizemos que o movimento é uniforme. Se acontece em linha reta é um MRU (movimento retilíneo uniforme). Se a velocidade aumenta ou diminui sempre na mesma proporção, dizemos que o movimento é uniformemente variado, se acontece em linha reta dizemos que é um MRUV (movimento retilíneo uniformemente variado).

**Identificando e equacionando movimentos**

Vamos tentar equacionar matematicamente os movimentos abaixo. Defina se os movimentos A, B e C são uniformes, uniformemente variados ou simplesmente variados. Se o movimento for uniforme determine sua velocidade média, se for uniformemente acelerado determine sua aceleração, descrevendo uma relação matemática entre os deslocamentos efetuados e os tempos gastos para percorrê-los:



**ANEXO F-SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 4****Situação de aprendizagem 4**

**O experimento do plano inclinado de Galileu para a queda livre.**

Nome: \_\_\_\_\_ nº \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_ nº \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_ nº \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_



Um desenho de George Gamow (1902-1968) que representa Galileu experimentando sobre o plano inclinado.

Caro estudante, certamente você já ouviu falar sobre Galileu Galilei, não é verdade? Pois é, todos que passaram pela escola já ouviram falar dele algum dia na vida. Vamos conhecê-lo um pouco melhor?

Este ilustre personagem nasceu na cidade de Pisa na Itália no ano de 1564. Aos doze anos foi para o mosteiro de Vallombrosa, onde estudou os clássicos latinos e aprendeu grego. Seu pai Vincenzo, querendo que ele fosse mercador, o retirou da escola, mas quando completou dezessete anos o enviou para a universidade local para estudar

medicina. O pai de Galileu não queria que este se tornasse músico ou matemático, visto que eram profissões mal remuneradas.

Por falta de dinheiro Galileu deixou a faculdade no segundo ano, sem obter o grau de doutor, mas continuou com suas investigações e estudos matemáticos. Galileu tinha personalidade presunçosa, era vaidoso e sarcástico. Fez diversos inimigos, e se envolveu em inúmeras disputas no decorrer de sua vida. Tornou-se professor de matemática em 1592 na república de Veneza. Dava aulas particulares, devido ao baixo salário como professor. Foi inventor e criou entre outras coisas, uma máquina para elevar água, uma bússola geométrica e um termômetro de ar. Chegava a dar palestras para locais com capacidade de mais de mil pessoas. Confessou em 1597 que havia se rendido ao modelo heliocêntrico ( O Sol no centro do universo, e não a Terra) de Nicolau Copérnico. Entre 1600 e 1610 pesquisou sobre a queda dos corpos, movimento de pêndulos e projéteis. Possuiu uma amante, com quem teve duas filhas que vieram a se tornar freiras.

Embora não tenha inventado o telescópio como se pensa, aperfeiçoou os modelos de sua época. Através dos telescópios, observou irregularidades na superfície lunar, as fases do planeta Vênus , manchas solares e os anéis de Saturno. Galileu enfrentou alguns problemas não tão graves com a igreja católica, em relação a sua defesa pelo sistema de Copérnico, devido grande em parte aos seus contatos com o alto clero da igreja católica. Galileu era arrogante, irônico e por vezes ridicularizava as pessoas que acreditavam no sistema aristotélico de explicação do mundo. Muitas de suas explicações sobre alguns os fenômenos, vistos sob a óptica de hoje apresentavam erros, porém o que não o desabona na tentativa de criar um modelo explicativo para estes.

Em 1616 ele recebeu um aviso da proibição de divulgar as ideias copernicanas. Com a insistência de Galileu a Inquisição em 1633, acabou o condenando a prisão domiciliar e obrigado a fazer uma abjuração pública, negando o sistema de Copérnico, que teria sido defendido em seu livro “Diálogo sobre dois máximos sistemas de mundo.”.

O livro de Galileu só foi retirado do Index de livros proibidos da igreja católica em 1835. Apenas em 1992, o papa João Paulo II admitiu que Galileu sofreu injustiças na





4. Algumas ideias de Galileu. Rolando no plano inclinado. O mais pesado cai mais rápido? *Em sua opinião, caso você faça deslizar do topo do plano inclinado duas esferas de “pesos” distintos, qual chegará primeiro ao final? Por quê?*

5. Faça o teste e meça o tempo da maneira que achar mais conveniente da queda das duas bolas de bilhar de “pesos” distintos. Qual chega mais rápido ao final da rampa?

**6. Se Galileu quisesse medir o tempo de queda da esfera rolando o plano inclinado, como ele poderia ter feito isso, sendo que não havia relógios digitais como atualmente?**

**7. Relembre o que é um MRUV, quais são suas características?**



## ANEXO G- SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 5

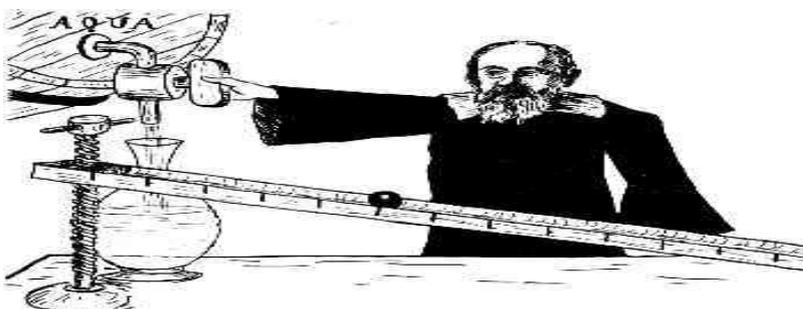
### Situação de Aprendizagem 5.

Nome: \_\_\_\_\_ n° \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_ n° \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_ n° \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_

### O experimento do plano inclinado de Galileu para a queda livre.



Um desenho de George Gamow (1902-1968) que representa Galileu experimentando sobre o plano inclinado.

Em seu livro “ Discurso sobre duas novas ciências” datado de 1632 , o grande físico italiano Galileu Galilei faz um estudo detalhado sobre os movimentos retilíneos uniformes ( MRU) e movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV ).

Ele descreve então as equações matemáticas associadas a estes tipos de movimentos. Galileu pretende ainda entender a queda livre na superfície da Terra. Para tanto sugere que o movimento de queda livre segue a lei harmoniosa de um MRUV, pois segundo ele, é o movimento mais simples onde a cada instante de tempo o corpo ganharia o mesmo acréscimo em sua velocidade. Questionado sobre como poderia mostrar que a queda livre obedece este tipo de movimento Galileu descreve então um engenhoso equipamento experimental para testar sua proposição. Abaixo temos a descrição que consta do livro de Galileu e que ele teria utilizado:

*“... Numa ripa, ou melhor, numa viga de madeira com o comprimento aproximado de doze braças, uma largura de meia braça num lado e três dedos no outro, foi escavada uma canaleta neste lado menos largo com pouco mais que um dedo de largura. No interior desta canaleta perfeitamente retilínea, para ficar bem polida e limpa, foi colada uma folha de pergaminho que era polida até ficar bem lisa; fazíamos descer por ele uma bola de bronze perfeitamente redonda e lisa. Uma vez construído o mencionado aparelho, ele era colocado numa posição inclinada, elevando sobre o horizonte uma de suas extremidades até a altura de uma ou duas braças, e se deixava descer (como afirmei) a bola pela canaleta, anotando como exporei mais adiante o tempo que empregava para uma descida completa; repetindo a experiência muitas vezes para determinar a quantidade de tempo, na qual nunca se encontrava uma diferença nem mesmo da décima parte de uma batida de pulso. Feita e estabelecida com precisão tal operação, fizemos descer a mesma bola apenas por uma quarta parte do comprimento total da canaleta; e, medido o tempo de queda, resultava ser sempre rigorosamente igual à metade do outro. Variando a seguir a experiência e comparando o tempo requerido para percorrer a metade, ou os dois terços, ou os três quartos, ou para concluir qualquer outra fração, por meio de experiências repetidas mais de cem vezes, sempre se encontrava que os espaços percorridos estavam entre si como os quadrados dos tempos e isso em todas as inclinações do plano, ou seja, da canaleta, pela qual se fazia descer a bola. Observamos também que os tempos de queda para as diferentes inclinações do plano mantinham exatamente entre si aquela proporção que, como veremos mais adiante, foi encontrada e demonstrada pelo autor. No que diz respeito à medida do tempo, empregávamos um grande recipiente cheio de água, suspenso no alto, o qual, por um pequeno orifício feito no fundo, deixava cair um fino fio de água, que era recolhido num pequeno copo durante todo o tempo em que a bola descia pela canaleta ou por suas partes. As quantidades de água assim recolhidas com uma balança muito precisa, sendo as diferenças e proporções entre os pesos correspondentes às diferenças e proporções entre os tempos; e isso com tal precisão que, como afirmei, estas operações, muitas vezes repetidas, nunca diferiam de maneira significativa...”*

O fato é que a partir da década de 70, em inúmeros relatos cientistas se mostram incrédulos em relação ao papel que os experimentos tiveram na física elaborada por Galileu. Segundo estes cientistas não existiam provas contundentes da realização desses experimentos teriam imaginados por Galileu.

Muitos de seus experimentos foram refeitos tentando comprovar a possibilidade da realização de experimentos bem como seus resultados, porém e a polêmica se faz até a atualidade. Nosso objetivo é refazer o experimento citado por Galileu e chegar a alguma conclusão à respeito deste.









---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## ANEXO H- QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE

### Questionário sobre as atividades

1. Você já havia realizado atividades experimentais anteriormente?
  - a) Sim ( )
  - b) Não ( )
  
2. Você gostou de trabalhar com experimentos ?  
Não gostei ( )  
Gostei pouco ( )  
Gostei muito ( )
  
3. O que você achou das atividades desenvolvidas com relação a aprendizagem de conceitos de física?
  - a) Ruins ( )
  - b) Boas ( )
  - c) Muito boas ( )
  - d) Ótimas ( )
  
4. Durante as atividades, o que mais gostou e o que menos gostou?  
Mais gostei \_\_\_\_\_  
Menos gostei \_\_\_\_\_
  
5. Você conhecia a biografia de Galileu Galilei?
  - a) Absolutamente nada
  - b) Um pouco
  - c) Bastante
  
6. Você acredita que conhecer a história do cientista, e as questões onde ele estava inserido pode despertar mais seu interesse em estudar o tema?
  - a) Não despertou interesse algum
  - b) Despertou um pouco de interesse
  - c) Despertou bastante interesse.

7. Você acredita que a aprendizagem de algum conceito de física pode ser facilitada na realização da atividade ?
- a) Não
  - b) Um pouco
  - c) Foi facilitada
  - d) Foi bastante facilitada
8. Comparando a atividade que você realiza nas aulas tradicionais em sala de aula, você achou a atividade do plano inclinado de Galileu:
- a) Muito mais interessante
  - b) Mais interessante
  - c) Igualmente interessante
  - d) Menos interessante
9. Quando um objeto cai na superfície da Terra, você acredita que:
- a) ele caia sempre com a mesma velocidade.
  - b) sua velocidade aumenta de qualquer maneira com o tempo de queda.
  - c) sua velocidade ora aumenta ora diminui com o tempo de queda.
  - d) sua velocidade aumenta sempre da mesma maneira com o tempo de queda.
10. Segundo Aristóteles os corpos tendem ao seu lugar natural que é o solo. Os corpos “mais pesados” tendem a chegar mais rapidamente ao chão, pois tendem com mais urgência retornar ao seu lugar natural. Segundo ele, corpos “mais pesados” caem mais rapidamente que corpos “mais leves”. Você concorda com Aristóteles?
- a) Sim, o “mais pesado” sempre cai mais rápido.
  - b) Não, em qualquer situação todos os objetos caem juntos.
  - c) Se o ar puder não influenciar muito todos caem juntos.
  - d) O mais leve sempre cairá mais rápido que o mais pesado.

11. Se todos os corpos devem cair juntos porque uma pena em queda livre demora mais para cair do que uma pedra, se ambas forem soltas da mesma altura?

- a) a pena é mais leve que a pedra
- b) o ar influencia muito mais o movimento da pena que da pedra.
- c) por que os objetos sempre caem em tempos diferentes.
- d) porque a pedra e a pena são constituídos de materiais diferentes.

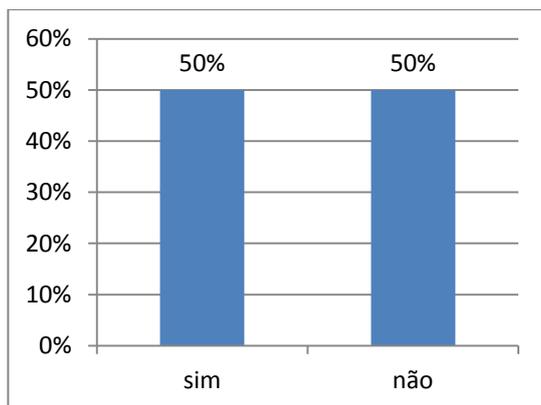
12. O que significa dizer que a aceleração da gravidade na Terra é de  $10\text{m/s}^2$  ?

- a) a velocidade de queda é sempre  $10\text{m/s}$  em qualquer tempo.
- b) a velocidade de queda aumenta sempre em  $10\text{m/s}$  a cada  $1\text{s}$  do movimento.
- c) a velocidade vai aumentando até atingir o valor máximo de  $10\text{m/s}$ .
- d) a velocidade ora aumenta ora diminui  $10\text{m/s}$ .

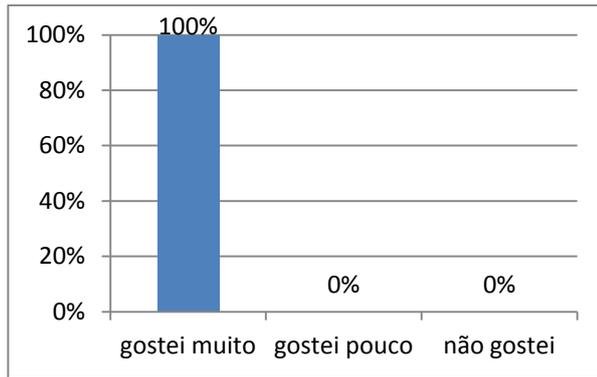
## RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

Alunos que responderam: 6 alunos.

P1. Você já havia realizado atividades experimentais anteriormente?

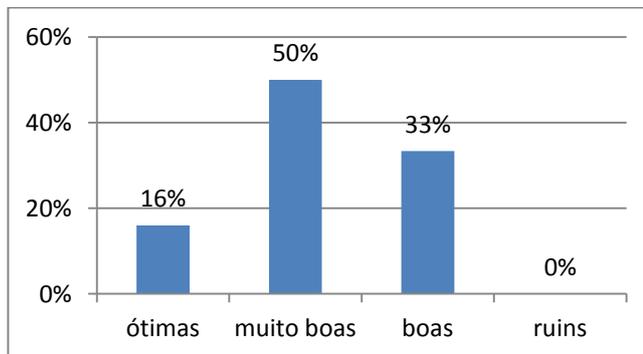


P2. Você gostou de trabalhar com o experimento de Galileu ?



P3. O que você achou das atividades realizadas com relação à aprendizagem de conceitos de física?

- a) Ruins ( )
- b) Boas ( )
- c) Muito boas ( )
- d) Ótimas ( )



P4. Durante as atividades o que você mais gostou e o que menos gostou?

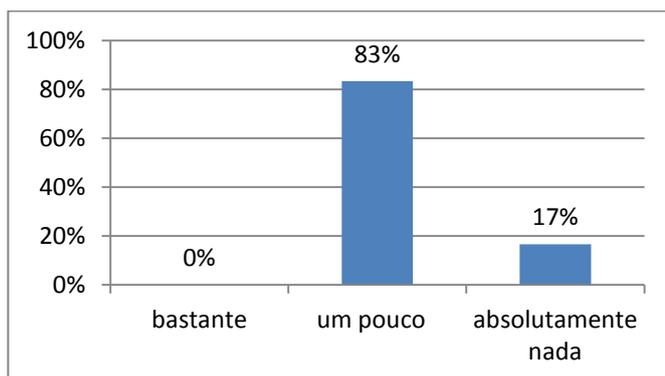
Mais gostei:

- “Trabalhar com experimentos”
- “Todas”
- “ Comida”
- “ Desenvolver as experiências”
- “ Do experimento do plano inclinado”
- “ Todas”

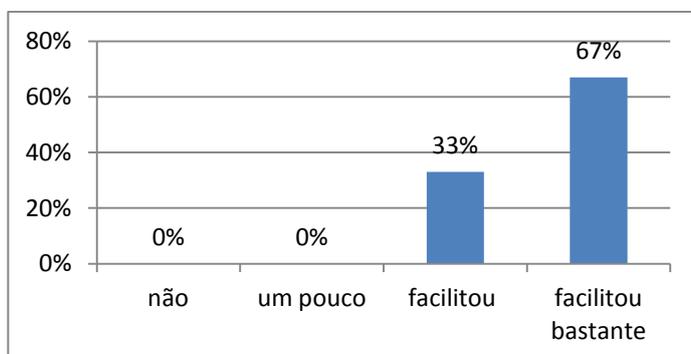
Menos gostei:

- “ Nenhuma”
- “ Nada”
- “ O horário”
- “ Nenhuma”
- “ Nada”
- “ Nada”

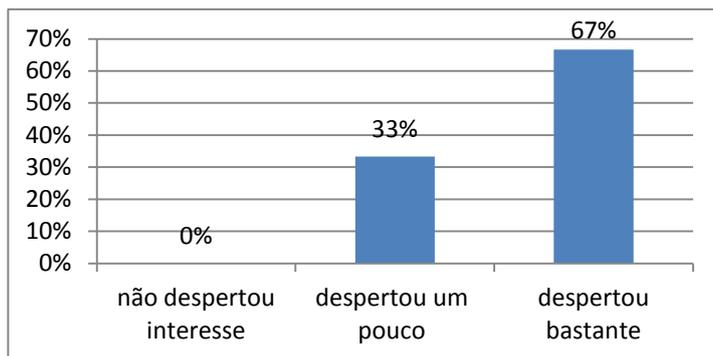
P5. Você conhecia a biografia de Galileu Galilei ?



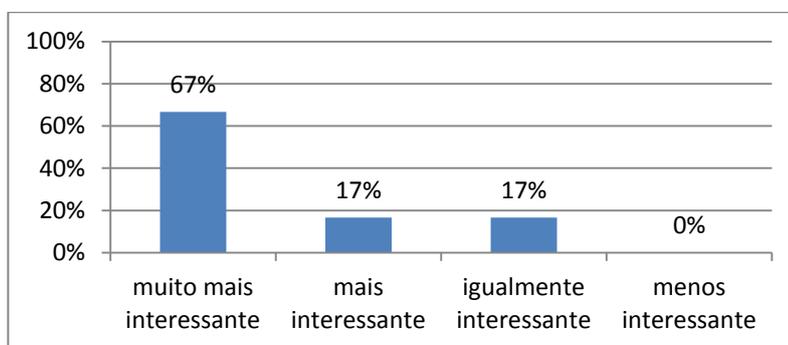
P6. Você acredita que a aprendizagem de algum conceito de física pode ser facilitada na realização da atividade.



P7. Você acredita que conhecer a história do cientista, e as questões onde ele estava inserido pode despertar mais seu interesse em estudar o tema ?

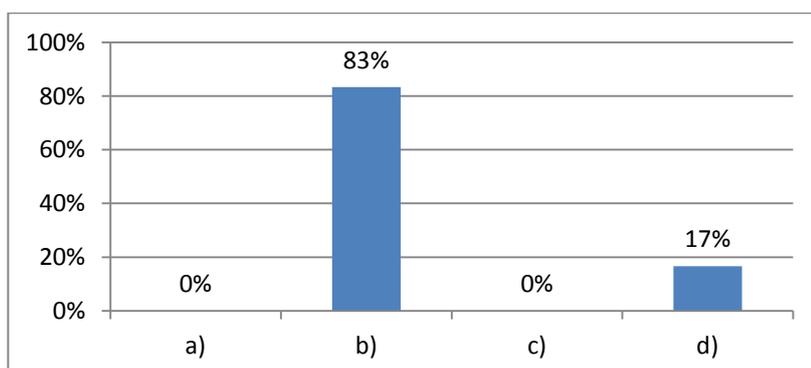


P8. Comparando a atividade que você realiza nas aulas tradicionais em sala de aula, você achou a atividade do plano inclinado de Galileu:



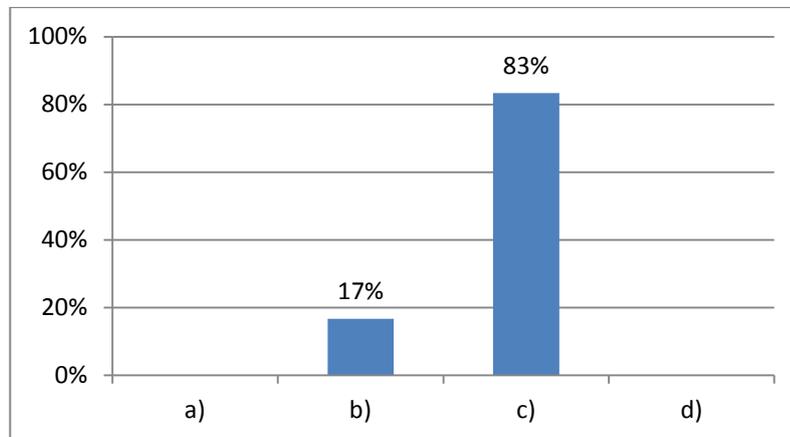
P9. Quando um objeto cai na superfície da Terra, você acredita que:

- ele caia sempre com a mesma velocidade.
- sua velocidade aumenta de qualquer maneira com o tempo de queda.
- sua velocidade ora aumenta ora diminui com o tempo de queda.
- sua velocidade aumenta sempre da mesma maneira com o tempo de queda.



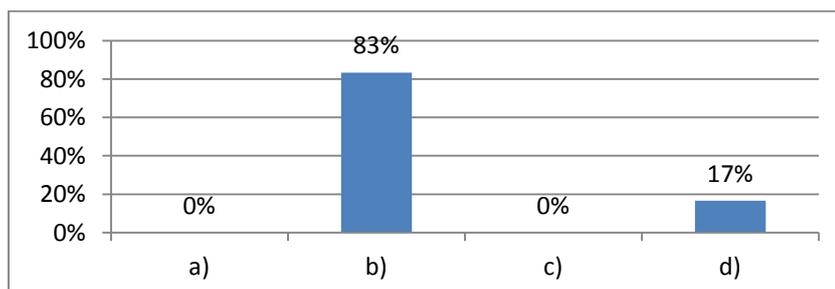
P10. Segundo Aristóteles os corpos tendem ao seu lugar natural que é o solo. Os corpos “mais pesados” ,tendem a chegar mais rapidamente ao chão, pois tendem com mais urgência retornar ao seu lugar natural. Segundo ele, corpos “mais pesados” caem mais rapidamente que corpos “mais leves”. Você concorda com Aristóteles?

- a) Sim, o “mais pesado” sempre cai mais rápido.
- b) Não, em qualquer situação todos os objetos caem juntos.
- c) Se o ar puder não influenciar muito todos caem juntos.
- d) O mais leve sempre cairá mais rápido que o mais pesado.



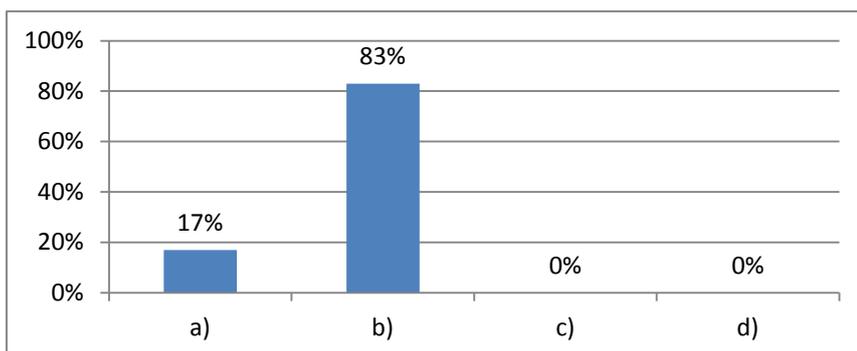
P11. Se todos os corpos devem cair juntos porque uma pena em queda livre demora mais para cair do que uma pedra, se ambas forem soltas da mesma altura?

- a) a pena é mais leve que a pedra
- b) o ar influencia muito mais o movimento da pena que da pedra.
- c) porque os objetos sempre caem em tempos diferentes.
- d) porque a pedra e a pena são constituídos de materiais diferentes.



P12. O que significa dizer que a aceleração da gravidade na Terra é de  $10\text{m/s}^2$ ?

- e) a velocidade de queda é sempre  $10\text{m/s}$  em qualquer tempo.
- f) a velocidade de queda aumenta sempre em  $10\text{m/s}$  a cada  $1\text{s}$  do movimento.
- g) a velocidade vai aumentando até atingir o valor máximo de  $10\text{m/s}$ .
- h) a velocidade ora aumenta ora diminui  $10\text{m/s}$ .



**ANEXO I- PROPOSTA DE APLICAÇÃO DE ATIVIDADES PARA PROFESSORES**

**PROPOSTA DE APLICAÇÃO DE ATIVIDADES PARA PROFESSORES**

**MOVIMENTO UNIFORMEMENTE VARIADO E QUEDA LIVRE**

**ATIVIDADE A**



## 1. INTRODUÇÃO

A criação desta proposta de aplicação de atividade surge da necessidade de que nossos alunos percebam que a física não lida apenas com resoluções de equações, mas é uma ciência viva e investigativa, que demanda muita curiosidade e vontade de descobrir o funcionamento do universo.

É desejável ainda que nossos alunos compartilhem a ideia da física como um grande empreendimento humano na busca do saber. Que esta se trata apenas de um modelo explicativo, que evolui lenta e progressivamente, de forma não linear, que não vem de forma alguma determinar verdades absolutas sobre a natureza, mas sim dar uma luz ao seu entendimento.

Geralmente estes alunos com a prática de uma postura extremamente tradicional de ensino, não conseguem vislumbrar e compreender questões dessa magnitude, tendo geralmente uma visão mítica da ciência, achando que esta é uma verdade absoluta, inquestionável, elaborada de modo linear, racional e totalmente objetivo. Sob nossa concepção, o abandono desta visão enriqueceria sobremaneira suas formas de pensar e agir sobre o mundo.

Desta forma este material tenta utilizar abordagens de ensino mais globais, em contraponto a práticas classicamente adotadas. Optamos por utilizar então novas tecnologias como softwares computacionais, experimentos com uma prática de laboratório investigativo e elementos da história e filosofia da ciência, tudo isso com o intuito de tornar o conteúdo ensinado mais interessante e agradável aos alunos.

Esperamos que gostem e que estejam livres para criar e recriar novas situações de aprendizagem em diferentes contextos, podendo utilizar-se das metodologias propostas aqui, no desenvolvimento das competências e habilidades requeridas no ensino de ciências num contexto mais global. O produto deste trabalho se apresenta como uma ideia, uma possibilidade da aplicação de uma sequência didática que utiliza um experimento clássico associado a uma diferente abordagem metodológica. Em hipótese alguma o trabalho está fechado, e isto quer dizer que absolutamente nada impede que tais situações de aprendizagem possam ser modificadas pelos professores que delas venham utilizar-se. É possível adequá-las a realidades distintas de alunados. Os professores podem aprofundar os conteúdos estudados, dependendo do público que estão trabalhando. Desejamos excelentes aulas a todos.

## 2. MOVIMENTO UNIFORMEMENTE VARIADO E QUEDA LIVRE – ATIVIDADE A

**Tempo previsto:** 02 aulas

**Competências e habilidades:** Utilizar linguagem científica adequada para descrever movimentos em situações cotidianas; identificar variáveis relevantes, elaborar hipóteses, estabelecer relações e interpretar observações ou resultados de um experimento; identificar regularidades, invariantes e transformações na análise experimental de fenômenos físicos; elaborar relatórios analíticos de experimentos, apresentando procedimentos, discutindo resultados e fazendo uso da linguagem física apropriada.

**Estratégias:** leitura de textos, levantamento de conhecimentos prévios dos estudantes com sistematização em grande grupo; realização, interpretação, sistematização e relato de experimento.

**Recursos :** roteiro de atividade em grupo; material para atividade experimental: plano inclinado de madeira; duas bolas de bilhar de massas distintas; computador portátil com software Audacity instalado; trena ou régua.

### **OBJETIVOS/CONTEXTO.**

A situação de aprendizagem A aborda uma breve biografia de Galileu, focada em curiosidades sobre sua vida, algumas de suas descobertas e também uma parte histórica que mostra brevemente os problemas que este teve com a igreja católica com relação a divulgação de suas ideias. O foco do texto é humanizar a figura do cientista, tornando-o um personagem mais acessível, retomando ainda o estudo sobre o movimento retilíneo uniformemente variado.

#### **ENCAMINHANDO A AÇÃO:**

##### **1. O plano inclinado de Galileu.**

Em seu livro “Discurso sobre duas novas ciências” datado de 1632, o grande físico italiano Galileu Galilei faz um estudo detalhado sobre os movimentos retilíneos uniformes (MRU) e movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV).

Ele descreve então as relações matemáticas associadas a estes tipos de movimentos. Galileu pretende ainda entender a queda livre na superfície da Terra. Para tanto sugere que o movimento de queda livre segue a lei harmoniosa de um MRUV, pois segundo ele, é o movimento mais simples onde a cada instante de tempo o corpo ganharia o mesmo acréscimo em sua velocidade. Questionado sobre como poderia mostrar que a queda livre obedece este tipo de movimento Galileu descreve então um engenhoso equipamento experimental para testar sua proposição. Abaixo temos a descrição que consta do livro de Galileu e que ele teria utilizado:

*“... Numa ripa, ou melhor, numa viga de madeira com o comprimento aproximado de doze braças, uma largura de meia braça num lado e três dedos no outro, foi escavada uma canaleta neste lado menos largo com pouco mais que um dedo de largura. No interior desta canaleta perfeitamente retilínea, para ficar bem polida e limpa, foi colada uma folha de pergaminho que era polida até ficar bem lisa; fazíamos descer por ele uma bola de bronze perfeitamente redonda e lisa. Uma vez construído o mencionado aparelho, ele era colocado numa posição inclinada, elevando sobre o horizonte uma de suas extremidades até a altura de uma ou duas braças, e se deixava descer (como afirmei) a bola pela canaleta, anotando como exporei mais adiante o tempo que empregava para uma descida completa; repetindo a experiência muitas vezes para determinar a quantidade de tempo, na qual nunca se encontrava uma diferença nem mesmo da décima parte de uma batida de pulso. Feita e estabelecida com precisão tal operação, fizemos descer a mesma bola apenas por uma quarta parte do comprimento total da canaleta; e, medido o tempo de queda, resultava ser sempre rigorosamente igual à metade do outro. Variando a seguir a experiência e comparando o tempo requerido para percorrer a metade, ou os dois terços, ou os três quartos, ou para concluir qualquer outra fração, por meio de experiências repetidas mais de cem vezes, sempre se encontrava que os espaços percorridos estavam entre si como os quadrados dos tempos e isso em todas as inclinações do plano, ou seja, da canaleta, pela qual se fazia descer a bola. Observamos também que os tempos de queda para as diferentes inclinações do plano mantinham exatamente entre si aquela proporção que, como veremos mais adiante, foi encontrada e demonstrada pelo autor. No que diz respeito à medida do tempo, empregávamos um grande recipiente cheio de água, suspenso no alto, o qual, por um pequeno orifício feito no fundo, deixava cair um fino fio de água, que era recolhido num pequeno copo durante todo o tempo em que a bola descia pela canaleta ou por suas partes. As quantidades de água assim recolhidas com uma balança muito precisa, sendo as diferenças e proporções entre os pesos correspondentes às diferenças e proporções entre os tempos; e isso com tal precisão que, como afirmei, estas operações, muitas vezes repetidas, nunca diferiam de maneira significativa...”*

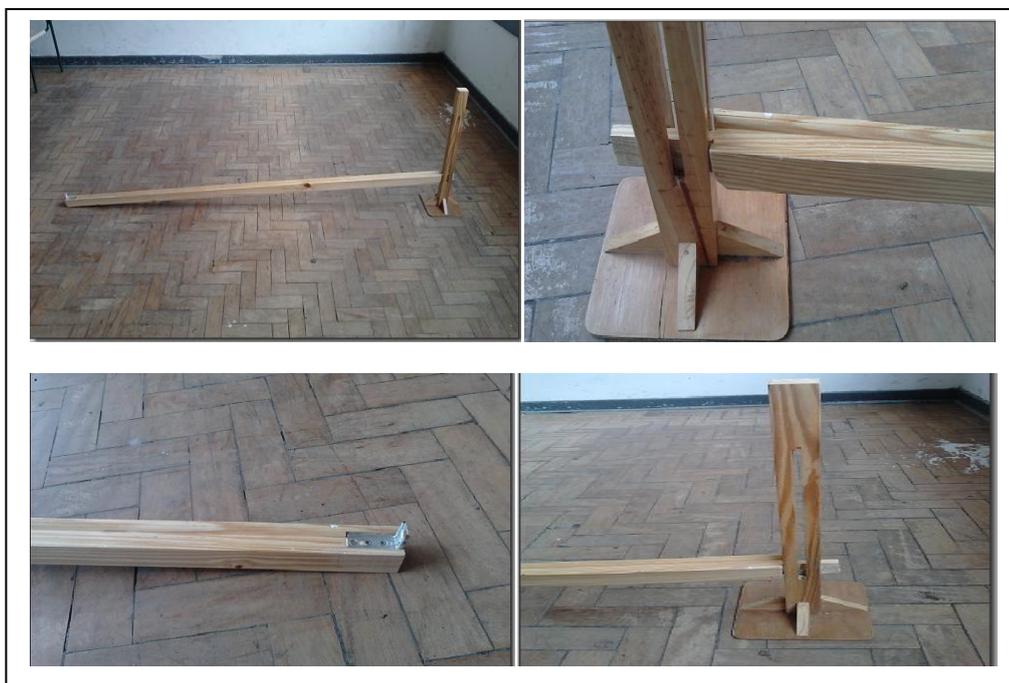
O fato é que a partir da década de 70, começaram a existir inúmeros relatos de cientistas que se mostravam incrédulos em relação ao papel que os experimentos tiveram na física elaborada por Galileu. Segundo estes cientistas não existem provas contundentes da realização destes experimentos e muitos foram imaginados por Galileu.

Muitos de seus experimentos foram refeitos tentando comprovar a possibilidade da realização desses experimentos bem como seus resultados, porém a polêmica se faz até a atualidade. Nosso objetivo é utilizar o experimento citado por Galileu para fazer uma discussão histórica sobre a construção do conhecimento científico, abordando o M.R.U.V (Movimento retilíneo uniformemente variado) e a queda livre e analisando os modelos científicos e seus limites de validade.

O plano inclinado pode ser construído num marceneiro comum. Deverá ser solicitado que a caneleta a ser construída na viga de madeira tenha a espessura para caber completamente a bola de bilhar você irá utilizar em seu experimento. Sugiro que você leve a bola de bilhar consigo, que pode ser adquirida em lojas especializadas, para que ele tenha ideia da largura exata. Cada bola de bilhar custa cerca de R\$5,00.

O plano inclinado que utilizamos em nossa atividade possui 2,10 metros de comprimento e é apoiado numa base de sustentação. Devido ao sistema de encaixe entre o plano inclinado e a base de sustentação, a altura que este fica posicionado na vertical é totalmente regulável com o auxílio de uma presilha metálica ajustável, sendo que a sua altura inicia-se com 18 centímetros de comprimento e pode ser aumentada em mais cinquenta centímetros. O custo de construção do plano inclinado foi de R\$ 180,00.

A figura abaixo mostra o plano inclinado em diversos ângulos:





Seguem abaixo algumas referências que serão muito úteis para o aprofundamento do professor na realização da atividade, caso este assim deseje:

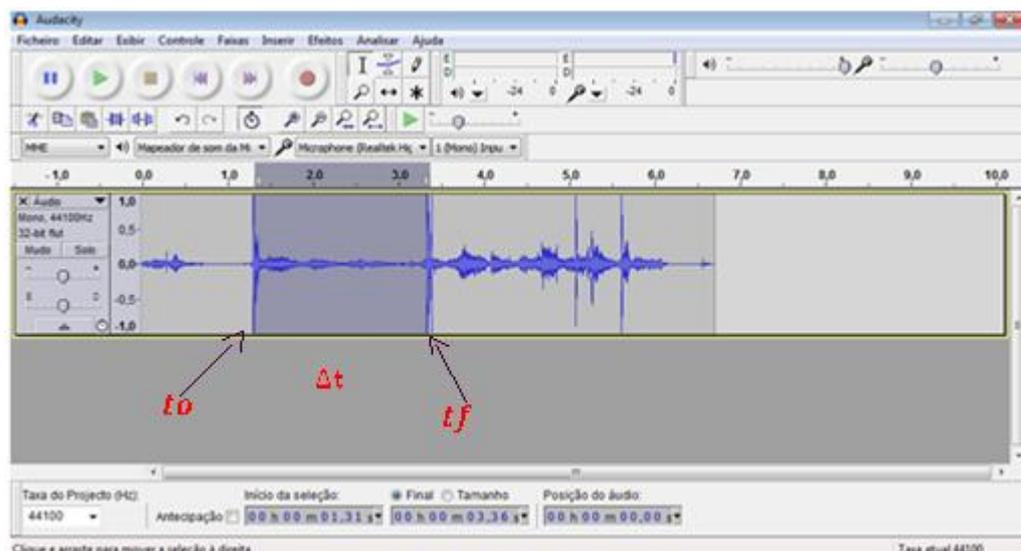
AGUIAR, C.E; PEREIRA, M.M. **O computador como cronômetro**. In: XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2011, Manaus.

BORGES, A. Tarciso. **Novos Rumos para o laboratório escolar de ciências**. Cad. Brás. Ens. Fís., v. 19, n.3, p.291-313, dez. 2002.

GALILEI, G: **Duas novas ciências**. São Paulo: Nova Stella, 1988.

THUILLIER, P. **De Arquimedes a Einstein: a face oculta da invenção científica**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1994.

Na primeira referência, você irá conhecer melhor o funcionamento do software Audacity, que pode ser obtido gratuitamente no endereço eletrônico: <http://audacity.sourceforge.net>. O software Audacity tem uma fácil interface, e é bem intuitivo. Ele utiliza o microfone do computador para captar uma onda sonora e registrá-la sob a forma de pulsos. A figura abaixo mostra o layout do programa Audacity em execução:



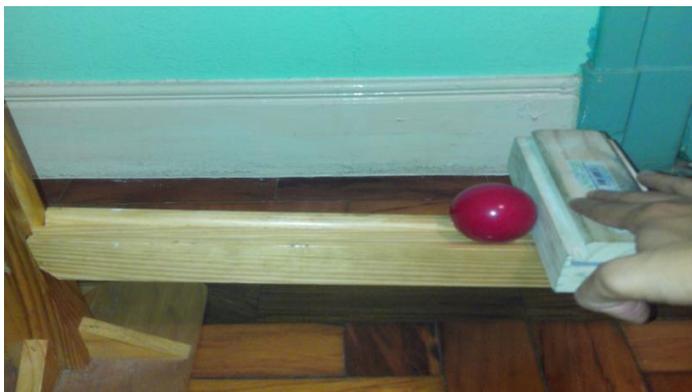
O primeiro pulso representa um primeiro ruído, e o segundo pulso um segundo ruído, ambos eram captados próprio microfone interno de um computador portátil.

Um cronômetro progressivo está presente no software e mede os instantes de tempo iniciais e finais referentes à criação de ambos os ruídos. Como vemos na figura, o tempo inicial marcado para o primeiro ruído foi de 1,31s e o tempo final 3,36s. O intervalo de tempo transcorrido entre esses acontecimentos de foi de 2,05s.

Podemos assim calcular com bastante precisão que pode ser ajustada para décimos ou centésimos de segundos o intervalo de tempo entre acontecimentos que emitam sons mesmo que estes ocorram muito próximos uns dos outros, devido à grande precisão fornecida pelo software.

Para gerar o som necessário nos instantes iniciais e finais do movimento da bola de bilhar, utilizamos o seguinte procedimento: elevamos suavemente a bola de bilhar no topo do plano inclinado, soltando-o levemente na canaleta, gerando o ruído inicial. Já para o segundo ruído, utilizamos um anteparo qualquer para deter a bola em seu movimento, desde que o choque gere um ruído que possa ser captado. Experimentalmente descobrimos que podemos utilizar um anteparo metálico, ou de madeira.

Utilizamos um apagador de lousa para deter a bola de bilhar na posição desejada. O ruído inicial foi gerado ao soltarmos levemente a bola no plano inclinado. O segundo ruído foi gerado pela colisão da bola com o apagador. O procedimento foi repetido para todas as distâncias desejadas. Podemos repetir por diversas vezes a medição do tempo para um mesmo trecho, caso assim desejemos. A figura a seguir elucida melhor o procedimento descrito acima:



Bola de bilhar sendo detida pelo apagador.

Na segunda referência, você irá conhecer sobre como as novas práticas de laboratório investigativo podem ser mais efetivas no ensino aprendizagem de física.

A terceira referência que é o próprio livro de Galileu, você poderá entrar em contato com esta grande obra científica do século XVII.

A quarta referência é um excelente livro sobre epistemologia e história da ciência para aprofundar as discussões epistemológicas acerca do tema.

Sugerimos que você faça o experimento, testando-o para evitar qualquer surpresa durante a aplicação da atividade e para se familiarizar com o processo de medição e utilização do software.

## **2. Aplicando a atividade**

Após terem estudado sobre movimentos uniforme e uniformemente variados, os alunos agora entrarão em contato com o fenômeno da queda livre vertical, através do célebre experimento do plano inclinado de Galileu Galilei. Antes de iniciar a aula propriamente dita o professor poderá fazer perguntas aos alunos questionando-os sobre a vida e obra de Galileu Galilei, investigando os possíveis conhecimentos prévios dos mesmos sobre o cientista.

### **SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM A**

A situação de aprendizagem A consta do fim desta proposta de aplicação. Para aplicá-la, o professor dividirá os alunos em grupos de 4 à 5 pessoas e distribuirá o roteiro de estudo contendo a situação de aprendizagem A.

Poderá ser pedido que algum aluno leia o texto contido na situação de aprendizagem que trata de uma pequena biografia de Galileu. O professor conduzirá a aula, discutindo uma a uma cada questão contida na situação de aprendizagem.

É interessante que o professor leia, ou peça para que alguém o faça, em voz alta a primeira questão da situação de aprendizagem, e depois peça para que os alunos a respondam.

Após certo tempo, deve-se ouvir as respostas dadas por cada um dos grupos, e então o professor poderá fazer comentários sobre as mesmas explorando a biografia de Galileu e os problemas que este teve com a igreja, bem como aspectos de sua personalidade e citando suas obras e criações. É importante que os alunos percebam o contexto em qual o cientista estava inserido e como era difícil para a época a aceitação de suas ideias.

O professor poderá ler em voz alta a segunda questão, pedindo que os alunos a respondam. Após certo tempo, o professor ouve a resposta de cada grupo complementando suas respostas acerca dos modelos heliocêntrico e geocêntrico. O professor pode discutir com

os alunos a profunda mudança na visão de mundo que ocorreu com a substituição da visão geocêntrica para a visão heliocêntrica, inclusive as implicações religiosas de tais mudanças para a sociedade da época. Podendo então prosseguir ouvindo a explicação que os alunos encontraram para justificar o fato da Terra se mover em translação e não percebermos este movimento.

Caso ninguém possua uma resposta correta, o professor poderá explicar dando exemplos do cotidiano dos alunos, como o exemplo do elevador de um prédio que se move em velocidade praticamente constante e não percebemos seu movimento, justificando assim o fato de não percebermos o movimento de translação da Terra.

Em seguida poderá ler a terceira questão e apresentar aos alunos o plano inclinado galileano. O professor irá fazer uma bola rolar no plano para que os alunos entendam seu funcionamento. Explicar aos alunos que Galileu gostaria de estudar sobre a queda livre dos corpos, porém acabou por utilizar um plano inclinado em seu lugar para tal estudo.

É muito provável que os alunos não consigam responder esta questão, então caberá ao professor explicar o motivo de Galileu ter utilizado o plano inclinado. Deve ficar claro para os alunos que o motivo da escolha do plano inclinado foi devido ao fato do tempo de queda dos corpos ser muito pequeno em queda livre, e que no plano inclinado o tempo de queda seria maior. É desejável que fique claro ainda para eles que Galileu acreditava que o tipo de movimento não sofria alteração (esta era uma hipótese dele).

O professor poderá pedir aos estudantes que leiam a quarta questão da situação de aprendizagem, deixando claro que as bolas de bilhar possuem massas diferentes. Caso exista uma balança é possível aferir a massa de cada esfera antes de fazer o experimento.

O professor poderá aguardar as respostas de cada grupo. Questionando assim qual destes grupos acreditam que as bolas chegarão juntas, e quais grupos acreditam que chegarão em tempos diferentes, sendo que cada um deles deverá explicar o seu raciocínio.

Na quinta questão eles efetivamente medirão o tempo de queda das bolas de bilhar, usando o software Audacity. Supomos aqui, que os alunos já o conheçam, caso contrário, caberá ao professor explicar o funcionamento do software.

Após todos os grupos realizarem as medidas, será pedido que respondam a questão e que cheguem a alguma conclusão sobre o tempo de queda dos objetos na superfície da Terra. O professor poderá frisar que todos os objetos caem ao mesmo tempo quando soltos da mesma altura, e que se isso não ocorrer é devido a algum tipo de resistência. O professor poderá comentar ainda como Aristóteles explicava a queda dos corpos e como Galileu conseguiu vislumbrar uma nova explicação para a mesma. Convém relatar o experimento

feito por David Scott na Lua que comprova este fato experimentalmente, finalizando assim a explicação.

Lendo em voz alta a questão seis, o professor poderá dizer que Galileu mediu o tempo de esferas que rolavam no plano inclinado, porém irá salientar que não existiam computadores na época, tão pouco cronômetros digitais. Os alunos serão questionados a pensar em como seria possível fazer a medição de tempos pequenos na época de Galileu. Após ouvir as respostas dadas pelos alunos, o professor irá sugerir que eles prestem atenção no desenho de seus roteiros, tentando-os fazer perceber como Galileu fez a medição do tempo. Caso os alunos por si mesmos não consigam descobrir, o professor poderá explicar o procedimento adotado pelo grande físico: utilizando um recipiente com um fio fino de água em queda que caia e era recolhido. Quanto maior a quantidade de água, maior era o tempo, e explicar que Galileu pesava as massas de água para ter um valor quantitativo do valor do tempo.

Em relação à questão sete, os alunos poderão lembrar o que aprenderam sobre movimento uniformemente variado e escrever em seus roteiros. Caso se faça necessário, o professor poderá retomar brevemente o estudo do movimento retilíneo uniformemente variado, ressaltando a variação constante da velocidade e em consequência disto, a relação quadrática que existe entre o deslocamento do objeto e o tempo gasto para percorrer este deslocamento.

### Situação de aprendizagem A

#### **O experimento do plano inclinado de Galileu para a queda livre.**

**Nome:** \_\_\_\_\_ **n°** \_\_\_\_\_ **Série:** \_\_\_\_



Um desenho de George Gamow (1902-1968) que representa Galileu experimentando sobre o plano inclinado.

Caro estudante, certamente você já ouviu falar sobre Galileu Galilei, não é verdade? Pois é, todos que passaram pela escola já ouviram falar dele algum dia na vida. Vamos conhecê-lo um pouco melhor?

Este ilustre personagem nasceu na cidade de Pisa na Itália no ano de 1564. Aos doze anos foi para o mosteiro de Vallombrosa, onde estudou os clássicos latinos e aprendeu grego. Seu pai Vincenzo, querendo que ele fosse mercador, o retirou da escola, mas quando completou dezessete anos o enviou para a universidade local para estudar medicina. O pai de Galileu não queria que este se tornasse músico ou matemático, visto que eram profissões mal remuneradas.

Por falta de dinheiro Galileu deixou a faculdade no segundo ano, sem obter o grau de doutor, mas continuou com suas investigações e estudos matemáticos. Galileu tinha personalidade presunçosa, era vaidoso e sarcástico. Fez diversos inimigos, e se envolveu em inúmeras disputas no decorrer de sua vida. Tornou-se professor de matemática em 1592 na república de Veneza. Dava aulas particulares, devido ao baixo salário como professor. Foi inventor e criou entre outras coisas, uma máquina para elevar água, uma bússola geométrica e um termômetro de ar. Chegava a dar palestras para locais com capacidade de mais de mil pessoas. Confessou em 1597 que havia se rendido ao modelo heliocêntrico ( O Sol no centro do universo, e não a Terra) de Nicolau Copérnico. Entre 1600 e 1610 pesquisou sobre a queda dos corpos, movimento de pêndulos e projéteis. Possuiu uma amante, com quem teve duas filhas que vieram a se tornar freiras.

Embora não tenha inventado o telescópio como se pensa, aperfeiçoou os modelos de sua época. Através dos telescópios, observou irregularidades na superfície lunar, as fases do planeta Vênus, manchas solares e os anéis de Saturno. Galileu enfrentou alguns problemas não tão graves com a igreja católica, em relação a sua defesa pelo sistema de Copérnico, devido grande em parte aos seus contatos com o alto clero da igreja católica. Galileu era arrogante, irônico e por vezes ridicularizava as pessoas que acreditavam no sistema aristotélico de explicação do mundo. Muitas de suas explicações sobre alguns os fenômenos, vistos sob a óptica de hoje apresentavam









## ANEXO J- PROPOSTA DE APLICAÇÃO DE ATIVIDADES PARA PROFESSORES

PROPOSTA DE APLICAÇÃO DE ATIVIDADES PARA PROFESSORES.

MOVIMENTO UNIFORMEMENTE VARIADO E QUEDA LIVRE.  
ATIVIDADE B.



## MOVIMENTO UNIFORMEMENTE VARIADO E QUEDA LIVRE – ATIVIDADE 2

**Tempo previsto:** 02 ou 03 aulas

**Competências e habilidades:** Utilizar linguagem científica adequada para descrever movimentos em situações cotidianas; identificar variáveis relevantes, elaborar hipóteses, estabelecer relações e interpretar observações ou resultados de um experimento; identificar regularidades, invariantes e transformações na análise experimental de fenômenos físicos; elaborar relatórios analíticos de experimentos, apresentando procedimentos, discutindo resultados e fazendo uso da linguagem física apropriada.

**Estratégias:** leitura de textos, levantamento de conhecimentos prévios dos estudantes com sistematização em grande grupo; realização, interpretação, sistematização e relato de experimento.

**Recursos :** roteiro de atividade em grupo; material para atividade experimental: plano inclinado de madeira; duas bolas de bilhar de massas distintas; computador portátil com software Audacity instalado; trena ou régua.

### **OBJETIVOS/CONTEXTO.**

A situação de aprendizagem B aborda a descrição do experimento galileano do plano inclinado. Nela Galileu relata como teria feito para demonstrar que o movimento no plano inclinado era do tipo uniformemente variado, e por consequência a queda livre também seria.

Os alunos terão a oportunidade de refazer os passos de Galileu utilizando equipamentos mais modernos, podendo comparar e contemplar as diferentes formas de se fazer ciência no passado e na atualidade, podendo chegar a conclusão sobre qual tipo de movimento é realizado no plano inclinado.

Nesta atividade os alunos terão a oportunidade de formular hipóteses, fazer medições e seguir um raciocínio científico na investigação de um fenômeno físico.

### **ENCAMINHANDO A AÇÃO**

O professor poderá pedir, por exemplo, que um ou mais alunos leia(m) em voz alta o texto da situação de aprendizagem, que consta do final desta proposta de aplicação. Nesta

situação de aprendizagem temos a descrição do livro de Galileu a cerca de seu experimento do plano inclinado. Após efetuada a leitura, os alunos poderão responder a questão 1 que trata sobre os objetivos de Galileu ao realizar o experimento do plano inclinado. O professor irá então ouvindo as respostas dadas pelos estudantes e assim ir direcionando a discussão sutilmente caso não apareçam as respostas esperadas. É importante ficar claro para os alunos que o motivo de Galileu ter utilizado o plano inclinado foi devido ao fato que neste, o tempo de “queda” da bola era menor que em queda livre vertical. Os alunos deverão perceber ainda que para Galileu o movimento no plano inclinado era do mesmo tipo que na queda livre, a única diferença era o fato da inclinação da rampa resultar num maior tempo de queda.

Após finalizada a discussão do plano inclinado, novamente poderá ser pedido que um dos alunos leia a segunda questão da situação de aprendizagem. Nesta questão eles deverão achar uma relação entre as unidades braça e metro. O professor ao ouvir as respostas dadas por cada grupo irá por fim explicar sobre a questão da escala no experimento, e que embora o plano inclinado utilizado por Galileu tenha maior comprimento, o experimento não fica invalidado, devido à manutenção das mesmas proporções. O professor poderá frisar ainda o motivo do plano inclinado de Galileu ter um tamanho tão grande: para facilitar a medição do tempo, visto que seu relógio de água não era muito preciso comparado ao software Audacity, que estão utilizando.

Dando prosseguimento a atividade, algum aluno deverá ler a questão 4. O professor poderá propor que os alunos criem um procedimento experimental para comprovar que o movimento da bola no plano inclinado é do tipo uniformemente variado. Eles irão então elaborar por escrito um procedimento ou esquema para realizar no plano inclinado. Caso os alunos não consigam elaborar um procedimento, o professor poderá, por exemplo, ir de mesa em mesa ajudando-os a elaborá-lo. Caberá aos alunos escolher em quantas partes dividirão o plano inclinado, e como efetuarão para deter a bolinha e medir o tempo de seu trajeto.

Para resolver a quinta questão o professor deverá disponibilizar réguas, o computador com o software Audacity instalado e as bolas de bilhar. Os alunos irão então efetuar as medidas no plano inclinado. O professor pode organizar a atividade de tal modo que cada grupo efetue as medidas separadamente, para evitar confusão de muitas pessoas querendo utilizar o equipamento de uma única vez.

O professor perceberá a maneira como eles se organizam, quem mede o tempo, quem abandona a bola de bilhar, quem detém seu movimento e quem anota os dados obtidos.

O professor poderá intervir dizendo que os alunos devem prestar atenção sobre qual parte da bola estarão considerando o movimento e tomar as medidas à partir desta posição, já que as dimensões da bola não podem ser desprezadas neste caso.

O professor poderá circular durante a atividade, acompanhando a tomada de dados e auxiliando os grupos nas mesmas, evitando dar respostas prontas, mas sim fazendo questionamentos em relação aos procedimentos tomados pelos alunos. Uma dúvida pertinente que o professor poderá lançar é de qual a quantidade de vezes que uma mesma medida deverá ser realizada para uma melhor tomada de dados.

Os estudantes já estando de posse dos dados referentes ao deslocamento e tempo de trajeto da bola de bilhar devem ser questionados se percebem a existência de erros/incertezas no experimento com relação as medidas que possuem. Supomos que o professor já tenha realizado algum tipo de discussão sobre incertezas e medidas físicas, caso não tenha feito, este será o momento de fazê-lo. Deverá ficar claro para os alunos que tanto as medidas de distância e tempo envolvem incertezas, e que é impossível realizar uma medida com total precisão, e sempre que fornecermos uma medida devemos fornecer também sua respectiva incerteza. É interessante citar as limitações que Galileu tinha a disposição, comparar os métodos de medição de tempo que ele utilizou e o que os alunos estão utilizando agora, e como a tecnologia acaba por ajudar a ciência a realizar experimentos cada vez mais precisos.

Para finalizar o experimento no plano inclinado, os alunos já de posse dos dados irão concluir se o movimento pode ser considerado uniformemente variado ou não. Eles poderão relembrar a relação quadrática que existe entre o deslocamento e o intervalo de tempo para este movimento. Muito que provavelmente os alunos chegarão numa relação quadrática aproximada entre o deslocamento e o tempo gasto. O professor deverá questionar sobre as incertezas do experimento e as aproximações do modelo para justificar tais discrepâncias. O professor pode abordar aqui as visões epistemológicas a cerca do experimento galileano, colocando os posicionamentos de Alexandre Koyré e Stillmann Drake.

É interessante ainda que os estudantes sejam levados a uma sala de informática para que utilizando uma planilha eletrônica possam tentar melhor visualizar a relação quadrática entre deslocamento e tempo através da construção de gráficos. O professor pode citar a elaboração de modelos utilizando gráficos e as aproximações envolvidas em tais modelos.

Por fim os alunos deverão finalizar a atividade concluindo a cerca do tipo de movimento no plano inclinado, e entregando o roteiro da situação de aprendizagem ao professor.

## Situação de Aprendizagem B.

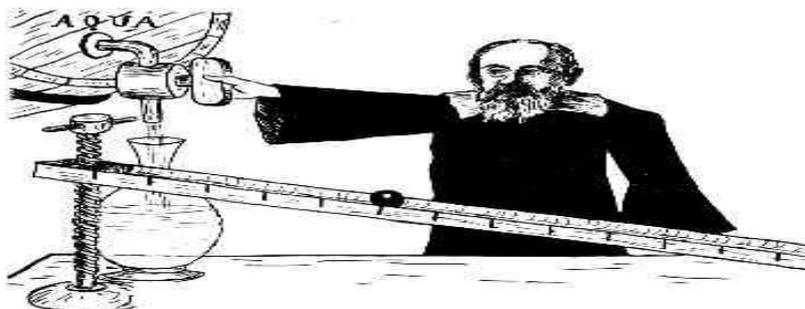
### O experimento do plano inclinado de Galileu para a queda livre.

Nome: \_\_\_\_\_ n° \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_ n° \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_ n° \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_

### O experimento do plano inclinado de Galileu para a queda livre.



Um desenho de George Gamow (1902-1968) que representa Galileu experimentando sobre o plano inclinado.

Em seu livro “ Discurso sobre duas novas ciências” datado de 1632 , o grande físico italiano Galileu Galilei faz um estudo detalhado sobre os movimentos retilíneos uniformes ( MRU) e movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV ).

Ele descreve então as equações matemáticas associadas a estes tipos de movimentos. Galileu pretende ainda entender a queda livre na superfície da Terra. Para tanto sugere que o movimento de queda livre segue a lei harmoniosa de um MRUV, pois segundo ele, é o movimento mais simples onde a cada instante de tempo o corpo ganharia o mesmo acréscimo em sua velocidade. Questionado sobre como poderia mostrar que a queda livre obedece este tipo de movimento Galileu descreve então um engenhoso equipamento experimental para testar sua proposição. Abaixo temos a descrição que consta do livro de Galileu e que ele teria utilizado:

*“... Numa ripa, ou melhor, numa viga de madeira com o comprimento aproximado de doze braças, uma largura de meia braça num lado e três dedos no outro, foi escavada uma canaleta neste lado menos largo com pouco mais que um dedo de largura. No interior desta canaleta perfeitamente retilínea, para ficar bem polida e limpa, foi colada uma folha de pergaminho que era polida até ficar bem lisa; fazíamos descer por ele uma bola de bronze perfeitamente redonda e lisa. Uma vez construído o mencionado aparelho, ele era colocado numa posição inclinada, elevando sobre o horizonte uma de suas extremidades até a altura de uma ou duas braças, e se deixava descer (como afirmei) a bola pela canaleta, anotando como exporei mais adiante o tempo que empregava para uma descida completa; repetindo a*







