



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA**

**CAMPUS I**

**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

**MESTRADO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**

**JAENE GUIMARÃES PEREIRA**

**O BLOGUE COMO FERRAMENTA DE  
DIVULGAÇÃO DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA:  
O EXPERIMENTO DE CAVENDISH**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2012**

**JAENE GUIMARÃES PEREIRA**

**O BLOGUE COMO FERRAMENTA DE  
DIVULGAÇÃO DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA:  
O EXPERIMENTO DE CAVENDISH**

Dissertação apresentada ao Mestrado em  
Ensino de Ciências e Matemática da  
Universidade Estadual da Paraíba, em  
cumprimento à exigência para a obtenção do  
grau de Mestre em Ensino de Ciências

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Ana Paula Bispo da Silva

CAMPINA GRANDE – PB

2012

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na sua forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação

FICHA CATALOGRÁFICA ELABPRADA PELA BIBLIPTECA CENTRAL – UEPB

G633u

Pereira, Jaene Guimarães.

O Blogue como ferramenta de divulgação da história da ciência [manuscrito] : o experimento de Cavendish / Jaene Guimarães Pereira. – 2012.

107 f. : il. color.

Digitado

Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática), Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, 2012.

“Orientação: Prof<sup>a</sup>. Dra. Ana Paula Bispo da Silva, Departamento de Física”.

1. Blogue. 2. Henry Cavendish. 3. História da Ciência e Ensino. I. Título.

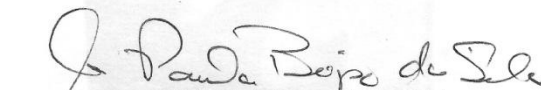
21. ed. CDD 530

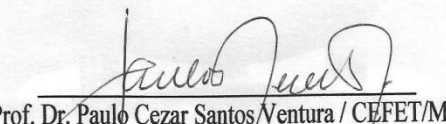
JAENE GUIMARÃES PEREIRA

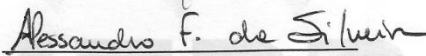
**O BLOGUE COMO FERRAMENTA DE  
DIVULGAÇÃO DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA:  
O EXPERIMENTO DE CAVENDISH**

Dissertação apresentada ao Mestrado  
em Ensino de Ciências e Matemática da  
Universidade Estadual da Paraíba, em  
cumprimento à exigência para a  
obtenção do grau de Mestre em Ensino  
de Ciências

Aprovada em 17/12 /2012.

  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Ana Paula Bispo da Silva/UEPB  
Orientadora

  
Prof. Dr. Paulo Cezar Santos Ventura / CEFET/MG  
Examinador

  
Prof. Dr. Alessandro Frederico da Silveira/UEPB  
Examinador

**Dedico essa dissertação a minha filha amada,  
Jamily Guimarães Neves, a quem  
infinitamente me inspira a buscar sempre o  
melhor.**

## AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho não poderia ser possível sem a contribuição direta e indireta de muitas pessoas em minha vida.

Em primeiro lugar agradeço a Deus, pela vida.

Agradeço a minha orientadora Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Paula Bispo, pela oportunidade, pela transferência de conhecimento e incansável apoio profissional no desenvolvimento deste trabalho.

Quero agradecer a todos do Grupo de História da Ciência e Ensino, pelo apoio e ajuda.

Ao Prof. Roberto de Andrade Martins, pelos conselhos valiosos.

Ao meu esposo Raphael Grazianni Neves Pereira, pela paciência e companheirismo, a minha filha Jamily Guimarães Pereira a quem amo infinitamente e a meus pais Luciene da Silva Pereira e José Bosco Guimarães Pereira pelo apoio incondicional.

Agradeço a banca Prof. Alessandro Frederico da Silveira e Prof. Paulo Cezar Santos Ventura, por gentilmente aceitar participar deste momento tão importante, com suas contribuições em nosso trabalho.

Ao programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual da Paraíba e todos os envolvidos neste programa como o Prof. Silvano, que se mostrou competente no cargo que ocupa de coordenador.

Por fim, aos amigos e familiares.

## **RESUMO**

Nossa pesquisa busca minimizar um problema com relação à divulgação e à acessibilidade de materiais históricos potencialmente significativos no ensino de ciências, auxiliando professores interessados em realizar trabalhos em sala de aula e ao mesmo tempo discutir o papel da experimentação na física e a natureza da ciência com o uso de um episódio histórico. Escolhemos como episódio histórico o experimento de Henry Cavendish (1731-1810), que permite associar discussões sobre as tentativas de obter a densidade da Terra durante o século XVIII, o papel de destaque dos experimentos neste século e a lei da gravitação universal de Newton, entre outros. O episódio histórico será aprofundado considerando três perspectivas: a histórica, explorando o contexto em que o experimento foi desenvolvido, seus pressupostos, a descrição detalhada e os resultados obtidos; a epistemológica, discutindo o papel da experimentação no século XVIII e a conceitual, que versará sobre os conteúdos de movimento oscilatório, pêndulos, força restauradora, momento de inércia, segunda lei de Newton na forma angular, gravitação e torque. Nossa proposta consiste em usar um blogue como fonte de divulgação da pesquisa histórica, ferramenta que nos possibilitará uma ampla discussão com os interessados no assunto, auxiliando-os no uso do episódio em sala de aula. Propomos um material histórico interativo, onde os professores assim como seus alunos possam tirar dúvidas e comentar ao mesmo tempo online, facilitando o acesso e a aprendizagem.

**PALAVRAS-CHAVES:** Blogue, Henry Cavendish, História da Ciência e Ensino.

## **ABSTRACT**

This research intends to address a lack of historical studies which can be useful to science teaching. We propose posting a historical episode on a blog to reach teachers who want to use history and philosophy in their classes. We chose the Henry Cavendish' experiment about the density of the Earth as the historical episode and the methodology adopted was to divide the research into three distinct steps. First, we performed the historical and epistemological study about the episode. We looked for the primary and secondary sources which helped us ~~to~~ understand the experiment and the hypotheses already ~~done~~ proposed on ~~about~~ the value of the Earth's density and how it was related to the gravitational law proposed by Isaac Newton. Then, we considered how this episode can make explicit some aspects of the nature of science, such as the role of the experiment in the construction of a theory and the controversies about the value of the density during the 18<sup>th</sup> century. We also explored the physics concepts related to the Cavendish' experiment such as the torsion pendulum, torque and moment of inertia. The second goal was to investigate why and how blogs are employed in science teaching and in the history of science. This investigation helped us define the necessary elements in our blog to interact with teachers and students and, at the same time, to propose a ~~historical~~ historical material based on specialized studies. The third step consisted of preparing the text and complementary activities to post on the blog and to complement the blog with pictures, drawings, sound files, original sources, etc. (<http://lordecavendish.blogspot.com.br/>). Because the nature of the blog is dynamic and in progress, this research is partly finished and will depend on the answers and suggestions posted in the future by the followers to know if it has achieved its purpose. The construction of the blog is only the first part of a bigger project that intends to inform science teachers of the history of science by an in-depth study and presentation of historical material.

**KEYWORDS:** Blog, Henry Cavendish, History of Science and Teaching.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1-</b>	Aparato do experimento de Cavendish.....	27
<b>Figura 2-</b>	Detalhe da figura 1.....	28
<b>Figura 3-</b>	Vista superior do experimento de Cavendish.....	29
<b>Figura 4-</b>	Representação dos pontos médios .....	31
<b>Figura 5-</b>	Tabela final do experimento de Cavendish .....	37
<b>Figura 6-</b>	Página inicial do Blogue .....	54
<b>Figura 7-</b>	Nossa apresentação no Blogue .....	55
<b>Figura 8-</b>	Apresentação da biografia do Cavendish no Blogue .....	56
<b>Figura 9-</b>	Episódio Histórico no Blogue .....	57
<b>Figura 10-</b>	Apresentação do GHCEH no Blogue.....	58

## **LISTA DE SIGLAS**

NC	Natureza da Ciência
HFC	História e Filosofia da Ciência
GHCEN	Grupo de História da Ciência e Ensino
MECM	Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba
UNIFESP	Universidade Federal de São Paulo
IFPB	Instituto Federal da Paraíba
BSSC	American Biological Science Curriculum
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais

## Sumário

Introdução.....	3
CAPÍTULO 1 - A utilização da HFC no ensino – algumas reflexões.....	8
1.1 - A utilização da HFC no ensino .....	8
1.2 - A história da ciência na formação do professor.....	12
1.3 - Possíveis soluções à adequação da HFC para o ensino.....	14
CAPÍTULO 2 - O episódio histórico.....	17
2.1 - As medidas da densidade da Terra.....	19
2.2 - Biografia de Cavendish .....	21
2.3 O experimento de medida da densidade da Terra .....	22
2.4 - Sobre o método de determinar a densidade da Terra a partir destes experimentos.....	33
2.5 - Obtendo a constante gravitacional $G$ .....	38
2.6 - O episódio histórico do ponto de vista da natureza da ciência .....	40
Capítulo 3 – O blogue como ferramenta mediadora entre a História da Ciência e o Ensino de Física .....	42
3.1 - O que é um blogue? .....	42
3.2 - O blogue no contexto educacional .....	43
3.3 - O blogue e o professor .....	46

CAPÍTULO 4 - Construção do blogue .....	49
4.1 Estabelecendo critérios para a construção do blogue. ....	49
4.2 O blogue do Cavendish – conteúdo e organização.....	51
CAPÍTULO 5 – Considerações finais .....	58
Referências .....	60
APÊNDICE I .....	65
Texto de apresentação, na segunda guia, do programa de Pós-Graduação .....	65
Texto da terceira guia com a Biografia do Cavendish. ....	66
Texto da terceira guia, o Episódio Histórico: .....	69
Texto da quinta guia, o GHCEN.....	74
APÊNDICE II .....	76
Fenômenos envolvidos no fenômeno do Pêndulo de Torção. ....	76
Inércia.....	76
Torque .....	78
Segunda lei de Newton em sua forma Angular.....	79
Pêndulo de torção.....	81
Anexo 1 .....	85

Tradução do trabalho original do Cavendish.....	85
---	----

## **Introdução**

A inquietação inicial que levou à elaboração deste trabalho teve origem ainda na minha formação, enquanto estudante de licenciatura em física, quando tive os primeiros contatos com a utilização da história e filosofia da ciência como abordagem didática para o ensino de física.

Quanto ao uso da História e Filosofia da Ciência (HFC), este recurso didático é objeto de diversas pesquisas. Mudanças curriculares em diversos países e os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) apontam que a introdução de elementos da História e Filosofia da Ciência, ou a história como forma de abordagem didática em ciências naturais, levaria a uma melhor compreensão da ciência em si e de conceitos científicos (MATTHEWS, 1995; MEC, 2000; GIL-PEREZ&CARVALHO, 1995).

Do mesmo modo, muito se tem pesquisado sobre como a HFC não devem ser apresentadas, seja em sala de aula ou em livros didáticos (MARTINS, L. 2005; MARTINS, R. 2006; PEDUZZI, 2001). Mas a maneira de apresentar essa história de forma a conciliar fatores como: natureza da ciência, conceitos científicos, interesse do aluno e a preparação desse aluno para exames vestibulares, ainda continua sendo um desafio. Pesquisas mostram que os professores atuando em sala concordam com as vantagens de se utilizar a história, mas também apontam que há muitos obstáculos para que essa utilização, de forma construtiva, se concretize (MATTHEWS, 1995; DUARTE, 2004). Um dos fatores apontados nessa dificuldade é a ausência de material de boa qualidade (MARTINS, A. 2007, p. 121; DUARTE, 2004, p. 321)

A elaboração e utilização efetiva da HFC no ensino vão além de sua apresentação, na forma enciclopédia, com detalhes de personagens que contribuíram no entendimento de algum fenômeno ou conceito. Para a elaboração de um material histórico potencialmente significativo, é necessário que este seja feito por meio de uma pesquisa em fontes originais, análise de fontes secundárias, análise da repercussão de determinada teoria, seus adeptos e opositores e suas justificativas (MARTINS, R. 2001, pp. 126-128). Esta é uma tarefa que requer cuidados com a fidedignidade da história, buscando ser ao máximo imparcial.

Entretanto, a pesquisa e a elaboração desse material muitas vezes exigem uma leitura e um aprofundamento a que o professor não está acostumado, talvez por falta de estudos sobre a HFC em sua formação acadêmica. Portanto, cabe ao professor interessado em usar a HFC em suas aulas, conhecer os resultados de pesquisa e encontrar a melhor maneira de adaptar estes materiais desenvolvidos nestas pesquisas a realidade de suas aulas, conciliando os fatores já expostos acima. Por sua vez as pesquisas também vêm buscando analisar as diferentes formas de levar a HFC para a sala de aula e suas implicações na aprendizagem e formação de cidadãos críticos e reflexivos (CASTRO, 2004; PEDUZZI, 2001; SILVA, 2006).

Além disso, é preciso considerar que muitas pesquisas não chegam ao conhecimento dos professores.

Consideramos importante que exista uma comunicação da comunidade acadêmica com o seu “objeto de estudo” que é o professor e as relações em sala de aula. Assim, essa falta de comunicação dificulta o acesso a este conhecimento, os resultados (produto) obtidos por estas pesquisas. Para isto é imprescindível que haja a divulgação de bons materiais históricos disponíveis em uma linguagem menos técnica, direcionada ao público a que se destina como alunos e professores.

Considerando as dificuldades já citadas para que a HFC façam parte do processo de ensino, a pergunta de pesquisa que este trabalho pretende responder é: se é possível utilizar um blogue como uma ferramenta de divulgação de um episódio histórico com potencialidades pedagógicas. Portanto, nosso objetivo é elaborar e fazer uso de um blogue como instrumento de divulgação da pesquisa histórica realizada, com o intuito de apresentar ao professor uma possibilidade de uso de HFC.

Para elaborar o produto vinculado a esta pesquisa, delimitamos o episódio histórico a ser analisado; o público alvo a quem o produto se destina e a ferramenta de divulgação que se aproximasse mais do público alvo, nossa escolha pelo uso do blogue, se deu pelo fácil acesso e a dinamicidade o que nos possibilitaria futuramente obter um feedback.

Na construção deste trabalho de pesquisa e elaboração de produto foram necessárias três etapas distintas de pesquisa, com metodologias específicas.

A primeira etapa consistiu da pesquisa histórica, fazendo uso da metodologia da pesquisa historiográfica. Neste estágio foi realizada uma busca e revisão bibliográficas de fontes primárias e secundárias, sobre o episódio histórico escolhido. Assim analisamos os originais históricos e análises de outros historiadores sobre este mesmo episódio, buscando uma compreensão dos diferentes aspectos envolvidos. Em se tratando de uma pesquisa histórica, a análise tentou evitar uma interpretação anacrônica, mantendo-se fiel ao conhecimento do existente no período em que o episódio histórico ocorreu, tanto quanto aos aspectos conceituais quanto metodológicos. Buscamos compreender o contexto histórico em que estavam acontecendo as pesquisas, e como estas estavam sendo feitas.

A segunda etapa consistiu de um aprofundamento quanto à ferramenta de divulgação escolhida (blogue). Neste sentido, fizemos uma revisão bibliográfica sobre a utilização de blogues. Nossa busca inicial foi por trabalhos publicados na área de ensino que fez uso do blogue de alguma maneira e encontramos um número bem expressivo, os quais indicam vários aspectos importantes que podem ser explorados nesta ferramenta, Porém, ao afunilarmos para o caso do ensino de física, este número foi reduzido, o que nos encorajou na utilização desta ferramenta associando HFC e ensino de física.

A terceira etapa consistiu na elaboração do Blogue. Neste momento, levamos em consideração alguns aspectos negativos que foram apontados por autores quanto a ferramenta, e buscamos minimizar estes problemas. Observamos as estruturas dos blogues em educação e em história já existentes, evitando textos longos e adicionando o máximo de imagens.

Neste sentido, propomos em nosso trabalho textos históricos em uma linguagem mais simples, a fim de facilitar o entendimento do público alvo. A intenção principal é que estes textos cheguem ao conhecimento dos professores. Além disso, a interatividade presente na ferramenta permite abrir discussões e diálogos em que os professores poderão discutir maneiras de utilização do material ao passo de tirarem dúvidas diretamente conosco. Neste sentido, buscamos usar o blogue uma vez que permitirá este contato.



Para tanto criamos um blogue objetivando divulgar nosso material histórico, sugerindo maneiras a ser trabalhado em sala de aula pelo professor, entre outras coisas. Por ser um meio de comunicação que vem gradativamente crescendo em termos de público, o blogue também é relativamente de fácil manuseio.

O episódio histórico que escolhemos para esta divulgação foi o experimento de Cavendish, publicado em 1798, que tinha como objetivo encontrar a densidade da Terra, partindo do movimento de um pêndulo de torção e da força de atração entre corpos. Este não era o único propósito do experimento no período, já que tem atrelado, indiretamente, considerações sobre a validade das leis de Newton sobre atração à distância. A busca bibliográfica sobre o episódio mostrou que ele é ainda pouco, ou quase nada, explorado pelos pesquisadores e professores do ponto de vista de material para o Ensino de Física.

Usamos este episódio histórico com a finalidade de exemplificar o fenômeno de movimento harmônico simples, a fim de auxiliar o professor em suas aulas sobre o fenômeno do pêndulo de torção, que foi o experimento realizado por Cavendish, ao passo que contextualizamos este experimento explorando aspectos conceituais, epistemológicos, filosóficos, etc., que contribuem para a compreensão da natureza da ciência (NC) e do desenvolvimento do pensamento crítico reflexivo.

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. No primeiro capítulo trazemos uma revisão das pesquisas recentes que apontam a história da ciência como meio que possibilita a discussão sobre a NC e suas implicações para o ensino. Este capítulo fornece as motivações de associar a HFC no ensino de ciências, bem como os requisitos que um professor precisa em sua formação para poder executar a proposta de maneira efetiva, ou seja, fugindo de interpretações equivocadas da NC, detalhadas neste primeiro capítulo. Trazemos ainda alguns obstáculos no uso da HFC no ensino de ciências, e as possíveis soluções a estes problemas.

No segundo capítulo, descrevemos o episódio histórico escolhido, sua contextualização, comentários explicativos sobre o trabalho original de Henry Cavendish, sua biografia, o método utilizado por ele na determinação do valor da densidade da Terra. Mostramos

também como o experimento está associado ao valor da constante gravitacional, além de apresentamos uma introdução aos conceitos físicos que podem ser explorados a partir do episódio.

No terceiro capítulo, revisamos os artigos que tratam sobre o uso de blogues, apontando os benefícios e os desafios desta ferramenta e como se encontram as pesquisas sobre a utilização de ferramentas de informação e comunicação na educação atualmente.

No quarto capítulo, detalhamos como foi feita a elaboração do nosso blogue, cada guia e seus objetivos do ponto de vista pedagógico e de divulgação.

No capítulo 5, de considerações finais apontamos algumas perspectivas na utilização do blogue e os possíveis desafios a serem enfrentados.

## **CAPÍTULO 1 - A utilização da HFC no ensino – algumas reflexões**

Neste capítulo são abordadas questões relativas à inserção da História e filosofia da ciência no ensino e o reflexo na formação de professores. Para isso é adotado como “filosofia” as possibilidades que a história traz para discutir aspectos epistemológicos da ciência, como sua natureza e evolução. A inserção da abordagem baseada na HFC é apenas um dos caminhos possíveis quando pretendemos formar cidadãos. Mas não é o único, e muito menos o mais perfeito. Controvérsias sobre qual a HFC deve ser inserida e de que forma se dá essa inserção estão presentes nas pesquisas há décadas e referenciadas no decorrer do capítulo.

### **1.1 - A utilização da HFC no ensino**

Nas últimas décadas, as pesquisas em ensino de ciências têm mostrado a necessidade de formar alunos como cidadãos, o que pressupõe que sejam críticos e conscientes do papel da ciência na sociedade e não apenas solucionadores de problemas. Para tanto, a história e a filosofia da ciência (HFC) vem sendo apontada como uma ferramenta pedagógica adequada para atingir tais propósitos formativos, permitindo discutir, inclusive, aspectos da natureza da ciência (NC) (LEDERMAN, 2007; FORATO, PIETROCOLA e MARTINS, 2011).

Uma das principais motivações de se associar o ensino de ciências a história e a filosofia da ciência é a possibilidade de se construir mecanismos que possam combater a alarmante aversão de muitos alunos pelos conteúdos de ciências, principalmente Física. A história e a filosofia não têm todas as respostas, para esses e outros problemas, mas elas apontam um provável caminho a se seguir, tornando a ciência mais humana,

tentando atrair o interesse do aluno. Desta forma, o aluno conseguiria ver em sua vida a ciência presente, eliminando a ideia de que ciência são apenas fórmulas matemáticas sem sentido. O uso da história e da filosofia pode levar os alunos a refletirem a respeito de várias questões, e assim desenvolverem um senso crítico (MATTHEWS, 1995).

Além disso, se optamos por inserir a HFC, precisamos conhecer os riscos que corremos, afinal não existe um consenso entre os estudiosos acerca do método de trabalho dos cientistas. Então é necessário um cuidado em nossa fala, pois dependendo da forma com que a ciência é apresentada, podemos reforçar a ideia do empírico-indutivista apresentado por Chalmers (1993), uma visão ingênua da ciência, assumida pelo senso comum, que acredita em uma ciência pronta a acabada, sem erros, sem conflitos e num cientista neutro, livre de qualquer tipo de influências e interesses. Este cuidado deve ser tomado principalmente se optamos por utilizar a abordagem histórica para a discussão de aspectos da natureza da ciência e sobre o que está envolvido no desenvolvimento do conhecimento científico, como o papel de observações, descobertas, teorias, leis, etc.

Discutir a natureza da ciência através de episódios históricos ajuda no rompimento da visão mais comum sobre ciência presente em sala de aula: a visão empírico-indutivista (ABD-EL-KHALICK E LEDERMAN, 2000; GIL-PEREZ et al, 2001). A abordagem histórica e filosófica abre espaço para que sejam discutidos os meios pelos quais a ciência se desenvolve. Diferente do que continua sendo divulgado nas salas de aula e nos livros-didáticos, a visão da ciência como resultado de experimentos e indução, a qual chamamos de uma visão empírico-indutivista não é a mais adequada atualmente. (FORATO, PIETROCOLA e MARTINS, 2011)

Ensinar a natureza da ciência é algo que já foi feito nos Estados Unidos após a Segunda Guerra Mundial, sob a influência de James B. Conant e I Bernard Cohen, ambos da Unversidade de Harvard. Conant e Cohen, aconselhavam que os professores de física deveriam ter um conhecimento mais sólido da história da ciência, para tornar as aulas mais interessantes, aprofundando o assunto e deixando as aulas mais ricas (MATTHEWS, 1995). O conhecimento mais sólido sobre a história e a filosofia, juntamente com a necessidade de melhorias no ensino, só poderiam ocorrer se houvesse uma associação entre historiadores, filósofos e educadores.

Porém, as principais reformas curriculares de ciências na década de 60 foram feitas sem a participação de historiadores ou filósofos da ciência e algumas até sem o conhecimento de professores. No Brasil, o exemplo são os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN e PCN+), que não explicitam a participação do conhecimento de história da ciência entre as habilidades e competências esperadas para os alunos do ensino médio.

De um modo geral, concorda-se que o uso da história no ensino de ciência é justificado porque ela motiva e atrai os alunos, humaniza a disciplina a ser estudada, promove uma compreensão melhor dos conceitos científicos por traçar seu desenvolvimento e aperfeiçoamento, demonstra que a ciência é mutável e instável e que, por isso, o pensamento científico atual está sujeito a transformações que se opõem à ideologia científica. E finalmente, a história permite uma compreensão mais profunda do método científico e dos padrões de mudança na metodologia vigente, quando se trata da formulação de paradigmas (MATTHEWS, 1995).

A inserção da HFC pode ocorrer de diferentes maneiras, dependendo do objetivo a ser delineado pelo professor. Nesse sentido, a HFC não aparece como disciplina isolada, mas como parte integrante das demais disciplinas, permitindo discussões conceituais, metodológicas, ou ainda epistemológicas, sobre questões de natureza da ciência. Por ser uma disciplina muitas vezes associada mais às ciências humanas do que às ciências exatas, a inserção da HFC pode ser vista pelos alunos de física, por exemplo, como dispensável.

Para evitar esta interpretação, antes de inserir a HFC no ensino de ciências, é necessário delinear bem os objetivos, pois trata-se de uma abordagem que privilegia a discussão de aspectos da ciência e sobre ciência. E tais aspectos devem estar claros para evitar distorções, bem como atingir de modo efetivo a compreensão que os alunos tenham da ciência. Os relatos históricos mostram que a ciência é dinâmica, contextualizada, provisória, sendo afetada por influências interna e externas. Isso corrobora para um ensino contextualizado, incentivando alunos a serem mais críticos e reflexivos, mostrando-lhes que fazer ciência é complexo, e não se trata apenas de algumas observações e deduções (MARTINS, R., 2004).

Porém, a forma como essa história deve ser utilizada em sala de aula não é unânime e pode apresentar dificuldades. Essas dificuldades levaram a um bombardeamento das justificativas para sua inserção apresentadas aqui, principalmente por Martin Klein (em 1972) e outros. O primeiro afirmou que a única história possível é a pseudo-história; enquanto outros argumentos eram que a exposição à história da ciência enfraquecia as convicções científicas necessárias para a aprendizagem da ciência (MATTHEWS, 1995).

Klein também argumenta que muitas vezes a história é utilizada na sala de aula com modificações que levam a uma interpretação deturpada do papel da física. Segundo ele, as modificações que são feitas na história – o que ele chama de anti-história - ressalta ou “apaga” fatos de acordo com a conveniência do professor, o que deve ser encarado com preocupação. Ele afirma que se é para usar uma história de má qualidade para o ensino de ciências é melhor não usar (MATTHEWS, 1995).

Outro argumento contrário à utilização da história é o de Stephen Brush (1974). Para Brush, mostrar a história como ela realmente aconteceu pode desestimular o aluno, pois é seu encantamento com a pretensa verdade da ciência que o leva a estudá-la (BRUSH, 1974). Este é um assunto delicado. De fato, a história da ciência, assim como toda atividade meta-científica, é passível da visão do historiador e, por mais que a imparcialidade seja o objetivo final, uma total neutralidade é muito difícil. Tem que se selecionar materiais, construir perguntas, decidir a relevância de fatos históricos para o assunto de que se quer tratar. Estas decisões sofrem influência das visões sociais, morais psicológicas e religiosas do historiador (MARTINS, R., 2004).

Essas críticas têm suas razões, uma vez que o uso da história da ciência como uma ferramenta para ensino sem os devidos cuidados acaba levando a uma ideia de ciência acabada e irrefutável. Algumas episódios históricos e personagens são modificados, de forma a promover um certo romantismo, inflamando o drama da descoberta e simplificando o processo da ciência. Na denominação de Alcchin (2004, p. 179), esse tipo de história é “pseudo-história”. Muitas vezes a pseudo-história é introduzida por ingenuidade do professor, mas infelizmente é incorporada pelo aluno, que adquire uma visão deturpada da natureza da ciência.

Estas acusações são legítimas, mas seus pontos principais podem ser encaixados de forma que não seja necessário excluir a história no ensino de ciência. A forma como se simplifica a história para trazer aos alunos deve levar em consideração as suas faixas etárias e o currículo a ser desenvolvido, com o cuidado de não se tornar uma mera caricatura do processo científico. Os problemas de interpretação da história podem ser usados para discutir com os alunos a subjetividade da ciência. Dessa forma este problema é transformado em algo positivo no ensino da Natureza da Ciência (MATTHEWS, 1995; MARTINS, R., 2006).

Se a HFC da ciência como um meio de se ensinar a natureza da ciência é quase unânime, porque será que esta não é contemplada nas salas de aula do ensino médio e na maioria dos livros didáticos? A resposta para esta questão é um tanto fácil de responder: não é fácil de fazer. Escolher fontes e bons materiais é algo que requer uma formação muito boa em história e filosofia da ciência, e ainda mais atribuir estratégias pedagógicas com esses materiais é algo que requer estudos aprofundados, e conhecimentos epistemológicos. O problema de falta de material adequado não é o único problema enfrentado pela HFC da ciência: há também o currículo escolar, e a pressão do vestibular que exige muito do aluno. Para esse problema, materiais didáticos não são a solução (MARTINS, A., 2007)

## **1.2 - A história da ciência na formação do professor**

Os argumentos a favor e contra a inserção da HFC no ensino tomam maiores proporções se pensarmos na formação do professor. Ficam a cargo do professor, seja em nível superior ou médio, as decisões sobre o conteúdo e a forma de utilização da HFC em sua sala de aula. Tanto para a escolha quanto para a utilização, um conhecimento prévio é necessário, tanto da parte historiográfica quanto de epistemologia da ciência, para evitar distorções ainda maiores. Neste sentido, fazemos algumas considerações

sobre o material de HFC que pode colaborar com o professor na tentativa de trazer discussões relevantes para a sala de aula.

Em se tratando de boa qualidade em um material de história e filosofia da ciência, uma das implicações é que este deve ser muito mais do que a apresentação, na forma enciclopédica, de detalhes e personagens que fizeram parte da compreensão de fenômeno ou conceito. A boa qualidade implica em material realizado através de pesquisas a originais, análise de fontes secundárias, análise da repercussão de determinada teoria, seus adeptos e opositores e suas justificativas (MARTINS, R., 2001, p. 126-128). Tamanha especificidade historiográfica torna-se um obstáculo, quando queremos usar a HFC no ensino, pois se usarmos um material ruim pode agravar ainda mais o que queremos superar, que é uma visão hoje defendida da ciência como enganosa. Então como podemos separar o bom do ruim, se não os conhecemos? Existem alguns critérios relativamente simples para esta escolha. Não é considerado um material potencialmente significativo para o ensino: se um texto dito histórico traz apenas uma sequência de “descobertas” com nomes e datas de forma linear; se este atribui uma descoberta a apenas uma pessoa; se o texto não faz sentido como o episódio da maçã de Newton, etc. (MARTINS, R., 2006).

Seria ainda mais interessante se além da HFC, usássemos outras ferramentas de ensino como, por exemplo, os experimentos, e se não são fáceis de reprodução, o uso de simulações dos fenômenos, podendo problematizar e ainda contextualizar o ensino, apresentando ao seu aluno um conhecimento mais bem estruturado e organizado.

Todo este conhecimento sobre bons materiais e diversas maneiras de se ensinar, ciências e natureza da ciência, não faz sentido se não temos profissionais na área com uma formação adequada a esta realidade. Não se trata de termos belíssimos textos em história e filosofia, inúmeros simuladores, kits com experimentos maravilhosos, e a lista segue vasta, se não temos professores qualificados para empregar de forma diferenciada as novas ferramentas. Caso contrário, será apenas mais uma aula tradicional, a que criticamos tanto, com uma nova face.



As mudanças no ensino de ciências são executadas de uma forma paulatina, antes de tudo na formação de professores, que dará base para estes ministrarem uma aula usando o recurso da HFS de forma certa de acordo com os seus objetivos. (MATTHEWS, 1995). Isto implica que o professor deverá ter um conhecimento histórico e conceitual sobre um determinado assunto, o que está longe daquilo que se observa nos cursos formadores de professores.

O uso de textos com abordagem histórica e filosófica nas aulas de ciências não será relevante se não tivermos profissionais com uma formação adequada para encaminhar uma aula com esse tipo de material. Isso sugere modificações no currículo desses profissionais da área de ensino. Porém, não é a simples implementação de HFC que vai mudar esse quadro: é necessário que se reflita como é que se vai utilizar esse recurso para tornar as aulas mais ricas, contextualizadas e críticas. Não basta afirmar a importância do uso da HFS da ciência no estudo; é preciso analisar como este será empregado em sala, quais os seus objetivos e como se pretende alcançá-los. Se tais parâmetros não forem levados em consideração não haverá então o uso da história e filosofia da ciência e sim apenas um acréscimo no currículo, ou uma simples doutrinação (MATTHEWS, 1998).

Para se colocar em prática o uso da HFS no ensino de ciências é necessária uma mudança gradativa, tanto no currículo como na formação dos profissionais da área. O uso desses projetos no ensino de ciências requer uma orientação na prática e na avaliação docente, materiais didáticos significativos que ajudem na formação de indivíduos mais críticos e principalmente cursos de treinamentos para os professores sobre HFS. Este é o caminho para introduzir discussões sobre a natureza da ciência (SILVA e MOURA, 2008).

### **1.3 - Possíveis soluções à adequação da HFC para o ensino**

A discussão anterior nos permite apontar alguns caminhos possíveis para estabelecer uma conexão maior entre historiadores e educadores, permitindo a utilização de materiais com abordagem histórica no ensino.

Um destes caminhos corresponde à análise de episódios históricos e sua adaptação para a utilização no ensino, de forma a explorar, implícita ou explicitamente visões de natureza da ciência que seja consenso na comunidade acadêmica como (EL-HANI, 2006):

- ✓ Uma observação significativa não é possível sem uma expectativa preexistente;
- ✓ A natureza não fornece evidências suficientemente simples que permitam interpretações sem ambigüidades;
- ✓ O conhecimento científico enquanto durável, tem um caráter provisório;
- ✓ O conhecimento científico se baseia fortemente, mas não totalmente, na observação, em evidências experimentais, em argumentos racionais e no ceticismo;
- ✓ Não existe um método único de se fazer ciência;
- ✓ A ciência é parte de tradições culturais e sociais.

Este tipo de adaptação exige conhecimentos tanto da parte histórica quanto das metodologias de ensino, de forma a não distorcer o material histórico com vistas a destacar aspectos da ciência que precisam ser aprofundados (FORATO, 2009). Isto nos permite entender os resultados apresentados por Martins (2007) em que os professores alegam que o principal obstáculo para a utilização da HFC no ensino é a ausência de propostas concretas, que discutam tanto a forma de abordagem quanto o conteúdo de história necessário.

Outra forma de se utilizar os recursos da história para o ensino é através de experimentos históricos, em que a replicação permite discutir tanto o conteúdo quanto o processo de desenvolvimento da ciência, possibilitando uma ampla discussão sobre a NC, apresentando a construção de hipóteses e conclusões temporárias (HEERING, 2007). Em nosso trabalho, todo o estudo histórico e as possíveis contribuições para o ensino em, sobre e pela ciência visando o ensino/aprendizagem de aspectos

epistemológicos da ciência, foi levado em consideração, no momento em que elaboramos o texto do episódio histórico.

O episódio histórico estudado neste trabalho pode ser apresentado ressaltando alguns aspectos da natureza da ciência como: O “treino” necessário no fazer científico, desmitificando as descobertas por acaso, a provisoriidade da ciência e a existência de desacordos entre cientistas, além de poder apresentar o papel de destaque da experimentação durante o século XVIII. Todo o material inserido no blogue foi pensado para o professor, para que ele pudesse conhecer o episódio em detalhes.

O uso da história e filosofia da ciência para o ensino de ciência traz consigo muitos benefícios pedagógicos objetivados, quando se espera uma maior e mais atualizada compreensão acerca da natureza da ciência (NC). Nesta direção, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN e PCN+) enfatizam a importância do ensino contextualizado, com destaque para o processo histórico e filosófico envolvido, como forma de tornar os alunos conhecedores não apenas da ciência, mas também sobre a ciência.

## **CAPÍTULO 2 - O episódio histórico**

No século XVIII temos uma grande revolução econômica iniciada na Inglaterra, a chamada revolução industrial, que é marcado por muitos conflitos entre duas classes: os burgueses detentores do meio de produção e os proletariados que usam sua força para sobreviver trabalhando nas produções. Os meios de produção foram ficando cada vez mais mecanizado, exigindo mão de obra mais qualificada, e isto se tornou um problema, pois os custos aumentavam.

A burguesia pregava o livre comércio, uma consequência disso seria a liberdade de crenças e ideias. O homem conseguiria aprimorar-se com instituições e educação livre, desarraigado ao poder da igreja e do rei. Estas são ideias defendidas pelos filósofos franceses do século XVIII, Voltaire (1694-1778) e Rousseau (1712-1788) refletindo a visão de Newton e Locke. Neste período a burguesia era defensora da liberdade porque era compatível aos seus planos e não restringia sua liberdade em suas atividades. Sem nos esquecer que anteriormente eram contra a liberdade, por exemplo, apoiavam o absolutismo.

Toda esta discussão acerca da liberdade de ensino levantou uma grande dúvida relativa ao o que ensinar e a quem. Era defendida a ideia de que os de classe inferior deveriam receber menos “instrução”, focando no trabalho manual.

Assim, para o povo ensinava-se o básico, apenas para conseguirem trabalhar nas produções. Como havia diferentes tipos de trabalhos, isto requereria diferentes tipos de ensino: os não especializados, os especializados e os altamente especializados. (PEREIRA e GIOIA, 2007).

A revolução na economia implicou outra no ensino, que influenciado pela necessidade do mercado de trabalho, precisou formar trabalhadores mais qualificados. No século XVIII temos muitos acontecimentos tanto na economia, como na política, na educação e no papel que a ciência desempenha na sociedade e no desenvolvimento da produção, estes valores atribuídos neste período perduram até hoje.

Diferente ao que se pensa, mesmo com a ajuda da invenção da máquina a vapor, a revolução industrial não foi completamente dependente da ciência, afirma Hobsbawm (1981) a respeito:

*felizmente poucos refinamentos intelectuais foram necessários para se fazer a revolução industrial. Suas invenções técnicas foram bastante modestas, e sob hipótese alguma estavam além dos limites de artesãos que trabalhavam em suas oficinas ou das capacidades construtivas de carpinteiros, moleiros e serralheiros: a lançadeira, o tear, a fiadeira automática. Nem mesmo sua máquina cientificamente mais sofisticada, a máquina a vapor rotativa de James Watt (1784), necessitava de mais conhecimentos de física do que os disponíveis então há quase um século – a teoria adequada das máquinas a vapor só foi desenvolvida **ex-post-factor** pelo francês Carnot na década de 1820 – e podia contar com várias gerações de utilização prática de máquinas a vapor, principalmente nas minas (...) (HOBSBAWM, p 46-47 apud PEREIRA e GIOIA p.291, 2007).*

Admitindo este fato, observamos que o avanço da ciência tem uma relação com o aumento da produção, afinal ambas crescem juntas. Nos períodos que antecederam a revolução industrial, não havia uma relação direta com a produção. A partir do século XVIII, a ciência dedica-se a resolver problemas em produção.

Com o crescimento da importância da ciência, ainda no século 18 foram fundadas, inicialmente na Inglaterra, sociedades científicas incentivando o progresso da ciência. Assim, na mesma proporção em que a ciência foi se desenvolvendo, ela perde suas características e sua relativa liberdade, transformando-se em uma profissão, atendendo aos interesses dos donos das produções.

A era da revolução, fez crescer o número de cientistas e fomentou as pesquisas ampliando o campo das ciências. Os nomes que mais ganham destaques no mundo são os franceses, britânicos, alemães, italianos e suíços. Isto mostra a ciência refletindo as ascensões das culturas (HOBSBAWM, 2010).

A ciência se beneficiou bastante com o incentivo dado a educação científica e técnica, assim como as pesquisas. Na Grã-Bretanha esta revolução não chega assim tão forte, mas, a riqueza do país possibilitou a construção de laboratórios particulares como o de Henry Cavendish e o de James Joule (HOBSBAWM, 2010).

O episódio histórico escolhido envolve a medida da densidade da Terra. Atualmente é interpretado como uma medida da constante gravitacional ( $G$ ) na equação de atração gravitacional de Newton. No entanto, as medidas de densidade da Terra só permitem encontrar a constante gravitacional de uma forma indireta, pressupondo-se a validade da equação da gravitação.

Como outros realizados no mesmo período, o experimento elaborado por Henry Cavendish (1731-1810) está baseado na atração entre massas e tem detalhes de precisão para eliminação de erros que o tornam modelo do cuidado necessário na experimentação, além de possibilitar discussões sobre algumas questões de natureza da ciência.

## **2.1 - As medidas da densidade da Terra**

Após a publicação dos Principia de Newton dois pontos mereceram destaque: o problema da atração à distância, que encontrava obstáculos entre os defensores de Descartes; e questões geológicas que tentavam determinar o material de que a Terra seria formada.

O problema da atração à distância trazia implicações para o formato da Terra, além das questões relacionadas ao éter, que não fazem parte do objetivo deste trabalho. Para determinar o formato da Terra e, de certa forma, verificar a lei de atração de Newton, foram realizadas expedições a Lapônia e ao Peru, onde eram realizadas medidas utilizando pêndulos. Para determinar a posição vertical de referência, eram utilizados fios-de-prumo (plumb-line). Verificou-se, porém, que os fios-de-prumo sofriam desvios nas proximidades de montanhas, o que serviriam como uma confirmação da lei de atração de Newton (GONZÁLEZ, 2001, p. 520).

As questões geológicas sobre a composição da Terra já tinham sido levantadas pelo próprio Newton ao tratar da possível densidade da Terra em relação à água (NEWTON

[1687], 1952, p. 284). As discussões acerca do material que formava a Terra dividiam-se em duas correntes, que propunham que o mesmo era formado na sua maioria por água e outra que propunha que era formado na sua maioria por fogo (GONZÁLEZ, 2001, p. 518).

Para solucionar estes dois pontos de discórdia dos Principia, foram feitos experimentos com pêndulos por estudiosos da época, que pretendiam confirmar a lei de atração e determinar a densidade da Terra. Alguns experimentos utilizavam o desvio do fio-de-prumo próximos a montanhas, como é o caso do experimento de Maskelyne, preocupado diretamente com a validade da lei de atração universal para quaisquer massas:

Se a atração da gravidade é exercida, como Sir Isaac Newton supõe, não somente entre corpos grandes do universo, mas entre as menores partículas das quais estes corpos são compostos, ou nas quais a mente pode imaginar que eles são divididos, atuando universalmente de acordo com tal lei, pela qual a força que rege os movimentos celestes é regulada; isto é, que a força acelerativa de cada partícula de matéria na direção de todas as outras partículas diminui como os quadrados das distâncias aumentam, seguirá necessariamente , que toda montanha deve, por esta atração, alterar a direção da gravitação nos corpos pesados na sua vizinhança daquela que teria da atração da terra sozinha, considerada como uma superfície suave (MASKELYNE, 1775a, p. 495)

Segundo a experiência de Maskelyne, um instrumento astronômico como o fio-de-prumo de um quadrante, localizado ao lado da montanha, sentiria a força de atração desta e seria desviado, o que levaria a diferenças nas medidas das estrelas<sup>1</sup>. Maskelyne fez suas observações na montanha Schehallien e chegou a conclusões diretamente relacionadas à lei de atração gravitacional de Newton. Segundo ele, o experimento foi capaz de comprovar a atração entre os corpos, sua relação com o quadrado da distância entre eles e determinar a densidade da Terra

Daí também, a quantidade total de matéria na terra será no mínimo tão grande [novamente] como se fosse toda ela composta de matéria de mesma densidade com que

---

<sup>1</sup> A diferença de 1'18'' já havia sido prevista por Newton (MASKELYNE, 1775a, p. 496).

na superfície; ou será quase quatro ou cinco vezes tão grande como se ela fosse toda composta de água (MASKELYNE, 1775b, p. 533)

Também foram feitos experimentos que comparavam o período de oscilação de um pêndulo localizado sobre a superfície da terra com outro localizado no interior de uma mina (CLOTFELTER, 1986, p. 211; GONZÁLEZ, 2001, p. 523).

O valor encontrado por Maskelyne é diferente daquele encontrado depois por Cavendish, e está fora da margem de erro que Cavendish assumiu para os seus resultados. No entanto, mais importante do que isso é que há uma preocupação muito maior no experimento de Maskelyne com relação à lei de atração gravitacional de Newton quanto no de Cavendish. Cavendish faz a experiência para encontrar a densidade da Terra; Maskelyne a princípio quer primeiro comprovar a validade da lei de atração gravitacional também para as pequenas partes da matéria.

Mesmo após os resultados de Maskelyne e Cavendish, a densidade média da Terra continuou a ser um assunto entre aqueles que se interessavam por astronomia e física durante um certo tempo. Os resultados foram discutidos em relação à precisão dos experimentos, aos métodos utilizados e à sua validade, de forma a se adequar às duas correntes que discordavam sobre o material que formava a Terra (HUTTON, 1821; BOYS, 1889).

## **2.2 - Biografia de Cavendish**

Henry Cavendish nasceu em 1731, na França, e faleceu em 1810 em Londres. Ingressou na faculdade de São Pedro em Cambridge, em 1749, e permaneceu regularmente até 1753, até que decidiu sair faltando poucos dias para concluir o curso. Seus motivos não são de fato conhecidos, mas especula-se que teria alguma objeção aos testes finas que eram muito rigorosos.

Seus trabalhos mais conhecidos estão na área de Eletricidade e Magnetismo, compilados por Maxwell em após sua morte. Pouco, ou quase nada do que escreveu foi publicado,



mas tinha renome quanto à precisão com que trabalhava em seus experimentos. De vida austera e pouco inclinado à participação em reuniões sociais, Cavendish mantinha seu laboratório dentro de casa e dedicava-se aos estudos, mantido por rendas provenientes da herança familiar.

Como membro da Royal Society, interessou-se pela medida da densidade da Terra através de seu amigo Reverendo John Michell (1724-1793), que havia conhecido durante sua estadia em Cambridge. Tanto Cavendish como Michell interessavam-se pelas consequências da lei de atração gravitacional de Newton em três principais pontos: a gravidade das estrelas fixas, a atração mútua entre corpos terrestres e a gravitação da luz (MCCORMMARCH, 1968, p. 126).

Os interesses de Michell pelas medidas astronômicas que confirmassem a lei de atração de Newton levaram-no a construir a balança de torção para medir a atração entre duas massas quaisquer. Com o falecimento de Michell, o equipamento foi doado a Cavendish, que fez modificações e adaptações para a redução dos erros de medida (CAVENDISH, 1798, p. 469).

### **2.3 O experimento de medida da densidade da Terra**

O experimento foi desenvolvido há algum tempo antes de 1783 pelo geólogo Rev. John Michell, que construiu uma balança de torção. No entanto, Michell faleceu em 1793 sem concluir o trabalho e, após sua morte, o aparelho passou para Francis John Hyde Wollaston e repassado para Henry Cavendish, que reconstruiu o aparelho.

Muitos anos atrás, o Rev. John Michell, desta Sociedade, chegou a elaborar um método de determinar a densidade da terra, pela interpretação da atração sensível de pequenas quantidades de matéria; mas, como ele estava envolvido em outras buscas, não completou o aparato até pouco antes de sua morte, e não viveu para fazer qualquer experimento com ele. Depois de sua morte, o aparato veio para o Rev. Francis John Hyde Wollaston, professor em Cambridge, que, não tendo conveniências para fazer experimentos com ele, da maneira que gostaria, foi tão bom em me dar. O aparato é muito simples; consiste de um

braço de madeira, 6 pés<sup>2</sup> de comprimento, feito de tal modo a unir grande força com pouco peso. Este braço é suspenso em uma posição horizontal, por um fio fino de 40 polegadas<sup>3</sup> de comprimento, e a cada extremidade é pendurada uma bola de chumbo, com 2 polegadas de diâmetro; e todo o aparelho está dentro de uma caixa de madeira estreita, para protegê-lo do vento (CAVENDISH, 1789 pg. 469)

Cavendish, observando o aparato, logo começou a gerar questionamentos, levantar hipóteses e cada vez mais se interessar pelo fenômeno. Admitindo que dentro da caixa apenas houvessem forças de interação entre as massas das bolas, o resultado desta interação faria com que o braço de madeira que separa as duas esferas girasse, tendo em vista que o fio que sustenta ambos é suficientemente fino. Daí alguns questionamentos como, por exemplo, o quanto o experimento é sensível? Qualquer perturbação ao meio poderia colocar tudo a perder? Até mesmo a diferença de temperatura entre as esferas? Pois se um lado tiver temperatura mais elevada, isto iniciaria um deslocamento das massas de ar na região. Estas foram algumas das muitas perguntas feitas por Henry Cavendish.

Esta interação entre as massas que Cavendish assume está baseada nos argumentos apresentados por Isaac Newton nos Principia, em 1687, de que a atração entre dois corpos é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles, e diretamente proporcional ao produto das massas. Newton havia afirmado sua atração entre corpos para os planetas, mas suas hipóteses iniciais (regras para filosofar) pressupunham que a validade das leis também para corpos na superfície da Terra (NEWTON, [1687], 1952). No trecho a seguir, encontramos a hipótese de atração entre as massas suspensas na balança (pêndulo) de torção.

---

<sup>2</sup> 1 pé equivale a 0,348 metros

<sup>3</sup> 1 polegada equivale a 2,54 centímetros.

Como nenhuma força é requerida para fazer este braço girar em torno de seu centro, além da que é necessária para torcer o fio suspenso, é evidente que se o fio é suficientemente fino, a mínima força, tal como a atração de um peso de chumbo com poucas polegadas de diâmetro, será suficiente para girar o braço sensivelmente para o lado. Os pesos que o Sr. Michell pretendia usar, tinham 8 polegadas de diâmetro. Um deles era para ser localizado de um dos lados da caixa, oposto a uma das bolas, e tão próximo quanto poderia convenientemente ser feito, e a outra do outro lado, oposta a outra bola, tal que a atração de ambas por estes pesos conspiraria em girar o braço para o lado; e então nesta posição, como afetado por estes pesos, era certo, os pesos eram removidos para o outro lado da caixa, de modo a girar o braço para o lado contrário, e a posição do braço era novamente determinada; conseqüentemente, metade da diferença destas posições mostraria quanto *o braço gira para o lado devido à atração dos pesos*. Para determinar a partir disto a densidade da terra, é necessário se certificar da força necessária para girar o braço para o lado através de um dado espaço. Isto o Sr. Michell pretendia fazer, pondo o braço em movimento, e observando o tempo de suas vibrações, do que pode ser facilmente determinado<sup>4</sup>. (CAVENDISH, 1798 pg. 469 e 470, grifo nosso)

Sr. Michell preparou 2 pedestais de madeira, sobre o quais os pesos de chumbo eram postos, e empurrados de volta, até que eles quase tocassem a caixa; mas ele parecia pretender move-los com a mão. Como a força com a qual as bolas são atraídas por esses pesos é excessivamente pequena, não mais que 1/50000000 de seu peso, é previsto que qualquer força mínima de perturbação será suficiente para destruir o sucesso do experimento; e como parecerá do experimento seguinte, a força de perturbação mais difícil de proteger, é aquela vindo das variações de calor e frio; pois se um lado da caixa está mais aquecido que o outro, o ar em contato com ele será rarefeito, e em consequência subirá, enquanto que do outro lado descera e produzirá uma corrente que deslocará o braço para o lado. (CAVENDISH, 1798pg. 470 e 471)

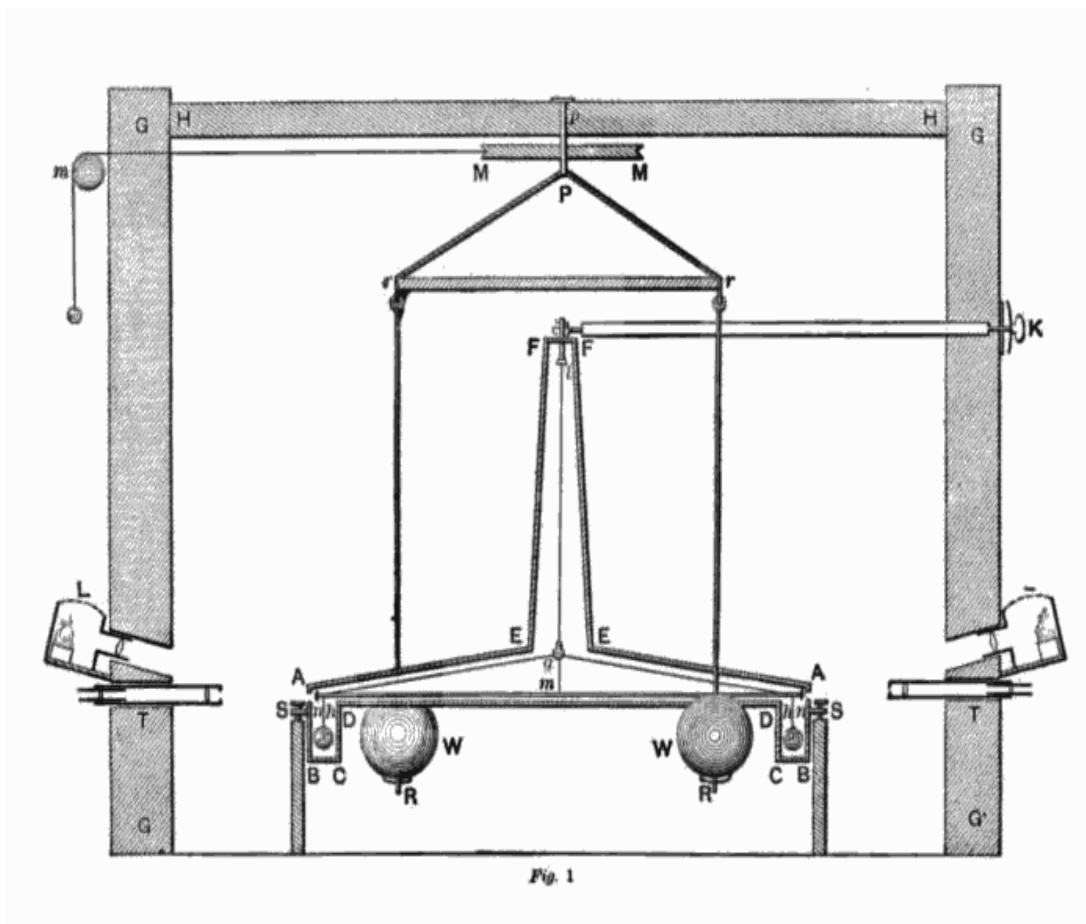
Prevendo possíveis erros no experimento, Cavendish resolve modificar quase por completo o aparato, embora siga parcialmente com os planos iniciais de John Michell. Este experimento modificado por Cavendish para que adquirisse mais precisão, não foi reproduzido fielmente atualmente, mesmo considerando os recursos disponíveis.

---

<sup>4</sup> [C] Sr. Coulomb tem, em diferentes casos, usado um equipamento deste tipo tentando pequenas atrações; mas Sr. Michell me informou de sua intenção de fazer este experimento, e o método que pretendia usar, antes da publicação de qualquer experimento do Sr. Coulomb.

Cavendish considerou modificações como correntes de ar geradas pelo movimento do observador próximo ao instrumento de medida, como também uma possível atração entre o observador e o equipamento. Tendo em vista que o experimento era sensível e qualquer mudança no meio poderia perturbar o fenômeno, Cavendish teve a necessidade de deixar o experimento completamente isolado. Como até mesmo a sua presença poderia interferir no processo de detecção do fenômeno, foram feitas adaptações para que pudesse obter as medidas sem entrar no recinto em que o equipamento tinha sido montado.

Como eu estava convencido da necessidade de evitar esta fonte de erro, resolvi colocar o aparato em uma sala que permaneceria constantemente fechada, e observar o movimento do braço fora dela, através de um telescópio; e para suspender os pesos de chumbo de tal forma, que eu poderia movê-los sem entrar na sala. Esta diferença na maneira de observar levou à algumas modificações no aparato do Sr. Michell; e como havia algumas partes dele que eu achei que não eram tão convenientes quanto eu desejava, escolhi fazer a maior parte dele novamente. (CAVENDISH, 1789 pg. 471)



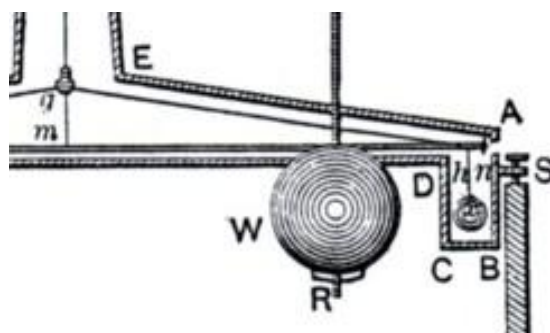
**Figura 1:** aparato de Henry Cavendish para determinar o valor da densidade da Terra

A figura 1 é uma seção vertical longitudinal do instrumento e da armação onde ele está localizado: ABCDDCBAEFFE é a caixa; x e x são as duas bolas, que estão suspensas pelos fios hx do braço ghmh, o qual está suspenso pelo fio fino gl. Este braço consiste de uma fina varinha hmh, segura por um fio de prata hgh; o que significa que ele é feito forte o suficiente para suportar as bolas, ainda que seja muito leve. (CAVENDISH, 1798 pg. 471 e 472)

A vara de madeira escolhida por Cavendish foi mais fina e um pouco mais leve do que a que estava no experimento montado por Michell, tentando evitar influências como resistência do ar e a atração entre a própria vara e os pesos. O material escolhido para a

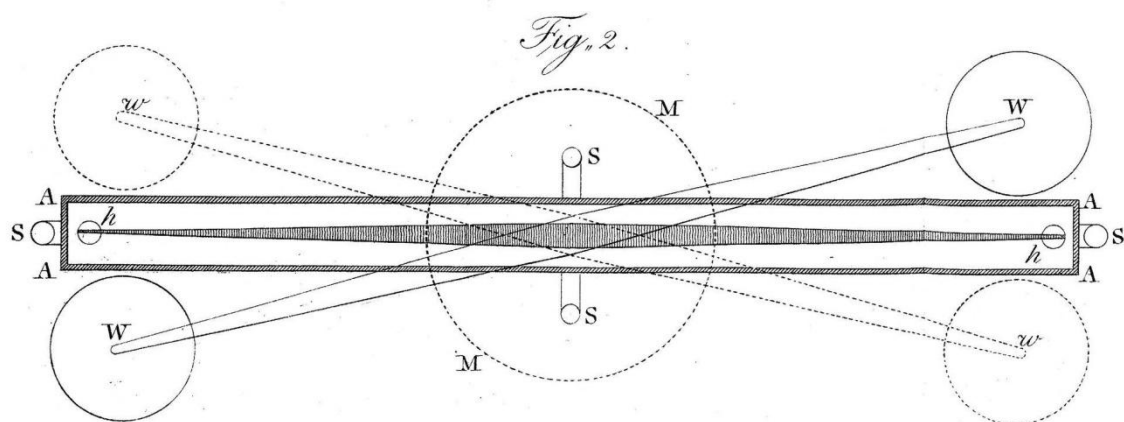
haste da balança de torção é de extrema importância para a melhor precisão do instrumento, pois influencia diretamente no valor do torque<sup>5</sup>.

A caixa é suportada e mantida horizontal, por 4 parafusos, repousando sobre pontos fixos firmemente no chão: 2 deles estão representados na figura, por S e S; os outros dois não estão representados para evitar confusão. GG e GG são as paredes finais da montagem. W e W são os pesos de chumbo; que estão suspensos por varas de cobre RrPrR, e a barra de madeira rr, de pino central Pp. Este pino passa através de um buraco na viga HH, perpendicularmente através do centro do instrumento, e gira ao redor dele, prevenindo a queda através da chapa p. MM é uma polia, afastada deste pino; e Mm uma corda que passa na polia, e passa através da parede fina; através da qual o observador pode rodá-la e mover os pesos para uma situação ou outra. (CAVENDISH, 1798 pg. 472)



**Figura 2:** Detalhe da montagem da figura 1

<sup>5</sup> Para melhor compreensão dos conceitos físicos envolvidos no experimento, elaboramos um material (Apêndice 2) em que foi utilizada a notação atual para torque, momento de inércia, rotações, etc. Mas é importante salientar que apesar de conhecer as relações entre estes conceitos, Cavendish não os interpretava como fazemos agora com relação algébricas.



**Figura 3:** Vista superior do aparato de Cavendish. As bolas de massa  $m$  estão fixas na posição  $h$ , enquanto os pesos oscilam entre  $w$  e  $w'$ .

A figura 3 é um plano do instrumento. AAAA é a caixa; SSSS os 4 parafusos que a suportam; hh o braço e bolas. W e W os pesos; MM, a polia para movê-los. Quando os pesos estão nesta posição, ambos conspiram para girar o braço na direção hW; mas quando eles são movidos para a situação  $w$  e  $w'$ , representada pelas linhas pontilhadas, ambos conspiram para girar o braço na direção contrária hw. Estes pesos são contidos para não bater no instrumento, por pedaços de madeira, que os detêm assim que eles estejam a 1/5 de polegada da caixa. Os pedaços de madeira estão fixos na parede da montagem; e eu suponho que os pesos podem bater contra eles com considerável força, sem balançar sensivelmente o instrumento. (CAVENDISH, 1798 pg. 472 e 473)

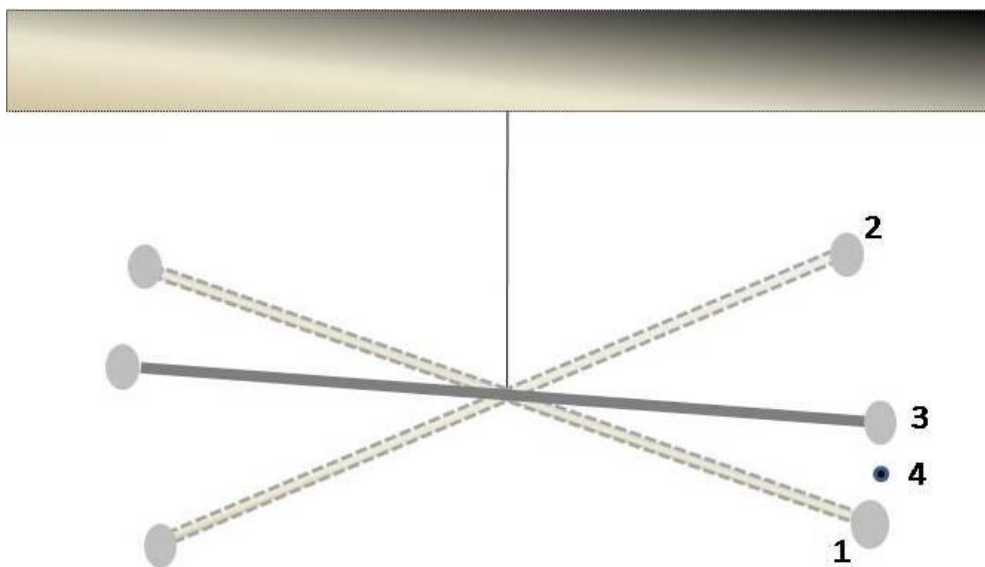
Para determinar a situação do braço, tiras de marfim são colocadas no interior da caixa, cada uma tão próxima do braço quanto é possível sem o perigo de tocá-lo, e são divididas em 20 partes de uma polegada. Outra pequena tira de mármore é colocada em cada fim do braço, servindo como um vernier, e subdividindo estas divisões em 5 partes; tal que a posição do braço pode ser observada com facilidade até a centésima parte de uma polegada, e pode ser estimada a menos. Estas divisões são vistas por pequenos telescópios  $T$  e  $T$ , fig. 1, através de fendas cortadas no final da caixa, e tampadas com vidro; elas são iluminadas pelas lâmpadas  $L$  e  $L$ , com lentes convexas, localizadas de modo a levar luz para as divisões; nenhuma outra luz é admitida na sala. As divisões das tiras de mármore correm na direção  $Ww$ , fig. 2, tal que quando os pesos estão localizados nas posições  $w$  e  $w'$ , representadas pelos círculos pontilhados, o braço é deslocado para o lado, em tal direção como para fazer o ponto índice o número mais alto nas tiras de mármore; por esta razão, eu chamo esta a posição positiva dos pesos. (CAVENDISH, 1798 pg. 473)

FK, fig. 1, é uma vara de madeira, que, por meio de um parafuso sem fim, roda o suporte pelo qual o fio gl é preso, e então possibilita o ao observador rodar o fio, até que o braço fique no meio da caixa, sem perigo de tocar o outro lado. O fio gl é apertado neste suporte em cima, e no centro do braço embaixo, por grampos de latão, no qual ele está preso por parafusos. Nestas duas figuras, as partes estão desenhadas nas respectivas proporções, numa escala de 1 para 13. (CAVENDISH, 1798 pg. 473 e 474)

Cavendish observou três pontos sucessivos de vibração do braço, causada pela atração entre as esferas. Para determinar o quanto o braço se desloca lateralmente, fez uma média entre os pontos extremos, que considera como um ponto de repouso. Para isso, ele observa vários pontos extremos de vibração, então encontra vários pontos de repouso e calcula a média.

Antes de prosseguir com o experimento, é melhor dizer algo sobre a maneira de observar. Suponha que o braço esteja em repouso e sua posição seja observada, deixe os pesos movê-lo, o braço não somente irá para o lado oposto, como também vibrará, e estas vibrações continuarão por um intervalo de tempo; tal que, para determinar quanto o braço se desloca lateralmente, é necessário observar os pontos extremos de vibração, e a partir destes, determinar o ponto no qual repousaria se seu movimento fosse interrompido, ou o ponto de repouso, como eu chamarei. Para fazer isto, observo três pontos extremos sucessivos de vibração e considero a média entre o primeiro e o terceiro destes pontos, como o ponto extremo de vibração em uma direção, e então assumo a média entre este e o segundo ponto extremo, como o ponto de repouso; assim, como as vibrações vão continuamente diminuindo, é evidente que a média entre dois pontos extremos não dará o verdadeiro ponto de repouso. (CAVENDISH, 1798 pg. 474)





**Figura 4:** representação da determinação do ponto médio para as vibrações.

Para determinar o ponto de repouso que seria utilizado para determinar as demais medidas, Cavendish considerou três pontos sucessivos que estão representados pela figura 4. Os pontos  $x_1$  e  $x_3$  se referem a uma oscilação completa, mas como há uma redução na volta, ele primeiro considera a média entre eles (ponto  $x_4$ ), que ficaria entre  $x_1$  e  $x_3$ . Para encontrar o ponto de repouso, ele determina o ponto médio entre os pontos  $x_4$  e  $x_2$ . Assim, ponto de repouso  $x$  é dado por  $x = \frac{1}{2} \left( \left( \frac{x_1 + x_3}{2} \right) + x_2 \right)$ .

A ideia era boa, mas precisava ser aprimorada, e foi isso que Cavendish fez com uma precisão incrível de medida. Para determinar a densidade da Terra era preciso saber o valor da força necessária para girar o braço para o lado em um determinado espaço. Os dados obtidos através dos experimentos são tratados com proporcionalidade entre mesmas grandezas.

Então, a pergunta que lançamos é: como seria possível calcular o valor de uma constante desta força? Cavendish usava proporcionalidade (equivalência) em seus cálculos e já que era conhecido o valor da densidade da água, ele usou este valor como parâmetro, computando o tempo de vibração (período de oscilação).

Pode ser pensado como mais exato observar muitos pontos extremos de vibração, então encontrar o ponto de repouso por diferentes grupos de três extremos, e aí obter o valor médio; mas deve ser observado que, não obstante todas as medidas tomadas para prevenir outras forças perturbadoras, o braço quase nunca permanecerá perfeitamente em repouso por toda uma hora; por esta razão é melhor determinar o ponto de repouso a partir de observações feitas o mais breve possível do início do movimento do braço. (CAVENDISH, 1798 pg. 474)

O próximo dado a se determinar é o tempo de vibração, que eu faço da seguinte maneira: observo dois pontos extremos de uma vibração, e também o tempo com que o braço chega a duas divisões dadas entre estes extremos, tomando cuidado, tanto quanto posso, que estas divisões estejam em lados diferentes do ponto médio, e não muito longe dele. Então determino o ponto médio da vibração, e, por proporção, encontro o tempo que o braço leva para chegar ao ponto médio. Então, após um número de vibrações, repito esta operação, e divido o intervalo de tempo, entre o tempo de vinda do braço para estes dois pontos médios, pelo número de vibrações, o que fornece o tempo de uma vibração (Cavendish, 1798 pg. 474 e 475).

A forma que apresentamos o tratamento dos dados de Henry Cavendish é uma forma mais aproximada do que entendemos e usamos hoje (CLOTFELTER, 1986). A ideia inicial era de comparar o seu pêndulo de torção a um pêndulo simples, de forma que a força restauradora e o período de oscilação tenham a mesma relação entre eles.

Para uma melhor compreensão do que foi feito por Cavendish em termos de tratamento dos dados experimentais, introduziremos neste trabalho algumas equações que não foram usadas por Cavendish, pois ele trabalhava apenas com proporcionalidade.

Antes disto vemos a necessidade de fazer uma alusão ao que seria um pêndulo de torção.

Neste caso a força restauradora está para o peso da massa na extremidade do pêndulo, assim como o arco descrito na oscilação está para o comprimento do pêndulo.

Em uma linguagem mais próxima a que conhecemos temos:

$$\frac{F}{W} = \frac{\text{arco do ângulo}}{l}$$

Onde  $F$  é a força restauradora,  $W$  é o peso da massa do pêndulo,  $l$  é o comprimento do pêndulo.

Para um pêndulo simples, já era conhecida a relação entre a força restauradora e o período, ou seja, sabia-se que a força era inversamente proporcional ao quadrado do período. Na linguagem atual:

$$\frac{F}{F_0} = \frac{T_0^2}{T^2}$$

O que Cavendish desejava encontrar era a força restauradora (ou a força necessária para fazer o braço de madeira girar para o lado) que atuava sobre o pêndulo, substituindo as duas equações anteriores podemos escrever a seguinte equação:

$$F = F_0 \left( \frac{T_0^2}{T^2} \right) = W \left( \frac{\text{arc}}{l} \right) \left( \frac{T_0^2}{T^2} \right)$$

Ou

$$\frac{F}{W} = \left( \frac{\text{arc}}{l} \right) \left( \frac{T_0^2}{T^2} \right)$$

Considerando o ponto de equilíbrio, se  $F$  é a força exercida pela esfera de chumbo,  $d_w$  é a densidade da água,  $d_e$  é a densidade da Terra,  $r_e$  é o raio da Terra, e  $r_w$  é o raio da esfera da água. Temos:

$$\frac{F}{W} = 10.64(6/8.85)^2 d_w r_w / d_e r_e$$

A seguir, Cavendish considera que o peso de chumbo corresponde ao peso de 10,64 esferas de água com diâmetro de 30,48cm. A relação entre os diâmetros da Terra e da

esfera de água (depois ele volta com a de chumbo), as forças de atração e os períodos encontrados nos experimentos, permitem encontrar a densidade da Terra em relação à densidade da água.

Cavendish ainda realizou vários experimentos, mudando, por exemplo, o material do fio de suspensão. A fibra de suspensão utilizada em sua primeira experimentação (cobre prateado) foi tão fina que o pêndulo tinha um período de cerca de 15 min quando foi perturbado, isso é muito tempo pois ele repetia cerca de 10 vezes cada experimento. Foi substituído por um que produziu um período de cerca de 7 min o que era mais viável. Ele realiza 17 experimentos distintos. Sendo que a média dos períodos encontrado ficou em torno de 7 min. Cavendish apresenta a seguir várias tabelas com os dados obtidos.

#### **2.4 - Sobre o método de determinar a densidade da Terra a partir destes experimentos**

Cavendish pretendia encontrar a influência que fatores como temperatura, atração magnética, etc. tinham sobre o movimento do pêndulo. Para determinar a influência da diferença de temperatura, Cavendish colocou termômetros dentro de orifícios feitos no interior dos pesos e, com a ajuda de um espelho, lia o valor da temperatura. Ele encontrou que o valor da diferença de temperatura produzia diferenças no período de oscilação do pêndulo. Cavendish também queria diminuir ao máximo a influência da atração magnética entre os materiais utilizados na construção do aparato, por isso fez a caixa de madeira. Ainda assim, em seus resultados finais ele considera a influência de todos esses fatores e introduziu um fator de correção por causa do desalinhamento das esferas no aparelho nos seus cálculos do valor da densidade da Terra.

É interessante observar os detalhes fornecidos para as medidas, o método que é utilizado para observar as vibrações, a ausência de notação científica, os cuidados tomados para que não houvesse diferença de temperatura dentro da caixa e nem influência da força de atração magnética entre os pesos e o suporte que os fazia girar.

Deverei determinar isto, supondo que o braço e as varas de cobre não possuem peso, e que os pesos não exercem atração sensível, com exceção na bola mais próxima; deverei então examinar que correções são necessárias, em relação aos braços e varas, e algumas outras pequenas causas. (CAVENDISH, 1798 pg. 475)

A primeira coisa é encontrar a força necessária para deslocar o braço lateralmente, a qual, como já foi dito, é determinada a partir do tempo de vibração. Foi necessário este procedimento, pois, se o período de oscilação fosse muito longo aumentaria a probabilidade de perturbações externas, prejudicando os resultados. Para determinar a força que gira o braço, Cavendish, através do tempo de vibração, tratou o movimento do braço como um pêndulo horizontal, comparado com a de um pêndulo vertical. (DUCHEYNE, 2011)

A distância entre os centros das duas bolas é 73,3 polegadas, portanto a distância entre as bolas e o centro do movimento é 36,65, e o comprimento de um pêndulo vibrando em segundos, nesta condição, é 39,14; portanto, se a dureza do fio em que o braço está suspenso é tal, que a força que deve ser aplicada em cada bola, para que o braço se desloque de um ângulo  $A$ , está para o peso daquela bola assim como o arco de  $A$  está para o raio, o braço vibrará com o mesmo tempo de um pêndulo cujo comprimento é 36,65 polegadas, ou seja em  $\sqrt{\frac{36,65}{39,14}}$  segundos; e portanto, se a dureza do fio é tal que o faz vibrar em  $N$  segundos, a força que deve ser aplicada a cada bola, para fazer com que o braço desloque lateralmente de um ângulo  $A$ , está para o peso de cada bola como o arco de  $A \times \frac{1}{N^2} \times \frac{36,65}{39,14}$  para o raio. Mas a escala de mármore, no fim do braço, está a 38,3 polegadas do centro do movimento, e cada divisão é  $\frac{1}{20}$  de uma polegada, e portanto compreende um ângulo no centro, cujo arco é  $\frac{1}{766}$ ; e portanto a força que deve ser aplicada a cada bola, para deslocar de uma divisão o braço, está para o peso da bola como  $\frac{1}{766 N^2} \frac{36,65}{39,14}$  para 1, ou como  $\frac{1}{818 N^2}$  para 1. (CAVENDISH, 1798)

O próximo passo é encontrar a proporção entre a atração do peso sobre a bola e aquela da terra sobre a bola, supondo que a bola está localizada no meio da caixa, ou seja, não está muito próxima de nenhum dos lados. Quando os pesos são aproximados das bolas, seus centros estão 8,85 polegadas distantes da linha média da caixa; mas por precaução, a distância de cada um deles, das varas que suportam estes pesos, foi feita igual à distância entre os centros das bolas, ainda que isso seja um pouco maior. Em consequência disto, os centros dos pesos não

estão exatamente opostos aqueles das bolas, quando eles se aproximam simultaneamente; e o efeito dos pesos, no deslocamento lateral do braço, é menor do que seria de outra maneira, na razão triplicada de  $\frac{8,85}{36,65}$  para a corda do ângulo cujo seno é  $\frac{8,85}{36,65}$ , ou na razão triplicada do cosseno de  $\frac{1}{2}$  deste ângulo para o raio, ou na razão de 0,9779 para 1 (CAVENDISH, 1798).

Cada um dos pesos pesa 2439000 grãos<sup>6</sup>, e, portanto, é igual em peso a 10,64 pés esféricos<sup>7</sup> de água; e portanto sua atração sobre uma partícula localizada no centro da bola, está para a atração de um pé cúbico de água sobre uma partícula igual localizada na sua superfície, como  $10,64 \times 0,9779 \times \left(\frac{6}{8,85}\right)^2$  para 1. O diâmetro médio da terra é 41800000 pés; portanto, se a densidade média da terra está para a da água como D está para 1, a atração do peso de chumbo sobre a bola estará para aquela que a terra exerce, como  $10,64 \times 0,9779 \times \left(\frac{6}{8,85}\right)^2$  para 41800000 D :: 1 para 8739000 D (CAVENDISH, 1798).

Cavendish faz novas aproximações e cálculos baseado nos resultados encontrados nas tabelas anteriores seguindo o raciocínio descrito; corrige alguns fatores que podem influenciar no resultado final, como: o efeito da resistência do braço ao movimento, a atração entre os pesos e os braços, a atração da caixa sobre as bolas, etc.; e encontra alguns valores para a densidade da terra, o que lhe permite chegar a uma conclusão final.

---

<sup>6</sup> “Grãos” é unidade de massa e 1 grão (1 gr) equivale a 0,064 gramas.

<sup>7</sup> “pés esféricos” corresponde a unidade de volume (pés cúbicos) e 1 pé esférico equivale a 28,32 litros.

The following Table contains the Result of the Experiments

Exper.	Mot. weight	Mot. arm	Do. corr.	Time vib.	Do. corr.	Density.
1	m. to +	14,32	13,42	" "	-	5,5
	+ to m.	14,1	13,17	14,55	-	5,61
2	m. to +	15,87	14,69	-	-	4,88
	+ to m.	15,45	14,14	14,42	-	5,07
3	+ to m.	15,22	13,56	14,39	-	5,26
	m. to +	14,5	13,28	14,54	-	5,55
4	m. to +	3,1	2,95	-	6,54	5,36
	+ to -	6,18	-	7,1	-	5,29
5	- to +	5,92	-	7,3	-	5,58
	+ to -	5,9	-	7,5	-	5,65
6	- to +	5,98	-	7,5	-	5,57
	m. to -	3,03	2,9	-	-	5,53
7	- to +	5,9	5,71	-	-	5,62
	m. to -	3,15	3,03	7,4 by mean.	6,57	5,29
- to +	6,1	5,9	5,44			
8	m. to -	3,13	3,00	-	-	5,34
	- to +	5,72	5,54	-	-	5,79
9	+ to -	6,32	-	6,58	-	5,1
10	+ to -	6,15	-	6,59	-	5,27
11	+ to -	6,07	-	7,1	-	5,39
12	- to +	6,09	-	7,3	-	5,42
13	- to +	6,12	-	7,6	-	5,47
	+ to -	5,97	-	7,7	-	5,63
14	- to +	6,27	-	7,6	-	5,34
	+ to -	6,13	-	7,6	-	5,46
15	- to +	6,34	-	7,7	-	5,3
16	- to +	6,1	-	7,16	-	5,75
17	- to +	5,78	-	7,2	-	5,68
	+ to -	5,64	-	7,3	-	5,85

Figura 5: Tabela final apresentada por Cavendish com os dados das experimentações

Desta tabela parece que embora os experimentos concordem muito bem, a diferença entre eles, seja na quantidade de movimento do braço ou no tempo de vibração, é maior do que poderia acontecer meramente a partir de erros de observação. A diferença no movimento do braço pode ser bem explicada a partir da corrente de ar produzida pela diferença de temperatura; mas para explicar a diferença no tempo de vibração, isto é duvidoso. Se a corrente de ar era regular, e de mesma rapidez em todas as partes de vibração da bola, eu penso que não poderia explicar; mas como pode haver irregularidade na corrente, pode muito bem ser suficiente para explicar a diferença. (CAVENDISH, 1798 pg. 521)

Cavendish fez a mudança do tipo de fio ao constatar que o período era demasiadamente longo. Foi preciso este procedimento, pois, se o período de oscilação fosse muito longo aumentaria a probabilidade de perturbações externas, prejudicando os resultados. Mesmo assim, fez alguns experimentos com primeiro fio de cobre que não era rígido o suficiente e fazia com que os pesos ao girar tocassem a caixa (DUCHEYNE, 2011).

O valor da densidade da Terra calculado por Cavendish foi de 5,48 em relação a densidade da água, o valor atual é de aproximadamente 5, 517, que esta dentro da margem de 1% considerada por Cavendish.

Através dos experimentos feitos com o primeiro fio usado, a densidade da terra parece ser 5,48 vezes maior que a da água; e através daqueles feitos com o último fio, ela parece a mesma; e a diferença extrema dos resultados das 23 observações feitas com este fio, é somente 0,75; tal que os resultados extremos não diferem de significado por mais que 0,38, ou 1/14 do todo, e portanto a densidade poderia então ser determinada com grande exatidão. Pode, entretanto, ser observado que como os resultados parecem ser influenciados pela corrente de ar, ou por alguma outra causa, das quais as leis não são bem conhecidas, esta causa pode ser sempre, ou comumente, na mesma direção, e então fazer um considerável erro no resultado. Mas ainda, como os experimentos são feitos em várias estações [de tempo], e com uma variedade considerável na diferença de temperatura dos pesos e do ar, e com o braço repousando a diferentes distâncias dos lados da caixa, parece muito improvável que esta causa deveria atuar tão uniformemente do mesmo modo, como para fazer o erro do resultado aproximadamente igual a diferença entre este e o extremo; e portanto parece muito improvável que a densidade da terra diferiria de 5,48 por mais que 1/14 do todo. (CAVENDISH, 1798 pg. 521 e 522)

Outra objeção talvez possa ser feita a estes experimentos, a saber, que eles são incertos se, nestas pequenas distâncias, a força da gravidade segue exatamente a mesma lei que em grandes distâncias. Não há razão, entretanto, para pensar que qualquer irregularidade deste tipo tem lugar, até que os corpos sofram a ação do que é chamado atração de coesão, e que parece se estender somente a distâncias muito pequenas. Com a intenção de ver se o resultado poderia ser afetado por esta atração, eu fiz os experimentos 9, 10, 11 e 15, nos quais as bolas estão em repouso tão próximas dos lados das caixas quanto elas poderiam; mas não há diferença dependente disso, entre os resultados sob tais circunstâncias, e quando as bolas estão localizadas em qualquer outra parte da caixa (CAVENDISH, 1798 pg. 522).



De acordo com os experimentos feitos pelo Dr. Maskelyne, sobre a atração da montanha Schehallian, a densidade da terra é  $4 \frac{1}{2}$  vezes a da água; o que difere mais da precedente determinação do que eu teria esperado. Mas eu me contarei em entrar em qualquer consideração sobre qual determinação é mais dependente [das condições], até que eu tenha examinado mais cuidadosamente quanto a determinação precedente é afetada por irregularidades cujas quantidades não posso medir (CAVENDISH, 1798 pg. 522).

Os resultados obtidos por Cavendish foram testados por Baily, que reproduziu o experimento e fez mais variações das condições do experimento com acuidade. O resultado encontrado para a densidade da Terra com relação a da água por ele foi 5,6747, mesmo alegando que o seu experimento foi mais preciso do que o de Cavendish, o resultado atual está fora da margem de erro de Baily. Posteriormente em 1870 outros pesquisadores julgaram necessária uma correção nos dados de Baily, obtendo 5,55, que se aproxima ainda mais do resultado do valor atual. (DUCHEYNE, 2011).

Então, a pergunta que lançamos é: como seria possível calcular o valor de uma constante desta força? Cavendish usava proporcionalidade (equivalência) em seus cálculos já que era conhecido o valor da densidade da água, ele usou este valor como parâmetro, computando o tempo de vibração (período de oscilação).

## 2.5 - Obtendo a constante gravitacional $G$

Considerando os dados obtidos por Cavendish e os que já eram conhecidos na época, seria possível calcular o valor da constante gravitacional  $G$  prevista da lei de atração de Newton. Porém isso requer a utilização de algumas equações algébricas que não eram assumidas na época em que Cavendish realizou o experimento.

Na notação atual, podemos escrever a lei de atração de Newton, como sendo: *todo "corpo" no universo atrai qualquer outro "corpo" na razão direta do produto de duas massas e inverso do quadrado da distância entre eles*. Ou seja:

$$F = \frac{Gm_1m_2}{d^2} \quad (1)$$

Onde,  $G$  é o valor da constante universal,  $m_1$  e  $m_2$  são os valores das massas das esferas, e  $d$  é o valor da distância entre as duas esferas

A atração das esferas grandes sobre as pequenas produzirá um torque sobre as hastes, dado por:

$$\tau_M = 2F \left( \frac{1}{2}L \right) \rightarrow \tau_M = FL \rightarrow \tau_M = \frac{GmML}{R^2} \quad (2)$$

$\tau_M$  é o torque produzido na haste,  $F$  é a força necessária e  $L$  o comprimento da haste.

Por outro lado a fibra exerce um torque restaurador cujo módulo é:

$$\tau_F = k\theta \quad (3)$$

$k$  é uma constante que depende do material da fibra que sustenta a haste e  $\theta$  é o ângulo formado pelas esferas ao oscilarem em relação ao ponto de repouso.

O período de oscilação é dado por:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{k}} \rightarrow k = \frac{4\pi I}{T^2} \quad (4)$$

Onde  $I$  é o momento de inércia.

Na situação de equilíbrio temos:

$$\tau_F = \tau_M \rightarrow k\theta = \frac{GmML}{R^2} \rightarrow G = \frac{k\theta R^2}{mML} \quad (5)$$

Substituindo a equação 4 em 5 temos:

$$G = \frac{4\pi^2 I \theta R^2}{T^2 mML} \quad (6)$$

Como é possível perceber, todos os dados da equação 6 são conhecidos, bastando apenas substituir seus valores para obtermos G. No entanto, apesar da simplicidade com que podemos lidar com estas equações e valores de constantes, o valor da constante G só foi determinado após em 1892 por C. V. Boys (BOYS, 1889) e a unidade para força, dina, só foi introduzida em 1873 (CLOTFELTER, 1986, p. 213).

## 2.6 - O episódio histórico do ponto de vista da natureza da ciência

Partindo do pressuposto de que a HFC pode ser inserida no ensino para discussões sobre natureza da ciência, faz-se necessário apontar que aspectos da natureza da ciência podemos destacar no episódio em questão. Dentre os aspectos da natureza da ciência em que há um consenso entre historiadores, educadores e filósofos, destacamos três que podem ser explicitados no episódio do experimento de Cavendish (PUMFREY, 1991; EL-HANI, 2006):

- “treino” é um componente essencial no trabalho do cientista;
- O conhecimento científico, enquanto durável, tem um caráter provisório;
- Desacordos são sempre possíveis.

Ao detalharmos as considerações que Cavendish fez para aperfeiçoar o experimento, as mudanças no equipamento para redução de erros, a repetição incansável das medições,

etc., podemos destacar que a atividade experimental na ciência não está baseada em descobertas ao acaso, mas que exige um esforço no sentido da reprodutibilidade de resultados. Além disso, é importante levar em consideração que a observação é carregada de teoria e os resultados estão sempre levando em consideração hipóteses iniciais. Este é o caso dos dados obtidos por Cavendish, que tinham como background a atração entre massas e considerava também a necessidade de eliminação de outras variáveis. Para poder isolar tais variáveis, Cavendish considerou o conhecimento que já havia na época e, portanto, aspectos teóricos.

O segundo aspecto da natureza pode ser evidenciado tanto nas considerações sobre atração entre massas, já que foram feitas novas hipóteses na lei de atração entre corpos e Newton; quanto no problema da determinação da densidade da Terra, que passou logo depois a ser o problema de determinação da constante gravitacional. A modificação do objetivo da experiência já retrata a modificação da própria ciência, que passa da fase de aceitação (no caso, da atração à distância) para a de conformidade (ajuste nas constantes para validar). Ducheyne (2011) faz também uma analogia dessas modificações com as fases da ciência segundo Khun. Para Ducheyne (2011), os vários experimentos realizados no período consistiram na fase de ciência normal, em que um novo paradigma está se firmando, ou seja, a atração universal de Newton, válida para corpos celestes e terrestres.

Quanto ao terceiro aspecto, o desacordo está associado aos resultados encontrados por Maskelyne e Cavendish, e também do valor previsto por Newton nos Principia. No entanto, não é possível afirmar que houve um desacordo entre os dois pesquisadores, já que não foi o objetivo deste trabalho se aprofundar nas questões de ordem extracientíficas. Também pode-se considerar os problemas apontados na experiência realizada por Maskelyne como discordâncias quanto à validade dos resultados obtidos, já que os dados relativos à montanha não eram exatos.

Outros aspectos poderiam ser destacados aqui, caso fosse de interesse do professor explicitá-los no episódio. Porém, consideramos que os três aspectos apontados aqui são mais do que suficientes para argumentar que episódios históricos podem contribuir para uma visão crítica a respeito do fazer científico.

## **Capítulo 3 – O blogue como ferramenta mediadora entre a História da Ciência e o Ensino de Física**

A utilização do blogue dentro do contexto educacional pode ser tomada sob diferentes perspectivas. Assim é necessário que sejam feitos alguns esclarecimentos sobre o que qual o ponto de vista considerado aqui e porque adotamos esta ferramenta como forma de divulgação do episódio histórico analisado.

### **3.1 - O que é um blogue?**

O blogue é uma das ferramentas de comunicação que surgiram no que se considera como Web 2.0. A Web 2.0 se caracteriza pelos softwares e plataformas que permitem a socialização de conteúdo. Diferentemente da primeira geração da Web (que corresponderia a Web 1.0), os softwares ou plataformas como blogues, podcasts, wikki, facebook, Orkut, twitter, etc., são abertos para a interação entre os usuários, permitindo observações (como as postagens) e edições de conteúdo (como no caso das wikkis, representada principalmente pela wikipédia). Dentro da Web 2.0, os blogues surgiram, como os conhecemos hoje, no final da década de 90. No início eram poucos, restritos aos usuários que entendiam a linguagem HTML. Poucos anos depois, a quantidade de blogues ultrapassou a casa dos milhares, sobre os mais variados assuntos, desde blogues pessoais, até corporativos (BLOOD, 2000; ALEXANDER, 2006).

O blogue pode ser entendido como um diário, com ordem cronológica reversa (do mais atual ao mais antigo), em que o proprietário expõe suas observações, que podem ser opiniões, artigos, imagens, etc., podendo compartilhá-los entre os demais seguidores ou com todos os usuários da web, e armazenar para consultas posteriores. Com o aumento da utilização deste tipo de ferramenta, a própria web gerou outros recursos que possibilitando a busca entre blogues, bem como outros softwares que fornecem as atualizações que ocorreram em tempo real (feed), permitindo aos seguidores

acompanharem as modificações. Existe também a possibilidade de marcar itens específicos no texto (tags) que geram relações com outras páginas da internet, ampliando o leque de informação; inserir elementos de outros sites como youtube.com, compartilhar em redes sociais como facebook, etc.

Além destas vantagens destacadas acima, o uso de blogues para disseminar o conhecimento, é prático, podendo alcançar um grande público, a qualquer momento e em qualquer lugar, deixando registrado de forma mais duradoura o conhecimento (GOKTAS e DEMIREL, 2011). Considerando o grande incentivo e investimento no atual campo de acesso a internet, o uso do blogue no ensino não só é visto como possível, mas também como plausível (SILVA, 2007).

### **3.2 - O blogue no contexto educacional**

Tantas possibilidades de compartilhamento, interatividade e dinamicidade, levaram a repensar a inserção das ferramentas de comunicação na educação de uma forma geral. O modelo fixo apresentado na Web 1.0 mantinha a forma de ensino tradicional, em que os conteúdos eram apresentados aos alunos em um novo formato, assim como nas aulas tradicionais. As páginas, os arquivos anexados, vídeos, jogos e simulações, etc., eram apresentados aos estudantes, que podiam, no máximo, manipulá-los, o que mantinha professor e estudante nas mesmas posições: transmissor do conteúdo e receptor de conteúdo, respectivamente. A Web 2.0 permite, através da socialização existente nas suas ferramentas que o estudante possa realmente construir o que quer aprender.

Nesse sentido, é o estudante, enquanto proprietário do blogue, que busca o material para discutir sobre ou mesmo para apresentar para os demais usuários, e aguarda a avaliação dos pares. As buscas pelo material, bem como as constantes modificações na apresentação do conteúdo visando mais acesso por outros usuários, caracteriza o caminho do pesquisador, que busca constantemente a aceitação dos pares para suas novas conclusões. O professor, enquanto usuário, e seguidor, dos blogues, pode interagir com os estudantes numa mesma posição, compartilhando as dúvidas e o

conhecimento gerado. As ferramentas de interação como os fóruns, grupos de discussão, mensagens eletrônicas (email) não permitiam um compartilhamento de tantos recursos e uma resposta tão rápida como o que vem ocorrendo com os blogues (McLOUGHLIN; LEE, 2008; CHONG, 2010).

A relação do blogue num contexto de ensino e aprendizagem somente ocorre quando é objetivo explícito do professor que o estudante construa seu blogue. Isto feito, a utilização do blogue no contexto educacional pode ser analisada do ponto de vista do estudante, ou do ponto de vista do professor. Do ponto de vista do estudante ele vem como um agente motivador, ajudando-o a desenvolver o seu lado crítico, permitindo ao aluno uma liberdade de expressão que ele muitas vezes não está acostumado, além de incentivar a escrita, que no blogue procura ser mais formal do que nas salas de bate-papo, sem abreviações e gírias próprias da internet.

Para os estudantes a possibilidade de interação entre os pares é o que mais se destaca entre as vantagens apontadas por diferentes pesquisadores quando se trata da utilização do blogue (FOGAÇA, 2011; KIM, 2007; CHONG, 2010; PAPASTERGIOU, GERODIMOS e ANTONIOU, 2011; BLOCH, 2002; YANG, 2009; SILVA, 2008; FREEMAN e BRETT, 2012). A interatividade neste caso significa que:

- os estudantes compartilham o conhecimento adquirido e expressam seus pensamentos através dos blogues;
- os blogues facilitam estender a discussão dos assuntos abordados nas disciplinas/cursos entre os estudantes e o professor;
- mesmo os estudantes que não inserem comentários se beneficiam do que é discutido entre os colegas através dos blogues;

A interatividade entre usuários de blogues se dá pela leitura de outros blogues, na busca por novas fontes e expressando seus pensamentos através dos escritos nos blogues. A diferença entre os blogues e as ferramentas mais comuns de comunicação através da internet, como mensagens, grupos de discussão, listas, etc., está na existência de um

local permanente, o que permite rever mensagens anteriores e a manutenção da discussão e interação entre os participantes.

Segundo Kim (2007) a motivação para a utilização de blogues é influenciada pela expectativa da resposta. Assim, fecha-se um ciclo entre os usuários, na publicação de mensagens e respostas consecutivas. Em busca da resposta dos demais usuários, os proprietários vão em busca cada vez mais da inserção de outros elementos que permitam aperfeiçoar seus blogues, o que acaba consequentemente levando a uma melhoria na forma de expressão, de reflexão e de comportamento dos usuários (FREEMAN e BETT, 2012)

O blogue vem gradativamente ganhando espaço em pesquisas no ensino como um meio facilitador no processo de ensino e aprendizagem. É apontado como uma nova ferramenta que desperta a curiosidade e interesse dos estudantes e professores, principalmente por ser de fácil uso. Este meio de comunicação hoje é muito usado como forma de expressar opiniões e debater assuntos, criando grupos com objetivos em comum (FOGAÇA, 2011; KIM, 2007; CHONG, 2010; PAPASTERGIOU, GERODIMOS e ANTONIOU, 2011; BLOCH, 2002; YANG, 2009; SILVA, 2008; FREEMAN e BRETT, 2012).

Fogaça (2001) realizou pesquisa em teses, dissertações, eventos e periódicos, específicos quanto à utilização do blogue no ensino. Segundo a autora só entre os anos de 2003 a 2008, as pesquisas em educação voltam-se para o uso desta ferramenta, e só sete anos depois da criação é publicada uma tese brasileira a este respeito. Neste mesmo período foram publicados entre, teses, dissertações e artigos relacionados a blogues e weblogs 72 publicações, a maioria dos trabalhos relacionados com as áreas de comunicação, linguística e de educação nesta ordem. (FOGAÇA, 2011, p. 34-38)

Nos trabalhos encontrados por Fogaça (2011), o blogue é destacado por ser um meio de comunicação relativamente simples de usar, e que tem cada vez mais ganhado espaço como “popular” principalmente entre os jovens. Nesses casos, o blogue é utilizado como uma extensão da sala de aula.



No entanto, na pesquisa de Fogaça (2011) não encontramos dados relativos especificamente à utilização do blogue no Ensino de Física. Diante disso, realizamos uma busca bibliográfica por pesquisas em que o blogue era utilizado no Ensino de Física, a partir dos principais eventos da área, no período de 2000 a 2010, Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF) e Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF)<sup>8</sup>. O número de trabalhos envolvendo a área de tecnologias de informação e comunicação no ensino de física aumentou, tanto no EPEF quanto no SNEF. Porém ainda continuam restritos à Ensino à distância, Uso de simulações, e Tele Aulas, recursos ainda da web 1.0. e são na sua maioria envolvidos coma instrumentação no ensino de física, ou seja, objetos de aprendizagem.

A ausência de trabalhos envolvendo blogues no Ensino de Física trouxe-me uma inquietação, tentando entender qual o motivo. Uma possível hipótese para a resposta seria pela característica herdada que o ensino de física possui quanto ao papel do professor em sala de aula e também da própria ciência física que assume um caráter de determinada. Desta forma, um blogue, em que são estimuladas as discussões não teria significado. No entanto, não é objetivo deste trabalho se aprofundar nessa discussão.

Existe alguns pontos de vista no que se diz respeito ao do professor, o blogue vem como uma extensão da sala de aula. Ao seguir os blogues criados pelos estudantes, o professor pode verificar os conhecimentos adquiridos, registrar suas próprias observações, etc.

### **3.3 - O blogue e o professor**

Quando o professor é o autor e proprietário do blogue, alguns aspectos devem ser observados. Dentre as vantagens, ao construir um blogue o professor promove

---

<sup>8</sup> Como o objetivo deste trabalho não é o levantamento de dados quanto à utilização do blogue como objeto de aprendizagem, não consideramos necessária uma busca mais ampla.

discussões e aumenta a interação com os alunos, estimulando-os a construir seu próprio conhecimento e tem a possibilidade de melhorar a própria performance. A facilidade de se utilizar um blogue pode diminuir o esforço do professor em relação aos outros recursos disponíveis como criação de páginas, gerando um efeito positivo sobre o fato de adotar ou não.

Apesar da vantagem de poder, através do blogue, conhecer melhor as dificuldades de seus estudantes, analisando seus comentários, o professor pode encontrar alguns obstáculos ao querer utilizar o blogue como extensão da sua sala de aula. Uma destas desvantagens está relacionada com sua autoconfiança aos dispor publicamente seus conhecimentos. Ao expor seus conhecimentos num blogue o professor se expõe, podendo ser criticado, e isso muitas vezes o repele (LAI; CHEN, 2011).

Além disso, é necessário um esforço extra do professor, para codificar seu conhecimento na linguagem e formato do blogue, para torná-lo mais atrativo e diferente, para os estudantes. Adicionando-se este esforço extra à sobrecarga de trabalho que existe para os professores, o blogue parece mais um empecilho à sua atualização profissional diante das novas tecnologias de informação e comunicação do que uma melhora.

Para o professor, portanto, seria uma melhor opção encontrar o blogue já pronto, em que ele pudesse compartilhar o que já está pronto, facilitando seu trabalho em sala de aula. É nesta direção que este trabalho se insere. A presente proposta de construção do blogue já no formato apropriado para o professor, facilitando seu trabalho.

Em se tratando de associar o blogue aos estudos de história da ciência, o professor teria seu trabalho ainda maior, pois deveria buscar fontes apropriadas, diversificar as formas de inserção e apresentação no blogue; considerar distorções sobre natureza da ciência ao construir seu texto para o blogue; associar o episódio histórico aos conceitos físicos em estudo, etc.

O blogue desta proposta já apresenta aspectos da história da ciência analisados sob o ponto de vista da historiografia, considerando obras primárias e secundárias, evitando possíveis distorções.

Portanto, o papel do professor se restringe ao de usuário e seguidor, e o blogue é utilizado como uma ferramenta de interação, socialização e divulgação da História da Ciência. É neste sentido que esta pesquisa pretende utilizar o blogue, buscando um meio de divulgar e compartilhar um episódio histórico, com potenciais educacionais. Não é o objetivo central o processo de ensino e aprendizagem, mas sim propor uma forma de divulgação da história da ciência numa linguagem e ambiente mais próximos da comunidade escolar.

## **CAPÍTULO 4 - Construção do blogue**

Recuperando a pergunta de pesquisa deste trabalho, nossa intenção em construir um blogue está relacionada à necessidade de divulgação de episódios históricos para utilização no ensino. Para isso, analisamos um episódio histórico considerando os pressupostos da historiografia e definimos seus objetivos pedagógicos, quais sejam: a discussão de conceitos físicos pouco abordados e discussão de alguns aspectos de natureza da ciência. Para inserir tais discussões no blogue e torná-las acessíveis aos professores, observamos alguns critérios necessários na construção da ferramenta de divulgação escolhida (blogue), que relatamos neste capítulo.

### **4.1 Estabelecendo critérios para a construção do blogue.**

O blogue possui como principal vantagem a facilidade de inserção de textos sem a necessidade de conhecimentos de linguagem HTML, e a possibilidade de trabalhar com arquivos em diferentes formatos (vídeo, música, etc.), além de ser facilmente compartilhado nas redes sociais.

Quanto à disposição de assuntos, pesquisas apontam que os elementos básicos no design do blogue são: o título; uma coluna principal com cada título de cada texto do autor; a data; o nome do autor; um espaço para comentários de leitores; uma ou mais barras laterais, onde podem ser inseridos mais elementos. Ainda que não haja um padrão para construir blogues que tenham mais acessos do que outros, é interessante notar que alguns elementos sempre estão presentes.

Tentando reconhecer estes elementos, buscamos por blogues que tratassem de história da ciência e identificamos que vários deles<sup>9</sup> contêm referências para outros sítios de assuntos específicos em HC, historiografia, eventos da área, principais notícias, etc. Isto possibilitou construirmos um primeiro critério de construção para o blogue: **(1)** *permitir o acesso a outras fontes de história da ciência e assuntos relacionados.*

Outro critério foi definido a partir do público alvo para o blogue. Uma vez que estamos tratando de um conceito de física mais presente em livros do Ensino Superior do que no Ensino Médio, o público alvo definido é professores do ensino superior. Portanto a **(2)** *linguagem dos textos deve ser compatível com o público alvo*, e podemos considerar que os termos científicos podem ser mantidos.

Um terceiro critério é quanto ao visual. Observamos que a presença de imagens é importante para atrair e situar o leitor do blogue, tanto no período histórico do episódio considerado, quanto na pesquisa a que o blogue encontra-se vinculado. Assim, consideramos **(3)** *inserção de imagens e links provenientes de fontes fidedignas.*

Considerando que o principal objetivo de utilizar um blogue ao invés de uma página comum está no fator de interatividade, um quarto critério foi **(4)** *possibilitar a inserção de comentários pelos visitantes para um retorno quanto ao material disponibilizado.*

E, finalmente, levando em consideração que o principal obstáculo apontado pelos professores para a utilização da história da ciência está no acesso a textos provenientes de fontes fidedignas em história da ciência, **(5)** *disponibilizar o material utilizado para o visitante sempre que possível.*

---

<sup>9</sup> Uma lista de blogs de história da ciência pode ser encontrada em [http://thedispersalofdarwin.wordpress.com/2010/08/04/hos\\_blogs/](http://thedispersalofdarwin.wordpress.com/2010/08/04/hos_blogs/), acesso em 10/11/2012.

## 4.2 O blogue do Cavendish – conteúdo e organização

O blogue foi construído a partir de uma plataforma livre (*blogger* do servidor *Google*) que permite uma divulgação maior a partir de critérios próprios do servidor. Utilizando uma das ferramentas do próprio servidor (Google +), é possível colocar o blogue como visualizado a partir de buscas no Google, que se encontra atualmente entre o mais acessado entre os servidores de busca.

Criamos o blogue como se o Cavendish fosse o proprietário, elaborando seu perfil a partir da leitura de sua biografia. Com isso tornamos a busca do material associando diretamente ao personagem, facilitando para o leitor conhece melhor o personagem. Além disso, o blogue faz parte de um projeto do Grupo de História da Ciência e Ensino da Universidade Estadual da Paraíba (GHCEN- UEPB) que pretende formar uma base de dados com biografias e trabalhos de vários personagens para aproximar a HFC dos interessados em utilizá-la.

Apresentamos as imagens das guias presentes no blogue e descrevemos o conteúdo presente.

## Página “Inicial”



**Figura 6:** Página inicial do Blogue do Henry Cavendish. Endereço lordecavendish.blogspot.com.br.

Assim o nome do blogue é “O blogue do Henry Cavendish”. Como podemos observar na figura 6, optamos em apresentar o programa de pesquisa do qual fazemos parte, colocando este na parte superior da esquerda em uma coluna fixa, ou seja, mesmo que o usuário mude de paginação do blogue nossa apresentação está em evidência.

Também inserimos recomendações de sítios sobre História da Ciência e periódicos de interesse da área de Ensino de Física. A inserção do programa de pós-graduação e da instituição pretende dar ao blogue maior credibilidade, já que permite ao leitor conferir que se trata de material proveniente de fontes fidedignas. A fidedignidade das fontes é uma de nossas preocupações, pois o excesso de informação existente na rede muitas vezes leva a informações distorcidas e erradas, tanto do ponto de vista do conteúdo quanto de sua interpretação.

Todas as postagens procuram ser atualizadas a cada semana, aproveitando o espaço para a divulgação de eventos, lançamento de livros, revistas, artigos, cursos, e etc, de interesse dos estudiosos em história e filosofia da ciência com ênfase no ensino de ciências, os quais ficam hospedados na página inicial do blogue, em uma coluna de destaque. Todas as postagens são organizadas como nos blogues, de maneira cronológica inversa.

As guias que se encontram abaixo do título do blogue são: Início, Quem somos; Biografia de Cavendish; Episódio Histórico; Propostas de atividades e O GHCEN. Estas guias foram organizadas como páginas dentro do blogue, na tentativa de melhor apresentar o nosso trabalho.

### *Página “Quem somos”*



**Figura 7:** Apresentação de quem somos.

Nesta página, nos apresentamos como uma produção do Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), disponibilizando um link direto para o sítio da universidade. Assim, divulgamos o Mestrado Profissional, e o grupo de pesquisa Grupo de História da Ciência no Ensino (GHCEN). O conteúdo desta página está no Apêndice I.



### *Página “Biografia de Cavendish”*



**Figura 8:** Apresentação da biografia do Cavendish.

Organizamos sua biografia, de acordo com o que consideramos relevante em termos de desenvolvimento do conhecimento científico. Através de imagens apresentamos sua origem, onde nasceu, estudou, viveu, suas competências, interesses e trabalhos publicados e não publicados<sup>10</sup>. Disponibilizamos ainda um artigo mais completo sobre sua biografia, para leitores interessados.

Esta guia é importante para uma maior humanização da ciência, revelando o cientista por traz das “descobertas”. Muitos alunos quando estão estudando uma teoria, chegam até mesmo a duvidar que de fato tenha existido uma pessoa com uma mente tão “genial” capaz de organizar tão bem um conhecimento.

<sup>10</sup> Conteúdo detalhado no Apêndice I.

*Página “Episódio Histórico”*



**Figura 9:** Apresentação do episódio histórico do experimento do Cavendish

Apresentamos o experimento de Cavendish, usando algumas imagens, sendo que uma é idealizada, uma réplica e dois esquemas (visão frontal e superior do experimento), explicando de forma mais rápida possível os detalhes do experimento, possibilitando uma ideia do que ele buscava e como conseguiu determinar a partir de experimentações o valor da densidade da Terra.

Buscamos divulgar nosso material histórico com o cuidado de destacar alguns aspectos acerca da Natureza da Ciência, e para isso trazemos ao conhecimento de nossos leitores outros estudiosos que buscaram através de experimentações, também determinar o valor da densidade da Terra. Mostramos que existem desacordos entre cientistas, que a ciência de fato tem um caráter provisório e especificadamente neste episódio é notório o “treino” necessário no fazer científico. Estes aspectos são destacados pela maneira como o texto foi escrito, revelando que Cavendish precisou realizar 17 experimentos distintos, e cada um destes repetindo diversas vezes para gerar um único dado. Assim é verificado

que a ciência não é feita por acaso, ela é feita através de vários estudos e contribuições diversas.

Além disso, disponibilizamos artigos dos trabalhos originais do experimento do Cavendish e do experimento do Maskelyne, uma tradução literal do artigo do Cavendish e algumas considerações para uma melhor compreensão do trabalho do Cavendish, para leitores interessados em aprimorar e ampliar o estudo a este respeito<sup>11</sup>. Considerando que a extensão dos textos pode desestimular os leitores do blogue, também incluímos um arquivo de voz com a leitura do artigo relatando a montagem e execução do experimento.

### **Página “O GHCEN”**

The image shows a screenshot of a blog page titled "O blog do Henry Cavendish". At the top left, there is a portrait of Henry Cavendish. Below it, the title "O blog do Henry Cavendish" is written in a cursive font. A navigation bar contains the following links: "Início", "Quem somos", "Biografia de Cavendish", "Episódio Histórico", "Propostas de Atividades", and "O GHCEN". The main content area is split into two columns. The left column has a "Bem Vindo" section, a "O Lorde recomenda" section mentioning the "Grupo de História da Ciência e Ensino da UEPB", and a "Periódicos de Interesse" section. The right column features the "O GHCEN" logo, which depicts a bird, and text describing the group as "O Grupo de História da Ciência e Ensino". It also lists "Docentes e Discentes da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e Colaboradores externos".

**Figura 10:** Página do blogue dedicada a apresentação do GHCEN

<sup>11</sup> O conteúdo se encontra no Apêndice I.

Nesta página apresento o Grupo de História da Ciência e Ensino (GHCEN), grupo de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (MECM) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), do qual fazemos parte. Este grupo é formado por docentes e discentes da UEPB e colaboradores externos, um da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP) e outro do Instituto Federal da Paraíba (IFPB).

Foi através das contribuições deste grupo que aprimoramos nossas pesquisas, expondo o andamento de nossos estudos e discutindo as estratégias adotadas na execução de nossas atividades de forma mútua. Cada reunião é uma oportunidade que encontramos para refletir sobre a história e filosofia das ciências e nossas práticas pedagógicas, revelando nossos temores, desafios e frustrações. Também tomamos conhecimento de alguns estudos históricos e palestras de visitantes, contribuindo em nosso crescimento intelectual sobre história e filosofia das ciências.

Como toda ferramenta da *Web 2.0*, o blogue é dinâmico e não se encontra num formato pronto e acabado. Sua construção e atualização são permanentes e justificadas pela necessidade de retorno por parte dos usuários. Além disso, estudos posteriores, a partir do retorno dos usuários, permitirão a inserção de novos elementos, como simulações, vídeos, etc., enriquecendo o material apresentado.

## **CAPÍTULO 5 – Considerações finais**

Entendemos que existe uma necessidade em buscar novas maneiras de se ensinar, e as tecnologias têm ganhado um valioso espaço nesse sentido, o que torna imprescindível seu aprofundamento. Tendo em vista que estas tecnologias de informação que circulam em nosso meio, são de fato atrativas para pessoas que buscam informações rápidas e precisas, vemos nestas uma oportunidade em usá-las, com objetivos de divulgação e disponibilização de material para pesquisas históricas, com alguns apontamentos didáticos pedagógicos.

Com isto, nosso primeiro desafio foi investigar se era possível usar o blogue como uma ferramenta facilitadora neste processo de divulgação de um material histórico. O que acreditamos ser possível e viável, pois o uso do blogue precisa ser mais explorado aqui no Brasil. Encontramos trabalhos em educação usando blogue, mas o universo de opções cresce em igual conformidade com a tecnologia.

O uso de blogues no ensino é um assunto que ainda está sendo tratado de uma forma muito tímida no Brasil. Na área de ensino de física não encontramos trabalhos usando esta ferramenta, embora a bibliografia no exterior seja extensa. Este fato pode ser um problema a ser melhor investigado, buscando-se se há algum tipo de pré-conceito em respeito ao uso de blogues no ensino de física.

O que averiguamos na construção do blogue foi que existe familiaridade com as ferramentas, diferentemente da construção de páginas. As ferramentas dispostas para a construção do blogue são bem diversificadas, o que demanda tempo para conhecê-las. Existem tutoriais, mas mesmo com a ajuda destes encontramos dificuldades, pois os mesmos pressupõem o conhecimento de outras ferramentas associadas à rede. Assim, uma das expectativas de continuidade desta pesquisa está na elaboração de um tutorial mais direcionado a professores com objetivos didáticos na construção de seus blogues, explicando mais detalhadamente o que seria cada termo adotado neste universo da *web 2.0*.

Outra de nossas expectativas diz respeito ao feedback do nosso trabalho divulgado no blogue: saber a opinião dos professores, poder discutir e tirar possíveis dúvidas, estar constantemente divulgando informações relevantes para os professores de física, neste caso tanto do nível superior como do médio.

A ferramenta de contagem de visitantes aponta um número superior a 1.200 visitantes até a presente data. No entanto, ainda não é possível apresentar conclusões sobre o público que visitou o blogue e qual a sua intenção (utilização do material divulgado ou apenas curiosidade). Para isso será incluído no blogue a ferramenta “enquete”, que permitirá obter maiores conclusões quanto a divulgação do episódio.

O universo de opções a serem exploradas é uma vantagem no blogue, já que é possível a inserção de ferramentas mais dinâmicas, como vídeos, arquivos de voz, etc.; a construção coletiva de assuntos (utilizando o recurso dos comentários) e principalmente a interatividade com o leitor.

Em se tratando da parte histórica, nossa pesquisa constatou a inexistência de trabalhos publicados sobre o experimento de Cavendish até então, em português. O experimento e os demais temas associados ao episódio de medida da densidade da Terra, como o experimento de Maskelyne e as hipóteses que eram consideradas sobre a lei de atração de Newton, tornam o assunto rico do ponto de vista de discussões sobre a natureza da ciência, uma das justificativas para a importância de utilização da história da ciência no ensino. Deste ponto de vista, a construção do blogue foi feita usando textos e atividades que permitam ao professor realizar discussões nesta direção.

No entanto, não podemos afirmar categoricamente que este trabalho está finalizado. A característica mais importante do blogue é a dinâmica de atualização constante, fundada principalmente pela resposta do “outro”. É essa dinâmica que nos leva a afirmar que este trabalho não tem perspectiva de ficar pronto e acabado. Assim como a própria ciência, o conteúdo do blogue, seja o material histórico quanto o pedagógico, deverá permanecer em contínua atualização, adequando-se aos paradigmas existentes e buscando responder às necessidades do professor que pretende utilizar a história da ciência em sala de aula.

## Referências

ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N. G. **Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of the literature.** International Journal of Science Education, v. 22, n. 7, p. 665-701, 2000

ALCCHIN, D. Minneapolis: **Pseudohistory and Pseudoscience.** Program in the History of Science and Technology, University of Minnesota, Science & Education, 179–195, 2004.

ALEXANDER, B. **Web 2.0: a new wave of innovation for teaching and learning?** EDUCAUSE Review, 41, p. 32-44, 2006. Disponível em <<http://www.educause.edu/ero/article/web-20-new-wave-innovation-teaching-and-learning>>. Acesso em 27/10/2012.

BLOCH, J. **Student/teach interaction via email: the social context of Internet discourse.** Journal of Second Language Writing, p. 117 – 134, 2002.

BLOOD, R. "**Weblogs: A History and Perspective**", Rebecca's Pocket. 07 September 2000. 12 July 2011. Disponível em: <[http://www.rebeccablood.net/essays/weblog\\_history.html](http://www.rebeccablood.net/essays/weblog_history.html)>. Acesso em 27/10/2012.

BOYS, C. V London.: **On the Cavendish experiment.** Proceedings of the Royal Society of London, v. 46, p. 253-268, 1889.

BRUSH, S. G.: **Shoul the History of Science be Rated X?**, Science, p. 1164-1172, 1974.

CASTRO, R. S. **Uma e outras histórias.** In: CARVALHO, Ana Maria Pessoa de (org.). Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, p. 101-117, 2004.

CAVENDISH, H. London: **Experiments to determine the density of the earth.** Philosophical Transactions of the Royal Society of London, v. 88, p. 469-526, 1798

CHALMERS, A. F. São Paulo: **O que é ciência, afinal?** Tradução: Raul Fiker. Brasiliense, p. 226. 1993.

CHONG, E. K. M. **Using blogging to enhance the initiation of students into academic research.** Computers & Education, p. 798 – 807. 2010.

CLOTFELTER, B. E. Iowa: **The Cavendish experiment as Cavendish knew it.** American association of physics teachers, v. 55, p. 210-213, 1986.

DUARTE, M. C. **A história da ciência na formação dos professores portugueses: implicações para a formação de professores de ciências.** Ciência&Educação, Bauru, v. 10, n. 3, p. 317-331, 2004.

DUCHEYNE, S. **The Cavendish Experiment as a Tool for Historical Understanding of Science.** Springer Science, published online 23 August, 2011.

EL-HANI, C. Notas sobre o ensino de história e filosofia da ciência na educação científica de nível superior. In C.C. Silva (Org.) **Estudo de história e filosofia das ciências. Subsídios para aplicação no Ensino.** São Paulo: Ed. Livraria da Física, p. 3-21, 2006.

FOGAÇA, M. **Blog no ensino de ciência: uma ferramenta cultural influente na formação de identidades juvenis.** Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo 2011.

FORATO, T. C. de M; PIETROCOLA, M; MARTINS, R. A. **Historiografia e Natureza da Ciência na Sala de Aula.** Caderno Brasileiro de Ensino Física, v. 28, p. 27-59, 2011.

FORATO, T. C. M. São Paulo: **A Natureza da Ciência como Saber Escolar: um estudo de caso a partir da história da luz.** Tese de Doutorado. FEUSP, 2009.

FREEMAN, W; BETT, C. **Prompting authentic blogging practice in an online graduate course.** Computers & Education, p. 1032 – 1042. 2012.

GIL PÉREZ, D.; MONTORO, I. F.; ALIS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. **Para uma imagem não deformada do trabalho científico.** Ciência & Educação, p.125-153, 2001.

GOKTAS, G.; DEMIREL, T. **Blog-enhanced ICT courses: Examining their effects on prospective teachers' ICT competencies and perceptions.** Computers & Education, p. 908 – 917. 2011.

GONZÁLEZ, A. M. **“Weighing” the earth: a Newtonian test and the origin of an anachronism.** Science&Education v. 10, p. 515-543, 2001.



HEERING, P; OSEWOLD, D. **Berlin: Constructing Scientific Understanding through Contextual Teaching**. Frank&Timme, p. 65-82, 2007.

HOBBSAWM, E. J. **A Era das Revoluções 1789 – 1848**. São Paulo: Paz e Terra, 2010.

HUTTON, Charles. **On the mean density of the earth**. London, Philosophical Transactions of the Royal society of London, London, v. 111, p. 276-292, 1821.

KIM, H. N. **The phenomenon of blogs and theoretical model of blog use in educational contexts**. Computers & Education, p. 1342 – 1352. 2007.

LAI, H. –M.; CHEN, C. –P. **Factors influencing secondary school teachers' adoption of teaching blogs**. Computers & Education, p. 948 – 960. 2010.

LEDERMAN, N. G. **Nature of science: past, present, and future**. In: Abell, S.K.; Lederman, N.G. (Eds.), Handbook of research on science education. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, p. 831-880, 2007.

MARTINS, A. F. P. Florianópolis: **História e filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 24, p. 112-131, 2007.

MARTINS, L. A.-C. P. **História da ciência: objetos, métodos e problemas**. Ciência&Educação, Bauru, v. 11, n. 2, p. 305-317, 2005.

MARTINS, R. A. **Introdução: a história das ciências e seus usos na educação**. In: SILVA, Cibelle Celestino (org.). Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Editora Livraria da Física, p. xvii-xxx, 2006.

MARTINS, R. A.. São Paulo: **Ciência versus historiografia: os diferentes níveis discursivo nas obras sobre história da ciência**. Pp.: 115-146. In: ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; BELTRAN, M. H. R. (orgs.) Escrevendo a história da ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas. Livraria da Física, Educ, Fapesp, 2004.

MARTINS, R. de A. **Como não escrever sobre história da física: um manifesto historiográfico**. São Carlos: Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 23, p. 113-129, 2001.

MASKELYNE, N. **A proposal for Measuring the Attraction of Some Hill in This Kingdom by Astronomical Observations**. Philosophical Transactions, vol. 65, p. 495-499, 1775.

MATTHEWS, M. R, Florianópolis: **História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação**, Caderno Catarinense de Ensino de Física, 1995.

MATTHEWS, M. R. **In defense of modest goals when teaching about nature of science**. Journal of Research in Science Teaching, v. 35, p. 161-174, 1998

McCORMMACH, R. **John Michell and Henry Cavendish: weighing the stars**. The British Journal for the History of Science v. 4, n. 2, p. 126-155, 1968.

McLOUGHLIN, C. LEE, M. J. W. **Social software and participatory learning: pedagogical choices with technology affordances in the web 2.0 era**, Singapore, Presented at Ascilite Singapore, p. 664-675, 2007.

(MEC) MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA, República Federativa do Brasil. **Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Médio**. Brasília: MEC, 2000.

NEWTON, I. **Mathematical principles of natural philosophy**. [1687] Britannica Great Books. Chicago: Encyclopedia Britannica, v. 34, p. 269-372, 1952.

PAPASTERGIOU, M.; GERODIMOS, V.; ANTONIOU, P. **Multimedia blogging in physical education: Effects on student knowledge and ICT self-efficacy**. Computers & Education, p. 1998 –2010. 2011.

PEDUZZI, Luiz O. Q. **Sobre a utilização didática da História da Ciência**. In: PIETROCOLA, Mauricio (org.). Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: Ed. da UFSC, p. 151-170, 2001.

PEREIRA, M. E. M.; GIOIA, S. C. **Séculos XVII e XIX: revolução na economia e na política**. In : ANDERY, M. A. (org). Para compreender a ciência uma perspectiva histórica. Rio de Janeiro Ed. Garamond, p. 257-294, 2007.

PUMFREY, S. **History of science in the National Science Curriculum: a critical review of resources and their aims**. British Journal of History of Science, p. 61-78, 1991.

SILVA, A. **Blog educacional: o uso das novas tecnologias no ensino**. Vertentes, São João del-Rei: UFSJ, n.31, p. 75-84, jan./jun. 2008.

SILVA, C. C. (org.). **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física, p. 381 2006.

**SILVA, C. C.; MOURA, B. A. A natureza da ciência por meio do estudo de episódios históricos: o caso da popularização da óptica newtoniana.** Revista Brasileira de Ensino de Física, 2008.

**YANG, S. -H. Using Blogs to Enhance Critical Reflection and Community of Practice.** Taiwan, Educational Technology e Society, p 11-21, 2009.

## APÊNDICE I

### Texto de apresentação, na segunda guia, do programa de Pós-Graduação

#### Quem somos



A página do Lorde Cavendish é uma produção do Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Estadual da Paraíba - [UEPB](#)

Desenvolvida, a partir de uma dissertação do mestrado profissional em ensino de ciências e matemática da [MECM](#).

O Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Estadual da Paraíba é um Curso de Pós-Graduação **stricto sensu, reconhecido pela CAPES desde a sua fundação em 2007**. Ligado ao Centro de Ciências e Tecnologia, situado no Campus de Bodocongó/UEPB – Campina Grande, tem como objetivo aprofundar a formação de docentes dos diversos níveis de ensino de Matemática e de Física quanto ao domínio de conhecimentos envolvidos no processo de ensino e aprendizagem destas disciplinas, relevando os aspectos epistemológicos, metodológicos e históricos. Enfatiza também a formação para o uso de novas tecnologias de ensino, a divulgação científica e a realização de pesquisas sobre os fenômenos ocorridos em sala de aula.



Suas atividades e seu episódio histórico foi visto e discutido pelo [GHCEN](#), da UEPB.

## Texto da terceira guia com a Biografia do Cavendish.

### Biografia de Cavendish

Na Grã-Bretanha surgiram grandes químicos dois dos mais famosos: Robert Boyler e Henry Cavendish (10/10/1731 - 24/02/1810), ambos de uma linhagem nobre, sendo Cavendish ainda mais.



Um pouco sobre Henry Cavendish



Casa de Cavendish

Henry Cavendish nasceu em 10 de Outubro de 1731, na França. Sua mãe Lady Anne Grey era filha do Duque de Kent, e seu pai Lord Charles Cavendish era filho do Segundo Duque de Devonshire.

Cavendish ingressou na faculdade de São Pedro em Cambridge, em 24 de Novembro de 1749, e permaneceu regularmente até 23 de Fevereiro de 1753, até que decidiu sair faltando poucos dias para concluir o curso, os seus motivos não são de fato conhecidos, mas se especulam as causas, uma das é de que ele teria alguma objeção aos testes finais que eram muito rigorosos. Embora não se acredite que ele tinha medo, afinal era um brilhante estudioso.



Faculdade hoje de Cambridge



Depois de sair de Cambridge, Cavendish, provavelmente, foi para Londres, mas sua história pessoal é um espaço em branco, embora não se pode duvidar, a partir de seus escritos posteriores, que foi dedicado principalmente aos estudos matemáticos e físicos. Entrou para Royal Society em 1760. Porém só publicou seu primeiro trabalho (Ares Factícios) em 1766.

Henry Cavendish era um excelente matemático, eletricista, astrônomo, meteorologista, geólogo e químico. No sentido mais amplo do termo, ele era um filósofo natural. Se tivesse publicado todas suas pesquisas teria se tornado mais famoso, porém lidava com suas descobertas como o seu verdadeiro tesouro e a maioria das vezes as guardava. Consequentemente, alguns de seus trabalhos só foram lidos muito após sua morte.

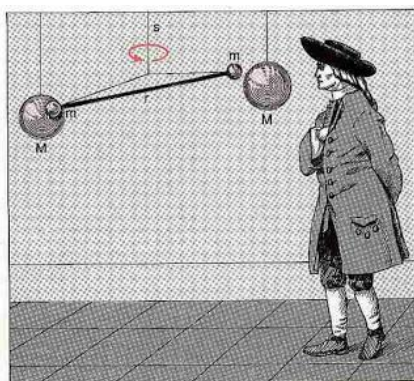
James Clerk Maxwell leu os documentos de Cavendish, estudos que outros levaram créditos mesmo ele tendo antecipado alguns resultados como exemplo: Lei das Proporções Recíprocas, Lei de Ohm, Lei das Pressões Parciais, princípios da condutividade elétrica, Lei de Coulomb e Lei dos Gases. Os trabalhos publicados não mostram o vasto território pelo qual Cavendish transitou. Ganhou destaque em suas pesquisas por alcançar enorme precisão nas medidas, em seus experimentos para a época.

Um dos trabalhos de Henry Cavendish publicados foi o Experiments to Determine the Density of the Earth, onde descreve seu experimento e como conseguiu calcular o valor da densidade da Terra. Este trabalho é muito conhecido pelos seus detalhes experimentais. Iremos apresentar a tradução do original de Cavendish, acompanhado de alguns comentários que pretendem esclarecer pontos obscuros na descrição da montagem ou da medição. Mais detalhes em : <http://www.archive.org/stream/lifehonhenrycav00wilsgoog#page/n9/mode/2up>



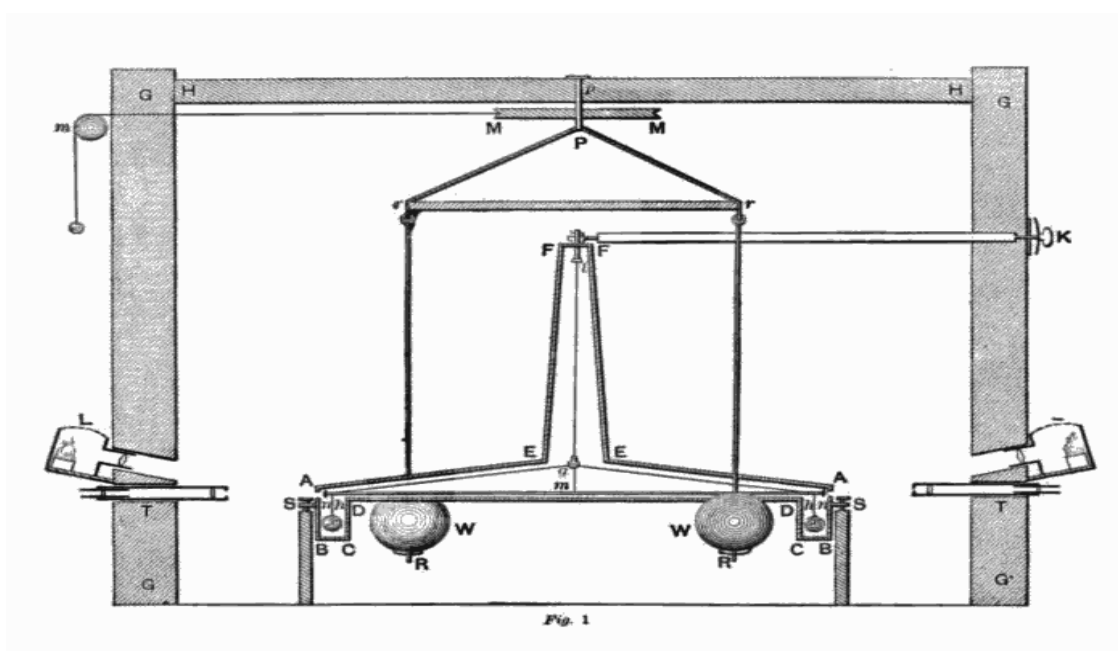
## Texto da terceira guia, o Episódio Histórico:

### Episódio Histórico



O experimento de Cavendish, publicado em 1798, tinha como objetivo encontrar o valor da densidade da Terra, partindo do movimento de um pêndulo de torção e da força de atração entre os corpos. Ela não foi a uca com esse propósito, nem antes.

Idealização do Cavendish observando seu experimento





O aparato consiste de um braço de madeira forte e leve de 1,8288 m de comprimento, suspenso horizontalmente por um fio de 1,016 m de comprimento, e em cada uma de suas extremidades há uma bola de 5,08 cm de diâmetro. O braço inteiro, incluindo as bolas em suas extremidades, está dentro de uma caixa de madeira, que tem a finalidade de protegê-lo do vento. Espera-se que a força de atração entre os pesos e as bolas seja a única força que faça o braço oscilar.

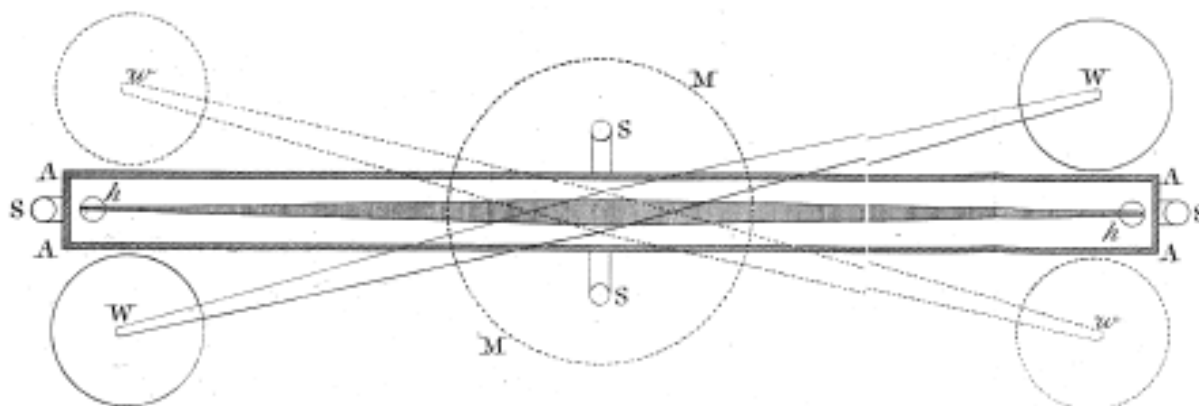


Figura 2, visão superior do experimento do Cavendish

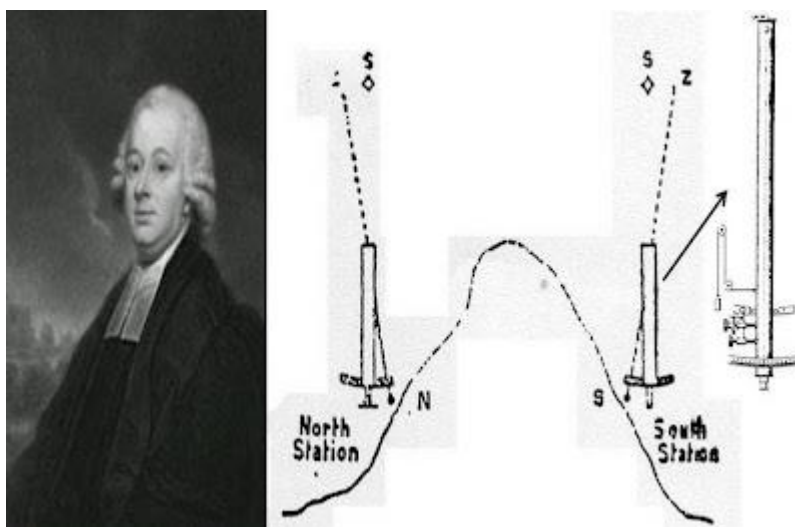
Na presença da força de atração entre os pesos e as bolas, o pêndulo de torção oscila, e a amplitude de sua vibração pode ser determinada por uma escala de marfim que se encontra próxima das bolas, mas sem tocá-las (Figura 2). O tempo (período) de vibração está relacionado à força de restauração necessária para que o braço com as bolas volte à posição de equilíbrio quando os pesos são levados para uma posição oposta em relação à anterior. A medida da força através do período de vibração do braço é semelhante à utilizada por Coulomb para o caso da força elétrica, mas segundo Cavendish, Michell a havia escolhido antes de Coulomb publicar seu experimento



Esta imagem é uma tentativa de replicar o experimento do Cavendish, muito próxima embora falte alguns detalhes, pois este experimento até então não foi replicado com exatidão.

Cavendish realizou 17 experimentos, em que variava diferentes parâmetros e que estavam sujeitos às condições temporais. Com isso ele pretendia encontrar a influência que fatores como temperatura, atração magnética, etc. tinham sobre o movimento do pêndulo. Para determinar a influência da diferença de temperatura, Cavendish colocou termômetros dentro de orifícios feitos no interior dos pesos e, com a ajuda de um espelho, lia o valor da temperatura. Ele encontrou que o valor da diferença de temperatura produzia diferenças no período de oscilação do pêndulo. Cavendish também queria diminuir ao máximo a influência da atração magnética entre os materiais utilizados na construção do aparato, por isso fez a caixa de madeira. Ainda assim, em seus resultados finais ele considera a influência de todos esses fatores e introduziu um fator de correção nos seus cálculos do valor da densidade da Terra.





Maskelyne e o esquema de seu experimento

Nestes links você tem acesso aos originais do Cavendish e o segundo do Maskelyne.

[Texto original do Cavendish.](#)

[Texto original do Maskelyne](#)

Para quem gosta de praticidade pode recorrer ao episódio em [áudio](#).

## Texto da quinta guia, o GHCEN

### O GHCEN

O Grupo de História da Ciência e Ensino



Este é o blog do **GHCEN** um dos grupos de pesquisa do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Estadual da Paraíba, podem ser encontrados alguns episódios históricos e trabalhos realizados em história da Física.

Em nossos encontros aproveitamos a oportunidade para conhecer e contribuir com a pesquisa de participante do grupo de pesquisa, **trocando informações, estudando juntos**, e etc.

### Docentes e Discentes da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e Colaboradores externos

#### Docentes

Ana Paula Bispo da Silva - UEPB

Roberto de Andrade Martins - UEPB

Thaís Cyrino de Mello Forato - UNIFESP-Diadema

Alessandro Frederico da Silveira - UEPB

Altamir Souto Dias - UEPB

Luciano Feitosa do Nascimento - IFPB- Monteiro

**Discentes - Mestrandos**

José Praxedes de Oliveira Neto

Isabelle Priscila Carneiro de Lima

Jaene Guimarães Pereira

José Leandro A. C. Macedo

Alessandra Uchôa

José Fernando Melo

**Discentes - graduandos**

Rilavia Almeida de Oliveira

Rafaelle da Silva Souza

Jamily Alves da Silva

Hellen Souto

**GHCEM**

## APÊNDICE II

### Fenômenos envolvidos no fenômeno do Pêndulo de Torção.

Para melhor compreender o experimento do pêndulo de torção de Cavendish, acreditamos que seria pertinente o entendimento de alguns fenômenos que estão envolvidos como exemplo: Inércia, Torque, Segunda lei de Newton em sua forma Angular e Pêndulo de torção.

#### Inércia

É a tendência que os corpos possuem de permanecerem em movimento uma vez que foram deslocados.

Um exemplo é quando estamos em um veículo em locomoção e este para repentinamente, nosso corpo tende a permanecer no mesmo movimento indo para frente.

Então para quebrar a inércias dos corpos é necessário aplicar uma força, independente do local.

Existe uma grandeza física associada à inércia de rotação. Ela é denominada momento de inércia. Assim como um corpo massivo apresenta sua tendência de permanecer em seu estado inicial de movimento com uma velocidade constante, que inclusive pode ser zero, no caso em que o somatório das forças atuantes é nulo, também existe uma resistência à mudança no movimento rotacional. Esta resistência à mudança em sua velocidade angular é conhecida como momento de inércia do respectivo corpo.

Multiplicando a massa pelo quadrado da distância ao eixo de rotação temos o momento de inércia.

$$\vec{I} = m\vec{r}^2 \quad (1)$$

Mas para objetos como uma barra, ou um disco, ou uma esfera, qual seria a expressão para o cálculo do momento de inércia? Para estes casos, aplica-se o cálculo integral utilizando a distribuição contínua de massa, cujo elemento de massa é  $dm$  ao longo do corpo com comprimento  $x$ , como se segue.

$$I = \int x^2 dm \quad (2)$$

Pensemos em uma barra de massa  $m$  distribuída uniformemente de comprimento  $L$  fixa em seu centro o eixo em torno do qual ela pode executar movimento rotacional. Sabendo que esta massa  $m$  se distribui uniformemente ao longo de seu comprimento  $L$ , de modo que podemos escrever o elemento de massa  $dm$  em função da densidade linear de massa  $m/L$  e o elemento de comprimento  $dx$  como sendo:

$$dm = \frac{m}{L} dx \quad (3)$$

Substituindo esta Expressão com a anterior temos:

$$I = \int x^2 \frac{m}{L} dx + C \quad (4)$$

Agora resolvendo a integral de  $-\frac{L}{2}$  a  $\frac{L}{2}$  já que a barra de encontra fixa em seu centro:

$$I = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} x^2 \frac{m}{L} dx$$

Como  $\frac{m}{L}$  é constante pode sair da integral.

$$I = \frac{m}{L} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} x^2 dx$$

Agora temos uma simples integral.



$$I = \frac{m}{L} \left[ x^3 \right]_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}}$$

$$I = \frac{m}{3L} \left[ \left( \frac{L}{2} \right)^3 - \left( -\frac{L}{2} \right)^3 \right]$$

$$I = \frac{m}{3L} \left( \frac{L^3}{8} + \frac{L^3}{8} \right)$$

$$I = \frac{m}{3L} \left( \frac{L^3}{4} \right)$$

$$I = \frac{mL^2}{12} \tag{5}$$

Esta é a expressão do momento de inércia para uma barra com distribuição uniforme de massa.

### **Torque**

O torque fornece a medida quantitativa de como a ação de uma força pode produzir o movimento de rotação de um corpo.

Uma situação bem corriqueira é quando abrimos uma porta, a força aplicada na maçaneta ou próxima a ela é mais eficiente do que uma aplicada nas dobradiças. Então onde a força é aplicada tem uma importância crucial quando a intenção é produzir movimento rotatório.

Assim, o torque dependerá do ponto onde a força é aplicada em relação ao eixo de rotação.

$$\vec{\tau} = \vec{F} \times \vec{r} \quad (6)$$

$\tau$  É o torque,  $F$  é a força e  $r$  é a distancia entre a dobradiça (eixo de rotação) e a maçaneta onde a força esta sendo aplicada, tomando a porta como exemplo.

Assumindo, que  $F$  e  $r$  estão na mesma direção:

A unidade SI de torque é Newton - metro. Porém, o torque não é trabalho nem energia. E o torque deve ser expresso explicitamente como Newton – metro, e não joule.

#### **Segunda lei de Newton em sua forma Angular.**

A segunda lei de Newton fornece:

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (7)$$

Podemos expressar a aceleração em termos da aceleração angular  $\alpha$ :

$$a = r\alpha \quad (8)$$

Temos:

$$F = mra \quad (9)$$

Multiplicando ambos os membros por  $r$  obtemos:

$$Fr = mr^2\alpha \quad (10)$$

Observemos que o primeiro membro da equação é o torque resultante como temos na equação (6), e no segundo membro temos o momento de inércia resultante de acordo com (1). Logo:

$$\tau = I\alpha \quad (11)$$

Esta é a forma análoga da segunda lei de Newton para a rotação de um corpo rígido.

Da mesma forma que a segunda lei de Newton afirma que a força resultante sobre uma partícula é igual à sua massa multiplicada pela aceleração, a equação acima diz que o torque resultante sobre o corpo rígido é igual ao seu momento de inércia em relação ao eixo de rotação vezes sua aceleração angular.

Obs.: esta equação é válida apenas para corpos rígidos, se não a aceleração angular irá mudar para cada ponto do corpo e a equação muda. A aceleração angular deve ser em  $\frac{rad}{s^2}$ .

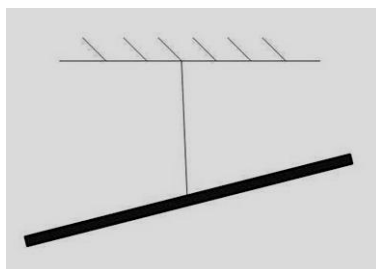
O torque resultante que atua em cada partícula é dado pela soma vetorial das forças internas e externas. No caso das forças internas sempre serão zero, já que ocorrem em pares com o mesmo valor e sentidos opostos. Então nesta expressão o torque resultante é o somatório dos torques das forças externas.

Dependendo da situação temos vários tipos de forças gerando torques.

### Pêndulo de torção

O pêndulo de torção é um exemplo de oscilador harmônico, caracterizado por um corpo rígido equilibrado.

Vamos considerar uma barra horizontal rígida suspensa em equilíbrio, por um fio vertical.



Se defletirmos a barra formando um ângulo pequeno em relação à posição de equilíbrio. Ocorrerá um torque sobre a barra. Por outro lado o fio exerce um torque restaurador proporcional ao ângulo de torção de tal modo:

$$\tau = -K\varphi \quad (12)$$

Está é a forma angular da lei de Hooke para a torção do fio, onde  $K$  é o módulo de torção do fio, que depende do seu comprimento, diâmetro e material. O sinal negativo indica que o torque está no sentido a trazer a barra para o ponto de equilíbrio. E  $\varphi$  é o ângulo formado pela barra na deflexão.

Pela segunda lei de Newton na forma angular, temos:

$$\tau = I\alpha = I\ddot{\varphi} \quad (13)$$

Substituindo (12) em (13) temos:

$$-K\varphi = I\ddot{\varphi} \quad (14)$$

Dividindo ambos os membros por  $I$ :

$$\ddot{\varphi} + \frac{K}{I}\varphi = 0 \quad (15)$$

E fazendo  $\omega^2 = \frac{K}{I}$ ,

$$\ddot{\varphi} + \omega^2\varphi = 0 \quad (16)$$

Onde  $\omega^2$  é o torque restaurador por unidade de deslocamento angular e de momento de inércia.

Podemos resolver a equação do segundo grau de duas maneiras possíveis, por diferencial aplicando uma regra de equações diferenciais ordinárias, ou integrando.

Escolhemos resolver integrando.

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \omega^2\varphi = 0$$

$$v_\varphi = \frac{d\varphi}{dt}$$

$$\frac{dv_\varphi}{dt} + \omega^2 \varphi = 0$$

$$\frac{dv_\varphi}{dt} = \frac{dv_\varphi}{d\varphi} \frac{d\varphi}{dt} = v_\varphi \frac{dv_\varphi}{d\varphi} \quad (17)$$

Substituindo (16) em (17) temos:

$$v_\varphi \frac{dv_\varphi}{d\varphi} + \omega^2 \varphi = 0 \quad (18)$$

Integrando,

$$\int v_\varphi dv_\varphi + \omega^2 \int \varphi d\varphi = 0$$

$$\frac{v_\varphi^2 - v_{\varphi_0}^2}{2} = -\omega^2 \left( \frac{\varphi_0^2 - \varphi^2}{2} \right)$$

Como,  $v_{\varphi_0} = 0$

$$d_\varphi = \pm \sqrt{2\omega^2 \left( \frac{\varphi_0^2 - \varphi^2}{2} \right)}$$

$$\int_{\varphi_0}^{\varphi} \frac{d\varphi}{\omega \sqrt{\varphi_0^2 - \varphi^2}} = \pm \int_0^t dt$$

$$\varphi = \varphi_0 \cos u$$

$$d\varphi = -d_0 \sin u du$$

$$\int du = \pm \omega t \quad \Rightarrow \quad u = \pm \omega t + \alpha$$

$$\varphi = \varphi_0 \cos(\pm \omega t + \alpha)$$

No caso em que  $t = 0$  e  $\varphi = \varphi_0$  temos.

$$\varphi_0 = \varphi_0 \cos \alpha \quad \Rightarrow \quad \alpha = 0$$

$$\varphi = \varphi_0 \cos(\pm \omega t)$$

Esta solução da equação nos garante que o movimento é harmônico simples, onde o sinal de  $\pm$  diz que o movimento oscila entorno de um ponto de origem.

## **Anexo 1**

### **Tradução do trabalho original do Cavendish**

Tradução de: Ana Paula Bispo da Silva

#### **Henry Cavendish e a medida da densidade da Terra**

Henry Cavendish nasceu em 10 de outubro de 1731 e foi o filho mais jovem do Lorde Charles Cavendish. Estudou em Cambridge, mas não chegou a se preparar para uma profissão. Após a morte de seu tio, ele se tornou possuidor de grande fortuna, e manteve-se afastado da vida pública e também da sociedade a que devotou suas atividades científicas. Ficou mais conhecido durante a vida como um químico, sendo considerado um dos responsáveis pela descoberta da composição da água e da existência do gás hidrogênio na natureza. Tornou público poucos trabalhos em física de maneira geral, e, na sua maioria preocupava-se mais com a parte experimental do que com a teoria. Tanto é que, entre seus trabalhos publicados, apenas um trata de teoria da eletricidade. Os demais envolviam a observação e realização de experimentos. Deixou vários manuscritos, que após sua morte foram conferidos e editados por Maxwell, quando foi possível constatar que Cavendish já havia feito importantes descobertas em eletricidade, e muitas antecipavam os resultados de Coulomb e Faraday.

Em seus trabalhos, publicados ou não, Cavendish tinha como influência principal a filosofia natural, buscando sempre as forças das partículas que regeriam os fenômenos. Esta influência é perceptível em todas as áreas da física e química que trabalho, como na concepção de calor, nos efeitos eletromagnéticos e na composição química das substâncias (McCormmach, 2007).

Morreu em Londres em 24 de fevereiro de 1810, sem ter se casado ou tido filhos.

O experimento em que relata sua tentativa de determinar a densidade da Terra, e que será apresentado aqui, foi publicado no *Philosophical Transactions*, v. 17, 1798. Trata-



se de uma das várias hipóteses que estavam sendo testadas no final do século 18 para encontrar a densidade da Terra, baseando-se na atração universal proposta por Isaac Newton nos *Principia*. Um primeiro trabalho sobre o assunto havia sido publicado por Nevil Maskelyne, astrônomo real britânico, em 1774, em que buscava a atração entre um pêndulo e uma montanha (Maskelyne, 1775). Tanto o experimento feito por Maskelyne, quanto o de Cavendish estão baseados na atração universal entre corpos proposta por Newton nos *Principia*, assim como outros experimentos realizados no mesmo período. A lei de atração universal, que diminui com o quadrado da distância entre duas massas, deveria ser considerada válida tanto para os corpos celestiais, regendo o movimento dos astros, quanto para corpos de pequena dimensão, como as esferas de aço que são utilizadas por Cavendish. Muitos destes experimentos podem ser encontrados em periódicos dedicados à história da astronomia ou geologia.

O experimento que Cavendish aprimora foi inicialmente proposto pelo Reverendo John Michell (1724-1793), um professor de Cambridge, com quem Cavendish manteve contato por vários anos (McCommarch, 1968). Comum para Michell e Cavendish eram a filosofia natural e a busca por entender as forças que regiam os fenômenos, assim como proposto por Newton. Entre os vários experimentos em que buscava encontrar a força de atração universal, Michell propôs medir a atração entre duas pequenas esferas com massas determinadas acuradamente, o que o próprio Newton havia alegado não funcionar (McCommarch, 1968, p.154). Fixas nos braços de uma balança de torção, duas esferas móveis são atraídas por duas esferas fixas, fazendo oscilar a balança. O período de oscilação permite encontrar a força de atração, de onde pode-se deduzir a densidade da Terra.

No entanto, o próprio Michell não chegou a encontrar os resultados de seu experimento, falecendo sem finalizá-lo. Cavendish propõe-se a finalizar o experimento, fazendo modificações para tornar o equipamento o mais preciso possível, isolando-o de correntes de ar, variações térmicas, elétricas, etc., uma vez que a sensibilidade da balança deveria ser grande para que se verificasse a atração entre as bolas. Após várias modificações, Cavendish encontra a densidade da Terra como sendo, aproximadamente,

5 vezes a densidade da água, o que concordava com as previsões de Newton nos *Principia*.

Incluimos na tradução as notas de rodapé do autor, que podem esclarecer alguns detalhes quanto ao próprio experimento e quanto a outros trabalhos que estavam sendo feitos no mesmo período. Tais notas estão precedidas por [C].

### **EXPERIMENTOS PARA DETERMINAR A DENSIDADE DA TERRA**

Muitos anos atrás, o Rev. John Michell, desta Sociedade, chegou a elaborar um método de determinar a densidade da terra, pela interpretação da atração sensível de pequenas quantidades de matéria; mas, como ele estava envolvido em outras buscas, não completou o aparato até pouco antes de sua morte, e não viveu para fazer qualquer experimento com ele. Depois de sua morte, o aparato veio para o Rev. Francis John Hyde Wollaston, professor em Cambridge, que, não tendo conveniências para fazer experimentos com ele, da maneira que gostaria, foi tão bom em me dar. O aparato é muito simples; consiste de um braço de madeira, 6 pés<sup>12</sup> de comprimento, feito de tal modo a unir grande força com pouco peso. Este braço é suspenso em uma posição horizontal, por um fio fino de 40 polegadas<sup>13</sup> de comprimento, e a cada extremidade é pendurada uma bola de chumbo, com 2 polegadas de diâmetro; e todo o aparelho está dentro de uma caixa de madeira estreita, para protegê-lo do vento.

Como nenhuma força é requerida para fazer este braço girar em torno de seu centro, além da que é necessária para torcer o fio suspenso, é evidente que se o fio é suficientemente fino, a mínima força, tal como a atração de um peso de chumbo com poucas polegadas de diâmetro, será suficiente para girar o braço sensivelmente para o

---

<sup>12</sup> 1 pé equivale a 0,348 metros

<sup>13</sup> 1 polegada equivale a 2,54 centímetros.

lado. Os pesos que o Sr. Michell pretendia usar, tinham 8 polegadas de diâmetro. Um deles era para ser localizado de um dos lados da caixa, oposto a uma das bolas, e tão próximo quanto poderia convenientemente ser feito, e a outra do outro lado, oposta a outra bola, tal que a atração de ambas por estes pesos conspiraria em girar o braço para o lado; e então nesta posição, como afetado por estes pesos, era certo, os pesos era removidos para o outro lado da caixa, de modo a girar o braço para o lado contrário, e a posição do braço era novamente determinada; conseqüentemente, metade da diferença destas posições mostraria quanto o braço gira para o lado devido à atração dos pesos. Para determinar a partir disto a densidade da terra, é necessário se certificar da força necessária para girar o braço para o lado através de um dado espaço. Isto o Sr. Michell pretendia fazer, pondo o braço em movimento, e observando o tempo de suas vibrações, do que pode ser facilmente determinado<sup>14</sup>.

Sr. Michell preparou 2 pedestais de madeira, sobre o quais os pesos de chumbo eram postos, e empurrados de volta, até que eles quase tocassem a caixa; mas ele parecia pretender move-los com a mão. Como a força com a qual as bolas são atraídas por esses pesos é excessivamente pequena, não mais que  $1/50000000$  de seu peso, é previsto que qualquer força mínima de perturbação será suficiente para destruir o sucesso do experimento; e como parecerá do experimento seguinte, a força de perturbação mais difícil de proteger, é aquela vindo das variações de calor e frio; pois se um lado da caixa está mais aquecido que o outro, o ar em contato com ele será rarefeito, e em consequência subirá, enquanto que do outro lado descera e produzirá uma corrente que deslocará o braço para o lado<sup>15</sup>.

---

<sup>14</sup> [C] Sr. Coulomb tem, em diferentes casos, usado um equipamento deste tipo tentando pequenas atrações; mas Sr. Michell me informou de sua intenção de fazer este experimento, e o método que pretendia usar, antes da publicação de qualquer experimento do Sr. Coulomb.

<sup>15</sup>[C] Sr. Cassini, observando a variação da bússola localizada no Observatório (e que foi construída de tal maneira que a todo minuto muda de posição visível, e cuja agulha estava suspensa por um fio de seda), verificou que parando próximo à caixa, para observar, deslocava sensivelmente a agulha para o lado; o que não tenho dúvidas que tenha sido causado por uma corrente de ar. Deve-se notar que esta caixa-

Como eu estava convencido da necessidade de evitar esta fonte de erro, resolvi colocar o aparato em uma sala que permaneceria constantemente fechada, e observar o movimento do braço fora dela, através de um telescópio; e para suspender os pesos de chumbo de tal forma, que eu poderia movê-los sem entrar na sala. Esta diferença na maneira de observar levou à algumas modificações no aparato do Sr. Michell; e como havia algumas partes dele que eu achei que não eram tão convenientes quanto eu desejava, escolhi fazer a maior parte dele novamente.

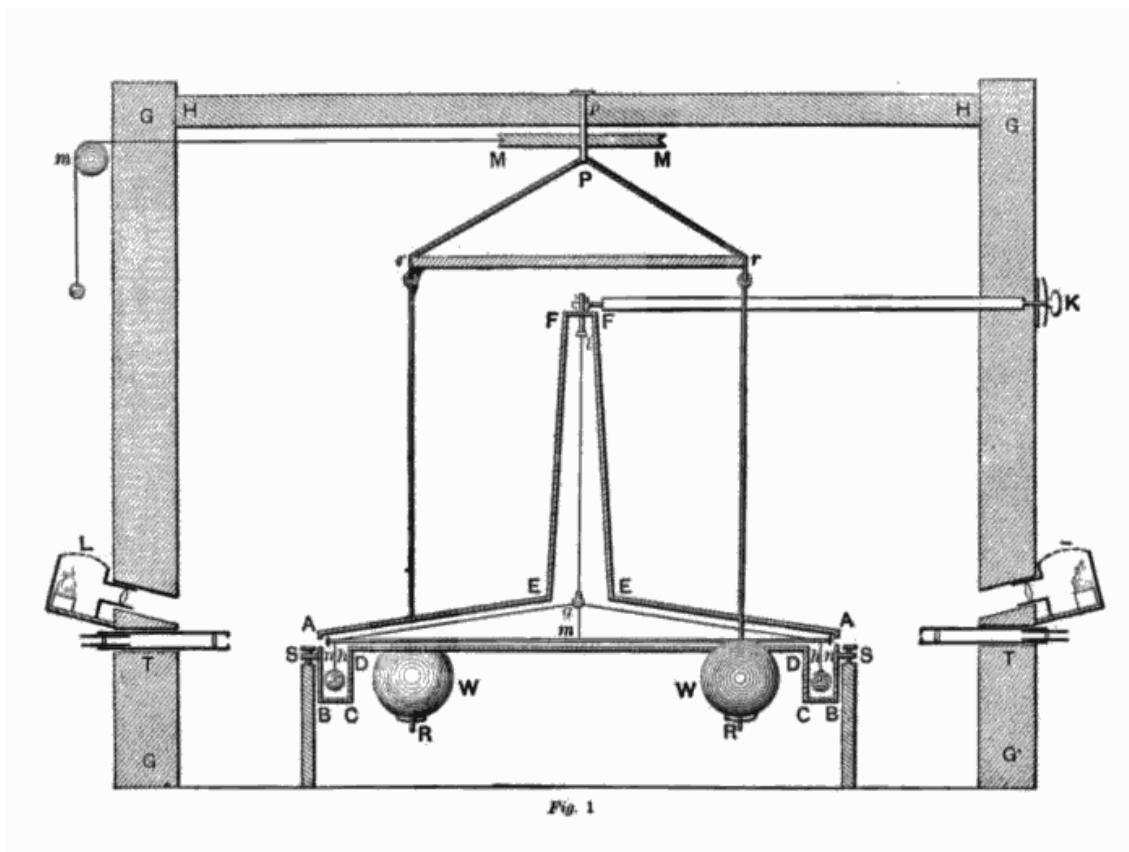


Figura 1: Aparato de Cavendish para determinar a densidade da terra.

---

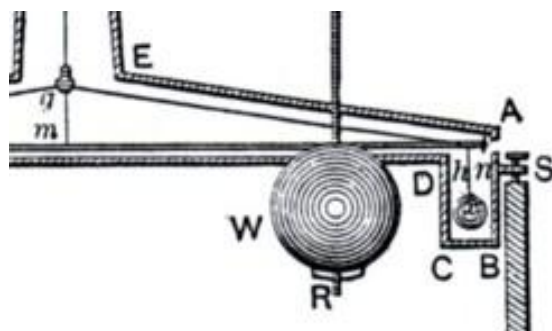
bússola era de metal, que transmite calor mais rápido que a madeira, e também que estava bem afundada; ambas são causas para aumentar a corrente de ar. Para diminuir o efeito desta corrente, é muito importante que ao fazer a caixa, onde se colocará a agulha, não se aprofunde mais que o necessário evitar que a agulha toque o fundo ou o tampo superior.

A figura 1 é uma seção vertical longitudinal do instrumento e da armação onde ele está localizado: *ABCDDCBAEFFE* é a caixa; *x* e *x* são as duas bolas, que estão suspensas pelos fios *hx* do braço *ghmh*, o qual está suspenso pelo fio fino *gl*. Este braço consiste de uma fina varinha *hmh*, segura por um fio de prata *ghg*; o que significa que ele é feito forte o suficiente para suportar as bolas, ainda que seja muito leve<sup>16</sup>.

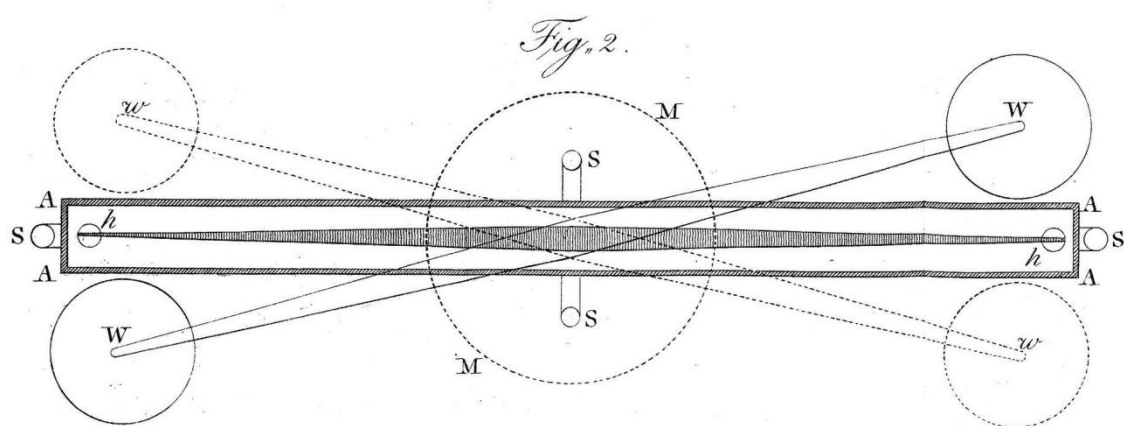
A caixa é suportada e mantida horizontal, por 4 parafusos, repousando sobre pontos fixos firmemente no chão: 2 deles estão representados na figura, por *S* e *S*; os outros dois não estão representados para evitar confusão. *GG* e *GG* são as paredes finais da montagem. *W* e *W* são os pesos de chumbo; que estão suspensos por varas de cobre *RrPrR*, e a barra de madeira *rr*, de pino central *Pp*. Este pino passa através de um buraco na viga *HH*, perpendicularmente através do centro do instrumento, e gira ao redor dele, prevenindo a queda através da chapa *p*. *MM* é uma polia, afastada deste pino; e *Mm* uma corda que passa na polia, e passa através da parede fina; através da qual o observador pode rodá-la e mover os pesos para uma situação ou outra.

---

<sup>16</sup> [C] A vara [do braço] do Sr. Michell era totalmente de madeira, e muito mais forte e resistente que esta, ainda que não muito mais pesada; mas, como a desaprovei quando a vi, escolhi fazer outra, e a preferi assim, parcialmente por ser mais fácil para construir e ter menos resistência contra o ar, e parcialmente porque sendo de um tipo menos complicado, eu poderia determinar facilmente quanto ela era atraída pelos pesos.



Tradutor: Detalhe da montagem da figura 9



**Figura 2:** Vista superior do aparato de Cavendish. As bolas de massa  $m$  estão fixas na posição  $h$ , enquanto os pesos oscilam entre  $w$  e  $w'$ .

A figura 2 é um plano do instrumento. *AAAA* é a caixa; *SSSS* os 4 parafusos que a suportam; *hh* o braço e bolas. *W* e *W* os pesos; *MM*, a polia para movê-los. Quando os pesos estão nesta posição, ambos conspiram para girar o braço na direção *hW*; mas quando eles são movidos para a situação *w* e *w*, representada pelas linhas pontilhadas, ambos conspiram para girar o braço na direção contrária *hw*. Estes pesos são contidos para não bater no instrumento, por pedaços de madeira, que os detêm assim que eles estejam a 1/5 de polegada da caixa. Os pedaços de madeira estão fixos na parede da montagem; e eu suponho que os pesos podem bater contra eles com considerável força, sem balançar sensivelmente o instrumento.

Para determinar a situação do braço, tiras de marfim são colocadas no interior da caixa, cada uma tão próxima do braço quanto é possível sem o perigo de tocá-lo, e são divididas em 20 partes de uma polegada. Outra pequena tira de mármore é colocada em cada fim do braço, servindo como um vernier, e subdividindo estas divisões em 5 partes; tal que a posição do braço pode ser observada com facilidade até a centésima parte de uma polegada, e pode ser estimada a menos. Estas divisões são vistas por pequenos telescópios *T* e *T*, fig. 1, através de fendas cortadas no final da caixa, e tampadas com vidro; elas são iluminadas pelas lâmpadas *L* e *L*, com lentes convexas, localizadas de modo a levar luz para as divisões; nenhuma outra luz é admitida na sala. As divisões das tiras de mármore correm na direção *Ww*, fig. 2, tal que quando os pesos estão localizados nas posições *w* e *w*, representadas pelos círculos pontilhados, o braço é deslocado para o lado, em tal direção como para fazer o ponto índice o número mais alto nas tiras de mármore; por esta razão, eu chamo esta a posição positiva dos pesos.

*FK*, fig. 1, é uma vara de madeira, que, por meio de um parafuso sem fim, roda o suporte pelo qual o fio *gl* é preso, e então possibilita o ao observador rodar o fio, até que o braço fique no meio da caixa, sem perigo de tocar o outro lado. O fio *gl* é apertado neste suporte em cima, e no centro do braço embaixo, por grampos de latão, no qual ele está preso por parafusos. Nestas duas figuras, as partes estão desenhadas nas respectivas proporções, numa escala de 1 para 13.

Antes de prosseguir com o experimento, é melhor dizer algo sobre a maneira de observar. Suponha que o braço esteja em repouso e sua posição seja observada, deixe os pesos movê-lo, o braço não somente irá para o lado oposto, como também vibrará, e estas vibrações continuarão por um intervalo de tempo; tal que, para determinar quanto o braço se desloca lateralmente, é necessário observar os pontos extremos de vibração, e a partir destes, determinar o ponto no qual repousaria se seu movimento fosse interrompido, ou o ponto de repouso, como eu chamarei. Para fazer isto, observo três pontos extremos sucessivos de vibração e considero a média entre o primeiro e o terceiro destes pontos, como o ponto extremo de vibração em uma direção, e então assumo a média entre este e o segundo ponto extremo, como o ponto de repouso; assim, como as vibrações vão continuamente diminuindo, é evidente que a média entre dois pontos extremos não dará o verdadeiro ponto de repouso.

Pode ser pensado como mais exato observar muitos pontos extremos de vibração, então encontrar o ponto de repouso por diferentes grupos de três extremos, e aí obter o valor médio; mas deve ser observado que, não obstante todas as medidas tomadas para prevenir outras forças perturbadoras, o braço quase nunca permanecerá perfeitamente em repouso por toda uma hora; por esta razão é melhor determinar o ponto de repouso a partir<sup>4</sup> de observações feitas o mais breve possível do início do movimento do braço.

O próximo dado a se determinar é o tempo de vibração, que eu faço da seguinte maneira: observo dois pontos extremos de uma vibração, e também o tempo com que o braço chega a duas divisões dadas entre estes extremos, tomando cuidado, tanto quanto posso, que estas divisões estejam em lados diferentes do ponto médio, e não muito longe dele. Então determino o ponto médio da vibração, e, por proporção, encontro o tempo que o braço leva para chegar ao ponto médio. Então, após um número de vibrações, repito esta operação, e divido o intervalo de tempo, entre o tempo de vinda do braço para estes dois pontos médios, pelo número de vibrações, o que fornece o tempo de uma vibração.



[Cavendish apresenta a seguir várias tabelas com os dados obtidos e os 17 experimentos que faz com variações na espessura do fio. Em uma destas variações, utilizou um fio tão fino que o tempo de vibração foi de aproximadamente 15 minutos. O tempo de vibração nos demais experimentos ficou em torno de 7 minutos. Utilizando os resultados encontrados de tempo e ângulo e uma série de razões e proporções, Cavendish determina a densidade. O fato de não fazer uso de equações ou unidades dimensionais torna a leitura da determinação da densidade muito complexa, como veremos a seguir].

*Sobre o método de determinar a densidade da Terra a partir destes experimentos*

Deverei determinar isto, supondo que o braço e as varas de cobre não possuem peso, e que os pesos não exercem atração sensível, com exceção na bola mais próxima; deverei então examinar que correções são necessárias, em relação aos braços e varas, e algumas outras pequenas causas.

A primeira coisa é encontrar a força necessária para deslocar o braço lateralmente, a qual, como já foi dito, é determinada a partir do tempo de vibração.

A distância entre os centros das duas bolas é 73,3 polegadas, portanto a distância entre as bolas e o centro do movimento é 36,65, e o comprimento de um pêndulo vibrando em segundos, nesta condição, é 39,14; portanto, se a dureza do fio em que o braço está suspenso é tal, que a força que deve ser aplicada em cada bola, para que o braço se desloque de um ângulo A, está para o peso daquela bola assim como o arco de A está para o raio, o braço vibrará com o mesmo tempo de um pêndulo cujo comprimento é 36,65 polegadas, ou seja em  $\sqrt{\frac{36,65}{39,14}}$  segundos; e portanto, se a dureza do fio é tal que o

faz vibrar em  $N$  segundos, a força que deve ser aplicada a cada bola, para fazer com que o braço desloque lateralmente de um ângulo  $A$ , está para o peso de cada bola como o arco de  $A \times \frac{1}{N^2} \times \frac{36,65}{39,14}$  para o raio. Mas a escala de mármore, no fim do braço, está a 38,3 polegadas do centro do movimento, e cada divisão é  $1/20$  de uma polegada, e portanto compreende um ângulo no centro, cujo arco é  $1/766$ ; e portanto a força que deve ser aplicada a cada bola, para deslocar de uma divisão o braço, está para o peso da bola como  $\frac{1}{766N^2} \frac{36,65}{39,14}$  para 1, ou como  $\frac{1}{818N^2}$  para 1.

O próximo passo é encontrar a proporção entre a atração do peso sobre a bola e aquela da terra sobre a bola, supondo que a bola está localizada no meio da caixa, ou seja, não está muito próxima de nenhum dos lados. Quando os pesos são aproximados das bolas, seus centros estão 8,85 polegadas distantes da linha média da caixa; mas por precaução, a distância de cada um deles, das varas que suportam estes pesos, foi feita igual à distância entre os centros das bolas, ainda que isso seja um pouco maior. Em consequência disto, os centros dos pesos não estão exatamente opostos aqueles das bolas, quando eles se aproximam simultaneamente; e o efeito dos pesos, no deslocamento lateral do braço, é menor do que seria de outra maneira, na razão triplicada de  $\frac{8,85}{36,65}$  para a corda do ângulo cujo seno é  $\frac{8,85}{36,65}$ , ou na razão triplicada do cosseno de  $\frac{1}{2}$  deste ângulo para o raio, ou na razão de 0,9779 para 1.

Cada uma dos pesos pesa 2439000 grãos<sup>17</sup>, e, portanto, é igual em peso a 10,64 pés esféricos<sup>18</sup> de água; e portanto sua atração sobre uma partícula localizada no centro da bola, está para a atração de um pé cúbico de água sobre uma partícula igual localizada na sua superfície, como  $10,64 \times 0,9779 \times \left(\frac{6}{8,85}\right)^2$  para 1. O diâmetro médio da terra é

---

<sup>17</sup> “Grãos” é unidade de massa e 1 grão (1 gr) equivale a 0,064 gramas.

<sup>18</sup> “pés esféricos” corresponde a unidade de volume (pés cúbicos) e 1 pé esférico equivale a 28,32 litros.

41800000 pés<sup>19</sup>; portanto, se a densidade média da terra está para a da água como D está para 1, a atração do peso de chumbo sobre a bola estará para aquela que a terra exerce, como  $10,64 \times 0,9779 \times \left(\frac{6}{8,85}\right)^2$  para 41800000 D :: 1 para 8739000 D.

[Cavendish faz novas aproximações e cálculos baseado nos resultados encontrados nas tabelas anteriores seguindo o raciocínio descrito; corrige alguns fatores que podem influenciar no resultado final, como: o efeito da resistência do braço ao movimento, a atração entre os pesos e os braços, a atração da caixa sobre as bolas, etc.; e encontra alguns valores para a densidade da terra, o que lhe permite chegar a uma conclusão final].

Desta tabela parece que embora os experimentos concordem muito bem, a diferença entre eles, seja na quantidade de movimento do braço ou no tempo de vibração, é maior do que poderia acontecer meramente a partir de erros de observação. A diferença no movimento do braço pode ser bem explicada a partir da corrente de ar produzida pela diferença de temperatura; mas para explicar a diferença no tempo de vibração, isto é duvidoso. Se a corrente de ar era regular, e de mesma rapidez em todas as partes de vibração da bola, eu penso que não poderia explicar; mas como pode haver irregularidade na corrente, pode muito bem ser suficiente para explicar a diferença.

Através dos experimentos feitos com o primeiro fio usado, a densidade da terra parece ser 5,48 vezes maior que a da água; e através daqueles feitos com o último fio, ela parece a mesma; e a diferença extrema dos resultados das 23 observações feitas com este fio, é somente 0,75; tal que os resultados extremos não diferem de significado por

---

<sup>19</sup> [C] Estritamente, deveríamos considerar, no lugar do diâmetro médio da terra, o diâmetro daquela esfera cuja atração é igual à força da gravidade nestas condições, mas a diferença não é relevante.

mais que 0,38, ou 1/14 do todo, e portanto a densidade poderia então ser determinada com grande exatidão. Pode, entretanto, ser observado que como os resultados parecem ser influenciados pela corrente de ar, ou por alguma outra causa, das quais as leis não são bem conhecidas, esta causa pode ser sempre, ou comumente, na mesma direção, e então fazer um considerável erro no resultado. Mas ainda, como os experimentos são feitos em várias estações [de tempo], e com uma variedade considerável na diferença de temperatura dos pesos e do ar, e com o braço repousando a diferentes distâncias dos lados da caixa, parece muito improvável que esta causa deveria atuar tão uniformemente do mesmo modo, como para fazer o erro do resultado aproximadamente igual a diferença entre este e o extremo; e portanto parece muito improvável que a densidade da terra diferiria de 5,48 por mais que 1/14 do todo.

Outra objeção talvez possa ser feita a estes experimentos, a saber, que eles são incertos se, nestas pequenas distâncias, a força da gravidade segue exatamente a mesma lei que em grandes distâncias. Não há razão, entretanto, para pensar que qualquer irregularidade deste tipo tem lugar, até que os corpos sofram a ação do que é chamado atração de coesão, e que parece se estender somente a distâncias muito pequenas. Com a intenção de ver se o resultado poderia ser afetado por esta atração, eu fiz os experimentos 9, 10, 11 e 15, nos quais as bolas estão em repouso tão próximas dos lados das caixas quanto elas poderiam; mas não há diferença dependente disso, entre os resultados sob tais circunstâncias, e quando as bolas estão localizadas em qualquer outra parte da caixa.

De acordo com os experimentos feitos pelo Dr. Maskelyne, sobre a atração da montanha Schehallian, a densidade da terra é  $4 \frac{1}{2}$  vezes a da água; o que difere mais da precedente determinação do que eu teria esperado. Mas eu me contarei em entrar em qualquer consideração sobre qual determinação é mais dependente [das condições], até que eu tenha examinado mais cuidadosamente quanto da determinação precedente é afetada por irregularidades cujas quantidades não posso medir.