



SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA – CCT
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA - POLO 49**

SONAIRA RODRIGUES MOURA

**CONTRIBUIÇÕES DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA “O PLANETA TERRA” PARA O
ENSINO DE ASTRONOMIA E ASTROFÍSICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA**

**SANTARÉM-PA
2024**

SONAIRA RODRIGUES MOURA

**CONTRIBUIÇÕES DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA “O PLANETA TERRA” PARA O
ENSINO DE ASTRONOMIA E ASTROFÍSICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA**

Dissertação apresentada ao Polo 49 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Sociedade Brasileira de Física da Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA como requisito à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof.Dr. João Roberto Pinto Feitosa

Coorientador: Prof. Dr. Marcos Gervânio de Azevedo Melo.

**SANTARÉM-PA
2024**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

M929c Moura, Sonaira Rodrigues

Contribuições da sequência didática “o planeta terra” para o ensino de astronomia e astrofísica na educação básica / Sonaira Rodrigues Moura. – Santarém, 2024.

122 p.

Inclui bibliografias.

Orientação: João Roberto Pinto Feitosa; Coorientação: Marcos Gervânio de Azevedo Melo.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Ciências da Educação (ICED), Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF).

1. Astronomia - Estudo e ensino. 2. Astrofísica - Estudo e ensino. 3. Sequência didática. I. Feitosa, João Roberto Pinto, *orient.* II. Melo, Marcos Gervânio de Azevedo, *coorient.* III. Título.

CDD: 23 ed. 520.7

Bibliotecária - Documentalista: Mayco Ferreira Chaves – CRB/2 1357

SONAIRA RODRIGUES MOURA

CONTRIBUIÇÕES DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA “O PLANETA TERRA” PARA O ENSINO DE ASTRONOMIA E ASTROFÍSICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física com o objetivo de aprovação do título de Mestre em Ensino de Física; Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA; Área de concentração: Astronomia e Astrofísica na Educação Básica.

Conceito: Aprovada.

Data de Aprovação 16 / 02 / 2024.

Prof. Dr. João Roberto Pinto Feitosa
Orientador e presidente/MNPEF – Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA)

Prof. Dr. Marcos Gervânio de Azevedo Melo
Coorientador/MNPEF – Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA)

Prof. Dr. Emerson Silva de Sousa
Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA)

Profa. Dr. Lilian Cristiane Almeida dos Santos
Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA)

Dedico este trabalho a Deus, nosso Pai Maior, a todos os santos, guias e protetores por iluminarem meu caminho, meus pais e todos os professores que contribuíram para meu sucesso educacional e pessoal durante essa jornada, pela contribuição, paciência, carinho e dedicação.

AGRADECIMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001, a qual agradeço pelo apoio financeiro.

Agradeço aos meus pais, Sr. José Maria Camelo de Moura e Dona Rosineide Rodrigues de Moura, pela educação e amor a mim concedidos em todos os momentos, por sempre me apoiarem e torcerem pelo meu sucesso.

À minha tia Yolanda Pereira de Jesus, a qual foi a primeira em me incentivar a cursar o mestrado e nunca desistir dele, sempre com palavras de encorajamento e torcendo pelo meu sucesso profissional.

Ao Prof. Dr. Carlos José Freire Machado e Prof.^a Dr.^a Nilzilene Gomes de Figueredo, que em um dos momentos mais difíceis durante o percurso deste curso se fizeram presentes, demonstrando serem além de professores, grandes amigos, incentivando com suas sábias palavras a seguir em frente.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. João Roberto Pinto Feitosa e Prof. Dr. Marcos Gervânio de Azevedo Melo, que com paciência e compreensão sempre me orientaram com profissionalismo, apresentando sugestões que foram de suma importância para minha qualificação profissional e aprimorar as ideias desenvolvidas neste trabalho.

Aos Coordenadores, Professores e demais membros do Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal do Oeste do Pará que viabilizaram toda a operacionalização do Curso.

A todos que, direta ou indiretamente me apoiam e contribuíram para a concretização deste Curso.

É esta força misteriosa, às vezes chamada vocação, que explica a quase devoção com que a grande maioria do magistério nele permanece, apesar da imoralidade dos salários. E não apenas permanece, mas cumpre, como pode, seu dever. Amorosamente, acrescento. Mas é preciso, sublinho, que, permanecendo e amorosamente cumprindo o seu dever, não deixe de lutar politicamente por seus direitos e pelo respeito à dignidade de sua tarefa, assim, como pelo zelo devido ao espaço pedagógico em que atua com seus alunos (FREIRE, 2018, p. 73).

RESUMO

O experimento conduzido por Eratóstenes marcou a história da forma do nosso planeta. Assim sendo, a problematização da pesquisa busca entender: Quais as contribuições da experiência de Eratóstenes, na compreensão da forma da Terra, quando replicada por alunos do ensino fundamental? A partir disso, proporcionar ao professor condições que facilitem as atividades de aprendizagem pautadas na estratégia da ordem didática, levando em consideração suas experiências, sugestões profissionais, oportunizando a participação efetiva em sua construção e promovendo a aprendizagem do aluno. Para tanto, desenvolve-se uma sequência didática em uma turma do 4º ano ensino fundamental que buscou contribuir para o processo de ensino-aprendizagem em aulas de ciências utilizando o ensino por meio dos três momentos pedagógicos, estruturados por Delizoicov; Angotti e Pernambuco (2002). Foi utilizado como instrumento de informação um diário de bordo, questionário com questões abertas, elementos iconográficos como imagens, sons e vídeos das ações relacionadas nas etapas de aplicação. Diante disso, o estudo finalizado traz reflexões, sobre algumas ações para que outras possam acontecer refinadas e redirecionadas, uma vez que os resultados apontam indícios de evolução dos conhecimentos dos discentes, após a aplicação da sequência didática desse estudo.

Palavras-chave: Sequência didática. Ensino de Astronomia e Astrofísica. Experimento na Alfabetização Científica.

ABSTRACT

The experiment conducted by Eratosthenes marked the history of the shape of our planet. Therefore, the problematization of the research seeks to understand: What are the contributions of Eratosthenes' experience, in understanding the shape of the Earth, when replicated by elementary school students? From this, provide the teacher with conditions that facilitate learning activities based on the didactic strategy, taking into account their experiences and professional suggestions, providing opportunities for effective participation in their construction and promoting student learning. To this end, a didactic sequence was developed in a 4th year elementary school class that sought to contribute to the teaching-learning process in science classes using teaching through the three pedagogical moments, structured by Delizoicov; Angotti and Pernambuco (2002). A logbook, questionnaire with open questions, iconographic elements such as images, sounds and videos of the actions related in the application stages were used as an information instrument. In view of this, the finished study brings reflections on some actions so that others can be refined and redirected, since the results point to signs of evolution in students' knowledge, after applying the didactic sequence of this study.

Keywords: Didactic sequence. Teaching Astronomy and Astrophysics. Experiment in Scientific Literacy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa-múndi TO.....	23
Figura 2 - As esferas da terra, da água, do ar e do fogo.....	23
Figura 3 - A teoria das esferas e dos antípodas.....	24
Figura 4 - Globo terrestre mais antigo conhecido (1507).....	25
Figura 5 - Globo celeste do século X da época do domínio muçulmano do sul da península Ibérica.....	25
Figura 6 - Interpretação do solstício de verão na cidade de Siena ao meio-dia em relação a Alexandria.....	27
Figura 7 - Interpretação do ângulo da sombra ao meio-dia por Eratóstenes.....	28
Figura 8 - Representação do esforço cognitivo para entender cosmicamente a Terra a partir da perspectiva cotidiana.....	31
Figura 9 - Modelo mecânico do Sistema Solar, chamado planetário.....	45
Figura 10 - Uma elipse é o lugar geométrico dos pontos para os quais $r_1 + r_2$ constante. A distância a é chamado de semieixo maior, e b é o semieixo menor.....	47
Figura 11 - A trajetória elíptica de um planeta com o Sol em um dos focos.....	47
Figura 12 - Quando um planeta está próximo do Sol, ele se move mais rapidamente do que quando está mais afastado. As áreas (representadas por A) varridas pela linha que liga os centros do Sol e do planeta, durante um dado intervalo de tempo Δt	48
Figura 13 - Partículas nas posições \vec{r}_1 e \vec{r}_2	49
Figura 14 - Partículas exercem forças iguais e opostas uma sobre as outras.....	50
Figura 15 - A Terra vista da Apollo 11, orbitando a Lua em 16 de julho de 1969.....	53
Figura 16 - Balança de torção de Cavendish.....	54
Figura 17 - Kepler (Lei dos campos iguais) mostrou que um planeta leva o mesmo tempo para se mover de A até B e de C para D. As áreas azuis têm o mesmo tamanho.....	56
Figura 18 - Escola Izolina D'Assunção Lopes Valente.....	70
Figura 19 - Realização do experimento: Itajaí-SC, Manaus-AM e Alenquer-PA.....	72
Figura 20 - Alunos presentes no primeiro dia da aplicação da sequência didática (Problematização Inicial)	75
Figura 21 - Os discentes respondendo o questionário diagnóstico.....	76
Figura 22 - Os discentes assistindo ao vídeo: "Planeta Terra"	76

Figura 23 - Registro de uma das equipes no momento de leitura da apostila sobre: Gravidade.....	77
Figura 24 - Registro enviado via WhatsApp pela mãe da aluna, momento que ela tentava realizar o experimento de Eratóstenes.....	78
Figura 25 - Modelo plano.....	80
Figura 26 - Modelo esférico.....	81
Figura 27 - Questionário - Problematização Inicial.....	81
Figura 28 - Vídeo: Planeta Terra.....	82
Figura 29 - Vídeo: Gravidade.....	83
Figura 30 - Questionário para verificar o conhecimento dos discentes.....	84
Figura 31 - Relato escrito feito por aluno representando sua resposta à segunda pergunta do questionário final.....	89
Figura 32 - Relato escrito feito por aluno representando sua resposta à primeira pergunta do questionário final.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Níveis de evolução da concepção sobre a forma da Terra segundo a mudança dos três elementos essenciais dessas concepções.....	32
Tabela 2 - Dimensões da Alfabetização Científica para Shen (1975).....	33
Tabela 3 - Os três momentos pedagógicos (3MP).....	37
Tabela 4 - Raios médios Orbitais e Períodos Orbitais dos Planetas.....	46
Tabela 5 - Desenvolvimento do experimento de Erastóstenes nas cidades de: Alenquer-PA, Manaus-AM e Itajaí-SC.....	72

LISTA DE SIGLAS

3MP	Três Momentos Pedagógicos
AC	Alfabetização Científica
AC	Aplicação do Conhecimento
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CTS	Ciência, Tecnologia e Sociedade
EC	Estudo Científico
ER	Estudo da Realidade
IR	Investigação da Realidade
OC	Organização do Conhecimento
SD	Sequência Didática
TP	Trabalho Prático
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
USP	Universidade de São Paulo

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação - 01	46
Equação - 02	48
Equação - 03	49
Equação - 04	50
Equação - 05	50
Equação - 06	51
Equação - 07	51
Equação - 08	51
Equação - 09	52
Equação - 10	55
Equação - 11	55
Equação - 12	57
Equação - 13	57
Equação - 14	58
Equação - 15	58
Equação - 16	58
Equação - 17	58
Equação - 18	59
Equação - 19	59
Equação - 20	60
Equação - 21	60
Equação - 22	62
Equação - 23	63
Equação - (24 a).....	63
Equação - (24 b).....	63
Equação - 25	63
Equação - (26 a).....	64
Equação - (26 b).....	64
Equação - 27	64
Equação - 28	65
Equação - 29	65
Equação - 30	67

Equação - 31	67
Equação - 32	67
Equação - 33	67
Equação - 34	68

LISTA DE QUADRO

Quadro 1 - Respostas mais relevantes referente do questionário final.....	88
---------------------------------------------------------------------------	----

LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1 - Você conhece algumas experiências que mostre evidências sobre a forma da Terra?.....	85
Gráfico 2 - O que você entende sobre gnômon e rosa dos ventos?.....	86
Gráfico 3 - De que maneira, as forças gravitacionais influenciam na forma da Terra?.....	87
Gráfico 4 - O que você ainda gostaria de falar sobre o planeta Terra?.....	87

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	20
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	22
2.1 Compreensão histórica da forma da Terra.....	22
2.2 Como Eratóstenes encontrou o raio da Terra?.....	27
2.3 Capacidade criativa das crianças em relação a forma do planeta Terra.....	29
2.4 Alfabetização científica.....	33
2.5 Os três momentos pedagógicos na sequência didática.....	35
2.6 Elencando sobre sequência didática.....	42
3 FUNDAMENTOS FÍSICOS: GRAVIDADE.....	44
3.1 Compreensão referente a atração gravitacional da Terra.....	44
3.2 As leis de Kepler.....	45
3.2.1 Primeira lei de Kepler.....	46
3.2.2 Segunda lei de Kepler.....	47
3.2.3 Terceira lei de Kepler.....	48
3.3 A lei da Gravitação de Newton.....	48
3.3.1 A medição de G.....	53
3.3.2 Massas Gravitacional e Inercial.....	54
3.3.3 Dedução das leis de Kepler.....	56
3.4 Energia Potencial Gravitacional.....	59
3.4.1 Velocidade de Escape.....	60
3.4.2 Classificação das Órbitas pela Energia.....	61
3.5 O Campo Gravitacional \vec{g}.....	62
3.5.1 O campo \vec{g} de uma Casca Esférica e o de uma Esfera Maciça.....	62
3.5.2 O campo \vec{g} no Interior de uma Esfera Maciça.....	65
3.6 Determinação do Campo Gravitacional de uma Casca Esférica Através de um Processo de Integração.....	66
4 ENCAMINHAMENTOS METODOLÓGICOS.....	69
4.1 Campo da pesquisa.....	70
4.2 Os alunos, sujeitos da pesquisa.....	71
4.3 Realização do experimento de Eratóstenes.....	71
4.4 Descrevendo o Experimento.....	73
4.5 Tipo de pesquisa.....	73

4.6 Os procedimentos abordados.....	74
4.7 Falando dos instrumentos de coleta de dados e da análise.....	79
5 SOCIALIZANDO A SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	80
5.1 Primeiro Momento Pedagógico.....	80
5.1.1 A Terra é plana ou esférica?.....	80
5.1.2 Questionário Diagnóstico.....	81
5.2 Segundo Momento Pedagógico.....	82
5.2.1 Apresentação do Vídeo: Planeta Terra.....	82
5.2.2 Apostila: Trabalhando conteúdo conceitual.....	82
5.2.3 Apresentação do Vídeo: Gravidade do Planeta Terra.....	83
5.3 Terceiro momento pedagógico.....	83
5.3.1 Desafio: proposta de realização de gnômon para construir a rosa dos ventos e para os alunos realizarem a experiência de Eratóstenes que reflete uma evidência de que a Terra é esférica.....	83
5.3.2 Questionário para verificar indícios de evolução dos conhecimentos dos discentes.....	84
6 RESULTADOS E ANÁLISES.....	84
6.1 Análise e discussões do questionário diagnóstico.....	85
6.2 Análise das atividades da Experiência de Eratóstenes.....	91
7 CONCLUSÃO.....	92
REFERÊNCIAS.....	94
APÊNDICES.....	98

1 INTRODUÇÃO

Este estudo parte da preocupação com as dificuldades dos alunos em compreender o conteúdo do currículo de ciências, que inclui o ensino de astronomia e astrofísica, o que na maioria das vezes leva ao seu desinteresse pelos conhecimentos oferecidos no estudo em aula.

Para tal, propôs-se a implementação de uma sequência didática adaptável tanto para os anos iniciais quanto finais da educação básica que trata do tema: “Planeta Terra” para o ensino de astronomia e astrofísica na Educação Básica, sendo desenvolvida em duas aulas de ciências na turma do 4º ano, dando ênfase com base nas competências da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) correspondentes à unidade temática: Terra e Universo; Objetos de conhecimento: pontos cardeais, calendários, fenômenos cíclicos e cultura; Habilidades: (EF04CI09); identificar os pontos cardeais, com base no registro de diferentes posições relativas ao Sol e da sombra de uma vara (gnômon), (EF04CI10); comparar as indicações dos pontos cardeais resultantes da observação das sombras de uma vara (gnômon) com aquelas obtidas por meio de uma bússola e (EF04CI11); associar os movimentos cíclicos da Lua e da Terra a períodos de tempo regulares e ao uso desse conhecimento para a construção de calendários em diferentes culturas. Essas habilidades da BNCC estão inclusas no plano curricular anual da escola, em estudo, e por meio delas percebeu-se que há possibilidades de trabalhar o objeto de conhecimento referente a gravidade, conteúdo este que está no produto educacional desta dissertação.

Na escolha da abordagem didática mais adequada para o ensino de ciências, foram considerados os três momentos emergentes de priorização pedagógicos: problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento. Estas três características baseiam-se na literatura do ensino de ciências naturais pelas concepções de Delizoicov; Angotti e Pernambuco (2002). Tais autores ajudam a compreender que os estudos devem ser planejados de acordo com a realidade vivenciada pelos alunos, trabalhando em conjunto e, sobretudo em temas que vão além do que é apresentado nos livros didáticos. Uma prática docente que não se limite a pensar o problema com os alunos, mas também a pensar e buscar formas de alcançar melhorias nesse contexto.

Buscar estratégias de ensino que facilitem a prática é constante no planejamento dos professores. Dentre elas, a sequência didática é um exemplo de

estratégia que permite ao aluno construir conhecimento por meio de perguntas e reflexões sucessivas, o que facilita o trabalho pedagógico. Uma sequência didática consiste em uma série de atividades elaboradas e apresentadas sequencialmente a partir de um conteúdo específico.

Entende-se que a formação de competências nos discentes será bem-sucedida se as diferentes naturezas dos conteúdos forem ministradas de forma complementar e concomitante, pois dessa forma os aprendizes tornam-se aptos a relacionar os conhecimentos científicos ao uso social dos saberes escolares. De acordo com Moreira:

É importante reiterar que a aprendizagem significativa se caracteriza pela interação entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos, e que essa interação é não literal e não arbitrária. Nesse processo, os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva. (MOREIRA, 2010, p. 2).

Dessa forma, o material e a mediação são básicos, pois o aluno pode não ter conhecimento prévio suficiente para atribuir significados contextualmente aceitos ao componente. Por um lado, essa condição reforça a necessidade de aprendizagem, que, como explica Marco Antônio Moreira em sua obra, não é apenas uma questão de motivação ou identificação com um componente, mas a tendência de se relacionar com novos conhecimentos por meio de significados, por outro lado, essa condição convoca o professor a aceitar as ideias prévias dos alunos, mesmo que não sejam satisfatórias, a fim de criar situações de aprendizagem que facilitem a atribuição de sentido aos temas discutidos.

É por meio dessa negociação de significados que a aprendizagem significativa difere da aprendizagem mecânica. O conhecimento prévio interage com o novo conhecimento, alterando e enriquecendo a estrutura cognitiva anterior, o que possibilita dar sentido ao conhecimento.

O objetivo geral do trabalho foi verificar contribuições da experiência de Eratóstenes, na compreensão da forma da Terra, quando replicada por alunos do ensino fundamental.

Assim sendo, a problematização desta pesquisa busca entender: Quais as contribuições da experiência de Eratóstenes, na compreensão da forma da Terra, quando replicada por alunos do ensino fundamental? A partir disso, aponta-se como

objetivo geral, proporcionar ao professor condições que facilitem as atividades de ensino pautadas na estratégia da ordem didática, levando em consideração suas experiências, sugestões profissionais, oportunizando a participação efetiva dos estudantes em sua construção e de modo direto e indireto promover sua aprendizagem.

Desse modo, esta dissertação se divide em cinco capítulos. No primeiro aborda a fundamentação teórica da pesquisa que subsidiou a execução do trabalho, a partir da revisão da Literatura existente sobre assuntos pertinentes a pesquisa dos estudos de: Eratóstenes (276-194 a.C.) sobre a esfericidade do Planeta Terra; dos estudos de Shen (1975) sobre as dimensões da Alfabetização Científica; os temas criativos de Delizoicov (1982) através de três momentos pedagógicos (3MP) e dos estudos de Zabala (1998) sobre a sequência didática como um conjunto de atividades ordenadas.

O segundo capítulo discute a base dos fundamentos físicos dos estudos de escopo gravitacional, destacando aspectos dessa teoria e fórmulas que ajudam a abranger o estudo da forma da Terra no contexto da abordagem de Paul Allan Tipler e Gene Mosca (2006).

O terceiro capítulo trata dos procedimentos metodológicos utilizados, incluindo o tipo de pesquisa, local, sujeitos e ferramentas utilizadas no conjunto de dados e técnicas para analisar os dados coletados. São mencionados o produto educacional e a discussão em torno dele.

No quarto capítulo socializa o produto desta pesquisa, qual seja, a sequência didática “Planeta Terra” no ensino de astronomia e astrofísica na educação básica.

No quinto capítulo apresenta resultados da pesquisa, enfatizando o momento de análises e discussões dos resultados obtidos na pesquisa. Finalizando com a conclusão do trabalho, e por fim, as fontes que subsidiaram esta pesquisa e os apêndices.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

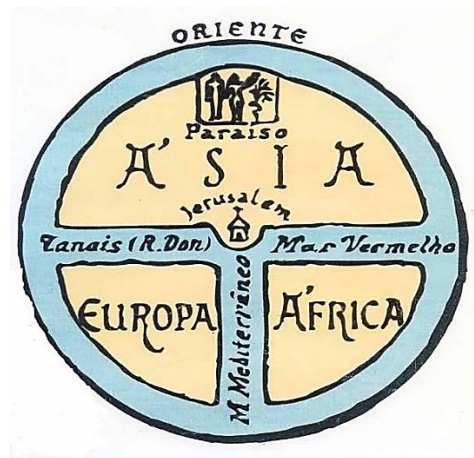
2.1 Compreensão histórica da forma da Terra

Expressar a história do desenvolvimento do conhecimento humano é sofrer restrição. Não faltam variantes, interpretações e correntes epistemológicas que influenciam a escolha dos fatos a serem enfatizados e comentados, incluindo

diferentes entendimento sobre o que constitui um fato, como mostra a introdução da obra de Thuillier (1994).

Historicamente, entre 1480 e 1520, houve uma mutação epistemológica muito rápida do conceito de uma Terra plana para uma esférica. Isso parece confirmar que na Idade Média prevalecia uma visão bastante plana do globo, e sua representação mais comum eram os conhecidos mapas TO (Figura 1), que tinham como objetivo criar ordem e um lugar central e seguro para Jerusalém (FREITAS; COSTA, 2013).

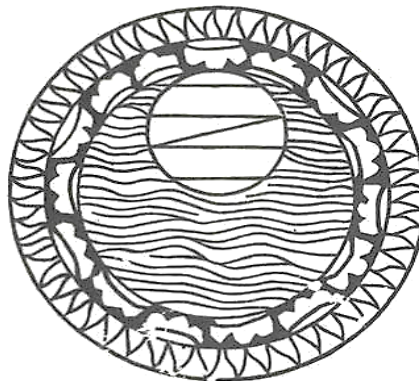
Figura 1 – Mapa-múndi TO



Fonte: Freitas e Costa (2013)

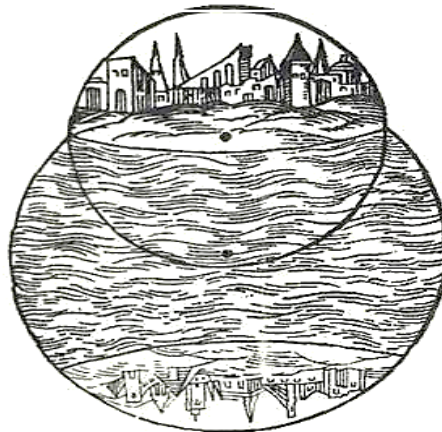
Somente no final do século XV começaram a aparecer visões de mundo complexas que tentavam combinar teorias cosmológicas e vida cotidiana, como os mapas de Sacrobosco de 1495 (Figura 2) e os mapas de Clavius de 1593 (Figura 3).

Figura 2 – As esferas da terra, da água, do ar e do fogo



Fonte: Sacrobosco (1495) apud Albuquerque (1965)

Figura 3 – A teoria das esferas e dos antípodas



Fonte: Clavius (1593) apud Randles (1994)

A Figura 2, extraída de Albuquerque (1965), apresenta as esferas de terra, água, ar e fogo segundo a filosofia natural de Aristóteles. A Terra emerge apenas parcialmente da água como uma maçã flutuante. Segundo Albuquerque (1965), a mesma figura aparece em diversos trabalhos sobre "cosmografia" desse período.

Na figura 3, o projetista pretende apresentar duas teorias opostas na mesma figura. Por um lado, a teoria de Buridan das duas esferas, água e terra, e por outro, a teoria dos antípodas. Segundo Randles (199, 67), "grandes descobertas resolvem a contradição e dão origem ao conceito de Terra".

Randles (199) enfatiza que as ideias de filósofos e praticantes religiosos de vários séculos anteriores ainda eram consideradas para analisar a forma da Terra. Às portas do século XVI, mesmo com os avanços da navegação e da astronomia, essas ideias tiveram que ser combatidas.

Copérnico, por exemplo, em 1543 contradisse o religioso Lactâncio (250-325 d.C.) em seus escritos, que zombava daqueles que pensavam que a Terra era redonda:

[...] Confesso que não sei o que dizer destas pessoas que se tornaram obstinadas em seus erros, e sustentam essas extravagâncias, a não ser que, quando discutem, não têm outro objetivo se não o de se divertir ou demonstrar o seu humor. (RANGLES, 1994, p. 17 apud PEDUZZI, 2018a, p. 82).

Como prova final que põe em dúvida o mito da Terra plana na Idade Média, citamos o fato de que ainda não foram encontrados globos terrestres desse período. A mais antiga conhecida (Figura 4 (I)) data de 1492 e foi feita pelo geógrafo e

cosmógrafo alemão Martin Behain (1459-1507). No fac-símile da Figura 4 (II), descobrimos que as Américas ainda não são visíveis, então o Atlântico e o Pacífico se tornam um. A recém-descoberta América (1492) aparece no mapa-múndi pela primeira vez apenas em 1507.

Figura 4 – Globo terrestre mais antigo conhecido (1507)



Fonte: Adaptado de <https://terraplana.ws/globo> (2022)

Curiosamente, parece que muito antes disso, foram construídos globos celestes no centro do continente europeu, como mostra a Figura 5. Este globo, datado de 1085, foi fotografado pelo criador na Exposição de Madrid como parte de uma coleção de joias islâmico, um reino na Andaluzia, sul da Espanha.

Figura 5 – Globo celeste do século X da época do domínio muçulmano do sul da península Ibérica



Fonte: Lachel e Bartelmebs (2023)

Por fim, enquanto a humanidade luta para aprender e lidar com a forma esférica da Terra, vale mencionar algo sobre a expedição que fez a primeira volta ao planeta, que em 2022 completou seu quinto centenário. Em 1519, uma expedição destinada a abrir novas rotas comerciais marítimas partiu de Sevilha, na Espanha, com cinco navios e uma tripulação de quase 300 pessoas. Eles navegaram até o Oeste sob o comando do português Fernando Magalhães. Após sua morte, Sebastián Elcano assumiu durante o curso. Em 1522, eles voltaram ao ponto de partida com um navio e 18 tripulantes, quando ninguém acreditava em sobreviventes Antonio Pigafetta (1491-153), voltou à Nau Vitória entre os sobreviventes, registrando o cotidiano da viagem. Essa conta no livro foi modificada e vendida até hoje.

A viagem ajudou a confirmar a redondeza da Terra? É difícil saber. Os marinheiros e financiadores da expedição provavelmente não tiveram dúvidas. Outra questão parece ter sido a agregação dessas informações.

Dentre os muitos fatos relatados por Pigafetta (2011), porém, o registro se destaca pelo fato de que ao completarem o ciclo, sempre rumo ao oeste, eles “ganhavam” 24 horas em relação às pessoas ali presentes. No livro, este registro é escrito como:

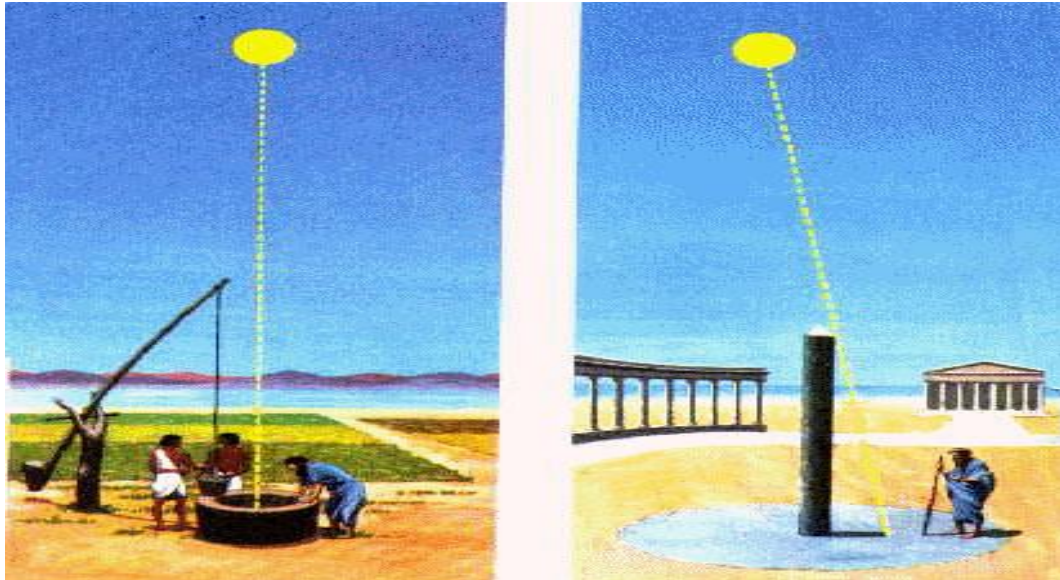
[...] Perguntamos em terra que dia era. Responderam que era 5^a-feira, mas nossos diários marcavam 4^a-feira. [...] Tendo navegado sempre para Oeste, seguindo o curso do Sol, ao retornar ao mesmo lugar teríamos que ‘ganhar’ 24h sobre os que permaneceram quietos no lugar. [...] Basta reflexionar para convencer-se. (PIGAFETTA, 2011 p.191).

Com obviedade, esta meditação não é prosa. Quem ler esta conclusão sobre o significado da data do movimento do fim da revolução do planeta em relação ao seu movimento em torno de seu eixo, certamente pensará um pouco antes de entender.

Nesse contexto, torna-se de suma importância destacar as evidências realizadas por Eratóstenes (276-194 a.C.), que proporcionou uma prova da redondeza da Terra com suas famosas medições de sombra em dois lugares diferentes no mesmo dia e hora. Como ele era o chefe da Biblioteca de Alexandria e sabia as datas dos solstícios e equinócios. Eratóstenes, através de um manuscrito na biblioteca, afirmou que durante o solstício de verão na cidade de Siena (atual Assuã), o Sol estava quase exatamente no zênite (é como se o sol ficasse bem no topo do céu, formando um ângulo reto com o solo) ao meio-dia, para que possa ser observado no fundo do poço (Figura 6). No entanto, isso não aconteceu no mesmo dia e hora em

Alexandria, porque o Sol não estava próximo o suficiente do zênite. Então, Eratóstenes calculou a distância entre Siene e Alexandria.

Figura 6 – Interpretação do solstício de verão na cidade de Siene ao meio-dia em relação a Alexandria



Fonte: <https://radiomaffei.blogspot.com/2018/08/eratostenes-e-possidonio-e-um.html>

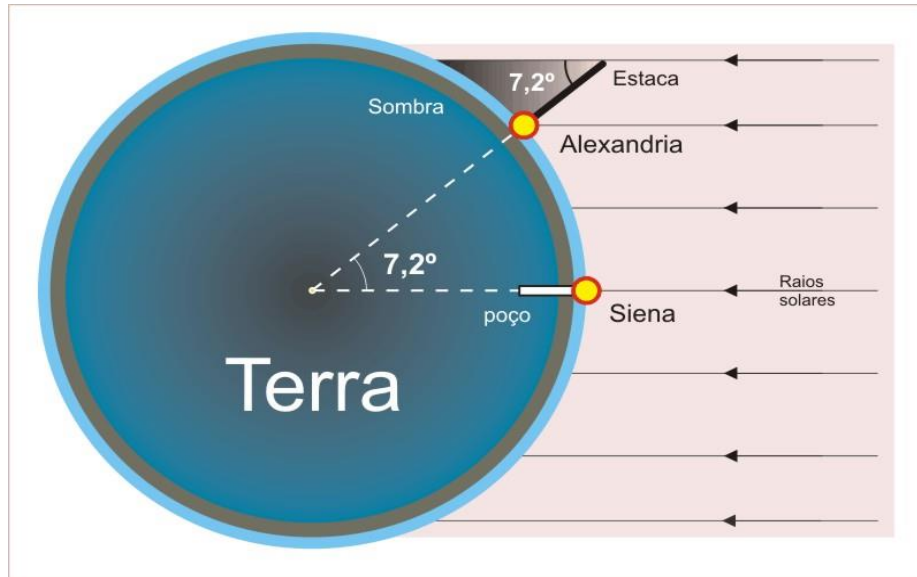
Com isso, percebe-se a complexidade “astronômica” da questão da forma da Terra. No próximo tópico, elenca-se a interpretação de Eratóstenes para encontrar o raio de circunferência da Terra.

2.2 Como Eratóstenes encontrou o raio da Terra?

Eratóstenes percebeu que se pudesse determinar o ângulo de distância entre as cidades de Siene e Alexandria, poderia determinar o tamanho da Terra (Figura 7). Então, fixou uma vareta perpendicular ao solo em Alexandria e mediu o comprimento da sombra em relação ao comprimento da vareta, e assim descobriu que o ângulo era de 7,2°, ou 1/50 da circunferência. Veja que ele tinha que saber o comprimento da vareta e sua sombra para calcular o ângulo teta, e com isso realizar:

$$\tan\theta = \frac{\text{comp. vareta}}{\text{sombra vareta}} \Rightarrow \theta = \arctan \frac{\text{comp. vareta}}{\text{sombra vareta}} \Rightarrow \theta \approx 7,2^\circ$$

Figura 7 – Interpretação do ângulo da sombra ao meio-dia por Eratóstenes



Fonte: Adaptado de <https://www.facebook.com/realizeduacao> (2022)

Além disso, ele assumiu que o ângulo entre as cidades era o mesmo que a vareta formada pela luz do Sol, pois, por ter acesso à biblioteca de Alexandria, sabia que quando duas linhas paralelas se cruzam, os ângulos correspondentes são iguais. Estendendo os raios do sol (figurativamente) até o centro da Terra, ele obteve os ângulos correspondentes.

Em seguida, usou a seguinte proporção:

$$\frac{\text{distância cidades}}{\text{circunf. Terra}} = \frac{\theta}{2\pi}$$

isto é,

$$\text{circunf. Terra} = \frac{2\pi \cdot \text{distância cidades}}{\theta} = \frac{360^\circ}{7,2^\circ} \cdot \text{distância cidades}$$

$$\text{circunf. Terra} = 50 \cdot \text{distância cidades}$$

Portanto, a distância entre as duas cidades ainda estava para ser determinada. Depois multiplica-se esse número por 50 para obter a medida de todo o contorno da Terra.

Eratóstenes descobriu que a distância entre Alexandria e Siena era de 5.000 estádios. A unidade de medida, o estádio usado por Eratóstenes, media pouco mais de 157 metros. Com isso temos:

$$\text{circunf. Terra} = 50.5000 \text{ estádios} = 250.000 \text{ estadios}$$

E para conversão:

$$\text{circunf. Terra} = 250.000 \text{ estádios} \cdot \left(\frac{0,157 \text{ km}}{1 \text{ estádio}} \right) = 39.250 \text{ km}$$

Atualmente, sabe-se que a circunferência da Terra tem 40.075 km de comprimento, enquanto Eratóstenes encontrou o valor em 39.250 km.

Por fim, para encontrar o raio encontrado por Eratóstenes, basta usar a velha fórmula que conhecemos:

$$C = 2\pi \cdot R \Rightarrow R = \frac{C}{2\pi} = \frac{39.250}{6,283} \approx 6.247$$

Hoje, o raio da Terra pode ser de 6.370 km, uma diferença de 123 km da medida de Eratóstenes.

2.3 Capacidade criativa das crianças em relação a forma do planeta Terra

Neste tópico, analisa-se como é difícil para crianças, adolescentes e até mesmo adultos alcançarem uma compreensão coerente da gênese do planeta Terra, conforme as concepções de ordem de serviço desenvolvida por Piaget e García (2011), levantaria a necessidade de estudar os mecanismos específicos para o desenvolvimento do conhecimento infantil e, nesse sentido, sua importância é destacada pelo estudo de mecanismos análogos observados no processo de construção do conhecimento científico observável a partir das transições entre níveis de conhecimento (menos organizados mais produzidos). Além disso, enfatiza-se ainda que o conhecimento é criado por meio dos chamados "reorganizações e reequilibrações" graduais (escolaridade anterior não precisa ser confirmada) porque esta é uma necessidade típica estruturas resultantes de sucessivas conquistas. Tal entendimento significa reconhecer que:

[...] que o conhecimento científico não é uma categoria nova, fundamentalmente diferente e heterogênea em relação às normas do

pensamento pré-científico e às técnicas inerentes às condutas instrumentais específicas da inteligência prática [...] As normas científicas situam-se no prolongamento das normas de pensamento e de práticas anteriores, mas incorporando duas exigências novas: a coerência interna (do sistema total) e a verificação experimental (para as ciências não dedutivas) (PIAGET e GARCÍA, 2011, p. 47).

No caso especial do desenvolvimento da física (entre Aristóteles e o período pré-newtoniano) Piaget e García argumentam que a característica mais comum e respeito à natureza do raciocínio é que em todos os níveis, contêm "abstrações reflexivas" e generalizações empíricas ou construtiva do que expansiva.

No campo de pesquisa sobre aprendizagem de conceitos científicos há muito estabeleceu, desde o final dos anos 1980, a perspectiva de que os alunos constroem suas ideias sobre seus contextos de vida interagindo com fenômenos cotidianos. Da mesma forma, Driver et al. (1994) sugerem que todos nós criamos conhecimento sobre qualquer assunto de forma independente.

Isso naturalmente inclui escola, colegas e professores. No entanto, como esse processo ocorre independentemente do ambiente escolar, pode criar obstáculos ao aprendizado. Assim, como resultado de um intenso período de pesquisa investigando as opiniões das crianças, foi possível descobrir ideias que se opõem ou divergem do conhecimento científico estabelecido, criam resistência a novas ideias e explicam parcialmente a incapacidade sistemática dos alunos para aprender no departamento de Ciências (Cubero 1989).

Infelizmente, tais conclusões aparentemente ainda não chegaram à escola. Na atual BNCC, Brasil (2018), onde a astronomia ganhou importância inédita, o objetivo de aprendizagem relacionado à forma da Terra para o 4º ano do ensino fundamental, com base na habilidade de aprendizagem EF04CI11, a criança deveria: Associar os movimentos cíclicos da Lua e da Terra a períodos de tempo regulares e ao uso desse conhecimento para a construção de calendários em diferentes culturas Brasil (2018).

A redação desse objetivo de aprendizagem nada diz sobre o que a criança poderia construir antes ou durante a experiência escolar. Indiretamente, essa atitude se deve à percepção de aprendizado e conhecimento. Por outro lado, expressa claramente, como de costume nas propostas sobre o conteúdo a ser aprendido, o conceito na mente da criança como um "vazio" ou "vazio" a ser preenchido com o conhecimento científico. Por outro lado, tal conhecimento seria correto, verdadeiro, indiscutível e construído a partir de um processo (o "método científico") que garante

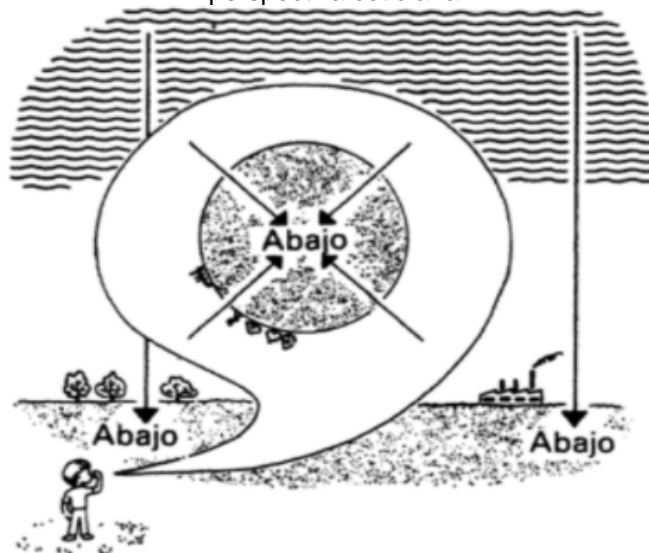
essas características, e assim teria um status epistemológico superior a qualquer outra forma de conhecimento.

No entanto, a pesquisa sobre as ideias das crianças mostrou que "associar" ou "identificar" só pode ser uma tarefa baseada na escola que não afeta o conhecimento prévio dos alunos. E o caso das percepções relacionadas ao formato da Terra é um bom exemplo disso, como mostra o clássico trabalho de Nussbaum (1979), um dos mais importantes da área.

O trabalho de Nussbaum analisou as ideias de crianças de diferentes idades desenvolvendo uma técnica de entrevista clínica para perguntas sobre a forma da Terra em situações práticas muito criativas Nussbaum e Novak (1976). As análises mostraram que três conceitos estruturam o desenvolvimento gradual envolvendo a superação de obstáculos, de um globo plano a uma imagem esférica da Terra ao longo dos anos: I) a forma da Terra (redonda ou plana); II) o espaço em torno ou apenas em cima; e (III) a forma como a gravidade funciona.

Nussbaum (1985) apresentou essa análise com mais detalhes em seu trabalho posterior. A Figura 8, reproduz sua representação do esforço cognitivo que uma criança deve fazer em sua perspectiva plana cotidiana para perceber uma situação da perspectiva cósmica da Terra. Desde o início, para uma criança, a terra é plana, o "céu" está acima e as coisas caem no chão. No entanto, ela deve aprender que a Terra é redonda, o céu está ao redor da Terra e a gravidade puxa a Terra para o seu centro.

Figura 8 – Representação do esforço cognitivo para entender cosmicamente a Terra a partir da perspectiva cotidiana



Fonte: Nussbaum (1985)

A seguir, a tabela 1, adaptado da versão em espanhol, mostra como as mudanças em cada uma das três ideias principais mencionadas estão relacionadas ao desenvolvimento de conceitos, caracterizando cinco conceitos diferentes desde o mais básico (conceito 1) até o conceito científico (conceito 2).

Tabela 1 – Níveis de evolução da concepção sobre a forma da Terra segundo a mudança dos três elementos essenciais dessas concepções

Conceito	Forma da Terra	Natureza do céu	Direção da queda
1 e 2	Plana	Céu em cima e fundo em baixo	
3, 4 e 5	Esférica	Céu e espaço expandido por toda parte (em torno da Terra)	
1, 2 e 3			Absoluta, para baixo e independente da Terra
4			Absoluta, pra a superfície e independente da Terra
5			Relativa e para o centro da Terra

Fonte: Adaptado de Nussbaum (1985).

O autor Nussbaum também analisou como os cinco conceitos foram distribuídos por idade escolar (2º, 4º, 6º e 8º anos) dos alunos israelenses pesquisados. Ele encontrou uma distribuição muito variável. Por exemplo, apenas 50% dos alunos de 8º ano tinham o conceito 5, o que é consistente com o entendimento científico. E 50% dos alunos do 4º ano ainda eram do 1º conceito. Entre esses extremos houve uma grande diferença no aparecimento de vários conceitos, cujo desenvolvimento fica aquém do esperado desenvolvimento do currículo.

A contribuição mais valiosa deste trabalho foi que Nussbaum constatou que os alunos do 2º ano obtiveram grande desenvolvimento no decorrer da pesquisa, partindo dos pensamentos iniciais identificados por eles e lidando didaticamente com os obstáculos encontrados na pesquisa. Por fim, a distribuição de frequência dos alunos do 5º ano foi muito maior em percentual do que aqueles que não vivenciaram a mesma didática, e ao mesmo tempo muito semelhante aos alunos do 6º ano, o que destaca a importância de considerar as ideias dos alunos, mas essas abordagens ainda são raras hoje.

2.4 Alfabetização científica

Segundo Sasseron e Carvalho (2011), a alfabetização científica (AC) é um conceito que surgiu no século XX, mais especificamente na década de 1950, quando o professor americano Paul Dehart Hurd (1905-2001) é considerado o primeiro cientista a utilizar o termo "Scientific Literacy" (Alfabetização Científica). A expressão aparece em seu livro *Science Literacy: Its Meaning for American Schools*, de 1958, e é usada para se referir aos cientistas da área.

Os trabalhos referentes a AC enfatizam que o ensino de ciências naturais não deve focar apenas na escrita e memorização de conceitos científicos, como é praticado na abordagem tradicional, Mikuzami (1986), mas também deve-se atentar para outros fatores, como por exemplo, os benefícios de qualquer progresso científico ou tecnológico e os efeitos sociais e ambientais dos riscos.

De acordo com Leal e Souza (1997, p. 330), a alfabetização científica e tecnológica no Brasil é o reflexo do processo da globalização, "entendida como o que um público específico - o público escolar - deve saber sobre ciência, tecnologia e sociedade (CTS) com base em conhecimentos adquiridos em contextos diversos (escola, museu, revista, etc.); atitudes públicas sobre ciência e tecnologia e, informações obtidas em meios de divulgação científica e tecnológica". Na Inglaterra, Estados Unidos e Portugal, este enfoque já vem sendo discutido há vários anos.

Segundo Bocheco (2011), o conteúdo desenvolvido em sala de aula deve ser trabalhado dentro dos parâmetros da AC, evitando assim o desequilíbrio da aprendizagem em sala de aula decorrente da necessidade de contextualização e da sobreposição incorreta ou desnecessária de disciplinas.

De acordo com Shen (1975), a alfabetização científica pode ser entendida em termos de três dimensões: AC prática, AC cívica e AC cultural, que estão resumidas na Tabela 2.

Tabela 2 – Dimensões da Alfabetização Científica para Shen (1975)

Dimensões	Características
Prática	Aborda as necessidades humanas básicas, como alimentação, saúde e abrigo, e capacita os cidadãos a lidar com os grandes problemas que afetam suas vidas, "um tipo de conhecimento científico e técnico que pode ser posto em uso imediatamente, para ajudar a melhorar os padrões de vida" (p. 265). Esta dimensão da AC deve ser promovida nas escolas, alargada a outras escolas não formais e divulgada através dos meios de comunicação.

Continuação

Tabela 2 – Dimensões da Alfabetização Científica para Shen (1975)

Dimensões	Características
Cívica	Trata-se de ciência cidadã e tomada de decisões relacionadas aos seus problemas, tanto quanto contribui para isso “torná-lo mais informado sobre a Ciência e as questões relacionadas a ela, de modo que ele e seus representantes possam trazer seu senso comum para apreciá-lo e, desta forma, participar mais intensamente no processo democrático de uma sociedade crescentemente tecnológica” (p. 266).
Cultural	Esta dimensão, a AC “é motivada por um desejo de saber algo sobre ciência, como uma realização humana fundamental; [...] Ela não resolve nenhum problema prático diretamente, mas ajuda a abrir caminhos para a ampliação entre as culturas científicas e humanísticas” (p. 267). Este tipo de AC é desejável para uma pequena parte da população que pretende aprofundar os seus conhecimentos sobre um tema científico específico que lhe interesse. Assim, os cidadãos buscam formas de entender, discutir e se posicionar em relação às informações relacionadas à ciência.

Fonte: Adaptado de Shen (1975).

Segundo Lorenzetti (2000), a alfabetização científica é a capacidade de compreender e interpretar informações científicas e de formular ideias científicas em diversos contextos, inclusive no cotidiano. Essa diversidade se estende para além do espaço escolar para outros espaços educativos como museus, clubes, teatros, palestras, etc.

As dimensões apresentadas por Shen (1975) foram utilizadas por autores da região de diversas formas, auxiliando os professores a mapear, compreender e definir conceitos de ciências no contexto escolar, discutindo sua importância no ensino de ciências. Nesse sentido, Lorenzetti, Siemsen e Oliveira (2017) discutem o potencial dos livros didáticos no contexto da alfabetização científica e tecnológica. Outro exemplo do uso desse referencial pode ser encontrado na obra de Siemsen (2019), onde a autora analisa o potencial de uma sequência didática utilizando os parâmetros de alfabetização científica.

Sob esse ponto de vista, além de escrever e memorizar conceitos científicos, o ensino de ciências naturais nas classes iniciais do ensino fundamental teria a oportunidade de discutir e estimular a reflexão sobre os fatores relacionados às influências naturais e ambientais, benefícios e riscos associados a cada adiantamento científico ou tecnológico.

Portanto, trabalhar com o ensino científico na educação básica é prazeroso, porém desafiador, haja visto que é de suma importância ter domínio da temática, ter em mente que o docente é a peça chave para edificar o futuro e proporcionar o aparato

na área de astronomia e astrofísica na educação básica, contribuindo para o conhecimento científico que se torna indispensável no mundo em que convivemos. Assim sendo, para que ensino-aprendizagem se torne tentador para o processo de Alfabetização científica é importante a reflexão de nós professores sobre a maneira de compartilhar o conhecimento, para que ele não ocorra pela mera transmissão mecânica de informações.

2.5 Os três momentos pedagógicos na sequência didática

A sequência didática contém uma proposta para o ensino de Física no 4º ano do ensino fundamental que contempla aspectos metodológicos associados ao desenvolvimento do conteúdo sobre a forma do planeta Terra e também a influência da força gravitacional a respeito da esfericidade do nosso planeta. Visa-se com a referida sequência contribuir para que os alunos dos anos iniciais do ensino fundamental adquiram conhecimentos científicos relevantes sobre astronomia e astrofísica, proporcionando também aos professores de Física uma reflexão em sua prática docente e adaptar este trabalho para ser ministrado em aulas tanto no ensino fundamental quanto no ensino médio.

Com base nessas concepções, para elaboração, a seguinte questão esteve presente. “Você conhece alguma experiência que mostre evidências sobre a forma da Terra?”. Com isso, usou-se a dinâmica proposta pelos autores Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002), os quais abordam que o Ensino de Ciências Naturais é:

Como um conteúdo cultural relevante para viver, compreender e atuar no mundo contemporâneo, privilegiando conteúdos métodos e atividades que favoreçam um trabalho coletivo dos professores e alunos com o conhecimento, no espaço escolar e na sociedade. (DELIZOICOV, ANGOTTI e PERNAMBUCO, 2002, p.23)

Assim sendo, o ensino de ciências torna-se fundamental nos anos iniciais, mas também requer o compromisso do docente como orientador dos discentes nesse novo mundo que deve olhar além das evidências, como ressalta Furmam (2009):

Ensinar Ciências Naturais no Ensino Fundamental nos coloca em um lugar de privilégio, porém, de muita responsabilidade. Temos o papel de orientar nossos alunos para o conhecimento desse mundo novo que se abre diante deles quando começam a se fazer perguntas e a olhar além do evidente. Será nossa tarefa aproveitar a curiosidade que todos os alunos trazem para a

escola como plataforma sobre a qual estabelecer as bases do pensamento científico e desenvolver o prazer por continuar aprendendo. (FURMAM,2009, p. 7).

Com base nesse contexto, a experiência de planejamento de aulas de ensino científico é compatível com a perspectiva freiriana, que se baseiam entre teoria e prática que não é fácil, pois o objetivo de trabalhar com contexto e a realidade em que vivem os estudantes não é algo simples. Por isso a dinâmica didático-pedagógica é de extrema importância, se for desenvolvida para oferecer aos alunos não um aprendizado mecânico, mas verdadeiros equipamentos científicos, pois os processos educativos que ocorrem na escola devem ir além da mera transferência do conhecimento científico para um ambiente problemático, onde o diálogo e o desempenho se tornam fundamentais. O diálogo constante entre o professor e os alunos informa sobre a visão de mundo e as experiências que cada um traz consigo, Freire (2005).

[...] o homem assume conscientemente sua essencial condição humana [...]. A educação reproduz, assim, em seu plano próprio, a estrutura dinâmica e o movimento dialético do processo histórico de produção do homem. Para o homem, produzir-se é conquistar-se, conquistar sua forma humana. (FREIRE, 2005, p.13).

Refletindo sobre a efetividade das ações educativas, Freire (2005) mostra que o poder não está concentrado no professor como possuidor do conhecimento, mas na problematização da educação, onde o educador está aberto tanto ao educando quanto ao conhecimento. Não se trata de trabalhar contra as estruturas penais da prisão, mas de melhorar a educação, Freire (1997).

[...] à condição dos homens como seres históricos e à sua historicidade. Daí que se identifique com eles como seres para além de si mesmos - como "projetos" - , como seres que caminham para frente; que olham pra frente; como seres a quem o imobilismo ameaça de morte; para quem o olhar para trás não deve ser uma forma nostálgica de querer voltar, mas um modo de melhor conhecer o que está sendo, para melhor construir o futuro. Daí que se identifique com o movimento permanente em que se acham inscritos os homens, como seres que se sabem inconclusos; movimento que é histórico e que tem o seu ponto de partida, o seu sujeito, o seu objetivo. (FREIRE, 1997, p.73).

O método de Paulo Freire valoriza a existência da sabedoria popular. Para Freire (2005), o aluno traz experiência e conhecimento, seja alfabetizado ou não, e esse conhecimento contribui para a mudança social.

Vale ressaltar que, além de Freire, outros autores enfatizam a necessidade de mudança dos currículos escolares, enfatizando a construção deles em conjunto com professores e alunos. Dessa maneira, pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP), depois da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) realizaram pesquisas sobre transmissões na década de 1970. Da pedagogia freireana à educação formal, especialmente o ensino de ciências naturais (principalmente física) com projetos detalhados nas obras de Delizoicov, Angotti, Pernambuco (2002), Delizoicov (2008) e Angotti (2015).

Segundo Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002):

Os Temas Geradores foram idealizados como um objeto de estudo que compreende o fazer e o pensar, o agir e o refletir, a teoria e a prática, pressupondo um estudo da realidade, fazendo emergir uma rede de relações entre situações significativas individuais, sociais e históricas. Proporciona, também, uma rede de relações que orienta a discussão, a interpretação e a representação da realidade. (DELIZOICOV, ANGOTTI e PERNAMBUCO, 2002, p. 165).

A organização do trabalho escolar desenvolvido na Guiné-Bissau seguiu os temas criativos de Delizoicov (1982) através de três momentos pedagógicos (3MP) denominados “Estudo da Realidade” (ER), “Estudo Científico” (EC) e “Trabalho Prático” (TP), cujas etapas se baseiam em um diálogo entre o professor, o aluno e o conteúdo. A Tabela 3 abaixo mostra cada momento:

Tabela 3 – Os três momentos pedagógicos (3MP)

MOMENTO	DENOMINAÇÃO	AÇÃO PEDAGÓGICA
1º	Estudo da Realidade	Realizado por meio de observações, debates e entrevistas com a população. Era o primeiro contato com o assunto a ser estudado. Os assuntos geralmente retratavam as relações de produção rural guineense.
2º	Estudo Científico	Reservado para a compreensão da realidade utilizando-se de conceitos científicos, habilidades de cálculo, do uso de instrumentos, da língua portuguesa, entre outros recursos.
3º	Trabalho Prático	Consiste na realização de atividades de forma coletiva. Essas atividades estavam associadas à intervenções, que se relacionavam com as necessidades da população local.

Fonte: Delizoicov (1982).

Durante o desenvolvimento dos trabalhos pedagógicos, as experiências da Guiné foram alguns acréscimos que provocaram alterações na programação e originaram os chamados três momentos pedagógicos (3MP).

A perspectiva dialógica apresentada por Delizoicov, Angoti e Pernambuco (2002) relacionada ao processo de codificação-problema-formulação-decodificação oferece ao professor a oportunidade de captar conhecimentos dos alunos sobre o senso comum e além, informações, estimular e fornecer elementos contextuais para que os alunos possam ampliar sua visão de mundo por meio do conhecimento científico.

O diálogo problematizador que ocorre em cada momento pedagógico aumenta a participação do aluno no processo de aquisição do conhecimento. Nesse sentido, Delizoicov (1982), afirma que o objetivo dos Três Momentos Pedagógicos é:

[...] garantir a presença constante de análises e sínteses dos conhecimentos em discussão, através do processo dialógico contido na “fala do outro” e na “fala do coordenador”, na do educando-educador e na do educador-educando. (DELIZOICOV, 1982, p.184).

É importante, também mencionar que Muechen (2012) cita a renomeação do segundo momento “Pesquisa Científica” para “Organização do Conhecimento” porque para Pernambuco (1994) esse momento não era mais científico que os demais. Assim sendo, houve projeto que contribuíram nos períodos de 1984 a 1989, coordenado por Cristina Dal Pian e Marta Pernambuco com a participação de José André Angotti e Demétrio Delizoicov que objetivou adaptações nos momentos pedagógicos criando a ordem programática. Isso aconteceu em 1989, quando Freire era ministro da educação em São Paulo, Muenchen (2010). Na estruturação do currículo, foram aplicados elementos pedagógicos segundo a investigação temática e redução temática de Freire (2011), a partir da investigação da realidade (IR), organização do conhecimento (OC) e aplicação do conhecimento (AC). No primeiro momento pedagógico ER, Freire (2011) enfatizou a importância da troca de informações entre a comunidade e a escola como um diálogo que agregou valor à experiência existencial e influenciou significativamente na formação de cidadãos críticos. A organização do conhecimento (OC) foi o tempo reservado para utilizar as informações do momento anterior, quando os professores definiram em conjunto as questões geradoras e o conteúdo certo para trabalhar e compreender o tema gerador. O terceiro momento,

Aplicação do Conhecimento (AC), foi concebido para realizar atividades em sala de aula e avaliar processualmente o programa, Muenchen (2010).

Dessa maneira, a prática da educação problematizadora requer a superação do que Freire (2011) chama de “educação bancária”, na qual o professor “deposita” e repassa conteúdos ao aluno. A transcendência encontra-se na consciência, onde o sujeito realiza um ato de conhecer, transcendendo a mera relação entre professor e aluno.

A problematização requer um posicionamento de seguimento do professor problematizador não só quanto à descrição do conteúdo, mas também quanto à forma de descoberta que o aluno deseja conhecer. Assim, Muenchen (2010) argumenta que:

Ao problematizar, de forma dialógica, os conceitos são integrados à vida e ao pensamento do educando. Ao invés da memorização de informações [...] ocorre o enfrentamento dos problemas vivenciados. Em síntese, a problematização pode possibilitar que os educandos tornem-se críticos das próprias experiências, interpretando suas vidas, não apenas passando por elas. (MUENCHEN, 2010, p.160).

Destarte, a dinâmica dos 3MP torna o intercâmbio de ensinar conteúdo o design dependente das interações e reações que ocorrem durante as ações pedagógicas. Dessa maneira, a sequência didática deve ser organizada seguindo cada passo dos três momentos pedagógicos para desenvolver o pensamento crítico sobre a realidade, levando em consideração a contribuição das experiências de mundo e promovendo o aprendizado, Araújo (2015). Ao se preparar para suas aulas, o professor deve se comprometer com o diálogo pedagógico no ensino do conteúdo. Praticando o diálogo em sala de aula, segundo Delizoicov (1982), o conteúdo é problemático para os alunos e na opinião de Freire (2011), a aula expositiva pode ser dialógica se o professor considerar as falas dos alunos em sua apresentação e conduzi-los a uma visão crítica da realidade, o que fortalece a aprendizagem.

Em seu livro digital Ensino de Física com TDIC Angotti (2015), seguindo a visão de Freire, destaca três eixos principais que estruturam as atividades de ensino:

O conhecimento que se quer tornar disponível; as situações significativas envolvidas nos temas e sua relação com a realidade imediata onde o aluno está inserido e os fatores ligados diretamente à aprendizagem. (ANGOTTI, 2015, p.14).

Para refletir sobre os aspectos apresentados, a eficácia do ensino em sala de aula pode ser determinada pela dinâmica de três momentos pedagógicos, que, com base nas reflexões de Angotti (2015), possuem tarefas específicas e diferenciadas, que são descritas a seguir:

Segundo Angotti (2015), a problematização inicial é o momento em que falamos sobre situações reais, o que os alunos vivenciam e relacionam com o assunto ou situações importantes, criando conexões com os saberes que fazem parte da aprendizagem, das teorias científicas para promover a contextualização do conteúdo. Atualmente, informações por meio de perguntas direcionadas a tópicos em discussões são temas/situações importantes, promovendo a compreensão dos alunos sobre elas. Aqui, o papel do professor é estimular o diálogo, estimular a discussão e despertar a curiosidade. Esta fase é facilitada por, entre outras coisas, dinâmicas de ensino, filmes, documentários, jogos educativos. O autor afirma que:

“o ponto culminante dessa problematização é fazer com que o aluno sinta a necessidade da aquisição de outros conhecimentos que ainda não detém; ou seja, procura-se configurar a situação em discussão como um problema que precisa ser enfrentado”. (ANGOTTI, 2015, p. 16).

Assim, o primeiro momento deve fazer com que o aluno compreenda a limitação do conhecimento para que ele possa buscar informações para solucionar a situação-problema. Recomenda-se neste momento dividir a turma em pequenos grupos para depois discutir as questões socializadas para toda a turma.

Em seguida, outro momento pedagógico é a Organização do Conhecimento. Momento em que o professor cria uma conexão entre os conhecimentos prévios e as experiências dos alunos, com o próprio conteúdo, desenvolvendo conceitos científicos para a compreensão do problema. O estudo é realizado sistematicamente sob a orientação do professor. Segundo Angotti (2015, p.18) é nessa fase que atividades versáteis, uma aula que trata de um conteúdo especial, problema e exercícios, conforme proposto nos livros didáticos, podem desempenhar um papel formativo na aquisição de determinado conhecimento. Sobre a aplicação do conhecimento, o terceiro momento pedagógico, Angotti (2015) explica que este contexto, compreende a necessidade de o docente mudar sua postura, questionar sobre o conteúdo científico comprovado, teórico e refletir as práticas pedagógicas resultantes do interesse sucedido das situações problemas relacionados ao cotidiano do docente:

“abordar sistematicamente o conhecimento que vem sendo incorporado pelo aluno para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram seu estudo como outras que, embora não estejam diretamente ligadas ao motivo inicial, podem ser compreendidas pelo mesmo conhecimento. Como no momento anterior, as mais diversas atividades devem ser desenvolvidas, buscando a generalização da conceituação que já foi abordada, e, inclusive formulando os chamados problemas abertos.” (ANGOTTI, 2015, p. 17).

Na lógica dos Três Momentos Pedagógicos (3MP), percebe-se que “ensinar não é a transmissão do conhecimento, mas a criação de oportunidades para sua produção ou construção”, como ressalta Freire (2011, p. 24) dispensando situações em sala de aula, em que o aluno seja apenas o receptor. Assim, oportunizar a produção e construção do conhecimento requer a problematização de questões relacionadas à vida dos alunos em um diálogo contínuo entre professor e aluno, escola e comunidade por meio do trabalho coletivo que existe ao longo do processo de aprendizagem. Com isso, as atividades pedagógicas em sala de aula devem ser planejadas de forma a aplicar habilidades críticas de aprendizagem. Freire (2011) chama o desenvolvimento dessa habilidade de curiosidade epistemológica. Quando as situações vivenciadas pelos alunos são problematizadas e seu conhecimento prévio torna-se fonte de compreensão dos problemas, esses elementos servem de modelo para despertar a curiosidade epistemológica. Além disso, a problematização de aspectos advindos do contexto cotidiano, sua leitura de mundo, torna o aluno investigador da realidade que o cerca.

Portanto, a tarefa do professor é cristalizar a estrutura do conhecimento científico sobre os temas discutidos nesta fase por meio do mediador teórico fornecido pela ciência e não apenas com o auxílio de algoritmos matemáticos ou tarefas específicas de livros didáticos. A interação do aluno com o conhecimento científico promove significativamente a compreensão e aplicação do conhecimento. Assim sendo, o principal nesse momento pedagógico é desenvolver no aluno a capacidade de formular o conhecimento aprendido em situações reais, compreendendo a importância dos conceitos e teorias. E o processo de avaliação deve ser baseado na capacidade do aluno de utilizar o conceito para compreender tanto as situações iniciais que determinam o estudo, quanto novas situações que podem ser compreendidas com o mesmo conhecimento (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2002).

2.6 Elencando sobre sequência didática

Buscando subsídios para desenvolver uma sequência didática em colaboração com os sujeitos, realizou-se muitos estudos sobre o assunto e os mais diversos modelos para construir a referida ferramenta. Através da revisão da literatura existente, procura-se compreender os diferentes conceitos e abordagens da sequência didática (SD). Entende-se que tal estratégia pode e deve ser adaptada de acordo com os objetivos esperados e conteúdos sobre os quais desenvolverão o conhecimento dos alunos. Ao ler sobre o tema, foram apresentadas as formas mais versáteis de SD, mas a maioria delas recomenda etapas independentemente do conteúdo, como tema, objetivos, justificativa, público-alvo, conteúdo, tempo de conclusão, motivação, desenvolvimento, recursos, avaliação. Percebe-se uma semelhança entre essa estratégia e um plano de aula, pois algumas etapas são procedimentos comuns em ambos. Quanto ao primeiro, porém, pode-se dizer que é mais detalhado, bem pensado, contém atividades sucessivas e articuladas, além disso, não se limita a um dia.

Nas obras examinadas, há um consenso quanto à contribuição que pode ser alcançada por meio da sequência didática, Giordan e outros (2011) apontam que um dos aspectos da abordagem da SD deve ser um instrumento para o planejamento curricular e um objeto de pesquisa para as práticas docentes. Leal (2013) refere a possibilidade de promover a aquisição de instrução pelos alunos, reconhecendo os seus conhecimentos prévios e dando ao professor tempo para adquirir conhecimentos onde são fracos na concepção da SD. Souto (2013) em sua pesquisa mostra a contribuição do uso de uma sequência didática para a prática dos professores.

Após a leitura do livro: *A prática educativa como ensinar* de Antoni Zabala que menciona sobre sequência didática e discute suas práticas de ensino, pesquisas e ferramentas que facilitam a compreensão dos acontecimentos em sala de aula e o que pode ser feito para enriquecer essa prática e melhorar o aprendizado dos alunos. Adotou-se alguns de seus conceitos como base para definir e estruturar este trabalho.

A princípio, Zabala estabelece o professor como um profissional que deve “...diagnosticar o contexto de trabalho, tomar decisões, atuar e avaliar a pertinência das atuações, a fim de reconduzi-las no sentido adequado” (ZABALA, 1998, p. 10). O seu ensinamento, e também para nós, significa dificuldades, dificuldades que não podem ser facilmente superadas.

Todo profissional, no caso o professor, busca “ser cada vez mais competente em seu ofício” (ZABALA, 1998, p.13). Além das experiências dos colegas, a expertise docente se baseia no conhecimento do que pode interferir na sua formação e nas suas próprias experiências. E em relação às experiências, entendemos que as ideias de Tardif (2014), Shulman (1987) e Zabala (1998) convergem para este ponto comum o valor dado à experiência pelos professores, Tardif (2014), a sabedoria da prática Shulman (1987) e a contribuição para a melhora profissional Zabala (1998).

Considerar a própria atividade, avaliar a própria prática, buscar paralelos com outras práticas pode contribuir para aumentar a competência do professor. Tudo pode acontecer na sala de aula e um professor precisa de opções para superar os desafios. Zabala aponta como é difícil, se não impossível, encontrar parâmetros para racionalizar a prática educativa e preconiza “... uma atuação profissional baseada no pensamento prático, mas com capacidade reflexiva.” (ZABALA, 1998, p.15).

De tal modo, para Zabala (1998), a sequência didática deve ser como um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelo professor como pelos alunos. Por sua vez, a intenção desta aproximação é observada na implementação da dinâmica dos 3MP, com a qual é de suma importância a organização do trabalho docente, conforme enfatiza Delizoicov e Angotti (1990):

Orientações ao professor: detalham indicações metodológicas para o desenvolvimento dos conteúdos a nível teórico e experimental. Essas indicações são pautadas por três momentos pedagógicos: problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento. (DELIZOICOV e ANGOTTI, 1990, p. 28).

Assim sendo, a parte didática consiste em uma unidade de intervenção pedagógica, cuja finalidade é atingir determinados objetivos educacionais, o que possibilita a análise da prática educativa a partir das variáveis para as quais essa prática é direcionada, Zabala (1998).

Deste modo, a sequência didática consiste em uma série de atividades que criam um ambiente que facilita e torna atrativo o ensino de física, portanto, as sequenciais didáticas são um conjunto de atividades ligadas entre si, planejadas para ensinar uma unidade temática, etapa por etapa, sendo organizadas de acordo com os objetivos que o professor quer alcançar para a aprendizagem de seus alunos, Barbosa (2002).

Por intermédio desta pesquisa, visa-se uma resposta para nosso questionamento sobre a possibilidade de promover uma sequência didática baseada na resolução de problemas como iniciadora da prática docente e em benefício do aprendizado do aluno, e para isso é de suma importância compreender melhor o papel do ensino, um professor, a construção e reconstrução de sua formação, o profissional que é responsável pelo ensino e aprendizagem de todos os demais cidadãos e trabalhadores das mais diversas profissões, promover a facilitação de suas práticas e estimular a reflexão sobre tal prática e os desafios a ela associados.

Pensando nessa contribuição, procurou-se analisar a sequência didática como estratégia de ensino para professores de física, que possibilitaria produzir uma prática profissional eficaz e eficiente, que beneficiará tanto profissionais quanto alunos e professores desta área, que consideram importante para o aprendizado de conceitos básicos de física favorecendo o ensino e oportunizando aos alunos o aprimoramento de seus conhecimentos.

3 FUNDAMENTOS FÍSICOS: GRAVIDADE

Este capítulo introduz a compreensão da gravidade, enfatizando aspectos dessa teoria e fórmulas que ajudam a entender o estudo da forma da Terra no contexto da abordagem de Paul Allan Tripler e Gene Mosca (2006). Dessa maneira, aborda-se: 2.1 Compreensão referente a atração gravitacional da Terra, 2.2 As leis de Kepler, 2.3 As leis da Gravitação de Newton, 2.4 O Campo Gravitacional \vec{g} , 2.5 Determinação do Campo Gravitacional de uma Casca Esférica Através de um Processo de Integração.

3.1 Compreensão referente a atração gravitacional da Terra

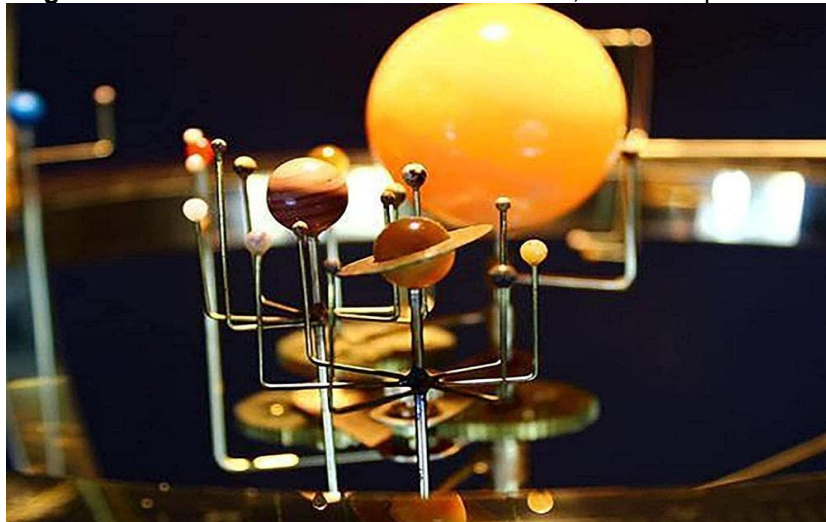
A atração gravitacional da Terra sobre as pessoas e corpos ao nosso redor é parte integrante de nossa experiência diária. A gravidade mantém as pessoas na Terra e as órbitas da Terra e de outros planetas do Sistema Solar. As forças gravitacionais desempenham um papel importante na história das estrelas e no comportamento das galáxias. No nível mais alto, a gravidade controla a evolução do universo. Durante a época de Newton, muitos acreditavam que a natureza seguia regras diferentes no universo e na Terra. A lei da gravitação universal de Newton,

junto com suas três leis do movimento, mostrou que a natureza segue as mesmas regras onde quer que estejamos, e que a revelação teve um efeito profundo em nossa visão do universo. Este capítulo usa a conservação do momento, a conservação da energia, as leis do movimento de Newton e a lei da gravidade para determinar o movimento dos planetas e outros corpos celestes, incluindo aqueles enviados por humanos ao espaço.

3.2 As leis de Kepler

A humanidade sempre foi fascinada pelo céu noturno, pela infinidade de estrelas e pelos planetas brilhantes. No final do século XVI, o astrônomo Tycho Brahe estudou o movimento dos planetas e realizou observações que foram consideravelmente mais precisas do que as disponíveis até então. Utilizando os resultados de Brahe, Johannes Kepler descobriu que as trajetórias dos planetas em torno do Sol (Figura 9) eram elípticas.

Figura 9 – Modelo mecânico do Sistema Solar, chamado planetário



Fonte: <https://www.amazon.com.br/Osuner-sistema-planeta-decora%C3%A7%C3%A3o-mec%C3%A2nico/dp/B09B419HVP>

Além disso, ele também mostrou que os planetas se movem mais rápido quando sua órbita é mais próxima do Sol e mais lentamente quando sua órbita é mais afastada. Finalmente, Kepler desenvolveu uma relação matemática precisa entre o período de um planeta e sua distância média do Sol (Tabela 4).

Tabela 4 – Raios médios Orbitais e Períodos Orbitais dos Planetas

Planeta	Raio Médio r ($310^{10}m$)	Período T (anos)
Mercúrio	5,79	0,241
Vênus	10,9	0,615
Terra	15,0	1,00
Marte	22,8	1,88
Júpiter	77,8	11,9
Saturno	143	29,5
Urano	287	84
Netuno	450	165

Fonte: Adaptado de Tipler e Mosca (2006).

Ele anunciou esses resultados através de três leis empíricas do movimento planetário. Essas três leis serviam como base para a descoberta da lei da gravidade, feita por Newton.

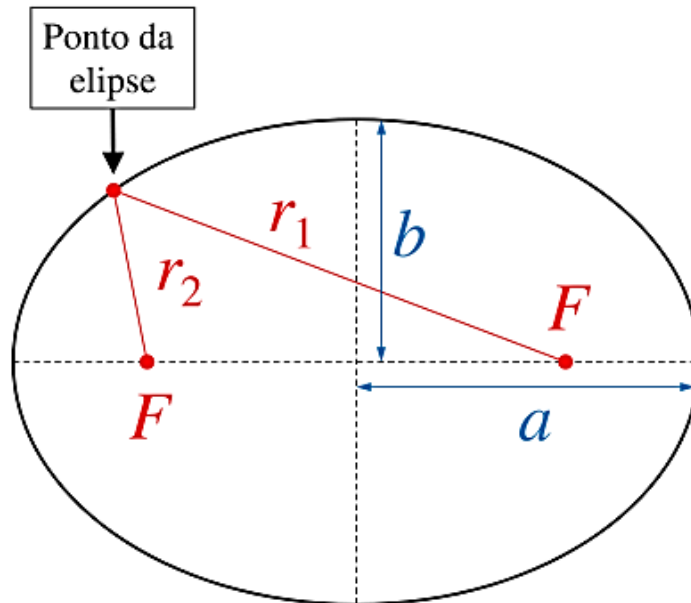
3.2.1 Primeira lei de Kepler

A primeira lei de Kepler afirma que **todos os planetas se movem segundo órbitas elípticas, com o Sol posicionado em um dos focos**. Uma elipse é um lugar geométrico dos pontos para os quais a soma das distâncias entre dois pontos fixos é constante, chamados de focos F , como mostra a Figura 10 (Tipler e Mosca, 2006). A Figura 11 mostra um planeta seguindo uma trajetória elíptica como o Sol em um dos focos. A órbita da Terra é aproximadamente circular em torno do Sol, a distância no periélio (ponto de menor distância) é de $1,48 \times 10^{11}m$ no afélio (ponto de maior distância) é de $1,52 \times 10^{11}m$. O semieixo maior da órbita elíptica da Terra é igual à média dessas duas distâncias e é $1,50 \times 10^{11}m$ (Tipler e Mosca, 2006). A distância média entre a Terra e o Sol determina a unidade astronômica (UA):

$$1UA = 1,50 \times 10^{11}m = 93,0 \times 10^6 \text{ milhas} \quad (01)$$

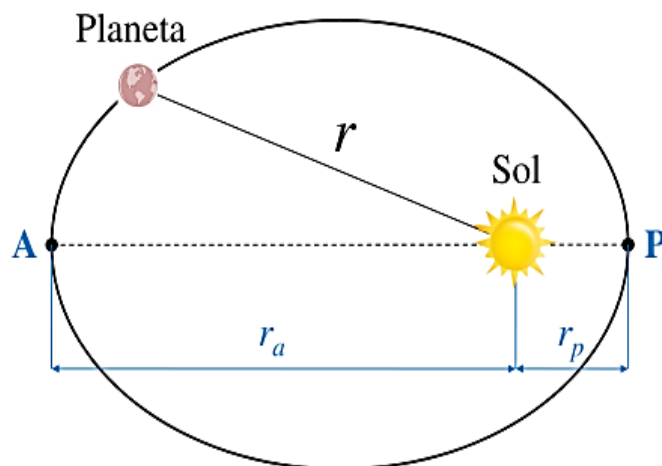
A UA é utilizada frequentemente nos problemas referentes ao sistema solar.

Figura 10 – Uma elipse é o lugar geométrico dos pontos para os quais $r_1 + r_2 = \text{constante}$. A distância a é chamado de semieixo maior, e b é o semieixo menor



Fonte: Adaptado de <http://astro.if.ufrgs.br/kepleis/node16.htm> (2023)

Figura 11 – A trajetória elíptica de um planeta com o Sol em um dos focos



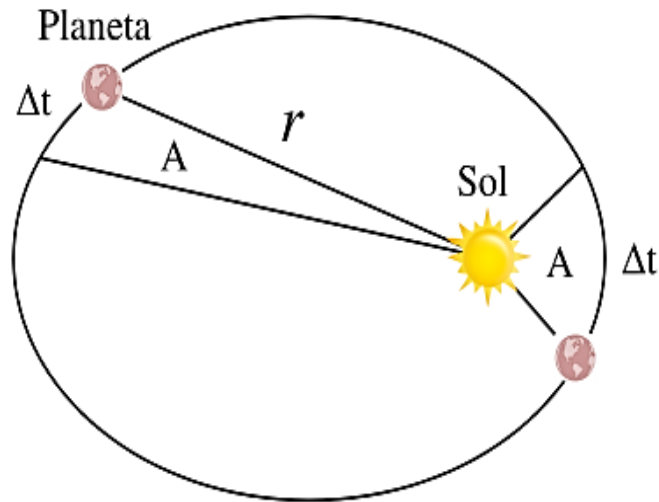
Fonte: Adaptado de <http://astro.if.ufrgs.br/kepleis/node16.htm> (2023)

3.2.2 Segunda lei de Kepler

Na segunda Lei de Kepler (Figura 12) estabelece que **os planetas ao Sol varrem áreas iguais em tempo iguais**. O segmento r na figura 12 varre a região A no mesmo intervalo Δt nas regiões mais próximas ou mais distantes do Sol, conforme

mostrado na referida figura. Isso significa que um planeta se move mais devagar quando está mais longe do Sol e mais rápido quando está mais perto.

Figura 12 – Quando um planeta está próximo do Sol, ele se move mais rapidamente do que quando está mais afastado. As áreas (representadas por A) varridas pela linha que liga os centros do Sol e do planeta, durante um dado intervalo de tempo Δt



Fonte: Adaptado de <http://astro.if.ufrgs.br/kepleis/node16.htm> (2023)

3.2.3 Terceira lei de Kepler

A terceira lei expressa é a lei dos períodos de cada planeta ao redor do Sol: **O quadrado do período de qualquer planeta é proporcional ao cubo do semieixo maior de sua órbita.** Assim sendo, relaciona o período de qualquer planeta à sua distância média ao Sol, que é igual ao semieixo maior de sua trajetória elíptica. Na forma algébrica, ser r é a distância média entre um planeta e o Sol e T é o período de revolução do planeta, onde a constante C tem o mesmo valor para todos os planetas. Dessa forma, a terceira lei de Kepler afirma que:

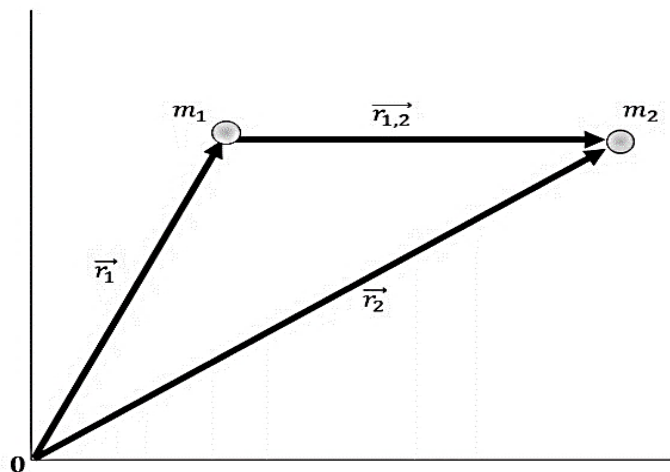
$$T^2 = Cr^3 \quad (02)$$

Esta lei resulta do fato de que a força exercida pelo Sol sobre um planeta varia com o inverso do quadrado da distância entre o Sol e o planeta.

3.3 A Lei da Gravitação de Newton

Embora as leis de Kepler tenham sido o primeiro passo importante na compreensão do movimento planetário, elas são apenas regras empíricas derivadas das observações astronômicas de Brahe. A tarefa de Newton era formular o próximo grande avanço relacionando a aceleração de um planeta em órbita a uma certa força exercida sobre ele pelo Sol. Newton mostrou que a força, que varia inversamente com o quadrado da distância entre o Sol e um planeta, leva a uma órbita elíptica, como descobriu Kepler. Ele então corajosamente levantou a hipótese de que essa força funciona entre quaisquer dois corpos no universo. Vale ressaltar que antes de Newton não era aceito, em geral, que as leis da física observadas na Terra fossem aplicáveis aos corpos celestes. A lei da gravidade de Newton assume que existe uma força de atração entre cada par de partículas pontuais que é proporcional ao produto das massas das partículas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que as separa. Sejam m_1 e m_2 as massas de duas partículas 1 e 2 (nas posições \vec{r}_1 e \vec{r}_2 , respectivamente) e $\vec{r}_{1,2}$ o vetor orientado da partícula 1 para a partícula 2 (Figura 13).

Figura 13 – Partículas nas posições \vec{r}_1 e \vec{r}_2



Fonte: Tipler e Mosca (2006)

A força $\vec{F}_{1,2}$ desempenhada pela partícula 1 sobre a partícula 2 será, então,

$$\vec{F}_{1,2} = -\frac{Gm_1m_2}{r_{1,2}^2} \hat{r}_{1,2} \quad (03)$$

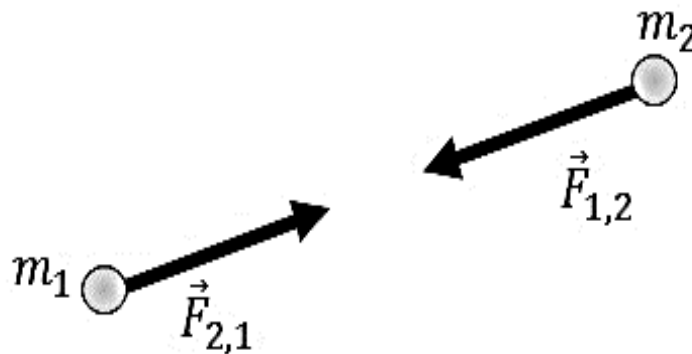
onde $\hat{r}_{1,2} = \vec{r}_{1,2}/r_{1,2}$ é um vetor unitário orientado de 1 para 2, e G é a **constante gravitacional universal**, que tem o valor

$$G = 6,67 \times 10^{11} \text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2 \quad (04)$$

De acordo com a terceira Lei de Newton, a força $\vec{F}_{2,1}$ exercida pela partícula 2 sobre a partícula 1 é negativa $\vec{F}_{1,2}$ (Figura 14). A magnitude da força gravitacional exercida por uma partícula de massa m_2 removida por uma distância r é expressa como

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \quad (05)$$

Figura 14 – Partículas exercem forças iguais e opostas uma sobre as outras



Fonte: Tipler e Mosca (2006)

Newton publicou sua teoria da gravidade em 1686, mas Cavendish não fez uma determinação experimental precisa de G até um século depois. O valor de G pode ser usado para calcular a força de atração gravitacional entre quaisquer dois corpos. Para verificar a validade da dependência da força gravitacional com o inverso do quadrado da distância, Newton comparou a aceleração da Lua em sua órbita com a aceleração de corpos em queda livre próximos à superfície da Terra (como na lendária história da maçã). Ele admitiu que a força gravitacional exercida pela Terra

produz ambas as acelerações. A princípio, ele assumiu que a Terra e a Lua poderiam ser pontuais com sua massa total concentrada em seus centros. A força que age sobre uma partícula de massa m a uma distância r do centro da Terra é:

$$F = \frac{GM_T m}{r^2} \quad (06)$$

Como a única força que age sobre a partícula é sua aceleração, temos:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{GM_T}{r^2} \quad (07)$$

Para os objetos próximos do solo, $r = R_T$, e a aceleração da queda livre é g :

$$g = \frac{GM_T}{R_T^2} \quad (08)$$

A distância da Lua é aproximadamente 60 vezes o raio da Terra ($r = 60R_T$). Substituindo essa relação na Equação 7, obtemos $a = g/60^2$; então a aceleração da Lua em sua órbita aproximadamente circular é igual à aceleração de queda livre g perto da Terra dividida por 60^2 . Portanto, a aceleração da Lua a_L seria $(9,81m/s^2)/60^2$. A aceleração da Lua pode ser calculada a partir de sua distância conhecida do centro da Terra, $r = 3,84 \times 10^8 m$, e seu período $T = 27,3$ dias = $2,36 \cdot 10^6 s$:

$$a_L = \frac{v^2}{r} = \frac{(2\pi r/T)^2}{r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2} = \frac{4\pi^2 (3,84 \times 10^8 m)}{(2,36 \times 10^6 s)^2} = 2,72 \times 10^{-3} m/s^2$$

Assim,

$$\frac{g}{a_L} = \frac{9,81 m/s^2}{2,72 \times 10^{-3} m/s^2} = 3.604 \approx 60^2$$

Nas palavras de Newton, "Eu, desse modo, comparei a força necessária para manter a Lua em sua órbita com a força de gravidade na superfície da Terra, e verifiquei que as duas respostas eram praticamente iguais".

A suposição de que a Terra e a Lua podem ser tratadas como partículas pontuais ao calcular a força que atua na Lua é justificada, dado que a distância entre a Terra e a Lua é muito grande em comparação com o raio da Terra e da Lua (Figura 15); porém, essa hipótese é certamente questionável quando aplicada a um corpo próximo à superfície da Terra. Depois de um esforço considerável, Newton conseguiu demonstrar que a força exercida sobre uma massa pontual por qualquer corpo com uma distribuição de massa esfericamente simétrica, tanto em sua superfície quanto fora dela, é a mesma que seria se toda a massa do corpo fosse concentrada em seu centro. A prova envolve o cálculo integral que Newton usou para resolver este problema.

Como a quantidade a ser medida é $g = 9,81m/s^2$ e assumindo que o raio da Terra é conhecido, o valor do produto GM_T pode ser determinado a partir da equação 8. Newton estimou o valor de G com base em uma aproximação da massa da Terra. Quando Cavendish determinou G , cerca de 100 anos depois, medindo a força entre pequenas esferas de massa e distância conhecidas, ele chamou seu experimento de "Pesando a Terra". Conhecer o valor de G significava que era possível determinar a massa do Sol e a massa do planeta com cada satélite.

Os cálculos usados equação 2, podem ser simplificados usando a equação 8, onde o produto GM , é explicado e substituído na Equação 7. Assim, a aceleração a uma distância r fica:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{GM_r}{r^2} = g \frac{R_T^2}{r^2} \quad (09)$$

Figura 15 – A Terra vista da Apollo 11, orbitando a Lua em 16 de julho de 1969



Fonte: Tipler e Mosca (2006)

3.3.1 A medição de G

A constante gravitacional G foi medida pela primeira vez em 1798 por Henry Cavendish, que usou o aparelho mostrado na Figura 16. Outros cientistas experimentais repetiram a medição de G de Cavendish com equipamentos diferentes e com maior precisão. Todas as medições de G são difíceis devido à ação extremamente fraca da força gravitacional. Consequentemente, o valor de G é conhecido hoje em dia com uma precisão de apenas 1 parte de 10.000, que corresponde a décimos de milésimos. Embora G tenha sido uma das primeiras constantes físicas a serem medidas, ela continua sendo uma das conhecidas com menor exatidão.

Figura 16 – Balança de torção de Cavendish



Fonte: https://www.3bscientific.com/de/pt/balanca-de-torca-de-cavendish-1003337-u40205,p_1111_10668.html

A balança de torção segundo Cavendish serve para comprovar a Lei da Gravitação Universal e medir o valor da constante de gravitação G . A parte principal é um pêndulo giratório composto por dois feixes de luz, equipados com pequenas bolas de chumbo penduradas horizontalmente em um fio fino. O ponto de equilíbrio é afetado pela atração das duas bolas grandes de chumbo em direção às bolas pequenas. Quando as bolas grandes são giradas para uma nova posição, o pêndulo de torção oscila em torno da posição de equilíbrio modificada. O movimento rotacional é medido por um sensor diferencial capacitivo, que suprime significativamente o ruído e a vibração, e é registrado em um computador. Os dados podem ser exportados para uma planilha para avaliação posterior. Alternativamente, a prova de movimento também é possível com um sinal luminoso.

3.3.2 Massas Gravitacional e Inercial

A propriedade de um corpo que explica a força gravitacional exercida sobre outro corpo é sua massa gravitacional. Por outro lado, a propriedade de um corpo que mede sua resistência à aceleração é sua massa inercial. O mesmo símbolo m é usado para essas duas propriedades porque sua constante de proporcionalidade é definida experimentalmente como 1. O fato de a força gravitacional que age sobre um corpo ser proporcional à sua massa inercial é uma propriedade única da gravidade. A consequência imediata é que todos os objetos próximos ao solo caem com a mesma

aceleração se a resistência do ar não for levada em conta. A conhecida história de Galileu, que deixou cair um corpo da Torre Inclinada de Pisa para provar que a aceleração da queda livre é a mesma para corpos de diferentes massas inerciais, é um exemplo típico da euforia causada pelas descobertas do século XVI.

Seria fácil imaginar que a massa gravitacional e inercial de um corpo não são as mesmas. Seja m_g a massa gravitacional e m a massa inercial. A força exercida pela Terra sobre um corpo próximo à superfície é calculada da seguinte forma

$$F = \frac{GM_T m_G}{R_T^2} \quad (10)$$

onde M_T é uma massa gravitacional da Terra. A aceleração de queda livre do corpo nas vizinhanças ou superfície da Terra, nesse caso, seria

$$a = \frac{F}{m} = \left(\frac{GM_T}{R_T^2} \right) \frac{m_G}{m} \quad (11)$$

Se a gravidade fosse outra propriedade da matéria, como cor ou dureza, seria razoável esperar que a razão m_G/m dependesse de algo como a composição química do corpo ou sua temperatura. A aceleração da queda livre pode então ser diferente para diferentes corpos. A evidência experimental, entretanto, é que a é idêntica para todos os corpos. Assim, não há necessidade de manter-se uma distância entre m_G e m , e pode-se fazer $m_G = m$. Entretanto, deve-se ter sempre em mente que a equivalência entre as massas gravitacional e inercial é uma lei empírica limitada pela acurácia do experimento. Simon Stevin realizou experimentos em 1580 que mostraram essa equivalência. Galileu tornou essa lei amplamente conhecida, e seus contemporâneos fizeram melhorias significativas na precisão experimental que confirmaram a lei.

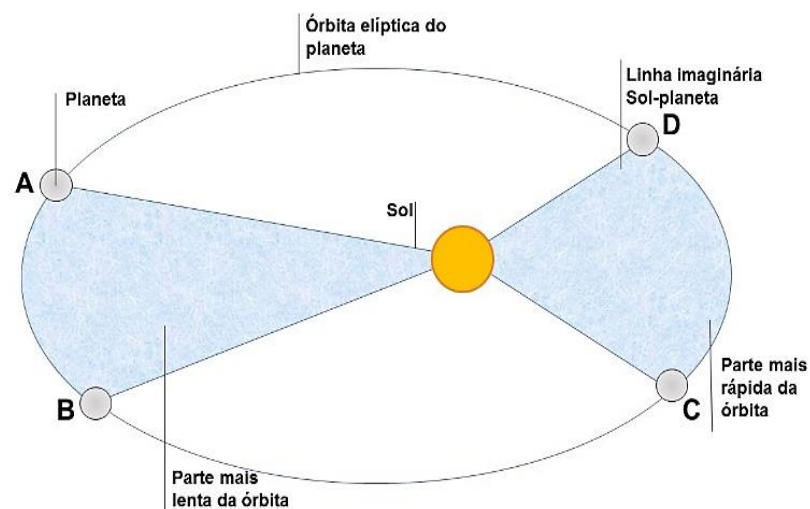
As primeiras comparações precisas de massa gravitacional e inercial foram feitas por Newton. Por meio de experimentos usando pêndulos simples em vez de corpos em queda, Newton foi capaz de determinar a correspondência entre massa gravitacional e inercial com uma precisão de cerca de 1 parte em 100. Os

experimentos comparando as massas gravitacional e inercial sofreram melhoramentos constantes ao longo dos anos. Sua equivalência é agora estabelecida para cerca de 1 parte em 10^{12} . Assim, a equivalência das massas gravitacional e inercial é uma das leis mais bem estabelecidas da física. Ela é a base do princípio da equivalência subjacente à teoria da relatividade geral de Einstein.

3.3.3 Dedução das leis de Kepler

Newton mostrou que quando um corpo, como um planeta ou um cometa, se move em torno de um centro de força como o Sol, ficando sujeito a uma força que varia com $1/r^2$, sua trajetória é uma seção cônica (uma elipse, uma parábola ou uma hipérbole). As trajetórias parabólicas e hiperbólicas aplicam-se a corpos que passam uma vez pelo Sol e não mais retornam. Essas órbitas não são fechadas. As únicas órbitas fechadas em um campo de força proporcional ao inverso do quadrado da distância são as elipses. Assim a primeira lei de Kepler é uma consequência imediata da lei da gravitação de Newton. A segunda lei de Kepler, a lei dos campos iguais, vem do fato de que toda a força exercida pelo Sol em um planeta é direcionada para o Sol. Tal força é chamada de força central. A Figura 17 mostra um planeta movendo-se em uma órbita elíptica ao redor do Sol.

Figura 17 – Kepler (Lei dos campos iguais) mostrou que um planeta leva o mesmo tempo para se mover de A até B e de C para D. As áreas azuis têm o mesmo tamanho



Fonte: Adaptado de <https://brainly.com.br/tarefa/34216367> (2023)

Durante o tempo dt , o planeta se move de uma distância $v dt$ e o vetor raio \vec{r} varre a área sombreada na figura. É uma área igual à metade da área da reta do paralelogramo formado pelos vetores \vec{r} e $\vec{v} dt$, que pode ser calculada por $|\vec{r} \times \vec{v} dt|$. Assim, a área dA gerada pelo vetor \vec{r} no tempo dt vale

$$dA = \frac{1}{2} |\vec{r} \times \vec{v} dt| = \frac{1}{2m} |\vec{r} \times m\vec{v}| dt$$

ou

$$\frac{dA}{dt} = \frac{1}{2m} L \quad (12)$$

Onde $L = |\vec{r} \times m\vec{v}|$ é o módulo da quantidade de movimento angular do planeta em relação ao Sol. A área dA gerada em um determinado período de tempo dt é, portanto, proporcional ao módulo de impulso L . Como a força atua no planeta ao longo desta linha que o conecta ao Sol, ela não cria um momento relativo no Sol. Assim, a magnitude do momento angular do planeta é preservada; então L é constante. Portanto, a taxa de oscilação da região é a mesma para todas as partes da órbita, conforme determinado pela segunda lei de Kepler. O fato de que o momento L é constante significa que $rv \sin \vartheta$ é constante. No afélio e no periélio $\vartheta = 90^\circ$; logo, $r_a v_a = r_p v_p$. Agora foi demonstrado que a lei da gravitação de Newton tem a terceira lei de Kepler como uma de suas consequências no caso especial de uma órbita circular. Considere um planeta movendo-se com velocidade v em uma órbita circular de raio r . A força gravitacional entre o Sol e o planeta causa uma aceleração centrípeta v^2/r . A segunda lei de Newton dá-se:

$$F = m_p a$$

$$\frac{GM_s M_p}{r^2} = M_p \frac{v^2}{r} \quad (13)$$

onde M_s , é a massa do Sol e M_p , é a do planeta. Temos a explicação de v^2

$$v^2 = \frac{GM_s}{r} \quad (14)$$

Uma vez que o planeta se move de uma distância igual a $2\pi r$ em um tempo T , sua velocidade está relacionada ao período por

$$v = \frac{2\pi r}{T} \quad (15)$$

Suprimindo esta expressão na equação 14, tem-se

$$v^2 = \frac{4\pi^2 r^2}{T^2} = \frac{GM_s}{T} \text{ ou } T^2 = \frac{4\pi^2}{GM_s} r^3 \quad (16)$$

A equação 16 é a terceira lei de Kepler, semelhante à equação 2, onde $C = 4\pi^2/GM_s$. A equação 16 também se aplica às órbitas dos satélites de qualquer planeta, simplesmente substituindo a massa do Sol M_s pela massa do planeta.

Sendo a constante G conhecida, a equação 16 pode ser usada para determinar a massa do corpo celeste medindo o período T e o raio orbital médio r do satélite que o orbita. Ao desenvolver a equação 16, admitiu-se que a massa do satélite era desprezível, se comparada à massa do corpo central. Isso significa que o corpo central permanece no lugar enquanto o satélite a órbita. Se assumirmos que a massa do satélite não é desprezível, o resultado fica:

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{G(M_1 + M_2)} r^3 \quad (17)$$

Onde r é a distância de separação de centro dos corpos. (Para órbitas elípticas mais gerais, os cálculos matemáticos são mais desafiadores, porém o resultado é o mesmo.) Se a massa do satélite não for desprezível, como em muitos sistemas binários de estrelas, haverá apenas a soma das massas determinado, como mostra a equação 17. A Lua e os planetas Mercúrio e Vênus não possuem satélites naturais;

portanto, suas massas não eram bem conhecidas até a década de 1960, quando satélites artificiais foram colocados ao seu redor.

3.4 Energia Potencial Gravitacional

Nas proximidades da superfície da Terra, a força gravitacional exercida pela Terra sobre um corpo é praticamente constante, uma vez que a distância do centro da Terra, $r = R_T + h$, é aproximadamente igual a R_T para $h \ll R_T$. A energia potencial de um corpo nas proximidades da superfície da Terra é $mgh = mg(r - R_T)$, onde escolheu-se $U = 0$ na superfície da Terra, $r = R_T$. Quando um corpo se encontra afastado da superfície da Terra, deve-se levar em consideração o fato de que a força gravitacional exercida pela Terra não é constante, diminuindo de forma proporcionalmente em $1/r^2$. A definição de energia potencial é $dU = -\vec{F} \cdot d\vec{s}$, onde \vec{F} é a força conservativa sobre a partícula, e $d\vec{s}$ é um deslocamento genérico da partícula. Para a força gravitacional radia \vec{F} expressa na equação 6, tem -se

$$dU = -\vec{F} \cdot d\vec{s} = -F\hat{r} \cdot d\vec{s} = -F_r dr = -\left(-\frac{GM_T m}{r^2}\right) dr = \frac{GM_T m}{r^2} dr \quad (18)$$

Integrando ambos os lados dessa equação, obtêm-se

$$U = -\frac{GM_T m}{r} + U_0 \quad (19)$$

onde U_0 é a constante de integração. Como apenas as mudanças na energia potencial sejam importantes, a energia potencial pode ser escolhida para ser zero a qualquer momento. A superfície da Terra é uma boa escolha para muitos problemas cotidianos; no entanto, está nem sempre é uma opção conveniente. Por exemplo, se você observar a energia potencial associada ao planeta e ao Sol, não há razão para querer que a energia potencial na superfície do Sol seja zero. Na realidade, é quase sempre mais conveniente escolher a energia potencial gravitacional de um sistema de dois corpos como zero quando a distância entre os corpos é infinita. Portanto, $U_0 = 0$ geralmente é uma escolha muito adequada. Desta forma, obtêm-se:

$$U(r) = -\frac{GMm}{r} \quad (20)$$

3.4.1 Velocidade de Escape

Durante o último meio século, a ideia de escape da ação da gravidade da Terra foi alterada da fantasia para a realidade. Sondas espaciais foram enviadas a longas distâncias do sistema solar. Algumas dessas sondas orbitam o Sol, enquanto outras deixam o sistema solar e se deslocam em direção ao espaço sideral. Analisa-se a seguir a velocidade inicial mínima, chamada de velocidade de escape.

Se você projetar um corpo para cima a partir da superfície da Terra com energia cinética inicial, a energia diminui e a energia potencial aumenta à medida que o corpo sobe. No entanto, o aumento máximo na energia potencial é $GM_T m/R_T$. Portanto, essa quantidade é correspondente ao maior decréscimo possível na energia cinética. Se a energia cinética inicial for maior do que $GM_T m/R_T$, então a energia E será maior que zero, e o corpo ainda terá energia cinética quando r for muito grande (ou mesmo quando r tende ao infinito). Assim, se a energia cinética inicial for maior do que $GM_T m/R_T$, o corpo escapará da ação da gravidade da Terra. Uma vez que a energia potencial na superfície da Terra é $-GM_T m/R_T$, a energia total deve ser maior ou igual a zero para que o corpo escape $E = K + U$, onde K é a constante. A velocidade nas proximidades da superfície da Terra que corresponde à energia total nula é chamada de velocidade de escape v_e . É obtido a partir das relações

$$\begin{aligned} K_f + U_f &= K_i + U_i \\ 0 + 0 &= \frac{1}{2} m v_e^2 - \frac{GM_T m}{R_T} \end{aligned}$$

logo,

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM_T}{R_T}} = \sqrt{2gR_T} \quad (21)$$

Considerando $g = 9,81m/s^2 R_T = 6,37 \times 10^6 m$, obtém-se

$$v_e = \sqrt{2(9,81m/s^2) (6,37 \times 10^6 m)} = 11,2 km/s$$

Este valor é aproximadamente $7 mi/s$ ou $25.000 mi/h$. Nessa velocidade, um corpo escapa da gravidade da Terra, mas não pode escapar do Sistema Solar porque a atração gravitacional do Sol e de outros planetas foi ignorada nessa análise. A velocidade de escape de um planeta ou lua em relação às velocidades térmicas das moléculas de gás determina o tipo de atmosfera do planeta ou lua. A energia cinética média das moléculas de gás $\left(\frac{1}{2} m v^2\right)_{méd}$ em média é proporcional à temperatura absoluta T . Nas proximidades da superfície da Terra, as velocidades de quase todas as moléculas de nitrogênio e oxigênio são muito menores que a velocidade de escape; logo, esses gases permanecem na atmosfera terrestre. Entretanto, das moléculas mais leves de hidrogênio e de hélio são encontrados com concentrações muito pequenas. A velocidade de escape na superfície da Lua é de $2,3 km/s$. Essa velocidade pode ser calculada usando a equação 21 substituindo M_T e R_T pela massa e raio da Lua. A velocidade resultante é significativamente menor que a velocidade de escape da Terra e, de fato, muito pequena para que a Lua tenha uma atmosfera.

3.4.2 Classificação das Órbitas pela Energia

Energia total negativa significa simplesmente que a energia cinética na superfície da Terra é menor que $+GM_T m/R_T$; logo, $K + U$ jamais será maior do que zero. Os critérios para um sistema ligado ou não-ligado são então determinados da seguinte forma:

Se $E < 0$, o sistema é ligado.

Se $E \geq 0$, o sistema é não – ligado.

Se E for negativo, seu valor absoluto $|E|$ chamada de energia de ligação. Energia de ligação é a energia que deve ser adicionada ao sistema para que a energia total se torne zero. Onde a energia potencial de um corpo a uma distância r do Sol, como um planeta ou cometa com massa m , é

$$U(r) = -\frac{GM_s m}{r} \quad (22)$$

onde M é a massa do Sol. A energia cinética do corpo é $\frac{1}{2}mv^2$. Se a energia total, cinética mais potencial, for menor que zero, então a órbita é uma elipse (com possibilidades de ser um círculo), e o corpo será ligado ao Sol. Se, em vez disso, a energia total for positiva, então a órbita será hipérbola, o corpo passará uma vez no entorno do Sol e deixará o sistema solar, não mais a ele retornando. Se a energia total for exatamente zero, a órbita é uma parábola e, novamente, o corpo passará uma vez em torno do Sol e, em seguida, entrará na rota de escape. Resumindo, se a energia total for nula ou positiva, o corpo não entra em contato com o Sol e escapa. Curiosamente, nenhum cometa ou asteroide foi medido para a energia E , que é definitivamente não negativa, o que significa que todos os corpos observados estão ligados ao sistema solar.

3.5 O campo Gravitacional \vec{g}

A força gravitacional exercida por uma partícula pontual de massa m_1 sobre outra partícula pontual de massa m_2 a uma distância $r_{1,2}$ da partícula de massa m_1 é expressa

$$\vec{F}_{1,2} = -\frac{GM_1 m_2}{r_{1,2}^2} \hat{r}_{1,2}$$

onde $\hat{r}_{1,2} = \vec{r}_{1,2}/r_{1,2}$ é um vetor unitário direcionado da partícula 1 para a partícula 2. O campo gravitacional do ponto P é determinado colocando uma partícula

pontual com massa m e calculando a força gravitacional \vec{F} atuando nele todas as outras partículas. A força gravitacional \vec{F} dividida pela massa m é igual ao campo gravitacional \vec{g} em P .

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m} \quad (23)$$

O ponto P é chamado de ponto de campo. O campo gravitacional atuando em um ponto é devido ao efeito das massas de um conjunto de partículas pontuais, que é a soma vetorial dos campos das massas individuais naquele ponto:

$$\vec{g} = \sum_1 \vec{g}_1 \quad (24a)$$

Partículas pontuais localizadas em diferentes pontos são caracterizadas como fontes pontuais. Para obter o campo gravitacional de um corpo contínuo em um ponto, determine o campo $d\vec{g}$ de um pequeno elemento de massa com massa dm e integre-o sobre a massa distribuída de todo o corpo (conjunto de fontes pontuais).

$$\vec{g} = \int d\vec{g} \quad (24b)$$

O campo gravitacional da Terra a uma distância $r \geq R_T$ é direcionado para a Terra e sua magnitude é expressa como $g(r)$.

$$g(r) = \frac{F}{m} = \frac{GM_T}{r^2} \quad (25)$$

3.5.1 O campo \vec{g} de uma Casca Esférica e o de uma Esfera Maciça

Uma das motivações de Newton para desenvolver o cálculo foi demonstrar que o campo gravitacional fora de uma esfera massiva é idêntico ao que seria se toda a

massa da esfera estivesse concentrada em seu centro. Esta afirmação será provada na próxima seção. Agora, apenas os resultados deste teste serão discutidos. Primeiro, consideramos uma casca esférica uniforme de massa M e raio R . É mostrado que o campo gravitacional da casca a uma distância r do centro é expresso por

$$\vec{g} = -\frac{GM}{r^2} \hat{r} \text{ para } r > R \quad (26 \text{ a})$$

$$\vec{g} = 0 \text{ para } r < R \quad (26 \text{ b})$$

Pode-se entender o resultado zero do campo \vec{g} dentro da casca, indicando uma massa pontual m_0 dentro da casca esférica. Assim, as massas dos segmentos de casca, m_1 e m_2 , estão relacionadas

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2} \text{ ou } \frac{m_1}{r_1^2} = \frac{m_2}{r_2^2}$$

Como a força da gravidade é proporcional ao inverso do quadrado da distância, a força da massa menor à esquerda equilibra exatamente a força da massa mais à direita.

O campo gravitacional fora da esfera massiva é uma simples extensão da equação 26a. Uma esfera massiva é simplesmente considerada como consistindo de uma linha contínua de cascas esféricas. Como o campo de cada casca é o mesmo que se sua massa estivesse concentrada no centro da casca, o campo devido a toda a esfera é o mesmo que seria se toda a massa da esfera estivesse concentrada no centro da casca

$$g_r = -\frac{GM}{r^2} \text{ para } r > R \quad (27)$$

Este resultado é válido para uma esfera com massa constante ou não, desde que a massa específica dependa apenas de r , caso em que a simetria da esfera é preservada.

3.5.2 O campo \vec{g} no Interior de uma Esfera Maciça

Agora ao usar as equações 26a e 26b para obter o campo gravitacional dentro de uma esfera sólida de massa específica constante em um ponto a uma distância r do centro, onde r é menor que o raio da esfera R . Essa condição se aplica, por exemplo, ao peso de um corpo no fundo de uma mina profunda de raio R . Como mostrado, o campo dentro da casca esférica é zero. Portanto, o campo gravitacional no ponto r só é afetado pela massa interna M' de raio r . Essa massa produz um campo igual à massa pontual M' no centro da esfera. A fração a r da massa total da esfera interna é igual à razão entre o volume da esfera r e o volume da esfera de raio R . Assim, no caso de uma distribuição de massa uniforme, se M é a massa total da esfera, M' é expresso como

$$M' = M \frac{\frac{4}{3}\pi r^3}{\frac{4}{3}\pi R^3} = M \frac{r^3}{R^3} \quad (28)$$

O Campo gravitacional a uma distância r é, portanto,

$$g_r = -\frac{GM'}{r^2} = -\frac{GM}{r^2} \frac{r^3}{R^3}$$

ou

$$g_r = -\frac{GM}{R^3} r \text{ para } r < R \quad (29)$$

A magnitude do campo é zero no centro e aumenta com a distância r dentro da esfera.

3.6 Determinação do Campo Gravitacional de uma Casca Esférica Através de um Processo de Integração

Agora derivando a equação do campo gravitacional para a casca esférica em duas etapas. Para começar, obtém-se o campo gravitacional no eixo de um anel de mesma massa. Em seguida, aplique esse resultado a uma casca esférica, que pode ser considerada um conjunto de anéis coaxiais. Desta forma, escolher um elemento de massa dm sobre o anel suficientemente pequeno para que possa ser considerada uma partícula pontual. A distância do elemento a P é s , e a linha que conecta o elemento a P faz um ângulo α com o eixo do anel. O campo P criado pela massa dm do elemento é direcionado para o elemento e é expresso como seu módulo dg

$$dg = \frac{Gdm}{s^2}$$

Usando a simetria da imagem, pode-se observar que quando a soma das contribuições de todos os elementos do anel é feita, o campo resultante é direcionado para o eixo do anel; ou seja, os componentes perpendiculares a ele somam zero. Por exemplo, o componente cruzado do campo é cancelado pelo componente cruzado de outro elemento circular diametralmente oposto ao elemento. O campo resultante está, portanto, na direção negativa do eixo x . A componente x do campo devido ao elemento dm é

$$dg_x = -dg \cos \alpha = -\frac{Gdm}{s^2} \cos \alpha$$

O campo total é obtido somando todos os elementos do anel:

$$g_x = - \int \frac{G \cos \alpha}{s^2} dm$$

Como s e α são iguais em todos os pontos do anel, eles são considerados constantes no processo de integração de qualquer forma,

$$g_x = -\frac{G \cos \alpha}{s^2} \int dm = -\frac{Gm}{s^2} \cos \alpha \quad (30)$$

onde $m = \int dm$ é a massa total do anel.

Esse resultado agora é usado para calcular o campo gravitacional de uma casca esférica de massa M e raio R em um ponto r do centro da casca. Primeiro, consideramos o caso em que o ponto P se expande para dentro da casca. Por simetria, o campo deve ser radial. O segmento mostrado é escolhido como um elemento de massa, que pode ser considerado como um anel de massa dM . O campo devido a esta seção é dado pela equação 30, onde a massa m é substituída por dM .

$$dg_r = -\frac{GdM}{s^2} \cos \alpha \quad (31)$$

A massa dM é proporcional à área do segmento dA , que é igual à circunferência corrigida multiplicada pela largura. O raio do período é $R \sin \theta$; portanto, o círculo isóscele é $2\pi R \sin \theta$. A largura é $Rd\theta$. Se M é a massa total da casca e $A = 4\pi R^2$ é sua área total, dA a massa do segmento

$$dM = \frac{M}{A} dA = \frac{M}{4\pi R^2} 2\pi R^2 \sin \theta d\theta = \frac{1}{2} M \sin \theta d\theta \quad (32)$$

Substituir este resultado na equação 31 dá o resultado

$$dg_r = -\frac{GdM}{s^2} \cos \alpha = -\frac{GM \sin \theta d\theta}{2s^2} \cos \alpha \quad (33)$$

Duas das três variáveis relacionadas, s , θ e α , devem ser removidas antes da integração no domínio de todas as cascas. Pode-se ver que θ e α são mais fáceis de escrever com s . Usando a lei dos cossenos, tem-se

$$s^2 = r^2 + R^2 - 2rR \cos \theta$$

Diferenciando-se, obtém-se

$$2sds = +2rR \operatorname{sen} \theta d\theta$$

ou

$$\operatorname{sen} \theta d\theta = \frac{sds}{rR}$$

A expressão $\cos \alpha$ pode ser obtida aplicando a lei dos cossenos ao mesmo triângulo. É assim que é

$$R^2 = s^2 + r^2 - 2sr \cos \alpha$$

Ou

$$\cos \alpha = \frac{s^2 + r^2 - R^2}{2sr}$$

Substituir esses resultados na Equação 33 dá o resultado

$$\begin{aligned} dg_r &= -\frac{GM \operatorname{sen} \theta d\theta}{2s^2} \cos \alpha = -\frac{GM}{2s^2} \left(\frac{sds}{rR} \right) \frac{s^2 + r^2 - R^2}{2sr} \quad (34) \\ &= -\frac{GMds}{4s^2r^2R} (s^2 + r^2 - R^2) = -\frac{GM}{4r^2R} \left(1 + \frac{r^2 - R^2}{s^2} \right) ds \end{aligned}$$

Para sair de P , integre todo o domínio casca. Os limites desta etapa de integração dependem se o ponto P está dentro ou fora da casca. Para P fora da casca s varia de $r - R$ ($\theta = 0$) a $s = r + R$ ($\theta = 180^\circ$); portanto, o campo total devido à casca é obtido integrando de $s = r - R$ até $s = r + R$.

$$\begin{aligned}
 g_r &= -\frac{GM}{4r^2R} \int_{r-R}^{r+R} \left(1 + \frac{(r-R)(r+R)}{s^2} \right) ds \\
 &= -\frac{GM}{4r^2R} \left[s - \frac{(r-R)(r+R)}{s} \right]_{r-R}^{r+R}
 \end{aligned}$$

Substituir os limites superior e inferior fornece um grande valor de $4R$ entre colchetes. de qualquer forma

$$g_r = -\frac{GM}{r^2} \text{ para } r > R$$

que é o resultado da equação 26a, o cálculo é idêntico, exceto que agora s variar de $R - r$ para $R + r$ de qualquer forma

$$g_r = -\frac{GM}{4r^2R} \left[s - \frac{(r-R)(r+R)}{s} \right]_{R-r}^{R+r}$$

Substituir esses limites superior e inferior fornece um valor de zero. Dessa maneira,

$$g_r = 0 \text{ para } r < R$$

é o mesmo resultado da equação (26 b).

4 ENCAMINHAMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo elenca os procedimentos que norteiam essa sequência didática: Onde foi desenvolvida? Com quem foi trabalhada? Como foi realizada? Quando aconteceu? Além disso, serão citadas características da pesquisa.

4.1 Campo da pesquisa

O local onde desenvolveu-se a pesquisa foi a Escola Municipal de Educação Infantil e Ensino Fundamental Izolina D'Assunção Lopes Valente (Figura 18); localizada no bairro da Bela Vista, à Rua Teodozio Constantino Batista, s/n, na cidade de Alenquer-PA. A escolha em realizar a pesquisa nessa escola foi verificar contribuições da experiência de Eratóstenes, na compreensão da forma da Terra, quando replicada por alunos do ensino fundamental.

Figura18 – Escola Izolina D'Assunção Lopes Valente



Fonte: Autora (2023)

Para cumprir o desafio do experimento contido nos momentos da sequência didática, optou-se por escolher as cidades de Itajaí-SC e Manaus-AM, além da cidade de Alenquer-PA, pois nelas residem parentes e conhecidos. Portanto, o experimento físico chamado de Eratóstenes ocorreu no dia vinte e um de abril de dois mil e vinte e três, no período de outono no hemisfério sul, o qual fazemos parte.

Vale ressaltar, que durante o experimento foi enfatizado aos alunos ao final da sequência didática que até hoje pode-se observar que o referido experimento contribui para a comprovação da esfericidade do nosso planeta. Além disso, houve a realização de filmagem durante a realização dessa atividade para levar em consideração a possibilidade de os alunos terem dificuldades em obter contato com pessoas em regiões diferentes no nosso país (algo que de fato ocorreu), pois a professora já havia

encontrado essa dificuldade durante a primeira tentativa desse procedimento uma semana antes dessa execução.

4.2 Os alunos, sujeitos da pesquisa

Os sujeitos do presente trabalho formam 21 alunos, devidamente matriculados na turma do 4º ano dos anos iniciais da educação básica, turno: vespertino na Escola Municipal de Educação Infantil e Ensino Fundamental Izolina D'Assunção Lopes Valente, cidade de Alenquer-PA, local escolhido para a realização da pesquisa.

No primeiro dia da aplicação da sequência didática na turma havia 17 alunos presentes. Devido uma forte chuva nesse dia, dificultou a chegada de 04 discentes que moram em área alagável e de difícil acesso durante esse clima. No relato da pesquisa, os alunos foram identificados por A1, A2, A3,..., A21 de modo a preservar suas identidades.

Com base nesse contexto, a realização da proposta da Sequência Didática intitulada: *“O planeta Terra” para o ensino de astronomia e astrofísica na educação básica*, foi realizada no mês de abril de 2023, nos dias 24 e 25, na turma do 4º ano dos anos iniciais, contendo 21 alunos com uma faixa etária entre 09 a 11 anos de idade, devidamente matriculados, que frequentam de forma assídua às aulas no período da tarde.

4.3 Realização do experimento de Eratóstenes

Conforme mencionado neste trabalho, o experimento de Eratóstenes conseguiu comprovar que a Terra possui formato esférico, o que responde à dúvida inicial da sequência didática sobre o formato do planeta Terra. Para isso, utilizamos varetas do mesmo tamanho fixados na terra em diferentes cidades, que mostram através das sombras das varetas, se fossem iguais, o planeta seria plano independente do lugar. Vale ressaltar que esta tentativa foi feita duas vezes, pois a primeira fracassou devido dificuldade de contato com pessoas de outras localidades.

Assim, considerando essas evidências, o experimento de Eratóstenes foi realizado no dia 21 (vinte e um) de abril de 2023 (dois mil e vinte e três), em 3 (três) cidades distintas, localizadas nas regiões Norte e Sul do nosso país: Alenquer-PA, Manaus-AM, Itajaí-SC (Figura 19), período da estação de outono.

Baseado nestes conceitos e com a finalidade de demonstrar tais fenômenos físicos através da forma do planeta Terra. No dia 21 de abril de 2023, com a ajuda de duas pessoas conhecidas, o referido experimento foi realizado nas cidades citadas (Tabela 5). Para realização do experimento utilizaram varetas de mesmo tamanho: 1m e 20 cm, sendo que os 20 cm ficaram fixados ao solo e 1 metro de altura expostos à luz solar.

Figura 19 – Realização do experimento: Itajaí-SC, Manaus-AM e Alenquer-PA



Fonte: Autora (2023)

Tabela 5 – Desenvolvimento do experimento de Erastóstenes nas cidades de: Alenquer-PA, Manaus-AM e Itajaí-SC

Cidade	Estado	Região Brasileira	Horário da aplicação do Experimento	Medida da Sombra
Alenquer	Pará	Norte	12h e 15min	48 cm
			12h e 20min	39 cm
			12h e 35min	24 cm
Manaus	Amazonas	Norte	11h e 15min	47 cm
			11h e 35min	33 cm
			12h e 15cm	32 cm
			12h	31 cm
Itajaí	Santa Catarina	Sul	12h e 15min	43 cm
			12h e 20min	36 cm
			12h e 10min	26 cm
			12h e 35min	12 cm

Fonte: Autora (2023).

4.4 Descrevendo o Experimento

O experimento foi realizado em três cidades do Brasil, para verificar evidências da esfericidade do planeta Terra é necessário que pessoas que realizam essa atividade meçam simultaneamente a sombra de uma vara com medidas também iguais, mas nas cidades localizadas em regiões diferentes do país. Assim, quando o experimento foi realizado nas três cidades brasileiras, em duas na região norte (Alenquer-PA e Manaus-AM) e uma na região sul (Itajaí-SC), houve dificuldade para realizar o experimento de sombreamento entre as localidades, pois durante o desenvolvimento do trabalho nem sempre era visível a sombra para medir no exato momento, portanto os diferentes horários são mostrados na Tabela 5. Apesar dessa dificuldade, ainda foi possível mostrar que as sombras variavam entre as cidades ao meio dia solar: às 12h e 35min, Alenquer- PA tinha uma sombra de 24 cm em; já em Manaus-AM (horário da cidade) foi às 12h de 31cm e Itajaí-SC às 12h e 35 min era de 12 cm. Ressalta-se que em Itajaí-SC a sombra diminui em direção a vareta, mas em Alenquer e Manaus ela se deslocou para a direita, o que se deve ao fato de tanto Alenquer quanto Manaus estarem localizadas na mesma região (Norte do Brasil). Além disso, evidenciou que ao mesmo tempo em diferentes cidades o tamanho de uma sombra variava em relação a outra, e para isso deveria haver uma curvatura, portanto mostrando evidências de uma Terra esférica.

4.5 Tipo de pesquisa

O princípio da problemática desse estudo tem características de uma pesquisa de campo descritivo com abordagem qualitativa, que representa estudos que buscam incluir questões da realidade. Para tanto, deve-se considerar a singularidade da pessoa, porque sua subjetividade é uma manifestação da plenitude de sua vida. A experiência e a vivência ocorrem no terreno da coletividade e se contextualizam pela cultura do grupo social em que ela se insere, Minayo (2011, 2012).

O foco da pesquisa qualitativa demanda compreender e aprofundar o conhecimento sobre os fenômenos desde a percepção dos participantes ante um contexto natural e relacional da realidade que os rodeia, com base em suas experiências, opiniões e significados, de modo a exprimir suas subjetividades Sampieri, Collado e Lúcio (2013) ; Minayo (2014). Hava visto, que:

Fazer ciência é trabalhar simultaneamente com teoria, método e técnicas, numa perspectiva em que esse tripé se condicione mutuamente: o modo de fazer depende do que o objeto demanda, e a resposta ao objeto depende das perguntas, dos instrumentos e das estratégias utilizadas na coleta dos dados. À trilogia acrescento sempre que a qualidade de uma análise depende também da arte, da experiência e da capacidade de aprofundamento do investigador que dá o tom e o tempero do trabalho que elabora (MINAYO, 2012, p. 622).

Deste modo, com base nos procedimentos técnicos, o estudo contempla uma investigação participante. Essa metodologia parte da noção da construção social das realidades em estudo, está interessada nas perspectivas dos participantes, em suas práticas e conhecimentos em seu cotidiano relativo à questão em estudo.

Assim, a pesquisa qualitativa inicia de objetivos exploratórios mais amplos que fornecem foco para o estudo, o qual se relaciona diretamente ao tempo e ao contexto histórico (Denzin; Lincoln, 2006). Para isso, desenvolve-se um fluxo circular, que permite idas e vindas, entre as suas etapas: ideia, definição do problema, imersão no campo, definição do desenho de estudo, definição da amostra e acesso do pesquisador ao grupo, coleta de dados, análise e interpretação.

A relevância de cada uma dessas etapas consiste no fato de que o desenvolvimento da pesquisa qualitativa é norteado pelo processo interpretativo, sendo este o seu coração. O objeto de estudo, entretanto, os pressupostos, as questões de pesquisa e o referencial teórico-metodológico funcionam como bússola nos momentos de análise e interpretação dos dados, uma vez que guiam o olhar do pesquisador, orientando-o no vasto universo onde a interpretação órbita. Desta forma, coloca ao estudioso o dilema de contentar-se com a problematização do produto humano objetivado ou de ir em busca, também dos significados da ação humana que constrói a história.

4.6 Os procedimentos abordados

Este tópico destaca as etapas da sequência didática e trata das atividades desenvolvidas com os alunos.

A sequência didática iniciou-se com o estudo do elemento problematizador, Delizoicov e Angotti (1990); Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002). Essa problematização inicial começou quando a professora mencionou sobre o que seria desenvolvido na aula do dia vinte e quatro de abril de dois mil e vinte e três com a

turma do 4º ano dos anos iniciais, após inicia a aula com um cartaz que contém duas imagens (Figura 20) sobre a forma da Terra, contribuindo para reflexão dos alunos. Este primeiro momento da sequência didática representa um elemento problematizador, onde foi utilizado como recurso didático o cartaz da representação do formato plano e esférico do nosso planeta, permitindo aos alunos se perguntarem: A Terra é plana ou esférica?

Além disso, foram introduzidos outros procedimentos: vídeos explicativos e um manual que fornecem subsídios para outras abordagens relacionadas ao objeto de conhecimento estudado, como tópicos relacionados: gravidade, criação de sombras em gnômons em diferentes locais.

Figura 20 – Alunos presentes no primeiro dia da aplicação da sequência didática (Problematização Inicial)



Fonte: Marinho (2023)

Em seguida, foi utilizado um questionário contendo quatro questões para entender como os alunos discutem o tema planeta Terra (Figura 21). Eles, então responderam as perguntas: 1) Você conhece alguma experiência que mostre evidências sobre a forma da Terra? 2) O que você entende sobre gnômon e rosa dos ventos? 3) De que maneira, as forças gravitacionais influenciam na forma do Planeta Terra? 4) O que você ainda gostaria de falar sobre o planeta Terra?

Figura 21 – Os discentes respondendo o questionário diagnóstico



Fonte: Autora (2023)

Dando continuidade, ao ser coletado os questionários respondidos pelos discentes, houve um momento de reflexão sobre as questões respondidas por eles. Sem mencionar a autoria (para preservar o anonimato deles). Posteriormente, foi oferecido desenvolvido outro momento pedagógico para reflexão sobre as questões respondidas anteriormente, o vídeo “Planeta Terra” (Figura 22). Logo em seguida houve também um momento para reflexão sobre o vídeo citado acima.

Figura 22 – Os discentes assistindo ao vídeo: “Planeta Terra”



Fonte: Autora (2023)

Com base nesse contexto sobre: o estudo astronômico e astrofísico do nosso planeta, passou-se a objetivar a organização do conhecimento (Delizoicov; Angotti, 1990); (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2002), com a finalidade de oportunizar contato com o conteúdo específico, sugeriu-se a leitura de trechos da apostila conceitual sobre: Gravidade, que apresentava uma conversa referente a conceitos de física envolvendo gravitação, possibilitando um contato com questões que discutem a Força Peso que atua sobre os corpos ao serem puxados pela gravidade que há em nosso planeta. Dividiu-se a turma em grupos de estudo (Figura 23) e cada um deles recebeu o desafio da fase final da sequência didática.

Figura 23 – Registro de uma das equipes no momento de leitura da apostila sobre: Gravidade



Fonte: Autora (2023)

Na última etapa da sequência didática surge o momento da aplicação do conhecimento Delizoicov e Angotti (1990); Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002), para completar esta etapa, os alunos foram desafiados a projetar um gnômon para construir uma rosa dos ventos e aplicar a experiência de Eratóstenes refletindo evidências de que a Terra é esférica.

Vale ressaltar que para facilitar a compreensão dos alunos, este trabalho apresenta a gravação do Experimento de Eratóstenes realizado nas regiões norte e

sul acima mencionadas, durante a qual os processos de desenvolvimentos das atividades foram monitorados com o auxílio de gravações e fotos, além de um diário de bordo para apoiar os registros do trabalho. Com tais ferramentas, é importante ressaltar que a observação pode ser feita no momento de seu aparecimento e pode assumir diversas formas. Os mais comuns são fazer anotações escritas, gravadas ou em áudio. Gil (2008).

Todo esse momento de organização de conhecimento, foi desenvolvido em dois dias de aulas (dias 24 e 25 de abril de 2023), sendo cada aula de 4h, totalizando 8 horas de atividades e mais a disponibilidade de um dia para realização do experimento e envio das atividades via WhatsApp (Figura 24). Os registros de informação, desse momento, concentraram-se no diário de bordo.

Figura 24 – Registro enviado via WhatsApp pela mãe da aluna, momento que ela tentava realizar o experimento de Eratóstenes



Fonte: Araújo (2023)

É importante ressaltar que o experimento de Eratóstenes foi realizado pela professora, mas quando a atribuição foi dada aos alunos, houve dificuldade de contato com pessoas de outras regiões brasileiras, por isso os alunos não concluíram o

experimento esperado e simplesmente desenvolveram o procedimento de encontrar o meio dia solar utilizando para isso o gnômon.

4.7 Falando dos instrumentos de coleta de dados e da análise

Nesta pesquisa, utilizou-se como instrumento de dados o questionário com questões abertas, elementos iconográficos como imagens, diferentes produções dos docentes e vídeos das ações de execução do experimento, bem como um diário de bordo para dá suporte aos demais instrumentos.

Ao uso do questionário, pode-se definir “como a técnica de investigação composta por um número mais ou menos elevado de questões apresentadas por escrito às pessoas, tendo por objetivo o conhecimento de opiniões, crenças, sentimentos, interesses, expectativas, situações vivenciadas etc.” (Gil, 1999, p. 128). Dessa forma, nas questões de cunho empírico, é o questionário uma técnica que servirá para coletar as informações da realidade, que contribuiram como base na construção do produto educacional.

Com respeito às imagens, especialmente o filme e a fotografia, são “signos que pretendem completar identidade com a coisa representada, como se não fossem signos. Iludem-nos em sua aparência de naturalidade e transparência, a qual esconde os inúmeros mecanismos de representação de que resultam” (Novaes, 2008, p. 456). Isso também justifica o uso do diário de bordo como instrumento auxiliar nessa pesquisa.

Vale salientar que, para análise de dados, esta pesquisa buscou enfatizar a análise de conteúdo é um conjunto de técnicas de análise de comunicações, que tem como objetivo ultrapassar as incertezas e enriquecer a leitura dos dados coletados. Haja visto que, “o objetivo da análise de conteúdo é compreender criticamente o sentido das comunicações, seu conteúdo manifesto ou latente, as significações explícitas ou ocultas” (Chizzotti, 2006, p. 98).

Destarte, nesta pesquisa optou-se por utilizar a análise de conteúdo para a compreensão de contribuições da sequência didática no ensino de física dos discentes, participantes deste estudo.

5 SOCIALIZANDO A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A proposta do produto educacional é uma sequência didática, que será desenvolvida nos três momentos pedagógicos, de acordo com os pressupostos teóricos de Delizoicov e Angotti (1990), também investigada por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002), no qual o primeiro, segundo e terceiro momentos pedagógicos podem ser aplicados em duas aulas, cada uma correspondente a 4h, totalizando 8h. Essa proposta está direcionada aos alunos do 4º ano dos anos iniciais da educação básica, mas nada impede que seja adaptada para outros anos/faixas ou níveis de ensino.

5.1 Primeiro Momento Pedagógico

5.1.1 A Terra é plana ou esférica?

A sequência didática inicia com a utilização de imagens que buscam refletir se: *a Terra é plana ou esférica?* O objetivo é apresentar as imagens funcionando como um elemento problematizador para sequência didática. As imagens, em questão, podem ser contempladas observando-se as figuras de 1 a 6.

Figura 25 - Modelo plano



Fonte: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/tecnologia/noticia/2019/08/sete-afirmacoes-feitas-pelos-terraplanistas-e-os-motivos-de-eles-estarem-enganados-cjze68lgl038r01qmslcdjmbp.html>

Figura 26 - Modelo esférico



Fonte: <https://sites.ifi.unicamp.br/imre/a-terra-e-redonda/>

As figuras podem ser utilizadas para se discutir não somente a forma do nosso planeta, mas assuntos como gravitação, formação de sombras em Gnômons colocados em locais diferentes, entre outros.

5.1.2 Questionário Diagnóstico

O objetivo do questionário é entender como os discentes compreendem a temática abordada sobre o planeta Terra.

Figura 27 - Questionário - Problematização Inicial

APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO

Questionário para análise do conhecimento dos discentes

1. Você conhece alguma experiência que mostre evidências sobre a forma da Terra?

Explique!

2. O que você entende sobre gnômon e rosa dos ventos?

3. De que maneira, as forças gravitacionais influenciam na forma do planeta Terra?

4. O que você ainda gostaria de falar sobre o planeta Terra?

Fonte: Autora (2023)

O questionário abordado apresenta quatro questões relacionadas ao planeta Terra.

5.2 Segundo Momento Pedagógico

5.2.1 Apresentação do Vídeo: Planeta Terra

O objetivo da aplicação desse vídeo é apresentar aos discentes um panorama de nosso planeta e proporcionar reflexões sobre suas características, em especial, sobre sua forma.

Figura 28 – Vídeo: Planeta Terra



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=r1tu9vxG2r0>

O vídeo faz uma abordagem do formato de nosso planeta, apresentando três evidências que contribuem para uma forma esférica da Terra. Além disso, mostra imagens e vídeos do espaço que revelam que a Terra é esférica. Enfatiza explicações sobre dia, noite e como funcionam as constelações.

5.2.2 Apostila: Trabalhando conteúdo conceitual

O objetivo da apostila é trabalhar conceitos que possam amparar os alunos sobre a temática “planeta Terra” e, para isso, destaca-se o conteúdo físico: Gravidade.

A apostila (ver em apêndice 4) apresenta conceitos de física envolvendo gravitação, possibilita um contato com questões que discutem a Força Peso que atua sobre os corpos ao serem puxados pela gravidade que há em nosso planeta.

5.2.3 Apresentação do Vídeo: Gravidade do Planeta Terra

O objetivo da utilização desse vídeo é apresentar o conteúdo curricular “Gravidade”, para que os alunos possam ter contato com o trabalho de Isaac Newton, possibilitando aos discentes entender a contribuição dessa força para o formato do nosso planeta.

Figura 29 – Vídeo: Gravidade



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=FkJFWzwN8CE>

O vídeo elenca conceitos a força da gravidade, lançamento oblíquo, introdução a lei da gravitação de Newton e fala sobre imponderabilidade.

5.3 Terceiro momento pedagógico

5.3.1 Desafio: proposta de realização de gnômon para construir a rosa dos ventos e para os alunos realizarem a experiência de Eratóstenes que reflete uma evidência de que a Terra é esférica

O objetivo da atividade é oportunizar uma ação que possibilite aos alunos ter contato com evidências da esfericidade da Terra.

5.3.2 Questionário para verificar indícios de evolução dos conhecimentos dos discentes

O objetivo é verificar se as atividades, desenvolvidas, contribuíram para evolução do pensamento dos discentes com relação à temática “planeta Terra”.

Figura 30 - Questionário para verificar o conhecimento dos discentes
APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO

Questionário para análise do conhecimento dos discentes

1. De que maneira a Força Gravitacional influencia na forma da Terra?

2. Por que a Experiência de Eratóstenes representa uma evidência do formato esférico da Terra?

3. Como você construiria uma rosa dos ventos? Explique!

Fonte: Autora (2023)

6 RESULTADOS E ANÁLISES

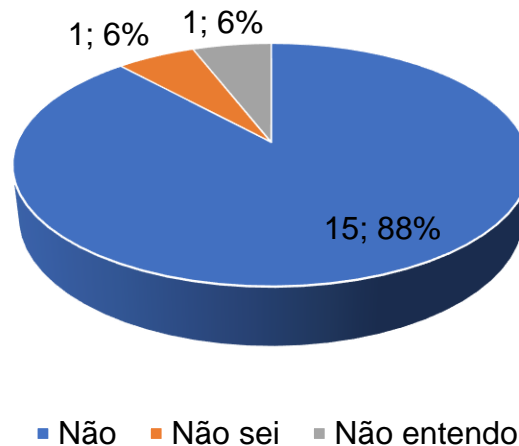
Neste tópico, será abordada a análise e discussão dos resultados objetivando atender necessidades metodológicas da Análise de Conteúdo da pesquisa qualitativa, pois vem de encontro com as concepções de Denzin e Lincoln (2000, 2006, 2008). Os autores enfatizam que no século XXI a pesquisa qualitativa precisa fazer parte da agenda acadêmica como geradora de resultados das investigações científicas e que pode ser trabalhada no sentido de repensar e criar uma sociedade livre e democrática, revelando o seu caráter crítico Denzin & Lincoln (2000). Vale elencar que, os alunos estão representados nesse trecho como (A-1, A-2, A-3,..., A21), para preservar a identidade deles.

6.1 Análise e discussões do questionário diagnóstico

Para essa análise leva-se em consideração utilização de diferentes registros de representação semiótica sobre o conhecimento do Planeta Terra e compreensão dos participantes. Trata-se de uma pesquisa de campo, de cunho qualitativo, que foi desenvolvida em três etapas: revisão da literatura, elaboração e sistematização da SD, seguida da análise das respostas dos alunos.

Portanto, torna-se importante destacar que, no primeiro momento da sequência didática, foi coletado as informações em relação ao conhecimento prévio dos alunos através do questionário diagnóstico, com a seguinte pergunta: “Você conhece alguma experiência que mostre evidências sobre a forma da Terra?”. Explique!. Tais respostas podem ser observadas, abaixo (Gráfico 1), nas falas dos alunos. Vale lembrar que, no dia da aplicação do referido questionário, dos 21 alunos, devidamente matriculados, apenas 17 compareceram a aula, nesse dia, e conseqüentemente responderam a essa pergunta.

Gráfico 1 - Você conhece algumas experiências que mostre evidências sobre a forma da Terra?



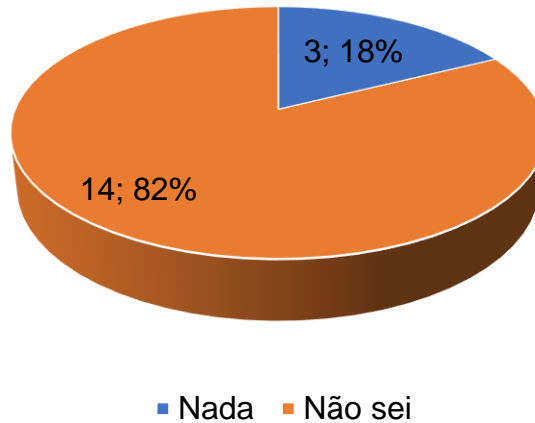
Fonte: Autora (2023)

Das respostas dos alunos, 88% responderam que: não entenderam e 12% não ou não sabiam para a primeira questão da pesquisa inicial, fica claro que não tiveram uma compreensão clara do conteúdo.

Embora os docentes busquem despertar o interesse dos alunos e motivá-los, na maioria das vezes, precisa-se melhorar as formulações dos comandos das atividades de acordo com o público que deseja-se atingir para contribuir com um

melhor processo de ensino-aprendizagem em sala de aula. Haja visto que, detecta-se isso, tanto na primeira pergunta quanto na segunda pergunta (Gráfico 2).

Gráfico 2 - O que você entende sobre gnômon e rosa dos ventos?

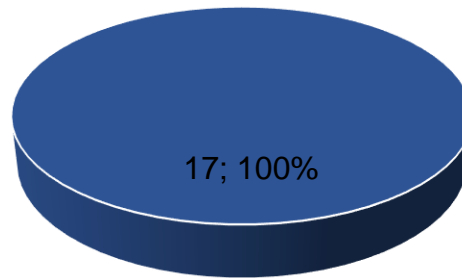


Fonte: Autora (2023)

A ideia da influência do conhecimento prévio na aprendizagem parece simples, mas percebe-se que as perguntas foram um tanto complexas para o público alvo da pesquisa. O que uma pessoa sabe pertence à estrutura cognitiva e é de natureza idiossincrática; isto significa que avaliar e agir em conformidade não é um processo simples. No entanto, evidências podem ser encontradas (Pivatto, 2014). Para isso, é necessário transformar o conhecimento prévio em ação e expressá-lo por meio da linguagem oral, escrita ou de símbolos.

Isso também é analisado com base nas respostas dos alunos na questão 2: 18% nada e 82% não sei, porque talvez nunca havia sido mencionado a eles o que é gnômon ou não se lembraram da rosa dos ventos. Já com base nas questões 3 e 4 do questionário inicial os alunos responderam de maneira geral: não sei e nada. Gráfico 3 e 4.

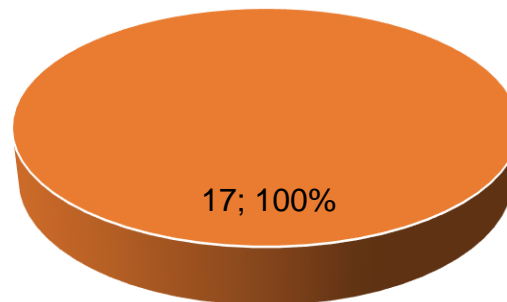
Gráfico 3 - De que maneira, as forças gravitacionais influenciam na forma da Terra?



■ Não sei

Fonte: Autora (2023)

Gráfico 4 - O que você ainda gostaria de falar sobre o planeta Terra?



■ Nada

Fonte: Autora (2023)

Analisou-se que em geral 100% das respostas dos alunos às questões 3 e 4 foram: “Não sei” e “Nada”. O motivo pode ser por falta de compreensão das questões do questionário, e considera-se que o questionário deveria ser elaborado para a faixa etária dos alunos com palavras ou expressões mais simples que facilitassem a compreensão deles. Além disso, levando em consideração às ideias do ponto central da aprendizagem, percebe-se que os conhecimentos prévios podem estar relacionados a conceitos, princípios, fatos, procedimentos, normas, atitudes e valores bem ou mal elaborados, mais ou menos coerentes, adequados ou inadequados em relação ao conteúdo de estudo, o que deve-se ser compreendido como veículos para a aprendizagem e não como obstáculos. De acordo, com a proposta de Freire:

O que se pretende investigar, realmente, não são os homens, como se fossem peças anatômicas, mas o seu pensamento-linguagem referido à realidade, os níveis de sua percepção desta realidade, a sua visão do mundo, em que se encontram envolvidos seus “temas geradores”. (FREIRE, 1987, p. 50).

Com base nas concepções do autor, exige-se mutabilidades na visão de educador, de educando e o ato educativo. Na proporção em que o educador utiliza o conhecimento que o educando traz, altera-se a visão tradicional da postura do educador como detentor e transmissor do conhecimento oficial, oportunizando ao educador ser agente que aprende e ensina, valoriza e respeita as diferenças individuais dos educandos e de suas classes sociais.

Dessa maneira, ao deslumbrarmos o olhar para o questionário final aplicado na referida pesquisa, pode-se evidenciar indícios de evolução dos conhecimentos dos discentes, após a aplicação da sequência didática desse estudo, pois a partir das perguntas: “De que maneira a Força Gravitacional influencia na forma da Terra?” ; “Por que a Experiência de Eratóstenes representa uma evidência do formato esférico da Terra?” e “Como você construiria uma rosa dos ventos? Explique?” (Quadro 1), pode-se destacar respostas interessantes dos discentes que, inicialmente, diziam de uma forma geral que não sabiam sobre a temática em abordagem. Observa-se isso nas respostas dos seguintes alunos:

Quadro 1 – Respostas mais relevantes referente do questionário final.

Linhas	Sujeito	Respostas
1	Aplicador	De que maneira a Força Gravitacional influencia na forma da Terra?
2	A1	Pela maneira de ser uma grandeza responsável por definir o peso de um corpo, força pra cima e pra baixo que não faz a gente flutuar na Terra.
3	A3	Entendi que é devido a gravidade influenciar no peso que faz ter uma força para cima e para baixo que nos mantém sem flutuar aqui na Terra.
4	A12	Pela influência que tem essa grandeza em definir o peso de um corpo, força para cima e para baixo que nos mantém em pé no nosso planeta.
5	A 14	Por ser uma das forças que é importante e existe no planeta, que não nos faz flutuar aqui
6	A16	Acho que é devido essa força que prende nossos pés ao chão, não deixando que a gente flutue.
7	Aplicador	Por que a Experiência de Eratóstenes representa uma evidência do formato esférico da Terra?
8	A1	Porque a experiência de Eratóstenes mostra que as sombras em cidades diferentes não terão o mesmo tamanho.
9	A3	Porque as sombras do meio dia solar mostra que em cidades diferente a gente tem também sombras diferentes.
10	A12	Porque se colocar cabos de vassoura de mesmo tamanho em cidades diferentes vamos vê que as sombras delas serão diferentes e isso acontece, pois a Terra é esférica.

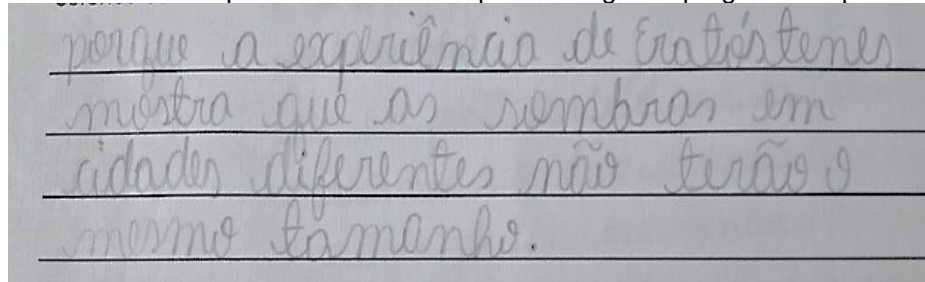
Continuação

Quadro 1 – Respostas mais relevantes referente do questionário final.

Linhas	Sujeito	Respostas
11	A16	Porque a gente percebe que se colocarmos varas enfiadas no chão, mesmo que seja de mesmo tamanho a sombra da luz do sol será diferente em cidades de regiões diferentes devido a Terra ter forma esférica.
12	Aplicador	Como você construiria uma rosa dos ventos? Explique?
13	A1	Meio de desenhos no chão.
14	A3	Desenhos no caderno.
15	A12	por meio de dobraduras com papel.

Fonte: Respostas dos participantes (2023)

Portanto, indícios de evolução dos conhecimentos dos alunos podem ser contemplados, por exemplo, nas respostas das linhas 8 a 11, o que se deve ao uso de raciocínio lógico vivenciado na aplicação da sequência didática. Isso pode ser destacado na figura 31.

Figura 31 – Relato escrito pelo aluno A1 em resposta à segunda pergunta do questionário final

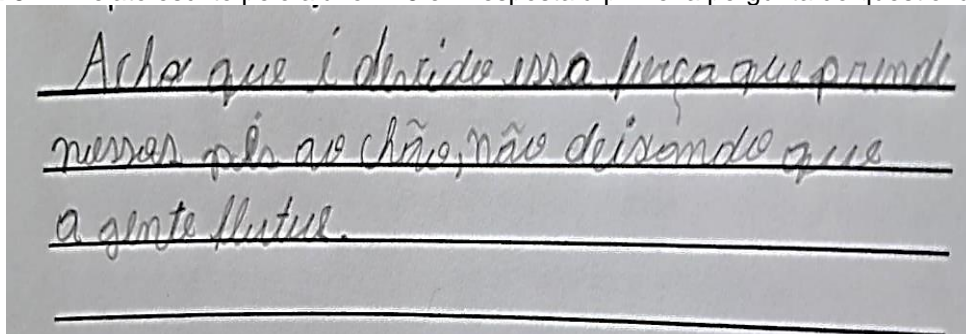
Fonte: Questionário diagnóstico (2023)

O discente A1, na figura 32, escreveu: “porque a experiência de Eratóstenes mostra que as sombras em cidades diferentes não terão o mesmo tamanho”. Assim como as demais respostas, apresentadas pelos discentes A3, 12 e A16, o aluno A1 conseguiu expor seu pensamento, referente à experiência de Eratóstenes, apresentando um interessante argumento sobre a esfericidade da Terra, qual seja, a formação de sombras de tamanhos diferentes nas cidades onde foram realizadas as atividades. Isso entremostra um olhar para um importante eixo estruturante de alfabetização científica, proposto por Sasseron e Carvalho (2011), qual seja, a *compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais*, pois tais atividades requerem a necessidade de compreender conceitos básicos para construir seu argumento. Além disso, evidencia-se, também, um interessante elemento de alfabetização científica, segundo Kemp (2000) e Melo (2019), a *apreciação pela ciência*, pois é possível pensar num estímulo intelectual, articulado ao uso da ciência, para responder às próprias questões.

É importante salientar, também, que a mudança de pensamento, observada no questionário final, deixa entrever que a sequência didática trabalhada nessa pesquisa coadunou com conhecimentos exigidos nos documentos do Programa Internacional de Avaliação de Estudantes – PISA, pois ao *interpretar dados e evidências científicas*, o aluno teve o contato com competências, voltadas para a alfabetização científica, que são de interesses do PISA (MELO; NEVES; SILVA, 2018).

Observando-se as respostas dos alunos A1, A3, A12, A14 e A 16 à questão: “De que maneira a força gravitacional influencia na forma da Terra?”, percebe-se, contudo, que as atividades realizadas na sequência didática, desenvolvida neste estudo, não conseguiram contribuir para que os discentes observassem relações entre a esfericidade da Terra e a força gravitacional e alguns deles, inclusive, mencionam a gravidade como uma força para baixo e para cima. O discente A16, por exemplo, insinua não ser possível flutuar devido a gravidade.

Figura 32 – Relato escrito pelo aluno A16 em resposta à primeira pergunta do questionário final



Acho que é devido uma força que puxa de
nossas pés ao chão, não dizendo que
a gente flutua.

Fonte: Questionário diagnóstico (2023)

A ocasião apresenta uma interessante oportunidade para se discutir, incluindo na sequência didática, o conceito de imponderabilidade, pois a força gravitacional é fundamental para que uma estação espacial, com os seus astronautas, não saia tangente de sua órbita e possa orbitar a Terra com uma aceleração de queda igual para tudo e todos no seu interior, simulando uma situação de flutuabilidade.

Isso revela que as atividades desenvolvidas nessa pesquisa poderiam ter sido direcionadas para outras competências, de interesse do PISA, segundo Melo, Neves e Silva (2018), pois é fundamental que os alunos sejam estimulados a *explicarem fenômenos cientificamente*. Entretanto, os autores deixam claro que tal competência exige conhecimento de conteúdo.

6.2 Análise das atividades da Experiência de Eratóstenes

Sobre os aspectos de conteúdos mais observacionais, nas ações dos discentes, durante a aplicação da experiência de Eratóstenes, foi possível perceber um direcionamento para uma abordagem que valorizou conteúdos procedimentais e atitudinais no ensino de ciências.

Deste modo, os discentes foram deixados livres para montar as equipes e, em consequência disso, organizaram-se levando em consideração afinidades pessoais e, automaticamente, escolheram um líder que comandava as atividades da equipe, iniciando-se o que podemos chamar de atividade colaborativa. É importante destacar que *autonomia* e *colaboração* representam conteúdos atitudinais importante nas ações que vislumbram promover alfabetização científica no ensino de ciências (MELO, 2020).

Vale ressaltar que os registros das medições realizadas pelos alunos, referentes às sombras, foram enviados via whatsapp, pois os grupos realizaram o experimento no final de semana, na residência dos líderes das equipes, com a ajuda de seus responsáveis. Sobre isso, é importante destacar que a *coleta de dados* e o *trabalho em equipe* representam, segundo Melo (2020), habilidades que constituem atributos importantes de conteúdos procedimentais que devem fazer parte do ensino de ciências.

Destarte, é importante destacar que a experiência de Eratóstenes, ora desenvolvida, oportunizou e valorizou a utilização de tecnologias, no ensino de ciências conduzido por esta sequência didática, revelando que tais tecnologias:

propiciam a reconfiguração da prática pedagógica, a abertura e plasticidade do currículo e o exercício da coautoria de professores e alunos. Por meio da mediação das tecnologias de informação e comunicação, o desenvolvimento do currículo se expande para além das fronteiras espaços-temporais da sala de aula e das instituições educativas; supera a prescrição de conteúdos apresentados em livros, portais e outros materiais; estabelece ligações com os diferentes espaços do saber e acontecimentos do cotidiano; e torna públicas as experiências, os valores e os conhecimentos, antes restritos ao grupo presente nos espaços físicos, onde se realizava o ato pedagógico (ALMEIDA; VALENTE, 2012).

Nessa perspectiva, com a possibilidade de se utilizar a tecnologia, como mediadora no ensino de ciências, oportunizou-se a valorização de outra habilidade importante para a alfabetização científica, apontada nos estudos de Melo (2020), qual

seja, a *comunicação*, pois representa um interessante conteúdo procedimental que deve fazer parte das aulas de ciências.

Os três grupos formados consolidaram um líder, cada. Contudo, cada grupo continha elementos que desempenhavam um papel tão importante quanto o do líder. Isso mostrou o interesse de todos em desenvolver o experimento de Eratóstenes. Mais que isso, possibilitou um sentimento de *responsabilidade* individual e coletiva pelas ações desenvolvidas, valorizando, assim, um outro conteúdo atitudinal necessário à promoção da alfabetização científica (MELO, 2020, 2019).

Assim, mesmo com a dificuldade apresentada pelos grupos em completar a experiência, mesmo com os obstáculos, por não terem pessoas conhecidas noutros locais do país, os alunos foram incentivados a realizar tais atividades que certamente contribuíram para estimular a curiosidade desses atores.

7 CONCLUSÃO

O presente trabalho desenvolveu uma sequência didática que buscou contribuir para o processo de ensino-aprendizagem em aulas de ciências utilizando o ensino por meio dos três momentos pedagógicos, estruturados por Delizoicov; Angotti e Pernambuco (2002).

O objetivo geral do trabalho foi verificar contribuições da experiência de Eratóstenes, na compreensão da forma da Terra, quando replicada por alunos do ensino fundamental.

Percebeu-se, por meio dessa proposta, que os alunos foram contemplados com conteúdo conceituais, mas que as atividades também proporcionaram conteúdos procedimentais e atitudinais. Quanto aos atributos desses conteúdos, pode-se destacar a *autonomia* que foi oportunizada aos alunos, na realização das atividades; o *trabalho em equipe* que possibilitou um processo de *colaboração* entre os atores, tanto entre professor e alunos como entre os próprios alunos, além da comunicação oportunizada por tecnologia da informação.

O desafio que foi proporcionado aos alunos, de realizarem atividades experimentais para coletar dados, também merece destaque nesta proposta, pois a *coleta de dados* faz parte do trabalho dos cientistas e deve ser valorizada com os alunos desde a educação básica.

Por outro lado, esse estudo oportuniza algumas reflexões que precisam ser destacadas. Entre elas, pode-se dizer que a contribuição para o entendimento de alguns conteúdos científicos conceituais ficou aquém do esperado, pois os alunos parecem ter finalizado suas atividades sem o entendimento da contribuição que Força Gravitacional apresenta para a esfericidade do nosso planeta.

Além disso, algumas imagens, utilizadas para problematizarem a forma da Terra, apresentadas aos alunos, poderiam ter sido melhores escolhidas nesse estudo, pois podem ter contribuído pouco para a problematização que se pretendia no primeiro momento pedagógico dessa pesquisa.

Diante disso, finalizo este trabalho, mas não esse estudo, pois faz-se necessário rever algumas ações para que possam acontecer refinadas e redirecionadas, oportunizando, assim, contribuições para que o ensino de ciências possa promover a alfabetização científica dos atores a contento.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. E. B. **Narrativas digitais e o estudo de contextos**. Disponível em: <<http://aunirede.org.br/revista/index.php/emrede/article/view/10>>. Acesso: 15 de abril de 2023.
- ANGOTTI, Demétrio; PERNAMBUCO, José André; MARIA, Marta. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos**. São Paulo: Cortez, 2002.
- BNCC. **Base Nacional Comum Curricular**. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: 18 de janeiro de 2022.
- BRANDÃO, Z. **A dialética macro/micro na sociologia da educação**: Cadernos de Pesquisa. São Paulo, 2001. 153-165 p.
- BRETONES, P. S. **Disciplinas introdutórias de Astronomia nos cursos superiores do Brasil**. 1999. 200 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências. UNICAMP. Campinas, 1999.
- COSTA, J. R. V. **O método da paralaxe. Astronomia no Zênite**, jul 2000. Disponível em: <https://www.zenite.nu/o-metodo-da-paralaxe>. Acesso: 28 de setembro de 2022.
- CRISTIANE. Muenchen. **A construção de um processo didático-pedagógico dialógico: aspectos epistemológicos**. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/epec/a/qMKkdvK6fBFwZYzrTcN67d/?lang=pt&format=pdf>. Acesso: 28 de setembro de 2022.
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. P; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos**. São Paulo: Cortez, 2002.
- FNDE. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. Ministério da Educação. Disponível em: <<http://www.fnde.gov.br/financiamento/fundeb/area-para-gestores/dados-estatisticos/itemlist/category/91-fundef>> Acesso: 20 de abril de 2018.
- FREIRE, Paulo. **Pedagogia do Oprimido**. 17. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.
- FREIRE, Paulo. **Pedagogia do oprimido**. 43ª ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2005.
- FREIRE, Paulo. **Pedagogia da Autonomia: saberes necessários à prática educativa**. 43. ed. São Paulo: Paz e Terra, 2011.
- FREIRE, Paulo. **Pedagogia da Autonomia: Saberes necessários à prática educativa**. 25. Ed. São Paulo: Paz e Terra, 1996.
- FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. Disponível em: <https://nepegeo.paginas.ufsc.br/files/2018/11/Pedagogia-da-Autonomia-Paulo-Freire.pdf>. Acesso: 11 de abril de 2023.
- FURMAN, M.; BRASIL, S. **O ensino de Ciências no Ensino Fundamental: Colocando as Pedras Fundacionais do Pensamento Científico**. Outubro, 2009.

Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/PesquisaObraForm.jsp>. Acesso: 18 de janeiro de 2022.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GIORDAN, Marcelo; GUIMARÃES, Yara; MASSI, Luciana. **Uma análise das abordagens investigativas de trabalhos sobre sequências didáticas**: tendências no ensino de ciências. Anais do VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, v. 5, 2011.

KEMP, A. C. **Science Educator's Views on the Goal of Scientific Literacy for All: An Interpretive Review of the Literature**. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching. New Orleans, LA. Abril, 2000. ERIC Document Reproduction Service No. ED 454099. Disponível em: <<https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED454099.pdf>>. Acesso: 13 de out. de 2022.

LEAL, M. C.; SOUZA, G. **Ciência e tecnologia no ensino de ciências**: o tempo da escola e do museu. São Paulo, 1997.

LORENZETTI, L. **Alfabetização científica nas séries iniciais**. 2000. 143 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC, 2000.

MELO, M. G. de A. **Iniciação Científica no interior da Amazônia**: promovendo alfabetização científica e tecnológica com alunos do ensino básico de um clube de Ciências. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.636>. Acesso: 24 de outubro, 2023.

MELO, M. G. de A. **Jogo Tríptico na formação inicial do professor de ciências**: uma proposta de ensino de Física sob o enfoque CTS que busca promover ACT. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.

MELO, M. G. A.; NEVES, M. C. D.; SILVA, S. C. R. **Um olhar sobre os resultados brasileiros no PISA 2015**: possibilidades de se refletir sobre problemas do ensino de ciências e à formação. Revista Eletrônica Debates em Educação Científica e Tecnológica. Disponível em: <https://www.sumarios.org/revista/revista-eletr%C3%B4nica-debates-em-educa%C3%A7%C3%A3o-cient%C3%ADfica-e-tecnol%C3%B3gica>. Acesso: 02 de março de 2023.

MERRIAM, S. B. **Qualitative research and case study applications in education**. São Francisco, CA: Jossey-Bass, 1998.

MINAYO, MC.S., **O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde**. 3 ed. São Paulo/ Rio de Janeiro: HUCITE-ABRASCO, 1994.

MINAYO, MC.S., SANCHES, O. **Quantitativo-qualitativo**: oposição ou complementaridade? Cad. Saúde Pública. Rio de Janeiro, 1993. 239-262 p.

MARINHO, Erivaldo Silva. **Professor**: cuidador de um aluno cadeirante da turma do 4º ano. Alenquer, 2023.

MOREIRA, M. A. **O que é afinal aprendizagem significativa?** Revista cultural La Laguna Espanha, 2012. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf>. Acesso: 19 de abril de 2023.

MOREIRA, M. A. **Uma abordagem cognitivista ao ensino da Física**. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1983.

MOREIRA, M.A. e Massoni, N.T. **Epistemologias do Século XX**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 2011.

MUENCHEN, C. **A disseminação dos três momentos pedagógicos**: Um estudo sobre práticas docentes na região de Santa Maria/RS. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica). Florianópolis. Universidade federal de Santa Catarina. 2010. 213p. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/93822/280146.pdf?sequence=1>. Acesso: 15 de setembro 2022.

NOVAES, Sylvia Caiuby. **Imagem, magia e imaginação**: desafios ao texto antropológico. Mana, Rio de Janeiro, v. 14, n. 2, outubro de 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/soc/a/crRYw9qbfMwthQBNysVBzRg/?lang=pt>. Acesso: 13 de dezembro 2022.

PIAGET, J; GARCÍA, R. **Psicogênese e História das Ciências**. Trad: Gisele Unti. Petropolis,RJ: Vozes, 2011.

PIVATTO, W. B. **Os conhecimentos prévios dos estudantes como ponto referencial para o planejamento de aulas de Matemática**: análise de uma atividade para o estudo de Geometria Esférica. Florianópolis: Revemat, 2014. 43-57 p.

POZO, J. I. GÓMEZ CRESPO, M. A. **A aprendizagem e o ensino de ciências**: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico. Tradução Naila Freitas. 5 ed., Porto Alegre: Artmed, 2009.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. **Construindo argumentação na sala de aula**: a presença do ciclo argumentativo, os indicadores de Alfabetização Científica e o padrão de Toulmin. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/CyDQN97T7XBKkMtNfrXMwbC/abstract/?lang=pt>. Acesso: 10 de janeiro de 2022.

SASSERON. L. H. **Alfabetização Científica, ensino por investigação e argumentação**: relações entre Ciência da natureza e escola. Ensaio. Belo Horizonte: Especial, 2015. 49-67 p.

SHEN, B. S. P. Science literacy. **American Scientist**, v. 63, maio, 1975. 265-268 p.

SIEMSENS, G.H. **O ensino de astronomia numa abordagem interdisciplinar no Ensino Médio**: potencialidades para a promoção da alfabetização científica e tecnológica. 2019. 247 f. Dissertação mestrado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2019.

SILAS, J. **O que é gravidade?** Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-gravidade.htm>. Acesso: 03 de janeiro de 2023.

SOUTO, M.F.S. **Formação continuada**: saberes mobilizados pela sequência didática – o olhar no programa de formação do Ensino Médio. Dissertação Mestrado em Ciências da Educação, Instituto de Educação, Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Lisboa, 2013.

SOUZA, G. G. de et alii. (s/d). **Revista científica e aprendizagem lúdica em sala de aula**, s/l. Disponível em: <https://biblat.unam.mx/pt/revista/methodus-revista-cientifica-e-cultural-da-universidade-estacio-de-sa/articulo/revista-cientifica-e-aprendizagem-ludica-em-sala-de-aula>. Acesso em 25 de maio de 2022.

TAXINI, Camila Linhares et al. **Proposta de uma sequência didática para o ensino do tema " Estações do Ano" no Ensino Fundamental**. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/epec/a/ctby8MWfNJht8RQX3MqJD7c/abstract/?lang=pt>. Acesso: 01 de junho de 2022.

TIPLER, Paul Allan. MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros**, v.I: mecânica, oscilações e ondas. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

TORRES, Carlos Magno A; FERRRO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antonio de Torres. **Física – Ciência e Tecnologia**: Volume 1. São Paulo: Moderna, 2010.

VALENTE, J. **Blended learning e as mudanças no ensino superior: a proposta da sala de aula invertida**. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/er/nspe4/0101-4358-er-esp-04-00079.pdf> Vozes, Acesso: 11 de abril de 2023.

ZABALA, A. **Como trabalhar os conteúdos procedimentais em aula**. Tradução Ernani Rosa. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 1999.

ZABALA, Antoni. **A Prática educativa: como ensinar**. Tradução Ernani F. da F. Rosa. Porto Alegre: Artmed, 1998.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – Autorização da Escola

SOLICITAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO PARA APLICAÇÃO DE ATIVIDADE EM SALA DE AULA

À direção da escola municipal de educação infantil e ensino fundamental Izolina D'Assunção Lopes Valente

Escola Municipal de Educação Infantil e Ensino Fundamental Izolina D'Assunção Lopes Valente INEP: 15005887 - Alenquer - PA

Prezada senhora diretora,

Vimos por meio deste, respeitosamente, solicitar autorização para ser desenvolvida uma atividade no período de 24 e 25 de abril, com os estudantes da turma F4T9R01 do turno vespertino, a fim de ser utilizada como parte da Dissertação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da UFOPA. O trabalho intitulado: "O Planeta Terra" para o ensino de astronomia e astrofísica na educação básica, como elemento problematizador de uma sequência didática para o ensino de Astronomia e Astrofísica no Ensino Fundamental. Autora: Sonaira Rodrigues Moura.

Orientadores: Prof. Dr. João Roberto Pinto Feitosa e Prof. Dr. Marcos Gervânio de Azevedo Melo.

Certos de contar com vossa colaboração, agradecemos antecipadamente.

Santarém-PA, 17 de abril de 2023.

Prof. Dr. João Roberto Pinto Feitosa
(Orientador)

Sonaira Rodrigues Moura
(Mestranda)

Autorização da direção da escola:

Jailce Sousa

Jailce Sousa
Gestora Escolar
Decreto nº 129/2021

APÊNDICE 2 - Termo de Consentimento para uso de Imagens e Som de Voz (TCUISV)

TERMO DE CONSENTIMENTO PARA USO DE IMAGENS E SOM DE VOZ (TCUISV)

Título da pesquisa: O Planeta Terra, como elemento problematizador de uma sequência didática para o Ensino de Astronomia e Astrofísica no ensino básico.

Pesquisadora responsável (mestranda): Sonaira Rodrigues Moura

Orientadores: Prof. Dr. João Roberto Pinto Feitosa e Prof. Dr. Marcos Gervânio de Azevedo Melo

Objetivo(s) da pesquisa: Investigar contribuições do experimento de Erastóstenes e a influência da força gravitacional na forma esférica do Planeta Terra, como elemento problematizador de uma sequência didática para o Ensino Astronomia e Astrofísica no ensino básico.

Eu, _____,
 RG: _____, CPF: _____, residente no endereço:
 _____, nº _____,
 no município de _____, Estado _____,

() AUTORIZO () NÃO AUTORIZO

que fotos e gravação de voz em que eu seja identificada(a) sejam utilizadas em materiais de divulgação desta pesquisa, relatórios e para uso em publicação de trabalhos científicos.

 Assinatura do(a) responsável do(a) Estudante

APÊNDICE 3 – Questionário Diagnóstico

Problematização Inicial

Questionário para análise do conhecimento dos discentes

1. Você conhece alguma experiência que mostre evidências sobre a forma da Terra? Explique!

2. O que você entende sobre gnômon e rosa dos ventos?

3. De que maneira, as forças gravitacionais influenciam na forma do planeta Terra?

4. O que você ainda gostaria de falar sobre o planeta Terra?

APÊNDICE 4 – Apostila Construída para Trabalho Conceitual

COMPONENTE CURRICULAR: FÍSICA
OBJETO DE CONHECIMENTO: GRAVIDADE

GRAVIDADE

A **Gravidade** é uma propriedade não apenas da Terra, mas de toda matéria. Cada corpo do Universo exerce uma força de atração sobre todos os outros, que depende não só das massas dos objetos como também da distância entre eles.

A atração entre a maioria dos objetos que manipulamos em nosso cotidiano é muito pequena porque as massas envolvidas são também muito pequenas. Entretanto, quando consideramos um objeto qualquer atraído pela Terra, a força de atração é considerável, pois a massa do planeta é muito grande, cerca de $6 \cdot 10^{24}$ kg. Para se ter uma ideia, a força de atração entre uma rocha de 5 toneladas e uma bola de tênis de mesa é menor que o peso de um fio de cabelo.

Ao abandonar uma bolinha a uma certa altura do chão, a partir do repouso, você nota que, durante a queda, a velocidade dela aumenta. Obviamente uma força deve estar agindo sobre a bolinha, pois sua velocidade está variando, ou seja, a bolinha está acelerando.

Força familiar

A gravidade é uma forma tão comum em nosso dia a dia, que na maioria das vezes nem percebemos que ela está agindo, diferente de uma força elétrica por exemplo e alguns fenômenos elétricos: o relâmpago; fenômenos magnéticos: como ao pegarmos dois ímãs e aproxima-los eles se atraem ou

repelem. Exemplos como esses são impossíveis não serem percebidos. Entretanto, o que podemos observar a todo instante é a gravidade.

Figura 01 – Força familiar em nosso dia a dia



Fonte: <https://blogdescalada.com/wp-content/uploads/2017/11/escalada-teto-4.jpg>

Na figura 01, observa-se que as pessoas estão na praia e uma escalando a rocha, sem a gravidade atuando não seria possível: escalar e a água na praia ficar parada, caso desejassem banhar. Sem a gravidade tudo estaria flutuando, não teria a situação de cair, a queda, o peso ou uma força que está em nosso cotidiano.

Força Peso

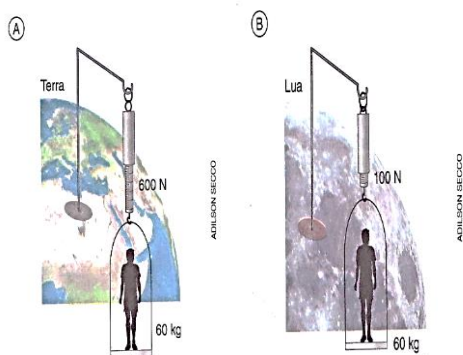
Os objetos caem porque a Terra exerce uma força sobre eles, mesmo quando não estão em contato com a Terra. A força de atração gravitacional que a Terra exerce sobre todos os objetos, denominada **peso**, depende da massa do corpo em queda. Quanto maior

a massa do corpo, maior também será o seu peso.

O peso \vec{P} de um corpo é uma força com direção vertical e sentido para baixo. A intensidade (ou módulo) da força peso de um corpo é dada por: **$P = m \cdot g$**

O peso de um corpo pode ser medido diretamente com o auxílio de uma balança de molas. Observe que o peso de um corpo pode variar de lugar para lugar, dependendo do valor da aceleração gravitacional, mas sua massa permanece constante. A figura 02, mostra-nos um mesmo corpo, com a massa 60 kg, sendo pesado na Terra ($g_{Terra} = 10 \text{ m/s}^2$) e na Lua ($g_{Lua} = \frac{g_{Terra}}{6}$).

Figura 02 – Esquema de pesos de um corpo de massa 60 kg. (A) Na Terra, 600 N e (B) na Lua, 100 N. (Representações sem escala, uso de cores-fantasia)



Fonte: TORRES, Carlos Magno A. Física – Ciência e Tecnologia: volume 1. 2 ed. – São Paulo: Moderna, 2010. 101 p.

Um pouco de História

À primeira vista, todos nós achamos que quanto maior for a massa de um corpo mais rápido será sua queda.

Foi o filósofo grego Aristóteles quem fez essa afirmação pela primeira vez. Dada a grande autoridade desse pensador, que estudava os fenômenos da natureza baseando-se na observação

dos fatos, sua afirmação passou a ser aceita e defendida por todos os estudiosos.

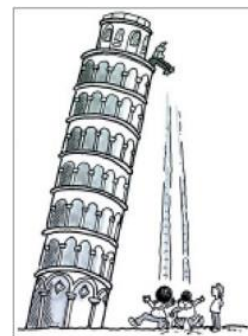
Assim, cerca de 2.000 anos depois de sua morte, os cientistas ainda aceitavam como verdadeira a afirmação de que uma pedra de 2kg caía duas vezes mais rapidamente que uma pedra de 1kg. Por isso, eles ficaram chocados quando Galileu Galilei (figura ao lado) afirmou que tanto uma pedra leve quando uma pedra pesada cai com a mesma velocidade.



Galileu

Conta-se que Galileu teria subido no alto da torre inclinada de Pisa na Itália e de lá deixado cair duas esferas de mesmo diâmetro e massas diferentes, que teriam chegado praticamente ao mesmo tempo ao solo (Figura ao lado).

É claro que, se deixarmos uma pedra e uma folha de papel caírem de determinada altura, a



pedra chegará primeiro no solo. Mas se amassarmos a folha de papel de modo que sua superfície diminua e soltarmos agora a pedra e a bola de papel, veremos que os dois corpos caem quase com a mesma velocidade. A pequena diferença na queda se deve ao atrito do ar. Se estivessem no vácuo, ambos cairiam com a mesma velocidade.

É bem provável que aquela experiência de Galileu, na realidade, nunca tenha ocorrido, mas a preocupação de verificar

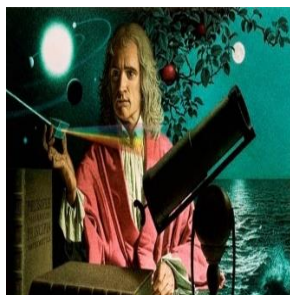
experimentalmente qualquer afirmação se tornou, desde sua época, o procedimento básico da física. Qualquer teoria, por melhor que seja a sua formulação teórica, só é considerada válida se comprovada na prática.

O importante é que, ao observar os fenômenos da natureza, o trabalho das pessoas, o movimento de um carro, entre outras coisas, saiba explicá-los cientificamente, não se deixando enganar pelas impressões fornecidas pela visão, pela audição, pelo tato, etc.

O estudo da gravidade na Terra, para alguns cientistas não tinha nada a ver com o que acontecia nas estrelas, para eles no universo era outras leis.

Dessa forma, depois de Galileu Galilei, o cientista Isaac Newton (Figura ao lado) começou a estudar mais a fundo as experiências deixadas por ele, levando-o a descobrir um conjunto de leis que descrevesse o comportamento do Universo, ele queria representar o movimento aqui da Terra e também

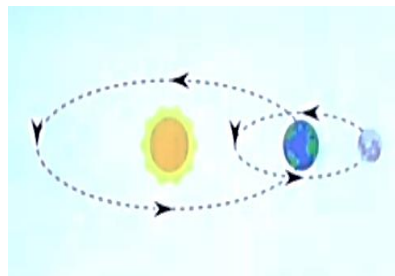
entender os movimentos dos astros: A Terra orbitando o Sol, a Lua orbitando a Terra e eles orbitando o Sol (Figura 03), e por volta de 1660



Isaac Newton

Isaac Newton percebeu e demonstrou que a força que faz os objetos caírem sobre a Terra é a mesma que os mantém em órbita denominada *lei da Gravitação universal*.

Figura 03 – Órbitas – Movimentos da Lua em torno da Terra e do Sol



Fonte:
<https://www.youtube.com/watch?v=FkJFWzwN8CE>

Obviamente, a Terra exerce uma atração sobre os objetos que estão sobre sua superfície. Newton se deu conta de que essa força se estendia até a Lua e produzia a aceleração centrípeta necessária para manter a Lua em órbita. O mesmo acontece com o Sol e os planetas. Então, Newton levantou a hipótese da existência de uma força de atração universal entre os corpos em qualquer parte do Universo.

A força centrípeta que o Sol exerce sobre um planeta de massa m , que se move com velocidade v a uma distância r do Sol, é dada por $F = m \frac{v^2}{r}$

Newton, então, concluiu que, para que a atração universal seja correta, deve existir uma força atrativa entre pares de objetos em qualquer região do universo, e essa força deve ser proporcional a suas massas e inversamente proporcional ao quadrado de suas distâncias. A constante de proporcionalidade G depende das unidades das massas e da distância. Exerce uma atração sobre os objetos que estão sobre sua superfície.

APÊNDICE 5 – Resposta dos alunos referente ao Questionário Diagnóstico

1 – Você conhece alguma experiência que mostre evidências sobre a forma da Terra? Explique!	
A-1	Não.
A-2	Não sei.
A-3	Não.
A-4	Não.
A-5	Não.
A-6	Não.
A-7	Não.
A-8	Não.
A-9	Não.
A-10	Não.
A-11	Não entendo.
A-12	Não.
A-13	Não.
A-14	Não.
A-15	Não.
A-16	Não.
A-17	Não.

2 – O que você entende sobre gnômon e rosa dos ventos?	
A-1	Nada.
A-2	Não sei.
A-3	Não sei.
A-4	Não sei.
A-5	Não sei.
A-6	Não sei.
A-7	Não sei.
A-8	Não sei.
A-9	Não sei.
A-10	Não sei.

A-11	Não sei.
A-12	Nada.
A-13	Nada.
A-14	Não sei.
A-15	Não sei.
A-16	Não sei.
A-17	Não sei.

3 – De que maneira, as forças gravitacionais influenciam na forma da Terra?

A-1	Não sei.
A-2	Não sei.
A-3	Não sei.
A-4	Não sei.
A-5	Não sei.
A-6	Não sei.
A-7	Não sei.
A-8	Não sei.
A-9	Não sei.
A-10	Não sei.
A-11	Não sei.
A-12	Não sei.
A-13	Não sei.
A-14	Não sei.
A-15	Não sei.
A-16	Não sei.
A-17	Não sei.

4 – O que você ainda gostaria de falar sobre o planeta Terra?

A-1	Nada.
A-2	Nada.
A-3	Nada.
A-4	Nada.
A-5	Nada.

A-6	Nada.
A-7	Nada.
A-8	Nada.
A-9	Nada.
A-10	Nada.
A-11	Nada.
A-12	Nada.
A-13	Nada.
A-14	Nada.
A-15	Nada.
A-16	Nada.
A-17	Nada.

APÊNDICE 6 – Resposta do questionário final aplicado aos discentes

1 - De que maneira a Força Gravitacional influencia na forma da Terra?	
A-1	Pela maneira de ser uma grandeza responsável por definir o peso de um corpo, força pra cima e pra baixo que não faz a gente flutuar na Terra.
A-2	Porque a gente não flutua.
A-3	Acho que é devido essa força prende nossos pés ao chão, não deixando que a gente flutue.
A-4	Porque a gente fica parado na Terra.
A-5	Porque a gente fica parado na Terra.
A-6	Porque a gente fica parado na Terra.
A-7	Porque a gente fica parado na Terra.
A-8	Porque a gente fica parado na Terra.
A-9	Porque a gente fica parado na Terra.
A-10	Porque prende a gente no chão.
A-11	Porque a gente fica parado na Terra.
A-12	Pela influência que tem essa grandeza em definir o peso de um corpo, força para cima e para baixo que nos mantém em pé no nosso planeta.
A-13	Porque prende a gente no chão.
A-14	Por ser uma das forças que é importante e existe no planeta, e que não nos faz flutuar aqui.
A-15	Porque prende a gente no chão.
A-16	Entendi que é devido a gravidade influenciar no peso que faz ter uma força para cima e para baixo que nos mantém sem flua aqui na Terra.
A-17	Porque a gente fica parado na Terra.
A-18	Porque faz com as coisas fiquem parada.
A-19	Porque a gente fica parado na Terra.
A-20	Porque a gente fica parado na Terra.
A-21	Porque faz com as coisas fiquem parada.

2- Por que a Experiência de Eratóstenes representa uma evidência do formato esférico da Terra?	
A-1	Porque a experiência de Eratóstenes mostra que as sombras em cidades diferentes não terão o mesmo tamanho.
A-2	Porque há sombras diferentes em cidades diferentes.
A-3	Porque as sombras do meio dia solar mostra que em cidades diferentes a gente tem também sombras diferentes.
A-4	Por causa das sombras.
A-5	Porque a Terra é esférica.
A-6	Porque a Terra é esférica.
A-7	Porque a luz do Sol muda de posição.
A-8	Porque a Terra é esférica.
A-9	Porque a Terra é esférica.
A-10	Por causa das sombras.
A-11	Porque a Terra é esférica.
A-12	Porque se colocar cabos de vassoura de mesmo tamanho em cidades diferentes vamos ver que as sombras delas serão diferentes e isso acontece, pois a Terra é esférica.
A-13	Porque a Terra é esférica.
A-14	Porque a luz do Sol muda de posição.
A-15	Porque a Terra é esférica.
A-16	Porque a gente percebe que se colocarmos varas enfiadas no chão, mesmo que seja de mesmo tamanho a sombra da luz do sol será diferente em cidades de regiões diferente devido a Terra ter a forma esférica.
A-17	Porque a Terra é esférica.
A-18	Porque a Terra é esférica.
A-19	Porque a Terra é esférica.
A-20	Porque a luz do Sol muda de posição.
A-21	Não sei explicar, porque faltei nas aulas que a professora explicou.

3 - Como você construiria uma rosa dos ventos? Explique?	
A-1	Desenhos no chão.
A-2	Por meio de dobraduras com papel.
A-3	Por meio de dobraduras com papel.
A-4	Por meio de dobraduras com papel.
A-5	Desenhos no chão.
A-6	Por meio de dobraduras com papel.
A-7	Desenhos no caderno.
A-8	Por meio de dobraduras com papel.
A-9	Desenhos no chão.
A-10	Por meio de dobraduras com papel.
A-11	Por meio de dobraduras com papel.
A-12	Desenhos no chão.
A-13	Desenhos no caderno.
A-14	Por meio de dobraduras com papel.
A-15	Por meio de dobraduras com papel.
A-16	Desenhos no chão.
A-17	Por meio de dobraduras com papel.
A-18	Desenhos no chão.
A-19	Por meio de dobraduras com papel.
A-20	Desenhos no chão.
A-21	Desenhos no caderno.

APÊNDICE 7 – Produto Educacional



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA – CCT
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

SONAIRA RODRIGUES MOURA

PRODUTO EDUCACIONAL

**CONTRIBUIÇÕES DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA “O PLANETA TERRA” PARA O
ENSINO DE ASTRONOMIA E ASTROFÍSICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA**

**SANTARÉM-PA
2023**

SONAIRA RODRIGUES MOURA

PRODUTO EDUCACIONAL

**CONTRIBUIÇÕES DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA “O PLANETA TERRA” PARA O
ENSINO DE ASTRONOMIA E ASTROFÍSICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA**

Produto da dissertação apresentado ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Sociedade Brasileira de Física, polo 49 da Universidade Federal do Oeste do Pará como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Linha de Pesquisa: Astronomia e Astrofísica na educação básica.

Orientadores: Prof. Dr. João Roberto Pinto Feitosa

Prof. Dr. Marcos Gervânio de Azevedo Melo.

**SANTARÉM-PA
2023**

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO	04
2 DESENVOLVIMENTO DOS ENCONTROS	05
2.1 Primeiro momento	05
2.1.1 A Terra é plana ou esférica?.....	05
2.1.2 Questionário Diagnóstico.....	06
2.2 Segundo momento	08
2.2.1 Apresentação do Vídeo: Planeta Terra.....	08
2.2.2 Apostila: trabalhando conteúdo conceitual.....	08
2.2.3 Apresentação do Vídeo: Gravidade do Planeta Terra.....	10
2.3 Terceiro momento	11
2.3.1 Desafio: proposta da realização de um gnômon para construir a rosa dos ventos e para os alunos realizarem a experiência de Eratóstenes que representa uma prova de que a Terra é esférica.....	11
2.3.2 Questionário para verificar a evolução dos conhecimentos dos discentes.....	11
REFERÊNCIAS	13

1 APRESENTAÇÃO

Este produto educacional tem como objetivo utilizar uma sequência didática para ensinar conteúdos de astronomia e astrofísica, proporcionando aos discentes e docentes, vivenciar fenômenos que ocorrem em seu cotidiano. Apresenta atividades lúdicas com materiais de baixo custo e fáceis de serem utilizados. Além disso, servirá de apoio para o desenvolvimento de aulas mais dinâmicas.

O ensino de Ciências, especificamente de astronomia e astrofísica, deve contemplar meios de promover atividades junto aos discentes, disseminando olhares científicos sobre fatos em que as credices populares, muitas vezes, por conta de nossa cultura se permeiam de lendas e mitos entre os saberes de nossa sociedade. Destarte, deve proporcionar a formação de um cidadão crítico e consciente por meio dos conhecimentos científicos.

Assim sendo, pensou-se na construção desse material com o intuito de contribuir para o ensino de ciências, voltando-se olhares para a temática do planeta Terra.

2 DESENVOLVIMENTO DOS ENCONTROS

A proposta do produto educacional é uma sequência didática, que será desenvolvida nos três momentos pedagógicos, de acordo com os pressupostos teóricos de Delizoicov e Angotti (1990), também investigada por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002), no qual o primeiro, segundo e terceiro momentos pedagógicos podem ser aplicados em três aulas, cada uma correspondente a 4h (ensino fundamental I), totalizando 12h. Essa proposta está direcionada aos alunos do 4º ano dos anos iniciais da educação básica, mas nada impede que seja adaptada para outros anos/faixas ou níveis de ensino.

2.1 Primeiro Momento Pedagógico

2.1.1 A Terra é plana ou esférica?

A sequência didática inicia com a utilização de imagens que buscam refletir se: *a Terra é plana ou esférica?* O objetivo é apresentar as imagens funcionando como

um elemento problematizador para sequência didática. As imagens, em questão, podem ser contempladas observando-se as figuras 1 e 2.

Figura 1 - Modelo plano



Fonte: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/tecnologia/noticia/2019/08/sete-afirmacoes-feitas-pelos-terraplanistas-e-os-motivos-de-eles-estarem-enganados-cjze68lgl038r01qmslcdjmbp.html>

Figura 2 - Modelo esférico



Fonte: <https://sites.ifi.unicamp.br/imre/a-terra-e-redonda/>

As figuras podem ser utilizadas para se discutir não somente a forma do nosso planeta, mas assuntos como gravitação, formação de sombras em Gnômons colocados em locais diferentes, entre outros.

2.1.2 Questionário Diagnóstico

O objetivo do questionário é entender como os discentes compreendem a temática abordada sobre o planeta Terra.

Figura 3 - Questionário - Problematização Inicial
APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO

Questionário para análise do conhecimento dos discentes

1. Você conhece alguma experiência que mostre evidências sobre a forma da Terra?

Explique!

2. O que você entende sobre gnômon e rosa dos ventos?

3. De que maneira, as forças gravitacionais influenciam na forma do planeta Terra?

4. O que você ainda gostaria de falar sobre o planeta Terra?

Fonte: Autora (2023)

O questionário abordado apresenta quatro questões relacionadas ao planeta Terra.

2.2 Segundo Momento Pedagógico

2.2.1 Apresentação do Vídeo: Planeta Terra

O objetivo da aplicação desse vídeo é apresentar aos discentes um panorama de nosso planeta e proporcionar reflexões sobre suas características, em especial, sobre sua forma.

Figura 3 – Vídeo: Planeta Terra



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=r1tu9vxG2r0>

O vídeo faz uma abordagem do formato de nosso planeta, apresentando três evidências que contribuem para uma forma esférica da Terra. Além disso, mostra imagens e vídeos do espaço que revelam que a Terra é esférica. Enfatiza explicações sobre dia, noite e como funcionam as constelações.

2.2.2 Apostila: Trabalhando conteúdo conceitual

O objetivo da apostila é trabalhar conceitos que possam amparar os alunos sobre a temática “planeta Terra” e, para isso, destaca-se o conteúdo físico: Gravidade.

Figura 3 – Apostila

COMPONENTE CURRICULAR: FÍSICA
OBJETO DE CONHECIMENTO: GRAVIDADE

GRAVIDADE

A **Gravidade** é uma propriedade não apenas da Terra, mas de toda matéria. Cada corpo do Universo exerce uma força de atração sobre todos os outros, que depende não só das massas dos objetos como também da distância entre eles.

A atração entre a maioria dos objetos que manipulamos em nosso cotidiano é muito pequena porque as massas envolvidas são também muito pequenas. Entretanto, quando consideramos um objeto qualquer atraído pela Terra, a força de atração é considerável, pois a massa do planeta é muito grande, cerca de $6 \cdot 10^{24}$ kg. Para se ter uma ideia, a força de atração entre uma rocha de 5 toneladas e uma bola de tênis de mesa é menor que o peso de um fio de cabelo.

Ao abandonar uma bolinha a uma certa altura do chão, a partir do repouso, você nota que, durante a queda, a velocidade dela aumenta. Obviamente uma força deve estar agindo sobre a bolinha, pois sua velocidade está variando, ou seja, a bolinha está acelerando.

Força familiar

A gravidade é uma forma tão comum em nosso dia a dia, que na maioria das vezes nem percebemos que ela está agindo, diferente de uma força elétrica por exemplo e alguns fenômenos elétricos: o relâmpago; fenômenos magnéticos: como ao pegarmos dois ímãs e aproxima-los eles se atraem ou repelem. Exemplos como esses são impossíveis não serem percebidos.

Entretanto, o que podemos observar a todo instante é a gravidade.

Figura 01 – Força familiar em nosso dia a dia



Fonte: <https://blogdescalada.com/wp-content/uploads/2017/11/escalada-teto-4.jpg>

Na figura 01, observa-se que as pessoas estão na praia e uma escalando a rocha, sem a gravidade atuando não seria possível: escalar e a água na praia ficar parada, caso desejassem banhar. Sem a gravidade tudo estaria flutuando, não teria a situação de cair, a queda, o peso ou uma força que está em nosso cotidiano.

Força Peso

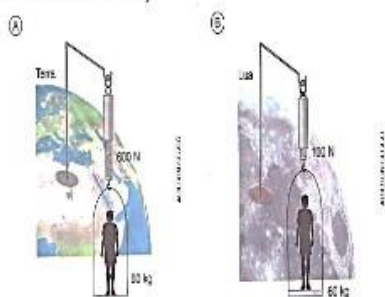
Os objetos caem porque a Terra exerce uma força sobre eles, mesmo quando não estão em contato com a Terra. A força de atração gravitacional que a Terra exerce sobre todos os objetos, denominada **peso**, depende da massa do corpo em queda. Quanto maior a massa do corpo, maior também será o seu peso.

O peso \vec{P} de um corpo é uma força com direção vertical e sentido para baixo. A intensidade (ou módulo) da

força peso de um corpo é dada por: $P = m \cdot g$

O peso de um corpo pode ser medido diretamente com o auxílio de uma balança de molas. Observe que o peso de um corpo pode variar de lugar para lugar, dependendo do valor da aceleração gravitacional, mas sua massa permanece constante. A figura 02, mostra-nos um mesmo corpo, com a massa 60 kg, sendo pesado na Terra ($g_{Terra} = 10 \text{ m/s}^2$) e na Lua ($g_{Lua} = \frac{g_{Terra}}{6}$).

Figura 02 – Esquema de pesos de um corpo de massa 60 kg. (A) Na Terra, 600 N e (B) na Lua, 100 N. (Representações sem escala, uso de cores-fantasia)



Fonte: TORRES, Carlos Magno A. Física – Ciência e Tecnologia: volume 1. 2 ed. – São Paulo: Moderna, 2010. 101 p.

Um pouco de História

À primeira vista, todos nós achamos que quanto maior for a massa de um corpo mais rápido será sua queda.

Foi o filósofo grego Aristóteles quem fez essa afirmação pela primeira vez. Dada a grande autoridade desse pensador, que estudava os fenômenos da natureza baseando-se na observação dos fatos, sua afirmação passou a ser aceita e defendida por todos os estudiosos.

Assim, cerca de 2.000 anos depois de sua morte, os cientistas ainda aceitavam como verdadeira a afirmação de que uma pedra de 2kg caía duas vezes mais rapidamente que uma pedra de 1kg. Por isso, eles ficaram chocados quando Galileu Galilei (figura ao lado) afirmou que tanto uma pedra leve quando uma pedra pesada cai com a mesma velocidade.



Galileu

Conta-se que Galileu teria subido no alto da torre inclinada de Pisa na Itália e de lá deixado cair duas esferas de mesmo diâmetro e massas diferentes, que teriam chegado praticamente ao mesmo tempo ao solo (Figura ao lado).

É claro que, se deixarmos uma pedra e uma folha de papel caírem de determinada altura, a pedra chegará primeiro no solo. Mas se amassarmos a folha de papel de modo que sua superfície diminua e soltarmos agora a pedra e a bola de papel, veremos que os dois corpos caem quase com a mesma velocidade. A pequena diferença na queda se deve ao atrito do ar. Se estivessem no vácuo, ambos cairiam com a mesma velocidade.

É bem provável que aquela experiência de Galileu, na realidade, nunca tenha ocorrido, mas a preocupação de verificar experimentalmente qualquer afirmação se tornou, desde sua época, o procedimento básico da física. Qualquer



teoria, por melhor que seja a sua formulação teórica, só é considerada validade se comprovada na prática.

O importante é que, ao observar os fenômenos da natureza, o trabalho das pessoas, o movimento de um carro, entre outras coisas, saiba explicá-los cientificamente, não se deixando enganar pelas impressões fornecidas pela visão, pela audição, pelo tato, etc.

O estudo da gravidade na Terra, para alguns cientistas não tinha nada a ver com o que acontecia nas estrelas, para eles no universo era outras leis.

Dessa forma, depois de Galileu Galilei, o cientista Isaac Newton (Figura ao lado) começou a estudar mais a fundo as experiências deixadas por ele, levando-o a descobrir um conjunto de leis que descrevesse o comportamento do Universo, ele queria representar o movimento aqui da Terra e também entender os movimentos dos astros: A Terra orbitando o Sol, a Lua orbitando a Terra e eles orbitando o Sol (Figura 03),

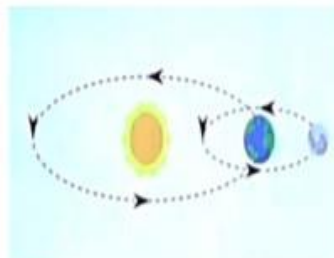
e por volta de 1660 Isaac Newton percebeu e demonstrou que a força que faz os objetos caírem sobre a Terra é a mesma que os mantém em órbita



Isaac Newton

denominada *lei da Gravitação universal*.

Figura 03 – órbitas – Movimentos da Lua em torno da Terra e do Sol



Fonte:
<https://www.youtube.com/watch?v=FkJFWzwN8CE>

Obviamente, a Terra exerce uma atração sobre os objetos que estão sobre sua superfície. Newton se deu conta de que essa força se estendia até a Lua e produzia a aceleração centrípeta necessária para manter a Lua em órbita. O mesmo acontece com o Sol e os planetas. Então, Newton levantou a hipótese da existência de uma força de atração universal entre os corpos em qualquer parte do Universo.

A força centrípeta que o Sol exerce sobre um planeta de massa m , que se move com velocidade v a uma distância r do Sol, é dada por $F = m \frac{v^2}{r}$

Newton, então, concluiu que, para que a atração universal seja correta, deve existir uma força atrativa entre pares de objetos em qualquer região do universo, e essa força deve ser proporcional a suas massas e inversamente proporcional ao quadrado de suas distâncias. A constante de proporcionalidade G depende das unidades das massas e da distância. Exerce uma atração sobre os objetos que estão sobre sua superfície.

A apostila apresenta conceitos de física envolvendo gravitação, possibilita um contato com questões que discutem a Força Peso que atua sobre os corpos ao serem puxados pela gravidade que há em nosso planeta.

2.2.3 Apresentação do Vídeo: Gravidade do Planeta Terra

O objetivo da utilização desse vídeo é apresentar o conteúdo curricular “Gravidade”, para que os alunos possam ter contato com o trabalho de Isaac Newton, possibilitando aos discentes entender a contribuição dessa força para o formato do nosso planeta.

Figura 3 – Vídeo: Gravidade



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=FkJFWzwN8CE>

O vídeo elenca conceitos a força da gravidade, lançamento oblíquo, introdução a lei da gravitação de Newton e fala sobre imponderabilidade.

2.3 Terceiro momento pedagógico

2.3.1 Desafio: proposta de realização de gnômon para construir a rosa dos ventos e para os alunos realizarem a experiência de Eratóstenes que reflete uma evidência de que a Terra é esférica

O objetivo da atividade é oportunizar uma ação que possibilite aos alunos ter contato com evidências da esfericidade da Terra.

2.3.2 Questionário para verificar indícios de evolução dos conhecimentos dos discentes

O objetivo é verificar se as atividades, desenvolvidas, contribuíram para evolução do pensamento dos discentes com relação à temática “planeta Terra”.

Figura 4 - Questionário para verificar o conhecimento dos discentes

APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO

Questionário para análise do conhecimento dos discentes

1. De que maneira a Força Gravitacional influencia na forma da Terra?

2. Por que a Experiência de Eratóstenes representa uma evidência do formato esférico da Terra?

3. Como você construiria uma rosa dos ventos? Explique!

Fonte: Autora (2023)

REFERÊNCIAS

COSTA, J. R. V. **O método da paralaxe**. Astronomia no Zênite, jul 2000. Disponível em: <https://www.zenite.nu/o-metodo-da-paralaxe>. Acesso: 28 de setembro de 2022.

CRISTIANE. Muenchen. **A construção de um processo didático-pedagógico dialógico: aspectos epistemológicos**. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/epec/a/qMKkdvK6fBFwZYzrTcN67d/?lang=pt&format=pdf>. Acesso: 28 de setembro de 2022.

FILHO, Kepler de Souza Oliveira; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. **Astronomia e astrofísica**. 3. Ed.: Editora Livraria da Física, São Paulo, 2013.

TORRES, Carlos Magno A; FERRO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antonio de Torres. **Física – Ciência e Tecnologia**: Volume 1. São Paulo: Moderna, 2010.